

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

LORENA CACHUIT CARDOSO MOTA

NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA NA ÁREA CENTRAL DE BELO HORIZONTE, MG

BELO HORIZONTE, MG

2021

LORENA CACHUIT CARDOSO MOTA

NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA NA ÁREA CENTRAL DE BELO HORIZONTE, MG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Simone Queiroz da Silveira Hirashima

Coorientador: Prof. Dr. Jose Luis Bento Coelho

BELO HORIZONTE, MG

2021

M917n Mota, Lorena Cachuit Cardoso
Níveis de pressão sonora na área central de Belo Horizonte, MG /
Lorena Cachuit Cardoso Mota. – 2021.
178 f. : il., gráfs, tabs., fotos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Civil.

Orientadora: Simone Queiroz da Silveira Hirashima.

Coorientador: Jose Luis Bento Coelho.

Bibliografia: f. 104-122.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil

1. Acústica – Mapeamento – Centro (Belo Horizonte, MG) – Teses.
2. Ruído urbano – Centro (Belo Horizonte, MG) – Teses. 3. Acústica –
Simulação – Centro (Belo Horizonte, MG) – Teses. 4. Engenharia
acústica – Centro (Belo Horizonte, MG) – Teses. I. Hirashima, Simone
Queiroz da Silveira. II. Coelho, Jose Luis Bento. III. Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia
Civil. IV. Título.

CDD 620.208151

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LORENA CACHUIT CARDOSO MOTA

NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA NA ÁREA CENTRAL DE BELO HORIZONTE, MG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em 16 de agosto de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Simone Queiroz da Silveira Hirashima - Orientadora
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET -MG

Prof^a. Dr^a. Hersília de Andrade e Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET -MG

Prof^a. Dr^a. Stelamaris Rolla Bertoli
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Prof^a. Dr^a. Elcione Maria Lobato de Moraes
Universidade Federal do Pará - UFPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus familiares, pelo apoio durante o período do mestrado e por incentivarem a educação pública brasileira. Em especial aos meus avós, pais, irmãos, cunhada, tios e primos que estiveram presentes nesta e em todas as outras escolhas que eu fiz;

Agradeço a meus amigos por todo carinho e companheirismo, especialmente Ariane, Geraldo, Lucas Gabriel, Fernanda, Monique, Rita, Vinicius e Romain;

Agradeço às amizades iniciadas no Programa de Pós Graduação (PPGEC). Especialmente sou grata ao Pedro, Lucas, Fernanda e Isabela por termos compartilhado tantas dificuldades, angústias e alegrias nesta etapa;

Agradeço à equipe e instituição do Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-MG) por incentivarem a educação e pela oportunidade de realização deste estudo;

Agradeço à Simone e ao Bento, pela dedicação e suporte cedidos ao projeto, além de todo conhecimento compartilhado;

Agradeço à BHTrans, ao SITRAN e à PBH pelo fornecimento de dados da cidade de Belo Horizonte;

Agradeço aos colaboradores do projeto, que forneceram dados técnicos ou auxiliaram com coleta de dados;

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e pela estrutura disponibilizados; e

Agradeço à empresa e à equipe da dB Laboratório de Engenharia Acústica Eireli pelos equipamentos e *software* cedidos, além de treinamentos e apoio técnico.

RESUMO

Os níveis de pressão sonora em centros urbanos estão relacionados, principalmente, à realização de atividades antrópicas. O tráfego de veículos, o comércio, o trânsito de pedestres, as obras de engenharia e as crianças em escolas são algumas das fontes sonoras que contribuem para a construção do ambiente sonoro urbano. A população, imersa nesses ambientes e exposta a elevados níveis, pode estar sujeita a transtornos na saúde e efeitos negativos na qualidade de vida, desencadeando, por exemplo, distúrbios do sono, efeitos auditivos e doenças cardiovasculares. Uma das formas de identificar e avaliar essa exposição é por meio de mapas que apresentam as curvas isofônicas do local. Utilizando essa ferramenta, este trabalho revela graficamente os níveis sonoros na região central de Belo Horizonte, durante o período diurno. Para atingir o objetivo proposto, o *software* Predictor foi empregado para simular a situação acústica na área de estudo, considerando a configuração física do local e os níveis de pressão sonora identificados com um sonômetro. Ao todo foram 89 medições realizadas nos anos de 2020 e 2021, em 72 pontos distintos, de acordo com os procedimentos estabelecidos na NBR 10151:2019. Durante 15 minutos o equipamento coletou o nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A e, de forma simultânea, a equipe contabilizou o fluxo veicular de forma categorizada. Essas medições permitiram avaliar quantitativamente os níveis sonoros e correlacioná-los com as propriedades do entorno e com os emissores, além de validar e calibrar o modelo gerado no Predictor. Três cenários foram considerados para gerar o mapa acústico: altura de 1,3m do solo e o tráfego de veículos como fonte sonora; altura de 4,0m do solo e o tráfego de veículos como fonte sonora; e altura de 4,0m do solo considerando todas as fontes sonoras identificadas durante as medições. Os resultados demonstram que os níveis sonoros sofrem influência do número de veículos que circulam pela via, mas que essa constatação não pode ser generalizada para todos os pontos analisados, já que outras fontes podem também prevalecer no campo acústico. O mapa sonoro permitiu a identificação dos locais onde os níveis sonoros excedem os limites estabelecidos pelas regulamentações vigentes. Em 30,5% dos pontos aferidos os níveis excederam o limite estipulado pela legislação municipal. Essa porcentagem sobe para 91,7% se for considerado o limite sonoro (R_{LAeq}) da norma brasileira. Isto demonstra a maior permissividade da Lei Municipal nº 9.505, quando comparada à NBR 10151:2019. Conclui-se que a simulação acústica auxilia na visualização espacial dos níveis sonoros, podendo subsidiar a propositura de planos de ação que visem reduzir ou controlar a poluição sonora, favorecendo, desta forma, a construção de um ambiente sonoro de melhor qualidade acústica.

Palavras-chave: mapa acústico urbano; ruído urbano; simulação acústica urbana.

ABSTRACT

Sound pressure levels in urban areas are mainly related to the performance of human activities. Vehicle traffic, commerce, pedestrian traffic, such as engineering works and children in schools are some of the sound sources that contribute to the construction of the urban sound environment. The population, immersed in these environments and exposed to high levels, may be subjected to health problems and negative effects on quality of life, experiencing, for example, sleep disorders, hearing impacts and cardiovascular diseases. One of the ways to identify and evaluate this exposure is by drawing maps that present the isophonic curves of the place. Therefore, using this tool, this work graphically reveals the sound levels in the central region of Belo Horizonte, during the day. To achieve the proposed objective, the Predictor software was used to simulate the acoustic situation, considering the physical configuration of the location and the levels measured with a sonometer. Altogether 89 were carried out in the years 2020 and 2021, in 72 different points, according to NBR 10151:2019. For 15 minutes the equipment collected the A-weighted equivalent continuous sound pressure level and, simultaneously, the team counted the vehicular flow in a categorized way. These inputs made it possible to quantitatively assess the sound levels and correlate them with the surrounding properties and with the emitters, in addition to validating and calibrating the model generated in the Predictor. Three scenarios were considered for the creation of the acoustic map: map 1.3m from the ground and vehicle traffic as a sound source, map 4.0m from the ground and vehicle traffic as a sound source and map 4.0m from the ground considering all the sound sources identified during the complaints. The results demonstrate that the sound levels have the influence of the number of vehicles that pass through the road, but that statement cannot be generalized for all points, since other sources may also prevail in the acoustic field. The sound map identifies the places where the sound levels exceed the limits defined by current regulations. In 30.5% of the points measured, the levels exceeded the limit stipulated by municipal legislation. This percentage rises to 91.7% if the limits established by the Brazilian standard are considered. This demonstrates the greater permissiveness of Municipal Law nº 9.505, when compared to NBR 10151:2019. It is concluded that an acoustic simulation assists in the spatial visualization of sound levels, being able to assist the proposition of action plans that aim at reducing or controlling the sound pollution, favoring, in this way, the construction of a sound environment of better acoustic quality.

Keywords: urban acoustic map; urban noise; urban acoustic simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bandas de oitavas e terços médios de oitavas	22
Figura 2 – Organização do projeto de pesquisa	48
Figura 3 – Área de pesquisa: Delimitação	50
Figura 4 – Área de pesquisa: Imagem satélite.....	51
Figura 5 – Área de pesquisa: Distribuição do uso das edificações	52
Figura 6 – Área de pesquisa: Caracterização da área	54
Figura 7 – Fluxo de veículos na área central de BH em 2020	55
Figura 8 – Variação do tráfego de veículos durante os dias da semana	56
Figura 9 – Variação do fluxo de veículos no centro de Belo Horizonte em setembro/2019 por dia da semana.....	57
Figura 10 – Variação do fluxo de veículos no centro de Belo Horizonte em setembro/2019 por dia da semana e por horário.....	58
Figura 11 – Malha viária do metrô de Belo Horizonte	59
Figura 12 – Pontos de medição	61
Figura 13 – Área de pesquisa: Modelo 3D.....	69
Figura 14 – Modelo de cálculo categorizado em ruas e avenidas	71
Figura 15 – Padrão de cores utilizado no mapeamento acústico.....	72
Figura 16 – Resultados: $L_{Aeq,15min}$ e fluxo total de veículos	74
Figura 17 – Resultados: Análise estatística	75
Figura 18 – Resultados: Descritores estatísticos e fluxo categorizado de veículos	76
.....	
Figura 19 – Resultados: Presença de sons tonais e impulsivos	78
Figura 20 – Resultados: Som tonal em 500 Hz em AL-03	78
Figura 21 – Resultados: Som tonal em 8 kHz em AED-01	79
Figura 22 – Resultados: Pontos com $L_{Aeq,T}$ maior ou menor do que 70 dB.....	82
Figura 23 – Resultados: Pontos com L_R maior ou menor do que 60 dB	83
Figura 24 – Resultados: $L_{Aeq,T}$, L_R e limites dos níveis sonoros	84
Figura 25 – Resultados: $L_{Aeq,min}$ e $L_{Aeq,máx}$	85
Figura 26 – Resultados: AL-03	86
Figura 27 – Resultados: Parque Municipal Américo Renné Giannetti	87
Figura 28 – Resultados: GJ-01	87
Figura 29 – Resultados: OM-03	88
Figura 30 – Resultados: PR-01 E PR-02	88
Figura 31 – Resultados: CT-05	89
Figura 32 – Resultados: AM-02	89
Figura 33 – Resultados: CA-02.....	90
Figura 34 – Área de validação do modelo.....	90
Figura 35 – Validação: Modelo 3D.....	91
Figura 36 – Validação: Comparativo entre modelos gerados no Predictor com NMPB – 2008 <i>road</i>	92
Figura 37 – Validação: Comparativo entre modelos gerados no Predictor com CNOSSOS	92
Figura 38 – Cenário 01: Mapa acústico	94
Figura 39 – Cenário 01: Distribuição de desvios entre valores simulados e medidos	95
.....	
Figura 40 – Cenário 02: Mapa acústico	97

Figura 41 – Cenário 02: Distribuição de desvios entre valores simulados e medidos	98
Figura 42 – Cenário 03: Mapa acústico	99
Figura 43 – Cenário 03: Distribuição de desvios entre valores simulados e medidos	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Presença de som tonal	23
Tabela 2 – Critérios de medição de acordo com a regulamentação brasileira....	26
Tabela 3 – Principais mecanismos de atenuação e amplificação sonora ao ar livre	28
Tabela 4 – Níveis de pressão sonora máximos estabelecidos pela NBR 10151 (RL_{Aeq})	30
Tabela 5 – Níveis de pressão sonora máximos estaduais.....	31
Tabela 6 – Níveis de pressão sonora máximos municipais	31
Tabela 7 – Níveis de pressão sonora para sons do cotidiano e correspondentes sensações subjetivas	33
Tabela 8 – Parâmetros de modelagem para simulação computacional.....	36
Tabela 9 – Panorama internacional: Simulação acústica.....	40
Tabela 10 – Panorama nacional: Simulação acústica.....	42
Tabela 11 – Equipamentos usados no projeto de pesquisa.....	48
Tabela 12 – Área de pesquisa: Caracterização meteorológica (médias anuais)	49
Tabela 13 – Área de pesquisa: Características geométricas das vias arteriais ..	52
Tabela 14 – Área de pesquisa: Uso e ocupação do solo	52
Tabela 15 – Características operacionais do metrô de Belo Horizonte	59
Tabela 16 – Métodos de cálculo disponíveis no Predictor V2021	66
Tabela 17 – Parâmetros para modelagem utilizados para simulação acústica...67	
Tabela 18 – Configuração de cálculo utilizadas	68
Tabela 19 – Resultados: Ajustes do medidor sonoro.....	73
Tabela 20 – Resultados: Descritores estatísticos e variabilidade sonora	77
Tabela 21 – Resultados: Fluxo de veículos durante 15 min.....	79
Tabela 22 – Resultados: $L_{Aeq,T}$ e as regulamentações brasileiras	81
Tabela 23 – Resultados: $L_{Aeq,máx}$ e $L_{Aeq,min}$	84
Tabela 24 – Validação: Variabilidade sonora.....	91
Tabela 25 – Validação: Desvio entre níveis sonoros simulados e medidos (dB)	93
Tabela 26 – Cenário 01: Desvios da simulação acústica.....	95
Tabela 27 – Cenário 02: Desvios da simulação acústica.....	97
Tabela 28 – Cenário 03: Desvios da simulação acústica.....	99
Tabela 29 – Resultados: Área e edificações expostas em cada cenário	101

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados	123
-------------------------------	-----

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I – Certificado de calibração do calibrador de nível sonoro (Classe 1) modelo 4231 da Brüel & Kjær	168
ANEXO II – Certificado de calibração do medidor de nível sonoro 2270, do microfone 4189 e do pré-amplificador ZC-0032 da Brüel & Kjær	171

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	18
1.2	RESTRIÇÕES DA PESQUISA	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	DEFINIÇÕES	19
2.1.1	Descritores	20
2.1.1.1	Ponderação no tempo e na frequência	20
2.1.1.2	Filtros de 1/n de oitava	21
2.1.1.3	Caracterização dos descritores	22
2.1.2	Medições acústicas	24
2.2	AMBIENTE SONORO URBANO	26
2.2.1	Legislação específica	29
2.3	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	33
2.3.1	Mapas acústicos	34
2.3.1.1	Validação e calibração	37
2.3.1.2	Métodos de cálculo	38
2.4	REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE MAPAS ACÚSTICOS	39
2.4.1	Internacionais	39
2.4.2	Nacionais	41
2.4.2.1	Belo Horizonte - MG	45
3	MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1	ÁREA DE PESQUISA	49
3.1.1	Caracterização das fontes sonoras	54
3.2	MEDIÇÕES SONORAS	60
3.2.1	Tratamento dos dados	63
3.2.2	Análise estatística	63
3.3	SIMULAÇÃO ACÚSTICA	64
3.3.1	Modelagem	65
3.3.1.1	Validação	69
3.3.1.2	Calibração	70
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1	MEDIÇÕES SONORAS	73
4.1.1	Tonais e impulsivos	77
4.1.2	Fluxo de veículos	79
4.1.3	Níveis sonoros e regulamentações	80
4.1.4	Descrição de pontos destacados	85
4.2	SIMULAÇÃO ACÚSTICA	90
4.2.1	Mapa acústico	94
5	CONCLUSÃO	102
	REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO

A população mundial, estimada em 7,7 bilhões em 2019, tende a se concentrar em centros urbanos (UNITED NATIONS, 2019; ONU NEWS, 2019). Como consequência dessa concentração populacional, da multiplicidade de emissores e de decisões de planejamento urbano que podem, por exemplo, expandir a demanda por transportes, dentre outros fatores, as cidades têm apresentado altos níveis de pressão sonora¹ (COELHO, 2004; FERNANDES *et al.*, 2018).

O tráfego (urbano, ferroviário, metroviário e aéreo), os cultos religiosos, os carros de som, o comércio, as crianças em escolas, as atividades esportivas, o canto de pássaros, entre outros (BISTAFA, 2006), compõem o ambiente acústico urbano. A exposição a elevados níveis sonoros, como constatado em estudos prévios, pode desencadear efeitos psicológicos e fisiológicos negativos na população, como deficiências no processo de compreensão da leitura em crianças (CLARK *et al.*, 2006), doenças cardiovasculares (GOPINATH *et al.*, 2011) e pressão alta (BABISCH *et al.*, 2009).

Quando os níveis sonoros noturnos estão entre 58,7 e 76,3 dB² (ponderação em frequência A)³, a taxa de mortalidade em pessoas com 65 anos ou mais aumenta, a cada 1 dB (ponderação em frequência A), cerca de 3,5% por infarto do miocárdio e 2,9% por doença isquêmica do coração. Essa porcentagem pode chegar a 11% em pessoas mais novas, se os níveis noturnos estiverem entre 56,2 e 69,9 dB (ponderação em frequência A) (RECIO *et al.*, 2016; TORONTO PUBLIC HEALTH, 2017).

Na Europa a previsão é que haja 12 mil mortes prematuras e 48 mil novos casos de doenças cardíacas isquêmicas, por ano, causadas pela exposição prolongada ao

¹ “O nível de pressão sonora é a medida física preferencial para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons” (BISTAFA, 2006, p.17).

² Decibel (dB) é uma medida do nível de potência sonora em relação a uma potência de referência. Corresponde a 0,1 bel (BISTAFA, 2006).

³ A curva de ponderação em frequência A é a que mais se aproxima à resposta do ouvido humano, no intervalo entre 12,5 Hz e 20 kHz (MORAES *et al.*, 2003).

ruído ambiental⁴ (EEA, 2020). Quanto à poluição sonora gerada pelo tráfego de veículos, a Organização Mundial da Saúde (OMS) a classifica como sendo a segunda maior causa ambiental de problemas na saúde e estima-se que dela decorra a perda anual de, no mínimo, 1 milhão de anos de vida saudável na Europa Ocidental (HANNINEN *et al.*, 2014; OMS *et al.*, 2011).

Até adormecido o corpo humano continua a responder aos estímulos externos e apresenta sensibilidade ao tipo, intensidade, frequência, espectro e regularidade dos ruídos. O sono por ondas lentas (SWS) e o rápido por movimento dos olhos (REM) são estágios⁵ que podem ser afetados por essas características do ruído, provocando distúrbios do sono (MUZET, 2007).

Embora haja um fator variante que é subjetivo, de forma geral, entre 30 e 40 dB (ponderação em frequência A) são observados alguns efeitos adversos modestos em grupos vulneráveis⁶, sendo 40 dB o limite recomendado no interior de locais de descanso. Quando superior a 55 dB a situação é considerada cada vez mais perigosa, aumentando o risco de doença cardiovascular (OMS *et al.*, 2011). Com a exposição prologada a níveis superiores a 85 dB pode haver a elevação do limiar da audição, com retorno após algumas horas ou dias. Se for contínua, uma lesão permanente pode ser desenvolvida, com a perda auditiva irreversível (CORTÊS, 2018; GOKULRAM *et al.*, 2017; SCHAFER, 1977).

Até mesmo a degustação de alimentos pode ser afetada, distorcendo a sensação de doce, salgado ou crocante (WOODS *et al.*, 2011). Yan *et al.* (2015), por exemplo, demonstraram que a percepção de doçura pode ser alterada quando as pessoas estão submetidas a níveis entre 80 e 85 dB, durante a passagem de aeronaves comerciais. Com a apreciação de cafés não é diferente: em pesquisa realizada por Moncayo *et al.* (2020), mais da metade dos participantes identificou como melhor aquele cuja degustação esteve sob influência de sons controlados. A razão para esses

⁴ Ruído ambiental é “um som externo indesejado ou prejudicial, criado por atividades humanas, incluindo o ruído emitido por meios de transporte, tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e instalações utilizadas na atividade industrial” (EC, 2002, p. 2).

⁵ O *slow wave sleep* (SWS) é um estado de restauração da energia do corpo adormecido e o *rapid eye movement* (REM) está relacionado aos processos mentais e de memória (MUZET, 2007).

⁶ Fazem parte de grupos vulneráveis as crianças, os doentes crônicos e os idosos (OMS *et al.*, 2011).

efeitos é diversa, mas pode ter relação com a redução da intensidade gustativa diante de um ruído de fundo intenso ou o desvio dos estímulos alimentares para a concentração no som (MONCAYO *et al.*, 2020).

Além dos impactos citados, a exposição a elevados níveis sonoros pode agir negativamente na economia, desvalorizando o preço de casas e de áreas turísticas, gerando custos por perdas de dias de trabalho e reduzindo a possibilidade de uso da terra (EC, 2000). Em residências expostas a níveis superiores a 55 dB, por exemplo, o preço tende a declinar 1,2%/dB e 1,6%/dB se estiverem nas proximidades, respectivamente, de estradas comuns e autoestradas (WG-AEN, 2007; WG-HSEA, 2003). Em Seoul (Coreia do Sul), de forma similar, Kim *et al.* (2007) demonstraram que unidades habitacionais em área adjacente a uma rodovia estavam sujeitas a uma redução de 1,3% no preço do terreno a cada 1% de aumento no nível sonoro, em dB.

Ainda sobre os efeitos na economia, estimou-se que o prejuízo europeu decorrente de atividades turísticas esteve entre 13 e 38 milhões € em 2001 (ESTÉVEZ *et al.*, 2013). Dez anos depois, em 2011, a estimativa era de que os custos sociais do ruído de tráfego, relativos à morte prematura ou morbidade (baixa concentração, fadiga e problemas auditivos), atingiram aproximadamente 40 bilhões € (EC, 2011). Cálculos recentes indicam gastos, consequência da poluição sonora, na ordem de 35 bilhões € relacionados ao incômodo da população, 34 bilhões € aos distúrbios do sono, 12 bilhões € à cardiopatia isquêmica e 5 milhões € aos distúrbios cognitivos em crianças (EEA, 2020).

As áreas consideradas acusticamente como quietas, por outro lado, além de impactar positivamente na saúde, podem influenciar, de maneira benéfica, na produtividade⁷ e na amenização do incômodo da população. Mudanças são percebidas até mesmo no meio ambiente, alterando a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas (DEFRA, 2011).

É relevante destacar, no entanto, que os estudos acústicos não aspiram a eliminação dos sons da cidade, tendo em vista que o silêncio absoluto pode ser perturbador, com a audição muito mais sensível. A mera redução do ruído, como defende Schafer (1977), também é uma abordagem negativa: o autor sugere que se

⁷ Pode haver interferência na criatividade, na capacidade de resolver problemas e no desenvolvimento cognitivo humano (DEFRA, 2011).

deva compreender quais sons a sociedade almeja “preservar, encorajar, multiplicar”. Desta forma, o objetivo primário é implantar e conservar ambientes acústicos confortáveis, considerando as fontes, a propagação sonora e o contexto ambiental, a fim de promover a saúde e o bem-estar da população.

O setor da acústica destinado a analisar qualitativamente os níveis de pressão sonora e associá-los à percepção, às preferências e à avaliação humana, é denominado “conforto acústico” (LEE *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2005). Essa abordagem e os estudos quantitativos se complementam e colaboram no processo de compreensão de como a sociedade interpreta o ambiente sonoro, contribuindo para a proposta citada de Schafer (1977).

As avaliações quantitativas e qualitativas podem ser auxiliadas por mapas sonoros (mapas acústicos), ferramenta que revela, graficamente, as curvas isofônicas de uma área geográfica, em um determinado intervalo de tempo. Neles há a separação, por meio de faixas de cores, de zonas que variam a cada 5 dB (BENNETT *et al.*, 2010; GUEDES *et al.*, 2014; NARDI, 2008).

Na União Europeia esses mapas são comumente desenvolvidos. Isso ocorre, principalmente, pela promulgação da Directiva 49/CE (2002) que, com o objetivo de evitar, prevenir ou reduzir os elevados níveis, determinou aos Estados-Membros que elaborem mapas estratégicos de ruído e os mantenham atualizados a cada 5 anos. Essa indicação é feita às aglomerações com mais de 250 mil habitantes, aos grandes eixos rodoviários com mais de 6 milhões de passagens de veículos por ano, aos grandes eixos ferroviários com mais de 60 mil passagens de trens por ano e aos grandes aeroportos. A partir dos dados gerados, planos de ação buscam gerir os efeitos negativos da poluição sonora com, por exemplo, o uso de barreiras acústicas, o gerenciamento de tráfego, a implantação de *traffic calming* (alteração do fluxo de vias ou dos limites de velocidade, dentre outros) ou com a troca do pavimento (KASSOMENOS *et al.*, 2014; KING *et al.*, 2009; POLLONI, 2019).

Na América, estudos que utilizaram o mapeamento acústico como ferramenta de avaliação sonora foram publicados em diversos países, como Argentina, México e Chile. Quanto ao Brasil, constata-se um avanço no uso da ferramenta e na implementação de ações de divulgação e conscientização em relação à poluição sonora, por exemplo, por meio do “Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído” (PROACÚSTICA, S.d.). Como parte desse avanço, a cidade de São Paulo

tornou obrigatória, por força de lei, a elaboração de mapas sonoros desde 2016 (SÃO PAULO, 2016).

Em Belo Horizonte – MG (BH), o cenário do incômodo indica a relevância e a atualidade do tema. Nos primeiros seis meses de 2019 a Prefeitura (PBH) recebeu 4,8 mil reclamações concernentes ao desrespeito à Lei do Silêncio, 10% a mais do que o mesmo período do ano anterior (ITATIAIA, 2019). Entre elas, 70% são referentes a barulhos de bares, boates e casas de *show* (MARIANO, 2019). Ainda sobre o mesmo ano, a PBH informou, a partir de solicitação embasada na Lei de Acesso à Informação (BRASIL, 2011), que foram 7669 vistorias na cidade cuja demanda esteve pautada na poluição sonora, sendo 523 das reclamações emitidas no centro da cidade.

Com a implantação do isolamento social, motivado pela COVID-19⁸, houve uma atipicidade em relação à circulação de pedestres e veículos na cidade e ao funcionamento de empreendimentos na capital mineira. Com isso, a tendência que havia em 2020 de aumentar o número de reclamações relacionadas à poluição sonora foi freada, reduzindo de 10498 para 4247. O retorno gradativo das atividades, todavia, aponta para um crescimento na quantidade de pessoas que se sentem incomodadas e 1127 reclamações já foram computadas apenas nos primeiros meses de 2021 (PBH, 2021).

No início de 2020, amparado pela Constituição Federal de 1988, o Ministério Público de Minas Gerais reiterou a preocupação com a poluição sonora em BH. Isso porque, durante o carnaval, expediu recomendação à Subsecretaria de Fiscalização da PBH para que disponibilizasse serviço de atendimento para registro de reclamações e para solicitações de fiscalização de eventuais irregularidades sonoras (MPMG, 2020).

Desta forma, o presente estudo propõe identificar a situação acústica, no período diurno, de uma área central de Belo Horizonte. Para isso, houve a elaboração de

⁸ Após o Corona vírus, responsável pela COVID-19, ser descoberto no dia 31 de dezembro de 2019, na China, rapidamente se espalhou pelo mundo (BRASIL, 2020). Com quase 3 milhões de mortes mundiais até abril de 2021 (OMS, 2021), a pandemia fez com que diversas cidades adotassem o isolamento social (quarentena) como forma de prevenção, inclusive Belo Horizonte.

mapas acústicos, com auxílio de um *software* de simulação, sendo o procedimento calibrado e validado com medições em campo.

1.1 OBJETIVOS

Apurar os níveis de pressão sonora de uma área predefinida na região central de Belo Horizonte – MG, durante o período diurno, e identificar se existem pontos onde os limites normativos são excedidos.

Os objetivos específicos são:

- i. identificar os níveis de pressão sonora na área selecionada;
- ii. gerar o mapa acústico do período diurno, após procedimentos de validação e calibração;
- iii. identificar o método de cálculo, no *software* de simulação acústica, que melhor se adapta aos objetivos e dados disponíveis;
- iv. apontar as principais fontes sonoras identificadas na região avaliada; e
- v. comparar os níveis sonoros com as regulamentações vigentes.

1.2 RESTRIÇÕES DA PESQUISA

As restrições relacionadas ao projeto de pesquisa são:

- i. a limitação no *software* de simulação acústica quanto à quantidade de dados a serem inseridos para o cálculo, por exemplo, em relação ao número de fontes e edificações;
- ii. a validação e a calibração do modelo utilizado no *software* de simulação acústica utilizam níveis de pressão sonora de pontos amostrais, ou seja, podem representar uma situação atípica durante a medição;
- iii. a área e a quantidade de pontos de medição estão limitadas pela disponibilidade de equipamentos e de tempo; e
- iv. a redução de tempo disponível para as medições acústicas e para as simulações em decorrência da pandemia do COVID-19.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta conceitos e legislações relevantes para a compreensão do assunto. Também há um panorama de estudos realizados no Brasil e em outros países, apontando as metodologias utilizadas.

2.1 DEFINIÇÕES

Os conceitos de som e ruído, apesar do uso de forma indistinta, não se confundem. Ambos, de fato, remetem à sensação que ocorre com a variação da pressão atmosférica, gerada pela vibração de partículas, que o ouvido humano consegue detectar. O ruído se diferencia, entretanto, por ser um som desagradável e indesejável, subjetivamente percebido (BISTAFA, 2006).

No limiar das definições o contexto socioambiental deve ser considerado. Isso porque há diversos fatores atuantes no julgamento pessoal entre agradabilidade e desagradabilidade: características e qualidade do som, atratividade da fonte, evocação de emoções e recordações, capacidade auditiva da população e sensações subjetivas de cada cultura (BISTAFA, 2006; CORTÊS, 2018; OLIVEIRA, 2011; SOUZA *et al.*, 2012). O som emitido por pássaros ou pelo fluxo de água, por exemplo, mesmo elevando os níveis de pressão sonora, pode causar uma percepção de agradabilidade (COELHO, 2010).

A geração de um som ocorre com a transmissão de energia, sob a forma de vibrações, por meio de sólidos, líquidos ou gases. As partículas vibrantes se movem para os lados adjacentes de sua posição normal e a contínua oscilação gera compressões e rarefações no meio. O deslocamento máximo, a partir de uma posição de repouso, é chamado de amplitude⁹ e está relacionado com a intensidade sonora. Por outro lado, o número de oscilações por segundo (s), denominado frequência, permite a distinção entre sons graves e agudos (BISTAFA, 2006; FLORÊNCIO, 2018).

O ouvido humano detecta um som a depender da sua Amplitude (Pa) e da sua Frequência (Hz). O limiar da audibilidade, na ordem de 2×10^{-5} Pa, é a menor variação de pressão ambiente¹⁰ detectável pelo sistema auditivo. Para que isso ocorra, é

⁹ “A amplitude de variação da pressão ambiente (A), é dada por $A = p_{max} - P_{ambiente} = P_{ambiente} - p_{min}$ ”, sendo p_{max} e p_{min} os valores máximo e mínimo da pressão ambiente, respectivamente (BISTAFA, 2006, p.6).

¹⁰ “Ao nível do mar, a pressão ambiente é de 101.350 Pa” (BISTAFA, 2006, p.6).

necessário que a variação da pressão ambiente seja cíclica, em determinado período¹¹, e com amplitude maior do que o limiar citado. Quando esses requisitos são atendidos a pressão ambiente é chamada de pressão sonora (pressão acústica) (BISTAFA, 2006; GERGES, 1992).

Com relação à frequência, a faixa audível do sistema auditivo está entre 20 Hz e 20 kHz, sendo os sons abaixo de 20 Hz denominados infrassons e os acima de 20 kHz, ultrassons (BISTAFA, 2006; GERGES, 1992).

2.1.1 Descritores

Os descritores sonoros expressam o valor dos níveis de pressão sonora ambiente, colaborando para uma análise objetiva. Além disso, se correlacionam com vários efeitos, como incômodo da população, risco de dano à audição, interferência na fala e efeitos extra auditivos (CASALI, 2000; EC, 2002).

A simbologia utilizada para os descritores é na forma de “ D_{ikj} ”, em que “D” representa o descritor, “i” a ponderação na frequência, “k” a ponderação no tempo, “j” o intervalo de tempo medido e “f” a faixa das frequências analisadas (NARDI, 2008).

2.1.1.1 Ponderação no tempo e na frequência

Em razão das ondas sonoras serem irregulares, os medidores incorporam constantes de tempo de resposta para reduzir as flutuações, permitindo a leitura dos níveis pelos olhos humanos. Essa ponderação temporal normalmente ocorre com a constante rápida (*fast*) ou lenta (*slow*), indicando, portanto, a agilidade com que o dispositivo acompanha as variações (BISTAFA, 2006; CARVALHO, 2006).

Já a ponderação na frequência ocorre porque o ouvido humano possui uma faixa de maior sensibilidade ao som, normalmente entre 2 kHz e 5 kHz. Por isso, pode ser necessário modificar o espectro sonoro conforme a resposta do sistema auditivo às frequências contidas no som. Essa modificação é feita por meio de ponderadores com característica de filtros passa-alta¹², cada um com suas finalidades próprias (BISTAFA, 2006; CARVALHO, 2006; GERGES, 1992).

¹¹ “Define-se período (T) com o intervalo de tempo decorrido para que um ciclo se complete na curva de variação da pressão ambiente com o tempo” (BISTAFA, 2006, p.6).

¹² Os filtros permitem extrair a energia sonora de um som em bandas de frequência. O passa-alta rejeita as componentes espectrais que estão abaixo da frequência de corte, passando as que estiverem acima (BISTAFA, 2006).

Os filtros ponderadores podem ser: A, B, C, D ou Z (frequência de ponderação zero). A ponderação em frequência A, por exemplo, corresponde à curva em que a medição ocorre em conformidade com a sensibilidade auditiva (curva isofônica de 40 fones), minimizando a influência das baixas frequências. Além disso, esse filtro é indicado para a medição de sons contínuos, transmitindo um valor único (ANDRADE, 2012; BISTAFA, 2006; FERNANDES, 2002 *apud* ANDRADE, 2012; FLORÊNCIO, 2018).

2.1.1.2 Filtros de 1/n de oitava

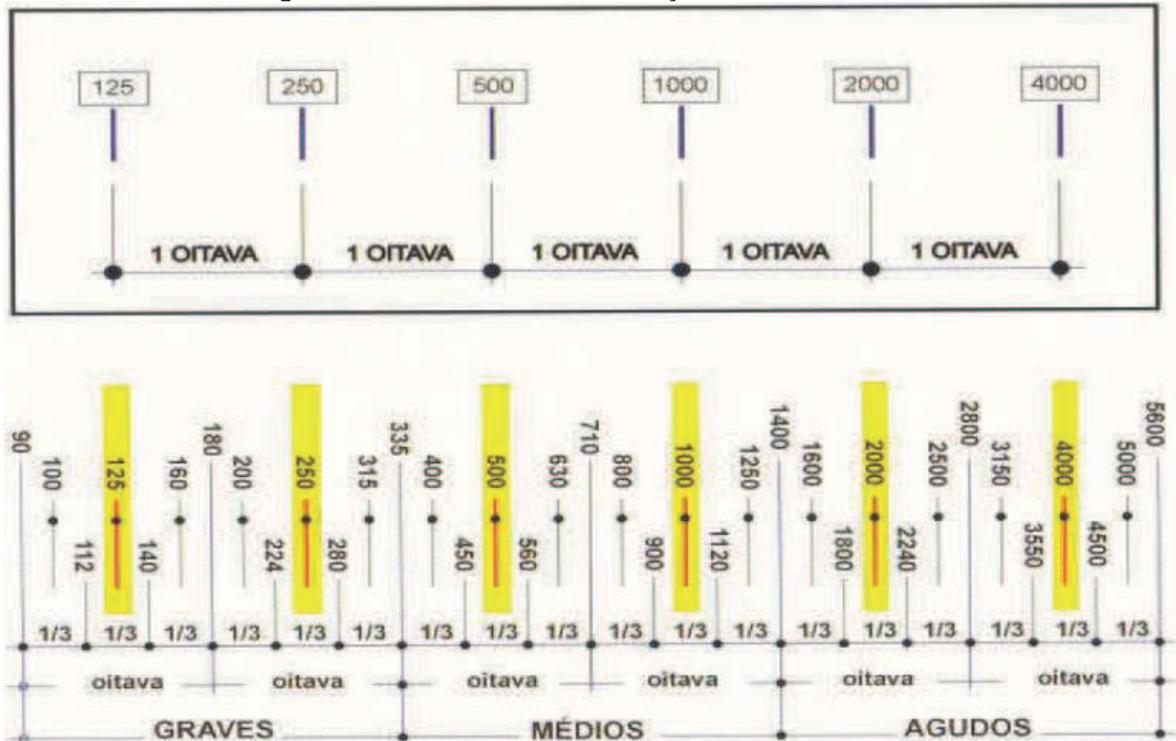
Os filtros de análise espectral, que são do tipo passa-banda¹³, surgem com a necessidade de se obter não apenas um valor único que represente a energia captada pelo medidor em uma faixa de frequência, mas também a forma com que essa energia é distribuída (BISTAFA, 2006; GERGES, 1992).

A nomenclatura desses filtros se relaciona com a escala musical cromática temperada, que segrega a faixa de áudio em intervalos de oitavas. Nos filtros de 1/n de oitava, a largura de cada banda é uma porcentagem da frequência central de cada filtro. Os filtros de 1/1 de oitava e de 1/3 de oitava são os mais utilizados (BISTAFA, 2006; GERGES, 1992).

Cada banda de filtro de 1/1 de oitava contém três filtros de 1/3 de oitava (Figura 1). Isso significa que no filtro de oitava a largura da banda em determinada frequência é três vezes maior do que no de 1/3 de oitava. O filtro de 1/3 de oitava é o recomendado quando se almeja maior detalhamento do espectro sonoro, que usualmente possui 33 frequências entre 12,5 Hz e 20 kHz (BISTAFA, 2006; GERGES, 1992).

¹³ O passa-banda é um filtro que passa as componentes espectrais do som em uma faixa entre duas frequências de corte (BISTAFA, 2006).

Figura 1 – Bandas de oitavas e terços médios de oitavas



Fonte: GREVEN *et al.*, 2017

2.1.1.3 Caracterização dos descritores

A NBR 10151 (ABNT, 2019) elenca, a depender da finalidade da avaliação, os descritores que devem ser utilizados para medição de níveis de pressão sonora em áreas habitadas: contínuo equivalente ponderada em A ($L_{Aeq,T}$), máximo ponderada em A e em F ($L_{AFmáx}$), contínuo equivalente em bandas proporcionais de 1/1 de oitava ($L_{Zeq,T,\#Hz(1/1)}$), contínuo equivalente em bandas proporcionais de 1/3 de oitava ($L_{Zeq,T,\#Hz(1/3)}$) e contínuo equivalente ponderada em A para o período diurno, noturno e para um período de 24h (L_D , L_N , L_{DN} , respectivamente).

O $L_{Aeq,T}$, indicado para a avaliação de sons contínuos, intermitentes e impulsivos, em ambientes externos a edificações, representa o nível médio de energia sonora em um período T de integração. Pode ser obtido pela Equação 1, em que P_A é a pressão sonora instantânea ponderada em A no instante t e P_0 é a pressão sonora de referência (ABNT, 2014, 2019).

$$L_{Aeq,T} = \frac{1}{T} \log_{10} \left[\int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

O $L_{Aeq,T}$ também pode ser definido como uma média logarítmica de T resultados de $L_{Aeq,1s}$, integrados e registrados pelo sonômetro a cada 1 s. Nesse caso a Equação 2 é utilizada (ABNT, 2017).

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_i 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (\text{Eq. 2})$$

O $L_{Aeq,T}$ pode ser corrigido (L_R) se sons tonais (K_I) e impulsivos (K_T) forem identificados durante a medição, na forma da Equação 3 (ABNT, 2019). A presença de cada um dos sons citados implica a soma de 5 dB ao valor do descritor.

$$L_R = L_{Aeq,T} + K_I + K_T \quad (\text{Eq. 3})$$

Um som impulsivo possui duração inferior a 1 s, como tiros e estouros. Sua caracterização acontece quando a diferença entre o $L_{AFmáx}$ e o $L_{Aeq,T}$ for igual ou superior a 6 dB. Para essa análise é recomendado que o tempo T de integração contemple pelo menos dois ou mais eventos desses sons (ABNT, 2014, 2019).

No som tonal existe apenas uma componente de frequência ou alguma se destaca em relação às demais. Para a caracterização desse som, o $L_{Zeq,T,fHz(1/3)}$ da banda de interesse é comparado ao das duas bandas adjacentes, na forma da Tabela 1 (ABNT, 2014, 2019).

Tabela 1 – Presença de som tonal

Banda de 1/3 de oitava de interesse (Hz)	Diferença aritmética entre o $L_{Zeq,T,fHz(1/3)}$ da banda de interesse e o $L_{Zeq,T,fHz(1/3)}$ da banda adjacente (dB)
25 – 125	≥ 15
160 – 400	≥ 8
500 - 10000	≥ 5

Fonte: ABNT, 2019

As medidas equivalentes convencionais, como o $L_{Aeq,T}$, podem ser insuficientes para caracterizar alguns ambientes. Por isso, surgem outros descritores, como os estatísticos (L_n), o máximo ($L_{máx}$) e o mínimo ($L_{mín}$).

Os estatísticos (L_{10} e L_{90} , por exemplo) contribuem na análise da distribuição estatística dos níveis sonoros e caracterizam um registro em função do tempo, calculando em quanto um determinado valor foi excedido. A partir de um histograma cumulativo, pode-se identificar a porcentagem do tempo total de exposição em relação a um nível de pressão sonora (GERGES, 1992; NAGEM, 2004; BISTAFA, 2006 *apud* NARDI, 2008).

O L_{10} ¹⁴ representa o nível sonoro excedido em 10% do tempo de medição e é utilizado em estudos de ruído ambiental, com foco no trânsito, permitindo a descrição de níveis elevados (BISTAFA, 2006; SOUZA, 2012). O L_{90} ¹⁵, em contrapartida, indica o ruído residual (de fundo), ou seja, quando não há uma fonte específica audível. A diferença entre os dois descritores ($L_{10} - L_{90}$) traduz a variabilidade dos níveis de pressão sonora durante a medição (BISTAFA, 2006).

O $L_{\text{máx}}$ e o L_{min} indicam, respectivamente, o pico máximo e mínimo em um intervalo de tempo (FRITSCH, 2006; GERGES, 1992; NAGEM, 2004).

A Directiva 49/CE (2002), da União Europeia, recomenda o uso do nível de pressão sonora *day-evening-night* (L_{den}) e do nível de pressão sonora médio de longa duração ponderada em *A night* (L_{night}) aos Estados-Membros para o mapeamento sonoro. Para obtenção do L_{den} , faz-se uso do L_{day} (entre 07h00min e 19h00min), L_{evening} (entre 19h00min e 23h00min) e L_{night} (entre 23h00min e 07h00min) e este descritor está associado ao incômodo geral. O L_{night} está relacionado com as perturbações geradas no sono e é calculado durante o período noturno de um ano.

2.1.2 Medições acústicas

São dois os métodos indicados pela NBR 10151 (ABNT, 2019) para avaliação sonora de um ambiente:

- i. o simplificado, usado em ambientes externos ou internos às edificações se não forem identificados sons tonais e impulsivos em uma avaliação inicial;
- e
- ii. o detalhado, usado para medir o nível de pressão sonora global e espectral em ambientes externos ou internos às edificações, quando se deseja identificar e caracterizar sons contínuos, intermitentes, impulsivos e tonais.

Independentemente do método a ser utilizado, recomenda-se o uso do $L_{\text{Aeq},1s}$ para o registro da variação dos níveis de pressão sonora ao longo do tempo de medição. O registro desse descritor na memória do medidor auxilia no tratamento dos dados e

¹⁴ L_{10} é o nível sonoro superado por 10% do tempo de medição, ou seja, que ocorre em 10% do tempo de duração (BISTAFA, 2006).

¹⁵ L_{90} é nível sonoro excedido em 90% do tempo de medição (BISTAFA, 2006).

na exclusão de eventuais sons intrusivos¹⁶, com uma avaliação a cada segundo. Se o recurso de pausa do sonômetro for usado para a exclusão, o tempo de medição¹⁷ será equivalente ao de integração¹⁸ (ABNT, 2019).

Não deve haver medição durante precipitações pluviométricas e trovoadas ou com vento, temperatura e umidade relativa do ar em desacordo com as especificações do fabricante do instrumento (ABNT, 2019).

Quando os sons forem contínuos ou intermitentes, a medição do nível de pressão sonora total deve considerar todas as fontes contribuintes, sejam específicas ou residuais (ABNT, 2019). Quanto ao tempo de medição, a norma estabelece que:

O tempo de medição em cada ponto deve ser definido de modo a permitir a caracterização sonora do objeto de medição, abrangendo as variações sonoras durante o seu funcionamento ou operação, no ambiente avaliado (ABNT, 2019, p.7).

A norma brasileira define o procedimento denominado “ajuste” como o conjunto de operações que são realizadas para que o sistema corresponda à grandeza a ser medida. Além disso, estabelece que o valor a ser considerado nesta etapa deve ser o descrito no certificado de calibração mais recente. O procedimento consiste em acoplar o calibrador ao microfone antes e após cada série de medições, descartando-a caso a diferença entre os valores for superior a 0,5 dB ou inferior a -0,5 dB. De forma a isentar interferências, as condições ambientais do local devem ser consideradas (ABNT, 2019).

Algumas das recomendações para medições acústicas determinadas pela norma brasileira e pelas legislações estaduais e municipais estão relacionadas na Tabela 2.

¹⁶ “Interferência sonora alheia ao objeto de medição” (ABNT, 2014, p.2).

¹⁷ “Tempo correspondente à soma dos tempos de integração durante uma medição” (ABNT, 2014, p.9).

¹⁸ “Tempo, *T*, durante o qual é efetuada a integração do nível sonoro” (ABNT, 2014, p.9).

Tabela 2 – Critérios de medição de acordo com a regulamentação brasileira

	ABNT NBR 10151: 2019 ¹⁹	Lei nº 10.100 (1990)	Lei nº 9.505 (2008) ²⁰
Distância entre microfone e o solo, quando a medição for no nível do solo	Entre 1,2 e 1,5 metro (m)	1,2 m	1,2 m
Distância mínima entre o microfone e paredes, muros, veículos ou outros objetos refletoras	2 m	1,5 m	1,5 m
Ponderação em frequência	A	A	A
Resposta do aparelho medidor	-	<i>slow</i>	<i>fast</i>

Fonte: Adaptado de ABNT, 2019; BELO HORIZONTE, 2008; MINAS GERAIS, 1990

2.2 AMBIENTE SONORO URBANO

A sobreposição de sons em áreas urbanas resulta em um ambiente sonoro complexo, caracterizado pela variação da predominância, no decorrer do tempo, de uma ou outra fonte (BROWN *et al.*, 1987). Essas fontes são descritas por suas potências sonoras, ou seja, pela capacidade intrínseca de gerar o som (BISTAFA, 2006).

Silva *et al.* (2014) demonstraram que, em termos percentuais, a região central de Santiago, no Chile, é a que está submetida a faixas de níveis sonoros mais elevados e que o tráfego de veículos é uma das fontes mais influentes para formação deste ambiente acústico. A mesma conclusão em relação ao tráfego tem sido exposta em outras pesquisas, como em Wuhan, na China, em que os autores apontaram uma correlação entre a fonte e os níveis sonoros identificados nos descritores $L_{máx}$ e L_{10} (KALISKI *et al.*, 2007; PINTO *et al.*, 2009; WANG *et al.*, 2011)

Além dos veículos contribuírem quantitativamente na poluição sonora, o trânsito é um fator explicativo substancial na avaliação do efeito de incômodo da população em ambientes externos e internos de edificações (DI *et al.*, 2012; KLAEBOE *et al.*, 2004). Normalmente a emissão que predomina no campo acústico é a gerada no motor, mas pode ser superada pela decorrente do atrito do veículo com o ar ou do atrito dos pneus com a superfície da via - quando a velocidade exceder 50 km/h em veículos de passageiros e 80 km/h em caminhões (MUZET, 2007).

De fato, em cidades motorizadas as emissões do tráfego de veículos contribuem de forma significativa para a formação do ambiente acústico e para a poluição sonora urbana. Exceções são notadas em locais próximos às fontes pontuais ou nas

¹⁹ Para medições em locais externos aos empreendimentos, instalações, eventos e edificações.

²⁰ Especificações para medições em fontes sonoras fixas que causem incômodos.

proximidades de locais de passagem de aeronaves ou trens. Além disso, no período noturno o fluxo tende a se modificar e outras fontes podem sobressair (BROWN *et al.*, 1987).

Em contraposição aos sistemas convencionais de transporte, uma alternativa mais sustentável que tem sido adotada em grandes centros urbanos é o trem metropolitano (metrô), já que utilizam energias menos poluentes e reduzem o tempo de viagem e a quantidade de veículos nas vias. A CBTU (Companhia Brasileira de Trens Urbanos) estima que seus equipamentos comportem 60.000 passageiros por hora, o que diminuiria aproximadamente 150 carros ou 10 ônibus em circulação durante o mesmo período. Os metrôs são adotados em estruturas urbanas que estão isoladas dos demais modais e, por isso, auxiliam também na revitalização de centros urbanos degradados e conectam regiões periféricas. São, portanto, uma ferramenta para a mobilidade das cidades de médio e grande porte e contribuem na estruturação do sistema de deslocamento de pessoas (BAIÃO, 2011; CBTU, 2018; SANTOS *et al.*, 2014).

O ruído mecânico nos trens é gerado, principalmente, pelo contato roda-trilho. Esse ruído pode ser subdividido em ruído de rolamento – causado por vibrações da roda e da estrutura da linha, induzidas por irregularidades verticais – e ruído de impacto - devido às descontinuidades na roda ou na superfície do trilho. Em curvas de raio curto pode haver também chiados agudos que são provocados por forças de fricção instáveis no trilho e na roda (LOPES, 2017).

Além do tráfego de veículos e de trens, o transporte aéreo também impacta na acústica urbana e traz desconforto à população, principalmente durante pousos e decolagens. A distribuição de 713 questionários nas proximidades do aeroporto japonês de Fukuoka ilustra a situação: cerca de 65% dos entrevistados se preocupam com os ruídos das aeronaves, alegando que interrompem atividades cotidianas, como conversas ou situações de lazer. Uma solução que o Japão tem adotado para o problema é a construção de aeroportos no mar, por exemplo, em *Chūbu Centrair*, *Kobe* e *Kitakyushu* (KHEANG *et al.*, 2014).

Além dos diversos meios de transporte, outras fontes também estão presentes e podem variar de uma estrutura urbana para outra, por exemplo, com a presença de centros comerciais, industriais ou esportivos. Algumas regiões, como as escolares, hospitalares, habitacionais e de lazer, são mais sensíveis a níveis sonoros elevados

ou a determinadas fontes. Normalmente estão inseridas em organizações complexas de transporte, comércio e entretenimento e, por isso, essas particularidades devem ser consideradas durante o planejamento municipal e o zoneamento urbano (APA, 2011; COELHO *et al.*, 2004).

Em ambientes urbanos, além da necessidade de se identificar as principais fontes emissoras, deve-se considerar a interferência da estrutura física do local avaliado na propagação sonora. Isso porque a emissão de uma fonte pontual, em uma situação ideal, faria com que ondas sonoras se propagassem esfericamente. Mas, em uma composição urbana, pela configuração espacial e não uniformidade do meio, essa propagação é afetada, como demonstrado na Tabela 3, gerando atenuações e ampliações do som (GERGES, 1992). Os edifícios, por exemplo, funcionam como obstáculos e suas formas, sua posição em relação à fonte e a continuidade entre prédios vizinhos podem modificar a forma preliminarmente prevista, atenuando o som (GUEDES *et al.*, 2012). Por outro lado, as ampliações podem ser consequência de reflexões múltiplas nas fachadas que margeiam as vias de tráfego, causando reverberação (BISTAFA, 2006).

Tabela 3 – Principais mecanismos de atenuação e amplificação sonora ao ar livre

Mecanismo	Descrição	Atenuação aproximada de 5dB		
		Condições	À distância de	
Absorção do Ar	Absorção sonora do ar atmosférico	A 10°C e 70% de umidade relativa	800m	A*1
			1.500m em 500Hz 250m em 4kHz	Oitava
Solo Macio	Interferência entre o som direto e o refletivo sobre solo acusticamente macio	Para alturas da fonte e do receptor da ordem de 1,2m	85m	A*1
			10m em 250 e 500Hz 50m em 125 e 1.000Hz	Oitava
Barreira	Atenuação provocada por uma barreira acústica entre a fonte e o receptor, combinada com uma atenuação adicional de solo acusticamente "macio"	Quando o receptor se encontra na sombra acústica gerada pela barreira, em temperaturas normais e sem vento	Todas	-
Edificações	Atenuação provocada por edificações entre a fonte o receptor	Quando uma fileira de edificações com aproximadamente 25% de abertura	Todas	-
Vegetação Densa	Atenuação provocada por vegetação densa entre a fonte e o receptor	Áreas com muitas árvores e vegetação densa no solo	30m	A*1
			100m em 500Hz 50m em 4.000Hz	Oitava
Reverberação Urbana	Amplificação sonora devida a múltiplas reflexões em desfiladeiros urbanos	Com edificações de no mínimo 10m de altura em ambos os lados da rua	Todas	-

Mecanismo	Descrição	Atenuação aproximada de 5dB		A* ¹
		Condições	À distância de	
Vento e Temperatura	Alteração de atenuação do solo e/ou barreira, ou criação de sombras acústicas causadas por gradientes verticais de temperatura e de ventos	Em dias ensolarados para alturas da fonte e do receptor na ordem de 1,2m	150m	Oitava
			150m em 500Hz 50m em 4.000Hz	

Fonte: BISTAFA, 2006

*1 refere-se a níveis sonoros A - ponderados para espectro de fonte típica.

O estudo da acústica surge, portanto, auxiliando a propositura de planos de ação que objetivam, por meio de mudanças na infraestrutura das cidades e/ou informação da população, conter, manter ou reduzir os níveis de pressão sonora. Esses planos podem atuar:

- i. na fonte emissora, por meio da redução dos níveis de emissão (por exemplo, com uso de asfalto, pneus e motores silenciosos), da operação restritiva de fontes ruidosas (como o toque de recolher para aeroportos ou para veículos pesados), do gerenciamento de tráfego (como a redução do fluxo e da velocidade do tráfego), da aplicação de sanções para emissões excessivas e do incentivo para as fontes silenciosas; e
- ii. no caminho de propagação, com alterações no percurso entre a fonte e o receptor (como o uso de barreiras acústicas) e com isolamento das construções (como a implementação de janelas à prova de som) (EEA, 2020).

2.2.1 Legislação específica

A poluição sonora no ambiente urbano gera um debate embasado na Constituição Federal Brasileira e pautado na garantia a direitos. De um lado, o Art. 5º da Constituição Federal assegura a liberdade de expressão de atividades intelectuais, artísticas, científicas e de comunicação, enquanto estabelece no Art. 225 que é direito de todos ter um ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida. Surgem, então, conflitos que buscam resguardar cada um desses direitos, a partir de perspectivas distintas (BRASIL, 1988; CORREIA *et al.*, 2016).

A legislação brasileira que conciliaria essas posições conflitantes não exige ainda o mapeamento sonoro aos municípios. Existe, em contrapartida, iniciativas pontuais,

como na cidade de São Paulo. Essa coercitividade contribuiria para conscientizar a população dos efeitos do ruído na saúde; identificar as principais fontes emissoras; fomentar o uso de novas tecnologias que reduzam as emissões; elaborar planos de ação; realizar consultas públicas; e orientar ações e políticas públicas que melhorem a qualidade ambiental e urbanística (SÃO PAULO, 2016).

De acordo com a Lei Federal nº 6.938 (BRASIL, 1981), o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão responsável por “deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida”. A partir dessa prerrogativa cedida pela legislação federal, o órgão, em 1990, publicou duas resoluções remetendo ao tema da acústica:

- i. Resolução 001 (CONAMA, 1990), que estabelece que são prejudiciais à saúde e ao sossego público os ruídos com níveis superiores aos limites estabelecidos pela ABNT NBR 10151. Além disso, que todas as medições de níveis de pressão sonora de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas devam ser feitas de acordo com a aludida norma; e
- ii. Resolução 002 (CONAMA, 1990), que institui o Programa Nacional de Educação e Controle de Poluição Sonora – SILÊNCIO.

A norma brasileira a que a Resolução 001 (CONAMA, 1990) se refere define, entre outros, a instrumentação, a calibração, os descritores, os procedimentos e os limites de níveis de pressão sonora em função do tipo de área habitada e do período do dia (Tabela 4). Quanto ao período, é considerado período diurno aquele definido pelas autoridades, de acordo com os hábitos da população, enquanto o noturno não deve iniciar depois das 22h00min, nem terminar antes das 7h00min.

Tabela 4 – Níveis de pressão sonora máximos estabelecidos pela NBR 10151 (RL_{Aeq})

Tipos de áreas habitadas	Limites sonoros (dB)	
	RL_{Aeq}	
	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

Tipos de áreas habitadas	Limites sonoros (dB)	
	Período diurno	Período noturno
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: Adaptado de ABNT, 2019

O estado de Minas Gerais, por meio da Lei nº 7.302 (MINAS GERAIS, 1978), estabeleceu quais fontes sonoras são permitidas e proibidas para que estejam resguardadas a saúde, segurança e sossego públicos. Em 1990 a lei foi alterada pela Lei nº 10.100 (MINAS GERAIS, 1990) e os limites vigentes atualmente estão expostos na Tabela 5. Além dos limites da Tabela 5, estabelece também que os níveis, independentemente do período, não podem superar 10 dB (ponderação em frequência A) o ruído residual, desconsiderando o tráfego.

Tabela 5 – Níveis de pressão sonora máximos estaduais

Período	Limites sonoros (dB – ponderação em frequência A)
Diurno (6h00min às 22h00min)	70
Noturno (22h00min às 6h00min)	60

Fonte: Adaptado de MINAS GERAIS, 1990

O município de Belo Horizonte publicou a Lei Municipal nº 9.505 (BELO HORIZONTE, 2008), conhecida como Lei do Silêncio, proibindo a emissão sonora que coloque em risco ou prejudique a saúde individual ou coletiva, cause danos às propriedades públicas ou privadas, cause incômodos, perturbe o sossego ou bem-estar públicos ou ultrapasse os limites da Tabela 6.

Tabela 6 – Níveis de pressão sonora máximos municipais ²¹

Período	Limites sonoros (dB – ponderação em frequência A)	Limites para escola, creche, biblioteca pública, cemitério, hospital, ambulatório, casa de saúde ou similar (dB – ponderação em frequência A)
Diurno (07h01min às 19h00min) ²²	70 dB	55 dB

²¹ Às sextas-feiras, aos sábados e em vésperas de feriados, será admitido, até às 23h00min, o nível correspondente ao período vespertino (BELO HORIZONTE, 2008).

²² Os períodos para a avaliação acústica foram transcritos conforme a Lei Municipal nº 9.505 (BELO HORIZONTE, 2008). Mas, da forma como estão expostos, o trecho entre 07h00min e 07h30min não estaria abarcado por nenhum limite sonoro. Desta forma, entende-se que o período diurno tem início às 7h00min.

Vespertino (19h00min às 22h00min)	60 dB	50 dB
Noturno (22h00min às 23h59min)	50 dB	45 dB
Noturno (00h00min às 07h00min)	45 dB	45 dB

Fonte: Adaptado de BELO HORIZONTE, 2008

A Lei Municipal nº 9.505 (BELO HORIZONTE, 2008) citada estabelece os padrões, critérios e diretrizes para a emissão de ruídos, sons e vibrações, em locais confinados ou não. No Art. 4º, todavia, determina que os níveis máximos da Tabela 6 devem ser observados quando as emissões sonoras forem provenientes de fontes fixas²³ e indica que, nesses casos, as medições acústicas devem ser realizadas no local de emissão²⁴. As avaliações com foco no ruído ambiente, portanto, não se enquadrariam, a priori, nas especificações da Tabela 6, já que não há uma fonte fixa sob análise ou um local específico de emissão. Mas, a Lei Municipal, por determinar um valor de tolerância para uma fonte fixa, não deixa de estabelecer também quais seriam os valores permitidos nos espaços da cidade. Desta forma, neste estudo, entende-se que a Lei Municipal nº 9.505 (BELO HORIZONTE, 2008) define também o limite para a combinação dos níveis de pressão sonora gerados pelas diversas fontes do ambiente urbano.

Atualmente a aplicação dos limites da Lei Municipal nº 9.505 (BELO HORIZONTE, 2008) está incoerente com a hierarquia brasileira de leis (BRASIL, 1988). Isso porque, como pode ser observado na Tabela 6, é mais permissiva do que a norma brasileira, que possui prerrogativa federal decorrente da Lei nº 6.938 (BRASIL, 1981). Além disso, aos limites da Tabela 6 pode ser acrescido 5 dB (ponderação em frequência A), como determinado no Art. 4º §3º, caso não seja possível verificar os níveis sonoros no local do incômodo, admitindo neste caso que a medição seja realizada no passeio. Entende-se, portanto, que o valor admissível em passeios da cidade, no período diurno, é 75 dB (ponderação em frequência A).

No Art. 4º §7º a Lei Municipal nº 9.505 estabelece que:

²³ É considerada uma fonte fixa “qualquer instalação, equipamento ou processo, situado em local fixo, que produza emissão sonora para o seu entorno” (BELO HORIZONTE, 2008).

²⁴ O nível sonoro de emissão é aquele recebido em um ponto próximo ao edifício de interesse, sem nenhum efeito reflexivo (ASSELINEAU, 2015).

O nível de som proveniente da fonte poluidora, medido dentro dos limites reais da propriedade onde se dá o suposto incômodo, não poderá exceder em 10 dB (curva de ponderação A) o nível do ruído de fundo²⁵ existente no local (BELO HORIZONTE, 2008).

Por fim, ainda em relação à Lei Municipal nº 9.505, como apresentado na Tabela 6, há a categorização de níveis sonoros máximos apenas em períodos, não distinguindo-os quanto às zonas de uso e ocupação do solo da cidade. Houve, na verdade, um agrupamento de alguns empreendimentos específicos também identificados na Tabela 6, com limites diferenciados. Essa e outras considerações embasam o projeto de lei, a ser encaminhado à Câmara Municipal, que propõe a alteração dos limites atuais e exige o mapeamento sonoro a cada 5 anos (SME, 2019).

Para a compreensão da grandeza dos valores apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6, é apresentada a Tabela 7 com a comparação da sensação subjetiva de intensidade, da pressão sonora e do nível de pressão sonora.

