

PEDRO CÂNCIO NETO

Versão Original

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS VERIFICAÇÕES DE CALIBRAÇÕES DOS
SONÔMETROS REALIZADAS EM UM LABORATÓRIO ACADÊMICO.

São Paulo

2019

PEDRO CÂNCIO NETO

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS VERIFICAÇÕES DE CALIBRAÇÕES DOS
SONÔMETROS REALIZADAS EM UM LABORATÓRIO ACADÊMICO.

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Especialista em
Higiene Ocupacional.

São Paulo
2019

Dedico este trabalho ao meu filho, João
Pedro Varela Assis Câncio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que permitiu e deu condições para que este sonho se realizasse. Sempre iluminando meus caminhos e presente nos momentos difíceis.

Ao Campus Natal-Central (CNAT) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), por ter autorizado a minha participação neste Programa de Pós-graduação.

Ao Me. Alexandre Lúcio Dantas, Professor do IFRN, por ter viabilizado a minha participação nessa Especialização, e aos demais colegas Professores(as) do curso Técnico de Segurança do Trabalho.

Ao Sr. Humberto Dantas de Oliveira Junior, Técnico Administrativo do CNAT, pela colaboração na minha participação nessa Especialização.

A Escola Politécnica (POLI) da Universidade de São Paulo (USP) e ao Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração (LACASEMIN), por ter me aceitado como aluno e pelo apoio.

A todos os Professores e Tutores da Especialização em Higiene Ocupacional pelo aprendizado e orientações.

A todos os colegas da turma (2018) da Especialização em Higiene Ocupacional. Pela convivência, aprendizado e companheirismo de vocês.

Ao Major Alexandre de Oliveira Soares e ao Cabo Patrício Pereira Novais Pimenta pela colaboração no fornecimento dos dados da Companhia Independente de Proteção Ambiental da Polícia Militar (CIPAM).

A todos os queridos familiares, especialmente a minha mãe, Joana D'arc Martins Câncio, a minha irmã e sobrinhos, pelo apoio incondicional. A Nara Tatiana Varela de Assis pelo incentivo e dedicação depositada a mim. Ao meu amado filho, João Pedro Varela Assis Câncio, pelos momentos de alegria e inspiração.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

“Quando me viam, parado e recatado, no meu invisível recanto, eu não estava pasmado. Estava desempenhado, de alma e corpo ocupados: tecia os delicados fios com que se fabrica a quietude. Eu era um afinador de silêncios”.

(Mia Couto)

RESUMO

CÂNCIO NETO, Pedro. **Avaliação dos resultados das verificações de calibrações dos sonômetros realizadas em um laboratório acadêmico.** 2019. 52f. Monografia. (Especialização em Higiene Ocupacional). Programa de Educação Continuada. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

O ruído pode ser definido como um som indesejável, ou seja, um som sem harmonia. Quando um conjunto de ruídos provenientes de uma ou mais fontes sonoras, se manifestam ao mesmo tempo e afetam à saúde ou o sossego público, eles são classificados como uma poluição sonora. Os instrumentos utilizados pelos órgãos de fiscalização para combater a poluição sonora são os sonômetros. Esses instrumentos devem passar por um teste periódico denominado verificação da calibração, onde seu objetivo é averiguar se o instrumento satisfaz as propriedades relativas ao desempenho ou aos requisitos legais impostos ao mesmo. Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar o erro de medição oriundo na verificação da calibração de sonômetros dos órgãos de fiscalização da poluição sonora de municípios do Rio Grande do Norte (RN). Para a realização da verificação da calibração foi utilizado um calibrador de nível sonoro calibrado em um laboratório acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação (Cgcre) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Foram realizadas verificações de calibração em 42 sonômetros dos órgãos de fiscalização da poluição sonora de 7 municípios norte-rio-grandenses. Desse total, 6 instrumentos (14,28%) tiveram as suas médias de leituras e respectivas barras de erro dentro dos limites da tolerância e incerteza do calibrador de nível sonoro utilizado. Os outros 36 sonômetros (85,72%) verificados não respeitaram esses limites impostos no teste. Esses resultados sugerem que um percentual expressivo dos sonômetros utilizados pelos órgãos de fiscalização da poluição sonora, de alguns municípios norte-rio-grandenses, apresentem erros de medição significativos. Dessa maneira, verifica-se a necessidade de ampliar e complementar essa pesquisa com estudos sobre a incerteza de medição de cada sonômetro avaliado, como também um aumento na quantidade de instrumentos avaliados.

Palavras-chave: Poluição sonora. Sonômetro. Medição de Ruído. Viés.

ABSTRACT

CÂNCIO NETO, Pedro. **Avaliação dos resultados das verificações de calibrações dos sonômetros realizadas em um laboratório acadêmico.** 2019. 52f. Monografia. (Especialização em Higiene Ocupacional). Programa de Educação Continuada. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

Noise can be defined as an undesirable sound, that is a sound without harmony. When a set of noises from one or more sound sources simultaneously manifest in any environment and affect public health or quiet, it is classified as noise pollution. The instruments used by the enforcement agencies to combat noise pollution are sound level meters. These instruments must pass a periodic test called calibration verification, where their purpose is to ascertain whether the instrument meets the performance-related properties or legal requirements imposed on it. Therefore, the objective of this study is to evaluate the measurement error arising from the verification of sound meter calibration of the noise pollution inspection agencies of Rio Grande do Norte (RN) municipalities. For calibration verification, a calibrated sound level calibrator was used in a laboratory accredited by the Coordenação Geral de Acreditação (Cgcre) of the Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Calibration checks were performed on 42 sound level meters of the noise pollution inspection agencies of 7 municipalities of Rio Grande do Norte. Of this total, 6 instruments (14.28%) had their readings averages and respective error bars within the tolerance and uncertainty limits of the sound level calibrator used. The other 36 sonometers (85.72%) verified did not respect these limits imposed in the test. These results suggest that a significant percentage of the sound meters used by the noise pollution inspection agencies of some municipalities in the state of Rio Grande do Norte present significant measurement errors. Thus, there is a need to expand and complement this research with studies on the measurement uncertainty of each sound level meter evaluated, as well as an increase in the number of instruments evaluated.

Keywords: Noise. Noise Meters. Noise Measurement. Bias.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais constituintes do ouvido humano.	18
Figura 2 – Onda sonora.....	19
Figura 3 – Relação entre Pa e dB.	22
Figura 4 – Paredão de som.....	30
Figura 5 – Diagrama de blocos de um sonômetro.....	32
Figura 6 – Calibrador de nível sonoro utilizado.	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Outros transtornos do ouvido interno registrados no Brasil.....	25
Gráfico 2 – Outros transtornos do ouvido interno registrados no RN.....	25
Gráfico 3 – Instrumentos analisados pelo LHO.....	36
Gráfico 4 – Instrumentos verificados em 2016.....	37
Gráfico 5 – Erros dos instrumentos calibrados em 2016.....	37
Gráfico 6 – Instrumentos verificados em 2017.....	38
Gráfico 7 – Erros dos instrumentos calibrados em 2017.....	38
Gráfico 8 – Instrumentos calibrados em 2018.....	39
Gráfico 9 – Erros dos instrumentos calibrados em 2018.....	39
Gráfico 10 – Instrumentos calibrados em 2019.....	40
Gráfico 11 – Erros dos instrumentos calibrados em 2019.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermitente.....	26
Tabela 2 – Níveis de pressão sonora e tipos de áreas habitadas.	28
Tabela 3 – Atividades operativas do tipo poluição sonora e apreensão em 2018.....	31
Tabela 4 – Casos de casos de poluição sonora segundo o Gaam/GMN.	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCOHS	<i>Canadian Centre for Occupational Health and Safety</i>
Cgcre	Coordenação Geral de Acreditação
CID	Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde
CIPAM	Companhia Independente de Proteção Ambiental da Polícia Militar (CIPAM)
CMN	Câmara Municipal do Natal
CNAT	Campus Nata-Central
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
Gaam/GMN	Grupamento de Ação Ambiental da Guarda Municipal do Natal
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IFRN	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
INSHT	<i>Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo</i>
LHO	Laboratório de Higiene Ocupacional
MTb	Ministério do Trabalho
NBR	Norma Brasileira
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NR	Norma Regulamentadora

OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
PAIR	Perda Auditiva Induzida pelo Ruído
PMN	Prefeitura Municipal do Natal
RMS	Valor Eficaz
RN	Rio Grande do Norte

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Amplitude
(A)	Círculo de ponderação A
B	Bell
(C)	Círculo de ponderação C
dB	Decibel
f	Frequência
°C	Graus centígrados
K	Quilo
mmHg	Milímetro de mercúrio
MSC	<i>Mile of Standar Cable</i>
%	Porcentagem
P	Potência do sistema
Pa	Pascal
P ₀	Potência de referência
TU	<i>Transmission Unit</i>
V	Volt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
2 REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 O OUVIDO HUMANO.....	18
2.2 O SOM	19
2.3 O DECIBEL	20
2.4 O RUÍDO	22
2.4.1 Efeitos da exposição ao ruído.....	22
2.4.2 Prevalência da exposição ao ruído	23
2.4.3 Regulamentação e limites de exposição ao ruído	26
2.4.3.1 Da exposição ocupacional	26
2.4.3.2 Da exposição ambiental.....	27
2.5 O LABORATÓRIO DE HIGIENE OCUPACIONAL (LHO)	28
2.6 A FISCALIZAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA NO RN	29
2.6.1 Instrumento utilizado na fiscalização da poluição sonora	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5 CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS.....	43
APÊNDICE A – VERIFICAÇÕES DAS CALIBRAÇÕES DE 2016.....	48
APÊNDICE B – VERIFICAÇÕES DAS CALIBRAÇÕES DE 2017.....	50
APÊNDICE C – VERIFICAÇÕES DAS CALIBRAÇÕES DE 2018.....	51
APÊNDICE D – VERIFICAÇÕES DAS CALIBRAÇÕES DE 2019.....	52

1 INTRODUÇÃO

O ruído e seus efeitos não são mais novidades para o ser humano. Em 1700, o médico italiano Bernardino Ramazzini já registrou a nocividade do ruído em sua obra intitulada *De Morbis Artificum Diatriba* (As Doenças dos Trabalhadores), que foi republicada em 2016 pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO).

Nessa obra, quando aborda as “Doenças dos padeiros e moleiros”, Ramazzini (2016, p. 142) constata que:

[...] e porque vivem dia e noite entre o estrépito das rodas e mós e o ruído da água que se precipita de cima, são geralmente surdos, pois o tímpano dos ouvidos, golpeado fortemente, fica como se açoitassem repetidamente e perde seu tom.

