

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA NO TRANSPORTE PÚBLICO DE
PORTO ALEGRE

por

Lucas Flach Guimarães Chagas

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, janeiro de 2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

CIP - Catalogação na Publicação

CHAGAS, LUCAS FLACH GUIMARÃES
AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA NO TRANSPORTE
PÚBLICO DE PORTO ALEGRE / LUCAS FLACH GUIMARÃES
CHAGAS. -- 2024.
19 f.
Orientadora: LETÍCIA FLECK FADEL MIGUEL.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2024.

1. Nível de Pressão Sonora. 2. Transporte Público.
3. NHO-01. 4. Perda Auditiva. I. MIGUEL, LETÍCIA FLECK
FADEL, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lucas Flach Guimarães Chagas

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA NO TRANSPORTE PÚBLICO DE
PORTO ALEGRE

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Ignácio Iturrioz
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientadora: Prof^ª. Letícia Fleck Fadel Miguel

Comissão de Avaliação:

Prof^ª. Letícia Fleck Fadel Miguel (Presidente)

Prof. Ignácio Iturrioz

Prof. Edson Hikaro Aseka

Prof. Walter Jesus Paucar Casas

Porto Alegre, fevereiro de 2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Alice e Wladimir, por sempre incentivarem meus estudos e não medirem esforços em me proporcionar a melhor educação possível.

À minha noiva, Bárbara, por ser minha motivação em todos os momentos, minha companheira que sempre me ajudou a evoluir. Pelo seu amor e companheirismo que fizeram total diferença nessa jornada.

À professora Letícia F. F. Miguel, pelos conselhos, sugestões e por sua disponibilidade em orientar este trabalho.

Aos amigos que fizeram parte dessa jornada e me ajudaram sempre que precisei.

CHAGAS, LUCAS. **Avaliação do nível de pressão sonora no transporte público de Porto Alegre**. 2024. 19p. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

RESUMO

Um dos principais fatores de risco à saúde de motoristas de transporte público é a perda auditiva devido à exposição excessiva a ruídos externos. Desta forma, o presente trabalho consiste em medir o nível de pressão sonora e dose diária referente à jornada de trabalho a que motoristas do transporte público estão submetidos, além de utilizar-se da norma brasileira NHO-01 para comparar os valores requeridos com os encontrados. A metodologia de coleta de dados utilizada foi a medição de campo através da utilização de um dosímetro. Seis ônibus e quatro trens de diferentes linhas e modelos foram analisados em operação normal, com medições realizadas próximo ao trabalhador, de modo a reproduzir da forma mais fiel possível a situação a que está submetido. Após as medições, o tratamento dos dados e posterior comparação com as exigências da norma foram realizados, os resultados mostraram que os níveis de ruído que operadores de ônibus e trem estão submetidos se encontram abaixo do estabelecido pela norma NHO-01 para uma jornada de trabalho de 8 horas. Assim, todos os veículos estão em conformidade com a norma. Apenas um dos veículos analisados apresentou níveis de ruído levemente acima do nível de ação, sendo necessária a adoção de medidas preventivas para evitar o aumento do ruído.

PALAVRAS-CHAVE: transporte público, ruído, motoristas, nível de pressão sonora, NHO-01.

CHAGAS, LUCAS. **Evaluation of the sound pressure level in public transportation in Porto Alegre**. 2024. 19p. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

ABSTRACT

One of the main health risk factors for public transportation drivers is hearing loss due to excessive exposure to external noise. The aim of this study was to measure the sound pressure level and daily dose for the working day to which public transportation drivers are subjected, and to use the Brazilian standard NHO-01 to compare the required values with those found. The data collection methodology used was field measurement using a dosimeter. Six buses and four trains from different lines and models were analyzed in normal operation, with measurements taken close to the worker, in order to reproduce as accurately as possible the situation to which they are subjected. After the measurements, data processing and subsequent comparison with the requirements of the standard have been made, the results showed that the noise levels to which bus and train operators are subjected are below those established by the NHO-01 standard for an 8-hour working day. Thus, all the vehicles comply with the standard. Only one of the vehicles analyzed had noise levels slightly above the action level, requiring the adoption of preventive measures to avoid an increase in noise.

KEYWORDS: public transportation, noise, drivers, sound pressure level, NHO-01.

NOMENCLATURA

Símbolos	Descrição	Unidade
dB	Decibel	
dB(A)	Decibel na ponderação A	
N_{eq}	Nível de pressão sonora equivalente	dB
P	Pressão sonora instantânea	N/m ²
P_0	Pressão sonora de referência, igual a 20 μ Pa	N/m ²
t	Tempo de integração	s
NE	Nível de Exposição	dB
NEN	Nível de Exposição Normalizado	dB
D	Dose diária	
T_E	Tempo de exposição na jornada de trabalho	min
Abreviaturas	Descrição	
PAINPSE	Perda Auditiva Induzida por Níveis de Pressão Sonora Elevados	
NHO	Norma de Higiene Ocupacional	
NR	Norma Regulamentadora	
NBR	Norma Brasileira	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	1
2.1. OBJETIVOS GERAIS	1
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1. SOM E RUÍDO	2
3.2. NORMAS REGULAMENTADORAS	3
3.2.1. CONCEITOS IMPORTANTES	3
3.2.2. REGRAS DA NORMA NHO-01	3
4. METODOLOGIA	6
4.1. MATERIAIS	6
4.2. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO	6
4.3. MÉTODO DE AVALIAÇÃO	7
4.3.1. DOSE DIÁRIA	7
4.3.2. NÍVEL DE EXPOSIÇÃO NORMALIZADO	7
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	7
5.1. DADOS DAS MEDIÇÕES	7
5.2. DISCUSSÕES ACERCA DA CONFORMIDADE COM A NHO-01	11
5.3. DISCUSSÕES ACERCA DO CONFORTO ACÚSTICO	12
6. CONCLUSÃO	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
ANEXO A	16

1. INTRODUÇÃO

A maioria das profissões possui fatores de risco para a saúde dos trabalhadores e, apesar de a tecnologia ter evoluído muito nas últimas décadas, tanto profissões antigas quanto mais atuais podem gerar certo grau de risco à saúde. Um exemplo extremo é o de bombeiros, que constantemente precisam estar em ambientes insalubres, com materiais altamente tóxicos e temperaturas extremas. Um trabalhador da construção civil, por exemplo, está constantemente exposto a vibrações das ferramentas de trabalho, que podem provocar complicações em diversas partes do corpo do indivíduo. Estas são profissões de notado risco à saúde e objeto de preocupação constante dos engenheiros de segurança do trabalho.