Tabela 7 – Níveis de pressão sonora para sons do cotidiano e correspondentes sensações subjetivas

Sensação subjetiva de intensidade	Descrição	Pressão sonora (Pa)	Nível de Pressão Sonora (dB)
Estrondoso	Avião a jato a 1m (Perigo de ruptura do tímpano)	200	140
	Avião a jato a 5m (Limiar da dor)	63	130
	Metrô	6,3	110
Barulhento	Rua barulhenta	0,63	90
	Dentro de um automóvel em alta velocidade	0,2	80
Moderado	Rua com Barulho médio / Pessoa falando a 1m	0,0063	70
Tranquilo	Restaurante tranquilo	0,006	50
Silencioso	Teatro vazio / Quarto de dormir	0,0006	30
Muito silencioso	Respiração normal	0,00006	10

Fonte: Adaptado de GONZALES, 1980 *apud* BISTAFA, 2006

2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Simular é um ato de experimentar, a partir da delimitação de um objetivo, um sistema - agrupamentos de partes que operam em conjunto. Quando o sistema é

²⁵ Ruído de fundo, segundo a Lei Municipal nº 9.505 (BELO HORIZONTE, 2008), é o “nível de som equivalente, expresso na curva de ponderação A de todo e qualquer ruído que esteja sendo captado e que não seja objeto das medições sonoras, no local e horário considerados”. A norma brasileira, em contrapartida, não utiliza essa nomenclatura. A definição correspondente seria “som residual” (ABNT, 2014).

complexo, seu comportamento pode ser analisado a partir do desenvolvimento de modelos, que são representações ou abstrações da realidade e das interações do próprio sistema (BALCI, 2001; CHWIF *et al.*, 2010; LAW *et al.*, 1991; WINSBERG, 2003).

Os modelos se aproximam, de fato, do comportamento real do sistema, mas, por serem feitas simplificações, sua confiabilidade deve ser atestada por meio das seguintes etapas:

- i. validação, que visa atestar se o modelo de simulação conceitual (em oposição ao *software*) é uma representação precisa do sistema em estudo; e
- ii. calibração, que representa a interação entre um ambiente computacional e o experimento. A finalidade é atualizar ou ajustar os parâmetros desconhecidos, utilizando resultados experimentais. Emprega ajustes ou atualizações dos parâmetros para alcançar uma melhor relação entre a situação experimental e a simulada. Não avalia, entretanto, a incerteza no uso desse modelo (BALCI, 2001; CHWIF *et al.*, 2010; HIGDON *et al.*, 2004; KLEIJNEN, 1995; OBERKAMPF *et al.*, 2004; WINSBERG, 2003).

2.3.1 Mapas acústicos

Os mapas acústicos são uma ferramenta de análise dos níveis de pressão sonora. Eles possibilitam a indicação da:

- i. situação sonora existente, anterior ou prevista em função de um descritor;
- ii. ultrapassagem de um valor limite;
- iii. número estimado de habitações, escolas e hospitais expostos em determinada zona; ou
- iv. número estimado de pessoas expostas (EC, 2002; MARDONES, 2009).

Esses mapas podem ser elaborados a partir de medições (método experimental) ou por simulações computacionais²⁶. O método computacional, quando possível, é recomendável. Isso porque o experimental pode ser inviável pela necessidade de grande quantidade de medições a longo prazo, por não contribuir na previsão dos

²⁶ As medições também são utilizadas em simulações computacionais, mas em menor número e com a finalidade de validação dos dados (WG-AEN, 2007).

efeitos de planos de ações, por ser estático²⁷ e por não identificar facilmente a contribuição de cada uma das fontes sonoras (COELHO *et al.*, 2004, 2005; SANTOS *et al.*, 2004; WG-AEN, 2007).

A simulação computacional é, portanto, uma aliada no controle da poluição sonora, facilitando o gerenciamento e a tomada de decisões por autoridades públicas (ZANNIN *et al.*, 2011). Para isso, um *software* é selecionado como ferramenta para criar modelos tridimensionais (3D) da área em estudo e para importar e exportar dados (FLORÊNCIO, 2018).

SoundPLAN (Empresa Braunstein + Berndt GmbH), CadnaA (DataKustik), Predictor-LimA (Empresa Brüel & Kjær) e iNoise (DGMR Software) são exemplos de *softwares* utilizados. As diferenças entre eles estão relacionadas com o tipo de geometria e topografia dos dados importados e com o tempo de cálculo²⁸ (ARANA *et al.*, 2010; MARDONES, 2009; MONARCA *et al.*, 2014; ZANARDI *et al.*, 2016). Normalmente esses *softwares* são compatíveis com diversas normas internacionais de ruído de estradas, ferrovias, indústrias e aeronaves e, com isso, os níveis de pressão sonora podem ser calculados de forma associada a fontes específicas, por meio de dados de entrada e com a utilização de algoritmos padrões (FLORÊNCIO, 2018; NARDI, 2008).

Essa inserção de dados caracteriza a modelagem da área, valendo-se dos parâmetros da Tabela 8. A depender dos objetivos do projeto, esses parâmetros podem se modificar, não sendo, portanto, fixos. Além deles, as fontes sonoras influentes, mesmo que externas à área de estudo, devem ser consideradas nos mapeamentos sonoros de aglomerações. Para isso, recomenda-se analisar a potência sonora ou os níveis de pressão sonora, o efeito cumulativo, as condições

²⁷ No método experimental, para que haja uma atualização do mapa, seriam necessárias novas medições. Por outro lado, as simulações acústicas são flexíveis e facilmente atualizáveis a partir de uma nova contagem do fluxo de veículos e de atualizações pontuais na modelagem (COELHO *et al.*, 2004).

²⁸ Estudo realizado por Zanardi, Henríquez e Torres (2016) demonstrou que há uma diferença considerável no tempo de cálculo entre o *software* SoundPLAN v.7.3 (*software* comercial) e o Code_TYMPAN V3.9 (*software* de código aberto), sendo o primeiro de 46 a 50 vezes mais rápido do que o segundo.

meteorológicas, a topografia e a distância entre essas outras fontes e a área sob análise (WG-AEN, 2007).

Tabela 8 – Parâmetros de modelagem para simulação computacional

Parâmetros	
Fontes sonoras	Tráfego de veículos
	Indústrias
	Ferrovias
Condições do ambiente	Entreterimento
	Superfície da via
	Altura das construções
	Largura das vias
Condições meteorológicas	Coefficiente de absorção das fachadas
	Umidade
	Temperatura
Demográficos	Vento
	Número de habitantes
	Número de unidades habitacionais por prédio

Fonte: Adaptado de PINTO *et al.*, 2009

No *software* Predictor, por exemplo, os arquivos no formato *shapefile*²⁹ podem ser inseridos como fachadas emissoras, fontes lineares, pontuais e móveis, ferrovias, vias, receptores, edificações, regiões de vegetação, residenciais e industriais, entre outros. A escolha deve estar de acordo com a forma com que o usuário almeja que o *software* interprete a informação, sendo que, para cada um dos itens citados, são apresentadas propriedades específicas. Quanto às edificações, por exemplo, podem ser editadas as altimetrias e os fatores de reflexão da fachada.

O usuário define também as dimensões das grades (*grides*). O *grid* delimita uma região para apresentação dos contornos dos níveis de pressão sonora e determina o espaçamento entre os pontos onde o cálculo do nível de pressão sonora será realizado (*grid point*). Essa escolha depende, portanto, da precisão almejada, do tempo de processamento e do tamanho da área (BRÜEL & KJÆR, 2013). Em locais densamente construídos recomenda-se que os espaçamentos estejam entre 5 e 15 m. É usual, em aglomerações urbanas, que não ultrapassem 10 m, mas, se as ruas entre os edifícios forem estreitas, é aconselhável usar distâncias menores (FLORÊNCIO, 2018; WG-AEN, 2007).

²⁹ É um formato de armazenamento de dados vetoriais com a posição, o formato e os atributos dos elementos geográficos. É armazenado como um conjunto de ficheiros relacionados (CAVALCANTE, 2015).

2.3.1.1 Validação e calibração

Selecionar dados que não correspondam fielmente às características reais da área pode impactar consideravelmente na simulação, mas, ao contrário de uma situação ideal, nem sempre estão disponíveis todas as variáveis necessárias. Com isso, amostras representativas são coletadas, presunções são feitas e médias são introduzidas. Uma consequência disso é a inserção de incertezas no resultado final que podem estar relacionadas, por exemplo, ao número de veículos pesados, à velocidade média dos veículos, aos dados topográficos e ao tipo da superfície das vias (AUSEJO *et al.*, 2010; KING *et al.*, 2009; MERCHAN *et al.*, 2013; ZANARDI *et al.*, 2016).

A caracterização e a velocidade média do tráfego, em especial, influenciam de forma significativa no resultado final da simulação. Por outro lado, há evidências de que a variação da largura das ruas e da altura dos edifícios não atuam de forma considerável nos erros do resultado simulado (ALMEIDA *et al.*, 2004; AUSEJO *et al.*, 2010).

Por nem sempre representarem verdadeiramente a realidade, os modelos devem ser validados. Esse procedimento consiste em comparar os níveis simulados e os medidos *in loco* – e que representam a real situação sob análise. Em ambientes urbanos, a divergência entre os valores ocorre, principalmente, em cruzamentos de vias, em passagens desniveladas e em locais de confluência de vias com tráfego intenso (ALMEIDA *et al.*, 2004). O erro máximo admissível entre os valores é de 4 dB (EU Noise Policy Working Group 3 on Noise Mapping, 2001 *apud* NARDI, 2008).

Quando os valores simulados são inferiores aos medidos, deve-se atentar à presença de outras fontes sonoras não consideradas. Em contrapartida, se forem superiores, pode ter havido influência do:

- i. dado introduzido no modelo, por exemplo, se a velocidade e/ou as características de absorção da fachada das edificações inseridas no *software* não correspondem à realidade;
- ii. próprio modelo, indicando que a potência sonora pode estar inadequada para as fontes; ou
- iii. critério técnico, com o mau posicionamento do receptor ou generalização do fluxo veicular (GOZALO *et al.*, 2019).

O procedimento de calibração é obtido adaptando e ajustando iterativamente o modelo com os parâmetros da Tabela 8. Após cada ajuste no modelo o *software* calcula os níveis sonoros e os resultados são avaliados nos *receivers* – pontos importados no *software* que definem onde o usuário almeja conhecer o nível sonoro, em dB. A etapa é finalizada quando atinge a representação da situação ambiental desejada.

2.3.1.2 Métodos de cálculo

Modelos matemáticos são empregados em *softwares* de simulação acústica para o cálculo de emissões e de níveis de pressão sonora. De acordo com Calixto (2002), eles incorporam aspectos da propagação do som no ar para a perda da transmissão da pressão sonora, em determinada distância de referência.

Exemplos de modelos empregados nos *softwares* são o *Calculation of Road Traffic Noise* (CRTN), o *Nordic Prediction Method for Train Noise Model* (NMT), o *Common Noise Assessment Methods in Europe* (CNOSSOS-EU), o *Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit des Routes* (NMPB, versão de 1996 e de 2008) e o *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen* (RLS-90). Eles se diferem pelas fórmulas empregadas para o cálculo do nível de pressão sonora e da propagação entre a fonte e o *receiver*; pelos itens que podem ser inseridos no modelo; e pelas configurações de cálculo (BRÜEL & KJAER, 2016; GIUNTA *et al.*, 2013).

De forma geral, cada método possui uma forma de contemplar as características das fontes sonoras e as propriedades físicas do ambiente durante o cálculo dos níveis sonoros. As variações dependem do local onde foi desenvolvido e a finalidade pretendida com ele. Alguns métodos são dedicados ao cálculo da emissão de uma fonte específica pré-estabelecida e, conseqüentemente, as propriedades tenderão a caracterizá-la. Por exemplo, no caso de uma ferrovia, os atributos podem ser o tipo do trem ou o número de viagens. Existem métodos também que não distinguem o tipo de emissor, permitindo a inserção de fontes gerais, sejam elas lineares, pontuais ou móveis (BRÜEL & KJAER, 2016).

Em casos brasileiros, diversos métodos são apresentados com resultados satisfatórios (CALIXTO, 2002; LOPEZ *et al.*, 2020; NARDI, 2008; PINTO *et al.*, 2009). Para a cidade de São Paulo, por exemplo, o CNOSSOS-EU foi identificado como o mais apropriado para representar as condições reais de veículo e pavimento do local (POZZER *et al.*, 2018b).

2.4 REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE MAPAS ACÚSTICOS

Apesar da relevância dos mapas acústicos no desenvolvimento e planejamento urbano, não existe uma padronização para a sua produção, até mesmo porque os parâmetros tendem a modificar a depender da área e do objetivo proposto. A dificuldade em reproduzir, atualizar ou elaborar novos estudos está também na não divulgação de todos os critérios utilizados (MOTA *et al.*, 2019).

Nos tópicos seguintes são apresentadas uma evolução e contextualização referente ao tema, em âmbitos internacional e nacional.

2.4.1 Internacionais

A preocupação com a poluição sonora urbana e com os efeitos na saúde é pauta de debates em diversos países e áreas do conhecimento, como engenharia, psicologia, arquitetura e medicina. O tema, todavia, não é uma inovação do século XXI. Publicações já nas décadas de 70 e 80 investigavam os níveis sonoros e as consequências, por exemplo, para a saúde pública e para o planejamento urbano (BLITZ, 1974; FONTANET, 1975; KRICHAGIN, 1978; MAURIN, 1981; VULKAN, 1975).

Em 1996, o *Center for hearing and communication* (CHC), buscando alertar a população, deu início ao Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído (INAD). A iniciativa, a princípio, alcançava apenas alguns dos estados dos Estados Unidos da América (EUA), mas, atualmente, conta com grupos colaboradores ao redor do mundo, como Chile, Espanha, Alemanha, Itália e Brasil (CHC, 2020; INAD [S.d.]).

Após seis anos, a publicação da Directiva 49/EC marca a história da acústica urbana, inspirando diversos projetos. Com essa regulamentação europeia, quaisquer interessados podem acompanhar a evolução dos níveis sonoros de aglomerações urbanas com mais de 250 mil habitantes, direcionando a atuação dos Estados-Membros (EC, 2002).

Em 2004, o *London Noise Map* estreia, após a diretiva, como primeiro mapa sonoro produzido por iniciativa de um governo nacional (TSAI *et al.*, 2008). Outros países, até mesmo antes da publicação, anteviram a relevância do assunto. Madrid, por exemplo, se equipa desde 1994 para acompanhar a evolução temporal dos níveis sonoros. Atualmente conta com uma rede de monitoramento com 31 estações permanentes, 16 móveis e 5 veículos instrumentados (ENVIROSUITE, [S.d.]). Lisboa

também, por iniciativa da Câmara Municipal, já publicava seus mapas diurno e noturno (COELHO *et al.*, 2000). Outro exemplo é a Alemanha que conduz pesquisas há 25 anos, identificando constantemente as principais fontes sonoras (TSAI *et al.*, 2008).

As metodologias e a forma de expor esses resultados têm progredido de forma gradativa e com apoio da tecnologia. O mapa de Amsterdã, por exemplo, virtual e interativo, permite que o usuário escolha as fontes que o comporão (AMSTERDÃ, 2018). No *San Francisco International Airport* (SFO) a divulgação ocorre de forma dinâmica, atualizando os níveis a medida com que as aeronaves interceptam a área (SFO, [S.d.]).

Uma das metodologias difundidas para mapeamento e acompanhamento dos níveis sonoros, já mencionada, é a simulação acústica. Com a intenção de apresentar um panorama internacional dos estudos que utilizaram essa ferramenta, a Tabela 9 lista artigos publicados em periódicos e congressos.

Tabela 9 – Panorama internacional: Simulação acústica

	Ano	Referência	País
América	2007	Kaliski <i>et al.</i>	EUA
	2011	Silva <i>et al.</i>	Chile
	2013	Manzo <i>et al.</i>	México
	2014	Silva <i>et al.</i>	Chile
	2015	Martínez <i>et al.</i>	Equador
	2016	Villalobo <i>et al.</i>	Argentina
		Sosa <i>et al.</i>	Argentina
	2019	Moncayo <i>et al.</i>	Equador
Ásia	2008	Lee <i>et al.</i>	Coréia
	2018	Çolakkadioğlu <i>et al.</i>	Turquia
	2019	Gürsoy <i>et al.</i>	Turquia
Europa	2000	Coelho <i>et al.</i>	Portugal
	2003	Almeida <i>et al.</i>	Portugal
	2005a	Coelho <i>et al.</i>	Portugal
		Boubezari <i>et al.</i>	Portugal
	2011	Coelho <i>et al.</i>	Portugal
	2013	Coelho <i>et al.</i>	Portugal
	2014	Vogiatzis <i>et al.</i>	Grécia
	2016	Coelho <i>et al.</i>	Portugal
	2018	Vogiatzis <i>et al.</i>	Grécia
	2020	Aletta <i>et al.</i>	Itália
Oceania	2015	Hinze	Austrália

Fonte: Autora, 2021

Por sua flexibilidade e dinamicidade, o método é implantado em países com características sociais, topográficas, climáticas, ambientais e econômicas distintas, como constatado na Tabela 9.

Quanto à quantificação dos níveis em centros urbanos internacionais, apresentados no estado da arte, a situação é alarmante. De forma geral, tendem a valores superiores aos recomendados pela OMS para a manutenção da saúde, como ocorre em Córdoba (Argentina) e Seoul (Coreia). Na região metropolitana do Valle de México, 75 dB (ponderação em frequência A) são verificados apenas considerando o ruído do tráfego, situação declarada inaceitável para o local.

Além dos artigos apresentados, instituições de ensino e órgãos públicos comumente publicam mapas sonoros simulados computacionalmente, como em Puerto Montt, no Chile (VEGA, 2008). O Instituto Superior Técnico de Lisboa também presta suporte na elaboração e atualização de diversos mapas em Portugal, como em Loures (LOURES *et al.*, 2015) e em Almada (DEGAS, 2015). No contexto da acústica urbana, a atuação de órgãos internacionais como a OMS e a EEA também é frequente, publicando relatórios que contribuem na conscientização e na divulgação do tema, como o *Burden of disease from environmental noise*.

A expectativa é que haja, com o desenvolvimento de tecnologias alternativas, a implantação de novas ferramentas que amparem na elaboração, manutenção e divulgação dos dados sonoros. Atualmente, aplicativos de celular já permitem a construção colaborativa de mapas, como *IVGI Noise App (University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland)* e o *NoiseTube* (iniciado na *Science Lab Sony Computer*, em Paris, e mantido pelo *Vrije Universiteit Brussel*) (MAISONNEUVE *et al.*, 2009b, 2009a; STARK *et al.*, 2015).

2.4.2 Nacionais

Os estudos brasileiros enfrentam entraves metodológicos para o mapeamento sonoro já que há a escassez de modelos específicos de propagação dos níveis de pressão sonora gerados pelo tráfego nacional, a falta de caracterização dos pavimentos e o fato de os modelos de simulação se basearem apenas na frota de veículos europeia (CARNIEL *et al.*, 2018; POZZER *et al.*, 2018b).

Na Tabela 10 é apresentado o cenário dos estudos nacionais que utilizaram a simulação acústica para elaboração dos mapas sonoros e que foram publicados em artigos de congressos ou periódicos. Inicialmente as publicações na região sudeste, quantitativamente, eram pouco expressivas, mas atualmente é onde se concentra o maior número de estudos, especialmente no Rio de Janeiro e São Paulo.

Tabela 10 – Panorama nacional: Simulação acústica

Ano	Referência	Localização	Região do Brasil
2003	Moraes et al. (2003)	Belém (PA)	Norte
2008	Nardi (2008)	Florianópolis (SC)	Sul
2009	Maciel et al. (2009)	Águas Claras (DF)	Centro-Oeste
	Moraes (2009)	Belém (PA)	Norte
	Pinto et al. (2009)	Copacabana (RJ)	Sudeste
2010	Cantieri et al. (2010)	Curitiba (PR)	Sul
	Garavelli et al. (2010)	Águas Claras (DF)	Centro-Oeste
	Moraes et al. (2010)	Belém (PA)	Norte
2011	Guedes et al. (2011)	Aracaju (SE)	Nordeste
	Zannin et al. (2011)	Curitiba (PR)	Sul
2012	Andrade (2012)	Curitiba (PR)	Sul
	Souza (2012b)	Salvador (BA)	Nordeste
2013	Zannin et al. (2013)	Curitiba (PR)	Sul
2014	Andrade et al. (2014)	Curitiba (PR)	Sul
	Vianna (2014)	São Paulo (SP)	Sudeste
2015	Filho et al. (2015)	Campo Grande (MS)	Centro-Oeste
	Silva (2015)	Valparaíso de Goiás (GO)	Centro-Oeste
2016	Bunn et al. (2016a)	Curitiba (PR)	Sul
	Correia et al. (2016)	Brasília (DF)	Centro-Oeste
	Santos (2016)	Brasília (DF)	Centro-Oeste
	Belderrain et al. (2016)	São Paulo (SP)	Sudeste
2017	Ferreira (2017)	Rio de Janeiro (RJ)	Sudeste
	Amorim et al. (2017)	Cuiabá/ Várzea Grande (MT)	Centro-Oeste
	Brasileiro (2017)	João Pessoa (PB)	Nordeste
	Bessa et al. (2017)	Manaus (AM)	Norte
2018	Cortês (2018)	Rio de Janeiro (RJ)	Sul
	Maroja et al. (2018)	Águas Claras (DF)	Centro-Oeste
	Fernandes et al. (2018)	Rio de Janeiro (RJ)	Sudeste
	Florêncio (2018)	Natal (RN)	Nordeste
	França et al. (2018)	Rio de Janeiro (RJ)	Sudeste
	Fagerlande et al. (2018)	Rio de Janeiro (RJ)	Sudeste
	Pozzer et al. (2018a)	São Paulo (SP)	Sudeste
	Vilela et al. (2018)	Cuiabá (MT)	Centro-Oeste
2019	Carvalho et al. (2019)	Rio de Janeiro (RJ)	Sudeste
	Michalski et al. (2019)	São Paulo (SP)	Sudeste
	Zannin et al. (2019)	Curitiba (PR)	Sul
2021	Nascimento et al. (2021)	Goiânia (GO)	Centro-Oeste

Fonte: Autora, 2021

A primeira cidade brasileira a divulgar um mapa acústico completo da região metropolitana foi Fortaleza, projeto implantado pela Secretaria de Meio Ambiente e apresentado em 2013. Teve embasamento na quantidade exorbitante de reclamações da população em relação à poluição sonora, o que forçou uma união dos órgãos públicos para um combate efetivo. A proposta apresentada considerava uma atualização mensal dos mapas (FORTALEZA, 2013; PRO ACÚSTICA, 2013). Mesmo antes, em 2009, a cidade já indicava se preocupar com o assunto, criando um mapa colaborativo (WikiBarulho) com denúncias geolocalizadas (SOUSA, 2012).

Outra iniciativa é a lei paulista, já citada, que inova no ordenamento jurídico brasileiro ao trazer coercitividade para a elaboração de mapas de ruído urbano ao poder executivo municipal. Os resultados serão disponibilizados em uma camada digital do mapa da cidade, tornando-os acessíveis aos interessados (SÃO PAULO, 2016, 2019).

Um ano após a publicação da lei de São Paulo, a Associação Brasileira para a Qualidade Acústica (ProAcústica) criou um Grupo Técnico (GT) com mais de 15 empresas e de 20 especialistas para a consolidação de diversos estudos, inclusive os que embasaram o “Mapa de ruído urbano – Centro SP”. A partir dele é possível concluir que, ao inativar o elevado Presidente João Goulart (Minhocão), poderia haver a redução de 10 dB na região, o que diminuiria pela metade os níveis em termos de sensação humana (INAD, [S.d.]; POZZER *et al.*, 2018a; SÃO PAULO, 2016). O mesmo grupo foi também responsável pelo “Mapa piloto da cidade de São Paulo”, que estampou a influência do tráfego de veículos para a composição sonora urbana, com a redução dos níveis noturnos e com níveis elevados concentrados em avenidas intensamente movimentadas (POZZER *et al.*, 2018a).

As iniciativas no Brasil decorrem majoritariamente de instituições de ensino (BRASILEIRO, 2017; FLORENCIO, 2018). Os objetivos principais são quantificar os níveis de pressão sonora em bairros, centros comerciais ou cidades, relacioná-los com modais de transporte e com a população afetada e analisar a mudança no ambiente acústico causada por um empreendimento específico, como um bar.

O banco de artigos da Tabela 10 permite a extração de algumas conclusões a respeito das metodologias que são adotadas no país:

- i. os *softwares* mais comuns no cenário brasileiro são SoundPLAN, CadnaA e Predictor e, em relação os métodos de cálculo para tráfego de veículos, os mais utilizados são NMPB, RLS-90 e ISO 9613. De forma geral, o tamanho dos *grides* variam entre 20x20 m e 30x30 m;
- ii. a quantidade de medições suficiente para caracterizar acusticamente uma área é variável e diversos são os fatores que devem ser considerados. Alguns deles são o tamanho da área e a disponibilidade de equipamentos, equipe e tempo. Nos estudos apresentados na Tabela 10 o número de medições variou de 7 a 416 pontos, o que é justificável pelas dimensões

- das áreas pesquisadas. Existe uma lacuna para quem busca um norteamento ou recomendação formal para a escolha desses valores;
- iii. a altura do tripé esteve entre 1,2 m e 1,7 m, enquanto a altura de simulação variou de 1,2 m a 4,0 m. A metodologia em alguns casos consiste em equiparar as duas informações, fazendo as alturas da simulação e do medidor serem as mesmas. Em outros, utilizam 4,0 m apenas para a simulação, recomendação da Directiva 49/EC (EC, 2002). O documento divulgado pelo grupo WG-AEN (2007) recomenda o uso de diversas alturas, argumentando que o parâmetro da Directiva pode inserir imprecisão significativa nos resultados;
 - iv. quanto ao erro máximo admissível para a simulação, os valores variaram de 1,0 dB a 4,6 dB. O EU Noise Policy Working Group 3 on Noise Mapping, como já citado, sugere 4 dB (ponderação em frequência A) (NARDI, 2008);
 - v. o descritor predominante é o L_{Aeq} , mas os estatísticos e os L_D , L_N e L_{DEN} também são comumente utilizados. Para o cálculo do primeiro, o tempo de medição esteve entre 3 e 30 min, tendo como fatores condicionantes a diversidade das fontes sonoras e a duração e frequência das emissões, o que está em acordo com as recomendações da NBR 10151 (ABNT, 2019); e
 - vi. ainda em relação às medições, aconteceram majoritariamente de segunda a sexta-feira, a depender dos objetivos almejados. Da mesma forma foram determinados os locais, ora próximos aos empreendimentos de interesse, ora nos centros de quadras ou nas interseções de vias.

Há 18 anos já se demonstrava a situação alarmante dos centros urbanos brasileiros em relação à poluição sonora. Na publicação de Moraes *et al.* (2003) todos os pontos ultrapassaram os limites normativos. Essa foi a tendência geral nas pesquisas avaliadas, com destaque para a cidade do Rio de Janeiro. Em Fernandes *et al.* (2018), estudo no corredor cultural do bairro da Lapa, os valores de $L_{Aeq,T}$, com bares e casas noturnas em funcionamento, estiveram entre 76,9 dB e 79 dB. No de Fagerlande *et al.* (2018), no entorno da Rua Pinheiro Machado, o $L_{Aeq,T}$ medido também atingiu 79 dB, mas com a simulação acústica prevendo 85 dB na Praia de Botafogo e até mesmo 90 dB em trechos da via expressa.

Em São Paulo a condição é igualmente preocupante. Em trechos de algumas avenidas, como Av. Henrique Schaumann ou Av. Rebouças, o L_{day} esteve entre 80 dB e 85 dB (VIANNA, 2014). Essa faixa de decibels também foi identificada em Curitiba (ANDRADE, 2012) e Natal (FLORÊNCIO, 2018).

Diante desses dados, é salientado que os efeitos não auditivos na saúde podem ter início entre 42 dB e 60 dB (ponderação em frequência A), apesar de algumas organizações, como a *Toronto Public Health*, indicarem que esse valor estaria em torno de 70 dB (HEALTH CANADA, 2017; TORONTO PUBLIC HEALTH, 2017). Independente da perspectiva adotada, os níveis sonoros avaliados ultrapassam demasiadamente os valores considerados saudáveis para a população.

Além das referências da Tabela 10, os mapas acústicos utilizam outras metodologias além da simulação acústica, como a interpolação³⁰ (GIUNTA *et al.*, 2012; MORAES *et al.*, 2005; ZANNIN *et al.*, 2002). Outras publicações relevantes também são divulgadas sem necessariamente produzir os mapas, mas avaliando quantitativamente os níveis, por exemplo, com investigações estatísticas (BORTOLI *et al.*, 2002; CASTRO *et al.*, 2020; FRITSCH, 2006; GIANNINI *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2019; MOURA *et al.*, 2016; SHOEMIGA, 2011).

2.4.2.1 Belo Horizonte - MG

Em 1992, Alvares e Pimentel publicaram o resultado de medições acústicas para o diagnóstico de zonas de Belo Horizonte, a partir da classificação dada pela Lei do Uso e Ocupação do Solo vigente à época. Os descritores coletados foram $L_{Aeq,T}$, L_{10} , L_{90} , $L_{máx}$ e $L_{mín}$. Para as medições, que ocorreram entre 8h00min e 18h00min de segunda a sexta-feira, os equipamentos foram posicionados a 2 m das fachadas e afastados 20 m de cruzamentos e semáforos. Em cada um dos 153 pontos escolhidos, 89 medições foram extraídas em intervalos de 10 s, durante 15 min. A média de $L_{Aeq,T}$ de todas as zonas foi 69,5 dB (ALVARES *et al.*, 1992).

Após 5 anos, Valadares (1997) relacionou os níveis de pressão sonora do tráfego urbano em vias da capital mineira às características geométricas e de tráfego. Cinco pontos foram distribuídos na Rua Padre Eustáquio, Rua Três Pontas, Av. Dom Pedro II e Av. Teresa Cristina para aferição dos descritores $L_{Aeq,1h}$, L_{10} e L_{90} . O autor concluiu

³⁰ O método da interpolação permite construir isolinhas de níveis sonoros por meio de ferramentas de SIG (GIUNTA *et al.*, 2012).

não haver, necessariamente, correlação entre fluxo de veículos e níveis de pressão sonora, pois há, também, influência da composição veicular, da declividade e largura das vias, da relação entre altura dos edifícios, da distância entre as fachadas, entre outros. Os valores de $L_{Aeq,1h}$ excederam até 30 dB os limites normativos.

Com os dados de medições acústicas dos biênios de 1988/1989 e 1997/1998, monitorados pela PBH, Diniz *et al.* (2010) geraram um mapa de zonas acústicas com a espacialização dos valores de $L_{Aeq,T}$. A análise, feita por zoneamento urbano, corrobora com a tese de que os níveis de pressão sonora na região central são altos: de forma geral estiveram entre 70 dB e 75 dB, mas com faixas entre 75 dB e 80 dB.

A partir de técnicas de geoestatística espacial e *krigagem*³¹ como método de interpolação, Martins *et al.* (2015) estimaram e mapearam os níveis de pressão sonora do município, com dados coletados na Secretaria Municipal de Meio Ambiente entre 1992 e 2009. Os mapas permitiram as seguintes conclusões:

- i. durante o período diurno todo o município se enquadrava nos limites da Lei Municipal nº 9.505 (BELO HORIZONTE, 2008), com até 70 dB. A probabilidade de o limite estabelecido pela regulamentação ser ultrapassado é baixa (inferior a 1% em quase todo o território);
- ii. no período vespertino, apesar dos resultados demonstrarem que quase todo o município possuía níveis de pressão sonora entre 50 dB e 55 dB, havia uma maior probabilidade do limite de 60 dB ser ultrapassado (até 33%);
- iii. no período noturno, entre 22h01min e 23h59min, possuía em quase todo o município níveis de pressão sonora superiores ao limite normativo (50 dB) e a probabilidade de exceder esse valor era de até 69%; e
- iv. no período noturno, de 0h00min às 7h00min, praticamente todo o município possuía nível de pressão sonora que excede o limite normativo de 45 dB. A probabilidade de ultrapassar esse valor, na maior parte da área, esteve entre 50% a 70%, atingindo até 92%.

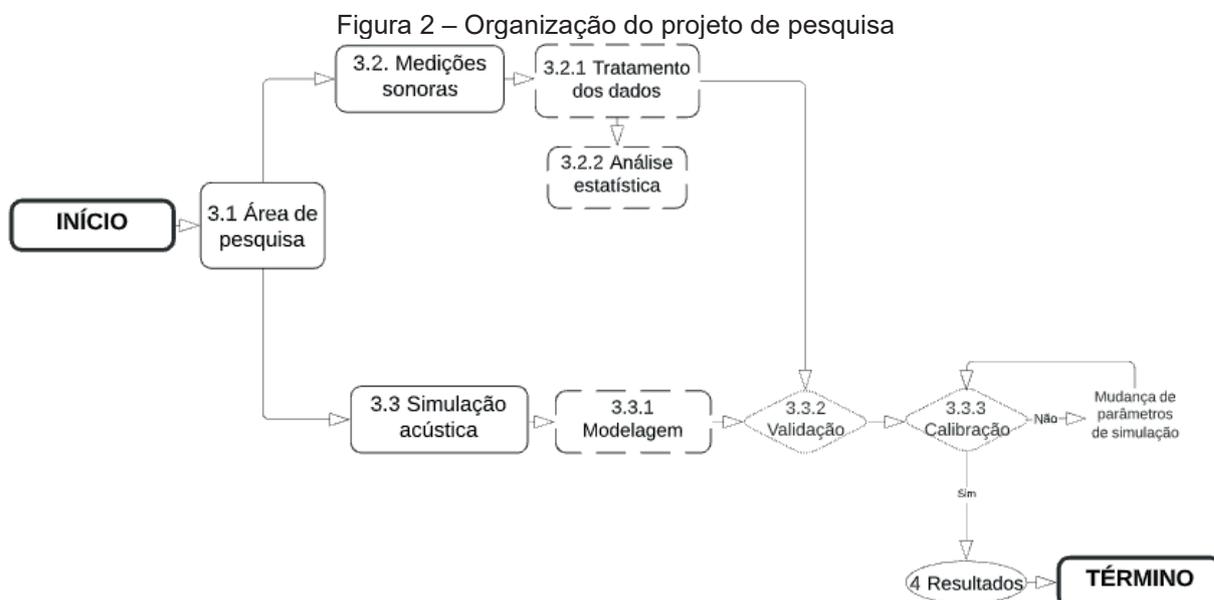
³¹ A *krigagem* é uma técnica de interpolação que apresenta pequenos desvios entre valores real e estimado (MARTINS *et al.*, 2015).

No ano seguinte foi publicado o mapa acústico do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), localizado no campus Pampulha. A simulação acústica foi o método escolhido, construindo as curvas de níveis com auxílio do *software NoiseAtWork*, que opera com a triangulação de Delaunay³². As medições ocorreram em 138 pontos, em instalações do ICB. De modo geral, as fontes detectadas emitiam sons contínuos e intermitentes, originados de equipamentos de ar condicionado, refrigeradores, *freezers* e automóveis. Não foram identificados sons tonais e impulsivos. O $L_{Aeq,T}$ se manteve entre uma faixa de 52 dB e 68 dB, sendo 50 dB o limite recomendado para regiões educacionais (CAVALCANTE *et al.*, 2016).

³² Uma das ferramentas para resolução numérica de equações diferenciais parciais é o Método de Elementos Finitos, que divide a entrada em elementos. Triangulação foi a nomenclatura dada para se referir a essa divisão, quando feita em triângulos, para domínios 2D. A Triangulação de Delaunay é uma das formas de triangular um domínio em que se impõe a Condição de Delaunay (CERQUEIRA, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto de mapeamento sonoro foi organizado conforme a Figura 2 e as etapas estão detalhadas nos tópicos seguintes.



Fonte: Autora, 2021

Os equipamentos utilizados estão listados na Tabela 11. O sonômetro, microfone, calibrador, tripé e a licença do *software* Predictor-LimA foram cedidos pela empresa dB Laboratório de Engenharia Acústica Eireli por meio de um Projeto de Extensão firmado com o CEFET-MG.

Tabela 11 – Equipamentos usados no projeto de pesquisa

Equipamentos	Descrição
<i>Notebook</i>	Processador Intel® Core™ i7-8565U CPU @ 1.80GHz Memória de 16,0GB Sistema operacional de 64bits
Medidor sonoro	Brüel & Kjær Tipo 2270 ³³
Calibrador	Brüel & Kjær 4231-01
Microfone	4189
Protetor de vento	UA-1650
Fone de ouvido	AKG K414 P
<i>Softwares</i>	Brüel & Kjær <i>Predictor-LimA</i> V2021 BZ-5503 <i>Measurement Partner Suite</i>

Fonte: Autora, 2021

³³ O medidor de nível de som B&K tipo 2270 é equipado com dois microfones e acelerômetros. A correspondência de fase estreita entre os dois canais permite seja usado como analisador de intensidade sonora (BRÜEL & KJÆR, [S.d.]).

São da Classe 1 o sonômetro, o microfone e o calibrador, todos calibrados em conformidade com a IEC 61672, partes 1, 2 e 3. Os filtros de 1/3 de oitava, calibrados, atendem a IEC 61260, para classe 1. O sonômetro foi disposto de forma a corrigir a influência do protetor de vento na resposta em frequência. Os ANEXOS I e II apresentam os certificados dos equipamentos.

3.1 ÁREA DE PESQUISA

Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, foi planejada por Aarão Reis, inaugurada em 12 de dezembro de 1897 e inspirada nas experiências urbanísticas das cidades europeias e norte-americanas que privilegiavam a modernização e o desenvolvimento nacional. Com ideias sanitaristas e de forma análoga a “artérias e veias”, as ruas da área central foram planejadas com 20 m de largura e as avenidas com 35 m (PASSOS, 2016).

A mudança da capital mineira, que até então era Ouro Preto, esteve fundamentada na posição geográfica e nas características físicas da atmosfera belorizontina. Os fatores climáticos da região foram considerados “amenos” - invernos bem marcados e brandos e verões suaves e úmidos - e “salubres” pela condição de pureza e qualidade do ar. Desde sua fundação, todavia, transformações profundas nesse cenário têm acontecido, consequência do desenvolvimento econômico, da expansão espacial e do crescimento demográfico (ASSIS, 2012). As médias anuais de parâmetros meteorológicos atuais são informados na Tabela 12.

Tabela 12 – Área de pesquisa: Caracterização meteorológica (médias anuais)

Temperatura média (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade média de vento (m/s)	Ângulo predominante do vento (°)	Pressão atmosférica (kPa)
22,2	59,7	1,2	16	101,8

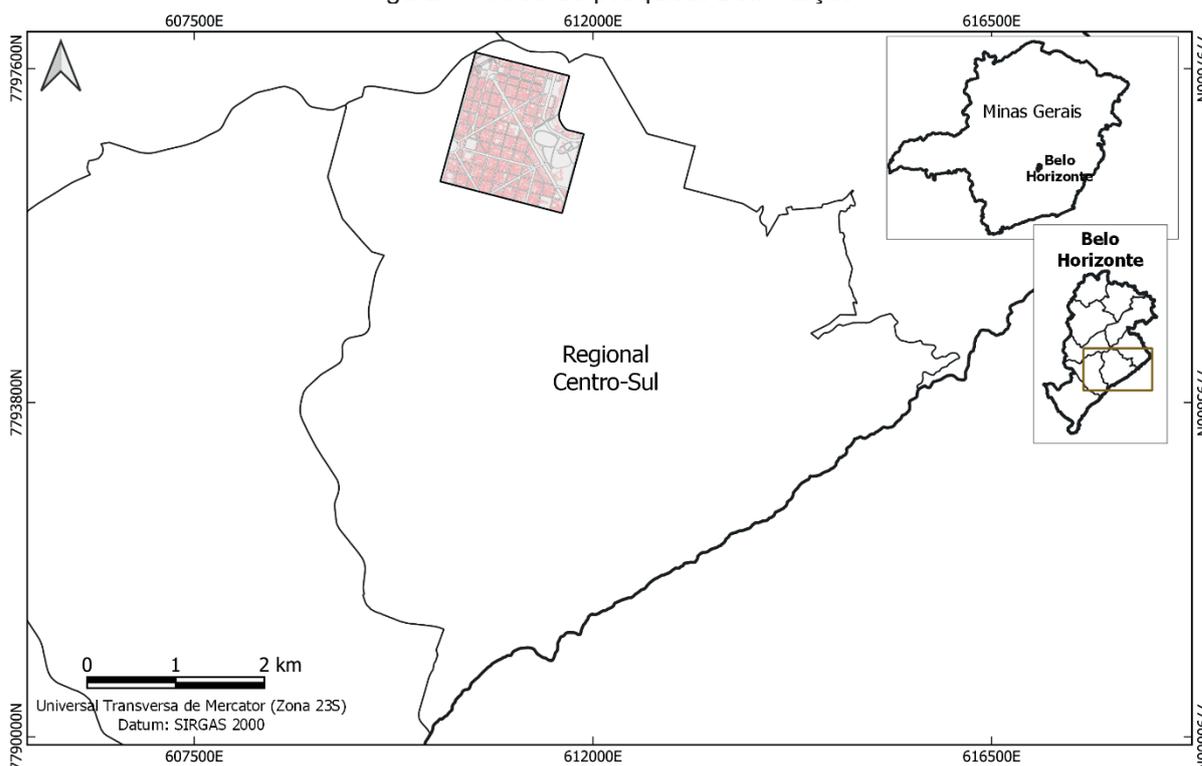
Fonte: Adaptado de CLIMATE DATA, [S.d.]; INMET, 2020; INPE, 2021; WEATHER SPARK, [S.d.]

Toda sua população é urbana e concentra-se em uma área inalterada desde 2010, com 331,40 km². Desde então, mesmo sem expansão territorial, constatou-se aumento de 136.919 habitantes e atualmente representa a sexta capital mais populosa do país (IBGE, 2019; AGÊNCIA IBGE, 2019).

Em relação aos domicílios, 96% possuem esgotamento sanitário adequado e 82,7% estão em vias arborizadas, mas apenas 44,2% são adequadamente urbanizados, com bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio (IBGE, 2010).

A regional centro-sul, com 31,7 km de extensão, reúne a prestação de serviços culturais, financeiros e institucionais, coexistindo, aproximadamente, 283.776 habitantes, alocados em 102.346 domicílios (BELO HORIZONTE, [S.d.]). Nesse ambiente diversificado está inserida a área de pesquisa deste projeto (Figura 3), com aproximadamente 2 km².

Figura 3 – Área de pesquisa: Delimitação



Fonte: Autora, 2021

De acordo com o Plano Diretor Municipal, a área de pesquisa está incluída na zona de ocupação preferencial da cidade e, por isso, existe um estímulo para que haja melhores condições de infraestrutura e de acessibilidade. Nela, as restrições topográficas e paisagísticas são pequenas, com declividade média variando de 0,00% a 8,33%, sendo 8,28% a média municipal. As áreas dos lotes variam de 500 m² a 10000 m² (BELO HORIZONTE, 2019, 2020c). A imagem satélite da área é apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Área de pesquisa: Imagem satélite



Fonte: *Google Earth*, 2021

Na área de pesquisa, o tipo de pavimento utilizado nas vias é majoritariamente asfáltico e todas são classificadas como arteriais (BELO HORIZONTE, [S.d.]). Intrinsecamente possuem, portanto, significativo volume de tráfego e são utilizadas em deslocamentos urbanos de maior distância, com acesso às vias lindeiras de forma sinalizada. As características geométricas das vias arteriais estão detalhadas na Tabela 13.

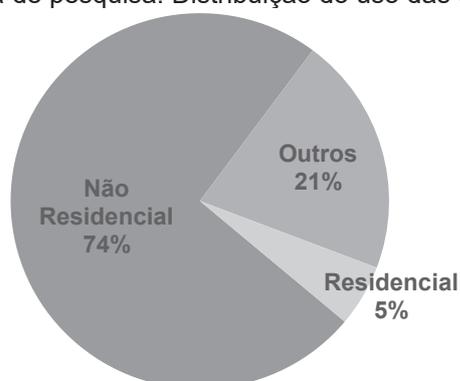
Tabela 13 – Área de pesquisa: Características geométricas das vias arteriais

Classificação	Largura mínima (m)	Rampa (%)		Largura mínima do somatório das calçadas (m)	Afastamento frontal mínimo (m)
		Máxima	Mínima		
Primária	35,0	8,0	0,5	40% da largura total da via	4,0
Secundária	25,0	10,0			

Fonte: Adaptada de BELO HORIZONTE, 2019

Quanto à permissividade de uso, as vias são consideradas como de caráter misto. Isso significa que as atividades permitidas na área são de médio impacto urbanístico e que convivem com o cotidiano da vizinhança e com o potencial de polarização de outras atividades econômicas (BELO HORIZONTE, 2012, 2019). A Figura 5 apresenta a porcentagem de construções utilizadas para fins não residenciais, residenciais e outros (mistos ou lotes vagos). Prevalece o uso não residencial e, de acordo com categorização da NBR 10151 (ABNT, 2019), demonstrada na Tabela 4, se encaixa como uma área mista, mas com atividades comerciais e/ou administrativas preponderantes.

Figura 5 – Área de pesquisa: Distribuição do uso das edificações



Fonte: Adaptado de BELO HORIZONTE, [S.d.]

Detalhando a informação acima, o setor comercial é liderado por empreendimento varejista de vestuário, por serviços de salão de beleza e por atividades de contabilidade. Bares e instituições religiosas, serviços que impactam acusticamente o entorno, também são identificados. As atividades que representam 80% do uso na área de estudo estão apresentados na Tabela 14 (BELO HORIZONTE, [S.d.]).

Tabela 14 – Área de pesquisa: Uso e ocupação do solo

Empreendimento	Unid.	Empreendimento	Unid.
Comércio de vestuário e complementos	1430	Atividade médica ambulatorial	158
Cabeleireiros, manicure e pedicure	802	Comércio de produtos alimentícios	157
Atividades de contabilidade	517	Incorporação de imobiliários	155
Serviços advocatícios	515	Atividades associativas	147

Empreendimento	Unid.	Empreendimento	Unid.
Lanchonetes, casas de chá, de sucos e similares	471	Outros serviços	142
Restaurantes e similares	417	Representantes comerciais	138
Serviços de escritório e apoio administrativo	379	Bares, sem entretenimento	136
Treinamento profissional e gerencial	347	Comércio de joalheria	136
Serviços de engenharia	344	Comércio de equipamentos de informática	132
Atividades de cobrança e informações cadastrais	331	Atividades de organizações sindicais	118
Serviços especializados de apoio administrativo	314	Agências de viagens	114
Atividade odontológica	312	Comércio de eletrodomésticos e equipamentos de áudio e vídeo	113
Consultoria em gestão empresarial	294	Comércio de artigos de armarinho	111
Corretoras de seguros e planos de saúde	290	Serviços em tecnologias da informação	111
Associações de defesa de direitos sociais	286	Aluguel de vestuário, joias e acessórios	110
Holdings de instituições não-financeiras	269	Comércio de artigos de uso pessoal	109
Comércio de <i>souvenirs</i> , bijuterias e artesanatos	245	Corretagem na compra e venda de imóveis	109
Comércio de equipamentos de comunicação	245	Outras sociedades de participação, exceto <i>holdings</i>	100
Comércio varejista de calçados	239	Comércio predominantemente de alimentícios	90
Comércio de cosméticos, perfumaria e higiene	236	Desenvolvimento de programas de computador	89
Construção de edifícios	236	Comércio de fármacos não manipulados	87
Comércio varejista de artigos de ótica	209	Consultoria em tecnologia da informação	84
Atividades de intermediação, exceto imobiliários	206	Instalação e manutenção elétrica	80
Outras atividades de ensino	184	Comércio de acessórios de doméstico, exceto de comunicação	78
Compra e venda de imóveis próprios	178	Bancos múltiplos	76
Estacionamento de veículos	177	Reparação de joias	75
Comércio varejista de outros produtos	175	Comércio varejista de livros	73
Serviços de organização de feiras e exposições	174	Hotéis	70
Aluguel de imóveis próprios	173	Organizações religiosas ou filosóficas	70

Fonte: Adaptado de BELO HORIZONTE, [S.d.]

Além dos empreendimentos apresentados na Tabela 14, na área de estudo estão situadas instituições públicas, como a PBH e o Palácio da Justiça, e centros culturais e de convenções, como Minascentro, Sesc Palladium, Museu de Artes e Ofícios e Palácio das Artes. A região abarca também a rodoviária e o *Shopping* Cidade, além de praças importantes (Praça Raul Soares, Praça da Estação, Praça Sete de Setembro e Praça Rio Branco) para o acesso à região central e avenidas principais da cidade. Em contraponto, o Parque Municipal Américo Renné Giannetti, também presente, representa uma busca pelo equilíbrio entre o processo de urbanização e de

preservação ambiental, possuindo 182 m² e vegetação, em média, com 14,24 m de altura, de acordo com Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica (PBH, 2020). A caracterização da área de pesquisa está representada na Figura 6, expondo áreas verdes, edificações, metrô e praças.

Figura 6 – Área de pesquisa: Caracterização da área
611000E



611000E
Fonte: Autora, 2021

3.1.1 Caracterização das fontes sonoras

As fontes sonoras em um ambiente traduzem as características do local e da sua população. Em centros urbanos, os modais de transporte contribuem significativamente

para a poluição sonora ambiental, mas, em determinadas situações, outras fontes podem sobressair, tornando-se uma componente principal.

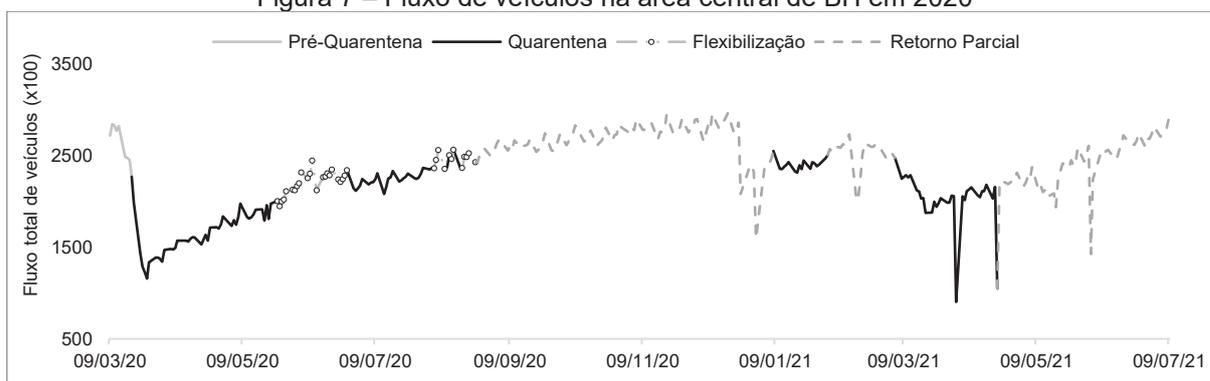
Fontes específicas atuantes na área de pesquisa estão detalhadas nos tópicos seguintes.

i. Tráfego urbano

Em 2019, cerca de 2.199.069 veículos circulavam na cidade. A BHTrans, todavia, investe em um planejamento estratégico para mobilidade sustentável, incentivando o transporte coletivo e os modos ativos alternativos, como a bicicleta e os deslocamentos curtos a pé (CAMILO, 2019).

Nos anos de 2020 e 2021, uma atipicidade é constatada no fluxo veicular em relação aos anos anteriores, consequência da implantação do isolamento social motivado pela COVID-19. As primeiras iniciativas restritivas foram implantadas a partir do dia 20 de março de 2020 e a decisão de evoluir, permanecer ou regredir nas fases da Figura 7, realizada pelo Comitê de Enfrentamento à Epidemia da COVID-19, esteve embasada na transmissão média por infectado, na ocupação de leitos e no índice de isolamento social – parâmetro amparado pela variação do número de veículos em circulação na região central da cidade. O retorno das atividades, após 5 meses, autorizou o funcionamento gradativo de *shopping centers*, galerias de lojas, cabelereiros, academias, bares, clubes de lazer, feiras, cinemas, eventos gastronômicos e teatros. No início de 2021, a flexibilização regrediu, limitando as atividades não essenciais (ADLER, 2020; BELO HORIZONTE, 2020b, 2021).

Figura 7 – Fluxo de veículos na área central de BH em 2020



Fonte: Dados obtidos com BHTRANS, 2021

Fica evidenciado, com os dados fornecidos pela Gerência de Análise e Processamento de Infrações (GEAPI) da BHTrans, organizados na Figura 7, que, nos meses de setembro a novembro de 2020, o fluxo tendeu aos valores que precediam

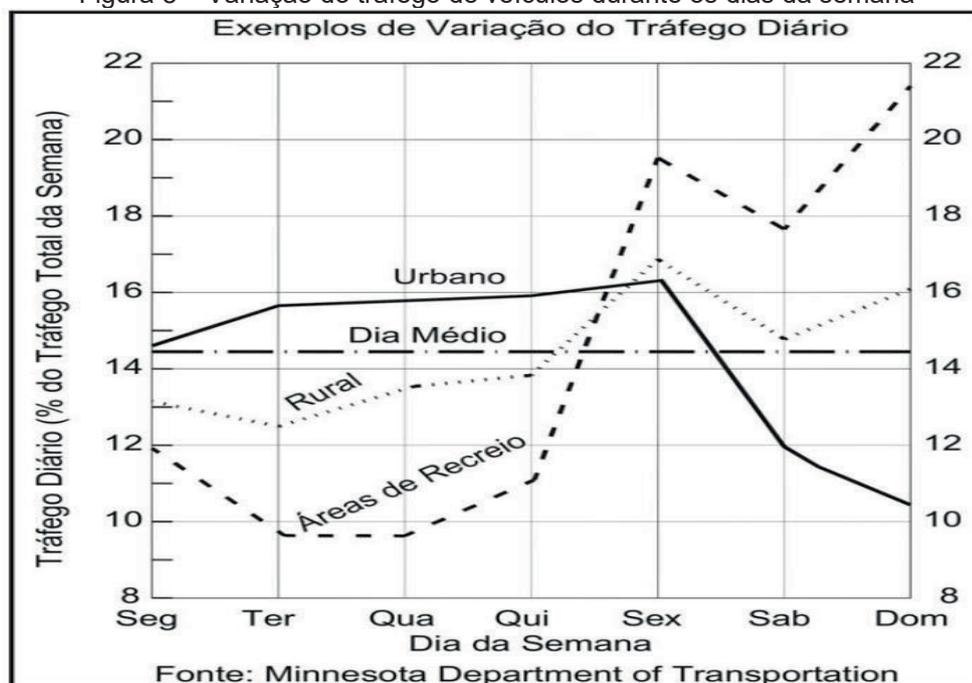
à quarentena. A queda brusca durante o retorno parcial pode ser justificada por datas comemorativas de final do ano.

Durante a organização do projeto, foi reconhecida a necessidade de compreender o fluxo horário veicular, uma vez que, por ser uma zona essencialmente comercial, sugere grande variabilidade em relação:

- i. aos dias da semana, especialmente em finais de semana e nas segundas e sextas; e
- ii. às horas de um mesmo dia, por existir uma tendência de maior fluxo em horários de pico, por exemplo, no início e no término do horário comercial.

De forma geral, o fluxo veicular em um contexto urbano tende a uma relação similar à apresentada na Figura 8. De sexta a segunda-feira um efeito é gerado pelo final de semana, alterando a linearidade existente em terças, quartas e quintas. Como esperado, no sábado e no domingo, há uma redução brusca com o não funcionamento do comércio e de alguns serviços (DNIT, 2006). Já em relação à variação do fluxo em relação às horas de um mesmo dia, deve-se analisar os costumes e os horários de funcionamento dos empreendimentos no local.

Figura 8 – Variação do tráfego de veículos durante os dias da semana



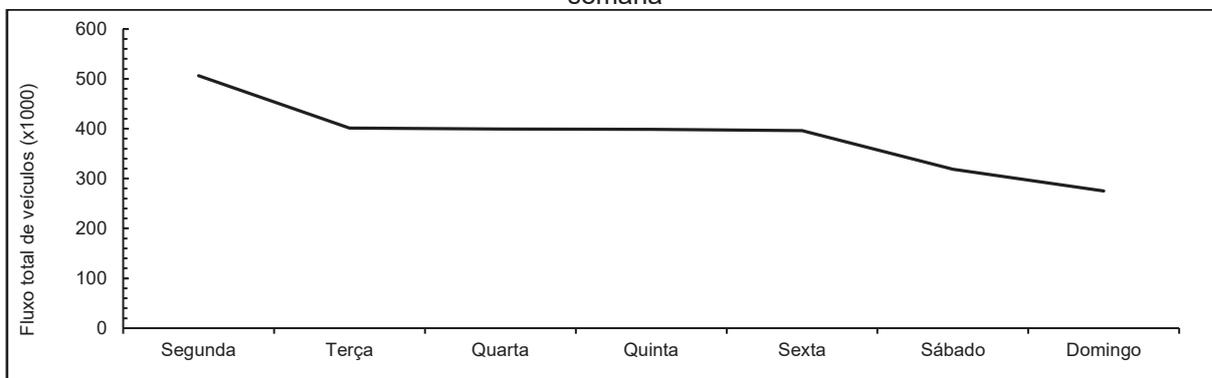
Fonte: DNIT, 2006

Para restringir a abordagem ao cenário de Belo Horizonte, a lacuna até então existente foi suprida com dados quantitativos do fluxo veicular, coletados por radares

e fornecidos pela Sinalização de Trânsito Industrial Ltda (SITRAN). Esses dados foram tratados no *software* RStudio³⁴ e o tráfego estava categorizado, a cada 15 min, em: motos, automóveis, ônibus/caminhão e outros. Ao processá-los de forma individual, foi detectada grande variabilidade na quantidade de veículos em cada um dos radares - consequência, por exemplo, das características intrínsecas de cada via, como o número de faixas ou seu estado de conservação – tornando-se uma objeção à extração das informações desejadas. Com isso, optou-se por analisar o fluxo horário do somatório de todos os radares dentro da área de pesquisa. É importante destacar que, apesar da metodologia adotada desconsiderar a passagem, por exemplo, de um mesmo veículo em equipamentos distintos, satisfaz ao objetivo proposto de distinguir períodos e dias atípicos, evitando picos e vales.

O resultado (Figura 10) apresenta a variação do número de veículos durante os dias da semana. Ao ser comparada com a Figura 8, fica demonstrado que o padrão é mantido na região central de Belo Horizonte, com maior linearidade nas terças, quartas e quintas.

Figura 9 – Variação do fluxo de veículos no centro de Belo Horizonte em setembro/2019 por dia da semana

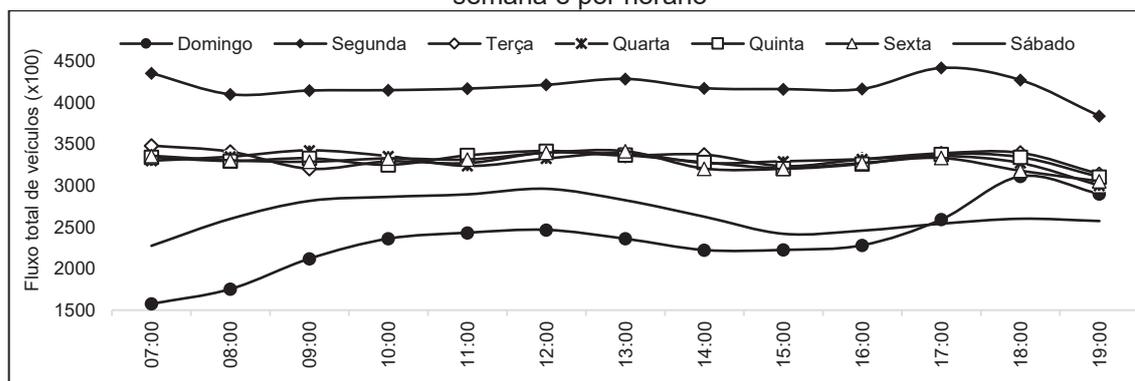


Fonte: SITRAN, 2021

A Figura 10 apresenta a variação do fluxo de veículos por horário, em cada um dos dias da semana, do mês de setembro de 2019. Fica indicado que há menores variações e maior constância em terças, quartas, quintas e sextas-feiras e nos períodos entre 9h30min e 11h30min e entre 14h30min e 17h00min.

³⁴ RStudio é um *software* livre e de código aberto para ciência de dados, pesquisa científica e comunicação técnica (RSTUDIO, [S.d.]).

Figura 10 – Variação do fluxo de veículos no centro de Belo Horizonte em setembro/2019 por dia da semana e por horário



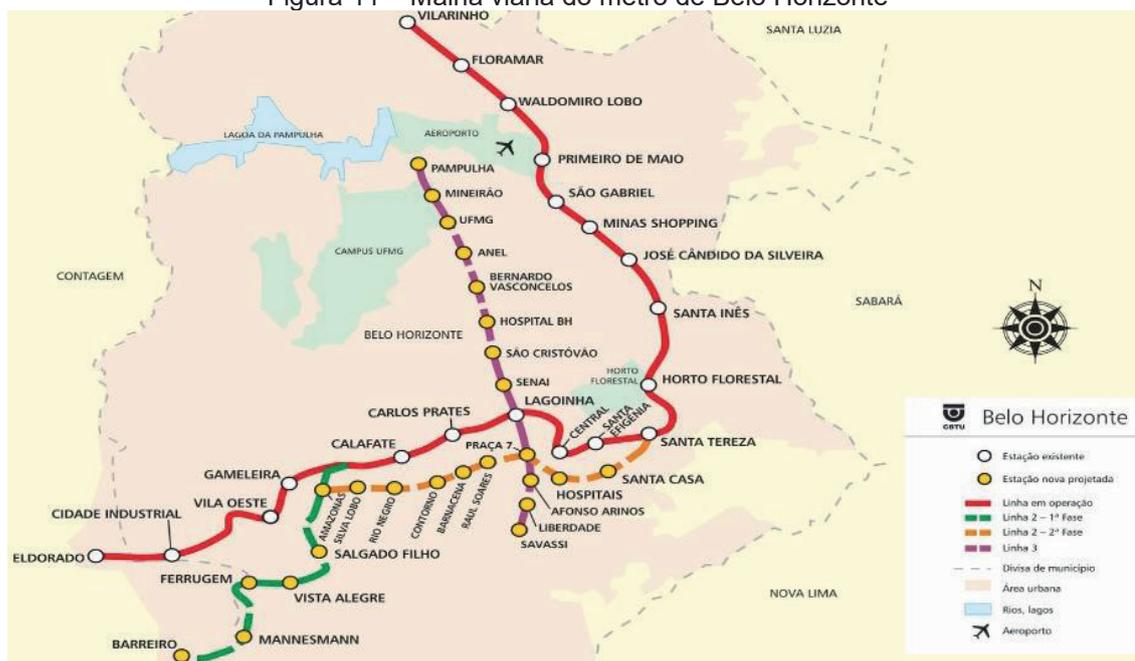
Fonte: SITRAN, 2021

Quanto à caracterização da frota na região central, alguns tipos de veículos possuem circulação restrita na área de pesquisa. De segunda a sexta, os cavalos mecânicos e as carretas são proibidos independentemente do horário e, de 7h00min às 20h00min, os veículos com capacidade acima de 5,5 t ou com comprimento superior a 6,5 m (BELO HORIZONTE, 2020a). Os automóveis para este projeto foram categorizados em:

- a. Leves 01 (LV 01): carros de passeio, picapes, minivans, utilitários, furgões e furgonetas;
 - b. Leves 02 (LV 02): motocicletas e bicicletas motorizadas; e
 - c. Pesados (PD): ônibus e caminhões (SOUZA, 2012).
- ii. Metrô – CBTU

O trem metropolitano de Belo Horizonte, que atende também Contagem, teve suas obras iniciadas em 1981, com a primeira viagem comercial acontecendo em 1986. Desde então diversas mudanças e ampliações foram implantadas. Atualmente conta com uma malha viária (Figura 11) estendida por 28,1 km, com 19 estações e 6 terminais de integração. A frota de material rodante disponível é de 35 trens (CBTU, 2018).