Já quando o autor aborda as “Doenças dos bronzistas”, Ramazzini (2016, p. 261) afirma que:

Esses operários existem em todas as cidades e, em Veneza, agrupam-se em um só bairro para, durante o dia inteiro, martelarem o bronze a fim de dar-lhe maleabilidade e fabricar depois com ele vasilhas de diversos tipos, com isso causando tal ruído que os operários que ali têm suas tavernas e seus domicílios fogem todos de um lugar tão incômodo.

Em seguida, ainda tratando sobre as “Doenças dos bronzistas”, Ramazzini (2016, p. 262) constata que:

Primeiramente, o contínuo ruído danifica o ouvido, e depois toda a cabeça; tornam-se um pouco surdos e, se envelhecem no mister, ficam completamente surdos, porque o tímpano do ouvido perde sua tensão natural com a incessante percussão que repercuta, por sua vez, para os lados, no interior da orelha, perturbando e debilitando todos os órgãos da audição; acontece a esses operários o mesmo que se dá com os que vivem às margens do Nilo, tornando-se surdos por causa do estrondo das cataratas.

Atualmente, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 466 milhões de pessoas em todo o mundo têm deficiência auditiva incapacitante¹, e 34 milhões delas são crianças (OMS, 2019).

A OMS também estima que a perda auditiva gera um custo anual de US\$ 750 bilhões no em todos os países do globo. Nesse montante estão incluídos os custos do setor de saúde (excluindo o custo dos aparelhos auditivos), os custos do suporte educacional, a perda de produtividade e os custos sociais (OMS, 2019).

Em países considerados como “em desenvolvimento”, a quantidade de crianças com perda auditiva e surdez sem escolaridade é maior, e consequentemente, os adultos com perda auditiva têm uma maior taxa de desemprego (OMS, 2019).

As causas da perda auditiva e da surdez podem ser congênitas ou adquiridas. Especificamente quanto as causas adquiridas, o ruído excessivo, incluindo ruído ocupacional e a exposição recreativa a sons altos são citados pela OMS como causadores da perda auditiva ou surdez (OMS, 2019).

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2017, p. 1), que tem como missão institucional proteger o meio ambiente, garantir a qualidade ambiental e assegurar a sustentabilidade no uso dos recursos naturais; define poluição sonora como:

Um conjunto de todos os ruídos provenientes de uma ou mais fontes sonoras, manifestadas ao mesmo tempo num ambiente qualquer.

Nesse contexto, como o ruído pode ser tratado como um problema social difuso, a poluição sonora deve ser combatida pelo poder público (BRASIL, 2001).

1.1 OBJETIVO

Este trabalho se propõe a avaliar o erro de medição² oriundo na verificação da calibração de sonômetros dos órgãos de fiscalização da poluição sonora de municípios do Rio Grande do Norte (RN).

¹ Perda auditiva incapacitante se refere à uma perda auditiva superior a 40 dB no melhor ouvido em adultos e a uma perda auditiva superior a 30 dB no melhor ouvido em crianças (OMS, 2019).

² O erro de medição é a diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência (INMETRO, 2012).

1.2 JUSTIFICATIVA

A verificação da calibração é um teste realizado em sonômetros conforme exigência da ABNT NBR IEC 61672-3 com o objetivo de averiguar se o instrumento satisfaz as propriedades relativas ao desempenho ou aos requisitos legais impostos ao mesmo. Caso o sonômetro apresente um erro de medição durante a verificação da calibração, ele deverá sofrer um ajuste para que forneça indicações correspondentes a um calibrador de nível sonoro.

A não realização periódica da verificação da calibração pode acarretar em erro de medição nos sonômetros.

Quando esses erros de medição são oriundos de sonômetros utilizados em fiscalizações do poder público para coibir a poluição sonora, pode-se suscitar demandas judiciais.

Dessa maneira, este trabalho de caráter exploratório, tem como proposta ampliar o conhecimento nesta área e retratar mais detalhadamente os erros oriundos de sonômetros dos órgãos de fiscalização da poluição sonora de 7 municípios norte-rio-grandenses.

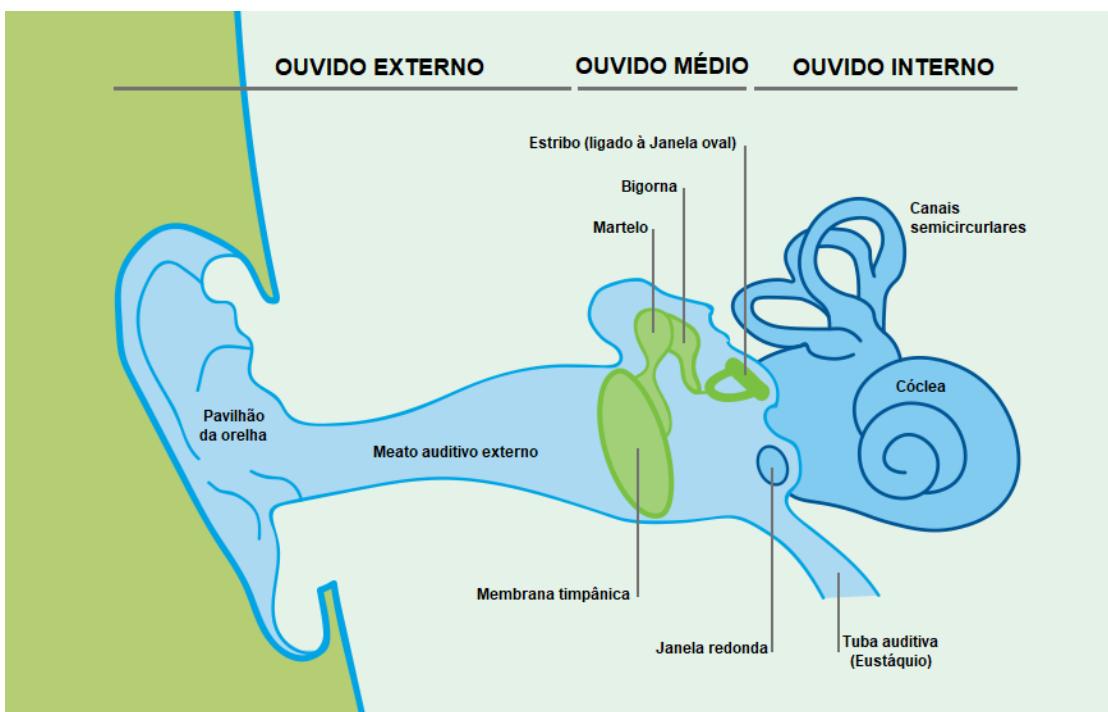
Complementarmente, foram realizadas pesquisas no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) utilizando os descritores “sonômetro” e “erro” ou “sonômetro” e “calibração”, mas não foram encontradas publicações com esses descritores.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O OUVIDO HUMANO

De acordo com a Brüel & Kjaer (2018), o ouvido humano é um complexo sistema composto por três partes, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Principais constituintes do ouvido humano.



Fonte: adaptado de BRÜEL & KJAER, 2018.

Cada uma dessas partes desempenha um papel específico no processo de captação e análise da onda sonora (BRÜEL & KJAER, 2018), sendo elas:

- **Ouvido externo:** formado pela orelha e pelo meato auditivo externo (canal auditivo). A orelha ajuda na localização da fonte sonora e proporciona uma transição suave (canaliza) da onda sonora para o canal auditivo. O canal auditivo guia o som em direção ao tímpano.
- **Ouvido médio:** fornece o acoplamento entre o ouvido externo e o ouvido interno. Sua pressão interna é mantida equalizada por meio da tuba auditiva. Ele atua como um amplificador, aumentando as vibrações do tímpano por meio de três ossículos: martelo, bigorna e estribo (GERGES, 2000).

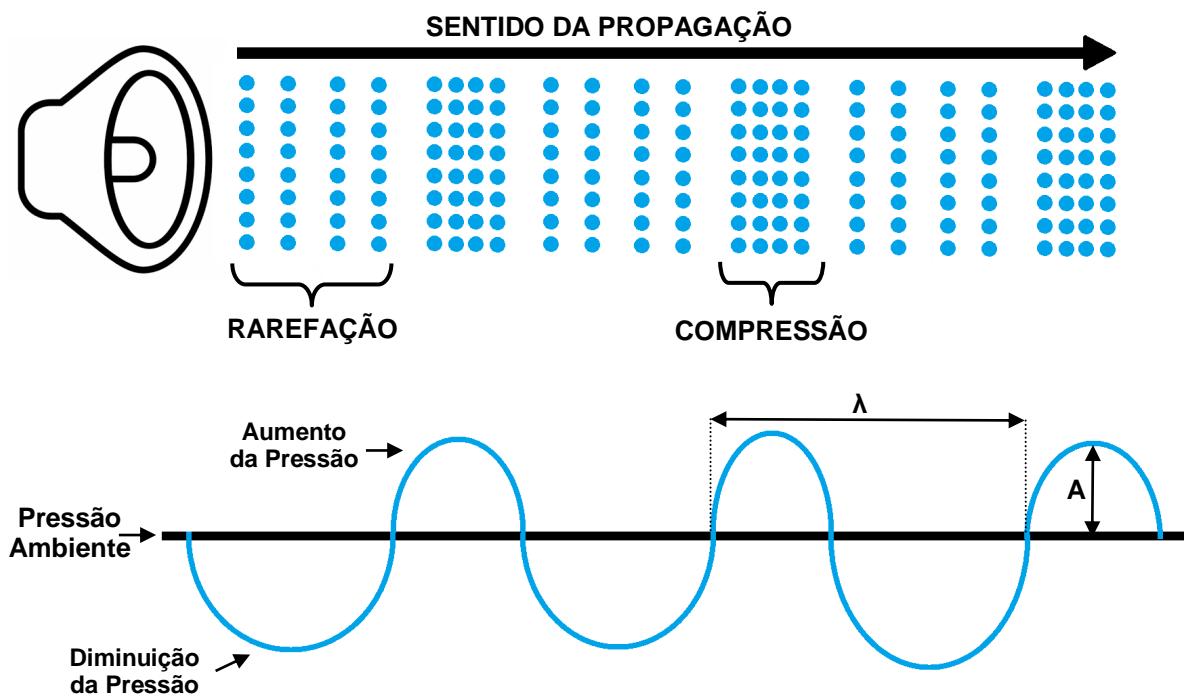
- **Ouvido interno:** composto pelo labirinto vestibular (vestíbulo e canais semicirculares) que funciona como parte do mecanismo de equilíbrio do corpo, e pela cóclea que é um elemento sensorial que converte o som em impulsos nervosos que são percebidos como som.