Algumas outras profissões do cotidiano, apesar de serem reguladas, parecem mais inofensivas, e podem, por vezes, gerar danos irreversíveis ao trabalhador. O motorista de transporte público representa bem este quadro, em que aparentemente não é exposto a nenhum risco extremo, como o de bombeiros, mas sofre com diversos fatores de risco a longo prazo.

Entre tais fatores, o que talvez mereça maior destaque é a perda auditiva. A Perda Auditiva Induzida por Níveis de Pressão Sonora Elevados (PAINPSE) é uma perda causada pelo contato por tempo prolongado ao ruído. Esta é uma das complicações laborais mais relevantes ao redor do mundo, não apenas entre motoristas mas em diversas outras áreas.

Entre as fontes sonoras a que o motorista está submetido, evidencia-se os ruídos emitidos pelos demais veículos, motores antigos extremamente ruidosos, falta de manutenção dos veículos e consequente aumento das vibrações. Estes são apenas alguns dos fatores que geram ruídos aos quais o trabalhador deve ser submetido 8h por dia.

A consequência óbvia é a perda progressiva da audição, porém, em decorrência da perda auditiva, diversos outros problemas físicos surgem. Os mais graves são o aumento da pressão arterial e batimentos cardíacos, estresse, dores de cabeça, declínio cognitivo, quedas, acidentes e ansiedade.

Na literatura foram encontrados dados muito diversos quanto à porcentagem de indivíduos que sofrem as consequências da PAINPSE. De acordo com Guardiano, 2012, algumas cidades estudadas e a respectiva porcentagem de casos de PAINPSE entre motoristas de transporte público são: Curitiba (24,59%), Campinas (19%), Maringá (28%), Bauru (34%), São Paulo (62,8%) e Francisco Beltrão (70%). Com dados tão discrepantes, fica evidente a necessidade de se estudar as causas do problema e tentar determinar qual a causa prevalente. Seria o tamanho da cidade? O tamanho da população? A frota de veículos? Infelizmente não é possível responder sem um estudo mais amplo.

Esta monografia limitar-se-á a, provocada por esses questionamentos, responder se os motoristas do sistema de transporte público (ônibus e trem) na cidade de Porto Alegre estão protegidos em níveis adequados de pressão sonora. Assim, torna-se extremamente relevante estudar as condições de nível de pressão sonora experienciados por esses trabalhadores e constatar se as recomendações de normas como NHO-01 estão sendo cumpridas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral do trabalho é realizar a medição dos níveis de pressão sonora em veículos da frota de transporte público na cidade de Porto Alegre e, posteriormente, comparar os resultados com o padrão estabelecido na norma NHO-01.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Realizar a medição dos níveis de pressão sonora e dose diária com um dosímetro calibrado, de medição instantânea e seguindo o procedimento indicado pela NHO-01 (instrumento em posse do avaliador), próximo à zona auditiva do motorista.
- Realizar um comparativo entre diferentes veículos (ônibus, trens antigos e trens modernos)
- Sugerir medidas a serem tomadas, caso os resultados apontem excesso de ruído, acima do permitido.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. SOM E RUÍDO

O som, segundo Gerges, 2000, pode ser caracterizado como a variação da pressão atmosférica considerando os limites máximo e mínimo de amplitude e as frequências a que o ouvido humano é capaz de responder.

Para Bistafa, 2006, o som é apenas a sensação produzida; já o ruído é um som não desejado, normalmente de caráter negativo. Para Fernandes, 2002, o ruído se caracteriza como uma sobreposição de sons aleatórios, sem padrão de período, frequência e intensidade, o que gera desconforto.

Ainda, um ponto muito importante salientado por Gerges, 2000, é o fato de que as complicações auditivas, a exemplo da PAINPSE, não se dão apenas pela intensidade do ruído, mas o tempo de exposição exerce papel importante. Esse é um dos motivos de o tema escolhido para esta monografia ser interessante, pois os passageiros que utilizam o transporte público são expostos a níveis de ruído similares aos trabalhadores, porém, estes estão expostos por muito mais tempo, o que potencializa consideravelmente o problema.

É importante ressaltar que em qualquer estudo sobre perda auditiva, conforme aponta Medeiros, 2015, além do nível de pressão sonora, outros fatores podem contribuir para a perda auditiva, como vibração de corpo inteiro ou até exposição a monóxido de carbono. Bistafa, 2006, aponta que a PAINPSE se enquadra dentro do grupo de perda de audição neurossensorial, notadamente perdas graduais. O foco desta monografia limitar-se-á à surdez gradual induzida por ruídos, não levando em consideração outros fatores como doenças infecciosas, velhice ou demais fatores externos.

3.2. NORMAS REGULAMENTADORAS

Entre as normas regulamentadoras que mais se adequam ao estudo, encontram-se a norma NHO-01 e NR-15. A norma NHO-01 foi escolhida como referência para este estudo.

Para melhor entendimento das nomenclaturas e equações que a NHO-01 utiliza, é importante entender os conceitos de cada um dos termos que a norma disponibiliza.

3.2.1. CONCEITOS IMPORTANTES

Critério de Referência: nível médio, em um período de 8 horas, em que a exposição corresponde a uma dose de 100%.

Dose: parâmetro que caracteriza a exposição ao ruído, em porcentagem de energia sonora, baseando-se no valor máximo da energia sonora diária permitida.

Incremento de Duplicação da Dose (q): valor em decibéis que, ao ser acrescido de um nível de pressão sonora anterior, provoca a duplicação da dose.

Limite de exposição (LE): parâmetro que caracteriza condições em que os trabalhadores possam estar expostos sem nenhum prejuízo à capacidade de escutar e compreender uma conversa em tom normal.

Nível de ação: valor a partir do qual é necessário tomar medidas de prevenção para reduzir a possibilidade de que o ruído prejudique a audição do trabalhador, garantindo que o limite de exposição não seja atingido.

Nível equivalente (Neq ou Leq): nível médio que possui a mesma energia acústica que os níveis originários, para determinado período de tempo.

$$N_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{t} \int_0^t \frac{P^2}{P_0^2} dt \right) \quad (1)$$

Onde:

N_{eq} = o nível de pressão sonora equivalente no período de tempo entre 0 e T.

P = pressão sonora instantânea.

P_0 = pressão sonora de referência, igual a 20 μ Pa.

Nível de Exposição (NE): nível médio que representa a exposição ocupacional diária.

Nível Limiar de Integração (NLI): nível de ruído acima do qual os valores precisam ser levados em conta. Abaixo desse valor, os dados não são considerados.