Figura 11 – Malha viária do metrô de Belo Horizonte



Fonte: CBTU, 2021

Por ano, mais de 87 mil viagens são realizadas. Nos últimos cinco, transportou 304,7 milhões de passageiros, sendo 208,2 mil a média por dia útil. Características operacionais estão descritas na Tabela 15 (CBTU, 2018; CBTU, 2020)

Tabela 15 – Características operacionais do metrô de Belo Horizonte

Extensão da via (km)	28,1
Bitola larga (1,6m)	28,1
Eletrificada	28,1
Nº das estações	19
Nº de oficinas	1
Intervalo mínimo programado (min)	2,5
Intervalo máximo programado (min)	14
Tempo de percurso programado (min)	45
Efetivo de pessoal	794
Municípios atendidos	2

Fonte: CBTU, 2020

Parte desta malha está dentro da área de pesquisa (Figura 6), assim como a Estação Central, localizada na Praça da Estação. Em seu entorno estão presentes o Museu de Artes e Ofícios (MAO), empreendimentos culturais como o Centro Cultural da Universidade Federal de Minas Gerais e o espaço CentoeQuatro, a Biblioteca Pública Infantil e Juvenil de Belo Horizonte, além da Rua Sapucaí, ponto turístico que conta com intervenções artísticas, restaurantes e bares. A Estação da Lagoinha, que dá acesso à rodoviária, é fronteira à área de pesquisa (HORIZONTE, 2019).

iii. Trens – Vale

A Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), inaugurada em 1904, é o primeiro trem diário de longa distância no Brasil. A Vale, operadora da EFVM, teve o contrato de concessão, que encerraria em 2027, renovado por mais 30 anos. A empresa prevê a implantação de melhorias nos próximos 10 anos, de forma a beneficiar 33 municípios (GONÇALVES, 2020).

Todos os dias às 7h30min um trem sai da capital mineira em direção à Estação Pedro Nolasco, situada na região metropolitana de Vitória (ES). No sentido inverso, chega em Belo Horizonte aproximadamente 20h10min. No trajeto existem 30 pontos de embarque e desembarque, atendendo 42 municípios ao longo de 902 km. Estima-se o transporte de cerca de 1 milhão de passageiros por ano, o que representa 40% da carga ferroviária brasileira (GONÇALVES, 2020; VALE, 2021).

As viagens, interrompidas por quase 6 meses como medida de proteção contra o COVID-19, retornaram em setembro de 2020. Para a segurança da equipe e dos passageiros, medidas foram adotadas: venda antecipada de bilhetes, pela internet; aferição de temperatura no embarque; obrigatoriedade do uso de máscaras durante o percurso; e redução da ocupação de vagões para que haja o distanciamento recomendado entre assentos (WERNECK, 2020).

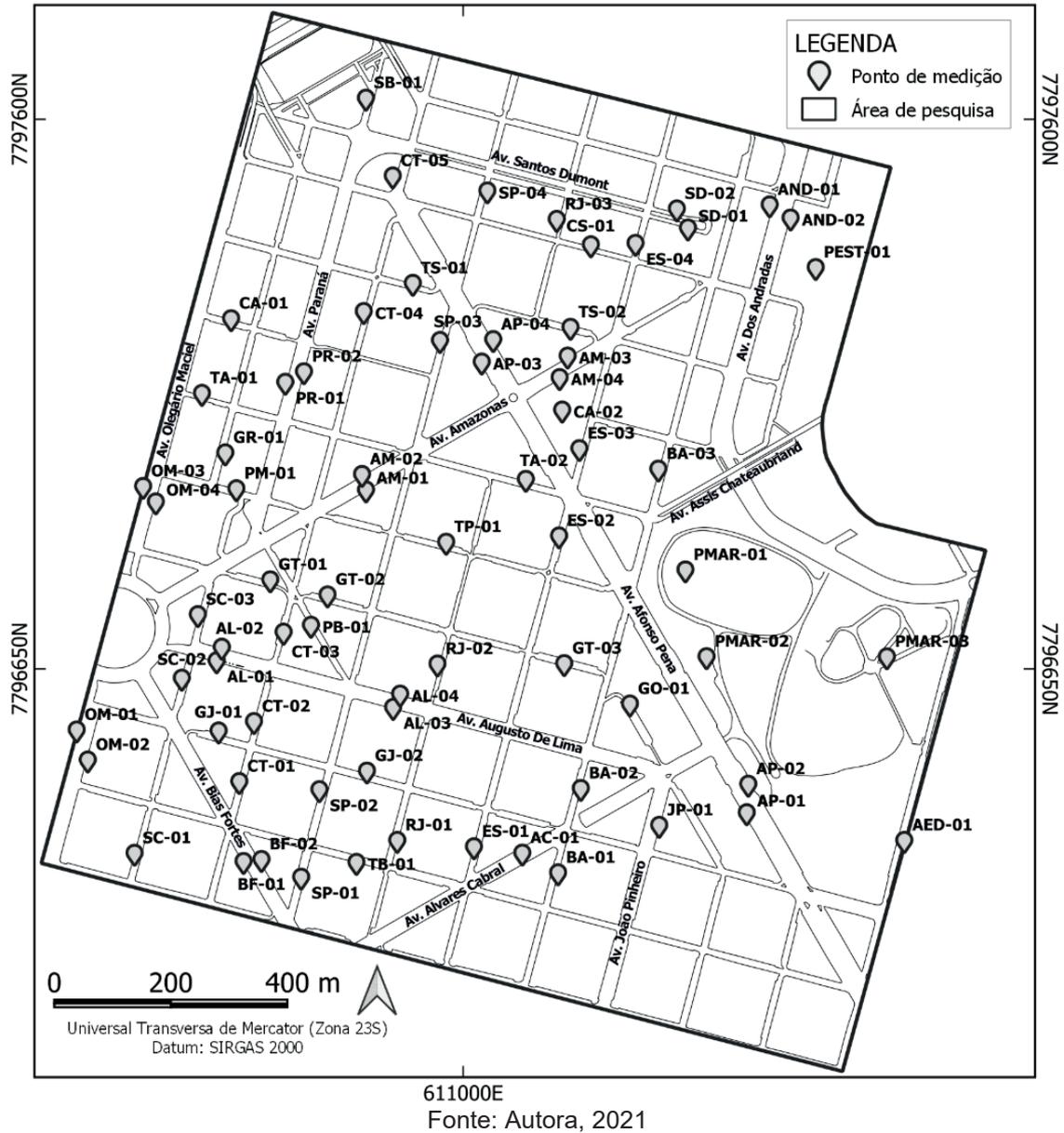
3.2 MEDIÇÕES SONORAS

Para a seleção dos pontos de medição, o método da quadrícula foi aplicado por fornecer alta representatividade, posicionando-os em vértices de malhas de 200 m x 200 m, com auxílio do *software Quantum GIS (QGIS)*³⁵. Foram obtidos 64 pontos, redirecionados para o centro do quarteirão mais próximo, na calçada, a fim de se evitar a influência dos ruídos de frenagem e de aceleração dos veículos, consequência do cruzamento das ruas e dos semáforos.

A quantidade de pontos obtida foi considerada insuficiente para a caracterização acústica da área e, por isso, outros pontos estratégicos foram adicionados. Essa decisão justifica-se pela influência de algumas fontes sonoras específicas, pela mudança no fluxo de veículos em algumas vias ou pela proximidade de empreendimentos relevantes para a cidade. Buscou-se maior representatividade da área, totalizando 72 pontos (Figura 12).

³⁵ O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto (QGIS, [S.d.]).

Figura 12 – Pontos de medição
611000E



Em visita preliminar, possíveis sons tonais e impulsivos foram detectados decorrentes de obras e frenagem de veículos. Por isso, optou-se pela utilização do método detalhado da NBR 10151 (ABNT, 2019), com análise das bandas de 1/3 de oitava. Para a caracterização dos sons impulsivos, adotou-se a recomendação da norma brasileira em que, durante o tempo de integração T, deve-se ter pelo menos dois eventos desses sons.

A seleção dos dias e horários para medições teve embasamento na Figura 10. Ocorreram em terças, quartas e quintas-feiras, de setembro a novembro (inverno e primavera) de 2020, desconsiderando feriados e férias. Durante a etapa de simulação,

identificou-se a necessidade de conhecer os níveis sonoros em outros pontos e, por isso, outros cinco foram medidos no dia 29 de abril (outono) de 2021. Todas as medições foram realizadas no período diurno, entre 9h30min e 11h30min e entre 14h30min e 17h00min, e extraíram a variação dos níveis em bandas de frequência, o $L_{Aeq,15min}$, o $L_{máx}$, o $L_{mín}$, e os descritores estatísticos (L_{10} e L_{90}).

O sonômetro foi posicionado de acordo com NBR 10151 (ABNT, 2019), fixando uma distância de 1,30 m em relação ao solo e, no mínimo, 2,00 m de objetos refletores, como carros estacionados, árvores, postes e bancas de revistas.

A escolha da duração de cada medição teve embasamento na diversidade e periodicidade de emissão das fontes. Os modais de transporte, pela contribuição expressiva para a composição do ambiente acústico urbano, foram considerados como fatores influentes nessa decisão. O fluxo de veículos é influenciado pelo ciclo básico do semáforo – vermelho, amarelo e verde – e, em 2019, a BHTrans alterou esse tempo de uma volta completa para 90 s, justificado pela maior expectativa de vida da população e, conseqüentemente, aumento no número de pessoas idosas, que estariam demorando mais para atingir o outro lado da via. Quanto ao metrô, o intervalo entre viagens, de acordo com o Atendimento ao Usuário do Metrô de BH, é de 6 a 8 minutos no horário de pico e de 10 a 15 minutos no horário de vale. Diante disso, cada medição durou 15 min, abarcando cerca de 10 ciclos do semáforo e pelo menos uma passagem de metrô.

Quanto ao ajuste especificado pela NBR 10151 (ABNT, 2019), não houve acesso ao calibrador durante os três primeiros dias de medição. Nos subsequentes, a série de medições definida pela norma brasileira foi considerada como sendo todas as medições realizadas durante um mesmo dia. O valor indicado no certificado de calibração do calibrador sonoro e adotado para o ajuste foi de 94,15 dB, aplicada a correção para microfone de campo livre, como instruído pelo fabricante do equipamento.

Em alguns dos pontos medidos, pela multiplicidade de fontes ou pela incerteza de representatividade da amostra, mais de uma medição foi realizada. Nesses casos é apresentada a média aritmética dos resultados. Ao todo 89 medições foram coletadas.

3.2.1 Tratamento dos dados

Depois de cada dia de coleta, os dados brutos do sonômetro foram extraídos com auxílio do *software* BZ-5503 *Measurement Partner Suite* e exportados a um modelo criado no *Excel*, com a finalidade de automatizar e padronizar a análise e a criação de relatórios para cada medição.

A variação do $L_{Aeq,1s}$ e das bandas de frequência foram acompanhadas durante a escuta dos áudios gerados durante as medições. A manifestação das fontes no decorrer do tempo foi observada, excluindo as não representativas e recalculando os descritores.

3.2.2 Análise estatística

Apesar da tendência de ser o tráfego de veículos a principal fonte sonora em centros urbanos, uma análise estatística avaliou se a afirmação poderia ser estendida para a área avaliada. Além disso, identificou-se a influência da fonte para formação do ambiente sonoro.

Inicialmente foi utilizada a regressão linear simples, método empírico, para explorar a relação entre as variáveis. Por sua forma linear, os parâmetros do modelo são de fácil interpretação e as teorias são bem estabelecidas matematicamente. A reta geral obtida é apresentada na Equação 4, sendo y a variável independente, x a variável dependente, β_0 o coeficiente linear, β_1 o coeficiente angular (BANGDIWALA, 2018; MONTGOMERY *et al.*, 2020).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \tag{Eq. 4}$$

O modelo de regressão criado precisa ser testado quanto a sua adequabilidade.

Algumas das ferramentas que podem ser utilizadas são:

- i. análise do gráfico de ajuste de linha, sendo que há uma indicativa de bom ajuste da reta de regressão quando os pontos se aproximam dela, sem grandes distorções;
- ii. análise do gráfico da probabilidade normal, sendo que a inexistência de um sério desvio da normalidade pode ser atestado quando os resíduos se aproximam de uma linha reta; e
- iii. teste de Shapiro-Wilk para normalidade, sendo a hipótese nula (H_0) - que indica a possibilidade de uma distribuição normal de resíduos - rejeitada caso haja um p-valor menor do que 0,05, com 95% de confiabilidade. Caso

contrário, o modelo é validado (AMARAL *et al.*, 2009; MONTGOMERY *et al.*, 2020).

Após atestar a confiabilidade do modelo, o p-valor da regressão e o coeficiente de determinação (R^2) avaliaram a relação entre o tráfego de veículos e a composição do ambiente sonoro da região. No caso do p-valor da regressão, H_0 indica que a média dos fatores são iguais, ou seja, que o fluxo de veículos não interfere nos valores obtidos de $L_{Aeq,T}$. Com 95% de confiabilidade, um p-valor menor do que 0,05 rejeita a hipótese, indicando relação entre as variáveis. O R^2 indica quanto da variabilidade dos dados pode ser explicada pelo modelo de regressão (MONTGOMERY *et al.*, 2020).

Todas as análises estatísticas foram feitas com os *softwares* RStudio e Excel.

3.3 SIMULAÇÃO ACÚSTICA

Com a “modelagem”, fase que caracteriza as circunstâncias físicas – como a estrutura dos arruamentos e a espacialização das edificações - e as fontes sonoras, foi criado um modelo 3D no *software* Predictor V2021 para gerar os mapas acústicos. Em seguida, testes verificaram se esse modelo corresponderia, de fato, à real situação da região analisada, na etapa denominada “validação”. Na mesma etapa foi definido o método de cálculo utilizado.

Após assegurar que o modelo é válido e escolher o método de cálculo, os parâmetros foram ajustados de forma a considerar três cenários, a saber:

- i. cenário 01, sendo o mapa acústico gerado na altura das medições (1,3 m do solo) e o modelo calibrado com o número de veículos contabilizado durante o procedimento *in loco*;
- ii. cenário 02, em que o mapa acústico foi gerado na altura de 4,0 m estipulada pela Directiva 49 (EC, 2002) e o modelo foi calibrado (*receiver a* com o número de veículos contabilizado durante o procedimento *in loco*; e
- iii. cenário 03, em que o mapa acústico foi gerado na altura das medições (1,3 m do solo) e o modelo foi calibrado com o $L_{Aeq,T}$ medido e tratado.

Ao considerar metodologias distintas, a avaliação dos cenários teve como objetivo identificar os efeitos nos mapas acústicos. O cenário 01 tende a não considerar os efeitos de reflexão na propagação sonora, gerados pela concentração de edificações e pela presença de obstáculos, como bancas de revistas. O cenário 02 não reflete o nível no medidor (1,3 m do solo) ou na altura do ouvido dos pedestres, mas considera

a reflexão das ondas sonoras devido aos obstáculos nos centros urbanos. Por fim, o cenário 03 considera que o nível identificado durante as medições está sendo emitido na forma de uma linha de tráfego. Neste último caso, portanto, desconsidera que o valor observado *in loco* pode também ser consequência, por exemplo, de fontes pontuais nas lojas ou nas calçadas, o que afeta a forma de propagação da energia sonora. Entretanto, o cenário 03 pode indicar, genericamente, o nível de pressão sonora total.

Os resultados dos três cenários foram comparados, avaliando as possíveis alterações observadas com a modificação da metodologia de simulação computacional.

Os procedimentos são pormenorizados nos tópicos seguintes.

3.3.1 Modelagem

A modelagem corresponde à etapa em que é criada a representação da área e dos emissores. Para isso, um método de cálculo deve ser selecionado e os parâmetros caracterizadores são introduzidos, gerando um modelo.

As informações georreferenciadas de vias, quadras de ruas, praças, metrô, lagoa e áreas arborizadas foram obtidas com o banco de dados mantido pela PBH no *site* BH Map (BELO HORIZONTE, S.d). O *site* também armazena informações do tipo de superfície (asfalto, cimento, terra ou calçamento) e largura das vias. A inclinação das vias foi extraída no *Google Maps* e *Google Earth Pro*.

Também no BH Map foi obtida a altimetria das edificações em *shapefile*, extraída da subtração entre as colunas “MODA_MDE” e “MODA_MDT” da tabela de atributos da camada “Edificacoes” (BELO HORIZONTE, S.d). O arquivo foi inserido no *software* QGIS e no *Google Earth Pro* para validação dos resultados.

A topografia, a cada 1 m, foi extraída com o *software Global Mapper*, utilizando a fonte de dados “SRTM Worldwide Elevation Data (1-arc-second Resolution, SRTM Plus V3)”³⁶.

As opções de métodos de cálculo, no Predictor V2021, são os apresentados na Tabela 16. Contato com a empresa desenvolvedora do *software* foi estabelecido e

³⁶ A missão do radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) coletou dados no ano 2000 com uma nave realizando 26 órbitas diárias na Terra, por 11 dias (EMBRAPA, [S.d.]).

indicaram, para a situação específica da área analisada, o uso do NMPB 2008 – *road* ou CNOSSOS. Ambos foram testados na etapa de “validação”.

Tabela 16 – Métodos de cálculo disponíveis no Predictor V2021

Métodos de cálculo		
Analyst	RMR - 1996	LimA – HJ2.4-2009
DAL 32	RMR - 2012	LimA – ISO 9613. ½
ENM-link	LimA – BS 5228	LimA – NMPB 2008 – <i>rail</i>
Harmonoise	LimA – CNOSSOS-EU	LimA – NMPB 2008 – <i>road</i>
ISO 9613. ½	LimA - CRTN	LimA – TNM
ISO 9613. ½ (1/3 Octave)	LimA – CRTN(NZ)	LimA – XPS- <i>rail</i>
ISO 9613. ½ <i>Road</i>	LimA – CRTN (TRL)	LimA – XPS- <i>road</i>

Fonte: BRÜEL & KJAER, 2016

Os métodos possuem, naturalmente, diferenças estruturais para o cálculo dos contornos dos níveis sonoros. Tanto no NMPB 2008 – *road*, quanto no CNOSSOS, foram inseridos: *buildings* (edificações), *DIV lines* (representação de quadras, praças e linhas ferroviárias), *road* (tráfego de veículos como fonte sonora), *height lines* (topografia), *GPS Point, grid e receiver*.

Diferenças identificadas entre o NMPB 2008 – *road* e o CNOSSOS são:

- i. em *buildings*, a absorção sonora no CNOSSOS é inserida por meio de um fator de reflexão, por banda de frequência, enquanto no NMPB 2008 – *road* são ofertadas as opções de “100% *reflecting*”, “*reflecting*”, “*half reflecting*”, “*absorbing*” e “100% *absorbing*”; e
- ii. em *road*, o NMPB 2008 – *road* considera o fluxo horário e a velocidade média dos veículos, distinguindo-os entre leves e pesados. Além disso, admite diferentes tipos de superfície, como concreto asfáltico muito fino, ultrafino, drenado ou semi-granulado, asfalto frio derramado e concreto de cimento revestido de superfície, que são inseridos por meio das categorias R1, R2 e R3. Outros parâmetros são a idade do pavimento, a inclinação da via e o tipo de fluxo (*constant flow, accelerating e decelerating*). Já para o CNOSSOS, o fluxo é categorizado em “1” (veículos leves, como carros de passageiros), “2” (veículos semipesados, como ônibus e vans com mais de 3,5 toneladas), “3” (veículos pesados, como carros de turismo e ônibus com três ou mais eixos), “4” (veículos de duas rodas motorizados, que podem ser “4a”, como ciclomotores, ou “4b” como motocicleta) ou “5” (categoria aberta que depende das necessidades do usuário). O CNOSSOS também considera a inclinação da via e o tipo e distância entre as interseções. As

opções de tipo de superfícies para o CNOSSOS são 0 - *reference road surface*, n101 - *layer zoab*, n102 - *2-layer zoab*, n103 - *2-layer zoab (fine)*, n104 - *sma-n15*, n105 - *sma-n18*, n106 - *brushed down concrete*, n107 - *optimized brushed down concrete*, n108 - *fine broomed concrete*, n109 - *worked surface*, n110 - *hard elements in herring-fone*, n111 - *hard elements not in herring-bone*, n112 - *quiet hard elements*, n113 - *thin layer a*, n114 - *thin layer b*.

Os parâmetros que são equivalentes nos métodos citados são:

- i. *ground region*, podendo ser alterada a absorção sonora das superfícies ao utilizar o fator “0” para concreto ou água e o “1” para regiões gramadas;
- ii. *GPS Point*, inserido com a finalidade de georreferenciar o modelo e converter as coordenadas ao exportar os resultados;
- iii. *grid*, em que se define o polígono delimitador da área de cálculo e a distância entre os pontos de cálculo; e
- iv. *receivers*, que são os pontos locados onde ocorreram as medições com o sonômetro. Após o cálculo, o *software* informará os níveis sonoros nesses pontos, permitindo a comparação com os valores simulados.

A Tabela 17 apresenta especificações dos itens utilizados no *software* com o NMPB 2008 – *road* e o CNOSSOS. As informações relativas à idade e ao tipo específico do pavimento utilizado não foram obtidas e, por isso, testes foram realizados com o NMPB 2008 – *road*, método que utiliza esses parâmetros, e estão detalhados na etapa de “validação”.

Tabela 17 – Parâmetros para modelagem utilizados para simulação acústica

Nomenclatura	Método de cálculo	Descrição	Parâmetro adotado
<i>Ground regions</i>	NMPB 2008 – <i>road</i> CNOSSOS	Fator do solo em espelhos d'água	0,0
		Fator do solo em áreas arborizadas	1,0
<i>Height Line</i>	NMPB 2008 – <i>road</i> CNOSSOS	Altimetria do terreno	-
<i>GPS Point</i>	NMPB 2008 – <i>road</i> CNOSSOS	Latitude (ponto 01)	19°55'21,87"
		Longitude (ponto 01)	43° 56' 42,53"
		Latitude (ponto 02)	19°55'29,52"
		Longitude (ponto 02)	43°56'40,16"
<i>Building</i>	NMPB 2008 – <i>road</i> CNOSSOS	Altimetria das edificações	-
		Fator de reflexão	<i>Half reflecting</i>
		Altimetria das edificações	-

Nomenclatura	Método de cálculo	Descrição	Parâmetro adotado	
		Fator de reflexão nas bandas de 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz	0,8	
DIV – Line	NMPB 2008 – road CNOSSOS	Altimetria	0,25 m	
Grid	NMPB 2008 – road CNOSSOS	Espaçamento x do <i>grid</i> (validação)	5,0 m	
		Espaçamento y do <i>grid</i> (validação)	5,0 m	
		Espaçamento x do <i>grid</i>	10,0 m	
		Espaçamento y do <i>grid</i>	10,0 m	
Receivers	NMPB 2008 – road CNOSSOS	Definição da altimetria	Relativa	
		Altimetria A	1,3 m	
		Altimetria B	4,0 m	
Road	NMPB 2008 – road	Altura da fonte	0,5 m	
		Tipo de superfície	*	
		Idade do pavimento	*	
		Inclinação	-	
		Tipo de fluxo	Constant flow	
		Volume de veículos horário	-	
	CNOSSOS	CNOSSOS	Velocidade dos veículos	40 km/h em ruas 60 km/h em avenidas
			Altura da fonte	0,5 m
			Inclinação	-
			Tipo de interseção	0 - None
			Distância da interseção	50,0 m
CNOSSOS	CNOSSOS	Tipo de superfície	*	
		Volume de veículos horário	-	
		Velocidade dos veículos	40 km/h em ruas 60 km/h em avenidas	

“-“ indica que não foi utilizado um valor único para o item

“*” indica que a escolha do parâmetro está demonstrada no Tópico 3.3.1.1

Para todos os modelos gerados foram utilizadas as configurações de cálculo apresentadas na Tabela 18.

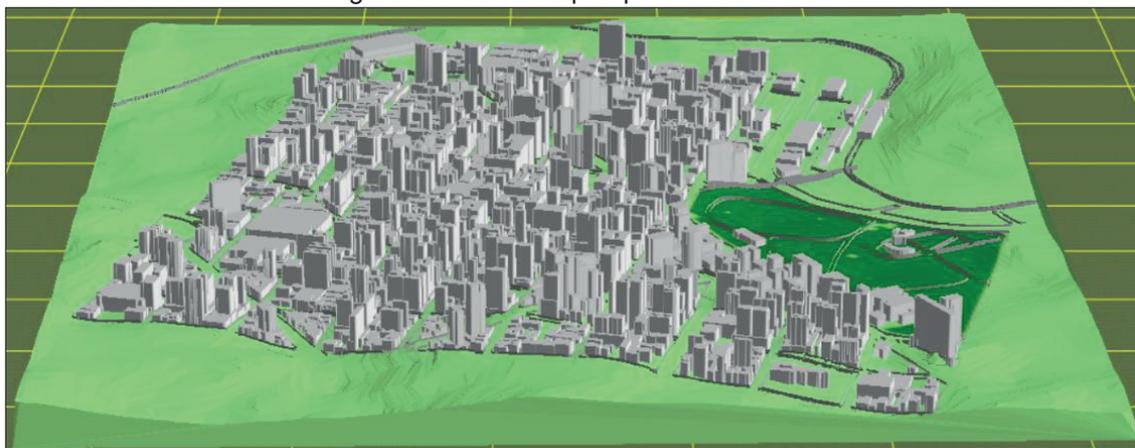
Tabela 18 – Configuração de cálculo utilizadas

Configuração	Parâmetro adotado	
Altura do cálculo	-	
Raio de busca	5000,0 m	
Correção meteorológica (localização)	Padrão	
Absorção do ar (Conforme ISO 9613-1)	Temperatura	295,35 K
	Pressão	102 kPA
	Umidade do ar	59,70 %

Fonte: Autora, 2021

O modelo 3D criado no Predictor está representado na Figura 13.

Figura 13 – Área de pesquisa: Modelo 3D



Fonte: Autora, 2021

3.3.1.1 Validação

A validação tem a finalidade de atestar que o modelo criado no *software* é verdadeiramente uma representação da situação em análise. Para isso, após a modelagem com os métodos de cálculo NMPB 2008 – *road* e CNOSSOS, utilizando os parâmetros da Tabela 17 e da Tabela 18, foram calculados os níveis sonoros nos *receivers*, utilizando cada um dos modelos. Em relação ao método NMPB 2008 – *road*, modelos distintos foram elaborados, modificando o tipo de superfície (R1, R2 e R3) e a idade do pavimento (admitindo 1 ano, 5 anos e 10 anos ou mais). Para o CNOSSOS os modelos criados diferiram em relação aos 15 tipos de superfície citadas no Tópico 3.3.1.

Com o cálculo dos níveis sonoros nos *receivers* – que são os pontos, introduzidos no *software*, onde aconteceram as medições *in loco* –, foi possível comparar os valores simulados e medidos. Desvio máximo de 4 dB (nível sonoro identificado *in loco* – nível simulado) foi o critério adotado para a validação do modelo. Para a escolha do método de cálculo, adotou-se como critério de escolha os menores desvios obtidos com a simulação.

Para a modelagem nesta etapa, apenas o fluxo de veículos foi considerado como fonte sonora. Portanto, no item *road*, foi inserida a informação corresponde ao número de veículos contados durante o período de 15 minutos de aferição com o sonômetro, separado nas categorias já apresentadas.

Para delimitar a área utilizada na etapa de validação, foi necessário observar as fontes sonoras presentes na área de pesquisa. O tráfego de veículos deveria, necessariamente, predominar no campo acústico. Caso contrário, não seria possível

obter valores simulados e medidos correspondentes, já que a potência sonora das outras fontes não é uma informação conhecida.

A variabilidade sonora – diferença entre L_{90} e L_{10} – foi o critério utilizado para a definição desta área. Isso porque há um indicativo de que o tráfego de veículos sobressai no campo acústico quando difere do ruído residual em 10 dB ou mais (BISTAFA, 2006). A escolha da área também esteve fundamentada nas observações extraídas durante as medições e nas gravações geradas com o sonômetro.

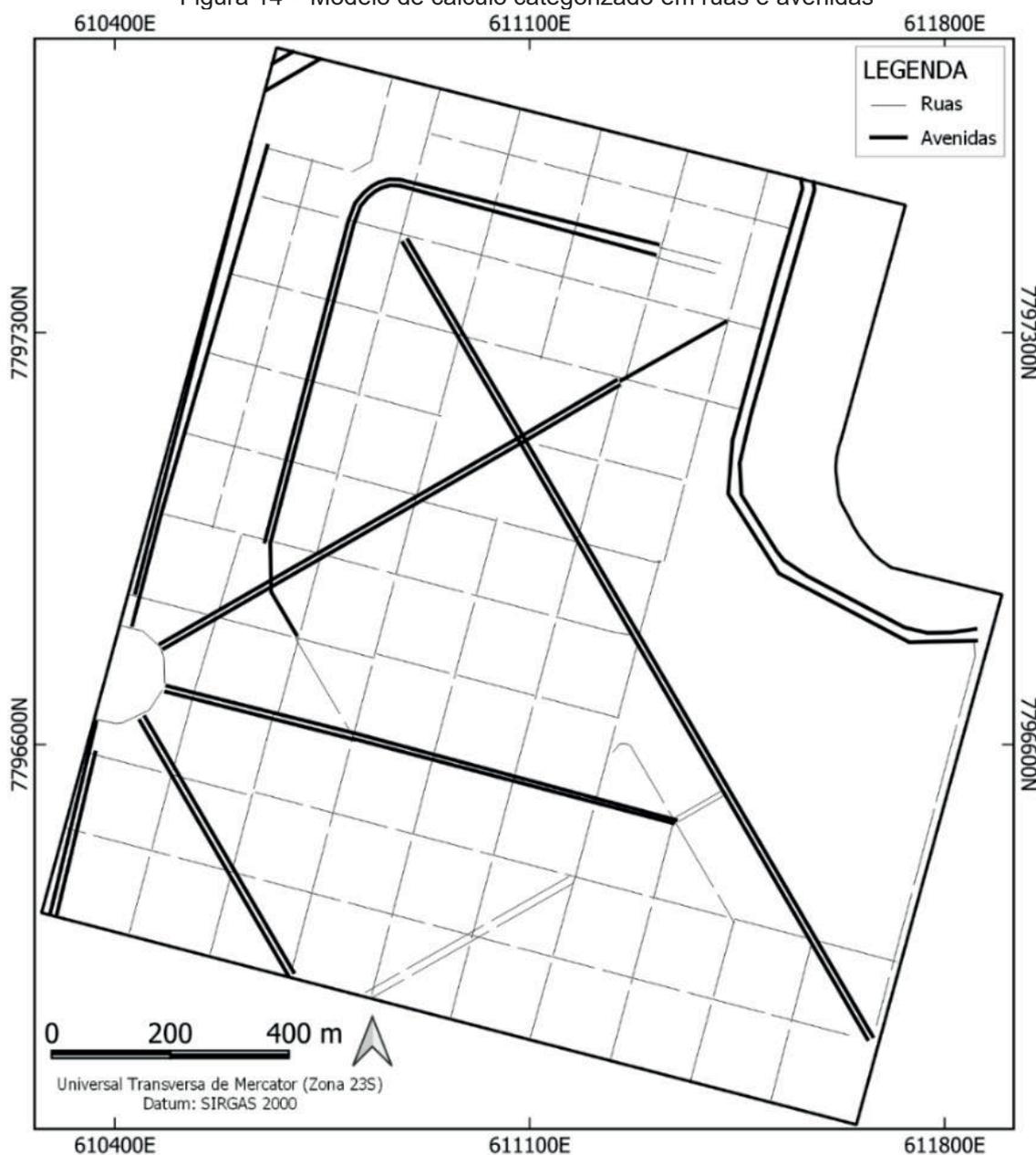
A área de validação foi determinada após as medições sonoras e, por isso, está detalhada no tópico de resultados (Tópico 4.2).

3.3.1.2 Calibração

Após validar o modelo e definir o método de cálculo mais adequado, os parâmetros de simulação foram calibrados, considerando os três cenários citados. A Figura 6 apresenta a área utilizada nesta etapa, não sendo mais empregada a área de validação, mas sim a área total do estudo.

Nesta área, maior do que a área até então utilizada pelo *software*, o cálculo não foi realizado de forma direta, por uma limitação relativa ao número de fontes inseridas. Por isso, o modelo foi dividido em dois, fazendo com que um deles possuísse apenas ruas e o outro apenas avenidas (Figura 14). A partir da ferramenta do *software* denominada *Foreground/background contours*, houve a união dos modelos que, a princípio, foram calculados separadamente.

Figura 14 – Modelo de cálculo categorizado em ruas e avenidas



Nesta etapa, para os cenários 01 e 02, foi utilizada a quantidade de veículos medida *in loco*, não havendo ajustes com a finalidade de adequar com os valores medidos. Esses cenários refletem, portanto, mapas acústicos do tráfego de veículos e se diferem pela altura dos contornos.

Para o cenário 03, a etapa de calibração consistiu em ajustar o fluxo dos veículos. Aumentando ou diminuindo este parâmetro, os cálculos eram realizados no *software*. Em seguida, os valores simulados e medidos eram comparados. Sempre que o desvio em algum dos *receivers* superava 4 dB, havia novos ajustes e novos cálculos.

Por não existir norma brasileira que regulamente o padrão das cores utilizadas nos contornos do mapeamento sonoro, o utilizado neste projeto foi baseado na ISO 1996-2 (Figura 15).

Figura 15 – Padrão de cores utilizado no mapeamento acústico



Fonte: Adaptado da ISO, 2017

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das medições e da simulação acústica são apresentados nos tópicos seguintes.

4.1 MEDIÇÕES SONORAS

Em nenhuma série de medições o desvio foi menor do que -0,5 dB ou maior do que 0,5 dB durante o procedimento de ajuste, conforme Tabela 19 (ABNT, 2019).

Tabela 19 – Resultados: Ajustes do medidor sonoro

Dia	Horário	Desvio	Dia	Horário	Desvio	Dia	Horário	Desvio
30/09/20	08h50min 17h10min	-0,05	27/10/20	07h51min 11h24min	-0,15	05/11/20	07h10min 18h37min	0,04
01/10/20	07h29min 18h18min	0,00	28/10/20	13h23min 18h01min	-0,01	10/11/20	07h59min 12h22min	-0,03
21/10/20	13h48min 18h17min	-0,09	29/10/20	07h58min 18h00min	0,02	29/04/21	9h33min 13h21min	0,03

Fonte: Autora, 2021

Os resultados das medições foram emitidos na forma de relatórios (APÊNDICE A). Em cada um deles há a identificação do ponto por meio do seu nome, coordenadas UTM³⁷, mapa de localização e representação fotográfica do equipamento instalado *in loco*. A partir da avaliação do gráfico de variação do nível de pressão sonora no tempo, nos relatórios, observa-se que o som na região central de Belo Horizonte é caracterizado como flutuante³⁸.

Durante as medições e ao ouvir as gravações captadas pelo sonômetro, o fluxo veicular foi apontado como uma das fontes que prepondera no campo acústico da área avaliada. Essa afirmativa, todavia, não pôde ser generalizada para todos os pontos aferidos. A existência de outras fontes próximas e as características físicas da via, como número de faixas, são alguns dos fatores que contribuem para que possam sobressair em determinado instante.

Ainda em relação às fontes sonoras, é importante destacar que, mesmo quando o tráfego de veículos não é intenso em determinada via, pode haver a influência das vias vizinhas. É o que acontece, por exemplo, em SD-02, que está nas proximidades

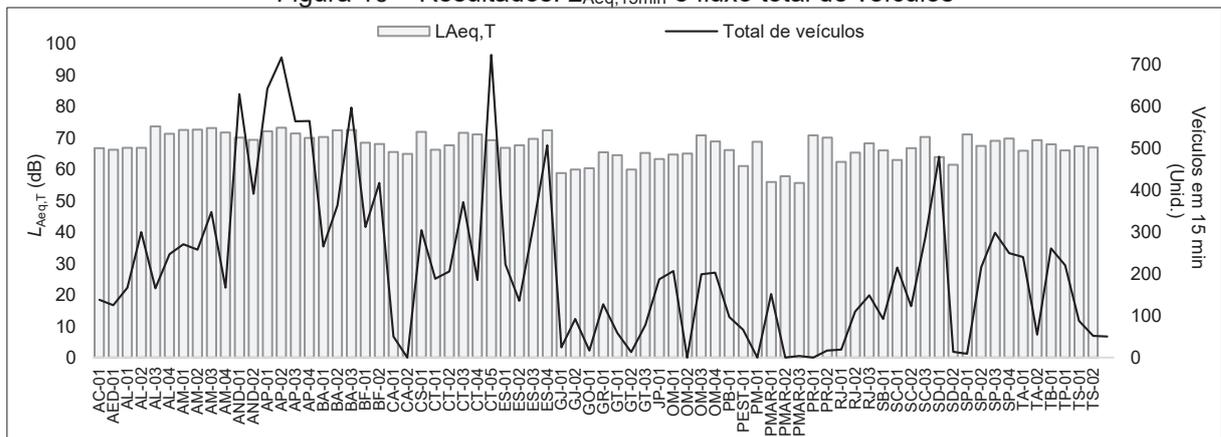
³⁷ As coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) são um “sistema referencial de localização terrestre baseado em coordenadas métricas definidas para cada uma das 60 zonas UTM” (WINGE, [S.d.]).

³⁸ “Som contínuo cujo nível de pressão sonora, durante o período de observação, varia significativamente” (ABNT, 2014, p. 3).

de ruas e avenidas com elevado intenso fluxo de veículos, como a Rua Espírito Santo e a da Bahia. Ao todo passaram 9 veículos pelo ponto SD-02 e, tanto o comércio, quanto a circulação de pedestres não são significativos no trecho. O $L_{Aeq,T}$ medido é de 61,4 dB.

Esses apontamentos estão graficamente demonstrados na Figura 16. O descompasso entre níveis sonoros e fluxos totais, por exemplo, nos pontos PR-02 e SC-03, é um indício preliminar que não existe linearidade entre o fluxo de veículos que passa pelo ponto de medição e o nível de pressão sonora. Isso porque uma diferença de 461 veículos entre os pontos citados não é proporcional à variação no $L_{Aeq,T}$ de apenas 0,1 dB. Portanto, como citado, pode haver a influência de outras fontes ou do tráfego das ruas vizinhas.

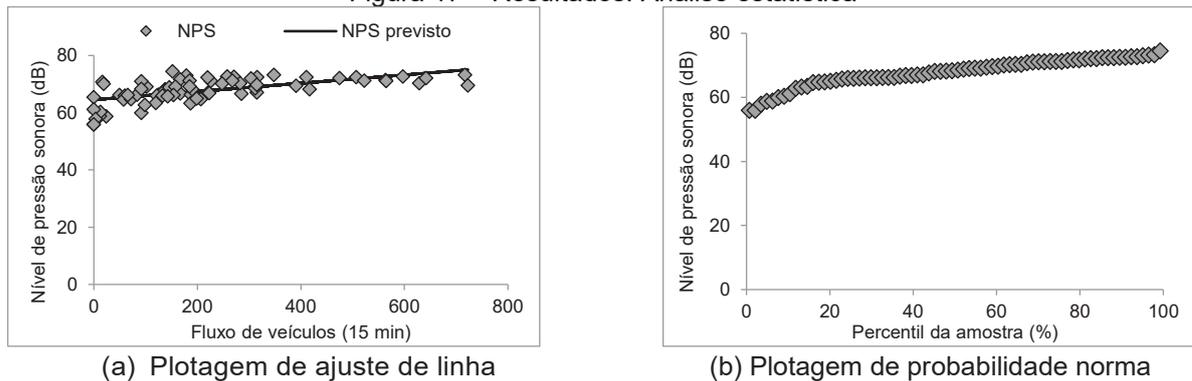
Figura 16 – Resultados: $L_{Aeq,15min}$ e fluxo total de veículos



Fonte: Autora, 2021

O aprofundamento dessa teoria está embasado em uma regressão linear simples. Em relação à adequação do modelo, tanto a plotagem de ajuste de linha, Figura 17 (a), quanto a plotagem de probabilidade normal, Figura 17 (b), não exprimem um sinal forte de inadequação. A validade foi, de fato, verificada com o p-valor (0,6) superior à 0,05, no Teste de Shapiro-Wilk. Isso porque a não rejeição da hipótese nula implica a distribuição normal dos resíduos, ou seja, na confiabilidade do modelo (MONTGOMERY *et al.*, 2020).

Figura 17 – Resultados: Análise estatística



A reta de regressão linear simples está representada na Equação 5.

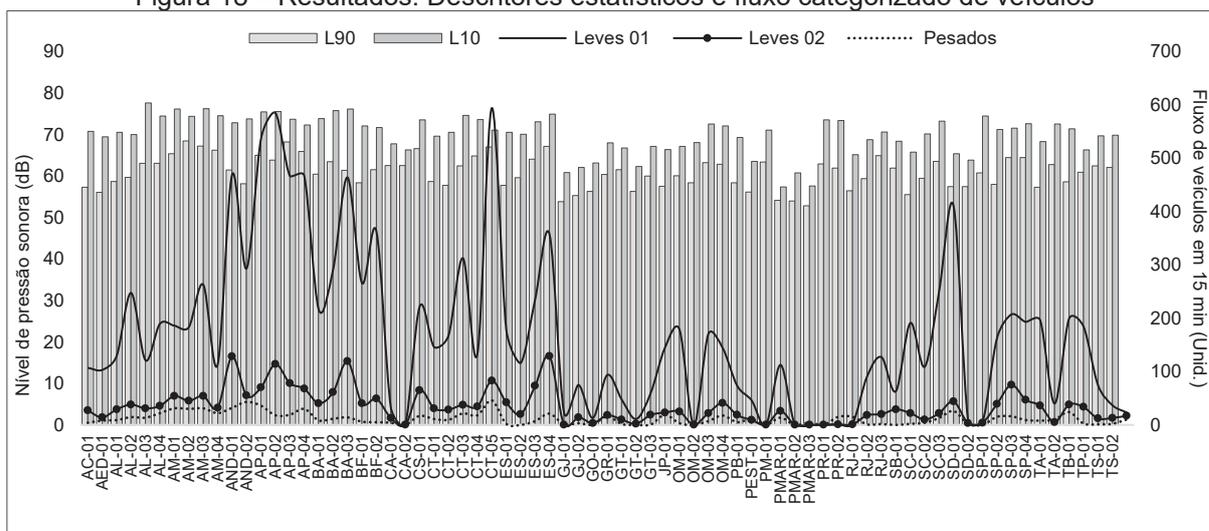
$$y = 64,5 + 0,01x \quad (\text{Eq. 5})$$

Um β_1 (inclinação da reta) igual a zero indicaria que o fluxo total de veículos que passa pelo equipamento durante a medição não interfere no resultado do $L_{Aeq,15min}$, ou seja, que são outros os fatores significativos. Portanto, uma inclinação de 0,01 (Equação 5) sugere que a associação entre os fatores existe, mas que é fraca. De fato, o p-valor da regressão ($4e^{-77}$) revela que o volume de veículos interfere nos níveis sonoros, mas apenas 37,4% (R^2) deles são justificados pela quantidade contada durante as medições. Por isso, existem outros emissores também representativos.

A informação de que os veículos predominaram em 37,4% (R^2) das amostras condiz com o resultado da variabilidade sonora (Figura 18), obtida com a diferença entre L_{10} e L_{90} . Em 41,7% dos resultados o ruído do tráfego (L_{10}) superou em 10 dB ou mais o ruído residual (L_{90}). Significa, portanto, que a fonte em avaliação “mascarou” as demais, sobressaindo.

Os descritores estatísticos e a variação do fluxo são apresentados na Figura 18.

Figura 18 – Resultados: Descritores estatísticos e fluxo categorizado de veículos



Fonte: Autora, 2021

O maior valor de L_{10} foi identificado em AL-03, apesar de não ter sido este o ponto com maior fluxo de veículos em nenhuma categoria. É importante destacar que, o ponto com uma maior contagem de veículos, CT-05, com 723 veículos no total, não esteve entre os maiores valores do descritor citado. No ponto com menor valor de L_{10} , em PMAR-01, não houve a passagem de veículos e foi o mais distante, dentro do parque, das avenidas com grande fluxo, como Av. do Contorno e Afonso Pena.

O maior ruído residual (L_{90}) foi identificado em AM-02. No trecho, existe um comércio intenso, com muitos pedestres e pontos de ônibus. Foram identificadas também emissões sonoras em garagens de edifícios próximos, geradas para alertar quando há a entrada ou a saída de um veículo. O menor ruído residual foi em PMAR-03.

É importante destacar que a avaliação dos descritores estatísticos pode não ser representativa para os centros urbanos com fluxo intenso. Ao comparar o L_{90} com o ruído residual, por exemplo, infere-se o nível de pressão sonora sem a fonte específica em análise (tráfego de veículos) a partir de uma média logarítmica que considera essa fonte. Quando o fluxo é intenso, portanto, o valor superado em 90% do tempo pode não representar o ruído residual.

De forma análoga, o L_{10} representa 10% dos ruídos mais elevados. Desta forma, pode haver uma superestimação do ruído de tráfego, caso exista outras fontes representativas durante a medição emitindo elevados níveis sonoros.

Os descritores estatísticos de cada medição, assim como a diferença entre o L_{10} e L_{90} são detalhados na Tabela 20.

Tabela 20 – Resultados: Descritores estatísticos e variabilidade sonora

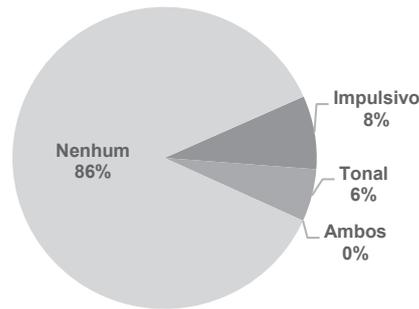
Ponto	$L_{Aeq,T}$ (dB)	L_{10} (dB)	L_{90} (dB)	$L_{10} - L_{90}$ (dB)	Ponto	$L_{Aeq,T}$ (dB)	L_{10} (dB)	L_{90} (dB)	$L_{10} - L_{90}$ (dB)
AC-01	66,7	70,7	57,3	13,5	GR-01	65,3	68,0	60,4	7,6
AED-01	66,2	69,4	56,0	13,4	GT-01	64,5	66,7	61,5	5,3
AL-01	66,8	70,5	58,7	11,9	GT-02	59,9	62,3	56,3	6,0
AL-02	66,8	70,0	59,7	10,3	GT-03	65,2	67,1	59,9	7,2
AL-03	73,7	77,6	63,0	14,6	JP-01	63,2	66,4	57,5	8,8
AL-04	71,3	74,5	63,0	11,4	OM-01	64,7	67,1	60,0	7,1
AM-01	72,5	76,1	65,4	10,8	OM-02	65,0	68,1	58,3	9,7
AM-02	72,6	74,4	68,4	6,0	OM-03	70,7	72,5	63,2	9,4
AM-03	73,1	76,2	67,2	9,0	OM-04	68,9	72,1	62,9	9,2
AM-04	71,6	74,6	66,2	8,4	PB-01	66,1	69,3	58,4	10,9
AND-01	70,1	72,9	61,5	11,4	PEST-01	61,0	63,5	56,1	7,5
AND-02	69,4	73,7	58,1	15,6	PM-01	68,7	71,0	63,4	7,7
AP-01	72,1	75,5	65,0	10,5	PMAR-01	55,9	57,3	54,1	3,2
AP-02	73,2	75,5	63,8	11,7	PMAR-02	57,8	60,8	54,0	6,8
AP-03	71,4	73,7	68,2	5,5	PMAR-03	55,6	57,6	52,9	4,8
AP-04	69,9	72,3	65,9	6,4	PR-01	70,8	73,5	62,9	10,6
BA-01	70,3	73,8	60,4	13,4	PR-02	70,1	73,4	61,9	11,5
BA-02	72,4	75,8	63,4	12,3	RJ-01	62,4	65,1	56,5	8,7
BA-03	72,5	76,1	61,3	14,8	RJ-02	65,3	68,8	59,3	9,5
BF-01	68,5	72,1	58,3	13,7	RJ-03	68,3	70,6	64,9	5,7
BF-02	68,0	71,7	61,6	10,1	SB-01	66,0	68,4	61,9	6,5
CA-01	65,5	67,7	62,5	5,2	SC-01	62,9	65,8	55,5	10,3
CA-02	64,9	66,3	62,5	3,7	SC-02	66,7	70,1	59,4	10,7
CS-01	71,9	73,5	66,6	6,9	SC-03	70,2	73,2	63,5	9,7
CT-01	66,2	69,6	58,6	11,0	SD-01	63,9	65,4	57,4	8,0
CT-02	67,6	70,5	57,7	12,8	SD-02	61,4	63,8	57,5	6,4
CT-03	71,6	74,6	62,5	12,1	SP-01	71,1	74,5	60,7	13,7
CT-04	71,1	73,6	64,8	8,8	SP-02	67,4	71,2	58,0	13,2
CT-05	69,3	71,1	66,9	4,1	SP-03	69,1	71,5	64,5	7,1
ES-01	66,8	70,5	57,8	12,8	SP-04	69,8	72,6	64,4	8,2
ES-02	67,6	70,1	59,6	10,5	TA-01	65,9	68,3	57,3	11,1
ES-03	69,7	73,1	64,1	9,0	TA-02	69,2	72,5	62,8	9,8
ES-04	72,4	74,9	67,1	7,8	TB-01	67,9	71,3	58,6	12,7
GJ-01	58,7	60,8	53,9	7,0	TP-01	66,0	66,3	60,9	5,4
GJ-02	59,9	62,0	55,3	6,7	TS-01	67,3	69,7	62,5	7,2
GO-01	60,3	63,2	56,3	6,9	TS-02	66,9	69,8	62,0	7,8

Fonte: Autora, 2021

4.1.1 Tonais e impulsivos

Em 77 dos pontos de medição não foram identificados sons tonais ou impulsivos (Figura 19).

Figura 19 – Resultados: Presença de sons tonais e impulsivos

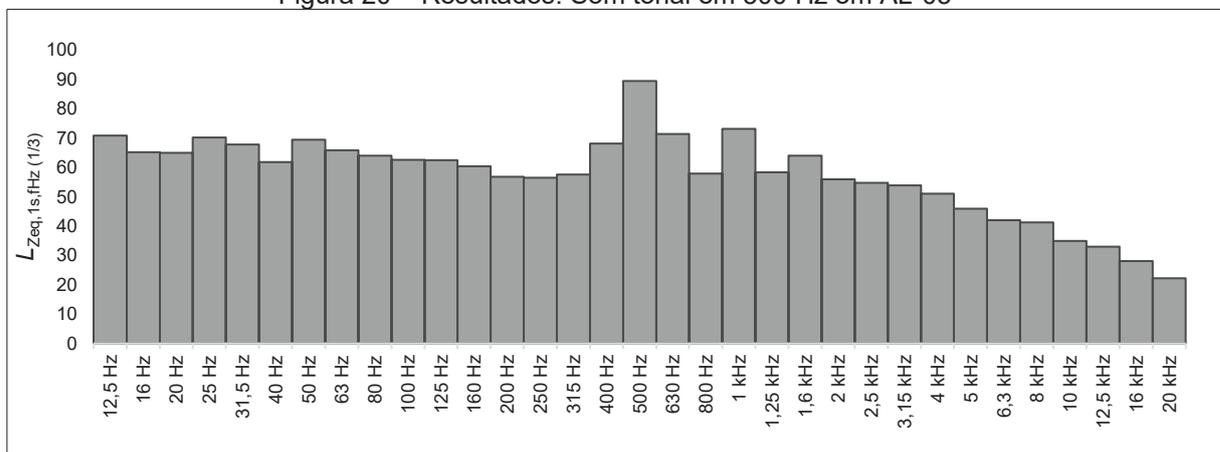


Fonte: Autora, 2021

Sons tonais foram observados nos pontos AED-01 (8000 Hz), GJ-01 (6300 Hz), OM-03 (1250 Hz), RJ-01 (4000 Hz) e RJ-02 (3150), atribuídos ao canto de pássaros e ao processo de frenagem de veículos.

Em AL-03, por exemplo, com a avaliação da variação temporal dos níveis sonoros – a cada segundo - e da variação nas bandas de frequência, verificou-se possível correlação entre a frenagem de um ônibus e um som tonal na banda de 500 Hz (Figura 20). Destaca-se que, apesar da identificação do som tonal em um dos segundos da gravação, não é possível afirmar que há a caracterização desse som no ponto AL-03, já que, para isso, deve ser analisado o $L_{Zeq,T, fHZ(1/3)}$, no tempo de integração T de 15 min.

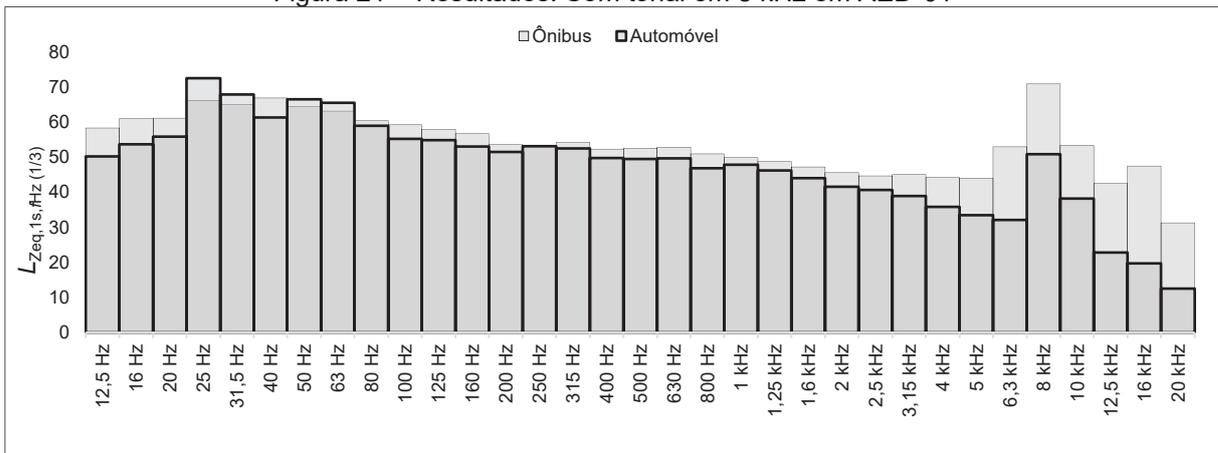
Figura 20 – Resultados: Som tonal em 500 Hz em AL-03



Fonte: Autora, 2021

Em AED-01, conforme Figura 21, um som tonal foi identificado em dois momentos distintos. Subjetivamente, ao ouvir os áudios, foram associados à frenagem de um ônibus e de um carro, ambos na banda de 8 kHz.

Figura 21 – Resultados: Som tonal em 8 kHz em AED-01



Fonte: Autora, 2021

Sons impulsivos foram detectados em 7 pontos de medição (8%) e estiveram atrelados, por exemplo, a obras no entorno e à queda de objetos. O reconhecimento de um som impulsivo considerou, além da diferença aritmética definida na NBR 10151 (ABNT, 2019), a fonte emissora observada nos áudios gerados durante as medições. Isso porque, ao considerar apenas a primeira análise, de caráter quantitativo, 70% dos pontos apresentariam sons impulsivos, não correspondendo às definições da NBR 16313 (ABNT, 2014).

4.1.2 Fluxo de veículos

O fluxo de veículos, contabilizado durante os 15 min da medição acústica, é apresentado na Tabela 21. Foi dividido em categorias, em que “Leves 01” (LV 01) representa a quantidade de carros, “Leves 02” (LV 02) de motos e bicicletas motorizadas e “Pesados” (PD) de ônibus e caminhões pequenos.

Tabela 21 – Resultados: Fluxo de veículos durante 15 min

Ponto	LV 01	LV 02	PD	Ponto	LV 01	LV 02	PD	Ponto	LV 01	LV 02	PD
AC-01	107	27	4	CT-02	168	29	10	PMAR-03	0	0	0
AED-01	103	13	8	CT-03	313	38	22	PR-01	1	1	15
AL-01	129	29	9	CT-04	133	34	18	PR-02	3	0	15
AL-02	248	38	15	CT-05	594	83	46	RJ-01	91	18	1
AL-03	121	31	14	ES-01	179	42	2	RJ-02	127	20	2
AL-04	190	36	22	ES-02	116	20	0	RJ-03	63	29	0
AM-01	186	54	31	ES-03	235	73	7	SB-01	191	22	2
AM-02	183	45	30	ES-04	357	129	21	SC-01	109	10	4
AM-03	263	54	31	GJ-01	23	0	1	SC-02	251	22	13

Ponto	LV 01	LV 02	PD	Ponto	LV 01	LV 02	PD	Ponto	LV 01	LV 02	PD
AM-04	113	32	22	GJ-02	75	14	3	SC-03	410	44	26
AND-01	469	128	32	GO-01	13	3	1	SD-01	9	2	2
AND-02	293	55	43	GR-01	94	18	16	SD-02	5	4	0
AP-01	536	70	36	GT-01	48	10	2	SP-01	162	39	15
AP-02	585	114	18	GT-02	11	2	0	SP-02	207	75	16
AP-03	467	78	19	GT-03	59	19	1	SP-03	193	47	9
AP-04	467	68	30	JP-01	145	23	19	SP-04	196	36	8
BA-01	217	41	9	OM-01	179	25	3	TA-01	40	5	10
BA-02	291	61	12	OM-02	170	22	7	TA-02	199	38	24
BA-03	464	118	14	OM-03	144	41	18	TB-01	185	34	3
BF-01	266	40	6	OM-04	74	19	5	TP-01	75	12	1
BF-02	363	49	5	PB-01	46	9	11	TS-01	37	13	2
CA-01	33	13	4	PEST-01	0	0	0	TS-02	23	17	10
CA-02	0	0	0	PM-01	113	26	14				
CS-01	222	65	17	PMAR-01	0	0	0				
CT-01	146	31	11	PMAR-02	0	0	4				

Fonte: Autora, 2021

A partir dos resultados de $L_{Aeq,T}$ (Tabela 20) e a variação do fluxo de veículos (Tabela 21), observa-se que em SP-04, mesmo havendo a contagem de 483 veículos a menos do que em CT-05, foi identificado $L_{Aeq,T}$ 0,4 dB maior. Além da possibilidade de existir outras fontes e a influência do tráfego de veículos das vias vizinhas, destaca-se que o trecho de medição da rua São Paulo, diferentemente do trecho da Rua Curitiba, está em aclave.

Os pontos com fluxo menos intenso de veículos são os localizados dentro do parque municipal. Apenas caminhões leves de manutenção foram identificados no PMAR-02 e não houve a passagem de veículos em PMAR-01 e PMAR-03.

4.1.3 Níveis sonoros e regulamentações

Os limites diurnos determinados pelas legislações estadual e municipal de 70 dB ($L_{Aeq,T}$) são excedidos em 22 pontos (30,5%). Sob a perspectiva da norma brasileira NBR 10151 (ABNT, 2019), em 66 pontos (91,7%) foram identificados $L_{Aeq,T}$ excedendo 60 dB (“área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa”). A Tabela 22 apresenta o detalhamento dos resultados.