2.2 O SOM

De acordo com Bistafa (2018), o som é uma variação da pressão ambiente perceptível pelo sistema auditivo. Essa variação da pressão ocorre pela rarefação e compressão das moléculas do meio (GERGES, 2000).

Mesmo que a propagação mais representativa dos sons que ouvimos se dá na forma de ondas esféricas (BISTAFÁ, 2018), para Fantazzini e Oshiro (2007), essa variação da pressão também pode ser representada sob a forma de ondas senoidais, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Onda sonora.



Fonte: Elaboração própria.

Dessa forma, de acordo com Fantazzini e Oshiro (2007), a onda sonora possui como grandezas associadas:

- **Amplitude (A)** - é o valor máximo, considerado a partir de um ponto de equilíbrio, atingido pela pressão sonora. A intensidade da pressão sonora é a determinante do “volume” que se ouve;
- **Comprimento de onda (λ)** - é a distância percorrida para que a oscilação repita o ciclo;
- **Período (T)** - é o tempo para que a onda complete um ciclo. Quando invertido ($1/T$) tem-se a frequência (f).
- **Frequência (f)** - é o número de vezes que a oscilação se repete numa unidade de tempo. A unidade mais usual é o Hertz (Hz). As frequências baixas são representadas por sons graves, enquanto as frequências altas são representadas por sons agudos.

Para que as variações das pressões ambientes sejam percebidas como som pelos seres humanos, a amplitude das ondas e as frequências com que elas se repetem, devem estar dentro de determinadas faixas de valores (GERGES, 2009), sendo elas:

- Uma pressão ambiente mínima de 2×10^{-5} Pa (limiar de audibilidade), e uma pressão ambiente máxima de 200 Pa (limiar da dor);
- Uma banda de frequência de 20 Hz a 20 KHz. Ondas sonoras com frequências inferiores a 20 Hz são denominadas infrassons, enquanto que as ondas sonoras com frequências superiores a 20 KHz são denominadas ultrassons.

2.3 O DECIBEL

Como tratado anteriormente, o ouvido humano é sensível a uma larga faixa de intensidade acústica, variando do limiar de audibilidade (2×10^{-5} Pa) até o limiar da dor (200 Pa). Dessa forma, tem-se que a maior intensidade sonora perceptível pelo ouvido humano é 10.000.000 de vezes maior do que a menor intensidade sonora perceptível (GERGES, 2000).

Devido à dificuldade de se expressar numericamente ordens de grandezas tão distintas, optou-se por utilizar a escala logarítmica (GERGES, 2000).

O desfecho para esse problema foi dado pelo *Bell Telephone Laboratories (Bell Labs)* que desenvolveu em 1923 uma nova unidade denominada *Transmission Unit* (TU) para medir a perda de potência em cabos de telefonia. A TU substituiu a antiga *Mile of Standar Cable (MSC)* (BISTAFA, 2018).

De acordo com Bistafa (2018, p. 30):

A TU tinha a característica essencial de comprimir uma ampla faixa de variação da escala linear de potências por transformação desta em escala logarítmica.

A TU foi renomeada em 1924 como “Bel” (B) em homenagem a Alexander Graham Bell (BISTAFA, 2018). A equação que o define é:

$$bel = \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Onde:

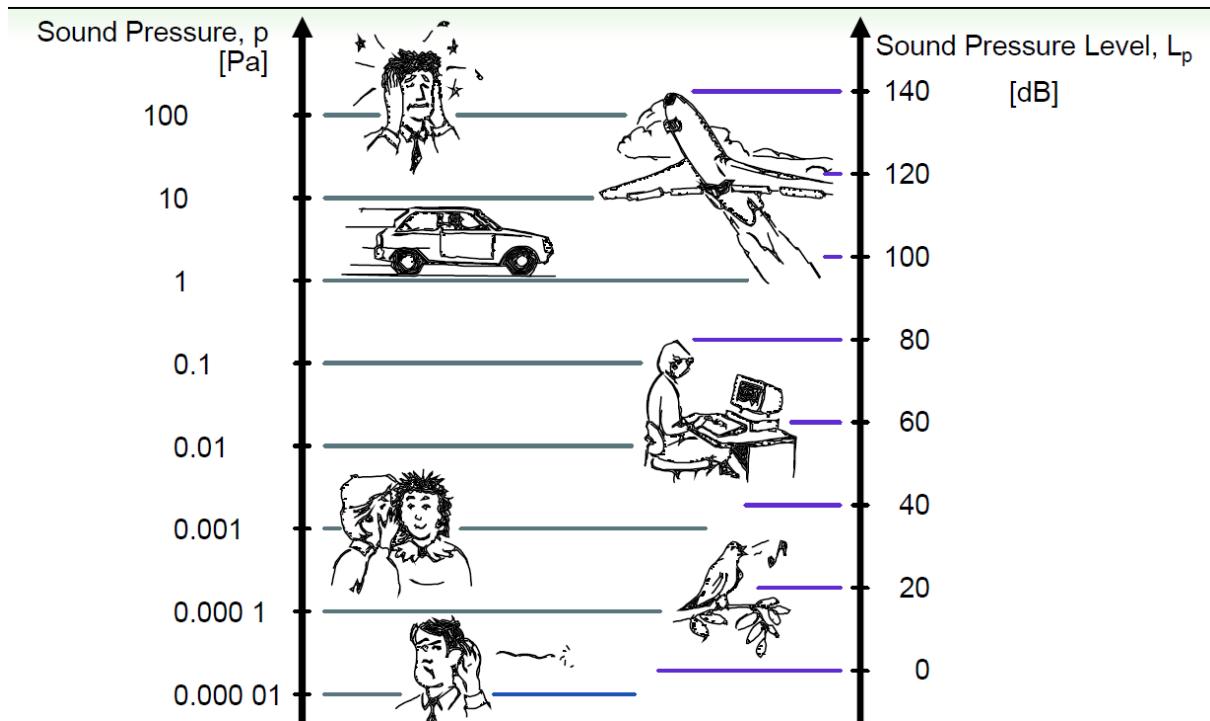
P = potência do sistema;

P_0 = potência de referência.

Porém, o *Bell Labs* observou que era necessário mostrar variações menores que 1 Bel. Portanto, em 1929 os engenheiros do *Bell Labs* criaram o “decibel” (dB) como submúltiplo (1/10) do Bel. Para reforçar a sua viabilidade, foi demonstrado pelo *Bell Labs* que 1 dB era a mínima variação de pressão sonora³ perceptível pelo sistema auditivo humano (BISTAFA, 2018).

Dessa forma, utilizando uma escala logarítmica em dB, toda a faixa audível do ser humano (2×10^{-5} Pa a 200 Pa) foi comprimida de 0 dB a 140 dB, conforme ilustra a Figura 3.

³ A pressão sonora é uma grandeza física que mantém uma forte correlação com a sensação subjetiva da intensidade do som (BISTAFA, 2018).

Figura 3 – Relação entre P_a e dB.

Fonte: BRÜEL & KJAER, [2016], p. 8.

2.4 O RUÍDO

Para o *Canadian Centre for Occupational Health and Safety* (CCOHS) o ruído é um som indesejado. E a diferença entre um som e um ruído irá depender do ouvinte e das circunstâncias (CCOHS, 2014).

Bistafa (2018) também considera o ruído como um som indesejável, e ainda amplia essa definição de ruído para um som sem harmonia.

Por fim, Gerges (2000, p. 41) afirma que: “o som e o ruído não são sinônimos, pois um ruído é apenas um tipo de som, mas um som não é necessariamente um ruído”.

2.4.1 Efeitos da exposição ao ruído

De forma geral, os efeitos da exposição ao ruído são divididos em efeitos auditivos e não auditivos (CCOHS, 2016).

Quanto aos efeitos auditivos, o CCOHS (2016) e Costa et al. (2013) elencam como principais:

- **Zumbido:** são frequentes em trabalhadores com lesões auditivas induzidas pelo ruído. Podem prejudicar a concentração, a atenção e o sono.

- **Trauma acústico:** são danos súbitos ao sistema auditivo causados por ruídos de curta duração e de alta intensidade, como disparos de arma de fogo.
- **Perda auditiva temporária:** tem ocorrência imediata após uma exposição a níveis elevados de ruído. Quando em local calmo, há recuperação gradual do limiar de audição e sua recuperação completa pode durar horas até 48 horas.
- **Perda auditiva permanente:** tem progressão constante ao longo do tempo de exposição. Quando a exposição é cessada, não há recuperação da sensibilidade auditiva. Os seus efeitos só são perceptíveis quando os danos auditivos já são permanentes e irreversíveis. Também pode ter ocorrência a partir de um único evento traumático. Para a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, [2018]) a cirurgia e o aparelho auditivo não corrigem esse tipo de perda auditiva.
- **Hiperacusia:** na medida que o nível de pressão sonora se eleva, provoca uma percepção de som anormal, causando uma sensação de incômodo.
- **Otalgia:** sons excessivamente elevados podem causar “dor no ouvido” e eventualmente causam rupturas timpânicas.

Quanto aos efeitos não auditivos, o CCOHS (2016) e a OSHA ([2018]) citam que o ruído pode:

- interferir na comunicação oral;
- dificultar a escuta dos sinais de alerta;
- causar incômodo;
- aumentar o estresse;
- causar prejuízo a função cardiovascular (hipertensão, alterações na pressão arterial e/ou frequência cardíaca); e
- causar problemas relacionados ao sono.

2.4.2 Prevalência da exposição ao ruído

Apesar de ser um agente de risco historicamente reconhecido (RAMAZZINI, 2016), os efeitos da exposição ao ruído são insidiosos, pois de acordo com a Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2011, p. 2):

Ruídos perigosos não causam derramamento de sangue, não quebram ossos, não produzem tecidos de aspecto estranho e, se os trabalhadores conseguem passar dos primeiros dias ou semanas de exposição, eles geralmente se sentem “acostumados” ao barulho. Mas o que mais provavelmente aconteceu é que eles começaram a sofrer uma perda auditiva temporária que entorpece sua sensibilidade auditiva durante o dia de trabalho e geralmente desaparece durante a noite.

Esse fato contribui para que o progresso da perda auditiva induzida pelo ruído ocorra de forma gradual e silenciosa, somando a isso, tem-se que o ruído é um dos fatores de risco mais comuns (OIT, 2011). Desde ambientes industriais e de produção pesada, como em fazendas e cafetarias, a perda auditiva permanente é a principal preocupação na saúde (CCOHS, 2014).

Em contexto mundial, a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) afirma que 50% das pessoas entre 12 e 35 anos (1,1 bilhão de pessoas) correm o risco de sofrer perda auditiva devido à exposição prolongada e excessiva a sons altos (OPAS, 2019).