Ruído Contínuo ou Intermitente: todo tipo de ruído que não é considerado ruído de impacto, sendo ruído de impacto o ruído que possui picos de energia acústica que dura menos de 1 segundo.

3.2.2. REGRAS DA NORMA NHO-01

Vistos os conceitos abaixo, podemos determinar os valores numéricos para alguns deles. O mais importante é o Critério de Referência (CR), que determina que o máximo nível para ruídos contínuos ou intermitentes é 85 dB(A), para o período de trabalho de 8 horas e correspondendo a uma dose de 100%. Outro valor importante é o incremento de duplicação de dose (q), que vale 3 e o Nível Limiar de Integração (NLI) vale 80 dB(A).

Posteriormente, a determinação da adequação ou não do trabalhador à norma pode ser feita de duas formas. A primeira é determinando a dose diária, a segunda, determinando o nível de exposição. Ambos os parâmetros levam aos mesmos resultados e se relacionam entre si através da seguinte expressão:

$$NE = 10 \log \left(\frac{480}{T_E} \times \frac{D}{100} \right) + 85 \text{ [dB]} \quad (2)$$

$$D = \frac{T_E}{480} \times 100 \times 2^{\left(\frac{NE-85}{3}\right)} \text{ [%]} \quad (3)$$

Em que:

NE = nível de exposição

D = dose diária em porcentagem

Te = tempo de exposição na jornada de trabalho, em minutos

Para garantir um estudo mais preciso, ambas as formas de avaliar serão utilizadas. As medições podem ser feitas através de um medidor de uso pessoal ou portado pelo avaliador. Diante da impossibilidade de posicionar o medidor a poucos centímetros do ouvido do trabalhador, podendo prejudicar sua atividade, a forma de medição escolhida é com o medidor portado pelo avaliador. Para essa forma de medição, a norma determina que a dose diária pode ser expressa como:

$$DOSE\ DIÁRIA = \left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right) \times 100 \quad [\%] \quad (4)$$

Os termos “ C ” acima representam o tempo total que um trabalhador fica submetido a um nível específico diariamente. T_n representa o máximo tempo que o trabalhador pode ficar exposto a tal nível todos os dias, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1: Tempo máximo diário de exposição permitido de acordo com o nível de ruído

Nível de Ruído dB(A)	Tempo máximo diário permissível (T_n) (minutos)
80	1.523,90
81	1.209,52
82	960,00
83	761,95
84	604,76
85	480,00
86	380,97
87	302,38
88	240,00
89	190,48
90	151,19
91	120,00
92	95,24
93	75,59
94	60,00
95	47,62
96	37,79
97	30,00
98	23,81
99	18,89
100	15,00
101	11,90
102	9,44
103	7,50

104	5,95
105	4,72
106	3,75
107	2,97
108	2,36
109	1,87
110	1,48
111	1,18
112	0,93
113	0,74
114	0,59
115	0,46

A tabela trata de números inteiros para o nível de ruído, assim, quando houver valores não inteiros de nível de ruído, o tempo máximo diário permissível será considerado com relação ao próximo nível inteiro mais alto. Como o Nível Limiar de Integração (NLI) vale 80 dB(A), medições abaixo desse valor não são levadas em consideração para calcular a dose. Considera-se, ainda, que o Nível de Ação é de dose diária de 50% e o Limite de Exposição Valor Teto, valor superior ao qual não é permitida exposição em instante algum do dia, é de 115 dB(A).

Além do critério de dose diária, podemos avaliar a conformidade ou não com a norma através do NEN (Nível de Exposição Normalizado), descrito pela seguinte equação:

$$NEN = NE + 10 \log \frac{T_E}{480} \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

Em que:

NE = nível médio representativo da exposição ocupacional diária

T_E = tempo de exposição na jornada de trabalho, em minutos

O limite de NEN, nesse critério, é de 85 dB(A) e o valor teto é de 115 dB(A). Ainda, é considerado como nível de ação o valor de 82 dB(A).

4. METODOLOGIA

4.1. MATERIAIS

O trabalho se propõe a realizar medições de campo do nível de pressão sonora e dose de ruído em veículos do transporte público de Porto Alegre, sob os procedimentos estabelecidos pela norma NHO-01. Essa, além de estabelecer os limites máximos de tolerância do nível de pressão sonora e dose diária, também estabelece a forma adequada que o equipamento deve ser calibrado e o passo a passo a ser seguido nas medições. Com isso, será feita a comparação entre realidade e teoria.

A norma estabelece que para medidores de leitura instantânea, como é o caso do dosímetro SONUS-2 PLUS da marca Criffer, e portado pelo avaliador, a medição de ruído contínuo ou intermitente deve ser feita com o equipamento configurado no circuito de ponderação “A”. Sobre o circuito de resposta, o modo “slow” deve ser acionado, e a faixa

mínima de medição deve ser entre 80 a 115 dB(A). Ainda, é importante ressaltar que o medidor de leitura instantânea deve ser no mínimo do tipo 2, de acordo com as normas ANSI S1.4-1983 e IEC 651. Então, para o dosímetro, ou medidor integrador portado pelo avaliador, além das configurações acima, é importante definir o incremento de duplicação da dose ($q=3$).

Pretende-se utilizar dois parâmetros de medição, porque existem duas formas de avaliação dos resultados de acordo com a norma NHO-01. As duas formas são: por dose de ruído ou NEN (Nível de Exposição Normalizado), ambas descritas nas Equações (4) e (5). Portanto, o aparelho a ser utilizado é o dosímetro SONUS-2 PLUS da marca Criffer, que já fornece a dose diária para uma jornada de 8h, além do NEN, necessário para a avaliação da adequação com a norma.

4.2. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

A norma NHO-01 estabelece que as medições devem ser realizadas com o microfone dentro da zona auditiva do operador. Tal determinação não seria viável, uma vez que seria necessária uma autorização prévia da companhia de transporte e possivelmente atrapalharia o exercício de sua função. A norma também determina que o trabalhador precisa exercer normalmente sua função para que o estudo tenha validade. Por esse motivo, foi escolhido o assento imediatamente ao lado do motorista, de forma a avaliar com a maior precisão o nível de pressão sonora ao qual ele está exposto. No caso do trem, a medição foi feita sempre no primeiro vagão, no assento mais próximo à cabine do condutor.

Assim, é importante destacar que posicionar os equipamentos em um tripé poderia transmitir vibrações direto da base do tripé para o equipamento. Para amortecer este impacto, o avaliador posicionou o equipamento conforme o recomendado pelo fabricante, com presilhas que conectam o dosímetro à roupa do avaliado.