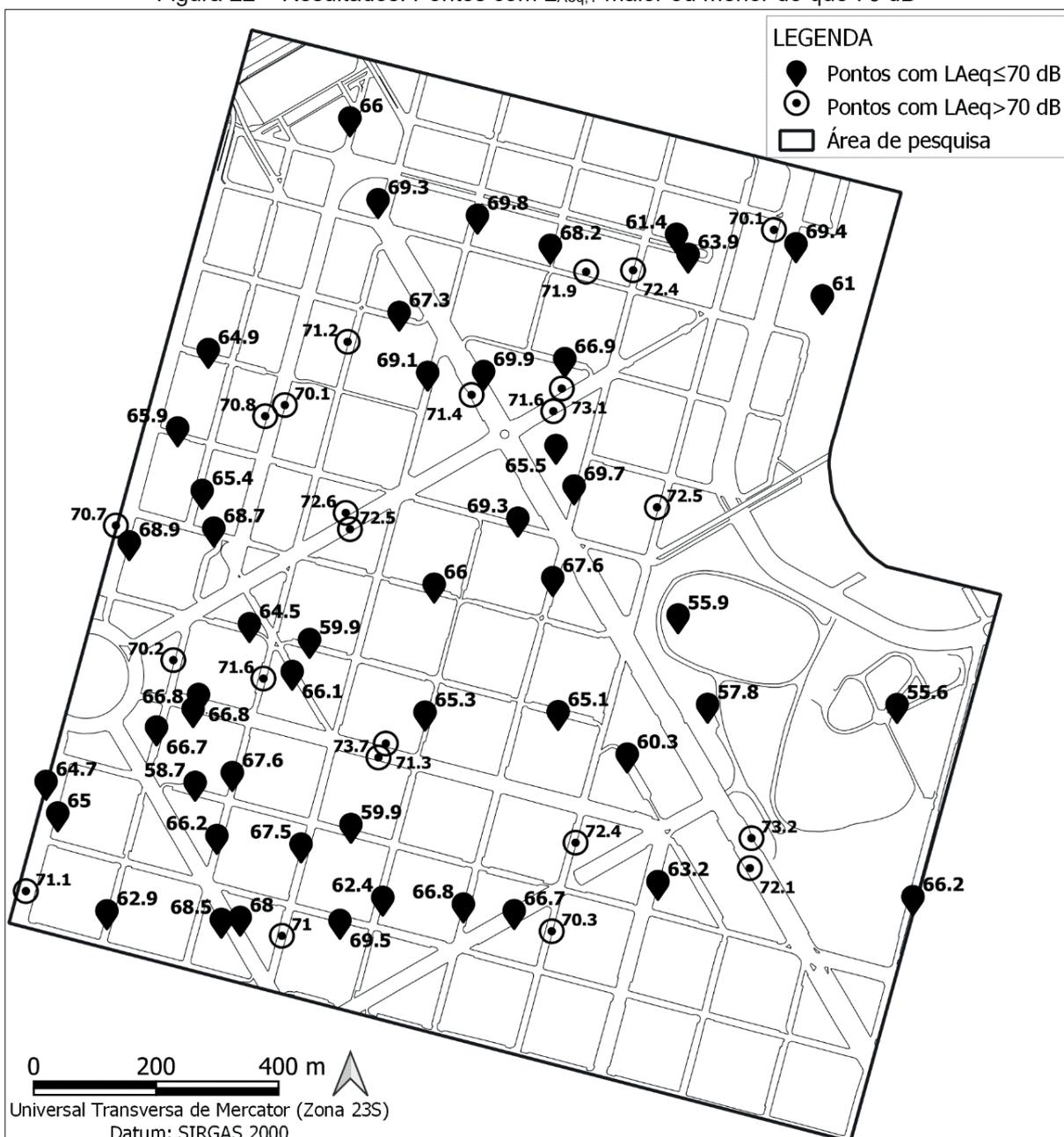
Tabela 22 – Resultados: $L_{Aeq,T}$ e as regulamentações brasileiras

Ponto	$L_{Aeq,T}$ (dB)	$L_{Aeq,T} - 60$ (dB)	$L_{Aeq,T} - 70$ (dB)	Ponto	$L_{Aeq,T}$ (dB)	$L_{Aeq,T} - 60$ (dB)	$L_{Aeq,T} - 70$ (dB)
AC-01	66,7	6,7	-3,3	GR-01	65,3	5,3	-4,7
AED-01	66,2	6,2	-3,8	GT-01	64,5	4,5	-5,5
AL-01	66,8	6,8	-3,2	GT-02	59,9	-0,1	-10,1
AL-02	66,8	6,8	-3,2	GT-03	65,2	5,2	-4,8
AL-03	73,7	13,7	3,7	JP-01	63,2	3,2	-6,8
AL-04	71,3	11,3	1,3	OM-01	64,7	4,7	-5,3
AM-01	72,5	12,5	2,5	OM-02	65,0	5,0	-5,0
AM-02	72,6	12,6	2,6	OM-03	70,7	10,7	0,7
AM-03	73,1	13,1	3,1	OM-04	68,9	8,9	-1,1
AM-04	71,6	11,6	1,6	PB-01	66,1	6,1	-3,9
AND-01	70,1	10,1	0,1	PEST-01	61,0	1,0	-9,0
AND-02	69,4	9,4	-0,6	PM-01	68,7	8,7	-1,3
AP-01	72,1	12,1	2,1	PMAR-01	55,9	-4,1	-14,1
AP-02	73,2	13,2	3,2	PMAR-02	57,8	-2,2	-12,2
AP-03	71,4	11,4	1,4	PMAR-03	55,6	-4,4	-14,4
AP-04	69,9	9,9	-0,1	PR-01	70,8	10,8	0,8
BA-01	70,3	10,3	0,3	PR-02	70,1	10,1	0,1
BA-02	72,4	12,4	2,4	RJ-01	62,4	2,4	-7,6
BA-03	72,5	12,5	2,5	RJ-02	65,3	5,3	-4,7
BF-01	68,5	8,5	-1,5	RJ-03	68,3	8,3	-1,7
BF-02	68,0	8,0	-2,0	SB-01	66,0	6,0	-4,0
CA-01	65,5	5,5	-4,5	SC-01	62,9	2,9	-7,1
CA-02	64,9	4,9	-5,1	SC-02	66,7	6,7	-3,3
CS-01	71,9	11,9	1,9	SC-03	70,2	10,2	0,2
CT-01	66,2	6,2	-3,8	SD-01	63,9	3,9	-6,1
CT-02	67,6	7,6	-2,4	SD-02	61,4	1,4	-8,6
CT-03	71,6	11,6	1,6	SP-01	71,1	11,1	1,1
CT-04	71,1	11,1	1,1	SP-02	67,4	7,4	-2,6
CT-05	69,3	9,3	-0,7	SP-03	69,1	9,1	-0,9
ES-01	66,8	6,8	-3,2	SP-04	69,8	9,8	-0,2
ES-02	67,6	7,6	-2,4	TA-01	65,9	5,9	-4,1
ES-03	69,7	9,7	-0,3	TA-02	69,2	9,2	-0,8
ES-04	72,4	12,4	2,4	TB-01	67,9	7,9	-2,1
GJ-01	58,7	-1,3	-11,3	TP-01	66,0	6,0	-4,0
GJ-02	59,9	-0,1	-10,1	TS-01	67,3	7,3	-2,7
GO-01	60,3	0,3	-9,7	TS-02	66,9	6,9	-3,1

Fonte: Autora, 2021

A localização dos pontos com $L_{Aeq,T}$ maior ou menor do que 70 dB é apresentada na Figura 22.

Figura 22 – Resultados: Pontos com $L_{Aeq,T}$ maior ou menor do que 70 dB



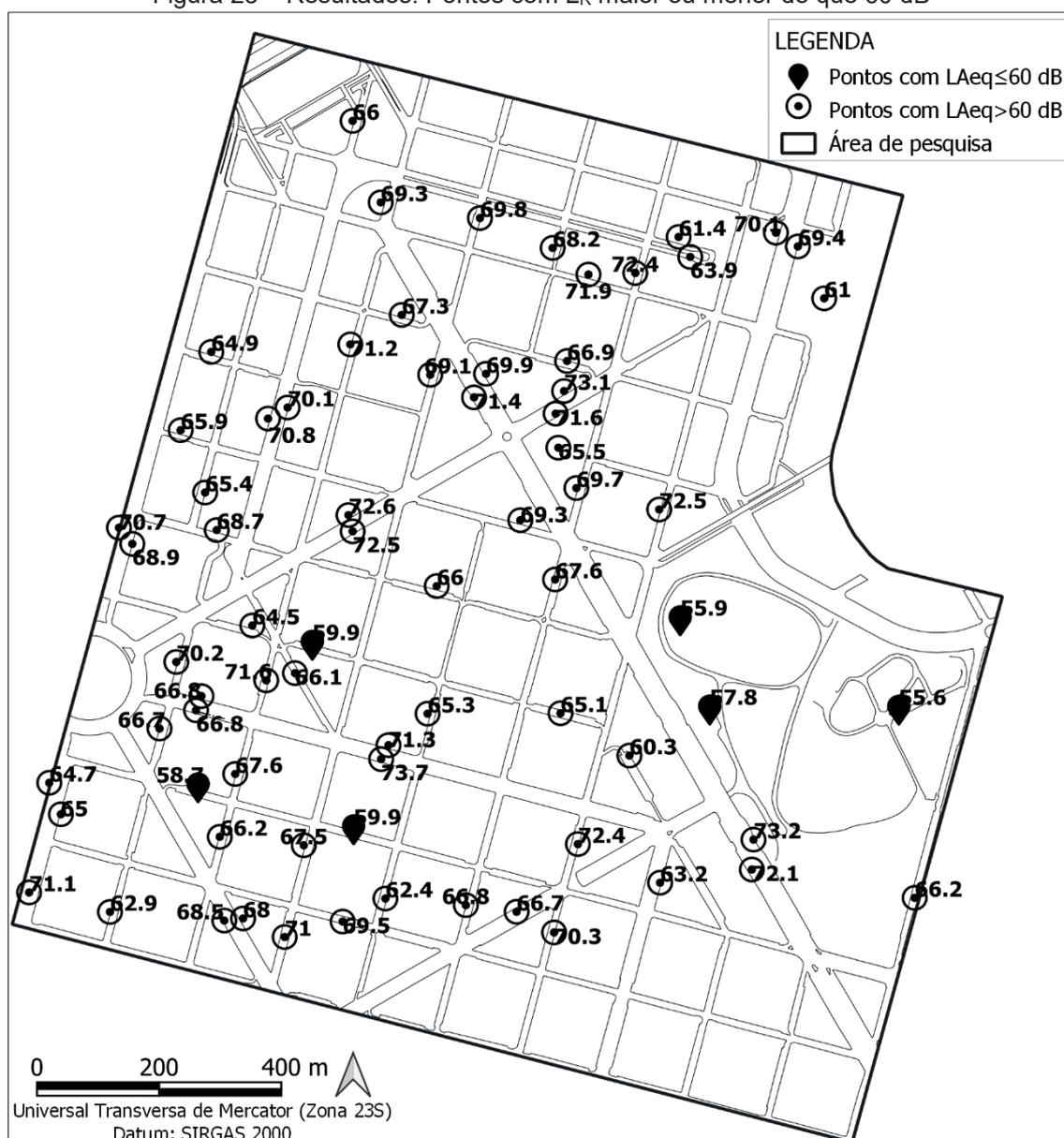
Fonte: Autora, 2021

Ao considerar o aumento de 5 dB estabelecido no §3º do Art. 4º da Lei Municipal nº 9505 (BELO HORIZONTE, 2008), uma situação saudável para a população e condizente com o sossego público estaria caracterizada em todos os pontos de medição. Todavia, estudos publicados indicam que efeitos negativos podem ser identificados, de forma geral, a partir de 50 dB (ponderação em frequência A), sendo necessário também avaliações qualitativas. Evidências recentes indicam a existência de efeitos negativos na saúde a partir de níveis sonoros entre 42 dB e 60 dB

(ponderação em frequência A) (TORONTO PUBLIC HEALTH, 2017; VIENNEAU *et al.*, 2015; OMS, 2011; YOSHIDA *et al.*, 1997).

A partir da verificação de sons tonais e impulsivos e com o cálculo do L_R , apenas em 5 dos pontos medidos são identificados níveis sonoros que se enquadram no limite diurno de 60 dB da NBR 10151 (ABNT, 2019). Comparando com os valores de $L_{Aeq,T}$ que excedem 60 dB, Figura 23, haveria a descaracterização apenas do GJ-01, pela presença de som tonal. Nesse ponto o $L_{Aeq,T}$ é igual a 58,7 dB e o L_R igual a 63,7 dB.

Figura 23 – Resultados: Pontos com L_R maior ou menor do que 60 dB



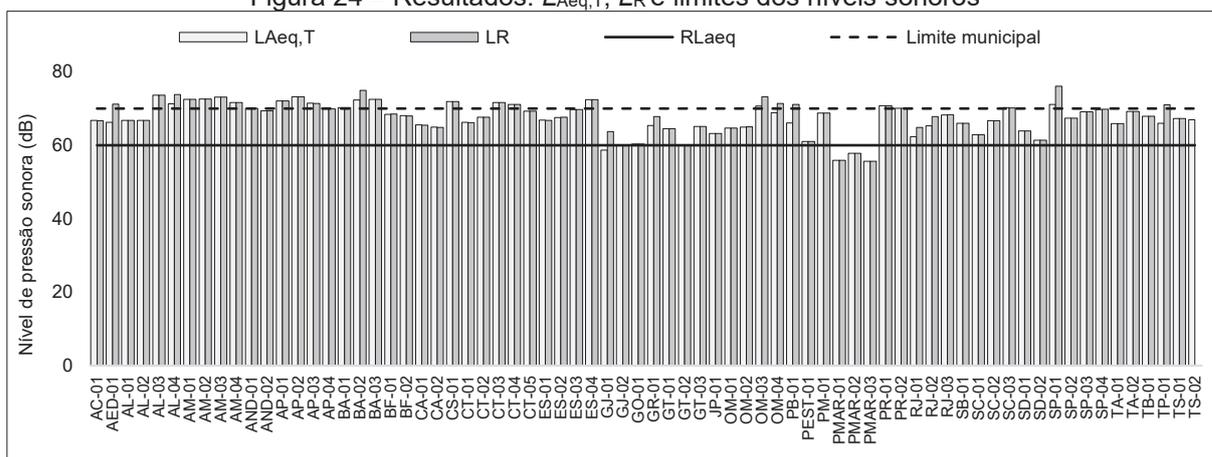
Fonte: Autora, 2021

Em AL-03, AP-02 e AM-03, o $L_{Aeq,T}$ superou 73 dB. Como esperado, os menores valores foram identificados nos pontos PMAR-01, PMAR-02 e PMAR-03, com

55,9 dB, 57,8 dB e 55,6 dB, respectivamente. A média aritmética de $L_{Aeq,15min}$, de todos os pontos, é 67,3 dB.

Além das Figura 22 e da Figura 23, com a Figura 24 é possível identificar o impacto da permissividade das legislações estadual e municipal em relação aos níveis sonoros.

Figura 24 – Resultados: $L_{Aeq,T}$, L_R e limites dos níveis sonoros



Fonte: Autora, 2021

Além de não prever correções para sons tonais e impulsivos, as legislações municipal e estadual permitem que praticamente toda a cidade esteja submetida a um mesmo nível. Nesse sentido, uma região predominantemente residencial poderia se equivaler acusticamente a uma predominantemente comercial, turística ou até mesmo industrial. Por fim, é importante ressaltar que o limite de 70 dB é o mais alto permitido pela NBR 10151 (ABNT, 2019), admitido apenas durante o dia em áreas onde as atividades industriais predominam.

Os valores detalhados de $L_{Aeq,máx}$ e $L_{Aeq,min}$ obtidos com as medições estão descritos na Tabela 23.

Tabela 23 – Resultados: $L_{Aeq,máx}$ e $L_{Aeq,min}$

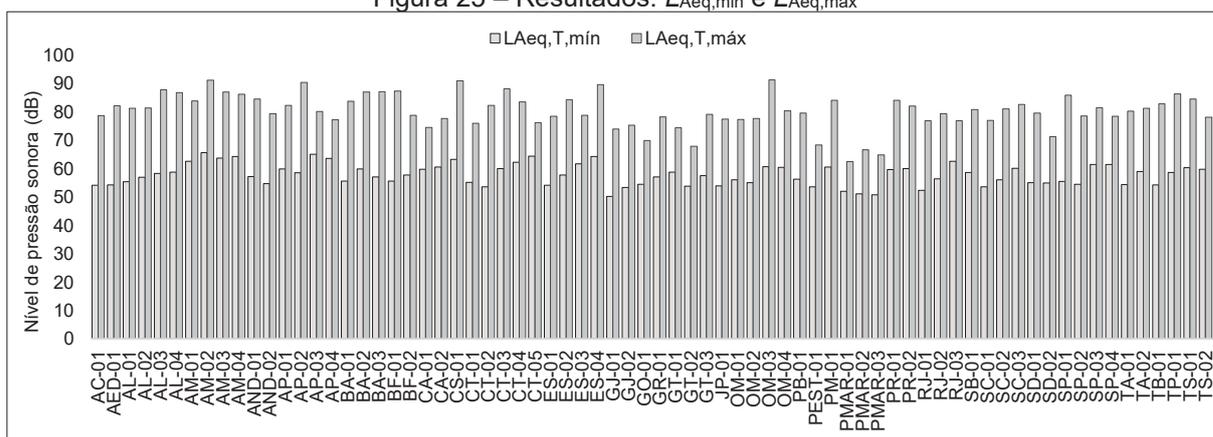
Ponto	L_{Aeq} (dB)		Ponto	L_{Aeq} (dB)		Ponto	L_{Aeq} (dB)	
	$L_{Aeq,máx}$	$L_{Aeq,min}$		$L_{Aeq,máx}$	$L_{Aeq,min}$		$L_{Aeq,máx}$	$L_{Aeq,min}$
AC-01	78,7	54,1	CT-02	82,4	53,6	PMAR-03	64,9	50,8
AED-01	82,2	54,3	CT-03	88,2	60,0	PR-01	84,1	59,6
AL-01	81,3	55,4	CT-04	83,6	62,2	PR-02	82,1	60,0
AL-02	81,4	57,0	CT-05	76,2	64,4	RJ-01	77,0	52,4
AL-03	87,8	58,4	ES-01	78,5	54,2	RJ-02	79,4	56,4
AL-04	86,8	58,8	ES-02	84,4	57,7	RJ-03	76,9	62,6
AM-01	83,9	62,6	ES-03	78,8	61,8	SB-01	80,9	58,7
AM-02	91,3	65,7	ES-04	89,7	64,3	SC-01	77,0	53,6
AM-03	87,1	63,8	GJ-01	74,0	50,2	SC-02	81,1	56,1
AM-04	86,2	64,3	GJ-02	75,3	53,4	SC-03	82,6	60,1

Ponto	$L_{Aeq,máx}$	$L_{Aeq,min}$	Ponto	$L_{Aeq,máx}$	$L_{Aeq,min}$	Ponto	$L_{Aeq,máx}$	$L_{Aeq,min}$
	(dB)			(dB)			(dB)	
AND-01	84,6	57,3	GO-01	70,0	54,5	SD-01	79,6	55,1
AND-02	79,4	54,8	GR-01	78,3	57,1	SD-02	71,3	55,0
AP-01	82,3	59,9	GT-01	74,4	58,7	SP-01	85,9	55,6
AP-02	90,5	58,6	GT-02	68,0	53,9	SP-02	78,6	54,6
AP-03	80,2	65,2	GT-03	79,1	57,5	SP-03	81,5	61,5
AP-04	77,2	63,7	JP-01	77,5	53,9	SP-04	78,5	61,5
BA-01	83,7	55,6	OM-01	77,4	56,1	TA-01	80,3	54,4
BA-02	87,0	59,9	OM-02	77,7	55,0	TA-02	81,3	59,0
BA-03	87,2	57,1	OM-03	91,4	60,7	TB-01	82,8	54,3
BF-01	87,4	55,6	OM-04	80,4	60,4	TP-01	86,3	58,7
BF-02	78,8	57,8	PB-01	79,6	56,3	TS-01	84,6	60,3
CA-01	74,5	59,8	PEST-01	68,4	53,7	TS-02	78,2	59,8
CA-02	77,7	60,5	PM-01	84,1	60,6			
CS-01	91,0	63,3	PMAR-01	62,5	52,0			
CT-01	76,0	55,2	PMAR-02	66,7	51,2			

Fonte: Autora, 2021

Diferentemente da tendência até então apresentada, o menor valor de $L_{Aeq,min}$ não foi obtido dentro do parque municipal, mas em GJ-01 (50,2 dB), enquanto o maior esteve em AM-02 (65,7 dB). O $L_{Aeq,máx}$ ficou entre 62,5 dB, em PMAR-01, e 91,4 dB em OM-03. Os valores médios de $L_{Aeq,min}$ e $L_{Aeq,máx}$ são, respectivamente, 57,8 dB e 80,5 dB. A Figura 25 apresenta graficamente a diferença entre os picos máximos e mínimos de cada medição.

Figura 25 – Resultados: $L_{Aeq,min}$ e $L_{Aeq,máx}$



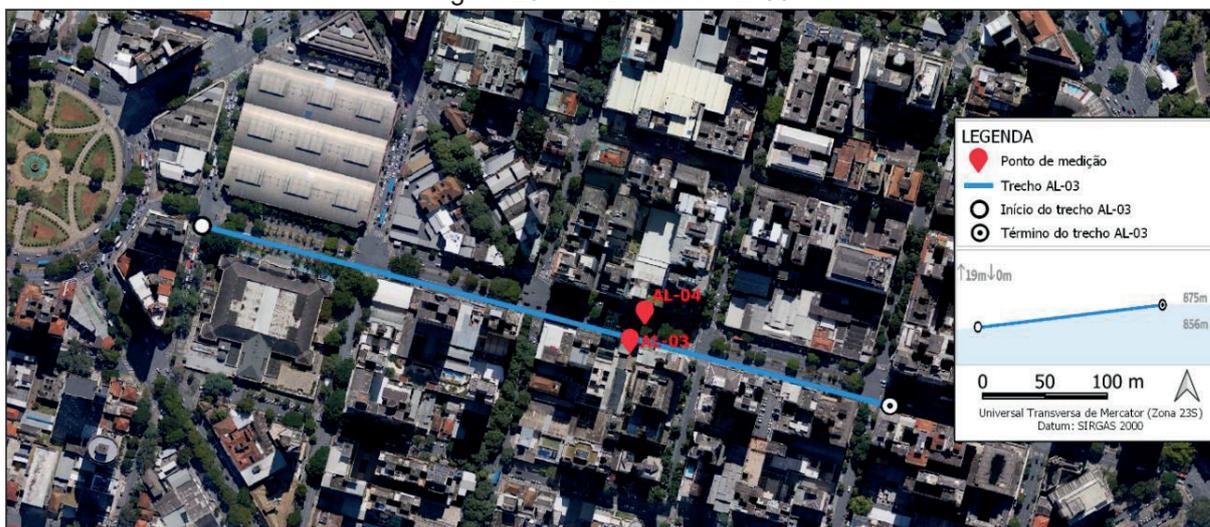
Fonte: Autora, 2021

4.1.4 Descrição de pontos destacados

Os maiores valores de $L_{Aeq,T}$ e L_{10} foram, respectivamente, 73,7 e 77,6 dB, ambos em AL-03 (Figura 26). Nele, durante 15 min, houve a passagem de 121 veículos da categoria “Leves 01”, 31 da “Leves 02” e 14 da “Pesados 01”, totalizando 166. A Av.

Augusto de Lima, no lado onde ocorreu a medição, recebe o fluxo de avenidas radiais, na Praça Raul Soares, e segue no sentido da Praça Afonso Arinos, distribuindo-o entre as Av. João Pinheiro e Rua Goiás. Durante sua extensão, recebe o fluxo de ruas perpendiculares, como Rua da Bahia, Rua Espírito Santo e Rua Rio de Janeiro.

Figura 26 – Resultados: AL-03



Fonte: Google Earth, 2021

Medido do outro lado do canteiro central, o ponto AL-04 teve $L_{Aeq,T}$ 2,4 dB menor, mesmo com quantidade de veículos superior em todas as categorias. Isso pode indicar a influência da topografia na emissão sonora pelos veículos, uma vez que o trecho entre a Praça Raul Soares e o cruzamento da Av. Augusto de Lima com Rua Espírito Santo encontra-se em um acive, com elevação de aproximadamente 19 m (3,78%).

Os menores níveis de $L_{Aeq,T}$, L_{10} , L_{90} e $L_{Aeq,máx}$ foram obtidos dentro do parque municipal (Figura 27). O PMAR-01 foi posicionado na frente do coreto, o PMAR-02 do Teatro Francisco Nunes e o PMAR-03 do Bosque da Amizade.

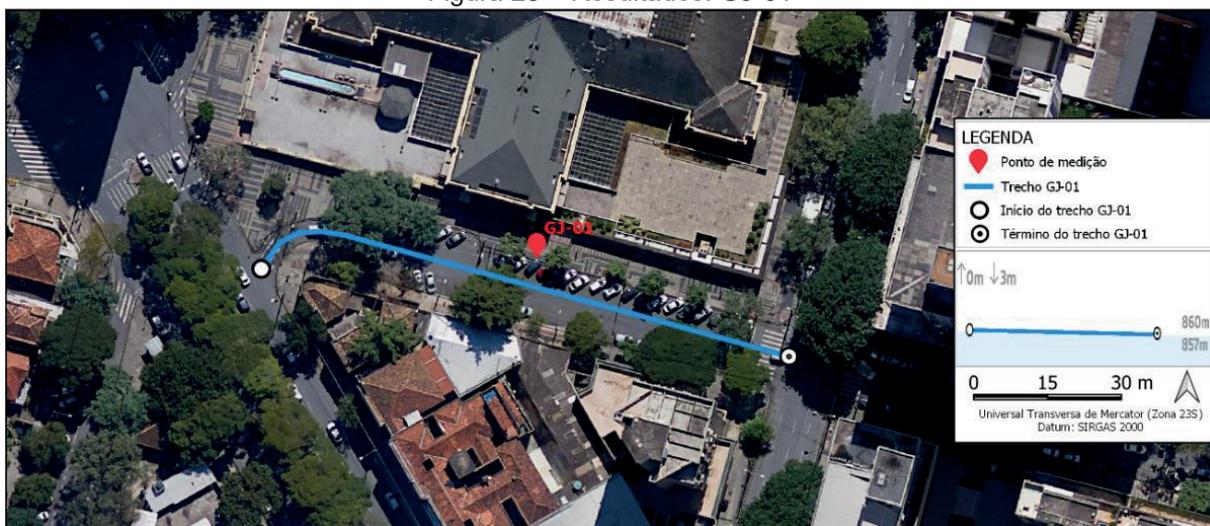
Figura 27 – Resultados: Parque Municipal Américo Renné Giannetti



Fonte: Google Earth, 2021

O único descritor cujo valor mais baixo não esteve no parque municipal foi o $L_{Aeq,min}$, no ponto GJ-01 (Figura 28). Está localizado na Rua dos Guajararas, entre a Av. Bias Fortes e a Rua Curitiba. Os equipamentos foram posicionados no fundo do centro de convenções e feiras MinasCentro, que ocupa todo o quarteirão e possui sua entrada principal na Av. Augusto de Lima. Nesse trecho o comércio não é intenso, assim como o traslado de pedestres e de veículos. Foram identificados 23 veículos da categoria “Leves 01”, 0 da “Leves 02” e 1 de “Pesados”. Neste ponto houve a presença de som tonal, na banda de 6,3 kHz.

Figura 28 – Resultados: GJ-01



Fonte: Google Earth, 2021

O OM-03 (Figura 29), ponto com maior $L_{Aeq,máx}$ (91,4 dB), está localizado na Av. Olegário Maciel, entre as Ruas dos Tupis e dos Goitacazes. No quarteirão do Mercado

Novo, local majoritariamente comercial, teve a passagem de 144 veículos “Leves 01”, 41 “Leves 02” e 18 “Pesados”, totalizando 203 durante o período de medição.

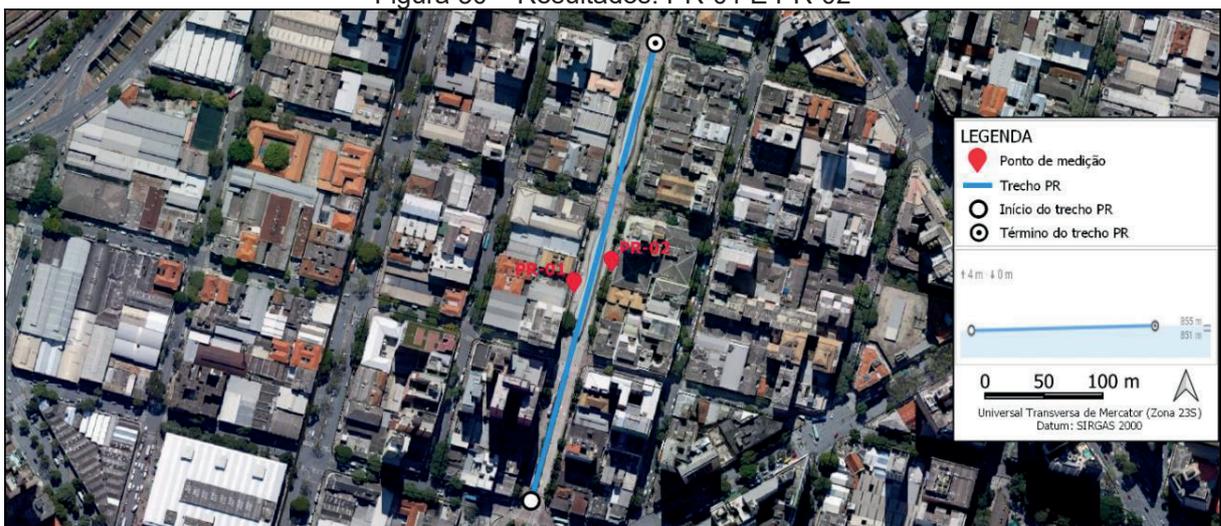
Figura 29 – Resultados: OM-03



Fonte: Google Earth, 2021

Em uma avenida exclusiva para ônibus, restritiva para outros veículos – exceto, por exemplo, viaturas policiais -, foram posicionados PR-01 e PR-02 (Figura 30). Em PR-01, o $L_{Aeq,T}$ foi 70,8 dB e o L_{10} igual a 73,5 dB. Nele, passaram pelo ponto apenas 1 veículo da categoria “Leves 01”, 1 da “Leves 02” e 15 da “Pesados”, totalizando 17. Em PR-02 houve uma divergência de menos de 1 dB para os dois descritores e a passagem de dois veículos a mais da categoria “Leves 01”.

Figura 30 – Resultados: PR-01 E PR-02

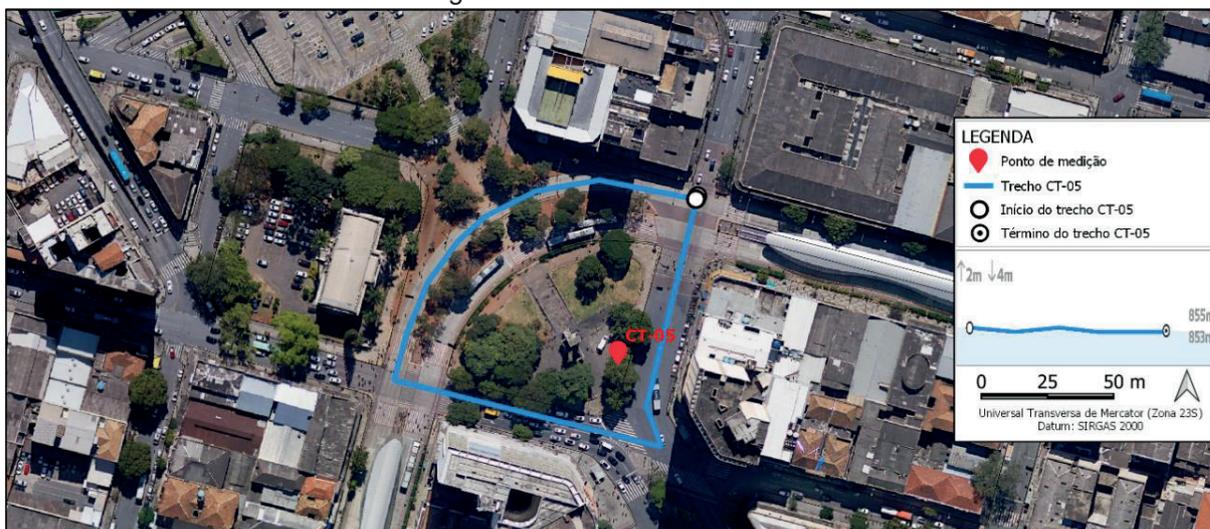


Fonte: Google Earth, 2021

O ponto com maior fluxo de veículos em 15 min foi o CT-05 (Figura 31). A medição ocorreu na Praça Rio Branco, extremidade da Av. Afonso Pena, sendo possível

acessá-la também pela Rua dos Caetés. Sem a presença de sons tonais e impulsivos, o $L_{Aeq,T}$ e o L_R foram equivalentes (69,3 dB) excedendo, portanto, o RL_{Aeq} .

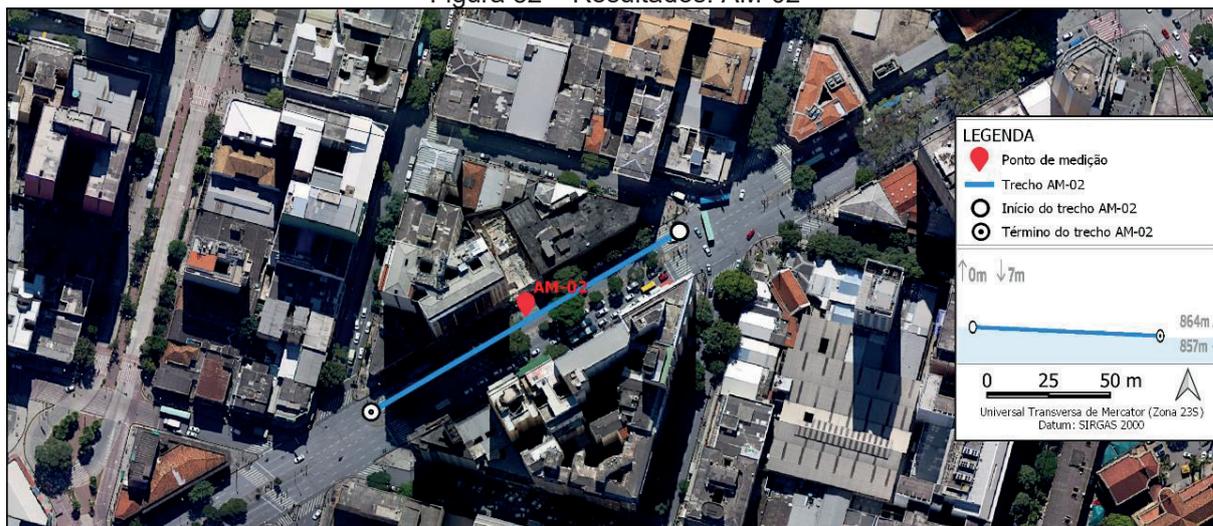
Figura 31 – Resultados: CT-05



Fonte: Google Earth, 2021

O ponto com maior L_{90} foi AM-02 (Figura 32). Está posicionado logo após o cruzamento entre as Ruas São Paulo e Tamóios. O $L_{Aeq,T}$ em AM-01, do outro lado da via, foi 0,1 dB inferior ao do AM-02 e o L_{90} identificado foi 65,4 dB. Todavia, em AM-01 foi contabilizado 13 veículos a mais do que em AM-02, sem contar que foi o ponto com a maior quantidade de ônibus (31 ônibus). Tanto em AM-01, quanto em AM-02, há grande quantidade de pedestres transitando e um intenso comércio.

Figura 32 – Resultados: AM-02

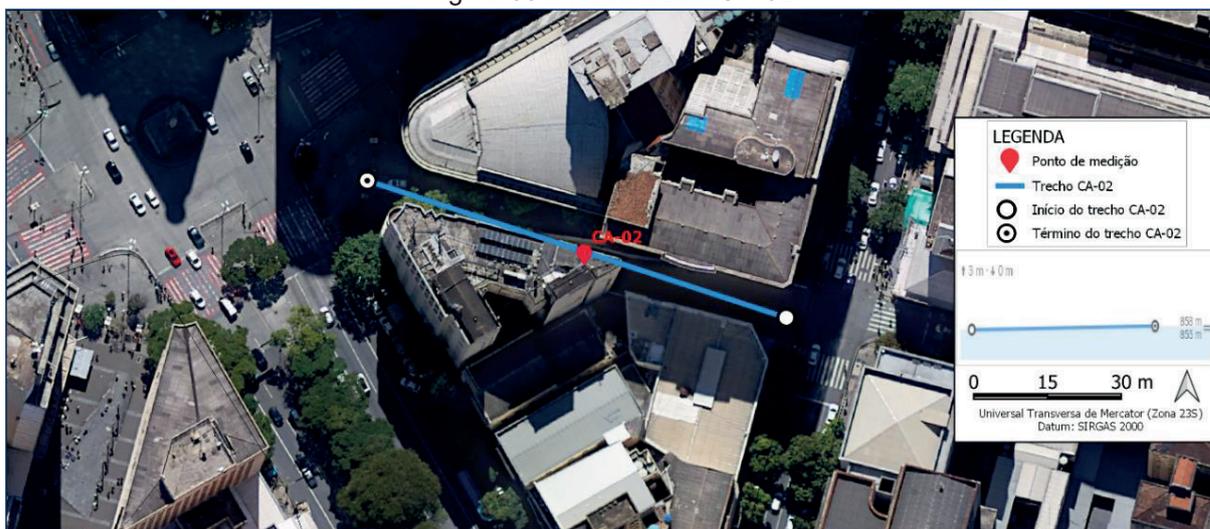


Fonte: Google Earth, 2021

A Praça Sete de Setembro é atravessada por duas grandes avenidas da cidade, Av. Amazonas e Afonso Pena. Quatro dos quarteirões que circundam a praça possuem a rua fechada para o tráfego de veículos, permitindo apenas pedestres.

Nesse contexto está o ponto CA-02 (Figura 33), localizado ao lado do *Cine Theatro Brasil Vallourec*, inaugurado em 1932. Mesmo com ausência do fluxo veicular, o $L_{Aeq,T}$ e o L_{10} identificados foram, respectivamente, 64,9 dB e 66,3 dB (CINE THEATRO BRASIL VALLOUREC, 2021).

Figura 33 – Resultados: CA-02



Fonte: Google Earth, 2021

4.2 SIMULAÇÃO ACÚSTICA

A geração do mapa acústico foi antecedida pela validação dos modelos e pela determinação do método de cálculo mais adequado. A área utilizada nestes procedimentos preliminares é apresentada na Figura 34.

Figura 34 – Área de validação do modelo



Fonte: Autora, 2021

A variabilidade sonora, obtida a partir da diferença entre os descritores estatísticos, representa um fator determinante para a escolha da área de validação, conforme apresentado no Tópico 3.3. A Tabela 24 apresenta a variabilidade sonora dos pontos localizados na área delimitada pela Figura 34. A escolha também esteve embasada em percepções subjetivas e em observações durante o procedimento de escuta dos áudios gerados pelo sonômetro.

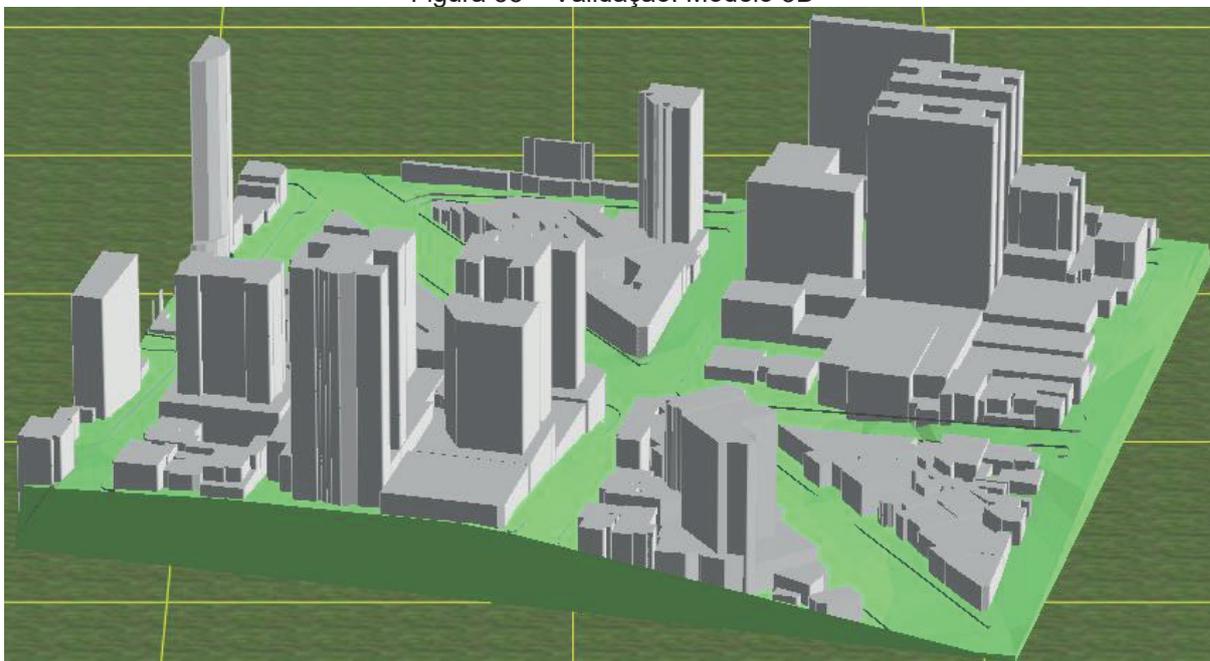
Tabela 24 – Validação: Variabilidade sonora

Ponto	L_{10}	L_{90}	$L_{10} - L_{90}$	Ponto	L_{10}	L_{90}	$L_{10} - L_{90}$
BF-01	72,1	58,3	13,8	GJ-01	60,8	53,9	7,0
BF-02	71,7	61,6	10,1	SC-01	65,8	55,5	10,3
CT-01	69,6	58,6	11,0	SP-02	71,2	58,0	13,2

Fonte: Autora, 2021

Trechos de algumas das principais avenidas presentes na região, que normalmente possuem fluxo intenso de veículos, estão inseridos na área definida para validação, como Av. Olegário Maciel e Bias Fortes. Outras fontes significativas não foram identificadas. O modelo 3D, gerado no Predictor, é demonstrado na Figura 35.

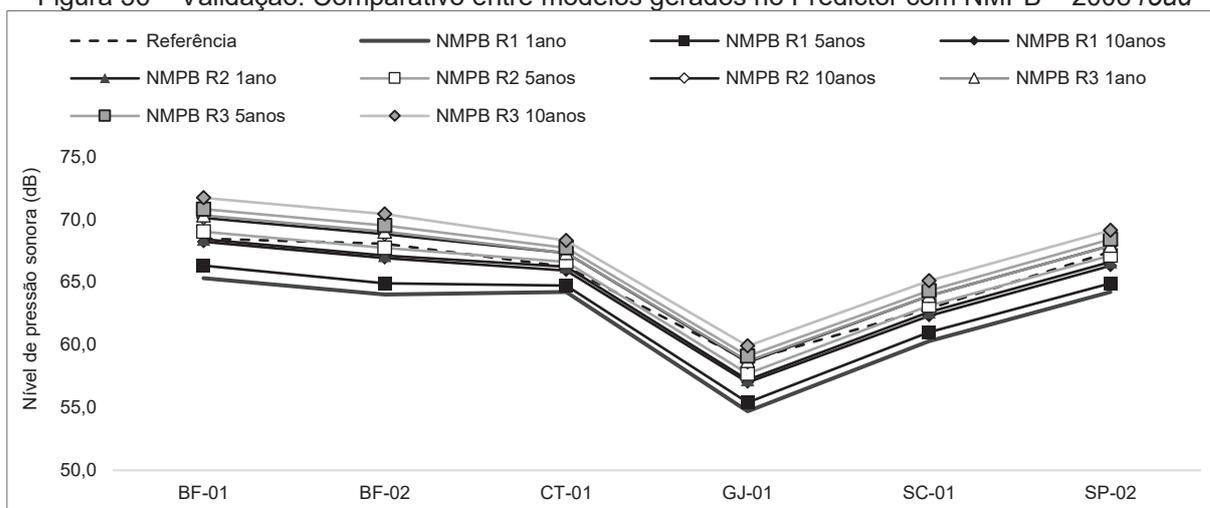
Figura 35 – Validação: Modelo 3D



Fonte: Autora, 2021

A comparação entre níveis sonoros medidos *in loco* e simulados é apresentada na Figura 36, para cada um dos modelos gerados com o método de cálculo NMPB 2008 - road.

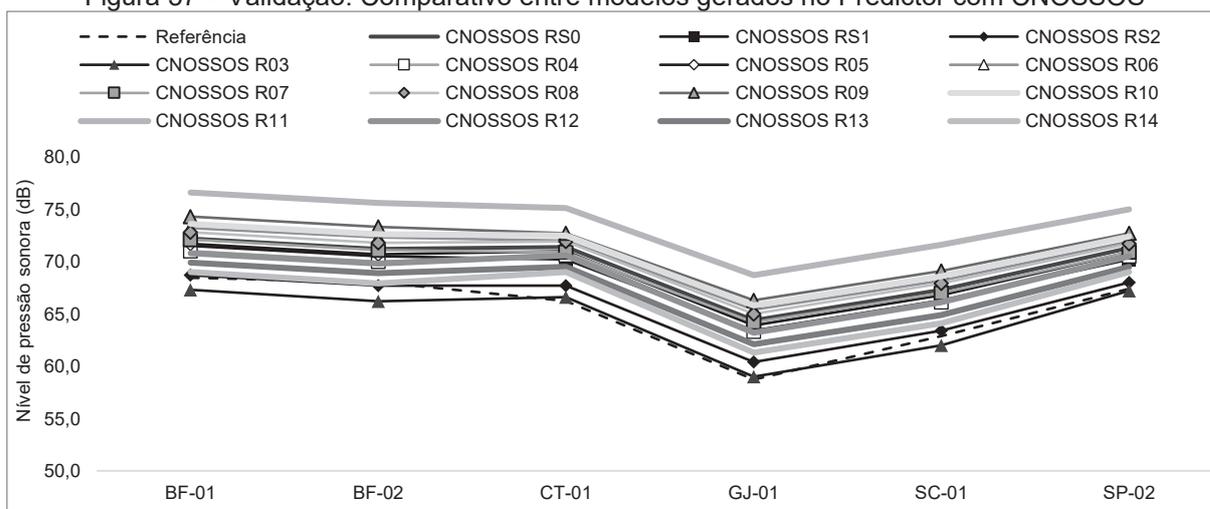
Figura 36 – Validação: Comparativo entre modelos gerados no Predictor com NMPB – 2008 road



Fonte: Autora, 2021

Na Figura 37 é apresentado o comparativo entre os modelos que foram gerados utilizando o método de cálculo CNOSSOS. Foram comparados os 15 tipos de superfícies oferecidas pelo *software*.

Figura 37 – Validação: Comparativo entre modelos gerados no Predictor com CNOSSOS



Fonte: Autora, 2021

A Tabela 25 apresenta os desvios, nos *receivers*, entre valores simulados e medidos identificados em cada um dos modelos calculados no Predictor. Uma vez que os desvios (nível sonoro identificado *in loco* – nível simulado) entre os valores foram iguais ou superiores a 4 dB, não foram validados os modelos que utilizaram:

- i. o CNOSSOS, com os tipos de superfícies 0 - *reference road surface*, n104 - *sma-n15*, n105 - *sma-n18*, n106 - *brushed down concrete*, n107 - *optimized brushed down concrete*, n108 - *fine broomed concrete*, n109 - *worked surface*, n110 - *hard elements in herring-fone*, n111 - *hard elements not in herring-bone* e n112 - *quiet hard elements*; e

- ii. o NMPB 2008 – *road* com o tipo de superfície R3 e com idade de pavimento igual ou superior a 10 anos.

Tabela 25 – Validação: Desvio entre níveis sonoros simulados e medidos (dB)

Método de cálculo	Receivers					
	BF-01	BF-02	CT-01	GJ-01	SC-01	SP-02
CNOSSOS RS0	-2,4	-2,6	-5,0	-3,5	-4,1	-4,8
CNOSSOS RS1	-1,6	-1,9	-3,8	-2,5	-3,1	-3,6
CNOSSOS RS2	1,1	0,9	-1,2	0,6	-0,2	-1,4
CNOSSOS RS3	2,5	2,4	-0,2	2,2	1,2	-0,5
CNOSSOS RS4	-1,2	-1,3	-4,2	-2,4	-2,9	-3,9
CNOSSOS RS5	-1,9	-2,0	-4,6	-3,0	-3,6	-4,4
CNOSSOS RS6	-3,4	-3,6	-5,6	-4,5	-5,0	-5,4
CNOSSOS RS7	-2,2	-2,4	-4,5	-3,2	-3,8	-4,4
CNOSSOS RS8	-3,0	-3,2	-5,4	-4,1	-4,7	-5,2
CNOSSOS RS9	-4,4	-4,7	-6,2	-5,4	-5,9	-6,1
CNOSSOS RS10	-3,8	-4,0	-6,1	-4,9	-5,4	-5,9
CNOSSOS RS11	-6,8	-7,0	-8,6	-7,9	-8,5	-8,5
CNOSSOS RS12	-1,0	-1,1	-4,2	-2,4	-2,9	-3,9
CNOSSOS RS13	-0,7	-0,1	-3,2	-1,5	-1,8	-2,1
CNOSSOS RS14	0,2	0,8	-2,7	-0,6	-1,0	-1,6
NMPB R1 1 ano	3,2	3,7	1,7	3,8	2,5	3,2
NMPB R1 5 anos	2,2	2,7	1,2	3,1	1,8	2,5
NMPB R1 ≥ 10 anos	0,2	0,7	0,1	1,5	0,4	1,1
NMPB R2 1 ano	0,0	0,5	-0,2	1,3	0,1	0,8
NMPB R2 5 anos	-0,6	-0,1	-0,6	0,8	-0,4	0,3
NMPB R2 ≥ 10 anos	-1,7	-1,2	-1,3	-0,1	-1,2	-0,5
NMPB R3 1 ano	-1,9	-1,4	-1,3	-0,2	-1,2	-0,5
NMPB R3 5 anos	-2,4	-1,9	-1,7	-0,6	-1,6	-1,0
NMPB R3 ≥ 10 anos	-3,3	-2,8	-2,3	-1,4	-2,4	-1,7

Fonte: Autora, 2021

Dentre os modelos validados, a escolha de qual deles seria utilizado foi embasada nos menores desvios entre valores simulados e medidos. Os modelos mais adequados foram os que utilizaram:

- i. CNOSSOS com o tipo de superfície *nI02 – layer zoab*;
- ii. NMPB 2008 – *road* com R1 como tipo de superfície e com 10 anos;
- iii. NMPB 2008 – *road* com o tipo R2 como tipo de superfície e com 1 ano; e
- iv. NMPB 2008 – *road* com R2 como tipo de superfície e com 5 anos.

Por ser a opção com menores desvios, o NMPB – 2008 *road* foi utilizado nas etapas subsequentes do projeto, com o tipo de superfície R2 e a idade do pavimento de 5 anos.

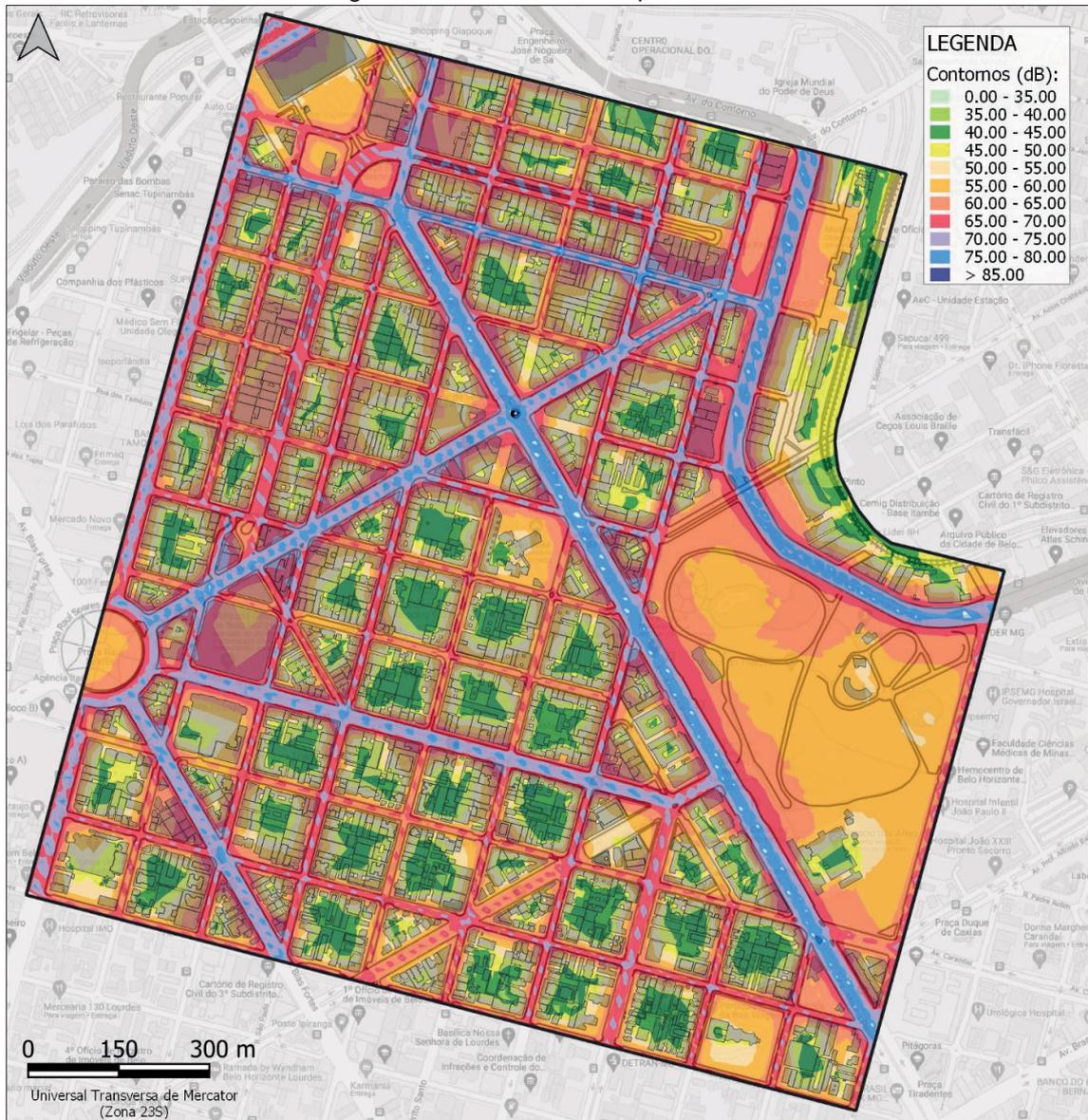
4.2.1 Mapa acústico

Resultados e discussões dos mapas acústicos, para cada cenário, são apresentados a seguir.

iv. Cenário 01

O mapa acústico da área central de Belo Horizonte, a 1,3 m do solo, está demonstrado na Figura 38, considerando o tráfego de veículos na região como fonte sonora.

Figura 38 – Cenário 01: Mapa acústico



Fonte: Autora, 2021

É possível identificar a presença de elevados níveis sonoros nas avenidas principais da cidade. Os valores atingem, inclusive, a faixa superior a 70 dB em toda a extensão da Av. Afonso Pena e na maior parte da Av. Augusto de Lima, por exemplo.

A Tabela 26 apresenta os desvios entre a simulação acústica e os valores medidos.

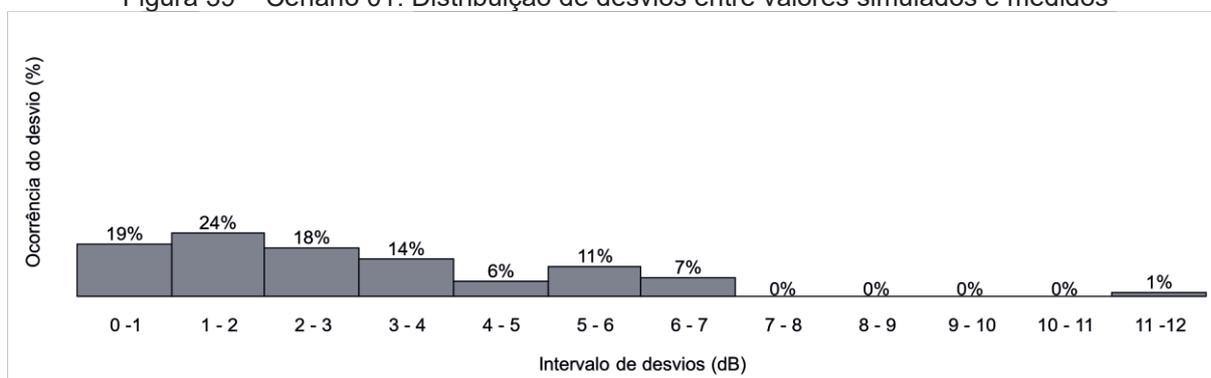
Tabela 26 – Cenário 01: Desvios da simulação acústica

Ponto	Desvio	Ponto	Desvio	Ponto	Desvio	Ponto	Desvio
AC-01	-0,7	BA-03	4,7	GR-01	3,1	RJ-02	1,5
AED-01	1,3	BF-01	-0,6	GT-01	3,6	RJ-03	6,7
AL-01	-1,5	BF-02	-0,1	GT-02	3,6	SB_01	1,9
AL-02	-1,7	CA-01	1,9	GT-03	5,2	SC-01	-0,4
AL-03	6,2	CA-02	11,9	JP-01	0,8	SC-02	-1,1
AL-04	2,1	CS-01	-0,6	OM-01	-4,1	SC-03	2,8
AM-01	2,8	CT-01	-0,5	OM-02	-1,2	SD-01	4,5
AM-02	2,5	CT-02	2,2	OM-03	5,1	SD-02	5,6
AM-03	2,3	CT-03	2,6	OM-04	3,4	SP-01	6,6
AM-04	2,5	CT-04	3,7	PB-01	1,9	SP-02	0,1
AND-01	1,7	CT-05	2,7	PEST-01	0,7	SP-03	1,7
AND-02	1,6	ES-01	1,6	PM-01	-0,4	SP-04	6,0
AP-01	-0,2	ES-02	-1,3	PMAR-01	-3,7	TA-01	2,9
AP-02	2,0	ES-03	4,0	PMAR-02	-3,5	TA-02	2,6
AP-03	1,7	ES-04	2,8	PMAR-03	-1,7	TB-01	5,2
AP-04	0,4	GJ-01	0,3	PR-01	5,9	TP-01	5,4
BA-01	3,4	GJ-02	-1,0	PR-02	5,1	TS-01	5,1
BA-02	3,3	GO-01	4,4	RJ-01	0,5	TS-02	6,2

Fonte: Autora, 2021

Como constatado na Figura 39, os desvios entre valores simulados e medidos excedem 4 dB em 26% dos pontos de medição. A média dos desvios é 6,0 dB. Esses resultados indicam que, de fato, há a presença de outras fontes na área de pesquisa, além do tráfego de veículos.

Figura 39 – Cenário 01: Distribuição de desvios entre valores simulados e medidos



Fonte: Autora, 2021

Ao comparar com os valores publicados no estudo de Silva *et al.* (2014), que avaliou o ruído do tráfego em Santiago (Chile) a partir de quatro métodos de cálculo

distintos, observa-se que, no cenário 01, pequenos desvios foram identificados em menor quantidade de pontos. A depender do método de cálculo, os autores identificaram desvios médios entre 1,1 dB e 2,1 dB (ponderação em frequência A), enquanto que, neste projeto, 56% dos pontos apresentaram desvio superior a 2 dB (ponderação em frequência A). Esta constatação sugere que as áreas e as fontes consideradas nos dois estudos são substancialmente distintas, além do fato de haver uma possível influência relacionada à escolha do método de cálculo utilizado.

De forma semelhante, estudo que avalia e caracteriza os níveis de pressão sonora em Belém obteve desvio inferior a 2 dB em 95% dos pontos, o que pode indicar também uma maior influência do tráfego de veículos (SIMÓN *et al.*, 2008).

Em CA-02, trecho de via sem o movimento de veículos, mas com comércio intenso e com a passagem de pedestres constante, foi identificado o maior desvio (11,9 dB) entre valores simulados e medidos.

Em AL-03 e AL-04, como apontado anteriormente, a significativa diferença entre os desvios pode estar relacionada à inclinação da via. Apesar dos pontos estarem em um mesmo trecho da Av. Augusto de Lima, estão em lados opostos da via e AL-03 se encontra em aclive.

Desvios inferiores à 1 dB em AP-01, BF-01 e SC-01 indicam que o tráfego de veículos é a fonte sonora preponderante no local. Mesmo havendo a presença de outros emissores, o tráfego tende a sobressair nesses pontos.

v. Cenário 02

A Figura 40 apresenta o mapa acústico do tráfego de Belo Horizonte a 4,0 m do solo, conforme recomendação da Directiva 49 (EC, 2002).

Em comparação com o mapa do cenário 01 (Figura 38), o mapa do cenário 02 (Figura 40) apresenta maiores níveis de pressão sonora em alguns trechos. Um exemplo é o que ocorre no parque municipal, em que o mapa do cenário 01 apresenta maior área submetida à faixa de 55 dB a 60 dB e o do cenário 02 apresenta maior faixa entre 60 dB e 65 dB. Isso pode ser consequência da propagação sonora na área e da forma com que o método de cálculo interpreta a região, já que não considera a altura da copa das árvores.

Figura 40 – Cenário 02: Mapa acústico



Fonte: Autora, 2021

Ao comparar os cenários 01 e 02, de forma geral, os níveis de pressão sonora nas ruas e avenidas no cenário 01 foram superiores. Essa constatação pode ser verificada, por exemplo, na Av. Amazonas e na Rua Espírito Santo.

Em contrapartida, apesar das diferenças nas faixas de cores e, conseqüentemente, na forma de propagação das ondas sonoras nos dois cenários, os níveis observados nos *receivers* coincidiram (Tabela 26 e Tabela 27).

Tabela 27 – Cenário 02: Desvios da simulação acústica

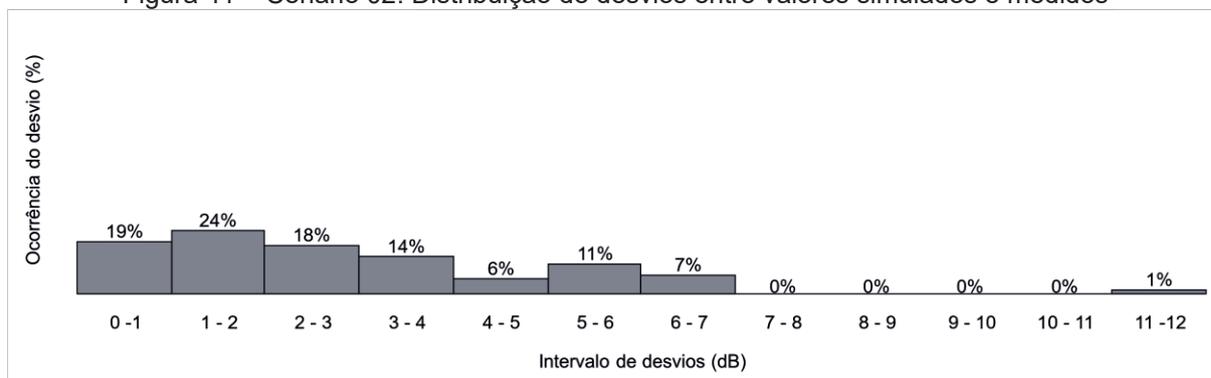
Ponto	Desvio	Ponto	Desvio	Ponto	Desvio	Ponto	Desvio
AC-01	-0,7	BA-03	4,7	GR-01	3,1	RJ-02	1,5
AED-01	1,3	BF-01	-0,6	GT-01	3,6	RJ-03	6,7
AL-01	-1,5	BF-02	-0,1	GT-02	3,6	SB_01	1,9
AL-02	-1,7	CA-01	1,9	GT-03	5,2	SC-01	-0,4

Ponto	Desvio	Ponto	Desvio	Ponto	Desvio	Ponto	Desvio
AL-03	6,2	CA-02	11,8	JP-01	0,8	SC-02	-1,1
AL-04	2,1	CS-01	-0,6	OM-01	-4,1	SC-03	2,8
AM-01	2,8	CT-01	-0,5	OM-02	-1,2	SD-01	4,5
AM-02	2,5	CT-02	2,2	OM-03	5,1	SD-02	5,6
AM-03	2,3	CT-03	2,6	OM-04	3,4	SP-01	6,6
AM-04	2,5	CT-04	3,7	PB-01	1,9	SP-02	0,1
AND-01	1,7	CT-05	2,7	PEST-01	0,7	SP-03	1,7
AND-02	1,6	ES-01	1,6	PM-01	-0,4	SP-04	6,0
AP-01	-0,2	ES-02	-1,3	PMAR-01	-3,7	TA-01	2,9
AP-02	2,0	ES-03	4,0	PMAR-02	-3,6	TA-02	2,6
AP-03	1,7	ES-04	2,8	PMAR-03	-1,7	TB-01	5,2
AP-04	0,4	GJ-01	0,3	PR-01	5,9	TP-01	5,4
BA-01	3,4	GJ-02	-1,0	PR-02	5,1	TS-01	5,1
BA-02	3,3	GO-01	4,4	RJ-01	0,5	TS-02	6,2

Fonte: Autora, 2021

O fato de os desvios coincidirem nos cenários 01 e cenários 02 (Figura 39 e Figura 41) é consequência da utilização da mesma fonte sonora (tráfego de veículos), da mesma área de propagação e da mesma altura do *receiver*. A diferença entre os cenários foi, portanto, apenas relativa à apresentação do mapa de contornos.