Na Espanha, a *VI Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo* demonstrou que em 38% dos postos de trabalho o ruído é irritante, elevado ou muito elevado. Em outros 10,5% o ruído é tão elevado que não permite uma conversa entre pessoas com três metros de distância entre elas, e esta situação afeta 25% dos trabalhadores da indústria e 22% dos trabalhadores da construção civil, que são os setores mais afetados (INSHT, 2012).

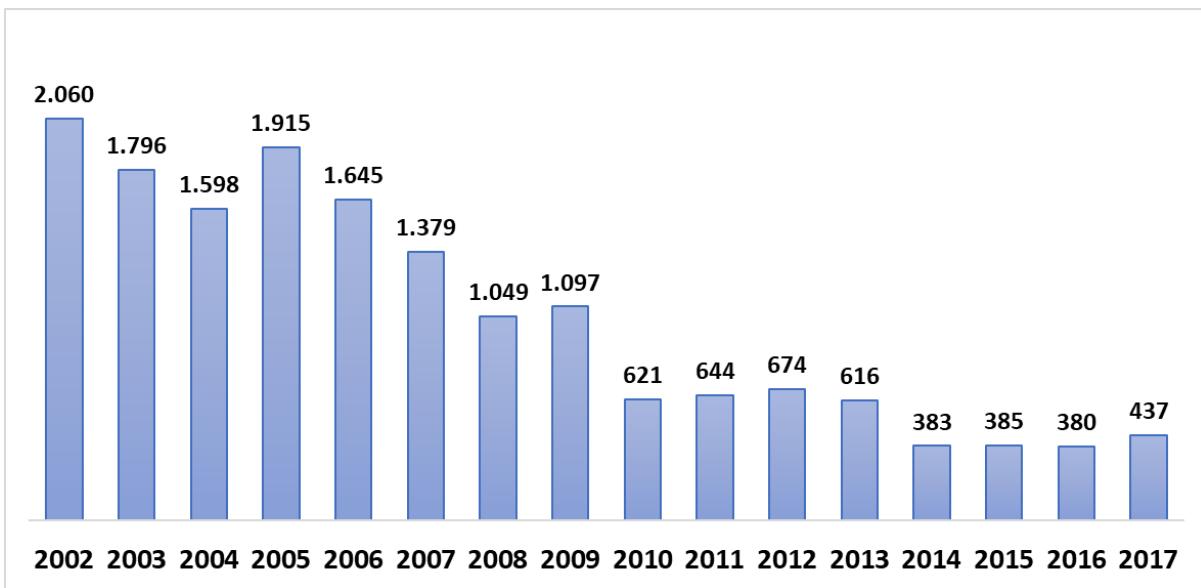
Já nos Estados Unidos, 22 milhões de trabalhadores estão expostos a níveis de ruído perigosos no ambiente de trabalho (NIOSH, 2018).

Especificamente quanto ao setor manufatureiro que emprega 13% da força de trabalho dos Estados Unidos, a perda auditiva ocupacional é a doença ocupacional mais relatada, sendo responsável por 1 de 9 doenças notificadas (NIOSH, 2015).

No Brasil, os casos de Perda Auditiva Induzida pelo Ruído (PAIR) estão inseridas no código H83 (outros transtornos do ouvido interno) da Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde (CID) (BRASIL, 2006).

O Gráfico 1 (INFOLOGO AEAT, 2017) mostra os casos oficialmente registrados pelo governo brasileiro entre os anos de 2002 e 2017.

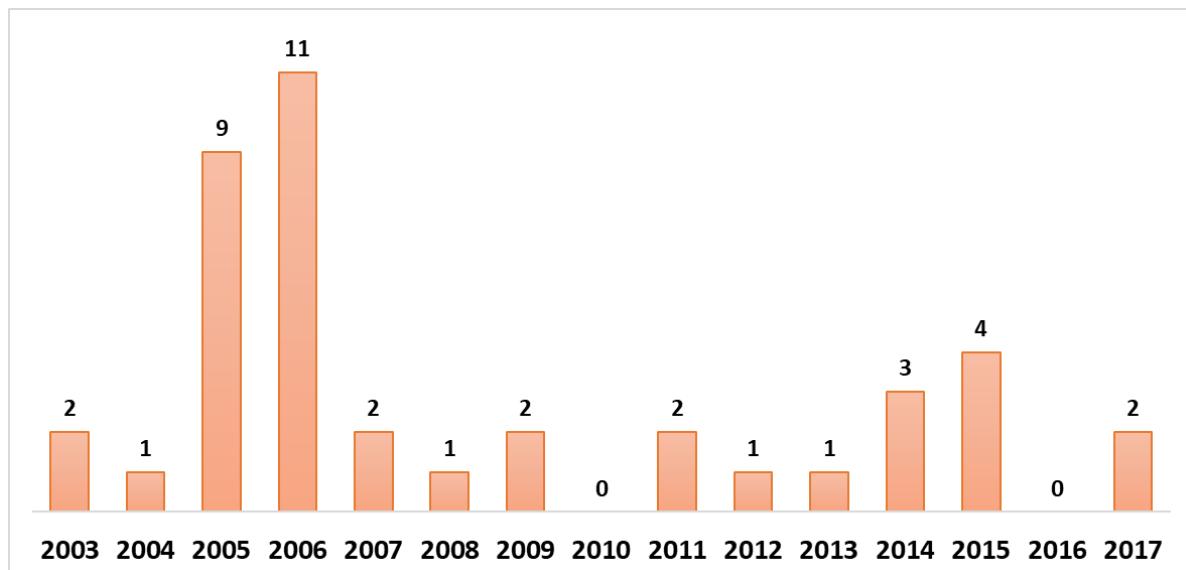
Gráfico 1 – Outros transtornos do ouvido interno registrados no Brasil.



Fonte: INFOLOGO AEAT, 2017.

Especificamente quanto ao Rio Grande do Norte (RN), os casos oficialmente registrados de PAIR (CID H83), no período de 2003⁴ a 2017 são mostrados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Outros transtornos do ouvido interno registrados no RN.



Fonte: INFOLOGO AEAT, 2017.

⁴ Para o ano de 2002 o INFOLOGO AEAT não mostra os casos de CID H83 por estado da federação.

2.4.3 Regulamentação e limites de exposição ao ruído

O Brasil regulamenta a exposição ao ruído em duas vertentes distintas:

- a regulamentação da exposição dos trabalhadores ao ruído em seus ambientes de trabalho; e
- a regulamentação da exposição ao ruído em ambientes externos às edificações, voltados à saúde e ao sossego público.

2.4.3.1 Da exposição ocupacional

A regulamentação da exposição ocupacional ao ruído no Brasil é dada pela Norma Regulamentadora N.º 15 (NR 15), intitulada Atividades e Operações Insalubres. A NR 15 foi aprovada pela Portaria MTb n.º 3.214 de 08/06/78, portanto, ela fez parte do conjunto das primeiras normas regulamentadoras criadas (SECRETARIA DE TRABALHO, 2017).

A exposição ocupacional ao ruído é tratada na NR 15 (SECRETARIA DE TRABALHO, 2017) nos seus dois primeiros anexos:

- **Anexos I – Limites de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermítente:** este tipo de ruído é caracterizado como todo o ruído que não seja de impacto. A medição deve ser realizada em decibéis (dB) com o instrumento operando no circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta (Slow). Na Tabela 1 tem-se os seus limites de exposição.

Tabela 1 – Limites de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermítente.

Nível de Ruído em dB(A)	Máxima Exposição Diária Permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos

100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: SECRETARIA DE TRABALHO, 2017.

- **Anexo II – Ruído de impacto:** este tipo de ruído se caracteriza por apresentar picos de energia acústica de duração inferior a 1 segundo com intervalos entre os picos superiores a 1 segundo. As medições poderão ser realizadas com circuito linear e circuito de resposta para impacto, ou com circuito de resposta rápida (Fast) e circuito de compensação “C”. Os limites de exposição ocupacional para o ruído de impacto serão de 130 dB(linear) ou de 120 dB(C).

2.4.3.2 Da exposição ambiental

A regulamentação da exposição ambiental ao ruído no Brasil é dada pela Resolução CONAMA n.º 01 de 08 de março de 1990 (CONAMA, 1990).

Essa resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1990, p. 1), afirma em seu item I que:

A emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política, obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta Resolução.

Quanto aos critérios e diretrizes citados, o CONAMA (1990, p.1) estabelece que:

São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior, os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela Norma NBR-10.151 - *Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas* visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Atualmente, a NBR 10151 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), está intitulada como “Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral”, tendo sido revisada no ano de 2019 e estando em sua segunda edição (ABNT, 2019).

De acordo com a própria NBR 10151 (ABNT, 2019, p. vii), a mesma é responsável por estabelecer:

[...] os procedimentos técnicos a serem adotados na execução de medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos às edificações, bem como procedimentos e limites para avaliação dos resultados em função da finalidade de uso e ocupação do solo.

Na Tabela 2 tem-se os limites dos níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período.

Tabela 2 – Níveis de pressão sonora e tipos de áreas habitadas.

Tipos de áreas habitadas	Limites de níveis de pressão sonora (dB)	
	Período diurno	Período noturno
Área de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT, 2019, p. 14

2.5 O LABORATÓRIO DE HIGIENE OCUPACIONAL (LHO)

O Laboratório de Higiene Ocupacional (LHO) é parte integrante do Curso Técnico de Segurança do Trabalho do Campus Natal-central (CNAT) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN, 2011).

As disciplinas de “Higiene Ocupacional” e de “Instrumentação em Higiene Ocupacional” fazem parte da atual grade curricular do Curso Técnico de Segurança do Trabalho do Campus Natal-central do IFRN (IFRN, 2011).

Porém, apesar do Curso Técnico de Segurança do Trabalho do Campus Natal-central do IFRN ter sido criado em 1995, apenas em 2014 passa a ter um laboratório dedicado exclusivamente a Higiene Ocupacional (IFRN, 2011).

Além de subsidiar as aulas práticas do Curso Técnico de Segurança do Trabalho, o LHO colabora em projetos de pesquisa e projetos de extensão desenvolvidos no próprio IFRN, na comunidade e/ou em locais de trabalho (IFRN, 2011).

Especificamente na área da extensão, o LHO já colaborou com algumas instituições do Estado do Rio Grande do Norte (RN), como:

- Companhia Independente de Proteção Ambiental da Polícia Militar (CIPAM);
- Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA);
- Justiça Eleitoral do Estado do Rio Grande do Norte;
- Polícia Militar dos Municípios de Caicó, Santa Cruz, Taipu e Tangará; e
- Prefeitura Municipal de Parnamirim.