Foram realizadas medições em 6 ônibus e 4 trens da frota de transporte público em Porto Alegre. A linha de ônibus utilizada faz o trajeto Mercado Público-Jardim Itu, e foram realizadas medições com o intervalo de 1 s em três trajetos no sentido Mercado Público-Jardim Itu, e três trajetos no sentido contrário. Já no trem, foram feitas medições no trajeto entre as estações Rodoviária e São Leopoldo, duas idas e duas voltas. É importante ressaltar que uma ida e uma volta foram feitas em um modelo de trem mais antigo e, portanto, mais ruidoso. O mesmo foi feito para um modelo de trem mais moderno, menos ruidoso.

Ainda, cabe destacar que as medições foram realizadas em diferentes momentos do dia, incluindo horários de pico, buscando analisar se o pior cenário em termos de ruído ainda está dentro da norma.

Assim, os estudos se dividem nas seguintes etapas:

Etapa 1 - Determinação dos parâmetros: determinar quais serão os parâmetros a serem estudados, instrumentação adequada e procedimento de medição.

Etapa 2 - Medição do ruído: utilização dos instrumentos mencionados em diferentes veículos a fim de coletar os dados de nível sonoro.

Etapa 3 - Tratamento dos dados: através de um software, tratar os dados e gerar gráficos e tabelas que representam o comportamento do ruído em cada veículo.

Etapa 4 - Análise dos dados: com os dados em formato de fácil interpretação, extrair informações úteis e comparar os níveis sonoros entre a realidade e a norma.

Etapa 5 - Propostas de melhoria: diante da adequação ou não, propor soluções e boas práticas na utilização do transporte público de Porto Alegre.

4.3. MÉTODO DE AVALIAÇÃO

4.3.1. DOSE DIÁRIA

A dose diária é calculada de acordo com a equação (4). A norma NHO-01 estabelece que se a dose diária de exposição ao ruído for superior a 100%, o limite de exposição estará excedido e obrigará uma mudança imediata de medidas corretivas.

Caso a dose diária esteja entre 50% e 100%, considera-se exposição acima do nível de ação, cabendo medidas preventivas a fim de reduzir a possibilidade de prejuízo à saúde do trabalhador. Ainda, é expressamente proibida a exposição, em qualquer momento, a níveis acima de 115 dB(A), não importando os valores de dose diária.

Com o auxílio de um dosímetro, será realizada a medição nos moldes explicados acima. Os resultados deste aparelho já são os dados finais, cabendo apenas comparar com a norma e verificar qual o procedimento de correção indicado, sem necessidade de calculá-lo.

4.3.2. NÍVEL DE EXPOSIÇÃO NORMALIZADO

Nesse critério de avaliação, sempre que o NEN, calculado pela equação (5), superar 85 dB(A), o limite de exposição terá sido superado, e medidas corretivas serão necessárias. Como o equipamento utilizado também fornece o NEN, basta comparar o resultado com a norma.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. DADOS DAS MEDIÇÕES

Foram medidos o NEN e a dose diária nos ônibus e trens mencionados, além de gerar gráficos ponto a ponto com os valores de ruído em dB. A seguir será usada a seguinte nomenclatura para facilitar o entendimento: trem antigo, trem novo, POA-SL, SL-POA, Centro-Bairro, Bairro-Centro. Trem antigo e trem novo se referem, respectivamente, a trens da frota de trens mais ruidosos e menos ruidosos. POA-SL refere-se ao sentido Porto Alegre-São Leopoldo. Centro-Bairro refere-se ao trajeto entre Mercado Público e o bairro Jardim Itu. Os gráficos dos relatórios de cada medição serão apresentados abaixo.



Figura 1: Valor do ruído em dB ao longo do tempo na Medição 1 (Trem Antigo: SL-POA)



Figura 2: Valor do ruído em dB ao longo do tempo na Medição 2 (Trem Antigo: POA-SL)



Figura 3: Valor do ruído em dB ao longo do tempo na Medição 3 (Trem Novo: SL-POA)

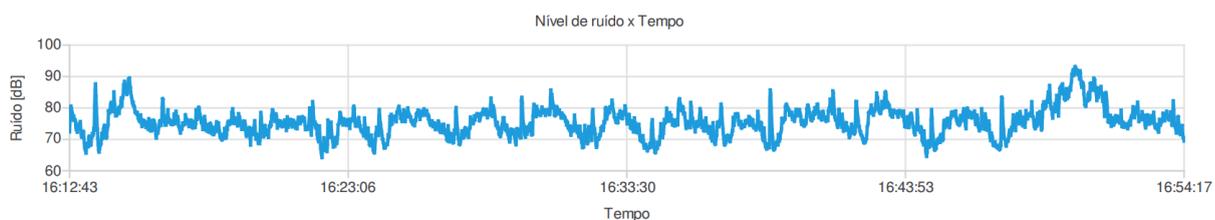


Figura 4: Valor do ruído em dB ao longo do tempo na Medição 4 (Trem Novo: POA-SL)



Figura 5: Valor do ruído em dB ao longo do tempo na Medição 5 (Ônibus 1: Centro-Bairro)



Figura 6: Valor do ruído em dB ao longo do tempo na Medição 6 (Ônibus 2: Bairro-Centro)



Figura 7: Valor do ruído em dB ao longo do tempo na Medição 7 (Ônibus 3: Centro-Bairro)



Figura 8: Valor do ruído em dB ao longo do tempo na Medição 8 (Ônibus 4: Bairro-Centro)

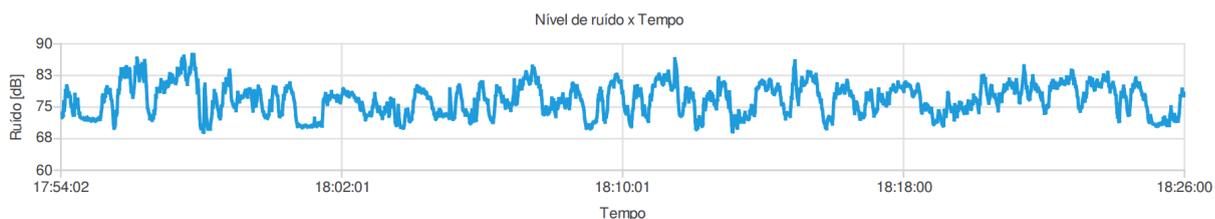


Figura 9: Valor do ruído em dB ao longo do tempo na Medição 9 (Ônibus 5: Centro-Bairro)