Figura 41 – Cenário 02: Distribuição de desvios entre valores simulados e medidos



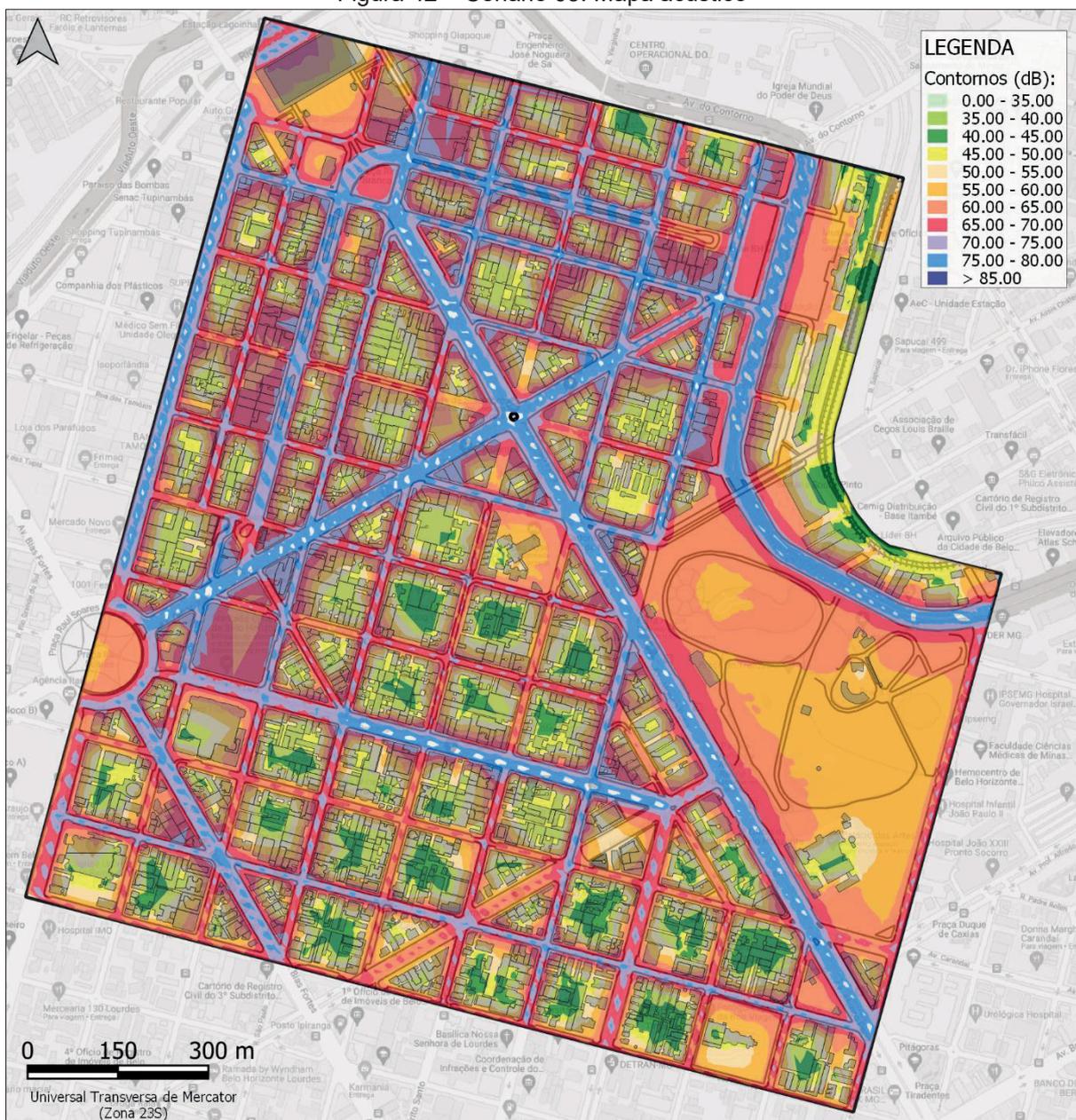
Fonte: Autora, 2021

vi. Cenário 03

A Figura 42 apresenta o mapa acústico de Belo Horizonte a 1,3 m do solo, validado a partir do $L_{Aeq,T}$ medido e tratado.

Em comparação com o cenário 01, que considera apenas o tráfego de veículos como fonte sonora, o mapa acústico do cenário 03 apresenta, como esperado, maiores níveis de pressão sonora. Em avenidas, como Av. Paraná, por exemplo, onde predominava a faixa de 65 dB a 70 dB, passou a predominar a de 70 dB a 75 dB e de 75 dB a 80 dB. Isso porque o mapa do cenário 03 considera o nível identificado *in loco*, sendo possível a presença de outras fontes.

Figura 42 – Cenário 03: Mapa acústico



Fonte: Autora, 2021

Os desvios entre valores simulados e medidos (Tabela 28), em comparação com os outros cenários, foram menores. Isso porque a calibração do mapa foi realizada a partir do valor de L_{Aeq} medido.

Tabela 28 – Cenário 03: Desvios da simulação acústica

Ponto	Desvio	Ponto	Desvio	Ponto	Desvio	Ponto	Desvio
AC-01	-0,2	BA-03	-0,6	GR-01	-0,6	RJ-02	-0,1
AED-01	0,3	BF-01	-0,6	GT-01	-0,6	RJ-03	-0,1
AL-01	-0,3	BF-02	-0,6	GT-02	-0,3	SB_01	-0,3
AL-02	-0,5	CA-01	0,1	GT-03	0,1	SC-01	-0,3
AL-03	-0,4	CA-02	0,5	JP-01	-0,4	SC-02	-0,6
AL-04	-0,5	CS-01	-0,6	OM-01	0,1	SC-03	-0,4

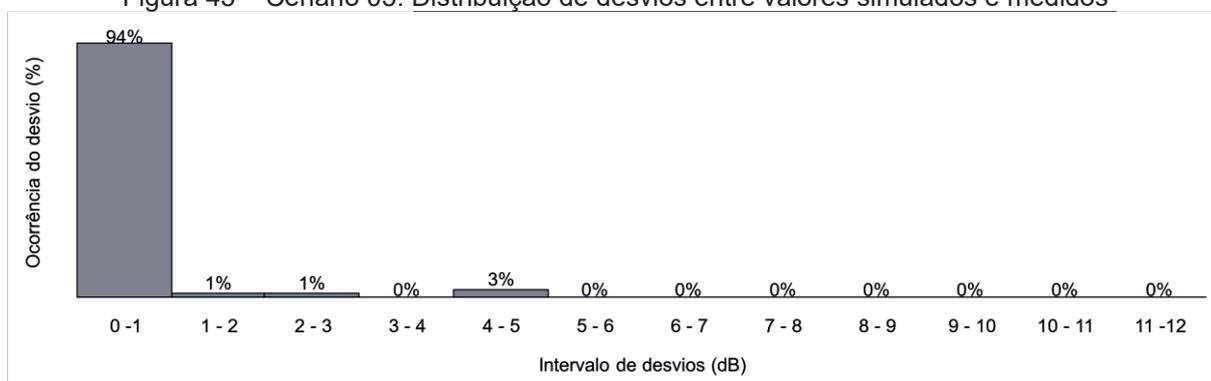
Ponto	Desvio	Ponto	Desvio	Ponto	Desvio	Ponto	Desvio
AM-01	-0,5	CT-01	-0,1	OM-02	-0,1	SD-01	-0,3
AM-02	-0,5	CT-02	-0,3	OM-03	-0,3	SD-02	0,3
AM-03	-0,4	CT-03	-0,6	OM-04	-0,5	SP-01	-0,4
AM-04	-0,5	CT-04	-0,5	PB-01	0,0	SP-02	-0,3
AND-01	0,4	CT-05	-0,3	PEST-01	-1,1	SP-03	-0,2
AND-02	-0,1	ES-01	-0,2	PM-01	-0,4	SP-04	-0,5
AP-01	0,2	ES-02	-0,3	PMAR-01	-4,5	TA-01	-0,3
AP-02	0,7	ES-03	-0,5	PMAR-02	-4,0	TA-02	-0,4
AP-03	-0,3	ES-04	-0,4	PMAR-03	-2,9	TB-01	0,1
AP-04	-0,3	GJ-01	-1,0	PR-01	-0,6	TP-01	-0,5
BA-01	-0,3	GJ-02	-0,4	PR-02	-0,5	TS-01	0,1
BA-02	-0,5	GO-01	-0,5	RJ-01	0,1	TS-02	-0,5

Fonte: Autora, 2021

De forma geral, para os três cenários, elevados desvios foram observados nos pontos dentro do Parque Municipal (PMAR-01 e PMAR-02). Isso pode ser consequência da limitação do método de cálculo escolhido (NMPB 2008), que não permite a inserção da altura da copa das árvores. Em contrapartida, considera, de forma genérica, um coeficiente de absorção que varia entre 0 e 1. Nos dois pontos citados os desvios superaram o limite de 4 dB.

Conforme a Figura 43, mais de 95% dos desvios foram inferiores a 4 dB.

Figura 43 – Cenário 03: Distribuição de desvios entre valores simulados e medidos



Fonte: Autora, 2021

A Tabela 29 apresenta a área (%) e a quantidade de edificações (unidades) expostas a cada uma das faixas de níveis de pressão sonora, para cada um dos cenários avaliados.

Considerando o tráfego de veículos (cenário 01), há maior área exposta a valores entre 55 dB a 60 dB e entre 60 dB e 65 dB. Ao considerar todas as fontes, a situação torna-se mais grave, estando as maiores áreas submetidas a faixas entre 60 dB e 70 dB. Em ambos os casos, maior quantidade de edificações está inserida na faixa de 55 dB a 60 dB.

Tabela 29 – Resultados: Área e edificações expostas em cada cenário

Cenário 01			Cenário 02			Cenário 03		
Nível de pressão sonora (dB)	Área	Edificações (unid.)	Nível de pressão sonora (dB)	Área	Edificações (unid.)	Nível de pressão sonora (dB)	Área	Edificações (unid.)
0-35	0%	0	0-35	0%	0	0-35	0%	0
35-40	0%	3	35-40	0%	1	35-40	0%	0
40-45	9%	353	40-45	7%	248	40-45	4%	121
45-50	11%	338	45-50	10%	315	45-50	11%	342
50-55	12%	389	50-55	12%	389	50-55	11%	357
55-60	19%	427	55-60	18%	461	55-60	17%	408
60-65	20%	325	60-65	23%	332	60-65	20%	395
65-70	17%	133	65-70	19%	140	65-70	18%	224
70-75	9%	5	70-75	10%	9	70-75	13%	44
> 75	3%	0	> 75	1%	0	> 75	6%	4

Fonte: Autora, 2021

5 CONCLUSÃO

Este projeto de mestrado avaliou quantitativamente os níveis de pressão sonora em uma região central de Belo Horizonte – MG, durante setembro, outubro e novembro de 2020 e abril de 2021. Além disso, expôs os níveis espacialmente, no período diurno, para os dias de semana, por meio de um mapa acústico. Foi possível identificar também a contribuição do tráfego de veículos para a composição acústica da região.

Para atingir os objetivos, 89 medições foram realizadas entre 7h00min e 19h00min, em 72 pontos distintos. Os níveis identificados permitiram, além da análise quantitativa, validar e calibrar o modelo gerado no *software* de simulação.

Após análise e discussão dos resultados, foi possível concluir que:

- de forma geral, os níveis de pressão sonora na região central excedem os limites estipulados pela norma brasileira. Por outro lado, em apenas 30,5% dos pontos medidos os valores excederam os limites da Lei Municipal de Belo Horizonte. Ao considerar o aumento de 5 dB estabelecido pelo §3º do Art. 4º desta lei, todos os pontos indicam adequação em relação aos níveis sonoros. Isso demonstra a permissividade da legislação, que admite a exposição da população a níveis sonoros elevados;
- o fluxo de veículos está, de fato, relacionado aos níveis sonoros na região analisada. Todavia, essa afirmação não pode ser generalizada para todas as vias, sendo outras fontes também representativas na composição do ambiente acústico;
- é possível identificar, com o mapa acústico, os níveis sonoros em áreas sensíveis. Geralmente os valores elevados estão localizados nas avenidas principais da cidade, onde podem exceder 70 dB, superando os limites da Lei Municipal nº 9.505;
- a escolha da altura na configuração do mapa sonoro, apesar de gerar resultados coincidentes nos *receivers*, reflete na apresentação do mapa;
- ao considerar todas as fontes sonoras identificadas na área de estudo (cenário 03), o mapa acústico apresenta cores mais intensas, que representam níveis sonoros mais elevados, quando comparado ao mapa gerado para o tráfego de veículos (cenário 01);

- para os três cenários avaliados há uma maior exposição da área de pesquisa a níveis sonoros entre 60 dB e 65 dB e maior quantidade de edificações exposta a níveis entre 55 dB e 60 dB; e
- a simulação acústica auxilia na visualização espacial dos níveis sonoros. Pode ser utilizada, portanto, na propositura de planos de ação que visem minimizar ou controlar a poluição sonora, transformando os ambientes construídos em locais com melhor qualidade acústica.

Sugere-se que, em trabalhos futuros, novas medições sejam realizadas na área, comparando-as com os resultados deste estudo. Isso porque, apesar de ter sido considerado o retorno das atividades em Belo Horizonte, poderão ser observados efeitos nos níveis sonoros gerados pelo isolamento social. Além disso, deve haver uma atualização periódica dos mapas e acompanhamento temporal dos níveis, avaliando planos de ação mais indicados para o uso e ocupação da área. Recomenda-se também a apreciação quantitativa da população que está exposta a altos níveis na região.

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. Brasil, 2019.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 10152 - Acústica: Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Brasil, 2017.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 16313: Acústica - Terminologia. Brasil, 2014.

ADLER, Matheus. As idas e vindas nos primeiros 100 dias da pandemia em Belo Horizonte - Estado de Minas. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2020/06/25/interna_gerais,1159728/as-idas-e-vindas-nos-primeiros-100-dias-da-pandemia-em-belo-horizonte.shtml>. Acesso em: 15 mar. 2021.

ALETTA, Francesco; CARRESE, Stefano; GEMMA, Andrea. Analysing urban traffic volumes and mapping noise emissions in Rome (Italy) in the context of containment measures for the COVID-19 disease. **Noise Mapping**, v. 7, n. 1, p. 114–122, 1 jan. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/noise-2020-0010>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

ALMEIDA, Maria Manuela Oliveira Guedes de; LOPES, Luís Bragança; NOGUEIRA, Manuela. Mapa de ruído de Guimarães - Comparação e validação dos resultados obtidos através de um método de simulação automático. **Acústica**, Guimarães, 2004.

ALMEIDA, Manuela Guedes de; BRAGANCA, Luis; NOGUEIRA, Manuela. Noise map of the city of Guimarães: comparison and experimental validation of the prevision methods. 2003.

ALVARES, Pedro Alcântara de Souza; SOUZA, Fernando Pimentel. A poluição sonora em Belo Horizonte. **Revista Brasileira de Acústica e Vibrações**, Belo Horizonte, 1992. Disponível em: <<http://labs.icb.ufmg.br/lpf/2-2.html>>. Acesso em: 16 mar. 2020.

AMARAL, Gabriela Domingues do; SILVA, Vanessa Loureiro; REIS, Edna Afonso. Análise de Regressão Linear no Pacote R. 2009.

AMORIM, Adriana Eloá Bento *et al.* Previsão do ruído ambiental urbano devido à implantação do Modal Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) por meio de simulação computacional. **Interações**, v. 18, p. 81–97, 2017.

AMSTERDÃ. Noise map. Disponível em: <<https://maps.amsterdam.nl/geluid/?LANG=en>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

ANDRADE, Fernando Cunha de; SOPCHAKI, Leandro; PADILHA, Ricardo Antonio Bettinelli; SILVEIRA, Thays Pereira; CATAI, Rodrigo Eduardo; NAGALLI, André. Acoustic Mapping of the Central Region of Curitiba - Brazil. **The Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, 2014.

ANDRADE, Fernando Cunha de. **Elaboração de um mapa acústico para a região central de Curitiba e principais vias de acesso ao centro da cidade**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

APA (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE). Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído, 2011.

ARANA, Miguel; MARTIN, Ricardo San; MARTIN, M. L. San; ARAMENDIA, Emilio. Strategic noise map of a major road carried out with two environmental prediction software packages. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 163, n. 1–4, p. 503–513, 2010.

ASSELINÉAU, Marc. Building Acoustics, 2015.

ASSIS, Lopes Wellington. Os climas naturais do município de Belo Horizonte -MG. **ACTA Geográfica**, p. 115–135, 2012.

AUSEJO, Miguel; RECUERO, Manuel; ASENSIO, César; PAVÓN, Ignacio. Study of precision, deviations and uncertainty in the design of the strategic noise map of the macrocenter of the city of Buenos Aires, Argentina. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 15, n. 2, p. 125–135, 2010.

BABISCH, Wolfgang; KAMP, Irene Van. Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. **Noise and Health**, v. 11, n. 44, p. 168, 1 jul. 2009. Disponível em: <<http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2009/11/44/161/53363>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

BAIÃO, José Geraldo. A importância do transporte sobre trilhos para as cidades brasileiras e a evolução da tecnologia. **Brasil Engenharia**. Disponível em: <<http://www.brasilengenharia.com/portal/artigos/131-total-nas-regioes-de-manobra-e-no-despacho-e-recolhimento-dos-patios-esta-tecnologia-tambem-reduz-a-quantidade-de-equipamentos-nas-estacoes-e-via-e-permite-comunicacao-continua-de-alta-capacidade-e-bidire>>. Acesso em: 2 fev. 2021.

BALCI, Osman. A Methodology for Certification of Modeling and Simulation Applications. **ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation**, v. 11, n. 4, p. 352–377, 1 out. 2001. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/508366.508369>>. Acesso em: 25 jan. 2021.

BANGDIWALA, Shrikant I. Regression: simple linear. **International Journal of Injury Control and Safety Promotion**. Taylor and Francis Ltd. , 2 jan. 2018

BELDERRAIN, Maria Luiza; VAIDOTAS, Rafael; MONTEMURRO, Wanderley. Noise simulation of a railway section to be implanted in a densely urbanized neighborhood of São Paulo, Brazil. **ICA**, Buenos Aires, 2016. Disponível em: <<http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/ica2016/ICA2016-0450.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2020.

BELO HORIZONTE. Áreas de carga, descarga e com restrições. Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/bhtrans/carga-urbana/areas-de-carga-descarga-e-com-restricoes>>. Acesso em: 1 fev. 2021a.

BELO HORIZONTE. BH Map. Disponível em: <<http://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo#zoom=7&lat=7788191.15256&lon=622231.64483&baseL ayer=base>>. Acesso em: 27 mar. 2020a.

BELO HORIZONTE. Combate ao Coronavírus em Belo Horizonte - Boletim de Monitoramento. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/saude/boletim_monitoramento_29mai_final-7_0.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2021b.

BELO HORIZONTE. Coordenadoria de atendimento regional centro-sul. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/centro-sul>>. Acesso em: 6 mar. 2021b.

BELO HORIZONTE. Decreto 14954 . Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/mg/b/belo-horizonte/decreto/2012/1495/14954/decreto-n-14954-2012-estabelece-criterios-e-procedimentos-relativos-a-utilizacao-da-via-publica-para-a-realizacao-de-servicos-urbanos-que-menciona>>. Acesso em: 31 jan. 2021. , 2012

BELO HORIZONTE. Lei nº 11.181 - Plano Diretor. Disponível em: <<https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/11181/2019>>. , 2019

BELO HORIZONTE. Lei nº 9.505. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/mg/b/belo-horizonte/lei-ordinaria/2008/950/9505/lei-ordinaria-n-9505-2008-dispoe-sobre-o-controle-de-ruídos-e-vibrações-no-município-de-belo-horizonte-e-da-outras-providências>>. Acesso em: 21 maio 2019. , 2008

BELO HORIZONTE. Mapa de Declividades. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/bhtrans/informacoes/dados/mapa-de-declividades>>. Acesso em: 1 fev. 2021c.

BELO HORIZONTE. Reabertura de atividades. Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/planejamento/2021/reabertura_de_atividades_180221.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2021.

BENNETT, Gareth J.; KING, Eoin; CURN, J.; CAHILL, Vinny. Environmental noise mapping using measurements in transit. **International Conference on Noise and Vibration Engineering**, Belgium, 2010. p. 1795–1810. Disponível em: <http://www.tara.tcd.ie/bitstream/handle/2262/41082/isma2010_0682_published.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

BESSA, Júlio César de Alencar; LIMA, Aline Maria Meiguins de; JÚNIOR, João De Athaydes Silva. Avaliação da poluição sonora e zoneamento de ruído em área piloto no município de Manaus - AM. **Engevista**, v. 19, n. 2, p. 409, 8 maio 2017. Disponível em: <<http://periodicos.uff.br/engevista/article/view/91111>>. Acesso em: 20 maio 2019.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 1ª ed., 2006.

BLITZ, J. Traffic noise measurements of urban main roads with gradients. **Journal of Sound and Vibration**, v. 37, n. 3, p. 311–319, 1974.

BORTOLI, Paulo Sergio de; KRÜGER, Eduardo. Diagnóstico da poluição sonora urbana na região central de Curitiba. **IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Foz do Iguaçu, 2002. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/15208700-Bortoli-paulo-sergio-de-1-kruger-eduardo-2.html>>. Acesso em: 14 dez. 2020. .

BOUBEZARI, Mohammed; CARNUCCIO, Enrico; ALARCÃO, Diogo; COELHO, Jose Luis Bento. Predictive soundscape mapping. **Forum Acusticum**, Lisbon, Portugal, 2011. p. 1634–1641. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84871525145&partnerID=40&md5=90c748a74967d291496293be93fe0fad>>.

BRASIL. Constituição Federal, 1988.

BRASIL. Lei nº 12.527. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm>. Acesso em: 27 abr. 2021.

BRASIL. Lei nº 6.938. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm#:~:text=LEI N° 6.938%2C DE 31 DE AGOSTO DE 1981&text=Dispõe sobre a Política Nacional,Lei%2C com fundamento no art.](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm#:~:text=LEI N%206.938%2C DE 31 DE AGOSTO DE 1981&text=Dispõe sobre a Política Nacional,Lei%2C com fundamento no art.)>. Acesso em: 25 ago. 2020. , 1981

BRASIL. Sobre a doença. Disponível em: <<https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#o-que-e-covid>>. Acesso em: 22 maio 2020.

BRASILEIRO, Tamáris da Costa. **Mapeamento sonoro: estudo do ruído urbano no bairro Castelo Branco, em João Pessoa - PB**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico1artigo23.pdf>>.

BROWN, A. Lex; LAM, Kin-Che. Urban Noise Surveys. **Applied Acoustics**, 1987.

BRÜEL & KJÆR. Technical Documentation - Predictor version 11.01. 2016. Disponível em: <http://apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/SituacaoNacional/MapasRuidoMunicipais/RNT_Albufeira.pdf>.

BRÜEL & KJÆR. B&K Type 2270 Sound level meter . Disponível em: <<https://www.bksv.com/pt-BR/products/sound-and-vibration-meters/sound-level-meters-and-vibration-meters/2270-series>>. Acesso em: 1 jul. 2020.

BRÜEL & KJÆR. Technical Documentation - Predictor version 9.1. Naerum, 2013.

BUNN, Fernando; FILHO, Marcus Manfrin Oliveira; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Impacto ambiental sonoro no trecho sul da linha verde na cidade de Curitiba, Paraná, Brasil. **Ra'e Ga - O espaço geográfico em análise**, 2016. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/41165>>.

CALIXTO, Alfredo. **O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias-grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, 2002. Disponível em: <http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_002.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2020.

CAMILO, José Vítor. Com o ritmo atual de crescimento da frota, BH deve ter mais carro do que gente em 2022. Disponível em: <<https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/com-o-ritmo-atual-de-crescimento-da-frota-bh-deve-ter-mais-carro-do-que-gente-em-2022-1.756689>>. Acesso em: 3 maio 2020.

CANTIERI, Eduardo; CATAI, Rodrigo Eduardo; AGNOLETTI, Rafael Antonio; ZANQUETA, Hugo Flávio Benassi; CORDEIRO, Arildo Dirceu; ROMANO, Cezar Augusto. Elaboração de um mapa de ruído para a região central da cidade de Curitiba. **Revista Produção Online**, v. 10, n. 1, 5 mar. 2010. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/rpo/article/view/239>>. Acesso em: 20 maio 2019.

CARNIEL, Haryadne; POZZER, Talita; HOLTZ, Marcos; AKKERMAN, Davi. How to deal with noise map calculation models in Brazil. **Euronoise**, 2018. Disponível em: <http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/202_Euronoise2018.pdf>.

CARVALHO, Bianca Q. de; TORRES, Julio Cesar B.; NIEMEYER, Maria Lygia. Análise do impacto do ruído de tráfego em área residencial em Sulacap , Rio de Janeiro. **ARQCidade**, Vila Velha, 2019. p. 306–318.

CARVALHO, Regio Paniago. **Acústica Arquitetônica**, 2006.

CASALI, J. G. Acoustical litigation issues in community noise annoyance. **Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica**, Belo Horizonte, 2000. p. 1–16.

CASTRO, Luiz Antônio; CASTRO, Florian; MENNA, Juliana; SILVEIRA, Elione Alves da. Identificação dos níveis de pressão sonora na região central de Goiânia - GO. **26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2020.

CAVALCANTE, Krisdany Vinícius Santos de Magalhães *et al.* Acoustic mapping in the Institute of Biological Science from UFMG: Identification of the noise fonts and sound pressure levels in outdoors areas. **Proceedings of 22nd International Congress on Acoustics**, Buenos Aires, 2016. Disponível em: <<https://dokumen.tips/documents/acoustic-mapping-in-the-institute-of-biological-science-standards-revision-project.html>>. Acesso em: 17 fev. 2021.

CAVALCANTE, Rodrigo. Apostila de Introdução ao SIG. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2015. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/proplan/wp-content/uploads/Apostila-de-Introdução-ao-SIG-Proplan-2015.pdf>>.

CBTU (COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANOS). 2018. Disponível em: <<http://livro.cbtu.gov.br/>>. Acesso em: 1 fev. 2021.

CBTU (COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANOS). Belo Horizonte. Disponível em: <<https://www.cbtu.gov.br/index.php/pt/sistemas-cbtu/belo-horizonte>>. Acesso em: 1 fev. 2021.

CERQUEIRA, André Maurício Lopes da Gama. **Recuperação de facetas para triangulação Delaunay conforme de complexos curvos**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CHC (CENTER FOR HEARING AND COMMUNICATION). **International Noise Awareness Day 25th Anniversary**. Disponível em: <<https://chchearing.org/noise/day/>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e aplicações. 2010. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=VOHV4tEZakoC&oi=fnd&pg=PR1&dq=simulação+e+modelagem+&ots=femiP4nkSE&sig=m1aPUSz1srcsnG3TDEcHcMsi7rY#v=onepage&q=simulação+e+modelagem&f=true>>. Acesso em: 29 jan. 2021.

CINE THEATRO BRASIL VALLOUREC. História - Cine Brasil. Disponível em: <<https://cinetheatrobrasil.com.br/cine-theatro-brasil/historia/>>. Acesso em: 8 abr. 2021.

CLARK, Charlotte; MARTIN, Rocio; KEMPEN, Elise Van. Exposure-Effect Relations between Aircraft and Road Traffic Noise Exposure at School and Reading Comprehension: The RANCH Project. **American Journal of Epidemiology**, v. 163, n. 1, p. 27–37, 1 jan. 2006. Disponível em: <<https://academic-oup-com.ez107.periodicos.capes.gov.br/aje/article/163/1/27/84998>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

CLIMATE DATA. Clima Belo Horizonte: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Belo Horizonte. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/minas-gerais/belo-horizonte-2889/#temperature-graph>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

COELHO, Jose Luis Bento; ALARCÃO, Diogo. Noise action plans in urban and suburban areas - A railway experience in Lisbon. **18th International Congress on Sound and Vibration**, ICSV 2011, v.

2, n. May 2017, p. 1726–1731, 2011.

COELHO, Jose Luis Bento. A paisagem sonora como instrumento de design e engenharia em meio urbano. **XXIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica**, Salvador, 2010. Disponível em: <[http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0225/Acustica_Urbana/Bento Coelho Sobrac_2010.pdf](http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0225/Acustica_Urbana/Bento_Coelho_Sobrac_2010.pdf)>. Acesso em: 18 mar. 2020.

COELHO, Jose Luis Bento; ALARCÃO, Diogo Osório de; PEREIRA, Alexandre; FAFAIOL, Carlos; SERRENHO, Rafael. Carta de Ruído - Relatório Técnico. Albufeira, 2013. Disponível em: <https://www.cm-albufeira.pt/sites/default/files/public/RepositorioDocumentos/a1_cartaruido_relatorio.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2020.

COELHO, Jose Luis Bento. Ruído em Cidades - Estratégias de Gestão e Redução. **Acústica**, Guimarães, 2004. Disponível em: <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/Guimaraes04_ID172.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2020.

COELHO, Jose Luis Bento; ALARCÃO, Diogo. Cartografia de ruído em grandes cidades. **Acústica**, Guimarães, 2004.

COELHO, Jose Luis Bento; ALARCÃO, Diogo. Noise mapping in large cities in Portugal. **12th International Congress on Sound and Vibration**, Lisboa, 2005a. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/317066888_Noise_mapping_in_large_cities_in_Portugal>. Acesso em: 22 abr. 2020.

COELHO, Jose Luis Bento; ALARCÃO, Diogo. On Noise Mapping and Noise Action Plans for Large Urban Areas. **Forum Acusticum Budapest: 4th European Congress on Acoustics**, Budapest, 2005b.

COELHO, Jose Luis Bento; ALARCÃO, Diogo. On noise mapping and action plans in Portugal. **23rd Internacional Congress on Sound & Vibration**, Atenas, 2016.

COELHO, Jose Luis Bento; PALMA, M. J. Lisbon noise map. **InterNoise**, Nice, 2000. Disponível em: <<http://www.conforg.fr/internoise2000/cdrom/data/articles/000867.pdf>>.

ÇOLAKKADIOĞLU, Deniz; YÜCEL, Muzaffer; KAHVECI, Baris; AYDINOL, Özüm. Determination of noise pollution on university campuses: a case study at Çukurova University campus in Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 4, p. 203, 1 abr. 2018. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29523977>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). Resolução n° 002. 1990. Disponível em: <http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/13_01_2011_16.48.49.7d3401253b9806fe01af16d3099446f6.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2020.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). Resolução n° 001. 1990. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0190.html>>. Acesso em: 5 mar. 2020.

CORREIA, Ludmila; TREVISAN, Ricardo; GARAVELLI, Sérgio; MAROJA, Armando; CROCE, Bruna; PIRES, Jhennyfer. Nocturnal soundscape of Brasilia's Pilot Plan: study case in North Superblock 410 (SQN 410). **22nd International Congress on Acoustics**, Buenos Aires, 2016. Disponível em: <<http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/fia2016/FIA2016-0011.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2020.

CORTÊS, Marina Medeiros. **Método de avaliação sonora em áreas urbanas formais e informais**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

DEFRA (DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD AND RURAL AFFAIRS). The economic value of quiet areas. United Kingdom, 2011.

DEGAS (DEPARTAMENTO DE ESTRATÉGIA E GESTÃO AMBIENTAL SUSTENTÁVEL). Memória descritiva - Carta de ruído do Concelho de Almada. Almada, 2015.

DI, Guoqing; LIU, Xiaoyi; LIN, Qili; ZHENG, Yue; HE, Lingjiao. The relationship between urban combined traffic noise and annoyance: An investigation in Dalian, north of China. **Science of the Total Environment**, v. 432, p. 189–194, 15 ago. 2012. Disponível em: <https://www.engineeringvillage.com/share/document.url?mid=cpx_94884d13920925d8dM77bb2061377553&database=cpx>.

DINIZ, Paula Santana; HIRASHIMA, Simone Queiroz da Silveira. **Análise do Monitoramento dos níveis de pressão sonora, nos biênios 1988/1989 e 1997/1998, para caracterização do ambiente acústico no município de Belo Horizonte**. Monografia (Especialização) - Escola de Engenharia da UFMG, 2010.

DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES). Manual de estudos de tráfego. 2006.

EC (EUROPEAN COMMISSION). Report from the commission to the European Parliament and the council - On the implementation of the Environmental Noise Directive in accordance with Article 11 of Directive 2002/49/EC. Bruxelas, 2011. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0321:FIN:EN:PDF>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

EC (EUROPEAN COMMISSION). The noise policy of the european union - Towards improving the urban environment and contributing to global sustainability, 2000. Disponível em: <[http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/69D658BCCDE2FDB5C2258041002D61F5/\\$file/Noise brochure.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/69D658BCCDE2FDB5C2258041002D61F5/$file/Noise%20brochure.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2020.

EC (EUROPEAN COMMISSION). Directiva 49/EC. The Official Journal of the European Communities, 2002.

EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY). Environmental noise in Europe. 2020. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe>>.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). SRTM - Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

ENVIROSUITE. Madrid, pioneering a city-wide noise monitoring network. Disponível em: <<https://www.emsbk.com/madrid-pioneering-a-city-wide-noise-monitoring-network/>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

ESTÉVEZ, Laura; ORTIZ, Eduardo Garcia; CEPEDA, Jesús; SALCEDO, Gabriel Búrdalo. Acoustic characterization of pedestrian areas. **InterNoise**, León, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262004597_Acoustic_characterization_of_pedestrian_area>

s>.

FERREIRA, Fabrício Fiorito de Campos. **Impacto ambiental sonoro com a implantação da linha 4 do metrô - RJ**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

FAGERLANDE, Guilherme; CESAR, Julio; TORRES, Boscher. Avaliação do ruído urbano na Rua Pinheiro Machado e seu entorno, Laranjeiras, Rio de Janeiro. **Rede Cires**, 2018. p. 335–344.

FERNANDES, Wilma Celeste; NIEMEYER, Lygia; FAGERLANDE, Guilherme. Mapeamento sonoro como ferramenta para análise do ambiente sonoro no corredor cultural do bairro da Lapa, Rio de Janeiro. **Galoa Events Proceedings**, 29 set. 2018.

FILHO, Jucelino José De Souza; STEFFEN, Jorge Luiz; ANDREASI, Wagner Augusto; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Urban noise assessment based on noise mapping and measurements. **Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne**, v. 43, n. 1, p. 3–10, 2015.

FLORENCIO, Débora Nogueira Pinto. **Avaliação do mapa sonoro de tráfego veicular no município de Natal/RN**. p. 209, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/25445>>.

FONTANET, P. Urban traffic noise reduction: Cost-efficiency compromise studies. **Journal of Sound and Vibration**, v. 43, n. 2, p. 317–332, 22 nov. 1975.

FORTALEZA. Carta acústica de Fortaleza. Disponível em: <<https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/planejamento/Carta-Acstica-de-Fortaleza.pdf>>.

FRANÇA, Camilla Rocha; ROCHA, Daniela Ribeiro da; TORRES, Julio Cesar Boscher. Avaliação da poluição sonora em receptores críticos. Estudo de caso: bairro de Vila Isabel, RJ. **Rede Cires**, 2018. p. 857–866.

FRITSCH, Rodrigo Carlos. **Avaliação do ruído urbano: o caso da área central de Passo Fundo-RS**. Universidade de Passo Fundo, 2006. Disponível em: <<http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/241>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

GARAVELLI, Sérgio Luiz; MORAES, A. C. M.; NASCIMENTO, J. R. R.; NASCIMENTO, P. H. D. P.; MAROJA, A. M. Mapa de ruído como ferramenta de gestão da poluição sonora: estudo de caso de Águas Claras - DF. **PLURIS**, 2010.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído - Fundamentos e Controle**. 1992.

GIANNINI, Camila Fernanda; GERMANO, Paulo José Moraes Monteiro e Teixeira; OLIVEIRA, Laurance Damasceno de; SOARES, Paulo Fernando. Avaliação do Ruído Ambiental: Monitoramento e Caracterização do Ruído de Fundo em Maringá - PR. **CESUMAR**, v. 14, n. 1, p. 55–62, 2012.

GIUNTA, Mariene B.; SOUZA, Léa C. L.; VIVIANI, Eliane. Sensibilidade de parâmetros de um modelo de cálculo para a simulação do ambiente acústico urbano. **XII ENCAC VII ELACAC**, Brasília, 31 dez. 2013. p. 77–86. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/10648>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

GIUNTA, Mariene Benutti; SOUZA, Lea; VIVIANI, Eliane; SURIANO, M. T. Environmental noise and conflict areas in a medium sized city. **Euronoise**, Prague 2012.

GOKULRAM, M.; PRABU, M.; MAGIBALAN, S.; BOOPATHI, R.; SENTHILKUMAR P. A Review on Noise Mapping. **Journal of Emerging Technologies and Innovative Research**, v. 4, n. October, p. 541–544, 2017.

GONÇALVES, Siumara. Trem de passageiros da Vale fará duas viagens por dia na alta temporada. Disponível em: <<https://www.agazeta.com.br/es/economia/trem-de-passageiros-da-vale-fara-duas-viagens-por-dia-na-alta-temporada-1220>>. Acesso em: 5 mar. 2021.

GOPINATH, Bamini; THIAGALINGAM, Aravinda; TEBER, Erdahl; MITCHELL, Paul. Exposure to workplace noise and the risk of cardiovascular disease events and mortality among older adults. **Preventive Medicine**, v. 53, n. 6, p. 390–394, 1 dez. 2011. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22004617/>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

GOZALO, Guillermo Rey; ESCOBAR, Valentín Gómez; MORILLAS, Juan Miguel Barrigón; GONZÁLEZ, David Montes; MORAGA, Pedro Atanasio. Statistical attribution of errors in urban noise modeling. **Applied Acoustics**, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.04.001>>. Acesso em: 9 dez. 2020.

GREVEN, Hélio A.; FAGUNDES, Hilton A. V.; EINSFELDT, Alan A. ABC do Conforto acústico. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/NiltonNegriniNegrini/conforto-acustico>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

GUEDES, Italo César Montalvão; BERTOLI, Stelamaris Rolla; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju - Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 412–413, p. 66–76, 15 dez. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711012101>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

GUEDES, Italo César Montalvão; BERTOLI, Stelamaris Rolla. Mapa acústico como ferramenta de avaliação de ruído de tráfego veicular em Aracaju – Brasil. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 5, n. 2, p. 40, 31 dez. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634537>>. Acesso em: 28 fev. 2020.

GÜRSOY, Özge; AKDAĞ, Neşe Yüğrük. Evaluation of the environmental noise problems in holiday villages: a case study from Antalya, Turkey. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 11, p. 10972–10986, 20 abr. 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85061915735&doi=10.1007%2Fs11356-019-04541-3&partnerID=40&md5=8089550ff0c5ce2ab2adcabff24a1aac>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

HANNINEN, Otto; KNOL, Anne B.; JANTUNEN, Matti; LIM, Tek-Ang; CONRAD, André; RAPPOLDER, Marianne; CARRER, Paolo; FANETTI, Anna-Clara; KIM, Rokho; BUEKERS, Jurgen; TORFS, Rudi; IAVARONE, Ivano; CLASSEN, Thomas; HORNBERG, Claudia; MEKEL, Odile C. L.; EBoDE WORKING GROUP. Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries. **Environmental Health Perspectives**, v. 122, n. 5, 2014.

HEALTH CANADA. Guidance for Evaluating Human Health Impacts in Environmental Assessment: NOISE. 2017. Disponível em: <<https://www.ceaa.gc.ca/050/documents/p80054/119378E.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2021.

HIGDON, Dave; KENNEDY, Marc; CAVENDISH, James. C.; CAFEO, John; RYNE, Robert D.

Combining field data and computer simulations for calibration and prediction. **SIAM Journal on Scientific Computing**, v. 26, p. 448–466, 2004. Disponível em: <<http://web-a-ebscobhost.ez107.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=e0b5b666-4d14-4900-9c7a-4d8267d2d3bd%40sessionmgr4008>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

HINZE, Benjamin. Noise Mapping in Australia. **InterNoise**, San Francisco, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/281544344_Noise_Mapping_in_Australia>. Acesso em: 27 ago. 2020.

HORIZONTE, Portal Belo. Mirante da Sapucaí. Disponível em: <<http://portalbelohorizonte.com.br/informacoes-da-cidade/conheca-belo-horizonte/mirantes/mirante-da-sapucaia>>. Acesso em: 2 fev. 2021.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Belo Horizonte. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>>.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). IBGE divulga as estimativas da população dos municípios para 2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25278-ibge-divulga-as-estimativas-da-populacao-dos-municipios-para-2019>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

INAD (DIA INTERNACIONAL DA CONSCIENTIZAÇÃO SOBRE O RUÍDO). Mapa de Ruído Urbano - Centro SP. Disponível em: <<http://www.mapaderuidosp.org.br/mapa-de-ruído/mapa-centro-sp/>>.

INAD (INTERNATIONAL NOISE AWARENESS DAY). About INAD. Disponível em: <<https://noiseawareness.org/about/about-inad/>>. Acesso em: 18 fev. 2021.

INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA). Banco de dados meteorológicos. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

INPE (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS). Belo Horizonte. Disponível em: <<https://tempo1.cptec.inpe.br/cidades/tempo/222>>. Acesso em: 16 abr. 2021.

ISO. ISO 1996-2 Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 2: Determination of sound pressure levels. 2017

ITATIAIA. BH tem 4,8 mil reclamações sobre descumprimento da Lei do Silêncio em seis meses. Disponível em: <itatiaia.com.br/noticia/bh-tem-48-mil-reclamacoes-sobre-descumprimento>. Acesso em: 10 mar. 2020.

KALISKI, Kenneth; DUNCAN, Eddie; COWAN, James. Community and Regional Noise Mapping in the United States. **Sound and Vibration**, 2007. Disponível em: <<http://www.sandv.com/downloads/0709kali.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2020.

KASSOMENOS, Pavlos; VOGIATZIS, Kostas; COELHO, Jose Luis Bento. Critical issues on environmental noise: Editorial. **Science of the total environment**. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.108>>. Acesso em: 21 maio 2020.

KHEANG, Veng; TERADA, Junro; HIRATA, Terumitsu; YAI, Tetsuo. Analysis of Aircraft Noise Sensitivity at an Urban Airport Using the Concept of a Reference Noise Level. **Asian Transport**

Studies, v. 3, n. 3, p. 345–361, 2014.

KIM, Kwang Sik; PARK, Sung Joong; KWEON, Young-Jun. Highway traffic noise effects on land price in an urban area. **Transportation Research**, 2007. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/trd>. Acesso em: 14 abr. 2021.

KING, Eoin Anthony; RICE, Henry J. The development of a practical framework for strategic noise mapping. **Applied Acoustics**, v. 70, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X09000206>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

KLAEBOE, Ronny; AMUNDSEN, Astrid Helen; FYHRI, Aslak; SOLBERG, S. Road traffic noise-the relationship between noise exposure and noise annoyance in Norway. **Applied Acoustics**, 2004. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/apacoust>. Acesso em: 19 fev. 2021.

KLEIJNEN, Jack P. C. Verification and validation of simulation models. **European Journal of Operational Research**. 1995.

KRICHAGIN, V. J. Health effects of noise exposure. **Journal of Sound Vibration**. 1978.

LAW, Averill M; KELTON, W. David. Simulation modeling and analysis. 1991.

LEE, Hsiao Mun; LIU, Yi; LEE, Heow Pueh. Assessment of acoustical environment condition at urban landscape. **Applied Acoustics**, v. 160, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107126>>. Acesso em: 19 maio 2020.

LEE, Shi-Won; CHANG, Il; PARK, Young-Min. Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea. **Applied Acoustics**, 2008. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/apacoust>. Acesso em: 19 fev. 2021.

LIMA, Patrícia Oliveira; BARROS, Rosana Gonçalves; BÁRBARA, Vinícius Fagundes. Determinação dos níveis de pressão sonora na região central de Senador Canedo, GO. **Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2019.

LOPES, Francisco José Freitas. **Aplicação de sensores de vibração e ruído instalados nos trilhos da via para detecção de danos em rodas ferroviárias**. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <moz-extension://81defc27-528f-407d-b9b8-113094ff2210/enhanced-reader.html?openApp&pdf=http%3A%2F%2Fwww.biblioteca.pucminas.br%2Fteses%2FEngMecanica_LopesFJF_1.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2021.

LOPEZ, Guillermo Angel Perez; SOUZA, Léa Cristina Lucas de. Comparison of mathematical methods and measurements of traffic noise indices in pedestrian routes. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 1, p. 351–364, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000100379>>. Acesso em: 11 abr. 2020.

LOURES; IST; LISBOA, Técnico. Atualização da carta de ruído prospectiva do município de Loures no âmbito do processo de revisão do Plano Director Municipal de Loures. Loures, 2015.

MACIEL, Bruno Araujo; RIBEIRO, Rômulo José da Costa; BIAS, Edilson de Souza; GARAVELLI, Sérgio Luiz; CAVALCANTI, Márcio Maciel. Modelagem do ruído urbano como instrumento de gestão ambiental. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, 2009. p. 6649–6656.

MAISONNEUVE, Nicolas; STEVENS, Matthias L. L.; NIESSEN, Maria; HANAPPE, Peter; STEELS, Luc. Citizen Noise Pollution Monitoring. **10th International Digital Government Research Conference**, 2009a. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/221584801>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

MAISONNEUVE, Nicolas; STEVENS, Matthias L. L.; NIESSEN, Maria; STEELS, Luc. NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. **Information Technologies in Environmental Engineering: Proceedings of the 4th International ICSC Symposium**; Thessaloniki, 2009b. p. 215–228. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-88351-7_16>. Acesso em: 11 mar. 2020.

MANZO, Fausto E. Rodríguez; VARGAS, Elisa Garay; RIVERA, Laura A. Lancón. El primer mapa de ruido para la zona metropolitana del Valle de México: el caso del ruido por tráfico vehicular. **TecniAcustica**, Valladolid, 2013. Disponível em: <<http://www.paot.org.mx/centro/programas/pgdudf/planos/D2> ->.

MARDONES, Maysa Daniela Moreno. Mapeamento dos níveis de ruído em Copacabana, Rio de Janeiro, através de simulação computacional. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

MARIANO, Raul. Moradores de BH sofrem com o desrespeito à Lei do Silêncio; nem muitas freiam ruídos em bares. Disponível em: <<https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/moradores-de-bh-sofrem-com-o-desrespeito-a-lei-do-silencio-nem-multas-freiam-ruídos-em-bares-1.705818>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

MAROJA, Armando de Mendonça; GARAVELLI, Sérgio Luiz; JÚNIOR, Edson Benício de Carvalho; ALI, Matheus Yusef; CARDOSO, Willian Alves. Avaliação do ruído integrado na cidade de Águas Claras em Brasília, DF Brasil. **Pluris**, Coimbra, 2018.

MARTÍNEZ, Julia; DELGADO, Omar. Evaluación de las emisiones de ruido en el área urbana de Cuenca y elaboración del mapa de ruido 2014. **Revista Geográfica de Valparaíso**, p. 40–46, 2015. Disponível em: <http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/INFORMES_RUIDO_PDF_2014_Y_2015/Revista_Chile.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2020.

MARTINS, Cássio Soares; FILHO, Roberto Murta. Avaliação do conforto sonoro no município de Belo Horizonte. **Revista do Observatório do Milênio de Belo Horizonte**, p. 70–82, 2015. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/planejamento/2019/Revista_OM_4_web.pdf>.

MAURIN, M. Community noise impact indicators: a framework with examples. **Journal of Sound and Vibration**, v. 79, n. 1, p. 479–499, 1981.

MERCHAN, Carlos Iglesias; BALTEIRO, Luis Diaz. Noise pollution mapping approach and accuracy on landscape scales. **Science of the total environmental**, p. 115–125, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.063>>. Acesso em: 24 maio 2020.

MICHALSKI, Ranny; ACAMINE, Érica. Mapa sonoro de área central da cidade de São Paulo. **II Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana**, 2019. p. 700–706.

MINAS GERAIS. Lei nº 10.100. Disponível em:

<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=10100&comp=&ano=1990&aba=js_textoOriginal#texto>. Acesso em: 14 dez. 2020. , 1990

MINAS GERAIS. Lei Ordinária nº 7.302, 1978

MONARCA, Nicolás Andrés Bastián; RODENBEEK, Juan Pablo Álvarez; MORENO, Francisco. Evaluación de Modelos de Predicción de Ruido de Tránsito Vehicular en Ciudades Pequeñas: Casos Ciudad de Valdivia y Osorno. **IX Congreso Iberoamericano de acústica**, Valdivia, 2014.

MONCAYO, Luis Bravo; NARANJO, Jose Lucio; CHÁVEZ, Miguel; GARCÍA, Ignacio Pávon; GARZÓN, Christiam. A machine learning approach for traffic noise annoyance assessment. **Applied Acoustics**, v. 156, p. 262-270, 2019.

MONCAYO, Luis Bravo; REINOSO-CARVALHO, Felipe; VELASCO, Carlos. The effects of noise control in coffee tasting experiences. **Food Quality and Preference**, v. 86, p. 104020, 1 dez. 2020.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 6ª edição. 2020.

MORAES, Elcione; LARA, Leyla; TOGUCHI, Leano; PINTO, Aretuza. Mapa de ruídos da zona comercial de belém, uma parcela do mapa de ruídos da cidade de Belém – Brasil. **TecniAcustica**, 2003.

MORAES, Elcione L.; COUTINHO, M.; SIMÓN, Francisco. O impacto do ruído com a implantação de um *shopping center*. **Pluris**, 2010.

MORAES, Elcione; LARA, Neyla. Mapa acústico de Belém. **ENCAC - ELACAC**, Maceió, 2005. p. 1241–1250.

MOTA, Lorena Cachuit Cardoso; HIRASHIMA, Simone Queiroz da Silveira; AZEVEDO, Rogério Cabral. Elaboração e análise de portfólio bibliográfico sobre mapeamento sonoro urbano utilizando o Proknow-C. **XV ENCAC XI ELACAC**, João Pessoa 2019. p. 218–226.

MOURA, Vania Raposo; MELO, Gustavo Vieira da Silva; SANTOS, Wagner Sousa. Ruído e configuração espacial urbana: um estudo de caso na cidade de Belém do Pará. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 7, n. 4, p. 251, 31 dez. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647164>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

MPMG (MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS). PBH responde à Recomendação do MP-MG sobre funcionamento do disque-sossego. Disponível em: <<https://www.mpmg.mp.br/areas-de-atuacao/defesa-do-cidadao/habitacao-e-urbanismo/noticias/pbh-responde-a-recomendacao-do-mpmg-sobre-funcionamento-do-disque-sossego.htm>>. Acesso em: 4 mar. 2021.

MUZET, Alain. Environmental noise, sleep and health. **Sleep Medicine Reviews**, v. 11, n. 2, p. 135–142, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez107.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1087079206001055?via%3Dihub>>.

NAGEM, Míriam Pompeu. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258629/1/Nagem_MiriamPompeu_M.pdf>. Acesso

em: 29 fev. 2020.

NARDI, Aline Souza Lopes Ventura. **Mapeamento Sonoro em Ambiente Urbano. Estudo de caso: área central de Florianópolis**. Florianópolis, SC, 2008. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwj8zt_k96riAhXDB9QKHUT_BAQQFjACegQIABAC&url=https%3A%2F%2Frepositorio.ufsc.br%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F92109%2F261616.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AOvVaw2ar0RcLTfLXctMdhi dRcii>. Acesso em: 20 maio 2019.

NASCIMENTO, Eriberto Oliveira do; OLIVEIRA, Felipe Luz de; OLIVEIRA, Lucas Nonato de; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Noise prediction based on acoustic maps and vehicle fleet composition. **Applied Acoustics**, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107803>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

OBBERKAMPF, William L.; TRUCANO, Timothy G.; HIRSCH, Charles. Verification, validation, and predictive capability in computational engineering and physics. **Appl Mech Rev**, v. 57, n. 5, 2004. Disponível em: <http://asmedigitalcollection.asme.org/appliedmechanicsreviews/article-pdf/57/5/345/5440785/345_1.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2021.

OLIVEIRA, Marta Isabela Fernandes. **A influência da forma urbana na propagação do ruído urbano**. Universidade do Minho, 2011. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/17588>>. Acesso em: 23 maio 2019.

ONU NEWS. ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

PASSOS, Daniela. A Formação do Espaço Urbano da Cidade de Belo Horizonte: Um estudo de caso à luz de comparações com as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. **Mediações - Revista de Ciências Sociais**, v. 21, p. 332–358, 2016. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/mediacoes/article/view/22406>>.

PBH (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE). Lei de Acesso à Informação: Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/lei-de-acesso-a-informacao>>. Acesso em: 23 ago. 2021.

PBH (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE). Parque Municipal Américo Renné Giannetti - Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/fundacao-de-parques-e-zoobotanica/informacoes/parques/parque-municipal-americo-renne-giannetti>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

PINTO, Fernando Augusto de Noronha Castro; MARDONES, Maysa Daniela Moreno. Noise mapping of densely populated neighborhoods - Example of Copacabana, Rio de Janeiro - Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 155, n. 1–4, p. 309–318, 29 jul. 2009. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-008-0437-9>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

POLLONI, Stefano. Traffic calming and neighborhood livability: Evidence from housing prices in Portland. **Regional Science and Urban Economics**, v. 74, p. 18–37, 2019. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166046217301114>>.

POZZER, Talita; HOLTZ, Marcos Cesar de Barros; PIERRARD, Juan Frías. Mapa piloto da cidade

de São Paulo. Porto Alegre, 2018a. Disponível em: <<https://proceedings.science/sobrac/papers/mapa-piloto-da-cidade-de-sao-paulo->>.

POZZER, Talita; PIERRARD, Juan Frías; HOLTZ, Marcos. Desafios de fazer mapas de ruído de grandes cidades brasileiras- Estudos realizados para elaboração do mapa piloto de São Paulo. Porto Alegre, 2018b. Disponível em: <<https://proceedings.science/sobrac/papers/desafios-de-fazer-mapas-de-ruído-de-grandes-cidades-brasileiras---estudos-realizados-para-elaboracao-do-mapa-piloto-de-s>>.

PROACÚSTICA. Fortaleza é a primeira cidade brasileira a ter sua Carta Acústica. Disponível em: <<http://www.proacustica.org.br/publicacoes/cases-sobre-acustica/fortaleza-primeira-cidade-brasileira-a-ter-sua-carta-acustica.html>>. Acesso em: 17 fev. 2021.

PROACÚSTICA. Dia Internacional da Conscientização Sobre o Ruído - INAD. Disponível em: <<http://www.proacustica.org.br/agenda-de-eventos-congressos-cursos-palestras-sobre-acustica/dia-do-ruído-inad.html>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

QGIS. Descubra o QGIS. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>. Acesso em: 18 mar. 2021.

RECIO, Alberto; LINARES, Cristina; BANEGAS, José Ramón; DIAZ, Julio. The short-term association of road traffic noise with cardiovascular, respiratory, and diabetes-related mortality. **Environmental Research**, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.014>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

RSTUDIO. About RStudio . Disponível em: <<https://rstudio.com/about/>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

SANTOS, Jonas Clemente Dds; SOBRAL, Marcos Felipe Falcão. Diagnóstico, perspectivas de uso e expansão dos serviços de trens metropolitanos no Brasil. **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 2, p. 481–506, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0034-76121529>>. Acesso em: 2 fev. 2021.

SANTOS, Fabiane Silva. **Veículo leve sobre trilhos: Simulação do impacto ambiental acústico em Brasília - DF**. 2016. Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SANTOS, Luís Conde; VALADO, Fátima. O mapa de ruído municipal como ferramenta de planejamento. **Acústica**, p. 1–8, 2004. Disponível em: <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/Guimaraes04_ID162.pdf>.

SÃO PAULO. Decreto 58737. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-paulo/decreto/2019/5874/58737/decreto-n-58737-2019-regulamenta-a-elaboracao-do-mapa-do-ruído-urbano-da-cidade-de-sao-paulo-previsto-na-lei-n-16499-de-20-de-julho-de-2016-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 17 fev. 2021. , 2019

SÃO PAULO. Lei Municipal nº 16.499. 2016. Disponível em: <<http://documentacao.camara.sp.gov.br/iah/fulltext/leis/L16499.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2020.

SCHAFER, R. Murray. **A afinação do mundo: Uma exploração pioneira pela história passada e pelo atual estado do mais negligenciado aspecto do nosso ambiente: a paisagem sonora.**, 1977.

SFO (SAN FRANCISCO INTERNATIONAL AIRPORT). Noise: San Francisco International Airport. Disponível em: <<https://webtrak.emsbk.com/sfo13>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

SHOEMIGA, Thiago França. **Poluição sonora urbana: estudo de caso da subprefeitura de Pinheiros/SP**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-09032016-145105/publico/2011_ThiagoFrancaShoegima_VCorr.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2020.

SILVA, Edwin F. F. **Estudo do clima acústico nas proximidades de rodovias devido a implantação de um modal de transporte**. Universidade de Brasília, 2015.

SILVA, Enrique Suárez; ROJAS, J. L. Barros; MONTENEGRO, A. Báez; CASTRO, J. Stevens; GAJARDO, R. Romero; RODENBEEK, J. P. Alvarez; RIVERA, C. González; GOZALO, G. Rey. Mapa de ruido de la Comuna de Santiago de Chile mediante modelación. **INGEACUS Congreso Internacional de Acústica y Audio Profesional**, Valdivia, 2011, p. 1–11.

SILVA, Enrique Suárez; BARROS, José Luis. Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. **Science of the Total Environment**, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971300781X>>.

SIMÓN, Francisco; MORAES, Elcione; GUIMARÃES, Luis; FERNANDEZ, Maria José. Caracterización Del Ruido De La Ciudad De Belem. **Acústica**, Coimbra, 2008. p. 1–8. Disponível em: <http://ftp.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/Coimbra08_id147.pdf>.

SME (SOCIEDADE MINEIRA DE ENGENHEIROS). SME e entidades fecham proposta para mudar Lei do Silêncio de BH. Disponível em: <<http://www.sme.org.br/noticias/sme-e-entidades-fecham-proposta-para-mudar-lei-do-silencio-de-bh/>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

SOSA, Vicente; SAID, Germán. Variation of sound levels in the central area of the city of Buenos Aires after the implementation of priority pedestrian plan. **22nd International Congress on Acoustics**, Buenos Aires, 2016. Disponível em: <<http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/fia2016/FIA2016-0075.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2020.

SOUSA, Paulo Victor Barbosa de. **Mapas colaborativos na internet: um estudo de anotações espaciais dos problemas urbanos**. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

SOUZA, Danilo Fortuna Mendes de. **Mapeamento acústico do ruído de tráfego rodoviário do bairro Imbuí, Salvador-BA**. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/13071>>. Acesso em: 11 ago. 2020.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de; ALMEIDA, Manuela Guedes de; BRAGANÇA, Luís. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica**. 2012. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/312820484/be-a-ba-da-acustica-arquitetonica-pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2019.

STARK, Hans-Jörg; HOLLENSTEIN, Daria; HÜRBI, Kevin; GERZNER, Thomas. “IVGI Noise App”: An App to Raise Awareness of Noise Pollution and to Promote Spatial Technologies in Secondary Schools. **Journal for Geographic Information Science**, 2015. Disponível em: <<http://www.see-you.ch/decibel/>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

TORONTO PUBLIC HEALTH. How loud is too loud? Health Impacts of Environmental Noise. 2017. Disponível em: <www.toronto.ca/health/reports>. Acesso em: 18 fev. 2021.

TSAI, Kang-Ting; LIN, Min-Der; CHEN, Yen-Hua. Noise mapping in urban environments: A Taiwan study. **Applied Acoustics**, v. 70, p. 964–972, 2008.

UNITED NATIONS. World Population Prospects. New York, 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf>.

VALE. Rotas EFVM - Vale. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/business/logistics/railways/Passenger-Train-Vitoria-Minas/Paginas/rotas.aspx>>. Acesso em: 5 mar. 2021.

VEGA, Víctor Hugo Lobos. Evaluación del ruido ambiental en la ciudad de Puerto Montt. 2008. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Valdivia, 2008.

VIANNA, Karina Mary de Paiva. Poluição sonora no município de São Paulo: avaliação do ruído e o impacto da exposição na saúde da população. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6132/tde-01122014-100623/publico/KarinaMaryDePaivaVianna.pdf>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

VIENNEAU, Danielle; SCHINDLER, Christian; PEREZ, Laura; HENSCH, Nicole Probst; RÖÖSLI, Martin. The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: A meta-analysis. **Environmental Research**, v. 138, p. 372–380, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935115000572>>.

VILELA, Jhonatha Correia; DURANTE, Luciane Cleonice; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio; AMORIM, Adriana Elóia Bento; ROSSETI, Karyna De Andrade Carvalho; BUTTNER, Simone Berigo; BORGES, Erika Cristina Toledo Leão; GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida da. Estudo preditivo do ruído ambiental na cidade de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (PLURIS 2018)**, Coimbra, 2018.

VILLALOBO, Jorge Perez; CONTRERA, Horacio; BODOIRA, Raúl; CÁCERES, Elías; HINALAF, María; SERRA, Mario. Characterization of noise pollution in downtown of Cordoba city. **ICA**, Buenos Aires, 2016. Disponível em: <<http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/fia2016/FIA2016-0088.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2020.

VOGIATZIS, Konstantinos; RÉMY, Nicolas. Changing the Urban Sound Environment in Greece: A Guide Based on Selected Case Studies of Strategic Noise Maps (SNM) and Noise Action Plans (NAP) in Medium and Large Urban Areas. **Environments**, 2018.

VOGIATZIS, Konstantinos; RÉMY, Nicolas. From environmental noise abatement to soundscape creation through strategic noise mapping in medium urban agglomerations in South Europe. **Science of The Total Environment**, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.098>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

VULKAN, G. H. Developments in urban planning against noise. **Journal of Sound and Vibration**, v. 43, n. 2, p. 439–447, 22 nov. 1975.

WANG, Bo; KANG, Jian. Effects of urban morphology on the traffic noise distribution through noise mapping: A comparative study between UK and China. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 556–568, jul. 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X11000247>>.

WEATHER SPARK. Clima característico em Belo Horizonte, Brasil durante o ano. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30612/Clima-característico-em-Belo-Horizonte-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

WERNECK, Gustavo. Trem da Vale retoma viagens com normas rígidas de segurança e passageiros animados. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2020/09/02/interna_gerais,1181700/trem-vale-retoma-viagens-normas-rigidas-seguranca-passageiros-animados.shtml>. Acesso em: 5 mar. 2021.

WG-AEN (EUROPEAN COMMISSION WORKING GROUP ASSESSMENT OF EXPOSURE TO NOISE). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. 2007. Disponível em: <https://www.lfu.bayern.de/laerm/eg_umgebungslaermrichtlinie/doc/good_practice_guide_2007.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2020.