2.6 A FISCALIZAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA NO RN

De acordo com o Capítulo III da Constituição do Estado do Rio Grande do Norte (RN, 2000, p. 5), é da Competência do Estado:

Proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas.

Especificamente quanto a poluição sonora, a Lei Estadual n.º 6.621, de 12 de julho de 1994, afirma em seu Artigo 1º (RN, 1994) que:

É vedado perturbar a tranquilidade e o bem estar da comunidade norte-rio-grandense com ruídos, vibrações, sons excessivos ou incômodos de qualquer natureza emitidos por qualquer forma em que contrariem os níveis máximos fixados nesta Lei.

Dos 7 municípios norte-rio-grandenses aos quais o LHO colaborou com os seus respectivos órgãos de fiscalização da poluição sonora, apenas o município de Natal possui uma legislação municipal que versa sobre o tema em questão.

Dessa forma, especificamente quanto ao Município do Natal, capital do RN, o seu Código do Meio Ambiente (Lei n.º 4.100, de 19 de junho de 1992), dedica o Capítulo VII especificamente a poluição sonora.

De acordo com o seu Artigo 81, o Capítulo VII do Código do Meio Ambiente do Natal (NATAL, 1992), dispõe:

[...] sobre as condições e requisitos necessários para preservar e manter a saúde e a tranquilidade da população mediante controle de ruídos e vibrações originados em atividades industriais, comerciais, domésticas, recreativas, sociais, desportivas, de transporte ou outras atividades análogas, sem prejuízo do estabelecido na legislação federal e estadual.

E ainda, tem-se no Parágrafo Único do Artigo 81 (NATAL, 1992), que:

Fica proibido produzir ruídos e vibrações prejudiciais ao ambiente, à saúde pública, à segurança, ao bem-estar e ao sossego público ou da vizinhança.

Porém, devido a constante presença de instrumentos de som automotivos popularmente conhecidos como “paredões de som” (Figura 4) em locais públicos, prejudicando o bem-estar e ao sossego público, a Câmara Municipal do Natal (CMN) aprovou e Prefeitura Municipal do Natal (PMN) sancionou a Lei n.º 6.246 de 20 de maio de 2011 (NATAL, 2011), que:

Proíbe o funcionamento dos instrumentos de som automotivos popularmente conhecidos como paredões de som nas vias, praças, praias e demais logradouros públicos no âmbito do Município de Natal, e dá outras providências.

Figura 4 – Paredão de som.



Fonte: Natal, 2019.

Os órgãos públicos responsáveis pela aplicação da legislação natalense sobre poluição sonora são: a Companhia Independente de Proteção Ambiental da Polícia Militar (CIPAM) e o Grupamento de Ação Ambiental da Guarda Municipal do Natal (Gaam/GMN).

Na Tabela 3, observam-se as ocorrências policiais envolvendo a poluição sonora e as apreensões de paredões durante os meses dos anos de 2018 e de 2019, de acordo com o Mapa de Produtividade da CIPAM (2019).

Tabela 3 – Atividades operativas do tipo poluição sonora e apreensão em 2018.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	6	0	1	0	0	9	2	0	1	1	1	1
2019	27	6	7	2	5	1	-	-	-	-	-	-

Fonte: CIPAM, 2019.

Complementarmente, de acordo com a Prefeitura do Natal (NATAL, 2019) a quantidade de denúncias dos casos de poluição sonora em Natal dobrou no primeiro quadrimestre de 2019 (221 ocorrências), em relação ao mesmo período de 2018 (102 ocorrências), conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Casos de casos de poluição sonora segundo o Gaam/GMN.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	36	20	18	28	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	59	67	73	22	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: NATAL, 2019.

2.6.1 Instrumento utilizado na fiscalização da poluição sonora

A medição dos níveis de pressão sonora para fins de monitoramento sonoro de ruído é realizada com um instrumento denominado sonômetro (ABNT, 2019).

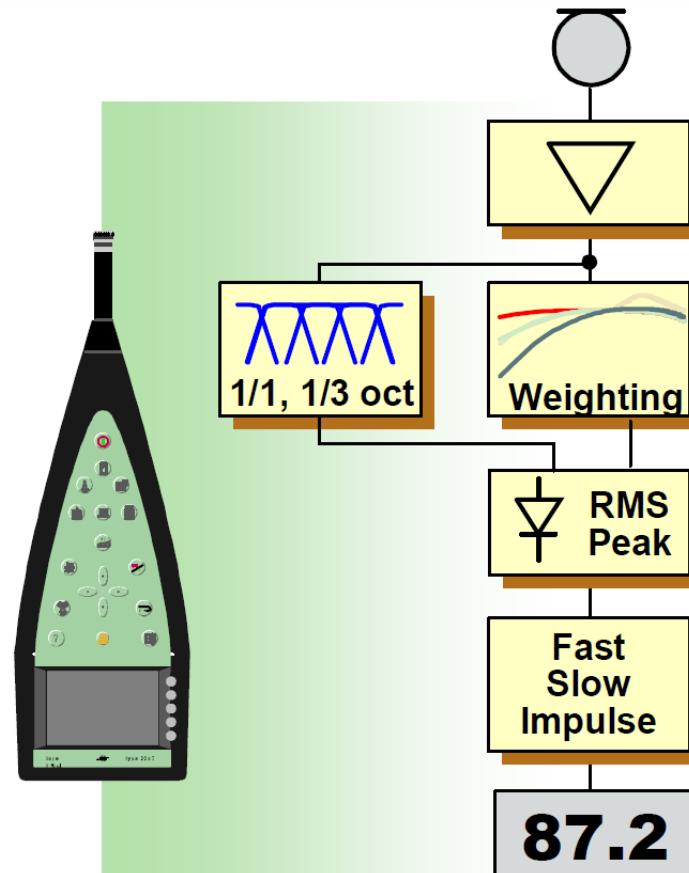
De acordo com Bistafa (2018), o sonômetro é um instrumento capaz de transformar a pressão sonora em um sinal elétrico equivalente para em seguida expressá-lo em termos de nível de pressão sonora.

Os componentes básicos de um sonômetro (BISTAFA, 2018, p. 88) são:

- **Microfone**: responsável por converter a pressão sonora em um sinal elétrico equivalente;
- **Pré-amplificador**: amplifica o sinal elétrico oriundo do microfone;
- **Filtro Ponderador**: filtra o sinal para simular a resposta do ouvido humano nas diferentes frequências;
- **Filtros de 1/n oitava (opcional)**: filtra o sinal em bandas de frequências;
- **Detector de Valor Eficaz (RMS)**: extrai o valor eficaz da forma de onda incidente;
- **Ponderador Temporal**: estabelece a rapidez com a qual o instrumento irá responder a variação do sinal;
- **Dispositivo indicador**: responsável por permitir a leitura do nível de pressão sonora processado.

Esquematicamente, os circuitos citados acima são ilustrados na Figura 5.

Figura 5 – Diagrama de blocos de um sonômetro.



Fonte: adaptado de BRÜEL & KJAER, [2016], p. 30.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os critérios e métodos utilizados na verificação da calibração dos instrumentos analisados pelo Laboratório de Higiene Ocupacional (LHO).

Os materiais e métodos selecionados foram empregados de forma que representassem as reais condições dos instrumentos verificados.

Como forma de preservar os órgãos de fiscalização da poluição sonora dos 7 municípios avaliados, os mesmos foram renomeados com as letras “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “F” e “G”.

Os instrumentos utilizados pelos órgãos de fiscalização e seus respectivos fabricantes também foram omitidos neste trabalho.

Para os cálculos das médias, erros e plotagens dos gráficos foi utilizado o software Microsoft® Excel® para Office 365.

3.1 O TESTE REALIZADO

O teste realizado nesta pesquisa se enquadra como uma verificação da calibração⁵ de sonômetro conforme a ABNT NBR IEC 61672-3 (ABNT, 2018).

A verificação da calibração realizada em cada instrumento seguiu as orientações do seu respectivo manual.

Antes do início da verificação da calibração, todas as pilhas (1,5 V) ou baterias (9 V) tiveram as suas tensões verificadas por meio de um multímetro. Caso houvesse uma variação de 0,1 V do seu valor nominal, a pilha ou a bateria seria trocada por uma nova.

Em todos os instrumentos verificados, foi aplicado um nível de pressão sonora de 94 dB com uma frequência de 1000 Hz por meio de um calibrador de nível sonoro.

⁵ De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) a verificação da calibração é o ajuste de um sistema de calibração (INMETRO, 2012, p. 27). Já o ajuste de um sistema de calibração é definido como o conjunto de operações efetuadas num sistema de medição, de modo que ele forneça indicações prescritas correspondentes a determinados valores duma grandeza a ser medida (INMETRO, 2012, p. 36).

O microfone dos instrumentos foi inserido no orifício do calibrador de nível sonoro de forma que os dois ficassem alinhados para evitar vazamento do som oriundo do calibrador ou a infiltração do som ambiente.

Após o devido alinhamento do microfone do sonômetro no calibrador de nível sonoro, ambos eram ligados e aguardava-se 1 minuto para a estabilização dos mesmos, onde era realizada a primeira leitura do nível de pressão sonora no sonômetro em teste.

Em seguida, apenas o sonômetro era desligado e novamente ligado. Após 1 minuto para o mesmo se estabilizar novamente, era realizada a segunda leitura do nível de pressão sonora.

Após a segunda leitura, o procedimento no sonômetro era realizado mais uma vez com intuito de se obter uma terceira leitura do nível de pressão sonora.

Durante as três leituras realizadas para cada instrumento analisado pelo LHO são mantidas as condições de repetibilidade de medição⁶.

Durante os testes, as condições ambientais do LHO são mantidas constantes em:

- Temperatura de 22,0 °C / ± 1 °C;
- Umidade relativa de 55% / ± 5%.

3.2 O CALIBRADOR DE NÍVEL SONORO

O calibrador de nível sonoro utilizado nesta pesquisa (Figura 6) foi fabricado pela Instrutherm, modelo CAL-3000, e possui as seguintes características metrológicas:

- Tipo 1;
- Nível de pressão de sonora de 94 dB ou 114 dB;
- Precisão de ± 0,5 dB (20 °C, 760 mmHg);
- Frequência de 1000 + 2,4% Hz
- Aplicado em ponderação A, B, C ou D e sistema linear;
- Compatível com microfones de 1" e 1/2"

⁶ Condição de repetibilidade de medição é a condição de medição num conjunto de condições, as quais incluem o mesmo procedimento de medição, os mesmos operadores, o mesmo sistema de medição, as mesmas condições de operação e o mesmo local, assim como medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares durante um curto período de tempo (INMETRO, 2012, p. 22).

Figura 6 – Calibrador de nível sonoro utilizado.