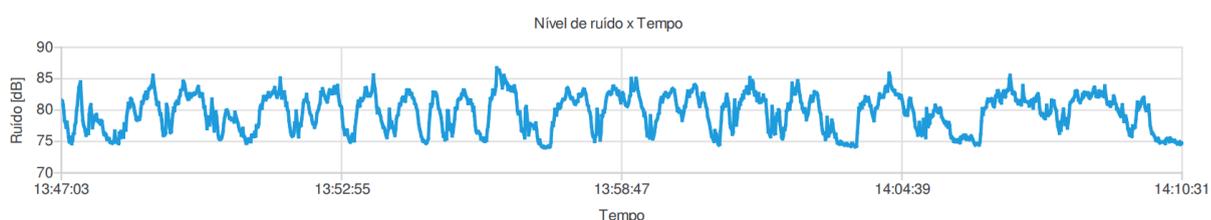


Figura 10: Valor do ruído em dB ao longo do tempo na Medição 10 (Ônibus 6: Bairro-Centro)

Visando quantificar não apenas a insalubridade ou não, mas também o conforto acústico de passageiros e trabalhadores, foi realizada uma análise do tempo em que determinada faixa de pressão sonora foi detectada. Para isso, foram registrados histogramas com o número de minutos em cada faixa e, na sequência, a utilização desses dados em tabelas para a comparação entre as medições. A seguir, estão representados os histogramas.

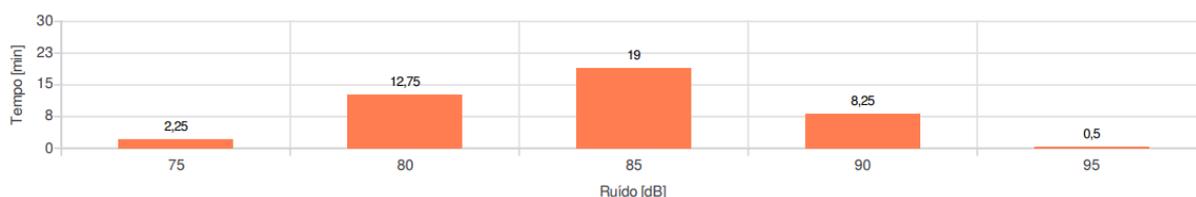


Figura 11: Tempo em minutos de cada faixa de ruído na Medição 1 (Trem Antigo: SL-POA)



Figura 12: Tempo em minutos de cada faixa de ruído na Medição 2 (Trem Antigo: POA-SL)

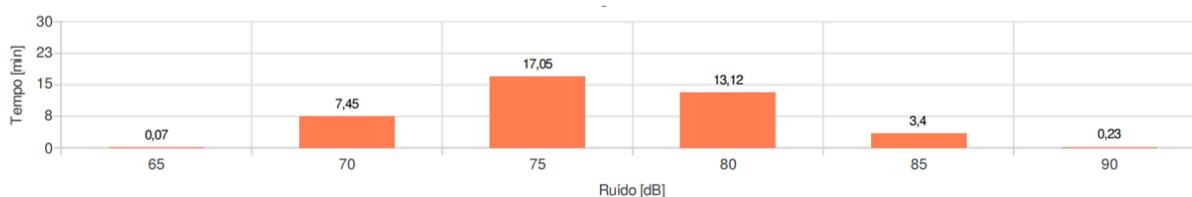


Figura 13: Tempo em minutos de cada faixa de ruído na Medição 3 (Trem Novo: SL-POA)



Figura 14: Tempo em minutos de cada faixa de ruído na Medição 4 (Trem Novo: POA-SL)

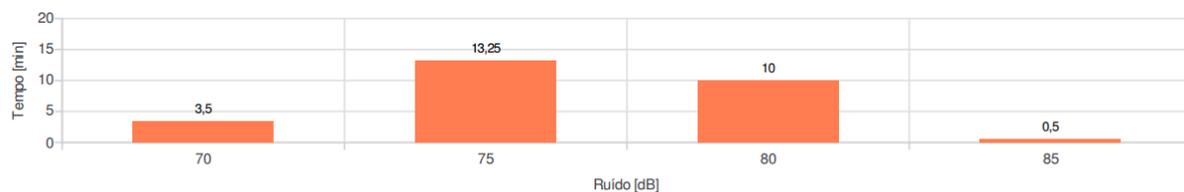


Figura 15: Tempo em minutos de cada faixa de ruído na Medição 5 (Ônibus 1: Centro-Bairro)



Figura 16: Tempo em minutos de cada faixa de ruído na Medição 6 (Ônibus 2: Bairro-Centro)

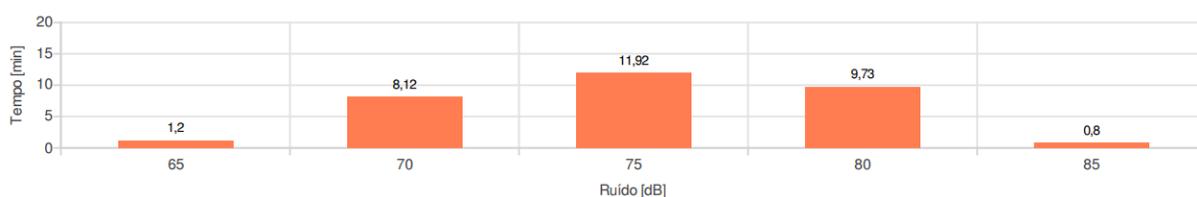


Figura 17: Tempo em minutos de cada faixa de ruído na Medição 7 (Ônibus 3: Centro-Bairro)



Figura 18: Tempo em minutos de cada faixa de ruído na Medição 8 (Ônibus 4: Bairro-Centro)

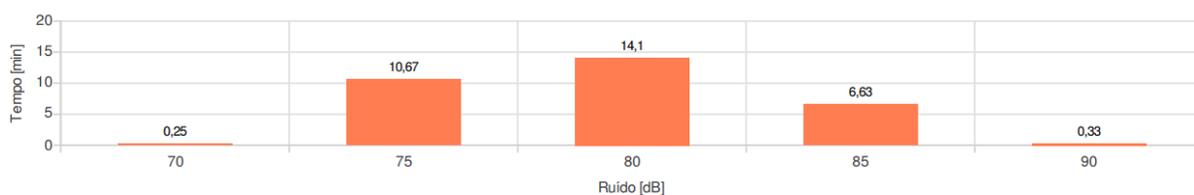


Figura 19: Tempo em minutos de cada faixa de ruído na Medição 9 (Ônibus 5: Centro-Bairro)