WG-HSEA (WORKING GROUP OF HEALTH AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS). Valuation of noise. 2003.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). Coronavirus disease (COVID-19) pandemic. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=CjwKCAjw8J32BRBCEiwApQEKgSDRz6Ha3tiz60RagSLk8qIYqiVdUbxu9uqrUR8cwavixfeVQGJQRoCReQQAvD_BwE>. Acesso em: 22 maio 2020.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION); JRC (JOINT RESEARCH CENTRE). Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe. 2011. Disponível em: <https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888/en/>.

WINGE, M. Coordenadas UTM. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/coordenadas_utm.htm>. Acesso em: 15 mar. 2021.

WINSBERG, Eric. Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World. **Philosophy of Science**, v. 70, n. 1, p. 105–125, 2003.

WOODS, Andrew T.; POLIAKOFF, E.; LLOYD, D.; KÜNZEL, J.; HODSON, R.; BATCHELOR, J.; DIJKSTERHUIS, G.; THOMAS, Anna. Effect of background noise on food perception. **Food Quality and Preference**, 2011.

YAN, Kimberly S.; DANDO, Robin. A crossmodal role for audition in taste perception. **Journal of Experimental Psychology**, v. 41, n. 3, 2015. Disponível em: <<https://psycnet-apa.ez107.periodicos.capes.gov.br/fulltext/2015-11177-001.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

YANG, Wei; KANG, Jian. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. **Applied Acoustics**, v. 66, p. 211–229, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X04001215>>. Acesso em: 18 jun. 2020.

YOSHIDA, T.; OSADA, Y.; KAWAGUCHI, T.; HOSHIYAMA, Y.; YOSHIDA, K.; YAMAMOTO, K. Effects of road traffic noise on inhabitants of Tokyo. **Journal of Sound and Vibration**, n. 4, p. 517–522, 1997.

ZANARDI, Esteban; HENRÍQUEZ, Jorge Carrasco; TORRES, Jorge. Noise propagation software comparison: A case of study between SoundPLAN and Code_TYMPAN. **ICA**, Buenos Aires, 2016. Disponível em: <<http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/ica2016/ICA2016-0401.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2020.

ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta; ENGEL, Margret Sibylle; FIEDLER, Paulo Eduardo Kirrian; BUNN, Fernando. Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. **Cities**, v. 31, p. 317–327, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275112001771>>.

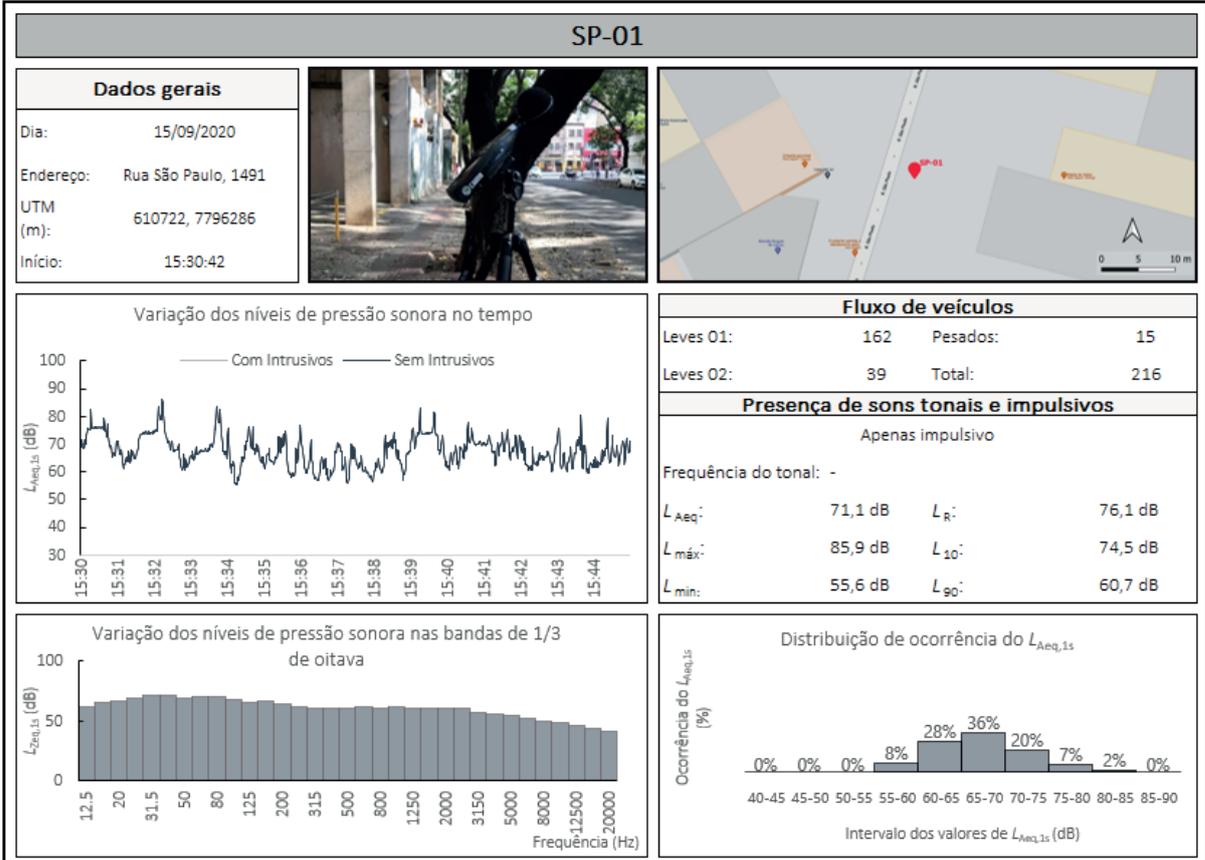
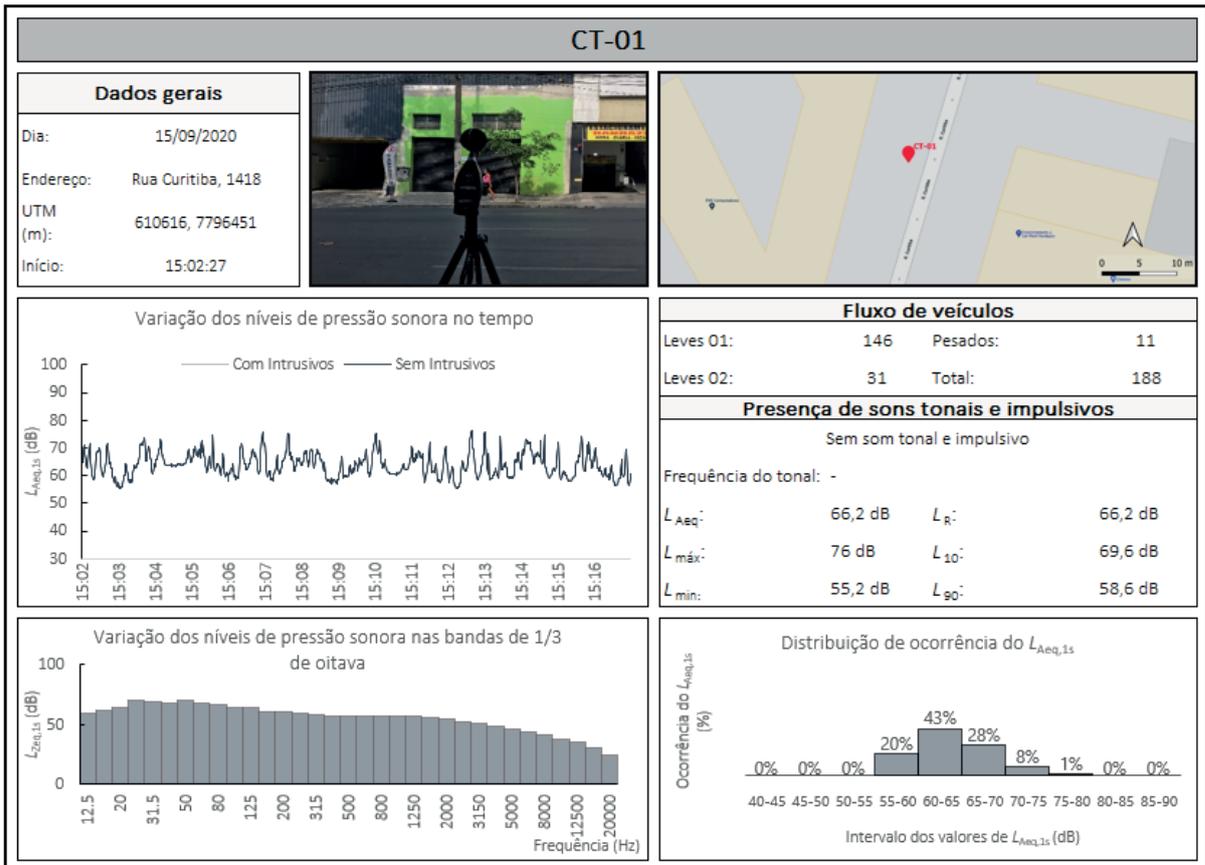
ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta; DINIZ, Fabiano Belisário; BARBOSA, Wiliam Alves. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. **Applied Acoustics**, 2002, p. 351–358.

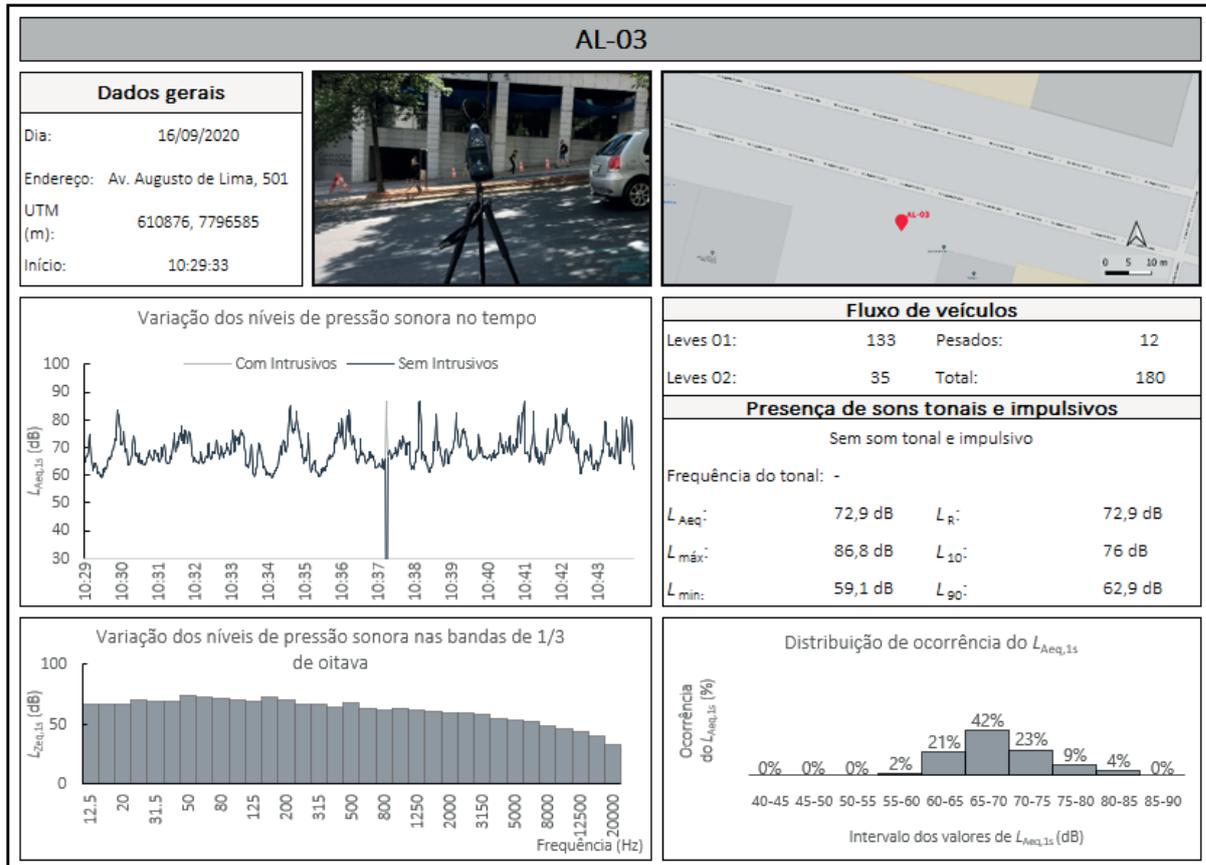
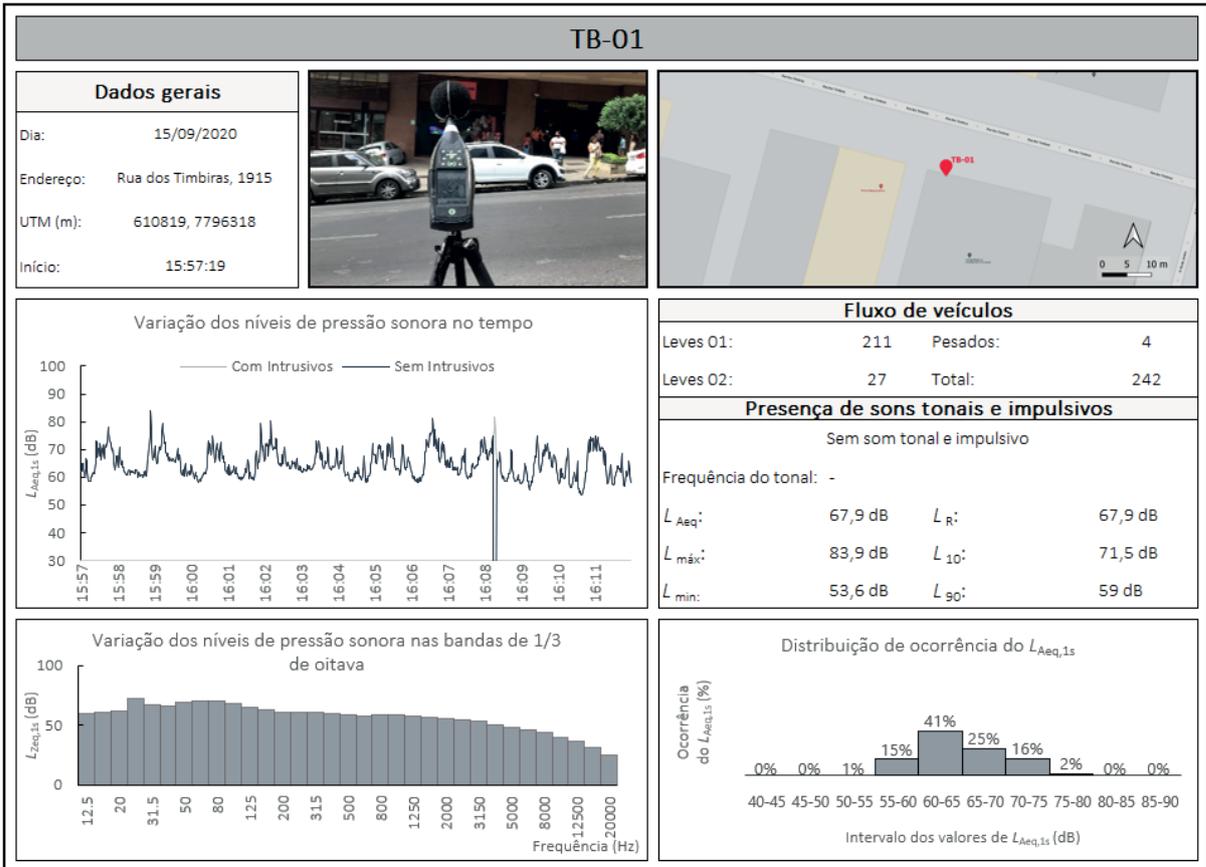
ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta; VALLE, Felipe do; NASCIMENTO, Eriberto Oliveira do. Assessment of Noise Pollution along Two Main Avenues in Curitiba, Brazil. **Open Journal of Acoustics**, v. 09, n. 02, p. 26–38, 2019.

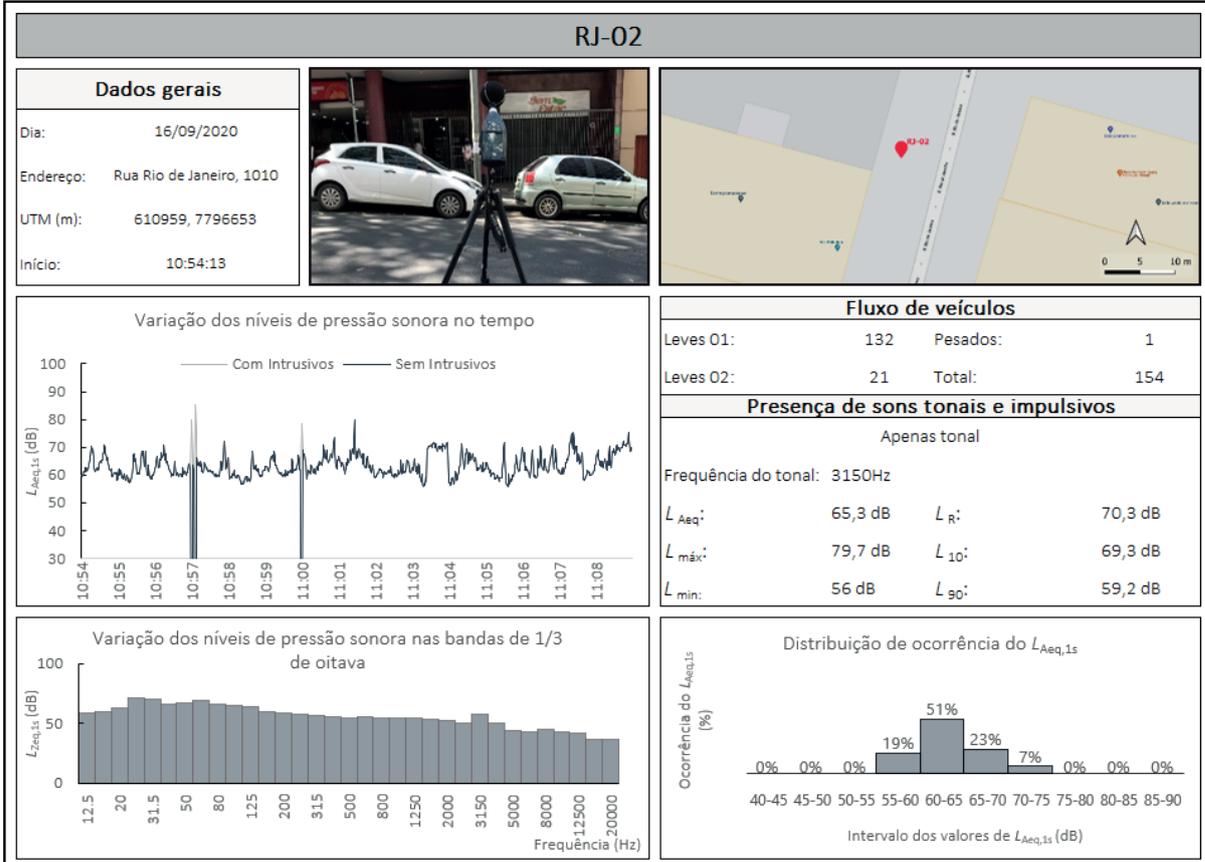
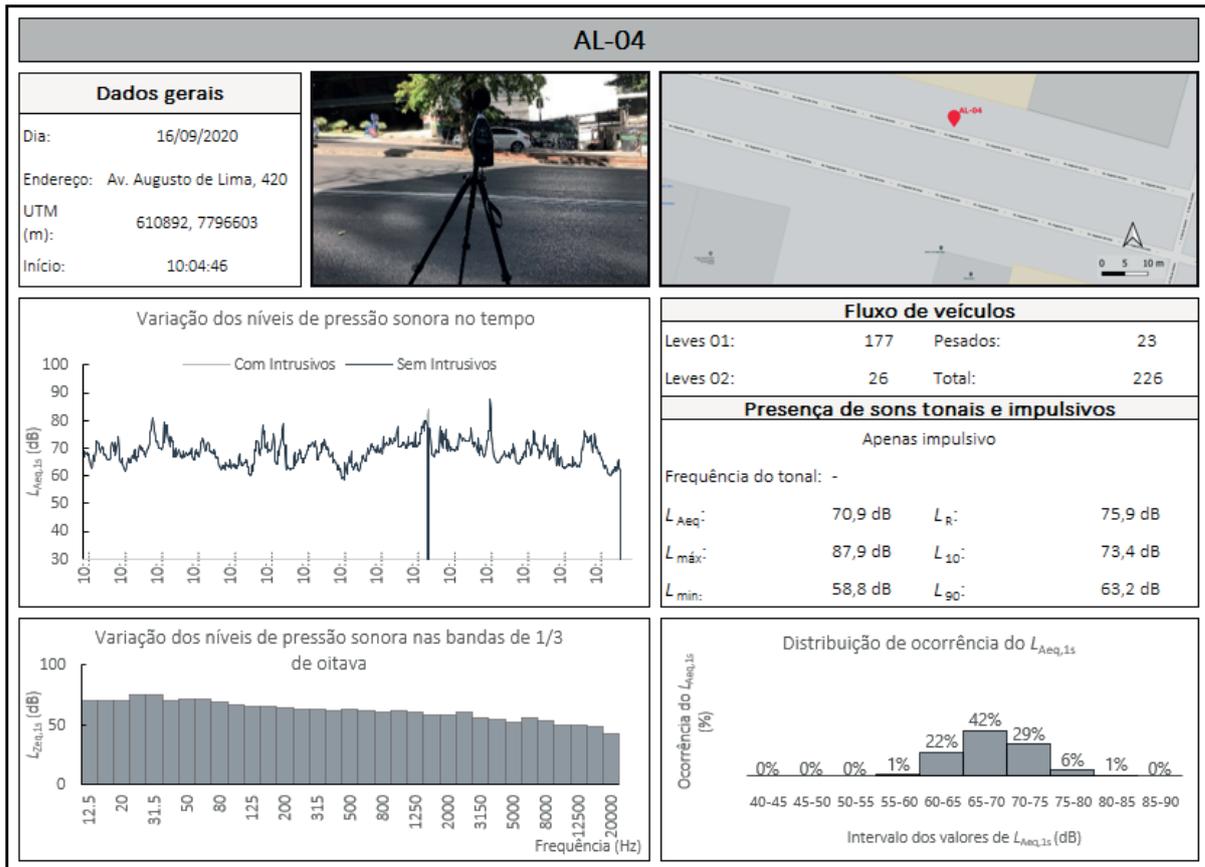
ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta; SANT, David Queiroz De. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project - A case study in Brazil. **Applied Acoustics**, v. 72, p. 479–486, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X11000466>>. Acesso em: 4 maio 2020.

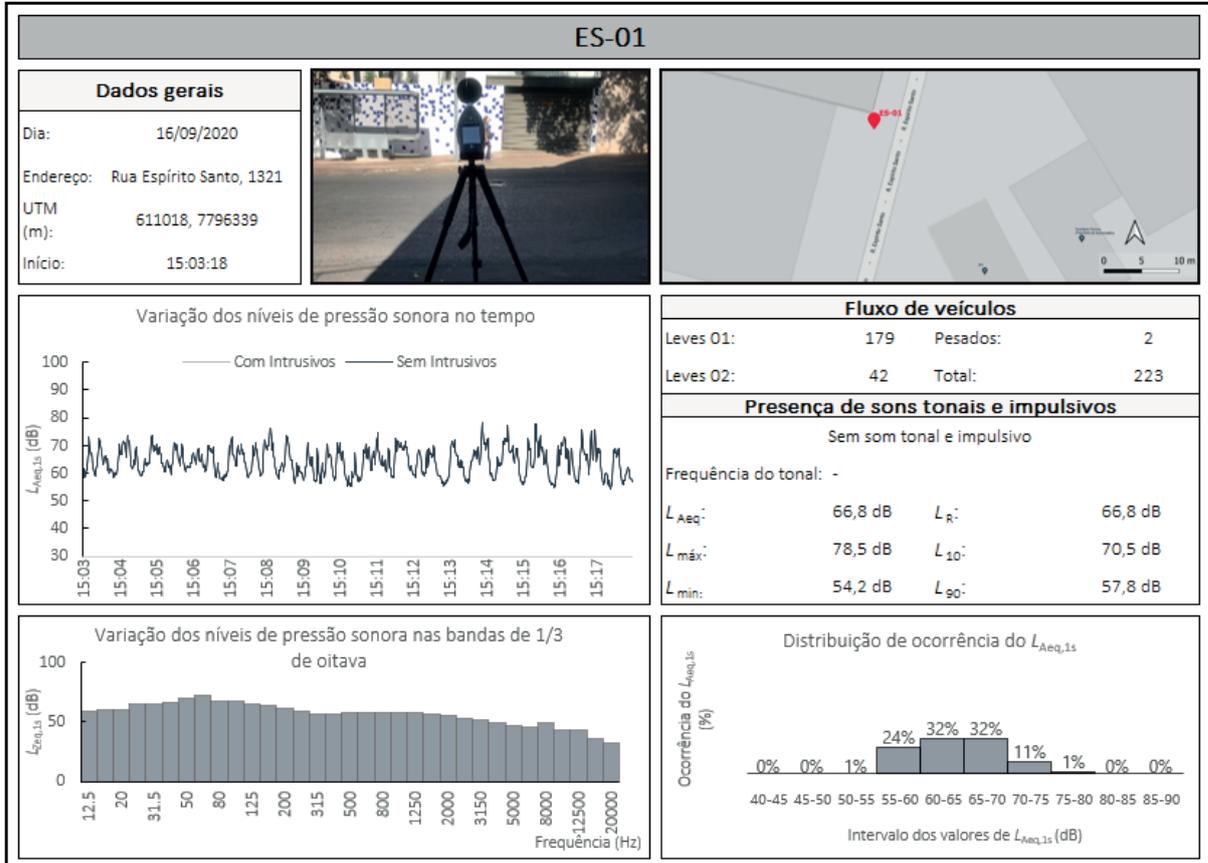
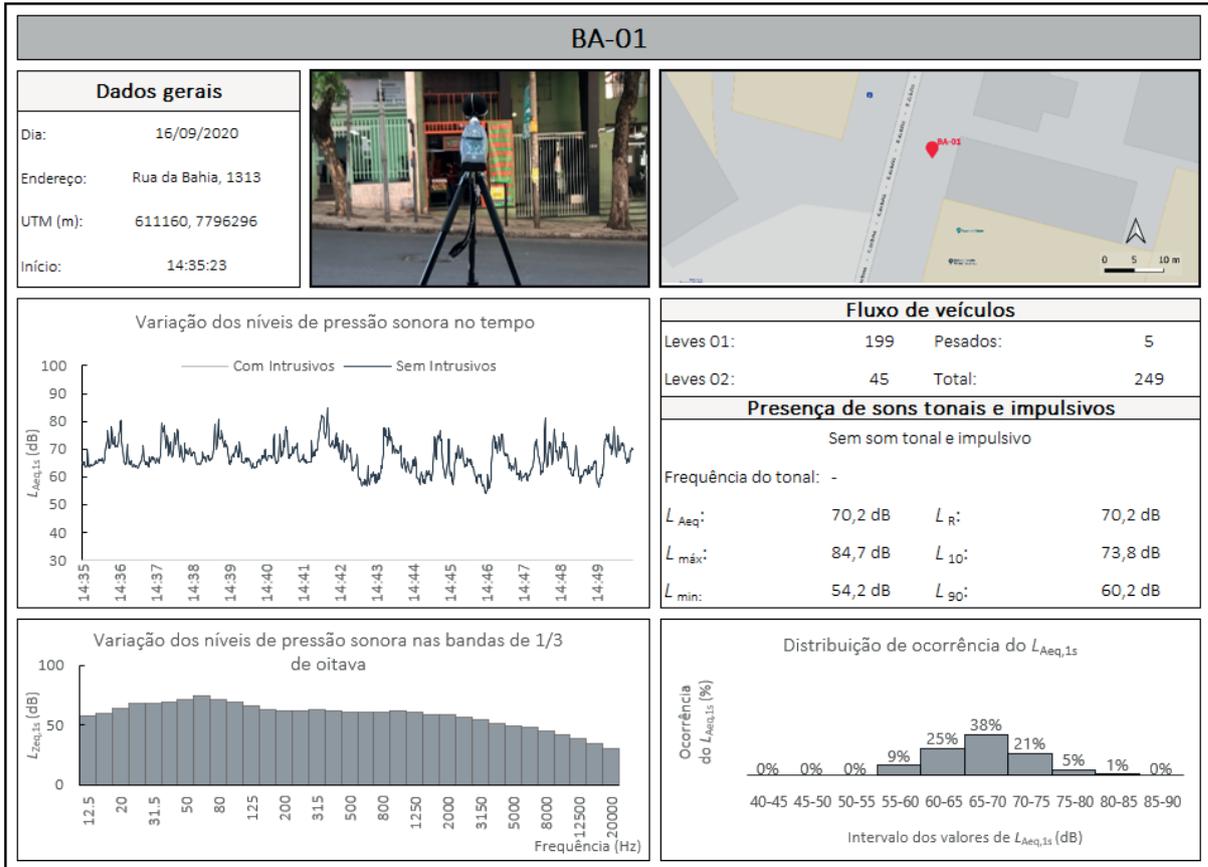
APÊNDICE A – Resultados

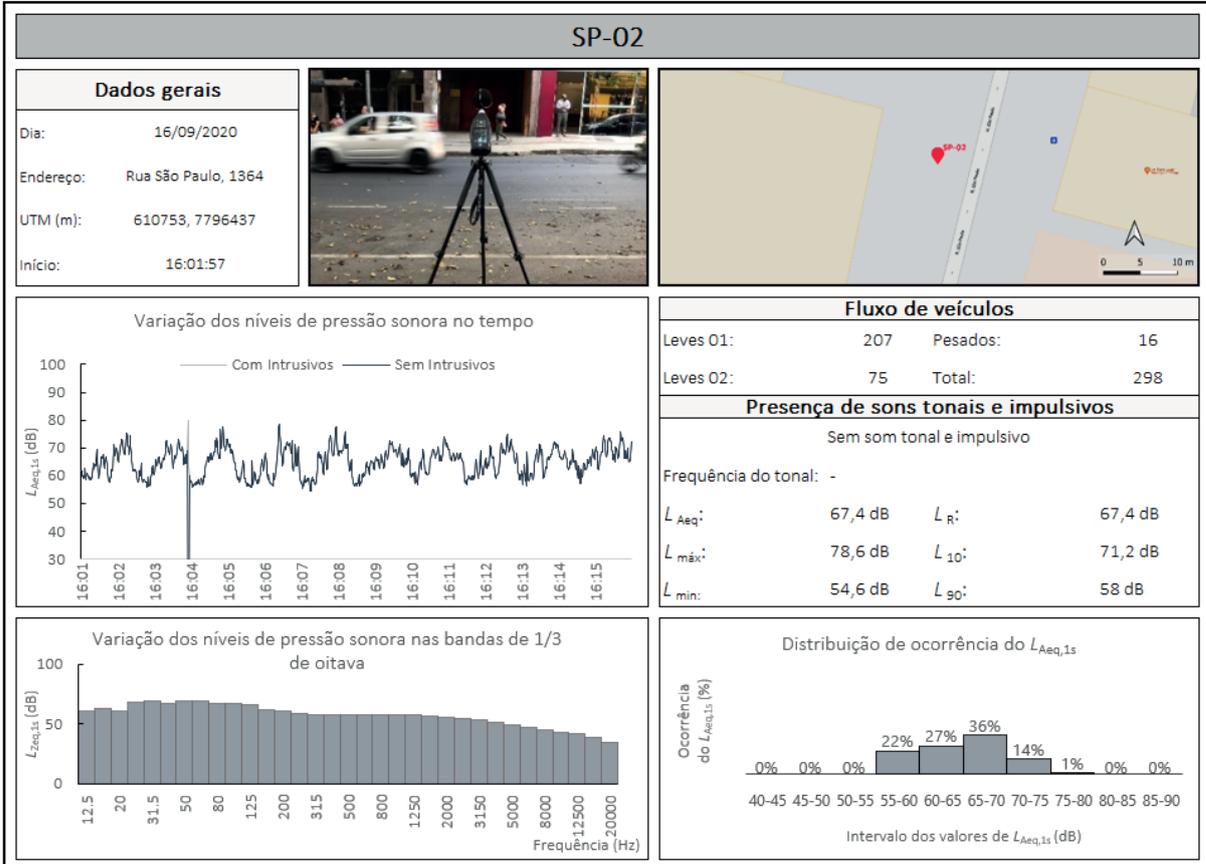
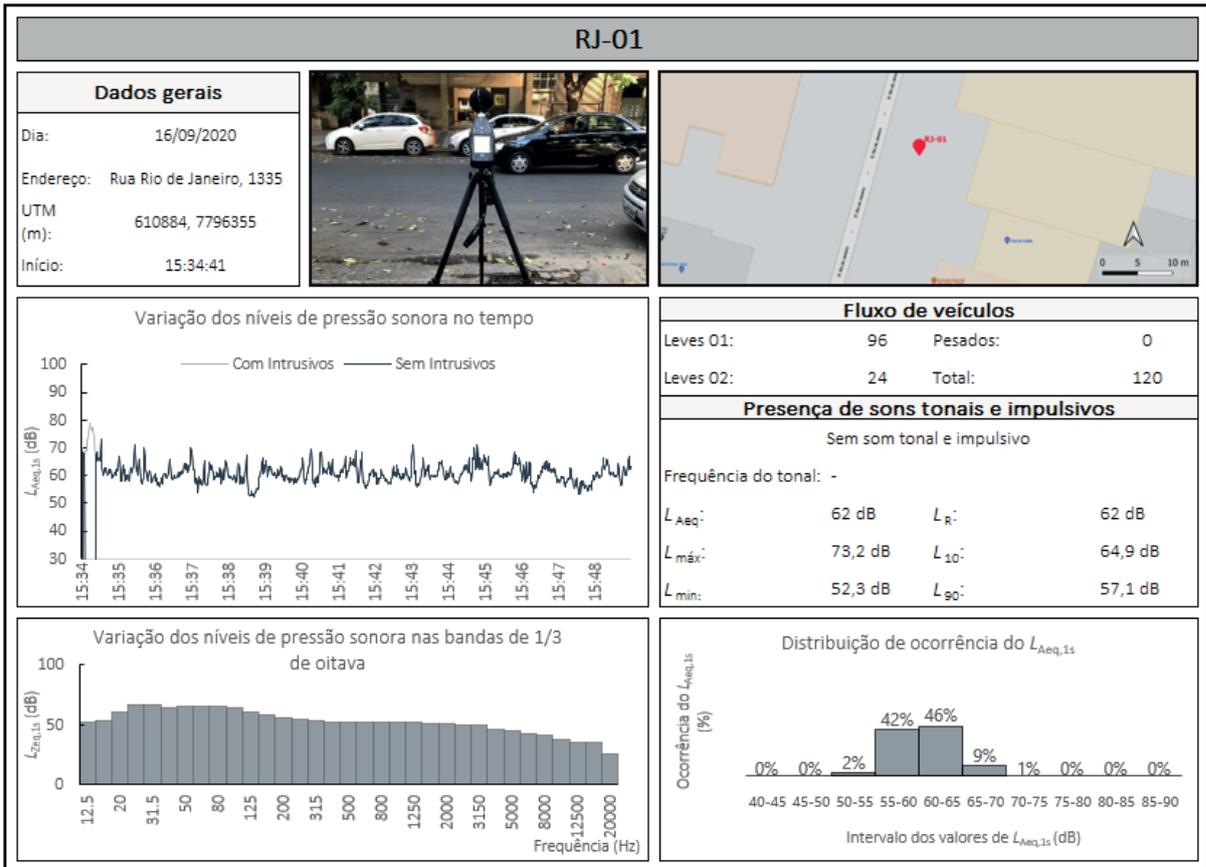


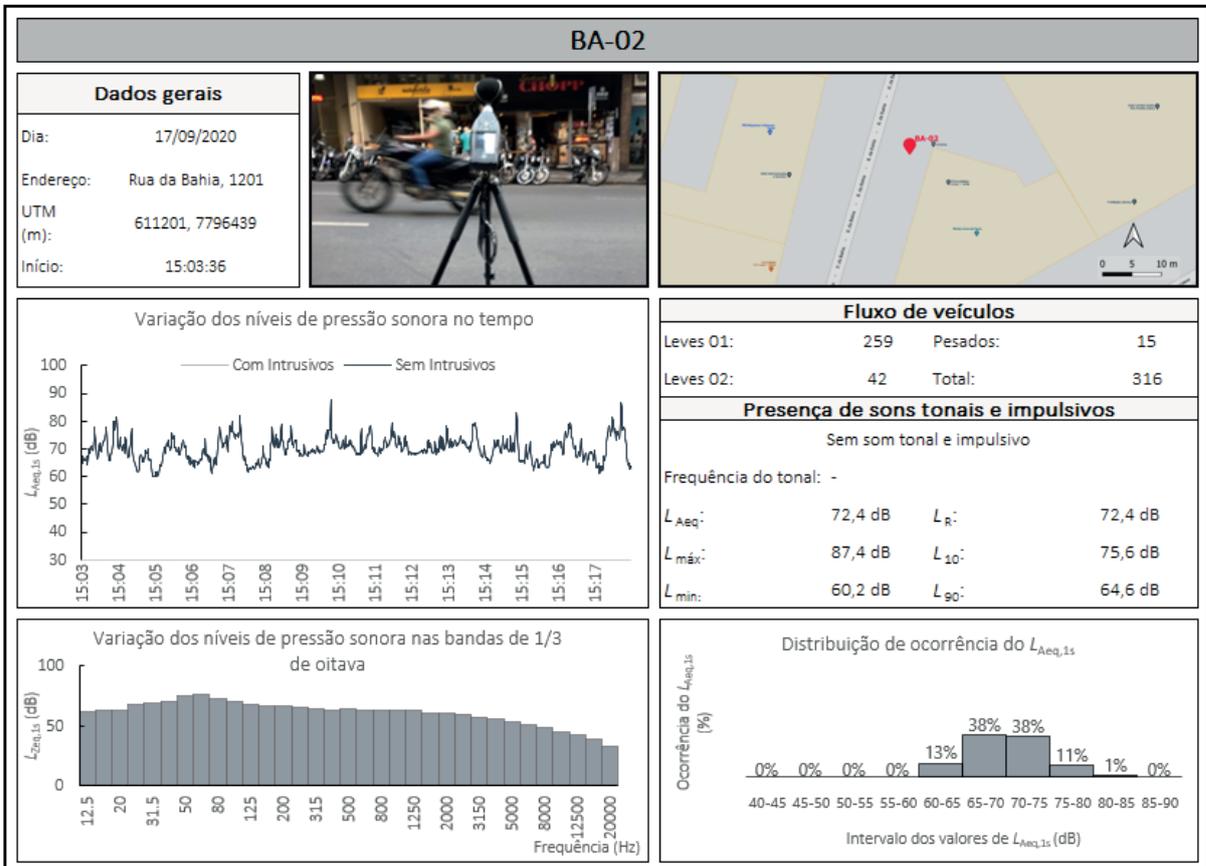
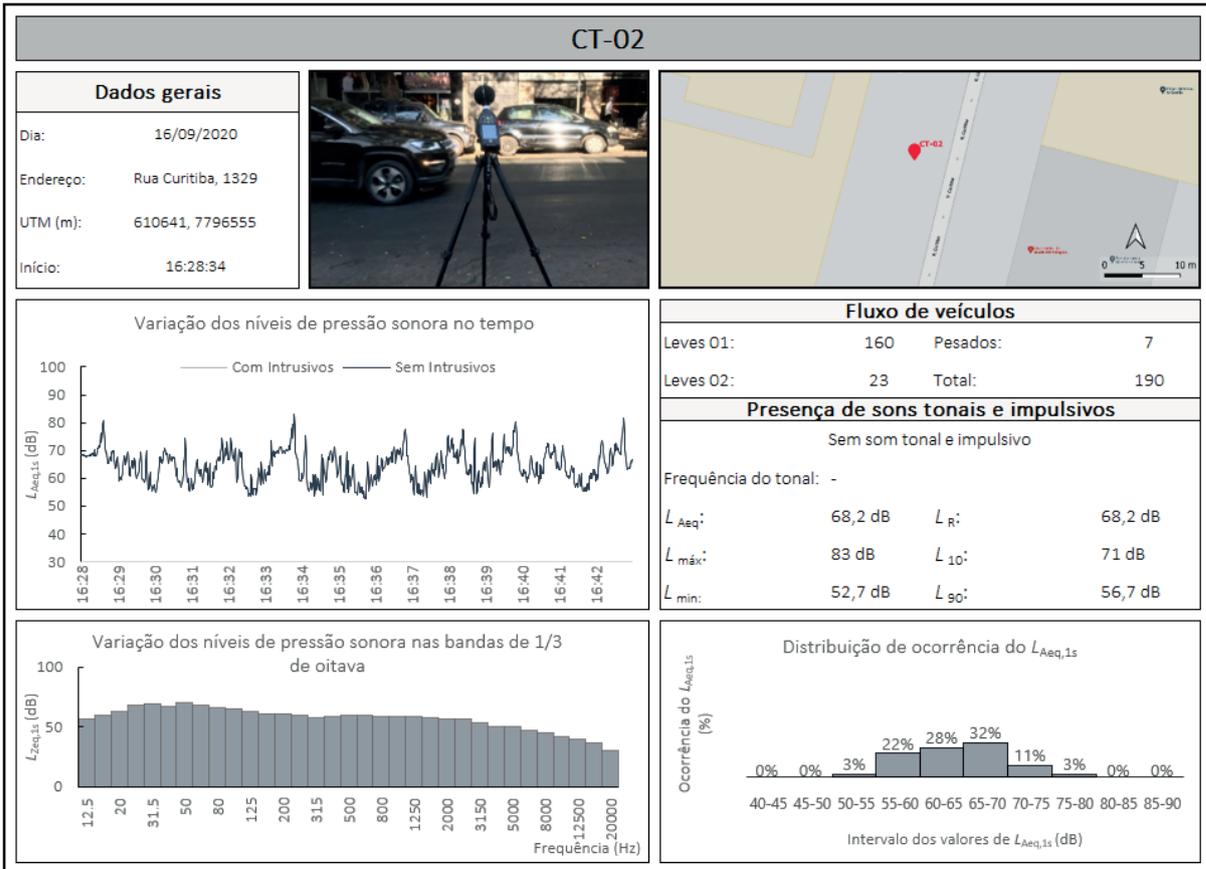


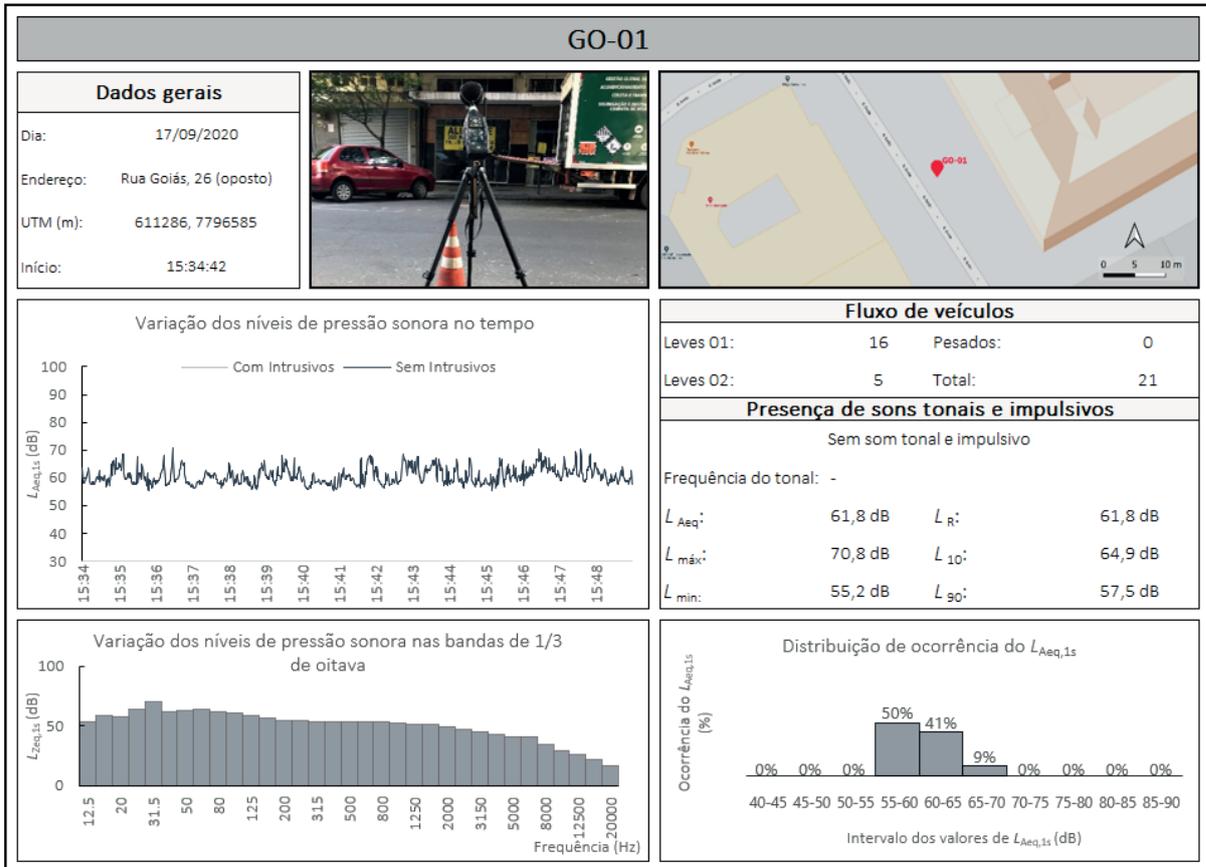




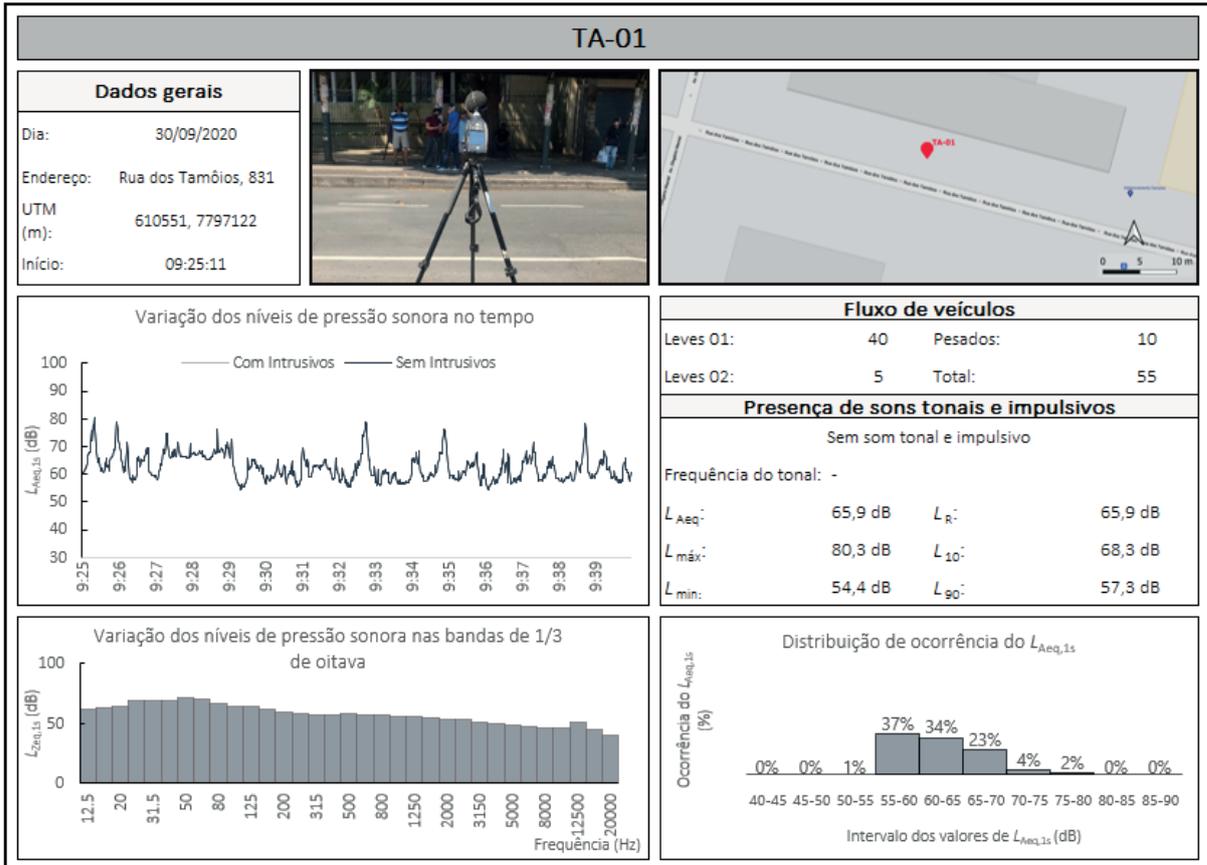


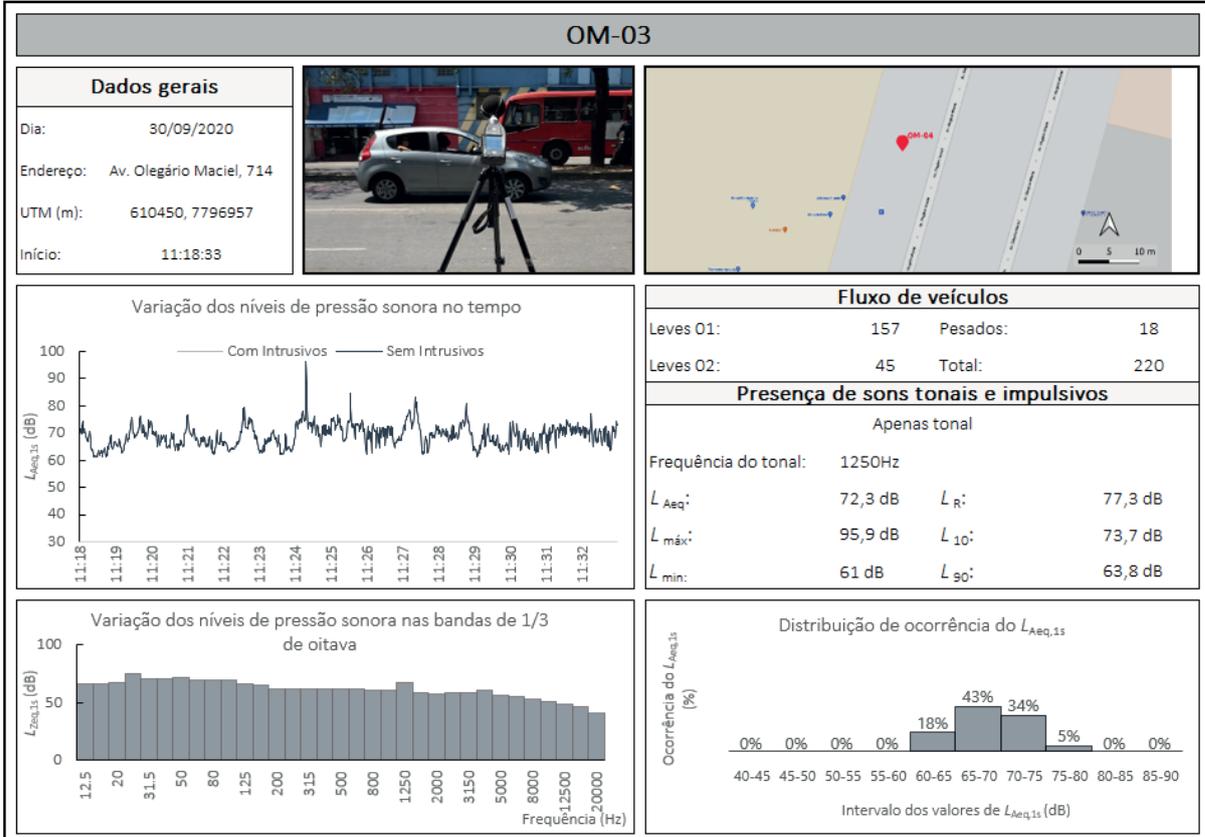
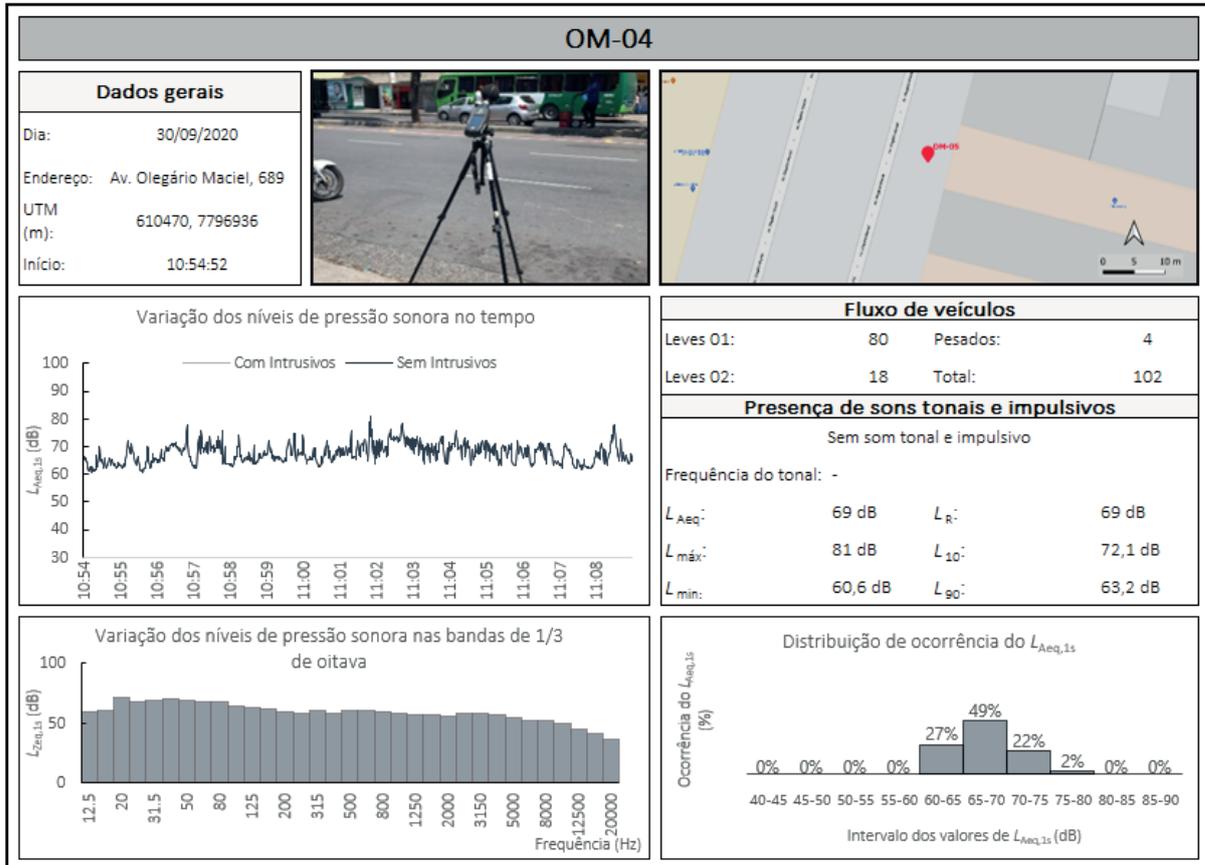


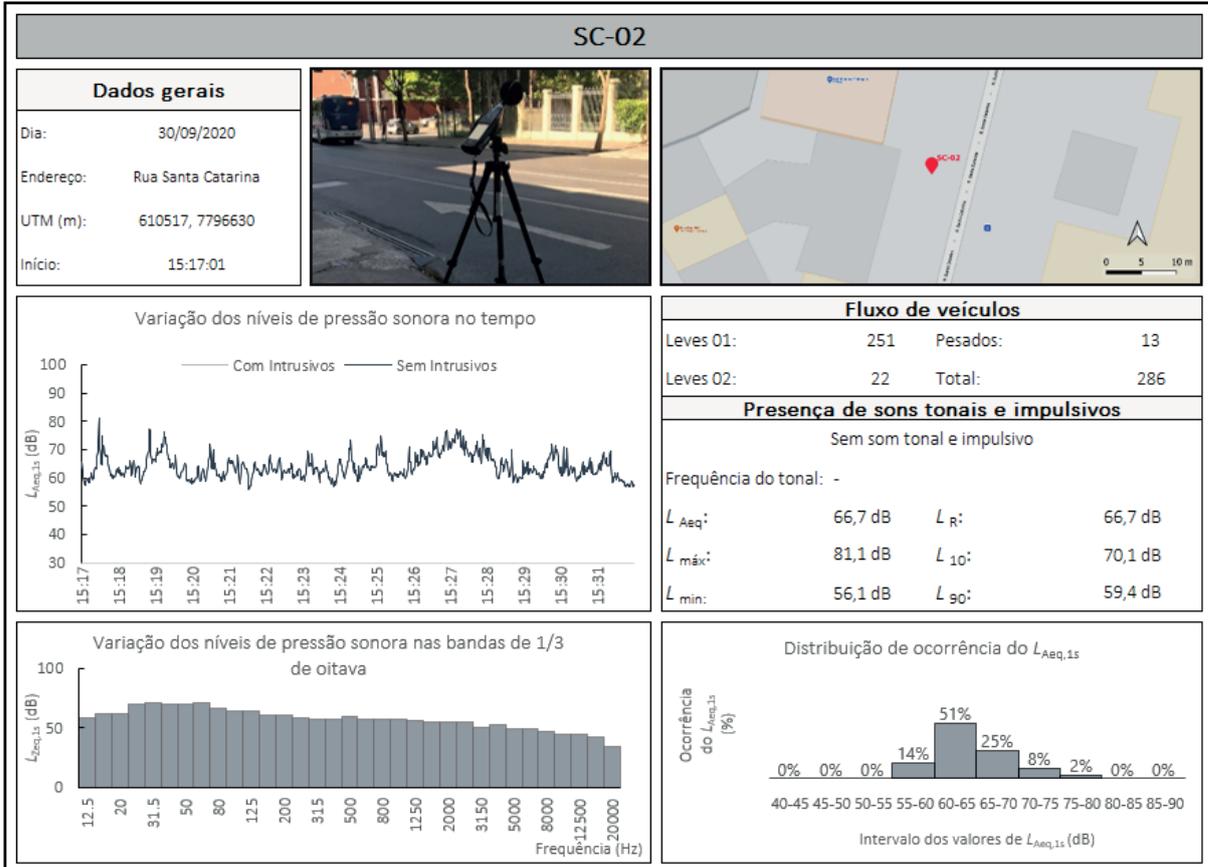


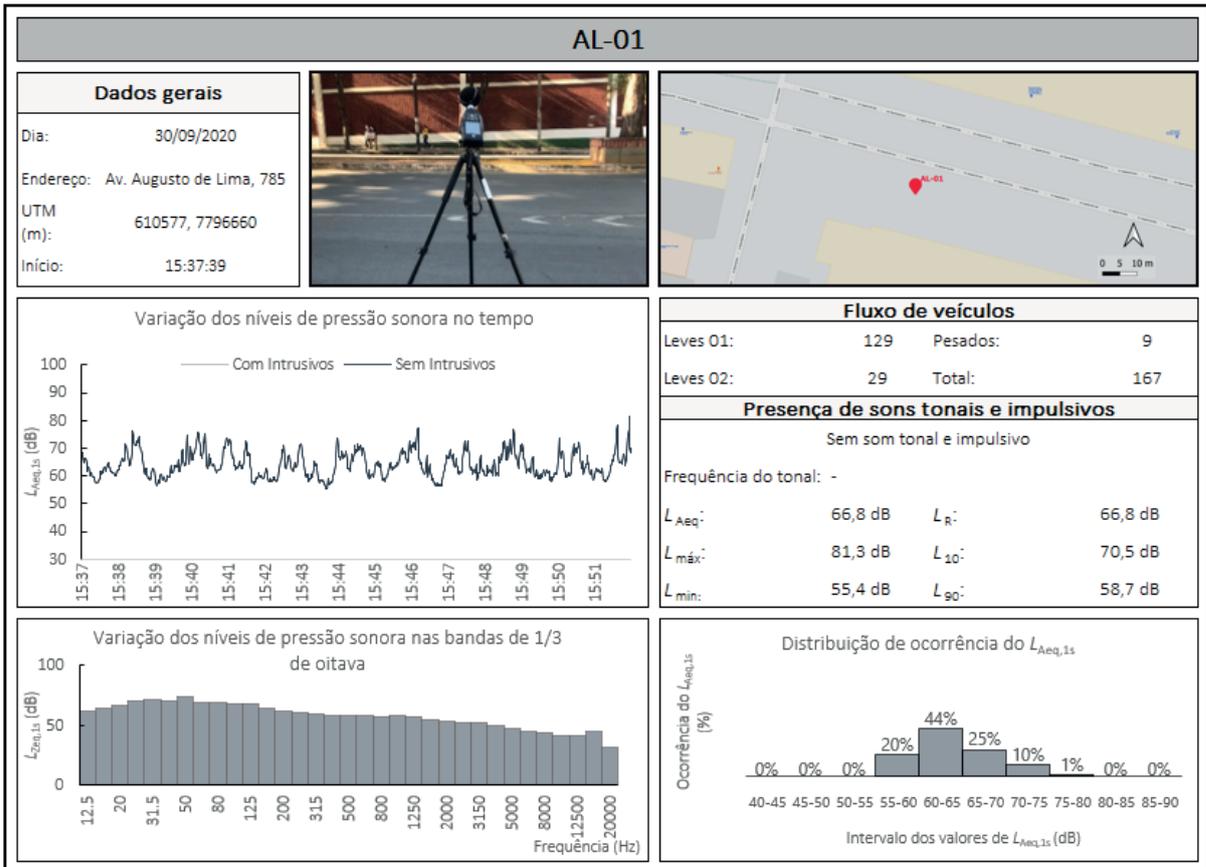


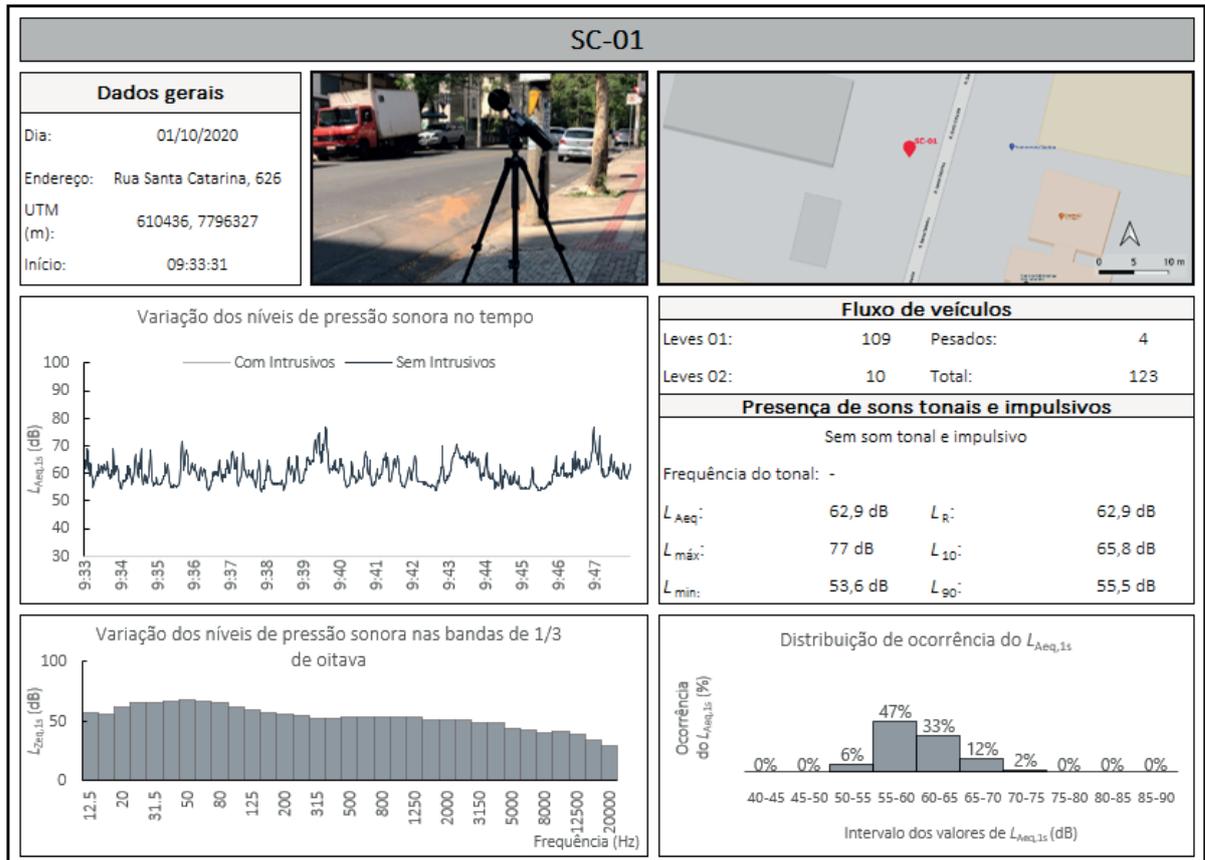








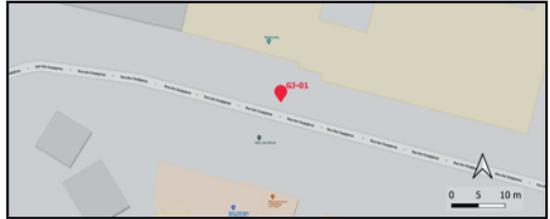




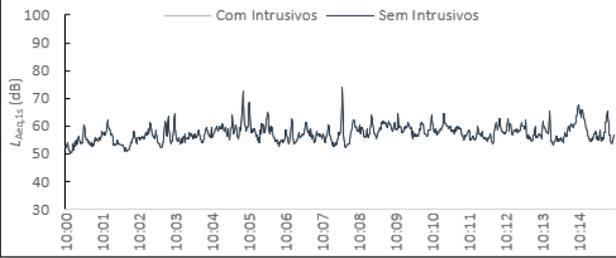
GJ-01

Dados gerais

Dia: 01/10/2020
 Endereço: Rua Guajajaras, 1022
 UTM (m): 610580, 7796539
 Início: 10:00:46