Fonte: Elaboração própria

O calibrador de nível sonoro utilizado foi calibrado em um laboratório acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação (Cgcre) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) em acordo com a Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025.

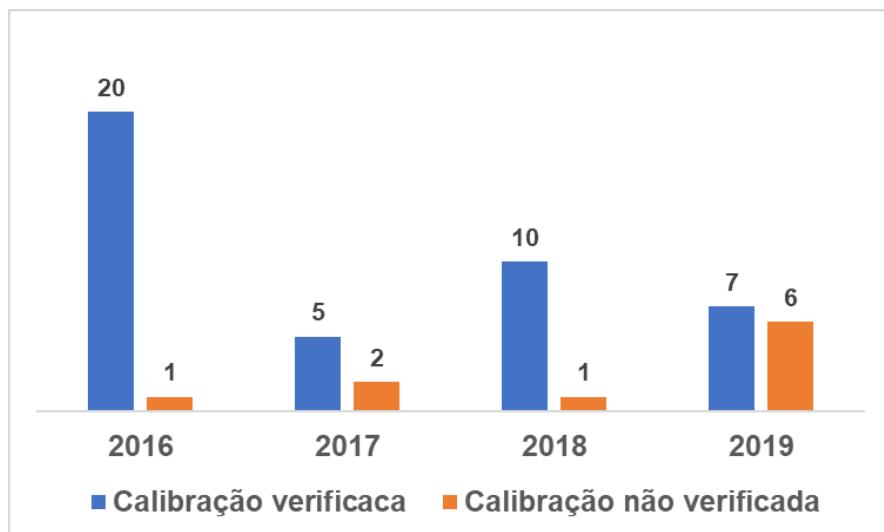
A incerteza de medição observada no Certificado de Calibração do calibrador de nível sonoro utilizado nesta pesquisa é de 0,14 dB.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos pelo Laboratório de Higiene Ocupacional (LHO) das análises dos instrumentos dos órgãos de fiscalização da poluição sonora em alguns municípios do Rio Grande do Norte (RN). Os resultados aqui apresentados, não abrangem os instrumentos de todos os órgãos fiscalizadores que atuam no RN, mas apenas aqueles que solicitaram a realização do ensaio ao LHO.

Dessa forma, tem-se que do ano de 2016 até o mês de agosto do ano de 2019, foram solicitadas ao LHO as análises de 52 sonômetros, como mostra o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Instrumentos analisados pelo LHO.



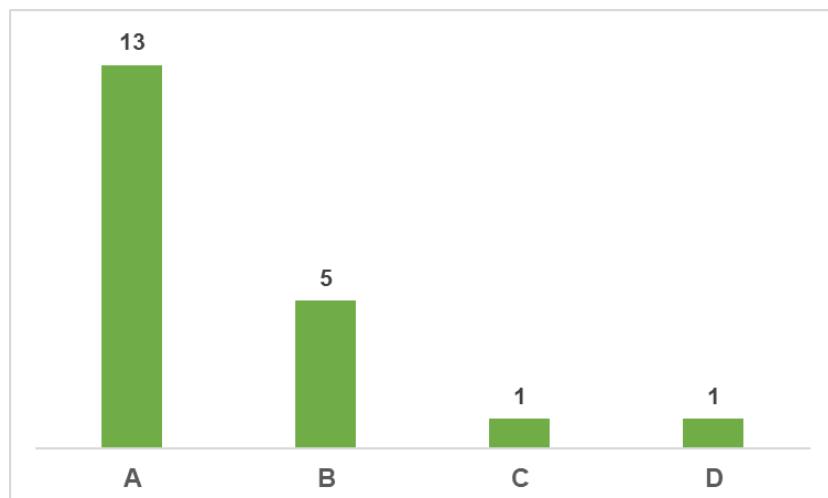
Fonte: Elaboração própria.

De um total de 52 sonômetros, 10 sonômetros (19,23%) não tiveram suas calibrações verificadas, pois apresentaram defeitos como:

- Não ligar;
- Apresentar picos aleatórios de nível de pressão sonora;
- Se manter em um mesmo nível de pressão sonora, mesmo com ajuste em seu potenciômetro de calibração; e
- O instrumento não possuir um potenciômetro de calibração.

Dessa forma, no ano de 2016 foram realizadas 20 verificações de calibrações para os órgãos de fiscalização de 4 municípios norte-rio-grandenses (A, B, C e D), conforme se observa no Gráfico 4.

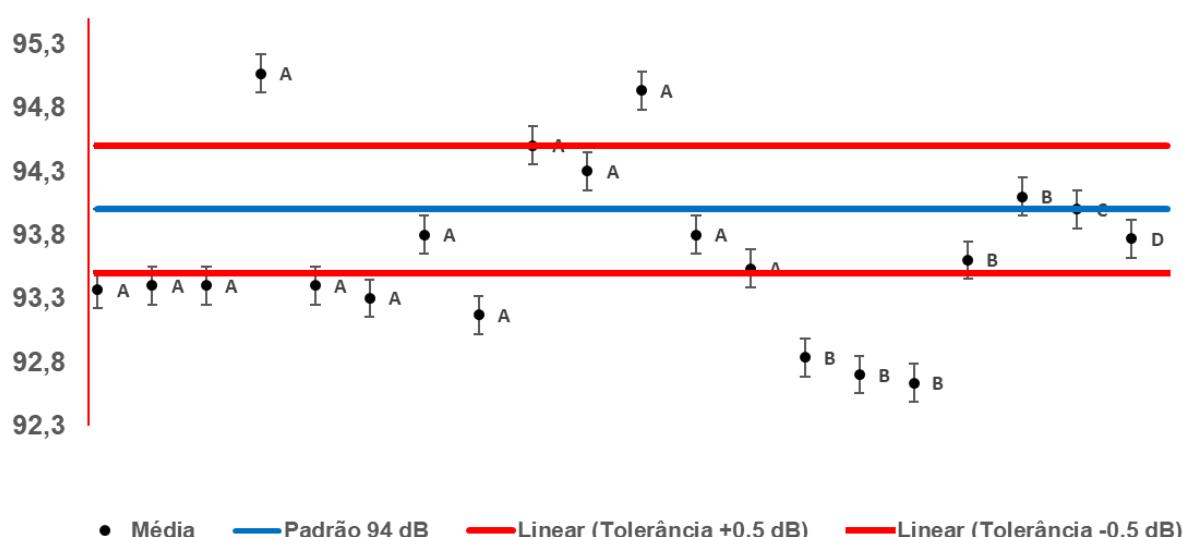
Gráfico 4 – Instrumentos verificados em 2016.



Fonte: Elaboração própria.

Os valores indicados pelos sonômetros e seus respectivos erros podem ser visualizados no Apêndice A – Verificações das calibrações de 2016. O Gráfico 5 ilustra a média dos valores indicados e suas respectivas barras de erro vertical.

Gráfico 5 – Erros dos instrumentos calibrados em 2016.

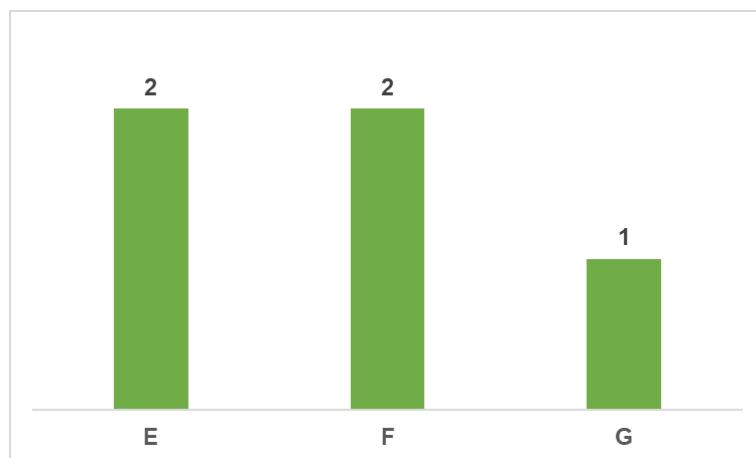


Fonte: Elaboração própria.

Observando o Gráfico 5, tem-se que dos 20 instrumentos que tiveram calibrações verificadas, apenas 6 instrumentos (30%) tiveram as médias das leituras e as respectivas barras de erro dentro dos limites da tolerância e incerteza do calibrador utilizado.

Já no ano de 2017 foram realizadas 5 verificações de calibrações para os órgãos de fiscalização de 3 municípios, conforme se observa no Gráfico 6.

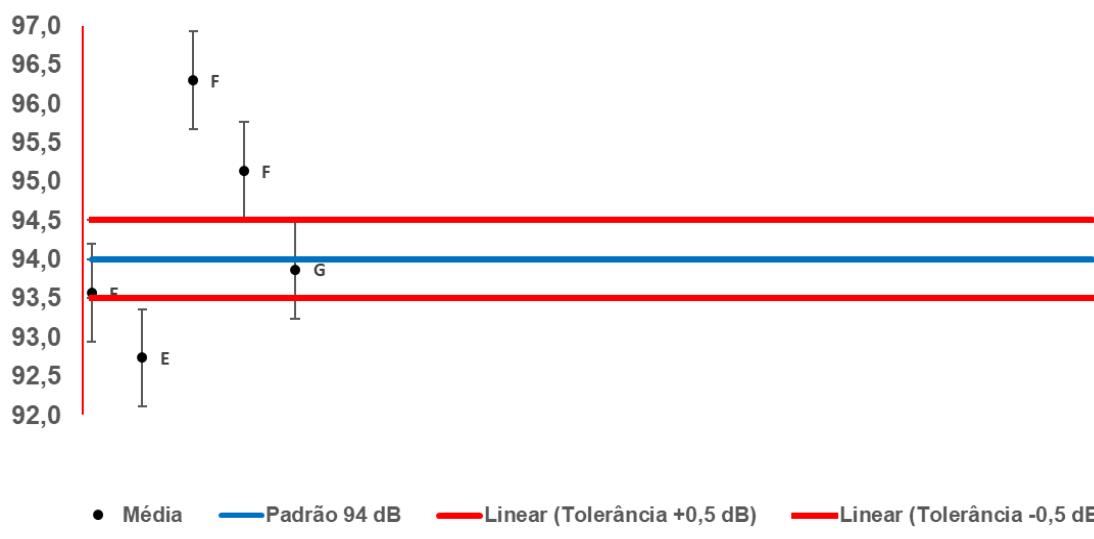
Gráfico 6 – Instrumentos verificados em 2017.



Fonte: Elaboração própria.

No Apêndice B – Verificações das calibrações de 2017 poderão ser visualizados os valores indicados pelos sonômetros e seus respectivos erros. O Gráfico 7 ilustra a média dos valores indicados e sua respectiva barra de erro vertical.