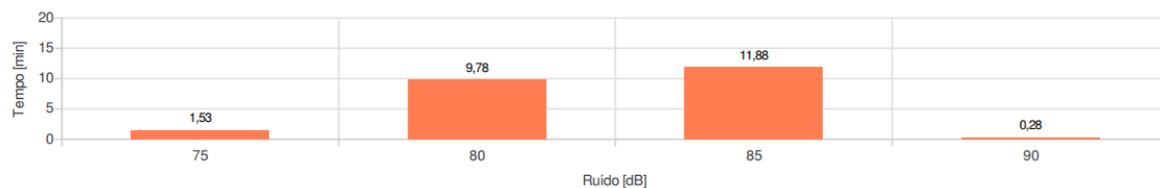


Figura 20: Tempo em minutos de cada faixa de ruído na Medição 10 (Ônibus 6: Bairro-Centro)

5.2. DISCUSSÕES ACERCA DA CONFORMIDADE COM A NHO-01

As primeiras medições para trem e ônibus foram, respectivamente, a Medição 1 e Medição 5. É possível notar que a densidade de pontos medidos nesses gráficos foi menor do que nos demais. Isso se deve ao fato de, exclusivamente nessas medições, ter sido usado limite da norma, ou seja, medições de 15 em 15 s. Ao analisar os dados, notou-se que a dose diária e NEN ficaram muito abaixo do limite, o que não era esperado no início do estudo. Por esse motivo, a partir desse momento, foram utilizadas medições de 1 em 1 s, proporcionando maior densidade de dados.

Ao analisar a Tabela 2, pode-se perceber que os resultados das Medições 1 e 2, e 5 e 7 são semelhantes. Dessa forma, o fato de utilizar um período 1 s ao invés de 15 s teve pouca importância. Há que se observar que os picos de ruído foram levemente maiores quando utilizamos 1 s como período de medição. O pico na medição 2 (trem antigo) foi de 96,82 dB medido entre as estações Sapucaia e Unisinos, e 94,34 dB entre as estações São Pedro e Farrapos. Já com picos menores, as medições 1, 3 e 4 indicam os mesmos trechos como os mais ruidosos.

É importante salientar que tais picos, apesar de acima dos 85 dB conhecidos como Critério de Referência, acontecem de forma isolada e por pouco tempo, dentro do estabelecido na Tabela 1. Por esse motivo, os valores de NEN e dose diária não chegam perto do limite.

No caso das medições em ônibus, 5 a 10, esperava-se que o resultado da medição 5 fosse muito superior ao encontrado. Por isso, como dito acima, aumentou-se a frequência de medição para 1 s e foi mudado o horário de medição para o horário de pico. Assim, a influência do trânsito e mais pessoas no transporte poderia aumentar a dose diária e o NEN. Contudo, o que foi observado é que o horário não afetou significativamente esses valores, visto que as medições 5 e 7 foram muito semelhantes em horários diferentes.

Da mesma forma, medições em dois dias consecutivos e praticamente no mesmo horário apresentaram resultados diferentes, como mostra a comparação entre as medições 7 e 9. Além disso, outra comparação que corrobora a mínima influência do horário para a análise de ruído na NHO-01 é entre as medições 9 e 10. Os horários são diferentes, NEN praticamente iguais e dose superior no horário menos esperado, logo no início da tarde.

Tabela 2: Resultados de Dose Diária de 8h e NEN para todas as medições, lidos no dosímetro

Medição	Veículo	Sentido	Hora Início	Hora Fim	NEN (dB)	Dose Diária
1	Trem Antigo	SL-POA	10:46:19	11:28:49	75,80	59,37
2	Trem Antigo	POA-SL	14:24:56	15:06:56	78,63	79,51
3	Trem Novo	SL-POA	15:17:03	15:58:21	47,86	4,65
4	Trem Novo	POA-SL	16:12:43	16:54:17	63,98	12,12
5	Ônibus	Centro-Bairro	11:38:04	12:05:04	65,28	1,05
6	Ônibus	Bairro-Centro	17:15:26	17:46:27	38,32	3,56
7	Ônibus	Centro-Bairro	17:48:07	18:19:52	65,31	1,06
8	Ônibus	Bairro-Centro	17:16:08	17:52:59	62,07	18,49
9	Ônibus	Centro-Bairro	17:54:02	18:26:00	53,10	10,96
10	Ônibus	Bairro-Centro	13:47:03	14:10:31	53,25	27,39

Ao observar os dados da Tabela 2, fica evidente que ambos ônibus e trem, independente do horário, ficam muito abaixo do limite tolerado e, por isso, estão adequados para a audição dos trabalhadores, de acordo com a NHO-01.

O critério de julgamento e tomada de decisão que utiliza NEN como base, indica que todos os veículos testados possuem níveis aceitáveis de ruído e recomenda-se a manutenção da condição existente.

Já o critério de dose diária indica a mesma análise para todos os veículos, exceto o trem antigo, em que as medições 1 e 2 da dose diária ultrapassam os 50%. Assim, o ruído está acima do nível de ação, e é necessário adotar medidas preventivas.

5.3. DISCUSSÕES ACERCA DO CONFORTO ACÚSTICO

Baseado nos histogramas introduzidos acima, foi possível desenvolver a seguinte Tabela 3, escrevendo o tempo em porcentagem do total de cada medição:

Tabela 3: Porcentagem do tempo em que o nível sonoro foi detectado em cada faixa.

Medição	Veículo	60 a 65 dB	65 a 70 dB	70 a 75 dB	75 a 80 dB	80 a 85 dB	85 a 90 dB	90 a 95 dB
1	Trem Antigo	0,00%	0,00%	5,26%	29,82%	44,44%	19,30%	1,17%
2	Trem Antigo	0,00%	0,00%	1,55%	32,01%	38,72%	25,52%	2,19%
3	Trem Novo	0,17%	18,03%	41,26%	31,75%	8,23%	0,56%	0,00%
4	Trem Novo	0,12%	10,27%	35,59%	42,44%	8,22%	2,60%	0,77%
5	Ônibus	0,00%	12,84%	48,62%	36,70%	1,83%	0,00%	0,00%
6	Ônibus	4,19%	24,23%	31,48%	33,18%	6,77%	0,16%	0,00%
7	Ônibus	3,78%	25,56%	37,52%	30,63%	2,52%	0,00%	0,00%
8	Ônibus	0,00%	1,03%	31,88%	37,71%	25,85%	3,53%	0,00%
9	Ônibus	0,00%	0,78%	33,36%	44,09%	20,73%	1,03%	0,00%
10	Ônibus	0,00%	0,00%	6,52%	41,67%	50,62%	1,19%	0,00%

De acordo com a norma NBR 10152, que estabelece os níveis sonoros adequados para conforto acústico em diversos ambientes, o máximo nível sonoro admitido para conforto acústico é 60 dB. De forma semelhante, Lage, 2003, cita normas internacionais que têm o limite de 65 dB. Independente da norma, é fato que para os trens antigos, o nível sonoro não fica em nenhum momento abaixo de 65 dB. Para os trens mais modernos, o nível sonoro fica abaixo desse nível apenas 0,14% do tempo, e nos ônibus apenas 1,37%. Em outras palavras, salvo em raros instantes, o trajeto tanto em trem quanto em ônibus é desconfortável acusticamente para os usuários e trabalhadores.