Variação dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves O1:	23	Pesados:	1
Leves O2:	0	Total:	24

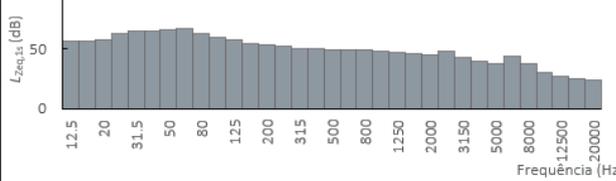
Presença de sons tonais e impulsivos

Apenas tonal

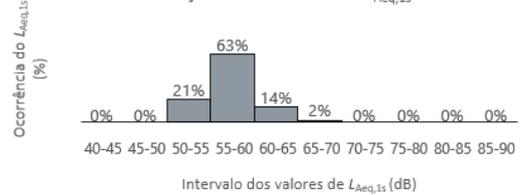
Frequência do tonal: 6300Hz

L_{Aeq} :	58,7 dB	L_R :	63,7 dB
$L_{m\acute{a}x}$:	74 dB	L_{10} :	60,8 dB
$L_{m\acute{i}n}$:	50,2 dB	L_{90} :	53,9 dB

Variação dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava



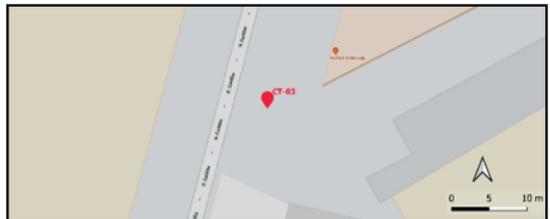
Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$



CT-03

Dados gerais

Dia: 01/10/2020
 Endereço: Rua Guajajaras, 1022
 UTM (m): 610580, 7796539
 Início: 10:29:09



Variação dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves O1:	23	Pesados:	1
Leves O2:	0	Total:	24

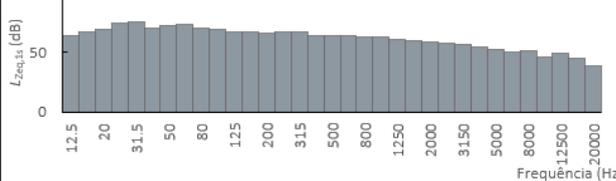
Presença de sons tonais e impulsivos

Sem som tonal e impulsivo

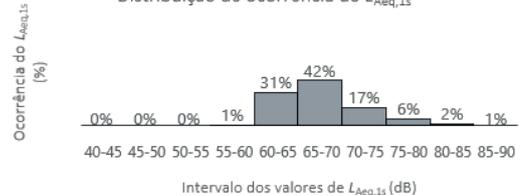
Frequência do tonal: -

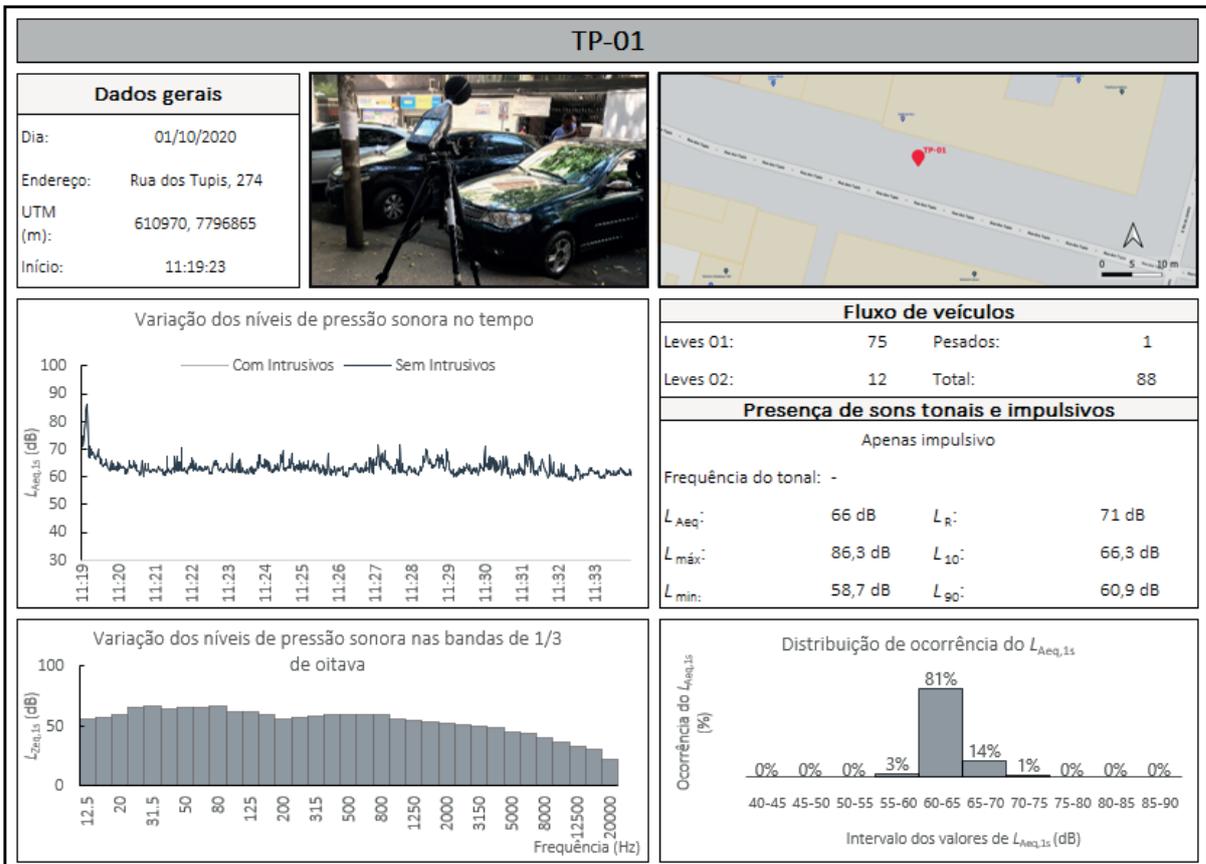
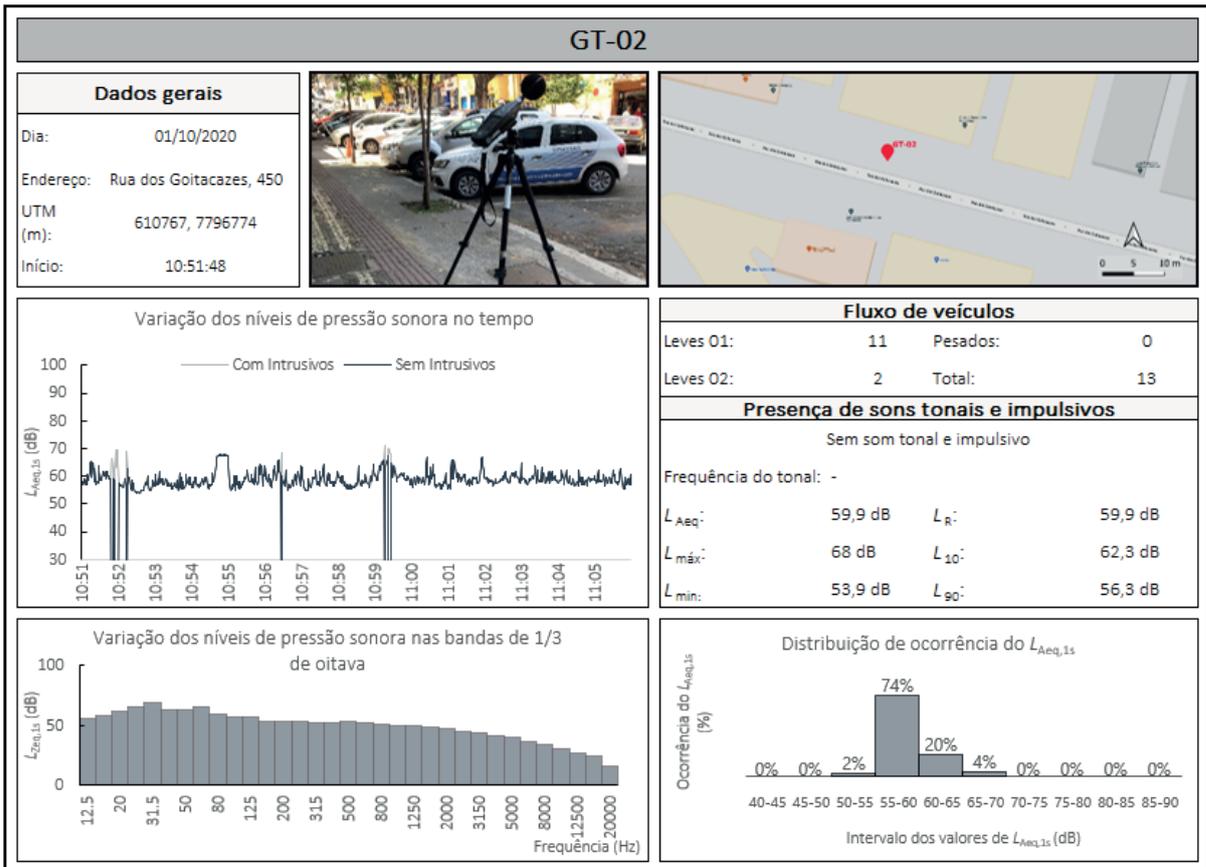
L_{Aeq} :	72 dB	L_R :	72 dB
$L_{m\acute{a}x}$:	88,2 dB	L_{10} :	74,6 dB
$L_{m\acute{i}n}$:	59,4 dB	L_{90} :	61,8 dB

Variação dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava



Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$

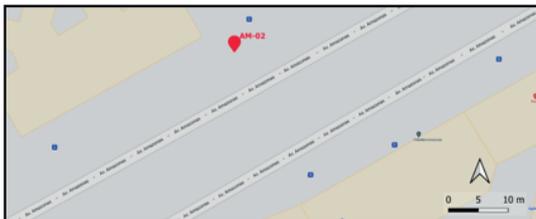




AM-02

Dados gerais

Dia: 01/10/2020
 Endereço: Av. Amazonas, 686
 UTM (m): 610826, 7796982
 Início: 14:31:52



Variação dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves O1:	183	Pesados:	30
Leves O2:	45	Total:	258

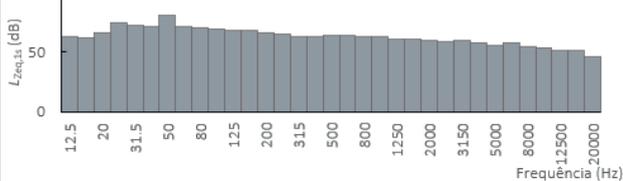
Presença de sons tonais e impulsivos

Sem som tonal e impulsivo

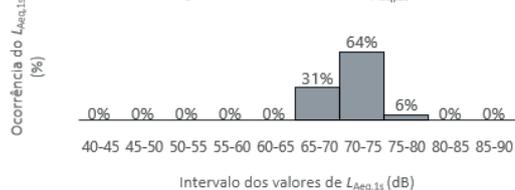
Frequência do tonal: -

L_{Aeq} :	72,6 dB	L_R :	72,6 dB
$L_{m\acute{a}x}$:	91,3 dB	L_{10} :	74,4 dB
L_{min} :	65,7 dB	L_{90} :	68,4 dB

Variação dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava



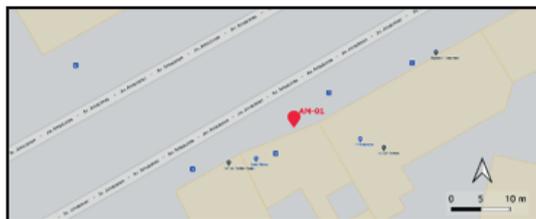
Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$



AM-01

Dados gerais

Dia: 01/10/2020
 Endereço: Av. Amazonas, 699
 UTM (m): 610833, 7796955
 Início: 14:53:54



Variação dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves O1:	186	Pesados:	31
Leves O2:	56	Total:	273

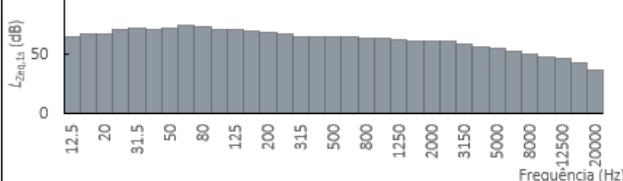
Presença de sons tonais e impulsivos

Sem som tonal e impulsivo

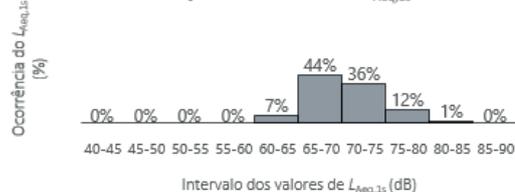
Frequência do tonal: -

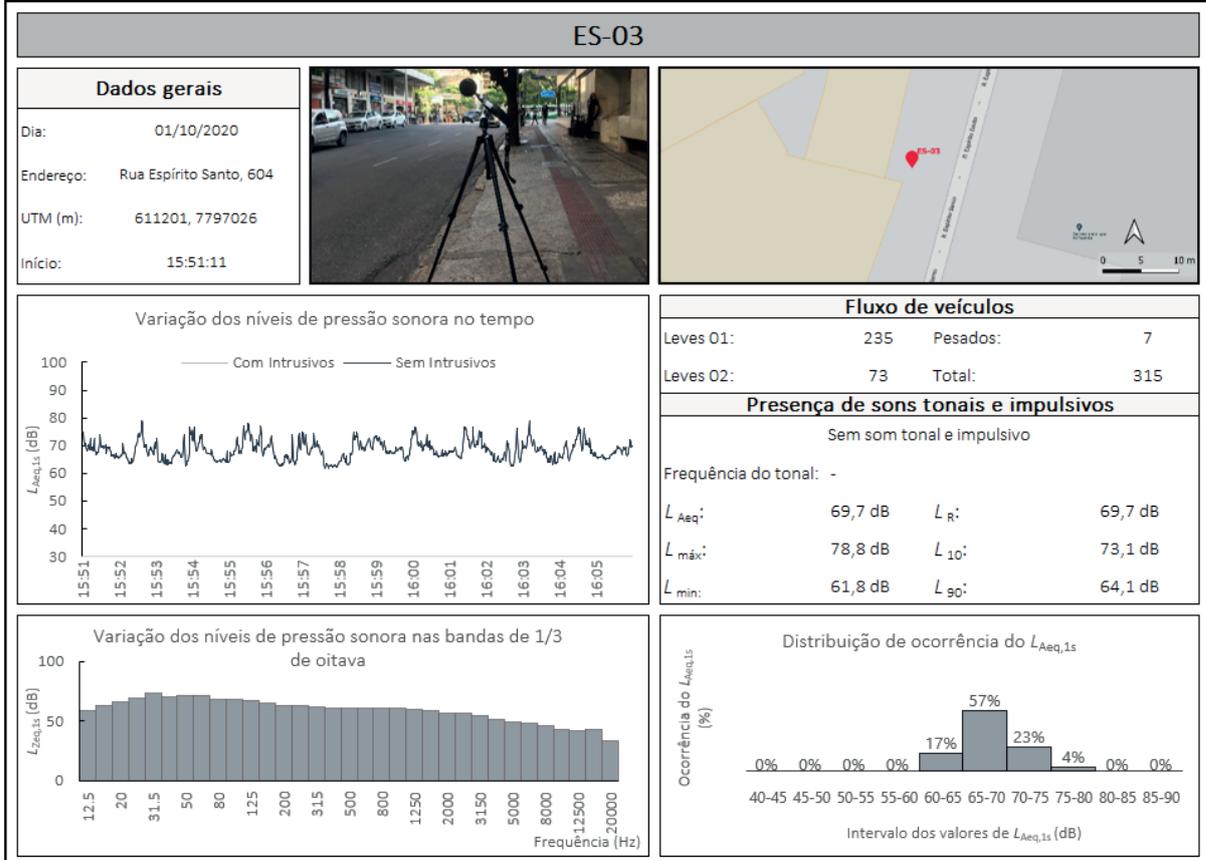
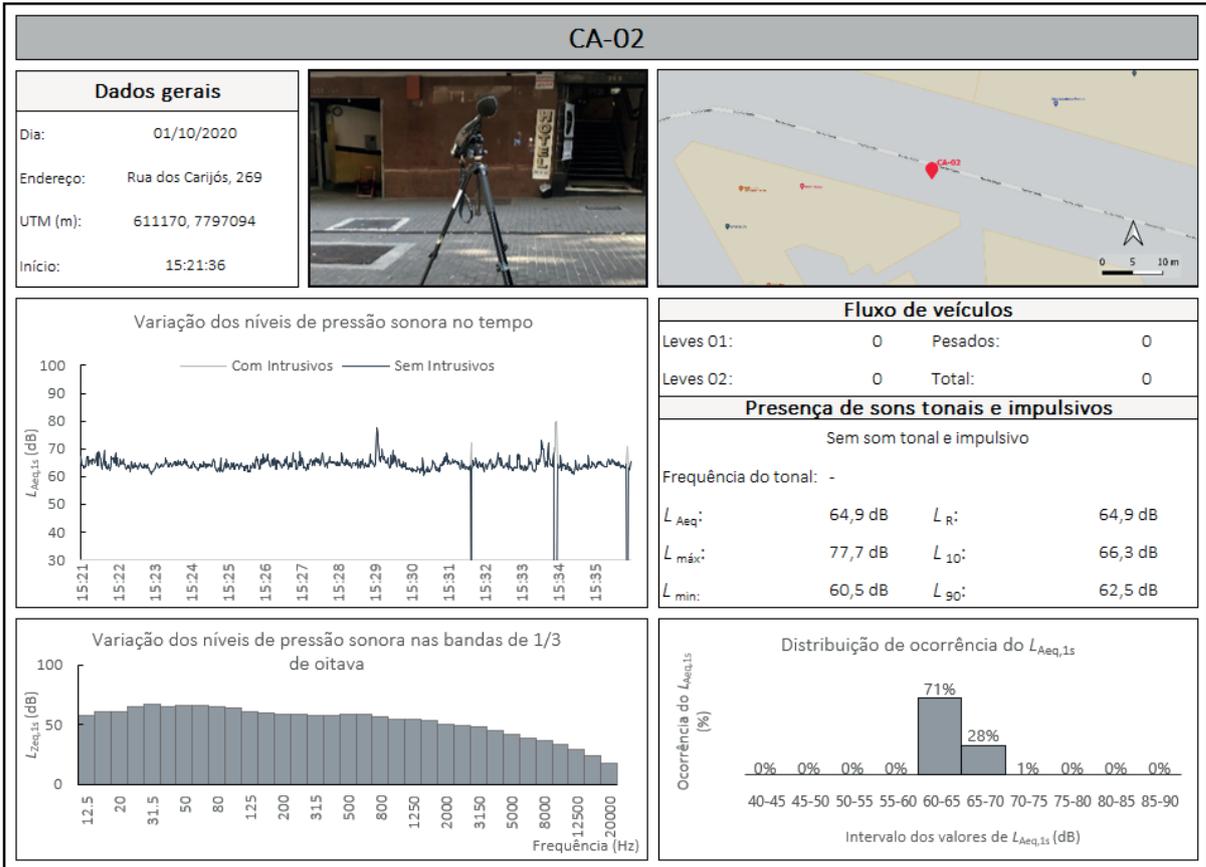
L_{Aeq} :	72,5 dB	L_R :	72,5 dB
$L_{m\acute{a}x}$:	83,9 dB	L_{10} :	76,1 dB
L_{min} :	62,6 dB	L_{90} :	65,4 dB

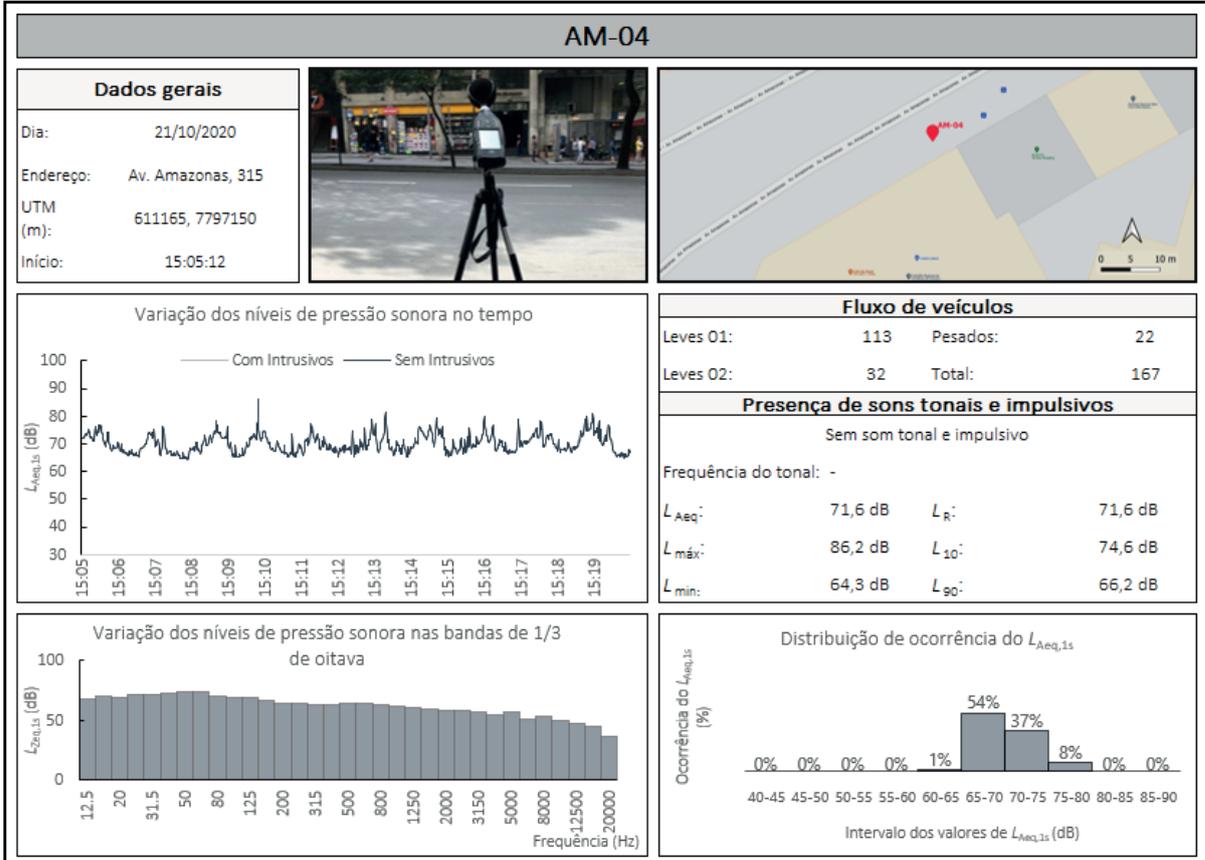
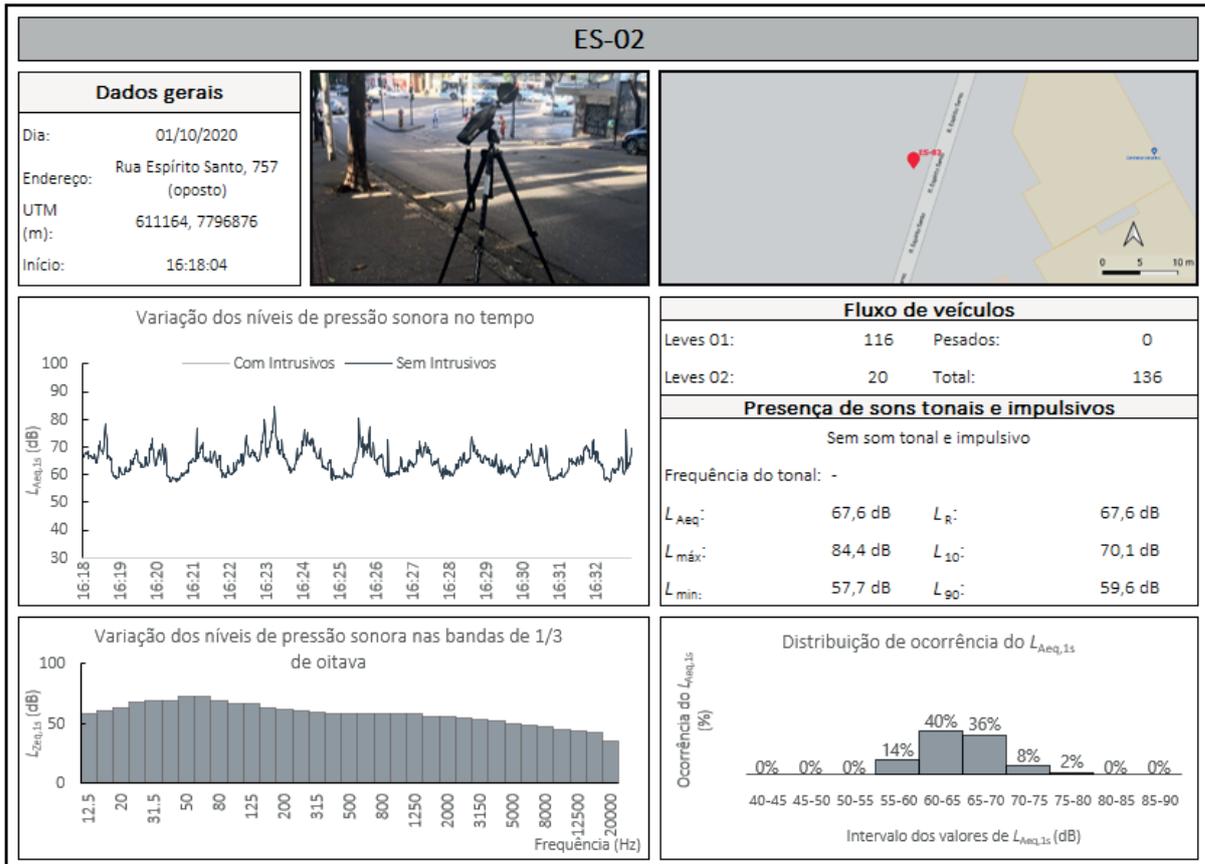
Variação dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava



Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$

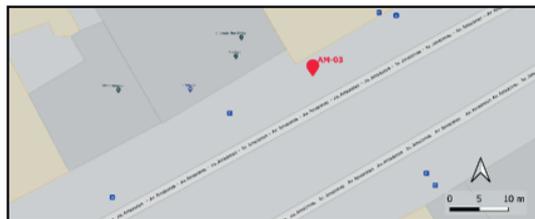






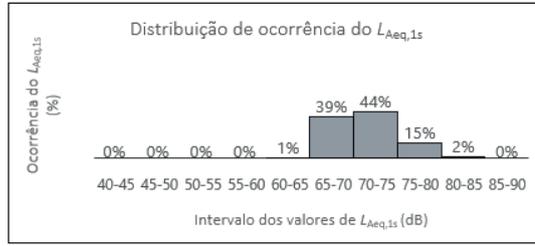
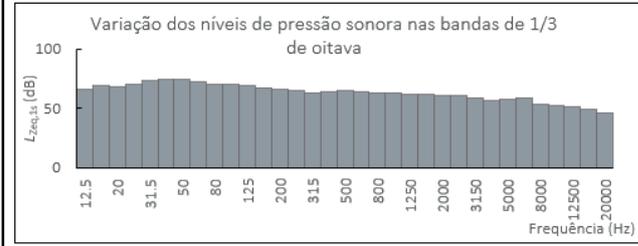
AM-03

Dados gerais	
Dia:	21/10/2020
Endereço:	Av. Amazonas, 286
UTM (m):	611179, 7797187
Início:	15:28:07



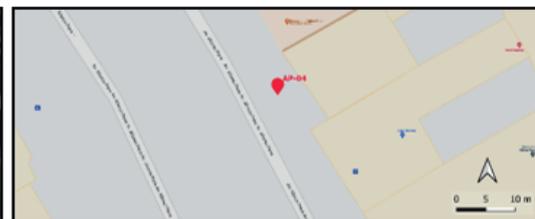
Fluxo de veículos			
Leves 01:	263	Pesados:	31
Leves 02:	54	Total:	348

Presença de sons tonais e impulsivos			
Sem som tonal e impulsivo			
Frequência do tonal: -			
L_{Aeq} :	73,1 dB	L_R :	73,1 dB
$L_{m\acute{a}x}$:	87,1 dB	L_{10} :	76,2 dB
L_{min} :	63,8 dB	L_{90} :	67,2 dB



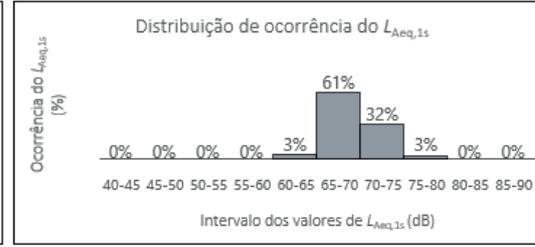
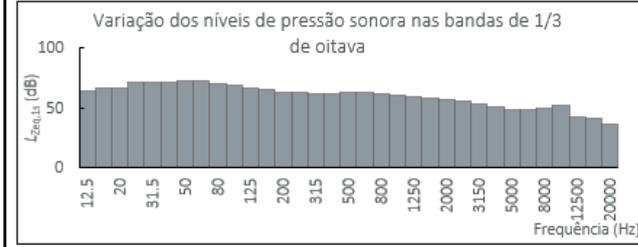
AP-04

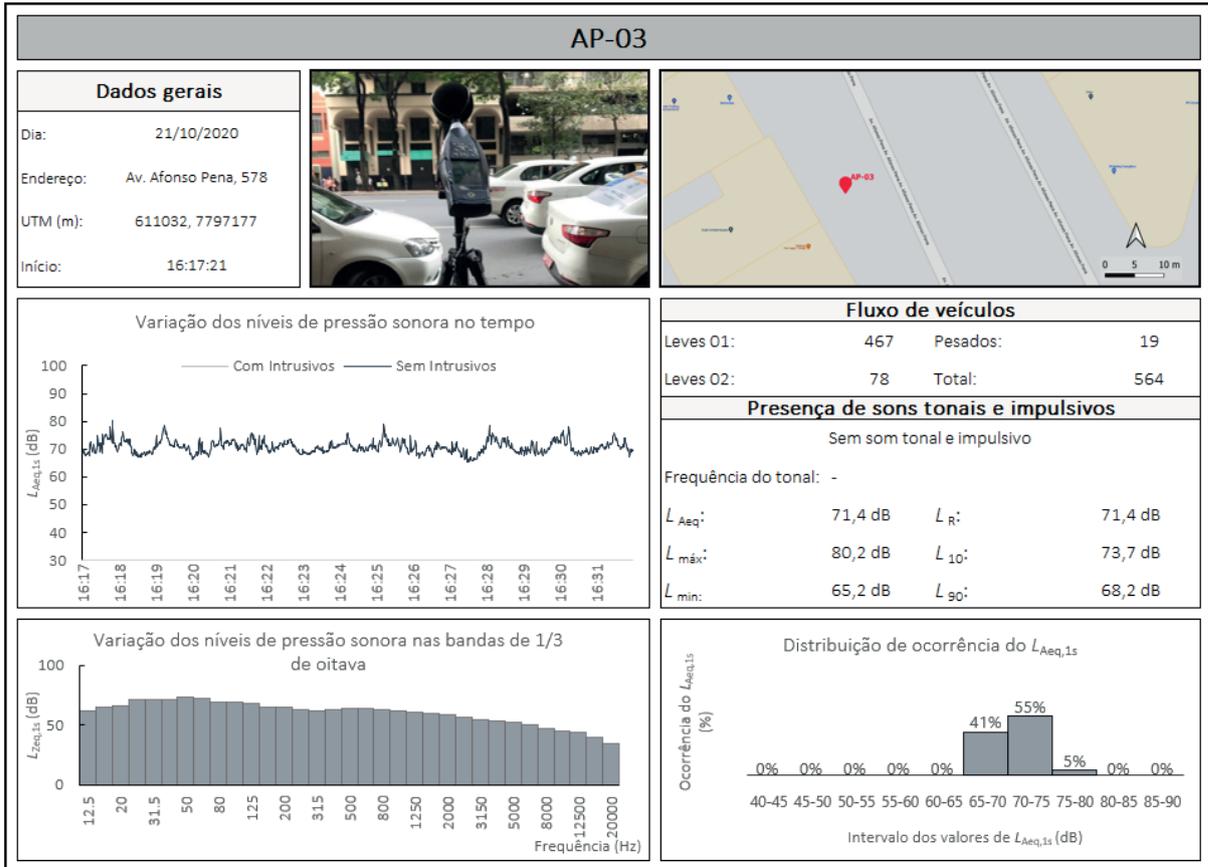
Dados gerais	
Dia:	21/10/2020
Endereço:	Av. Afonso Pena, 559
UTM (m):	611051, 7797215
Início:	15:52:45

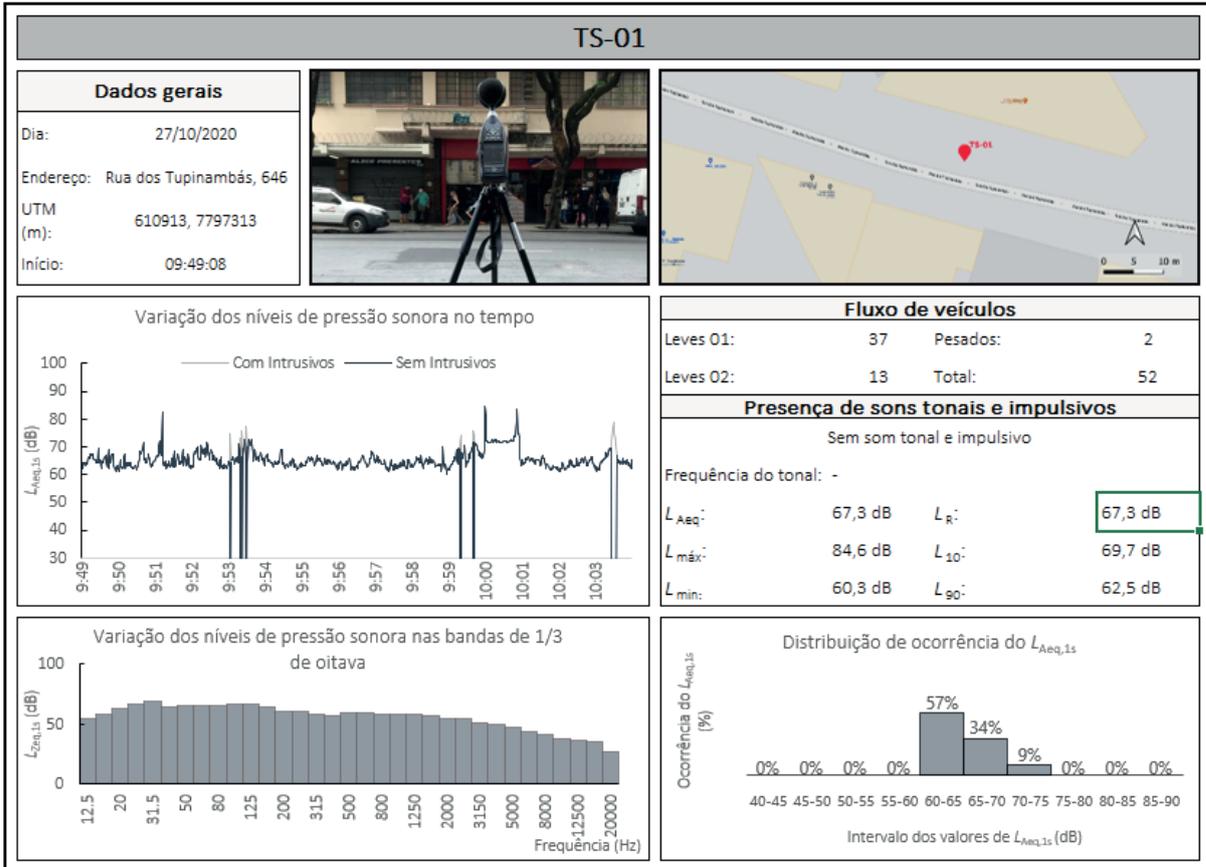


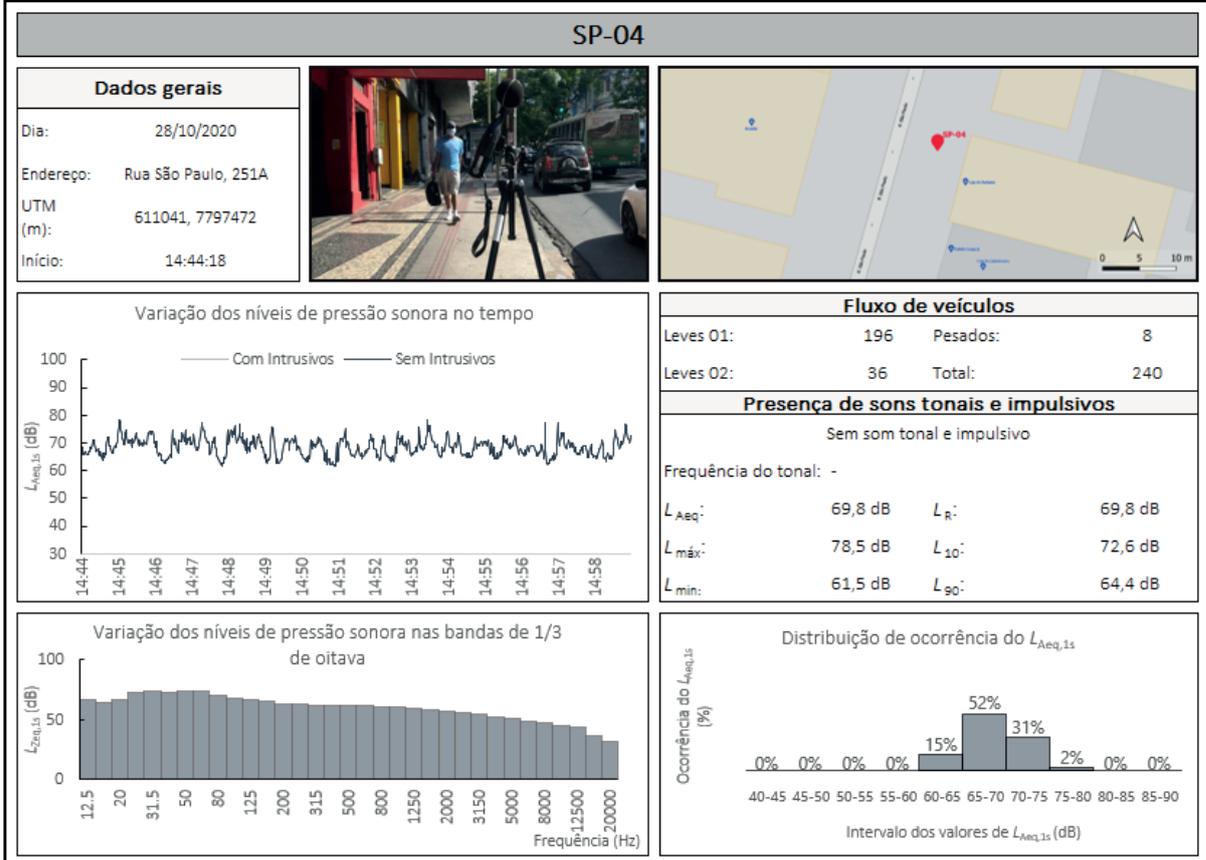
Fluxo de veículos			
Leves 01:	467	Pesados:	30
Leves 02:	68	Total:	565

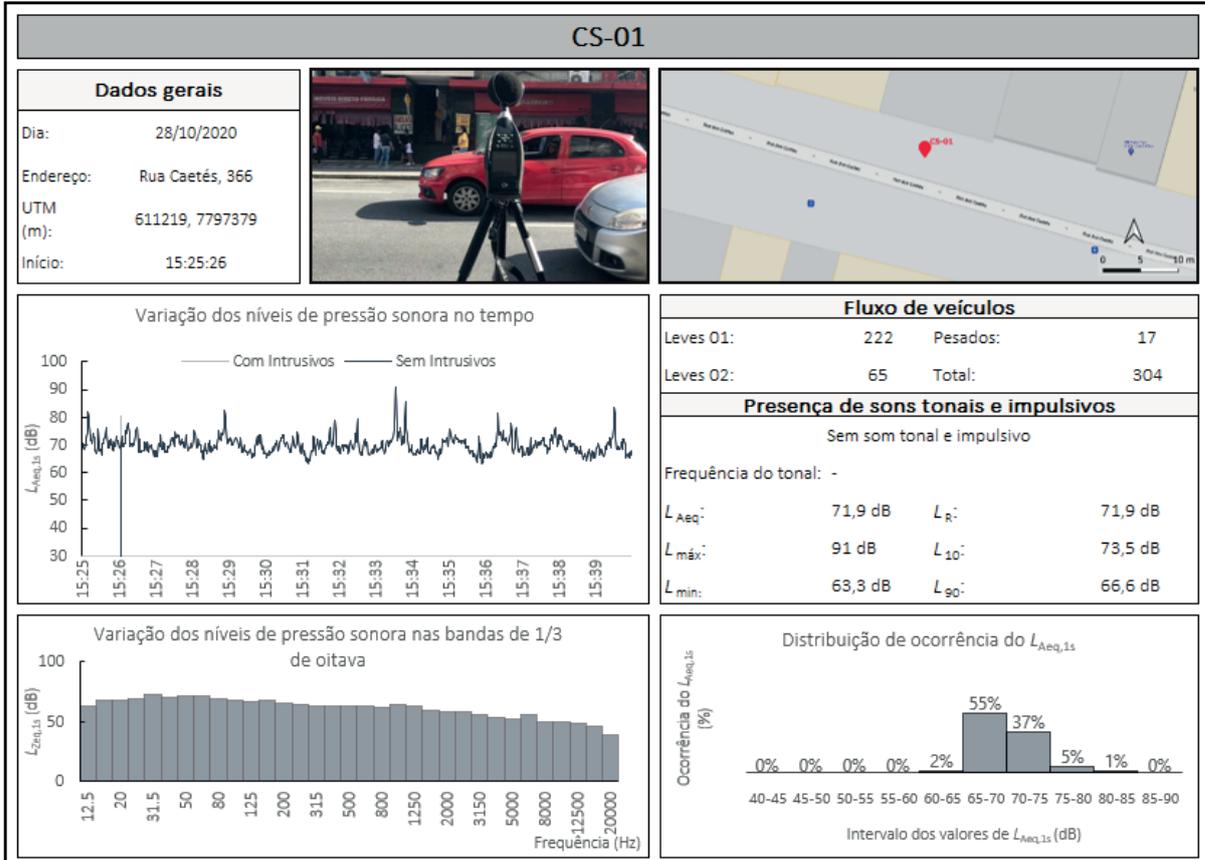
Presença de sons tonais e impulsivos			
Sem som tonal e impulsivo			
Frequência do tonal: -			
L_{Aeq} :	69,9 dB	L_R :	69,9 dB
$L_{m\acute{a}x}$:	77,2 dB	L_{10} :	72,3 dB
L_{min} :	63,7 dB	L_{90} :	65,9 dB

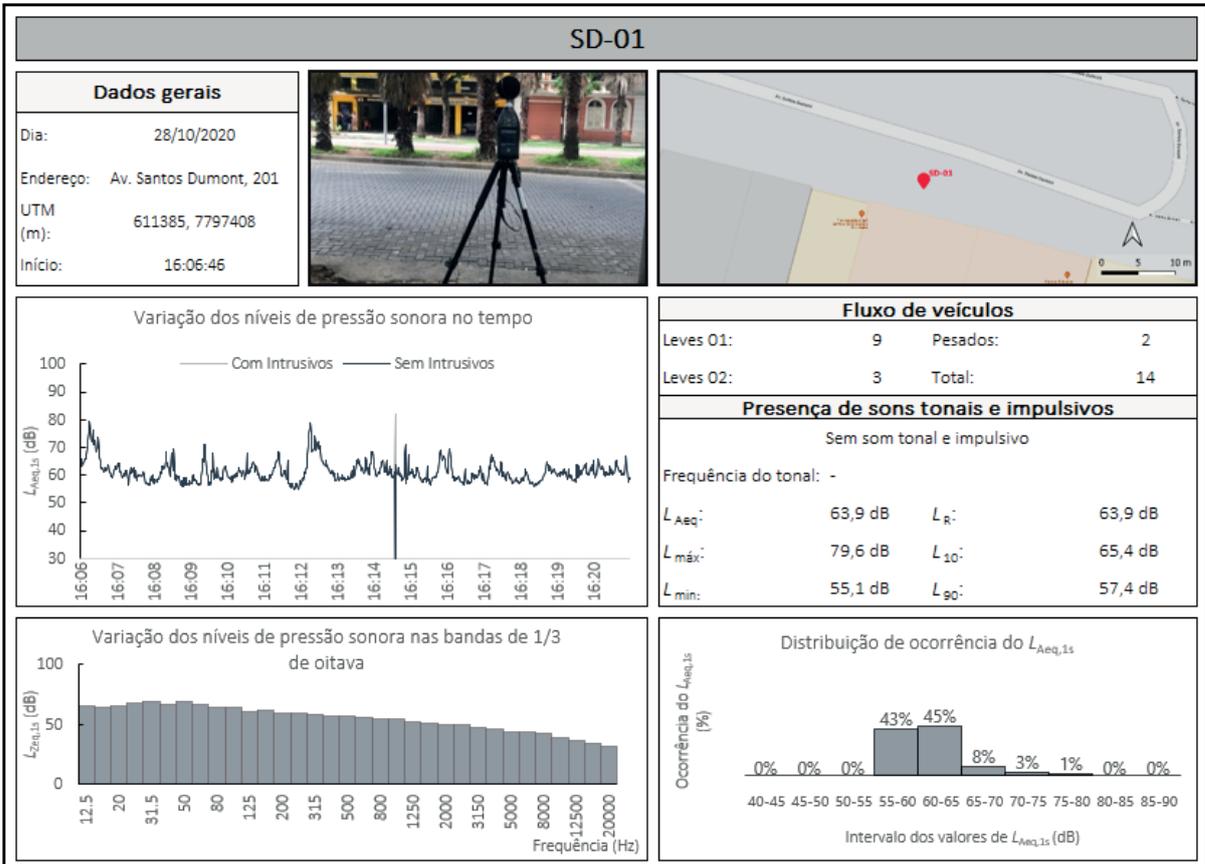
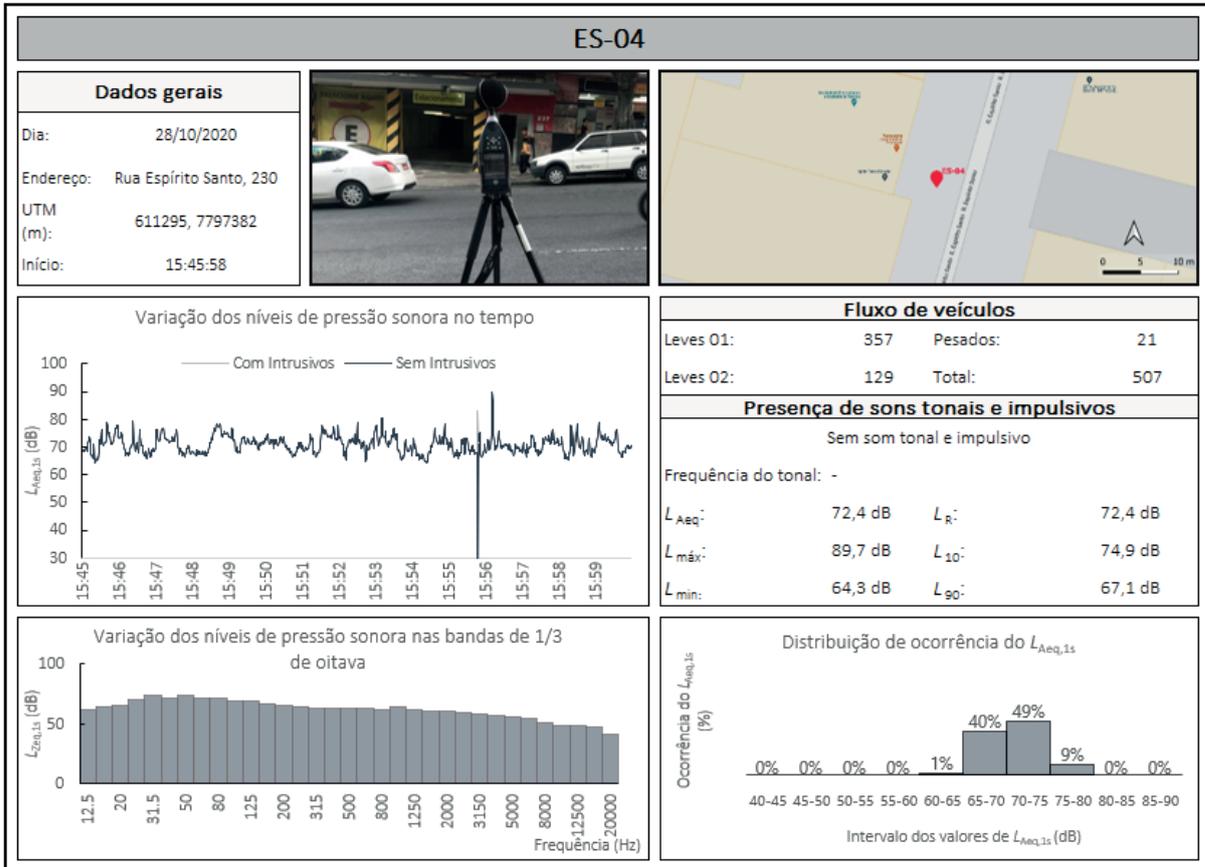


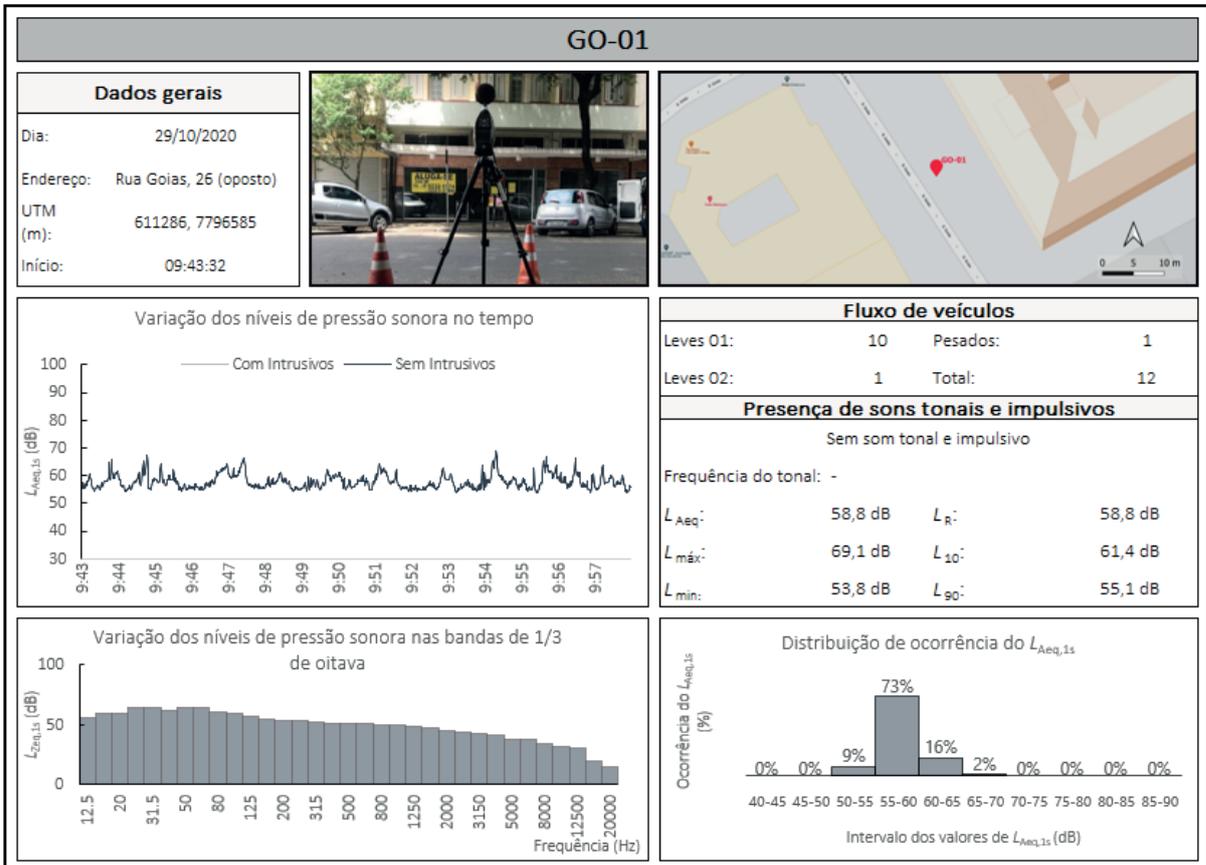
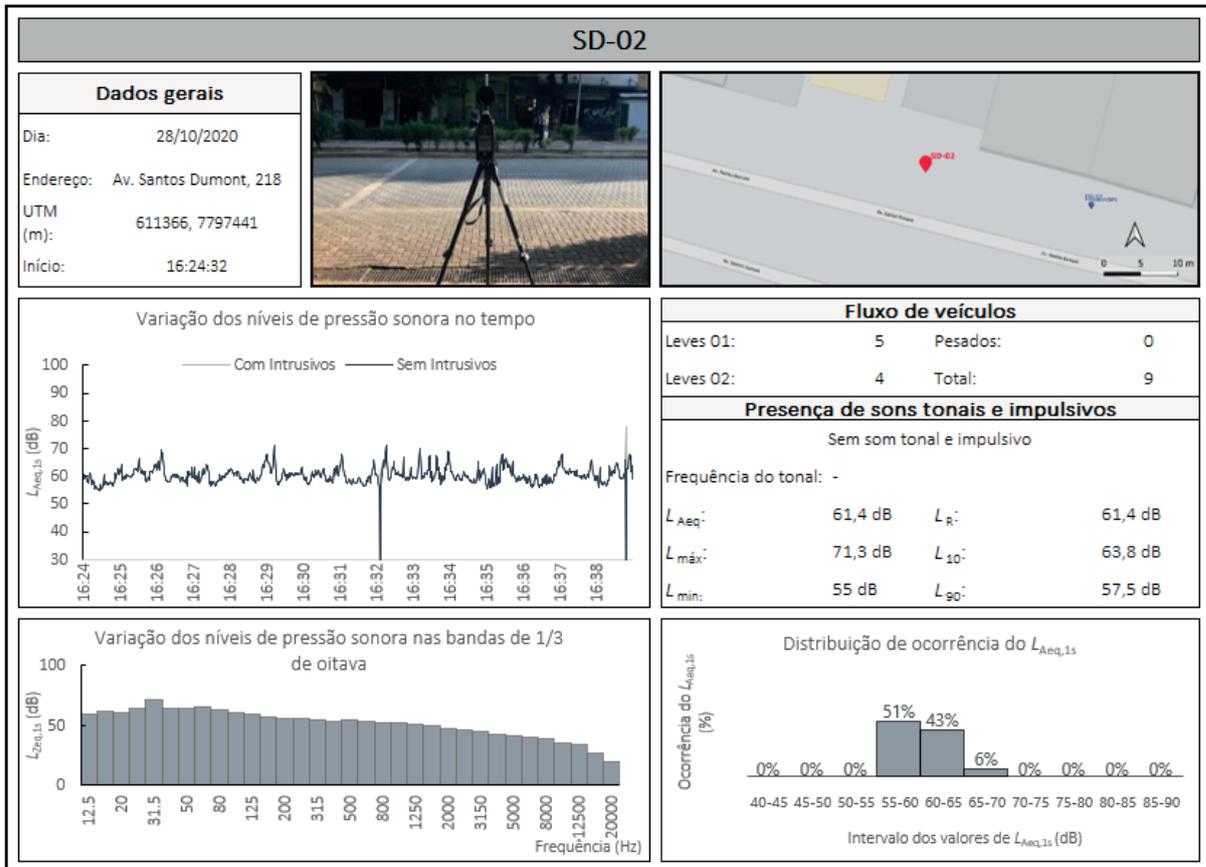


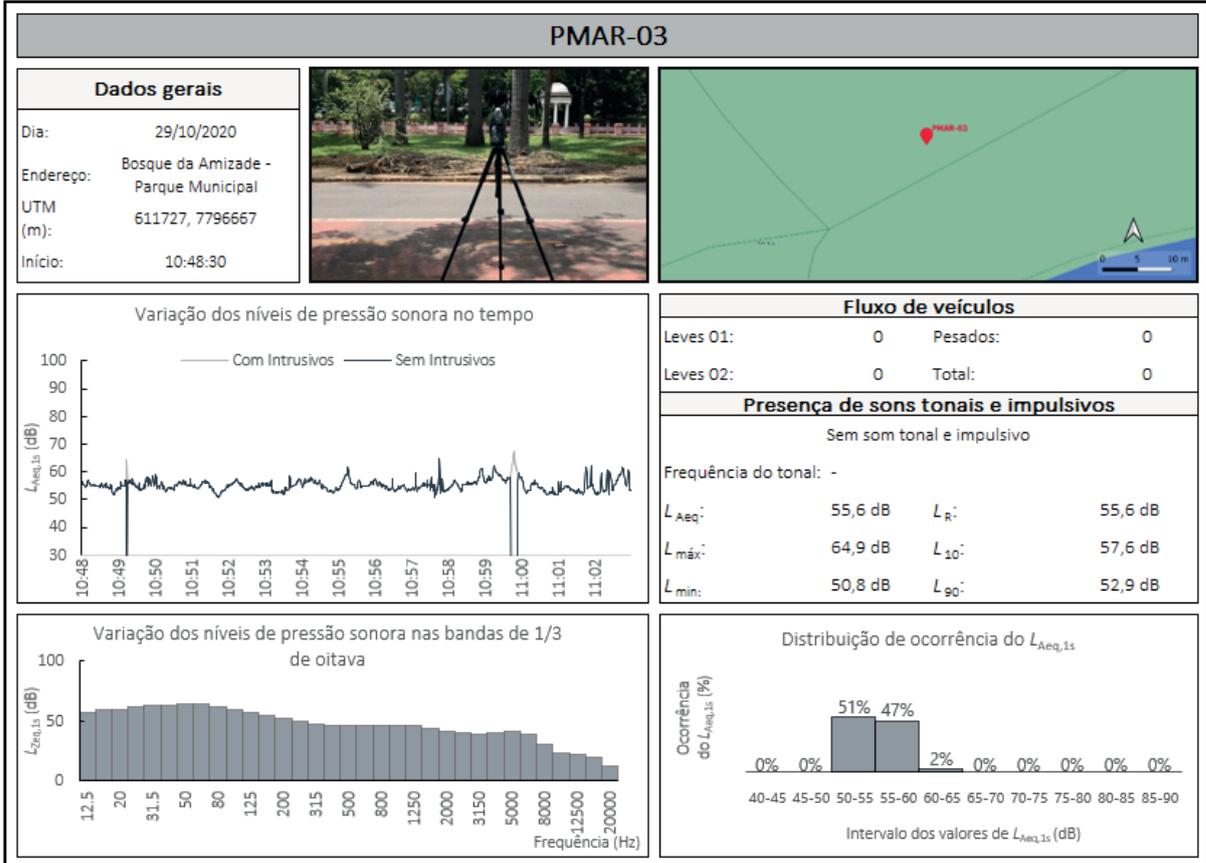
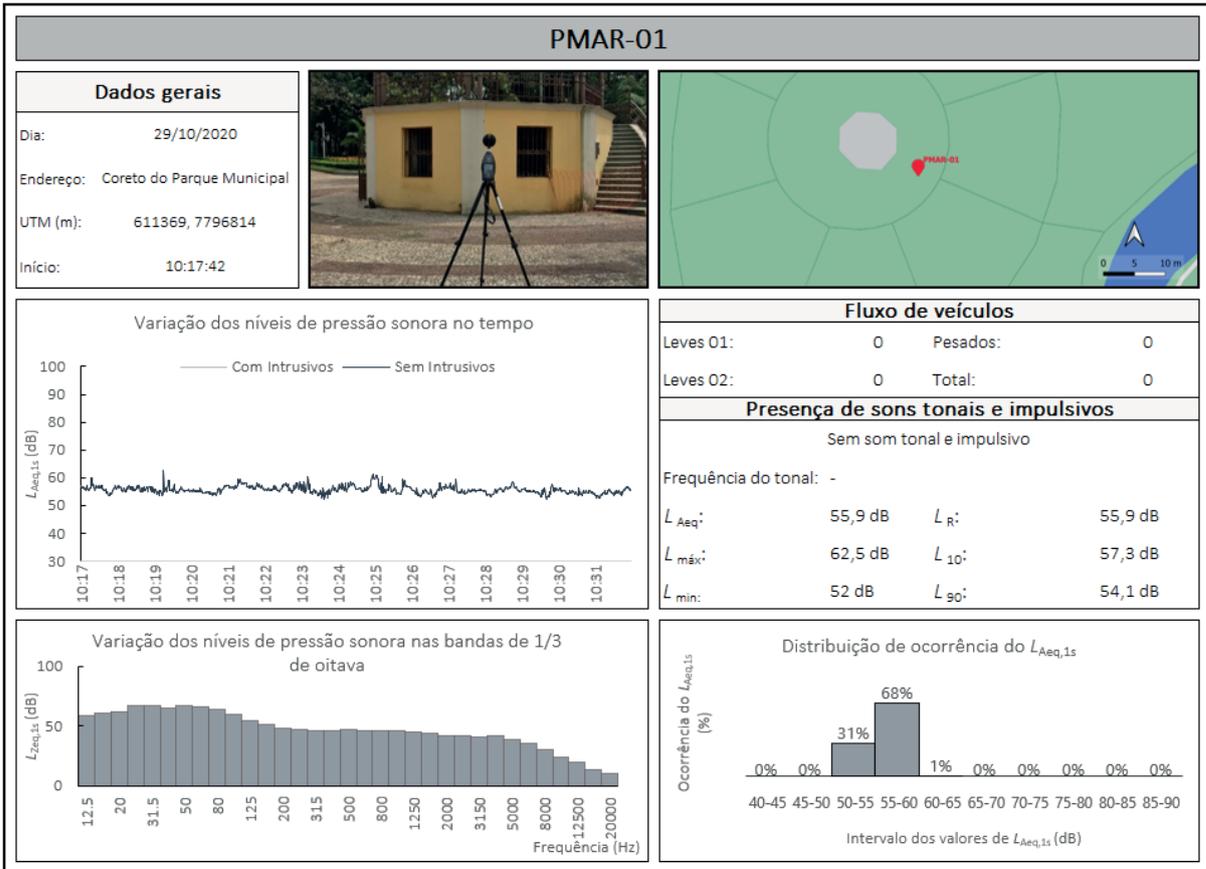