Gráfico 7 – Erros dos instrumentos calibrados em 2017.

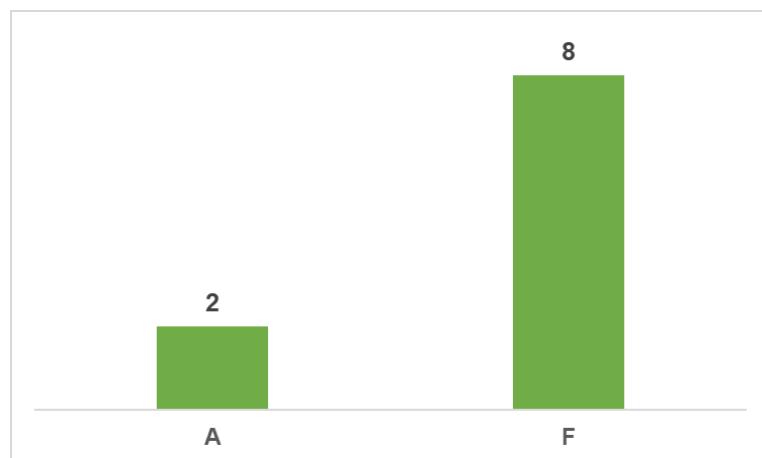


Fonte: Elaboração própria.

Analizando o Gráfico 7, tem-se que dos 5 instrumentos que tiveram suas calibrações verificadas, nenhum dos instrumentos (0%) tiveram a média das leituras e as respectivas barras de erro dentro dos limites da tolerância e incerteza do calibrador utilizado.

No ano de 2018 foram realizadas 10 verificações de calibrações para os órgãos de fiscalização de 2 municípios, conforme se observa no Gráfico 8.

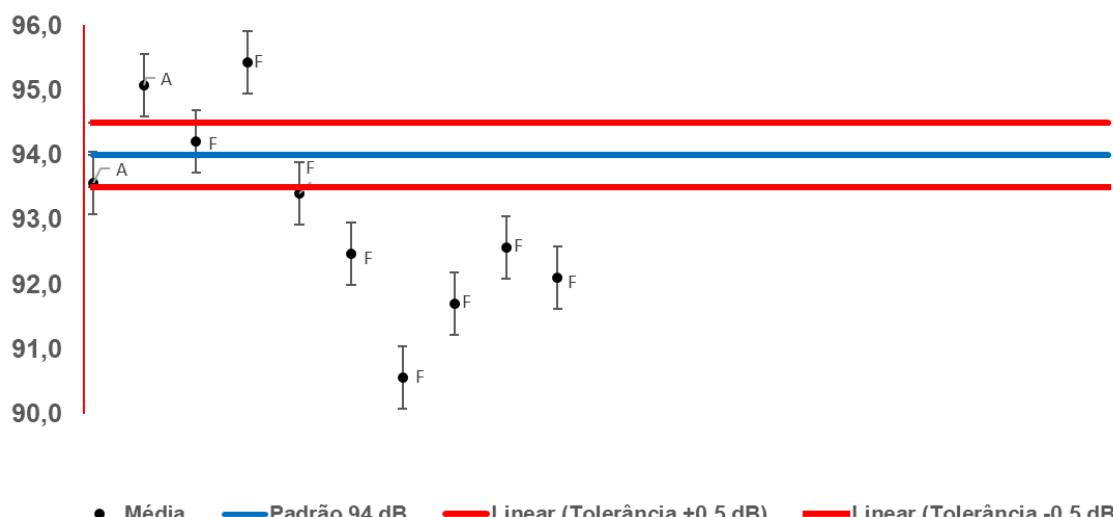
Gráfico 8 – Instrumentos calibrados em 2018.



Fonte: Elaboração própria.

No Apêndice C – Verificações das calibrações de 2018 poderão ser visualizados os valores indicados pelos sonômetros e seus respectivos erros. O Gráfico 9 ilustra a média dos valores indicados e sua respectiva barra de erro vertical.

Gráfico 9 – Erros dos instrumentos calibrados em 2018.

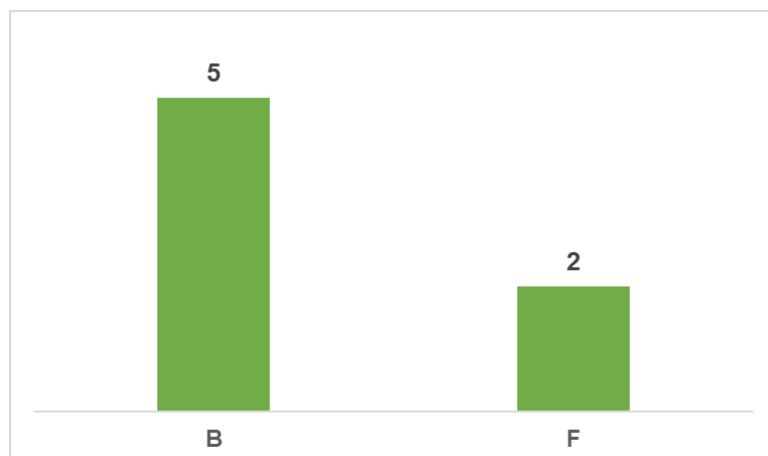


Fonte: Elaboração própria.

Analizando o Gráfico 9, tem-se que dos 10 instrumentos que tiveram suas calibrações verificadas, nenhum dos instrumentos (0%) tiveram a média das leituras e as respectivas barras de erro dentro dos limites da tolerância e incerteza do calibrador utilizado.

Até o mês de agosto de 2019 foram realizadas 7 verificações de calibrações para os órgãos de fiscalização de 2 municípios, conforme se observa no Gráfico 10.

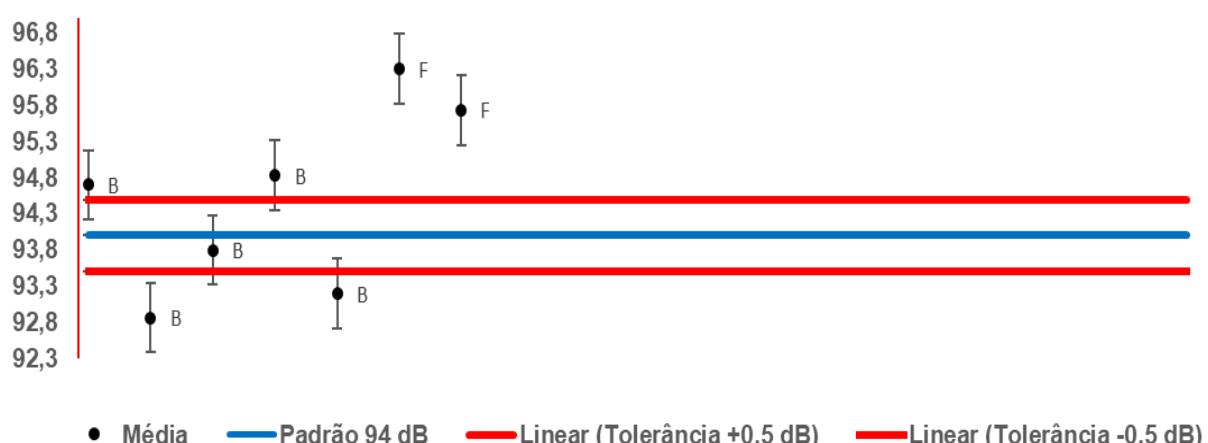
Gráfico 10 – Instrumentos calibrados em 2019.



Fonte: Elaboração própria.

Os valores indicados pelos sonômetros e seus respectivos erros podem ser visualizados no Apêndice D – Verificações das calibrações de 2019 e o Gráfico 11 ilustra a média dos valores indicados e sua respectiva barra de erro vertical.

Gráfico 11 – Erros dos instrumentos calibrados em 2019.



Fonte: Elaboração própria.

Analizando o Gráfico 11, tem-se que dos 7 instrumentos que tiveram suas calibrações verificadas, nenhum dos instrumentos (0%) tiveram a média das leituras e as respectivas barras de erro dentro dos limites da tolerância e incerteza do calibrador utilizado.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram avaliados quantitativamente os erros de medição de sonômetros utilizados pelos órgãos de fiscalização de poluição sonora de sete municípios norte-rio-grandenses.

Tais erros de medição foram obtidos durante a verificação da calibração desses sonômetros quando comparados a um calibrador de nível sonoro.

Os resultados obtidos alcançaram o objetivo proposto e permitiram retratar e caracterizar com mais detalhes o erro de medição desses sonômetros.

Durante os anos de 2016 a agosto de 2019, o Laboratório de Higiene Ocupacional (LHO) realizou 42 verificações de calibração, onde 6 instrumentos (14,28%) tiveram as suas médias de leituras e respectivas barras de erro dentro dos limites da tolerância e incerteza do calibrador de nível sonoro utilizado. Os outros 36 sonômetros (85,72%) verificados não tiveram as suas médias de leituras com respectivas barras de erro dentro dos limites da tolerância e incerteza do calibrador de nível sonoro utilizado.

Esses resultados sugerem que um percentual expressivo dos sonômetros utilizados pelos órgãos de fiscalização da poluição sonora, de alguns municípios norte-rio-grandenses, apresentam erros de medição significativos.

Os erros de medição dos sonômetros avaliados podem ter origem na qualidade dos instrumentos adquiridos pelos órgãos de fiscalização norte-rio-grandenses, como também na falta de uma política para a preservação das propriedades metrológicas desses instrumentos.

Para estudos futuros, sugere-se que além do erro de medição também seja calculada a incerteza de medição para cada sonômetro avaliado, como também aumentar a quantidade de instrumentos avaliados.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral.** 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 24 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 61672-3: Eletroacústica - Sonômetros - Parte 3: Testes periódicos.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 21 p.

BISTAFA, Sylvio Reynaldo. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** – 3. Ed. – São Paulo: Blucher, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. **Perda auditiva induzida por ruído (Pair).** Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2006. 40 p.

BRASIL, Ambiente. **Poluição Sonora:** O ruído de trânsito de veículos automotores é o que mais contribui na poluição sonora e cresce muito nas grandes cidades brasileiras, agravando a situação. 2001. Disponível em: <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/urbano/poluicao/poluicao_sonora.html>. Acesso em: 28 ago. 2019.

BRÜEL & KJAER. **Anatomy of the human ear.** 2018. Disponível em: <<https://www.bksv.com/pt-BR/about/waves/WavesArticles/2018/Anatomy-of-the-human-ear>>. Acesso em: 29 ago. 2019.

BRÜEL & KJAER. **Introduction to Acoustics.** [S. I.], [2016].