6. CONCLUSÃO

O objetivo principal do presente trabalho foi concluído: realizar a comparação entre os níveis de pressão sonora em diversos veículos de transporte público da frota porto-alegrense e, baseado nessa comparação, determinar se estão em conformidade com a norma NHO-01.

Baseado nos dados da Tabela 3, nota-se que em alguns momentos o ruído se encontra em uma zona de desconforto acústico, acima de 65 dB. Obviamente, um ambiente com ruído acima de 65 dB não é agradável, contudo, a própria NHO-01 indica que o prejuízo auditivo ocorre a partir de 80 dB, razão pela qual ruídos abaixo desse valor não são considerados pela Tabela 1.

Conforme a Tabela 3, o ruído fica 65,67% do tempo acima de 80 dB no trem antigo, 10,19% no trem novo, e 18,31% nos ônibus. Tal fato indica a maior adequação à NHO-01 dos trens mais novos e da frota de ônibus de Porto Alegre.

Os dados da Tabela 2 deixam tal constatação mais evidente, uma vez que analisando a dose diária para jornada de 8h, o único veículo que demonstrou valores acima de 50% foram os trens antigos. Por esse motivo, a sugestão para os trens novos e a frota de ônibus é manter a condição existente, com manutenção frequente dos veículos, de modo a continuar com valores de dose diária muito abaixo do limite.

Por outro lado, por mais que os trens antigos não ultrapassem os 80%, é necessário adotar medidas preventivas para que esse número não aumente. A primeira sugestão é a melhor manutenção dos trilhos ou substituição dos mesmos para que haja menos ruído, trazendo a o valor médio de ruído para baixo. Principalmente o trecho entre Sapucaia e São Leopoldo é conhecido pelo alto nível de ruído, onde foram encontrados os maiores picos. Tal substituição poderia ser inviável economicamente e logisticamente. Assim, para não prejudicar os passageiros, sugere-se que haja a mudança gradual da frota de trens para os mais modernos, que se mostraram menos ruidosos e, portanto, mais confortáveis.

Entretanto, tais medidas não são de extrema urgência, visto que os antigos trens cumprem a norma NHO-01. Por isso, outra sugestão menos custosa é o isolamento acústico das janelas dos trens mais antigos que, ao menos no inverno, podem ficar fechadas sem prejudicar o bem-estar dos passageiros.

Ainda, no que se refere à análise realizada nos ônibus, propõe-se para futuros trabalhos um estudo mais profundo em diferentes linhas que percorrem áreas diversas da cidade, não apenas rotas que operam quase que exclusivamente em vias exclusivas para a circulação de ônibus. Assim, efeitos de trepidação em terrenos mais irregulares poderiam levar a resultados mais preocupantes. Contudo, no cenário observado, em vias bem pavimentadas, constatou-se que a frota de ônibus porto-alegrense teve excelente desempenho, tendo níveis de NEN e dose diária significativamente baixos comparados com o limite máximo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Guardiano, J.; Chagas, T.; Junior, H.; “**Avaliação da perda auditiva em motoristas de ônibus de Curitiba**”, 2012.

Medeiros, A.; Assunção, A.; Santos, J.; “**Perda auditiva em trabalhadores do transporte urbano na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil**”, 2015.

NHO-01. “**Normas de Higiene Ocupacional. Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído**”, 2001.

Gerges, S. N. Y.; “**Ruído: fundamentos e controle**”. 2ª ed. Florianópolis: NR, 2000.

Bistafa, S. R. B. “**Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**”. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

Fernandes, J. C. “**Higiene do Trabalho - Acústica e Ruídos**”. Apostila do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Bauru, Bauru, São Paulo, 2002.

NBR 10152. “**Níveis de pressão sonora em ambientes internos e edificações**”, 2017.

LAGE, J. T. “**Níveis de Ruído no Interior de Trens Metropolitanos - Caso São Paulo**”. Campinas, 2003.

ANEXO A



Certificado de Calibração

Número do certificado: CRL0606/2023

Data da calibração: 10/02/2023

Data da emissão do certificado: 14/02/2023

DADOS DO CLIENTE:

Nome: TECNOLAB

Endereço: AV THEODOMIRO PORTO DA FONSECA, 3101 - CRISTO REI, SAO LEOPOLDO - RS, BRASIL.

IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO SOB TESTE:

Instrumento: AUDIODOSÍMETRO

Fabricante: CRIFFER

Modelo: SONUS-2 PLUS

Número de série: 32005416

PROCEDIMENTO(S) DE CALIBRAÇÃO UTILIZADO(S): PC EAC01 - Revisão: 01

MÉTODO(S): Comparação direta com o padrão de referência.

NORMA DE REFERÊNCIA: IEC 61252:2002 Specifications for personal sound exposure meters. Genebra, Suíça.

PADRÃO(ÕES) UTILIZADO(S):

- Stanford Research - DS-360 - Certificado de calibração n° E1363/2021 do Labelo - Válido até 08/2024
- GRAS - 42AG - Certificado de calibração n° CBR2100585 e CBR2100586 do Spectris - Válido até 08/2023
- Testo - Testo 622 - Certificado de calibração n° J010940/2022 e J010943/2022 da K&L - Válido até 03/2024

CONDIÇÕES AMBIENTAIS:

Temperatura: 23,0 °C ± 3,0 °C

Umidade Relativa: 70 % ± 25 %

Pressão Atmosférica: 101,32 kPa ± 10 %

NOTAS:

- Os resultados da calibração estão contidos em tabelas anexas, que relacionam os valores indicados pelo instrumento em teste, com valores obtidos através da comparação com os padrões e incertezas estimadas da medição (IM).
- A incerteza expandida de medição é declarada como a incerteza combinada, multiplicada pelo fator de abrangência "k", correspondente a um nível de confiança de aproximadamente 95%, conforme a distribuição de probabilidade t-Student, com graus de liberdades efetivos (Veff).
- A incerteza padrão de calibração foi determinada de acordo com o "guia para expressão de incerteza de medição".
- Esta calibração não substitui nem isenta os cuidados mínimos do controle metrológico.
- Este certificado refere-se exclusivamente ao item calibrado, não sendo extensivo a quaisquer lotes.
- O certificado não deve ser reproduzido total ou parcialmente sem prévia autorização.
- Calibração realizada nas instalações do Tecno Lab, sito na avenida Theodomiro Porto da Fonseca, 3101, Unidade 6, sala 203, bairro Cristo Rei, São Leopoldo - RS, com padrões calibrados em laboratórios acreditados à coordenação geral de acreditação do INMETRO.
- O presente certificado de calibração atende aos requisitos da norma ABNT NBR ISO IEC 17025.





Certificado de Calibração

Número do certificado: CRL0606/2023

Data da calibração: 10/02/2023

Data da emissão do certificado: 14/02/2023

Resultado da calibração:

Tabela 1: Resultado do teste de linearidade a sinais estacionários.

Nível Nominal	Nível Medido	Desvio Medido	Tolerância +/-	Limite Mínimo	Limite Máximo	Fator de Abrang.	Incerteza Expandida
dB	dB	dB	dB	dB	dB	k	(dB)
130	130	0	1	128,7	131,3	2	0,3
120	120	0	1	118,7	121,3	2	0,3
110	110	0	1	108,7	111,3	2	0,3
100	100	0	1	98,7	101,3	2	0,3
90	90	0	1	88,7	91,3	2	0,3
80	80	0	1	78,7	81,3	2	0,3
65	65	0	1	63,7	66,3	2	0,3

Tabela 2: Resultado do teste de resposta em frequência.

Freq. Exata	Nível Esperado	Nível Medido	Tolerância Norma	Limite Mínimo	Limite Máximo	Fator de Abrang.	Incerteza Expandida
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	k	(dB)
63,1	98,7	98,8	± 2	96,4	101,0	2	0,3
125,89	108,9	108,9	± 1,5	107,1	110,7	2	0,3
251,19	116,4	116,3	± 1,5	114,6	118,2	2	0,3
501,19	121,8	121,7	± 1,5	120	123,6	2	0,3
1000	125	125	± 1,5	123,2	126,8	2	0,3
1995,26	126,2	126,1	± 2	123,9	128,5	2	0,3
3981,07	126	125,8	± 3	122,7	129,3	2	0,3
7943,28	123,8	123	± 5	118,5	129,1	2	0,3





Certificado de Calibração

Número do certificado: CRL0606/2023

Data da calibração: 10/02/2023

Data da emissão do certificado: 14/02/2023

Tabela 3: Resultado do teste de resposta a sinais de curta duração.

Duração do Pulso	Razão de Pulso	Amplitude do Pulso	Tempo de Medição	Dose Esperada	Dose Medida	Dose Mínima	Dose Máxima	Fator de Abrang.	Incerteza Expandida
ms	-	dB	s	%	%	%	%	k	%
10	1:100	120	948,7	19,1	18,9	15,3	22,5	2	0,96
1	1:1000	130	948,7	19	18,6	15,3	22,5	2	0,95
1	1:1000	135	300	12	11,9	9,1	15,2	2	0,60
10	1:1000	135	300	4,9	4,9	3	5,2	2	0,25

Tabela 4: Resultado do teste de resposta a pulsos unipolares.

Tempo de Medição	Amplitude do Pulso	Duração do Pulso	Razão de Pulso	Dose Referência	Dose Medida	Dose Mínima	Dose Máxima	Fator de Abrang.	Incerteza Expandida
s	dB	ms	-	%	%	%	%	k	%
29	125	0,5	1:10	6,7	6,7	5,2	7,9	2	0,4





Certificado de Calibração

Número do certificado: CRL0606/2023

Data da calibração: 10/02/2023

Data da emissão do certificado: 14/02/2023

Atenuação por Banda de Frequência em Relação a Frequência Central					
Banda de Terço de Oitavas					
Frequência (Hz)	VR (dB)	MM (dB)	EA (dB)	ET (dB)	IM (dB)
62,500	124,0	124,0	0	0,5	0,5
78,745	124,0	123,2	0,8	0,9	0,5
99,213	124,0	122,7	1,3	1,4	0,5
125,000	124,0	123,5	0,5	0,7	0,5
157,490	124,0	123,6	0,4	0,6	0,5
198,425	124,0	123,8	0,2	0,5	0,5
250,000	124,0	123,5	0,5	0,7	0,5
314,980	124,0	123,6	0,4	0,6	0,5
396,850	124,0	123,7	0,3	0,6	0,5
500,000	124,0	124,0	0,0	0,5	0,5
629,961	124,0	124,0	0	0,5	0,5
793,701	124,0	124,0	0,0	0,5	0,5
1000,000	124,0	124,0	0	0,5	0,5
1259,920	124,0	123,9	0,1	0,5	0,5
1587,400	124,0	124,0	0	0,5	0,5
2000,000	124,0	124,0	0,0	0,5	0,5
2519,840	124,0	124,0	0	0,5	0,5
3174,800	124,0	124,0	0,0	0,5	0,5
4000,000	124,0	124,0	0	0,5	0,5
5039,680	124,0	124,0	0,0	0,5	0,5
6349,600	124,0	123,9	0,1	0,5	0,5

*Equipamento configurado em ponderação em frequência linear e ponderação temporal fast.





Certificado de Calibração

Número do certificado: CRL0606/2023

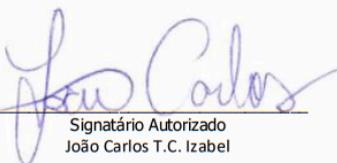
Data da calibração: 10/02/2023

Data da emissão do certificado: 14/02/2023

Atenuação por Banda de Frequência em Relação a Frequência Central					
Banda de Oitavas					
Frequência (Hz)	VR (dB)	MM (dB)	EA (dB)	ET (dB)	IM (dB)
62,500	124,0	123,9	0,1	0,5	0,5
125,000	124,0	123,9	0,1	0,5	0,5
250,000	124,0	123,9	0,1	0,5	0,5
500,000	124,0	123,9	0,1	0,5	0,5
1000,000	124,0	124,0	0,0	0,5	0,5
2000,000	124,0	124,0	0,0	0,5	0,5
4000,000	124,0	123,9	0,1	0,5	0,5
8000,000	124,0	123,9	0,1	0,5	0,5

**Equipamento configurado em ponderação em frequência linear e ponderação temporal fast.*




 Signatário Autorizado
 João Carlos T.C. Izabel