CCOHS. CANADIAN CENTRE FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY. **Noise - Basic Information.** 2014. Disponível em: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/noise_basic.html>. Acesso em: 12 ago. 2019.

CCOHS. CANADIAN CENTRE FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY. **Noise - Auditory Effects.** 2016. Disponível em: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/noise_auditory.html>. Acesso em: 18 ago. 2019.

CCOHS. CANADIAN CENTRE FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY. **Noise - Non-Auditory Effects.** 2016. Disponível em: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/non_auditory.html>. Acesso em: 18 ago. 2019.

CIPAM. COMPANHIA INDEPENDENTE DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. **Mapa de Produtividade.** 2019.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Conama n.º 1, de 8 de março de 1990. **Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.** 1990. Brasília, DF.

COSTA, Evandro Andrade da; MORATA, Thaís Catalani; KITAMURA, Satoshi. Doenças do Ouvido Relacionadas com o Trabalho. In: MENDES, René. **Patologia do Trabalho.** 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2013. Cap. 35. p. 1138-1166.

FANTAZZINI, Mario Luiz; OSHIRO, Maria Cleide Sanchez. **Técnicas de avaliação de agentes ambientais: manual SESI.** Brasília: SESI/DN, 2007.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Ruído: Fundamentos e Controle.** 2. ed. Florianópolis: Nr Editora, 2000. 696 p.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Manual de Saúde e Segurança do Trabalho.** 2. ed., 2009, 727 p.

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Programa Silêncio.** 2017. Disponível em:

<<https://www.ibama.gov.br/emissoes/ruidos/programa-silencio>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

IFRN. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE. **Projeto Pedagógico do Curso Técnico de Nível Médio em Segurança do Trabalho na forma Subsequente, na modalidade presencial.** 2011.

INFOLOGO AEAT (Brasil). Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. **Bases de Dados Históricos de Acidentes de Trabalho.** 2017. Disponível em: <<http://www3.dataprev.gov.br/AEAT/>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012).** Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.

INSHT. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. **Ruido: más peligroso de lo que parece.** Madrid: INSHT, 2012.

NATAL (Município). Lei n.º 4.100, de 19 de junho de 1992. **Dispõe sobre o Código do Meio Ambiente do Município do Natal.** Natal, RN.

NATAL (Município). Lei n.º 6.246, de 20 de maio de 2011. **Proíbe o funcionamento dos instrumentos de som automotivos popularmente conhecidos como paredões do som nas vias, praças, praias e demais logradouros públicos no âmbito do Município de Natal, e dá outras providências.** Natal, RN.

NATAL. PREFEITURA DO NATAL. **Cresce número de denúncias contra paredões de som em Natal.** 2019. Disponível em: <<https://www.natal.rn.gov.br/noticia/ntc-30367.html>>. Acesso em: 21 ago. 2019.

NIOSH. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (Estados Unidos). **Pérdida auditiva inducida por el trabajo.** 2015. Disponível em: <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2010-136_sp/>. Acesso em: 12 ago. 2019.

NIOSH. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (Estados Unidos). **Controls for Noise Exposure.** 2018. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/topics/noisecontrol/>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

OIT. ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. **Noise: The nature and the effects of noise.** In: ILO Encyclopaedia of Occupational Health and Safety. 4. ed. Genebra: OIT, 2011. Cap. 47. Disponível em: <<http://www.iloencyclopaedia.org/part-vi-16255/noise>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

OMS. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Surdez e perda auditiva.** 2019. Disponível em: <<https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>>. Acesso em: 28 ago. 2918.

OPAS. ORGANIZAÇÃO PAN AMERICANA DA SAÚDE (Brasil). **OMS e União Internacional de Telecomunicações recomendam novo padrão global para prevenir perda auditiva entre 1,1 bilhão de pessoas.** 2019. Disponível em: <https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5869:oms-e-uniao-internacional-de-telecomunicacoes-recomendam-novo-padro-global-para-prevenir-perda-auditiva-entre-1-1-bilhao-de-pessoas&Itemid=839>. Acesso em: 13 ago. 2019.

OSHA. OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Occupational Noise Exposure: Health Effects** [2018]. Disponível em: <<https://www.osha.gov/SLTC/noisehearingconservation/healtheffects.html>>. Acesso em: 18 ago. 2019.

RAMAZZINI, Bernardino. **As doenças dos trabalhadores.** Tradução de Raimundo Estréla. – 4. ed. – São Paulo: Fundacentro, 2016.

RN. RIO GRANDE DO NORTE. **Constituição do Estado do Rio Grande do Norte**, de 14 de novembro de 2000. Natal, RN.

RN. RIO GRANDE DO NORTE. Lei n.º 6.621, de 12 de julho de 1994. **Dispõe sobre o controle da poluição sonora e condicionantes do meio ambiente no Estado do Rio Grande do Norte e dá outras providências**. Natal, RN.

SECRETARIA DE TRABALHO. **NORMA REGULAMENTADORA N.º 15 (NR 15)**: Atividades e Operações Insalubres. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR-15.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2019.

APÊNDICE A – VERIFICAÇÕES DAS CALIBRAÇÕES DE 2016.

Órgão de Fiscalização	N.º de Série do Sonômetro	Valores dB(A)	Referência dB(A)	Erro dB(A)
A	10044225	93,3	94,0	-0,7
		93,4	94,0	-0,6
		93,4	94,0	-0,6
	1004200	93,4	94,0	-0,6
		93,4	94,0	-0,6
		93,4	94,0	-0,6
	1002901	93,4	94,0	-0,6
		93,4	94,0	-0,6
		93,4	94,0	-0,6
	1004201	95,0	94,0	1,0
		95,1	94,0	1,1
		95,1	94,0	1,1
	1004224	93,4	94,0	-0,6
		93,4	94,0	-0,6
		93,4	94,0	-0,6
	1004205	93,3	94,0	-0,7
		93,3	94,0	-0,7
		93,3	94,0	-0,7
	D4020.3810	93,8	94,0	-0,2
		93,8	94,0	-0,2
		93,8	94,0	-0,2
	D4020.3808	93,1	94,0	-0,9
		93,2	94,0	-0,8
		93,2	94,0	-0,8
	D4020.3805	94,5	94,0	0,5
		94,5	94,0	0,5
		94,5	94,0	0,5
	D4020.3796	94,3	94,0	0,3
		94,3	94,0	0,3
		94,3	94,0	0,3
	D4020.3809	95,0	94,0	1,0
		94,9	94,0	0,9
		94,9	94,0	0,9
	D4020.3806	93,8	94,0	-0,2
		93,8	94,0	-0,2
		93,8	94,0	-0,2
	D4020.3807	93,5	94,0	-0,5
		93,5	94,0	-0,5
		93,6	94,0	-0,4

B	80.119.173	92,7	94,0	-1,3
		92,9	94,0	-1,1
		92,9	94,0	-1,1
	80610682	92,8	94,0	-1,2
		92,6	94,0	-1,4
		92,7	94,0	-1,3
	10040117	92,5	94,0	-1,5
		92,6	94,0	-1,4
		92,8	94,0	-1,2
	10060127	93,6	94,0	-0,4
		93,6	94,0	-0,4
		93,6	94,0	-0,4
	150705094	94,1	94,0	0,1
		94,1	94,0	0,1
		94,1	94,0	0,1
C	1500000190	94,0	94,0	0,0
		94,0	94,0	0,0
		94,0	94,0	0,0
D	150705094	93,9	94,0	-0,1
		93,7	94,0	-0,3
		93,7	94,0	-0,3

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE B – VERIFICAÇÕES DAS CALIBRAÇÕES DE 2017.

Órgão de Fiscalização	N.º de Série do Sonômetro	Valores dB(A)	Referência dB(A)	Erro dB(A)
E	D4100.0651	93,5	94,0	-0,5
		93,6	94,0	-0,4
		93,6	94,0	-0,4
	D4100.0645	92,7	94,0	-1,3
		92,7	94,0	-1,3
		92,8	94,0	-1,2
F	523389	96,3	94,0	2,3
		96,3	94,0	2,3
		96,3	94,0	2,3
	1004200	95,3	94,0	1,3
		95,0	94,0	1,0
		95,1	94,0	1,1
G	7621	93,9	94,0	-0,1
		93,9	94,0	-0,1
		93,8	94,0	-0,2

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE C – VERIFICAÇÕES DAS CALIBRAÇÕES DE 2018.

Órgão de Fiscalização	N.º de Série do Sonômetro	Valores dB(A)	Referência dB(A)	Erro dB(A)
A	131200455	93,5	94,0	-0,5
		93,6	94,0	-0,4
		93,6	94,0	-0,4
	131200317	94,9	94,0	0,9
		95,1	94,0	1,1
		95,2	94,0	1,2
F	40271	94,1	94,0	0,1
		94,2	94,0	0,2
		94,3	94,0	0,3
	40270	95,5	94,0	1,5
		95,4	94,0	1,4
		95,4	94,0	1,4
	1004044	93,4	94,0	-0,6
		93,4	94,0	-0,6
		93,4	94,0	-0,6
	DL 0631	92,5	94,0	-1,5
		92,5	94,0	-1,5
		92,4	94,0	-1,6
	8017713	90,7	94,0	-3,3
		90,5	94,0	-3,5
		90,5	94,0	-3,5
	D4106.0652	91,7	94,0	-2,3
		91,7	94,0	-2,3
		91,7	94,0	-2,3
	D4106.0502	92,6	94,0	-1,4
		92,6	94,0	-1,4
		92,5	94,0	-1,5
	8017794	92,1	94,0	-1,9
		92,1	94,0	-1,9
		92,1	94,0	-1,9

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE D – VERIFICAÇÕES DAS CALIBRAÇÕES DE 2019.

Órgão de Fiscalização	N.º de Série do Sonômetro	Valores dB(A)	Referência dB(A)	Erro dB(A)
B	1325001862	94,7	94,0	0,7
		94,7	94,0	0,7
		94,7	94,0	0,7
	13123811	92,9	94,0	-1,1
		92,9	94,0	-1,1
		92,8	94,0	-1,2
	150705094	94,0	94,0	0,0
		93,7	94,0	-0,3
		93,7	94,0	-0,3
	D4020.2564	94,8	94,0	0,8
		94,8	94,0	0,8
		94,9	94,0	0,9
	80119173	93,3	94,0	-0,7
		93,2	94,0	-0,8
		93,1	94,0	-0,9
F	N651367	96,3	94,0	2,3
		96,3	94,0	2,3
		96,3	94,0	2,3
	N651448	95,7	94,0	1,7
		95,7	94,0	1,7
		95,8	94,0	1,8

Fonte: próprio autor.