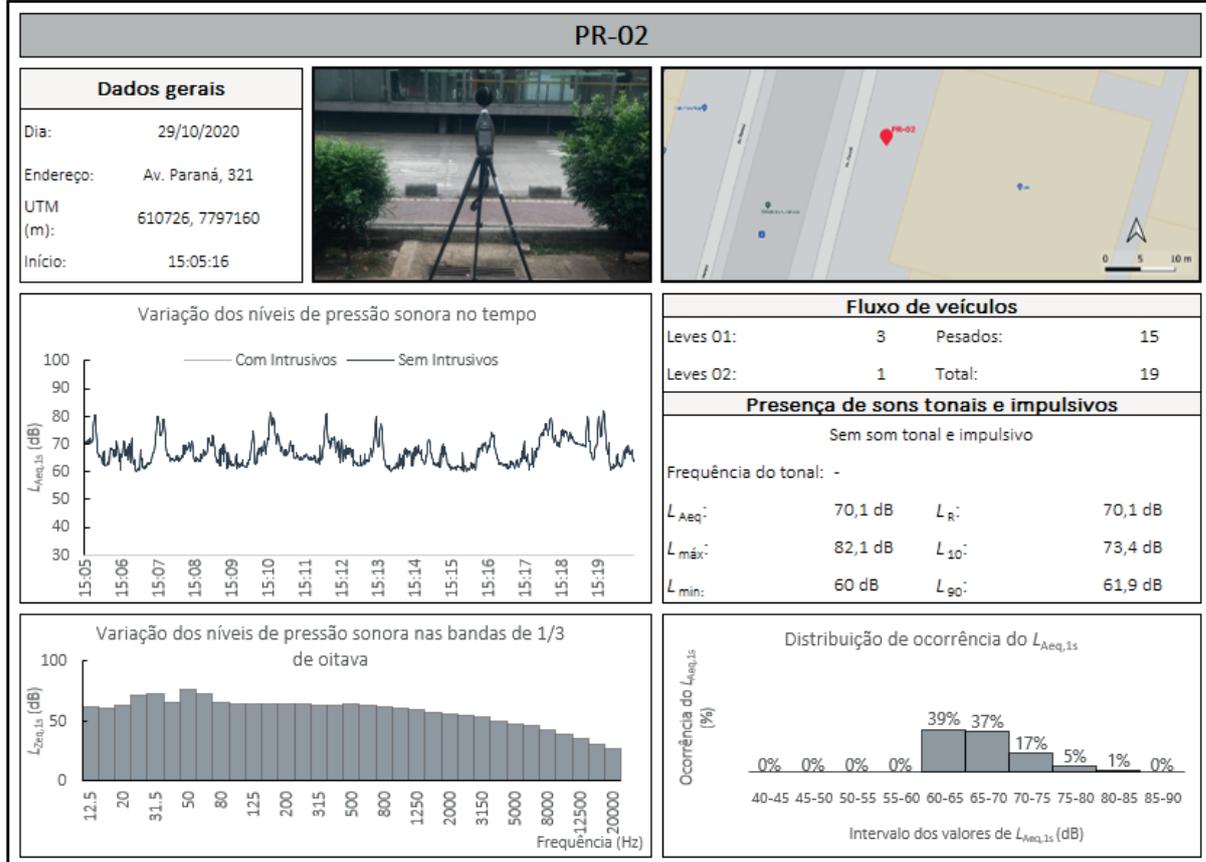
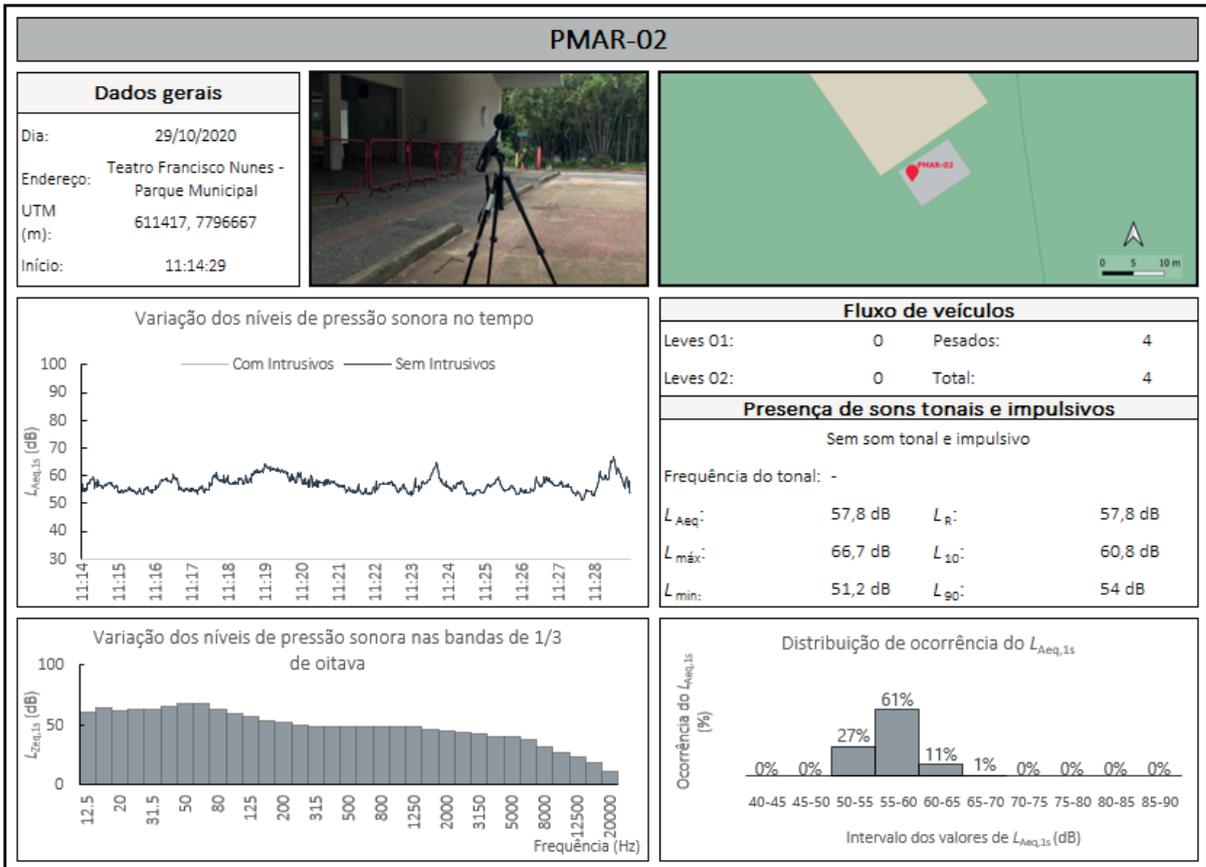






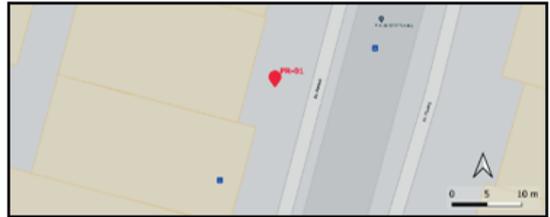






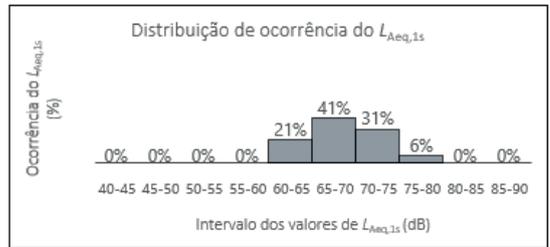
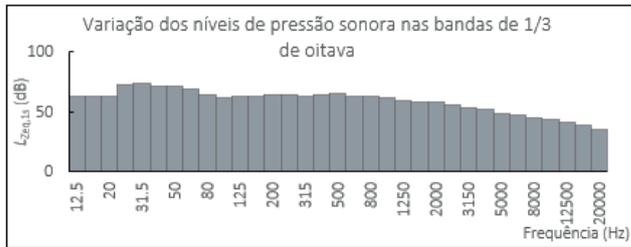
PR-01

Dados gerais	
Dia:	29/10/2020
Endereço:	Av. Paraná, 344
UTM (m):	610694, 7797142
Início:	15:25:34



Fluxo de veículos			
Leves O1:	1	Pesados:	15
Leves O2:	1	Total:	17

Presença de sons tonais e impulsivos			
Sem som tonal e impulsivo			
Frequência do tonal: -			
L_{Aeq} :	70,8 dB	L_R :	70,8 dB
$L_{m\acute{a}x}$:	84,1 dB	L_{10} :	73,5 dB
$L_{m\acute{i}n}$:	59,6 dB	L_{90} :	62,9 dB



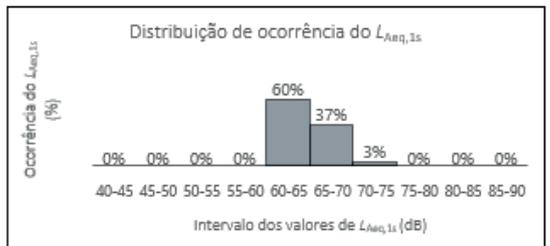
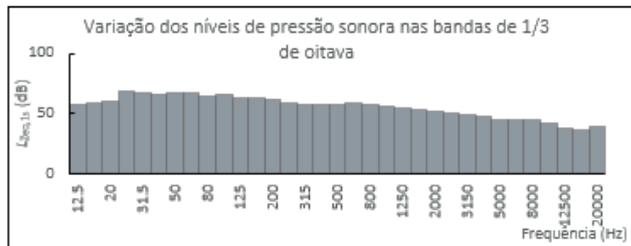
CA-01

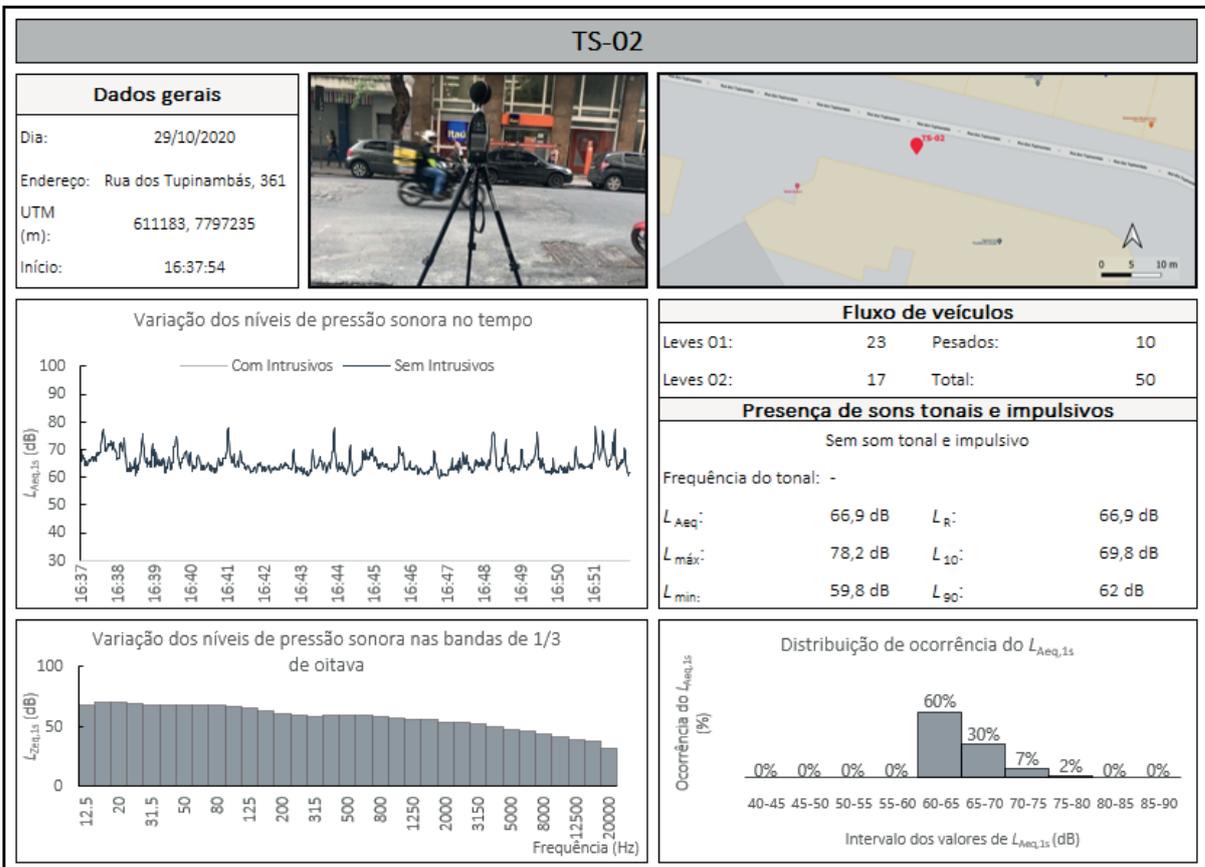
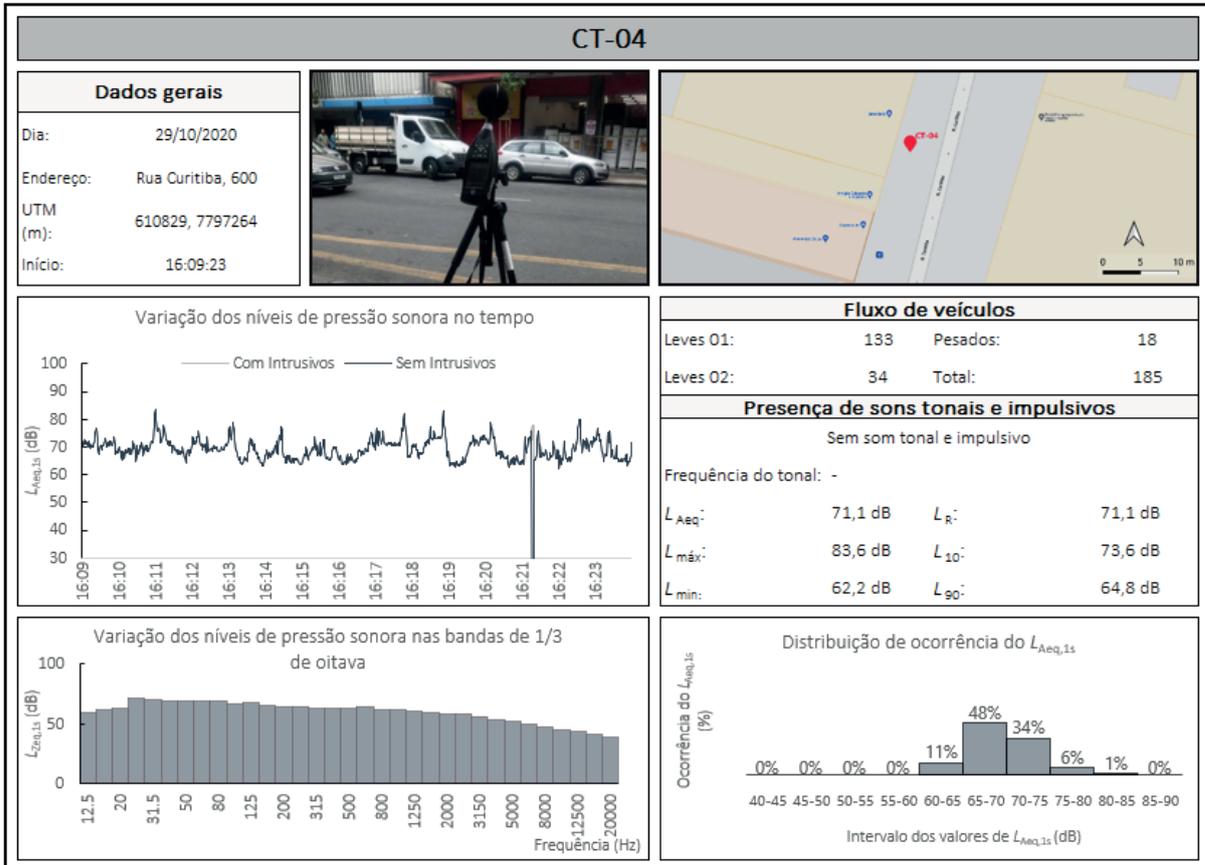
Dados gerais	
Dia:	29/10/2020
Endereço:	Rua dos Carijós, 836
UTM (m):	610602, 7797252
Início:	15:46:48

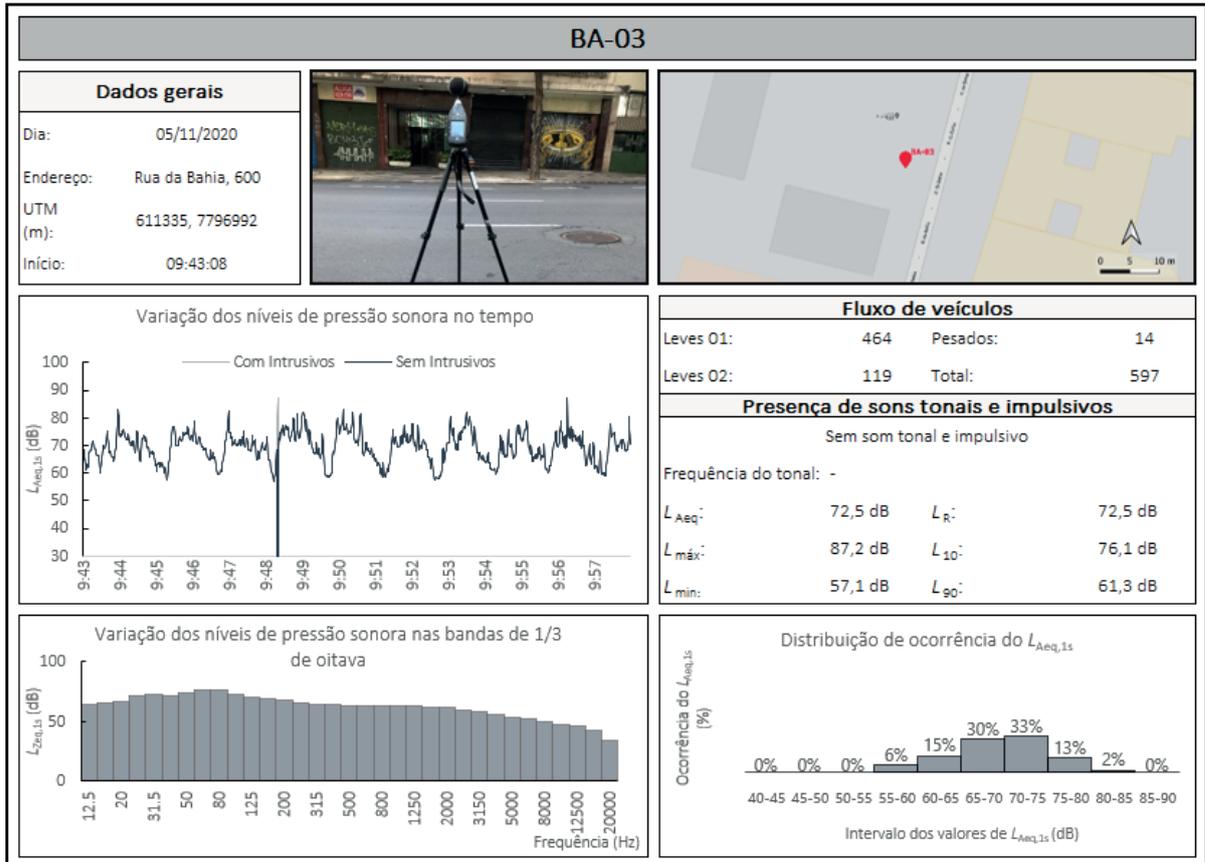


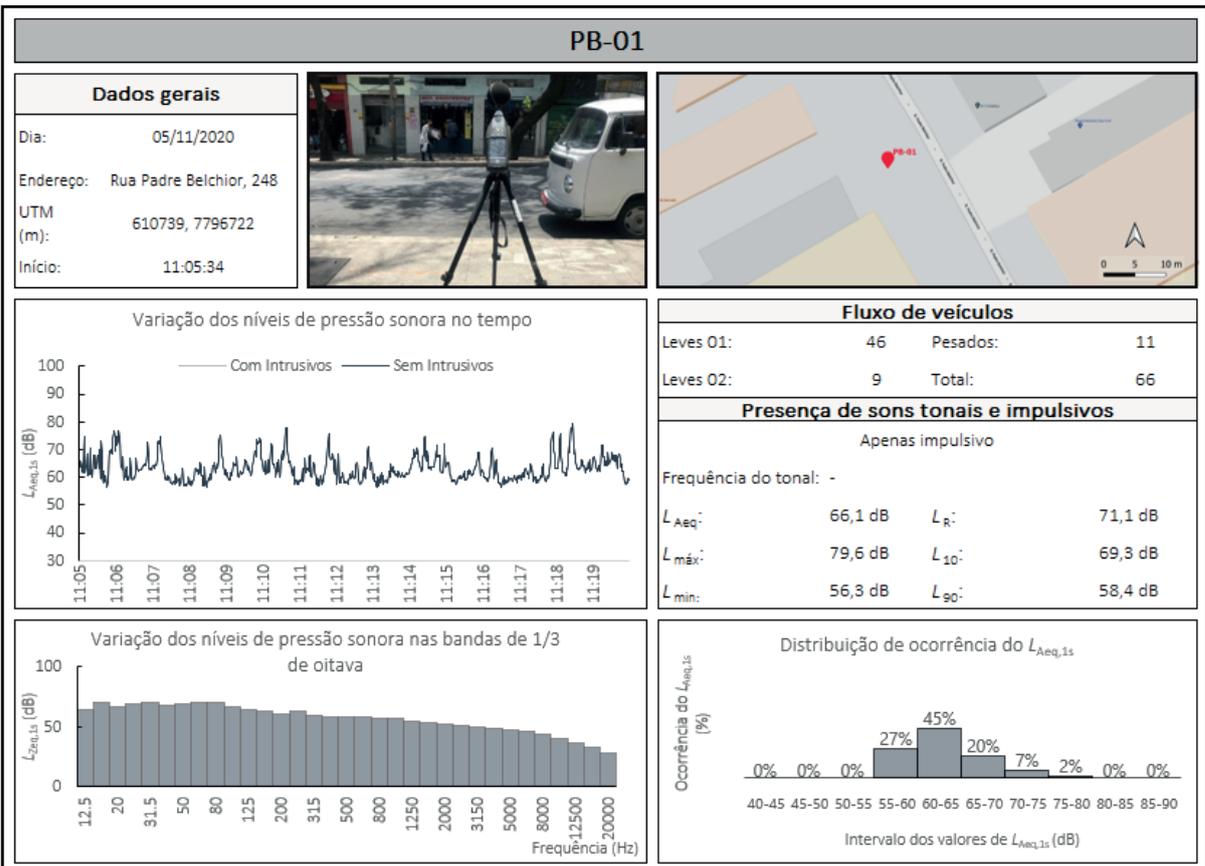
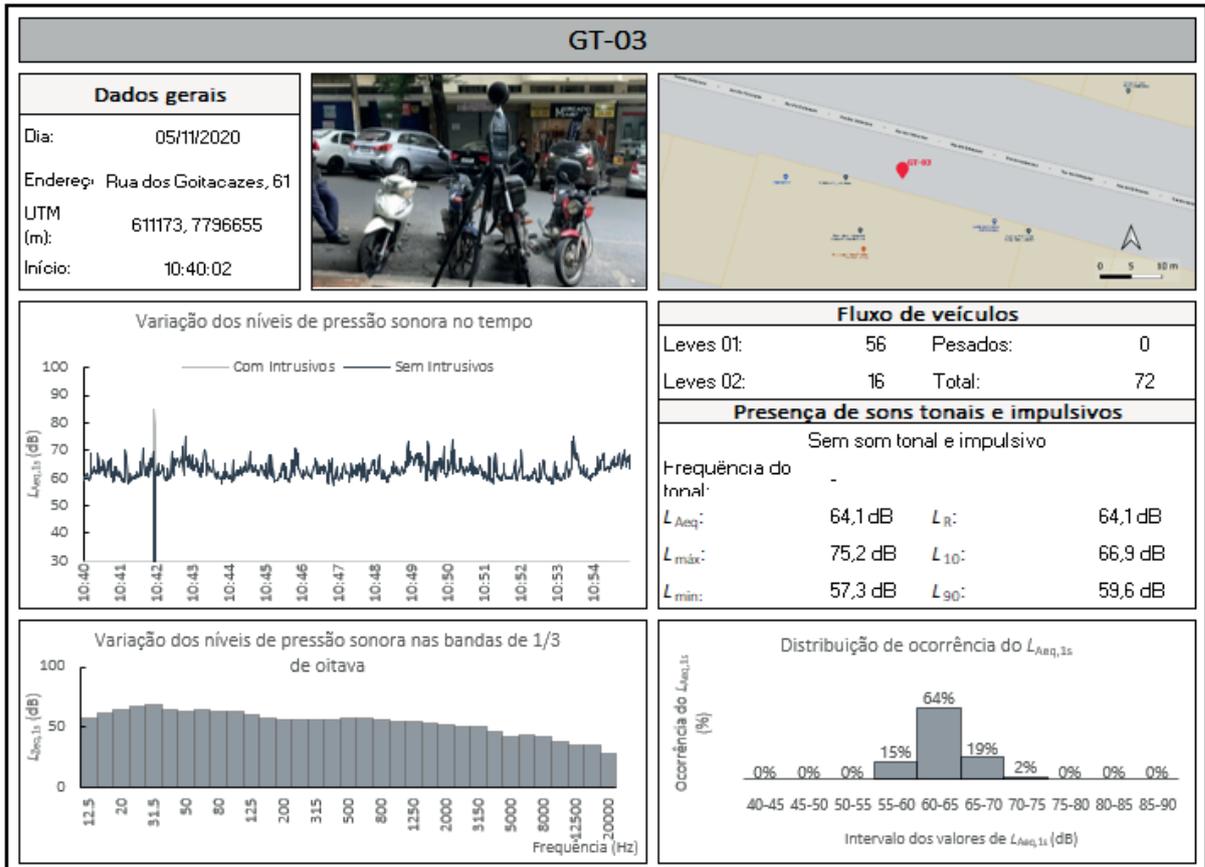
Fluxo de veículos			
Leves O1:	33	Pesados:	4
Leves O2:	13	Total:	50

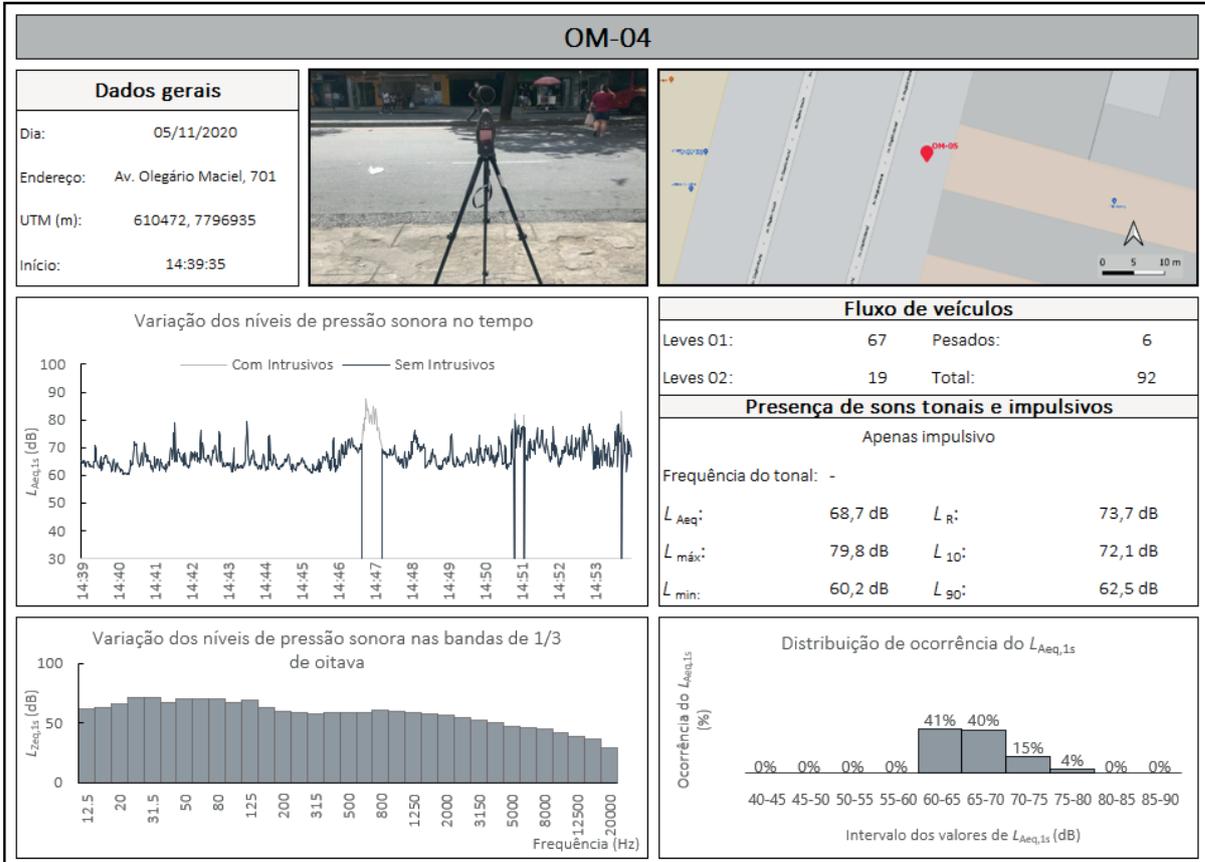
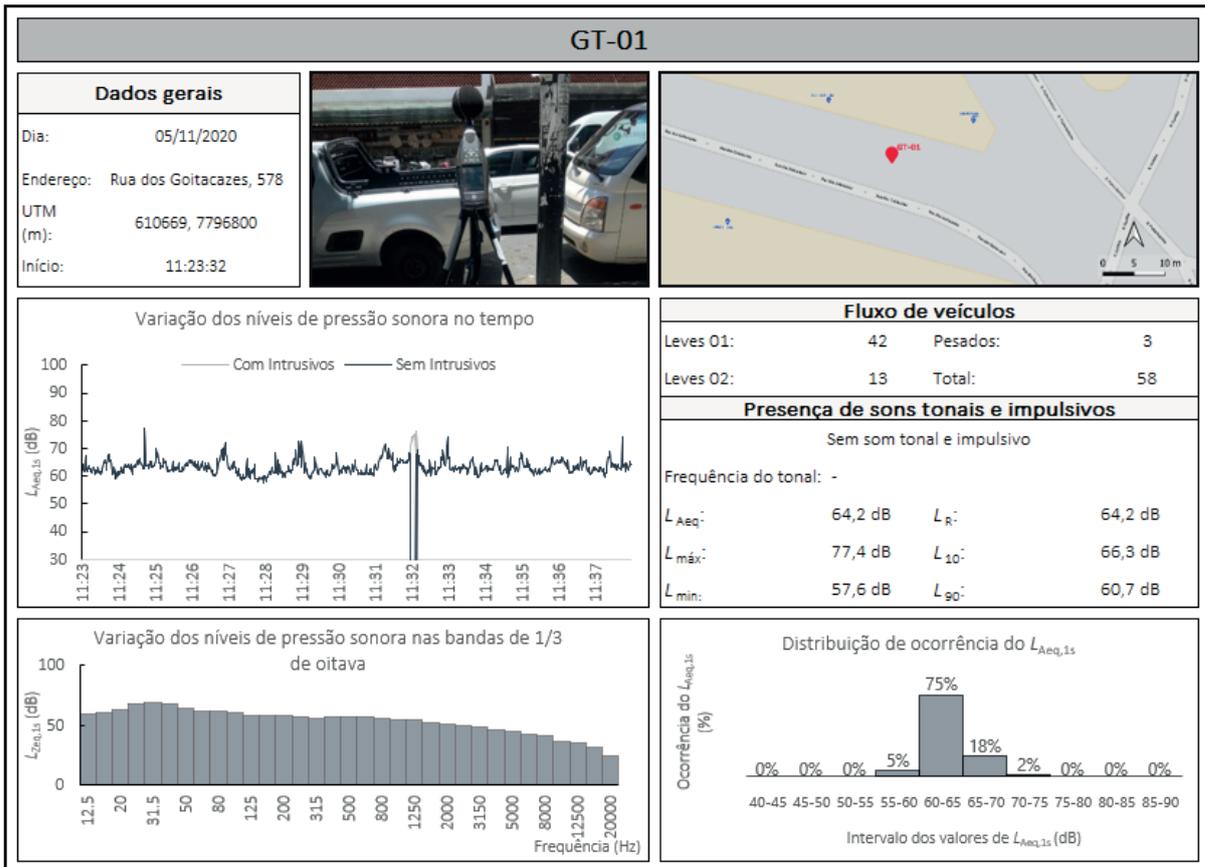
Presença de sons tonais e impulsivos			
Sem som tonal e impulsivo			
Frequência do tonal: -			
L_{Aeq} :	65,5 dB	L_R :	65,5 dB
$L_{m\acute{a}x}$:	74,5 dB	L_{10} :	67,7 dB
$L_{m\acute{i}n}$:	59,8 dB	L_{90} :	62,5 dB







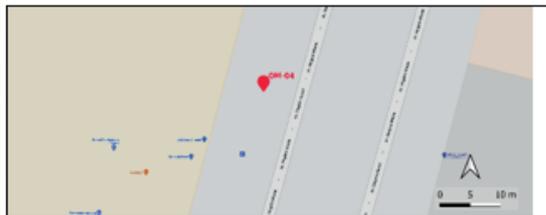




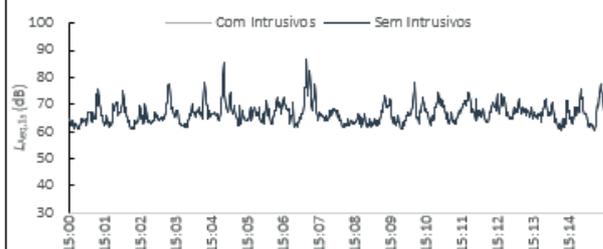
OM-03

Dados gerais

Dia: 05/11/2020
 Endereço: Av. Olegário Maciel, 714
 UTM (m): 610451, 7796962
 Início: 15:00:46



Variação dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves 01:	131	Pesados:	17
Leves 02:	37	Total:	185

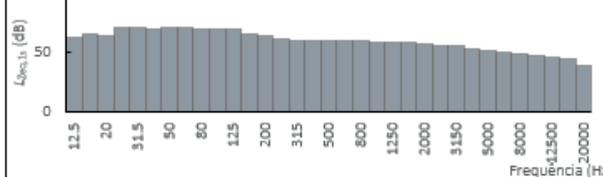
Presença de sons tonais e impulsivos

Sem som tonal e impulsivo

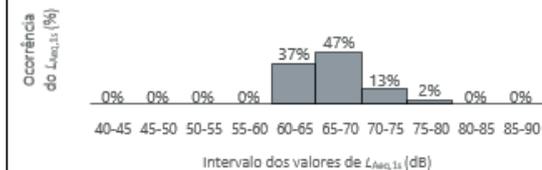
Frequência do tonal: -

L_{Aeq} :	69,1 dB	L_R :	69,1 dB
$L_{m\acute{a}x}$:	86,8 dB	L_{10} :	71,3 dB
$L_{m\acute{i}n}$:	60,5 dB	L_{90} :	62,6 dB

Variação dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava



Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$



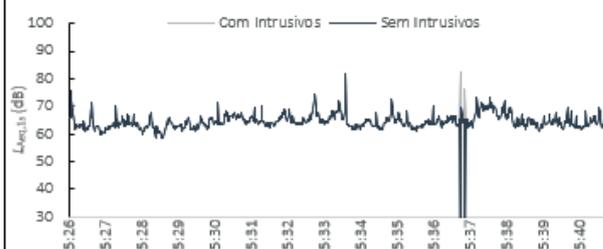
GR-01

Dados gerais

Dia: 05/11/2020
 Endereço: Rua dos Guaranis, 597
 UTM (m): 610592, 7797020
 Início: 15:26:52



Variação dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves 01:	100	Pesados:	17
Leves 02:	16	Total:	133

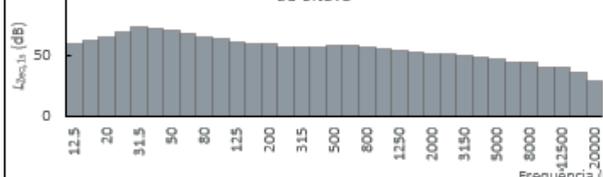
Presença de sons tonais e impulsivos

Sem som tonal e impulsivo

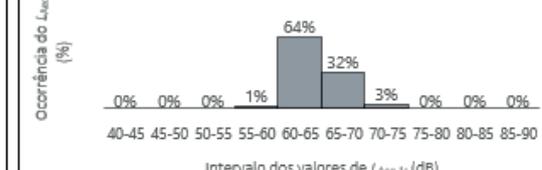
Frequência do tonal: -

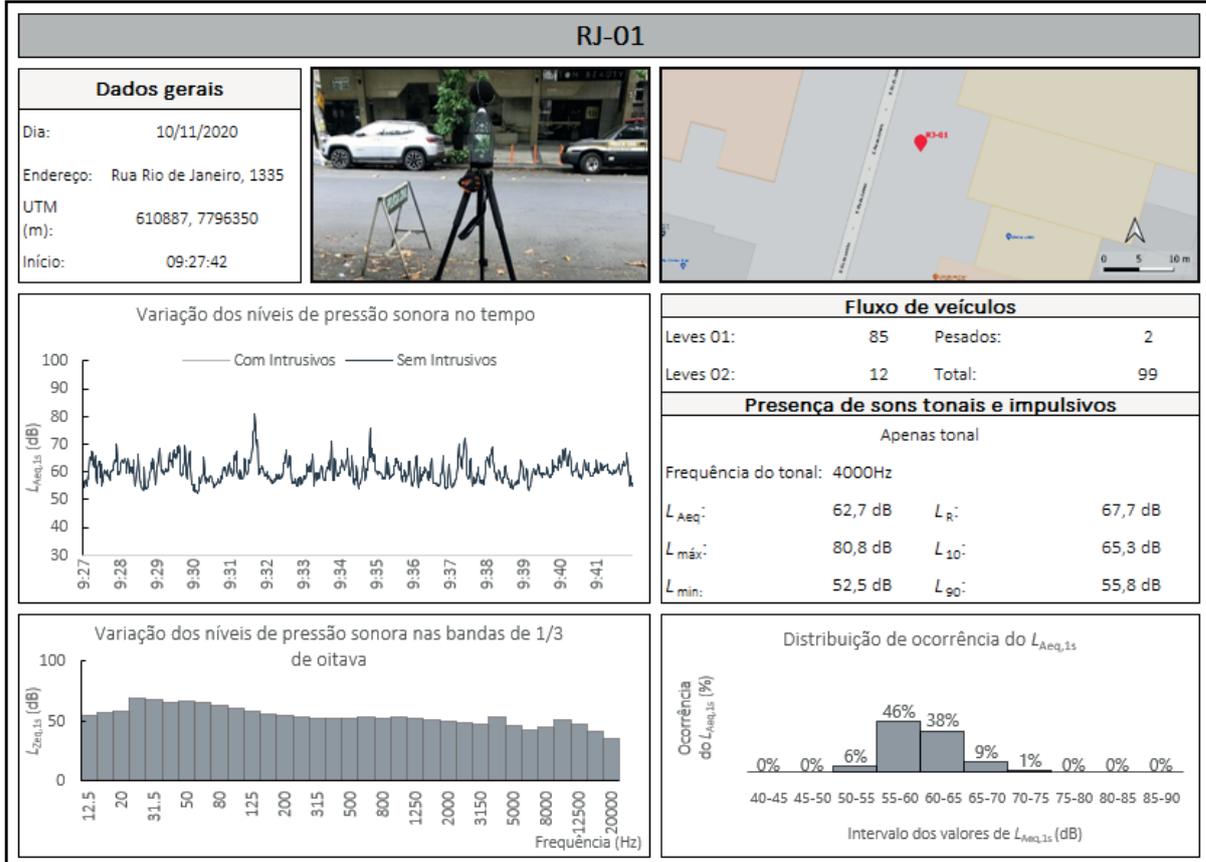
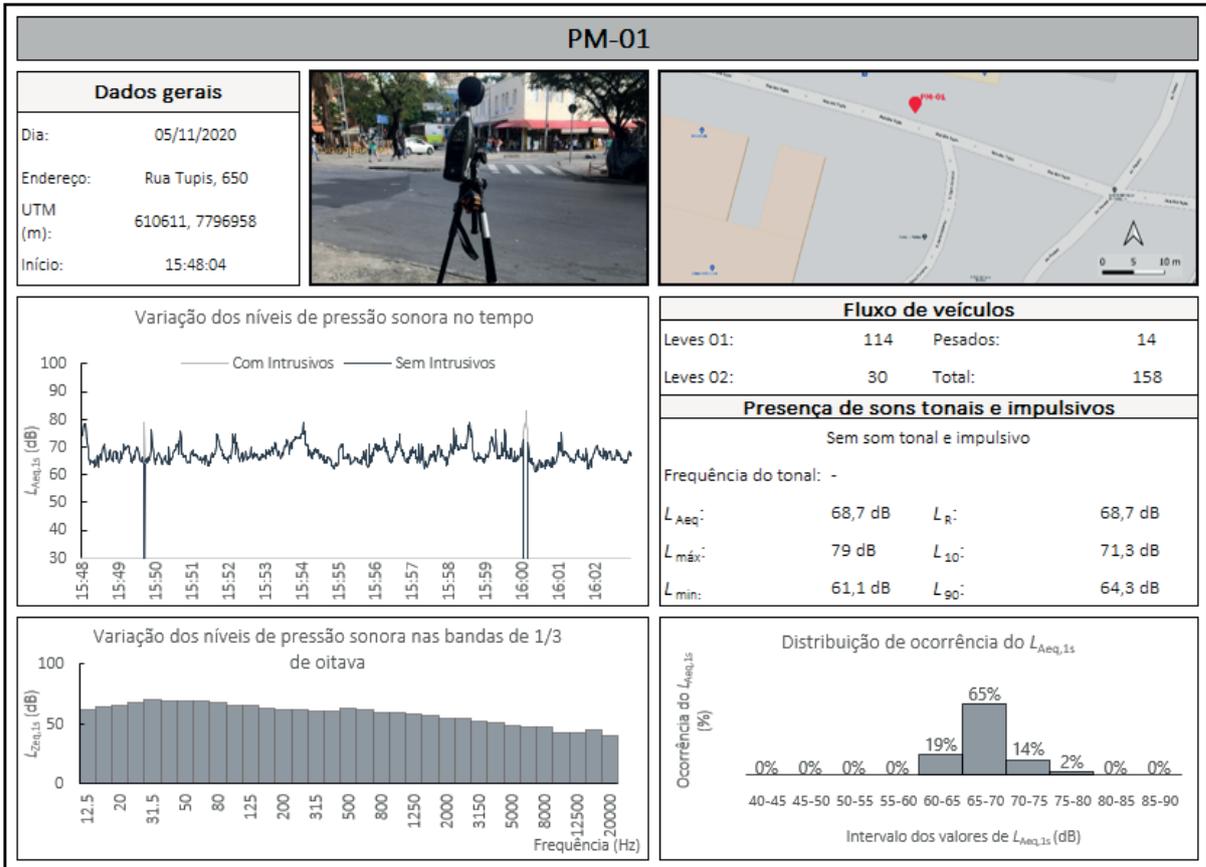
L_{Aeq} :	65,6 dB	L_R :	65,6 dB
$L_{m\acute{a}x}$:	82 dB	L_{10} :	68 dB
$L_{m\acute{i}n}$:	58,3 dB	L_{90} :	62 dB

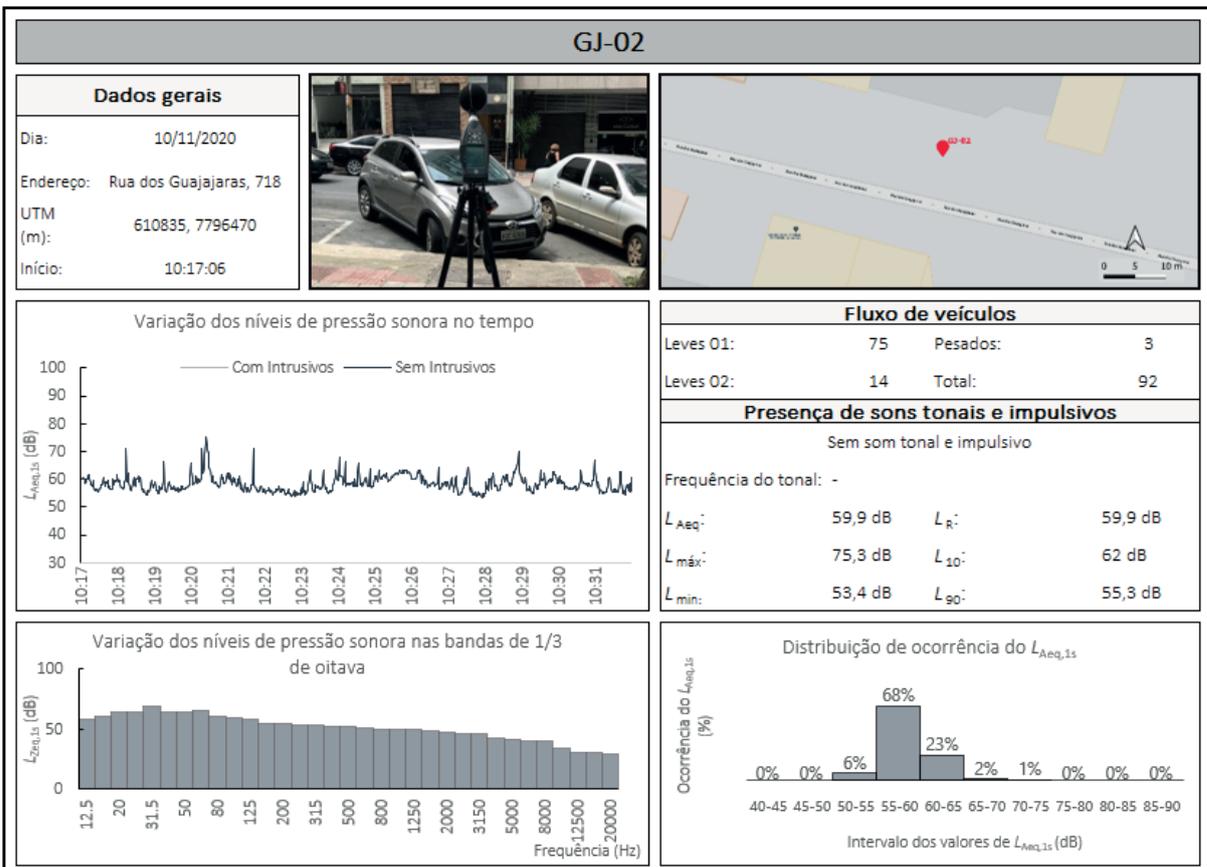
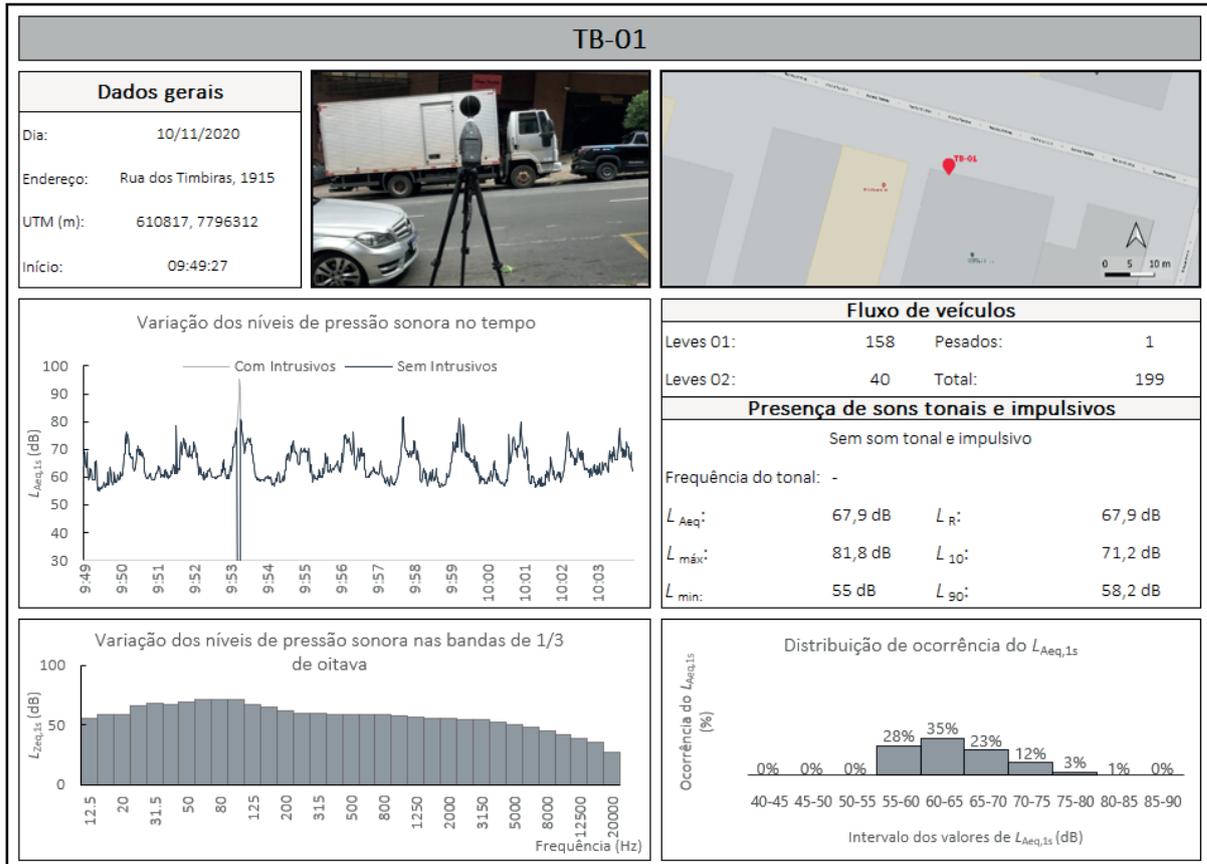
Variação dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava

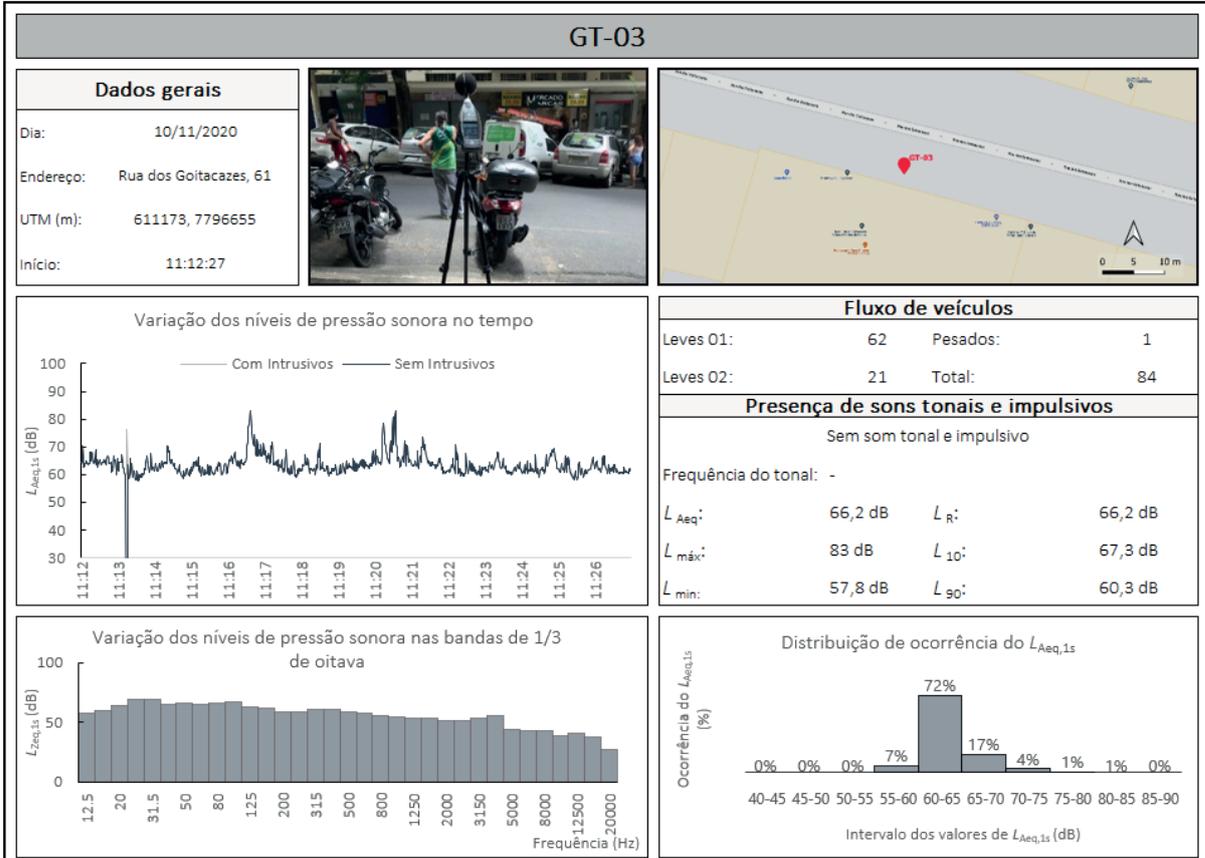
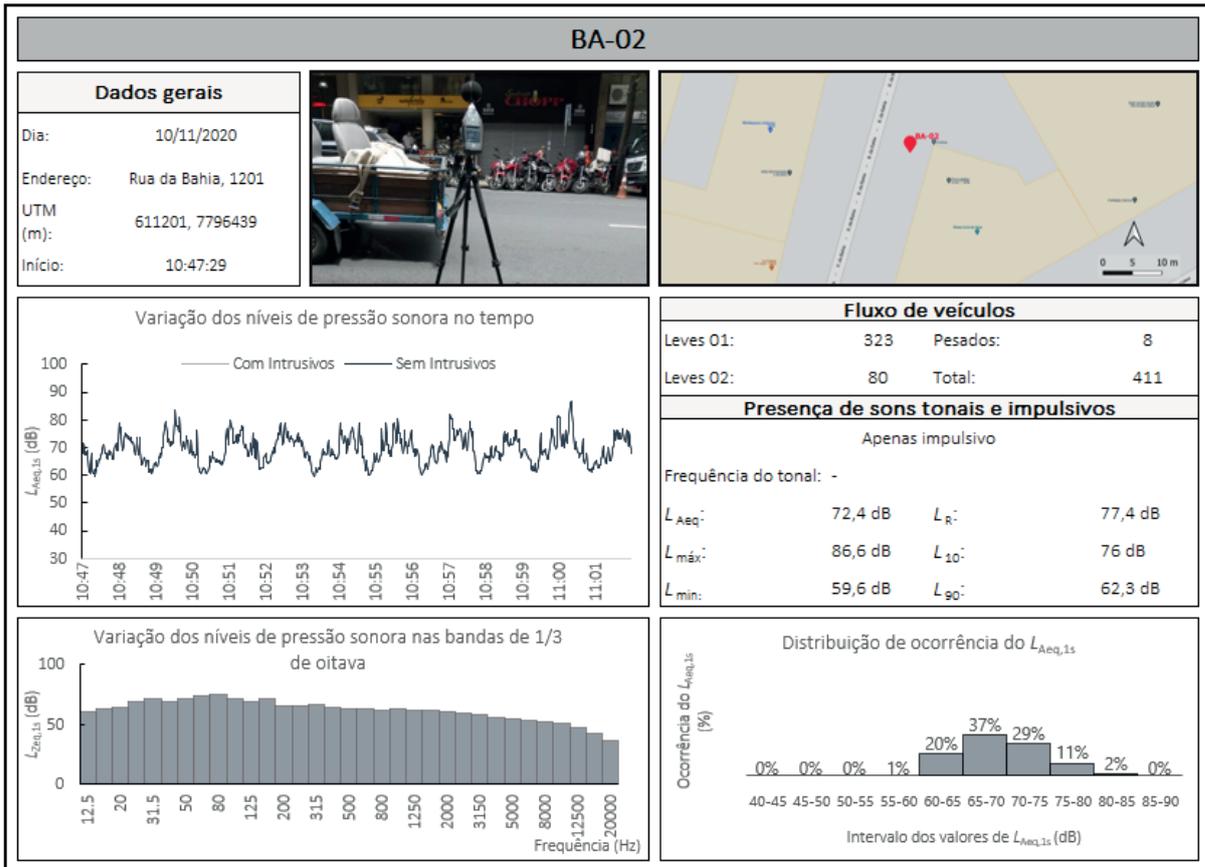


Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$









OM-01

Dados gerais

Dia: 17/11/2020
 Endereço: Av. Olegário Maciel, 1200
 UTM (m): 610337, 7796541
 Início: 09:43:28



Variação dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves O1:	179	Pesados:	3
Leves O2:	25	Total:	207

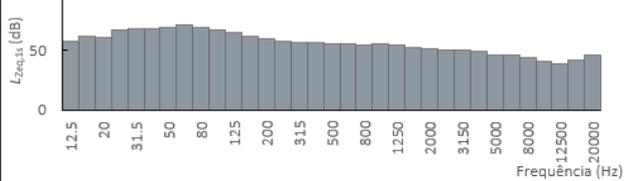
Presença de sons tonais e impulsivos

Sem som tonal e impulsivo

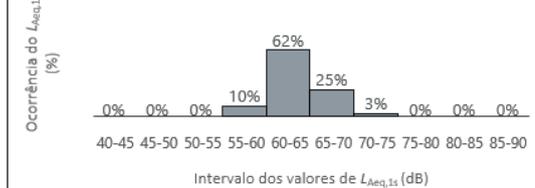
Frequência do tonal: -

L_{Aeq} :	64,7 dB	L_R :	64,7 dB
$L_{máx}$:	77,4 dB	L_{10} :	67,1 dB
L_{min} :	56,1 dB	L_{90} :	60 dB

Variação dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava



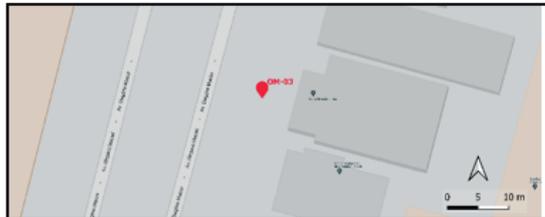
Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$



OM-02

Dados gerais

Dia: 17/11/2020
 Endereço: Av. Olegário Maciel, 1217
 UTM (m): 610356, 7796489
 Início: 10:04:17



Variação dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves O1:	170	Pesados:	7
Leves O2:	22	Total:	199

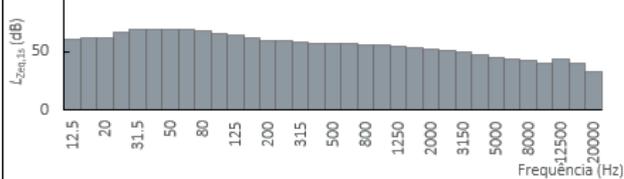
Presença de sons tonais e impulsivos

Sem som tonal e impulsivo

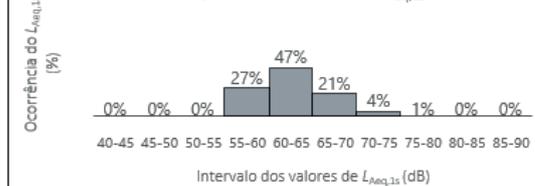
Frequência do tonal: -

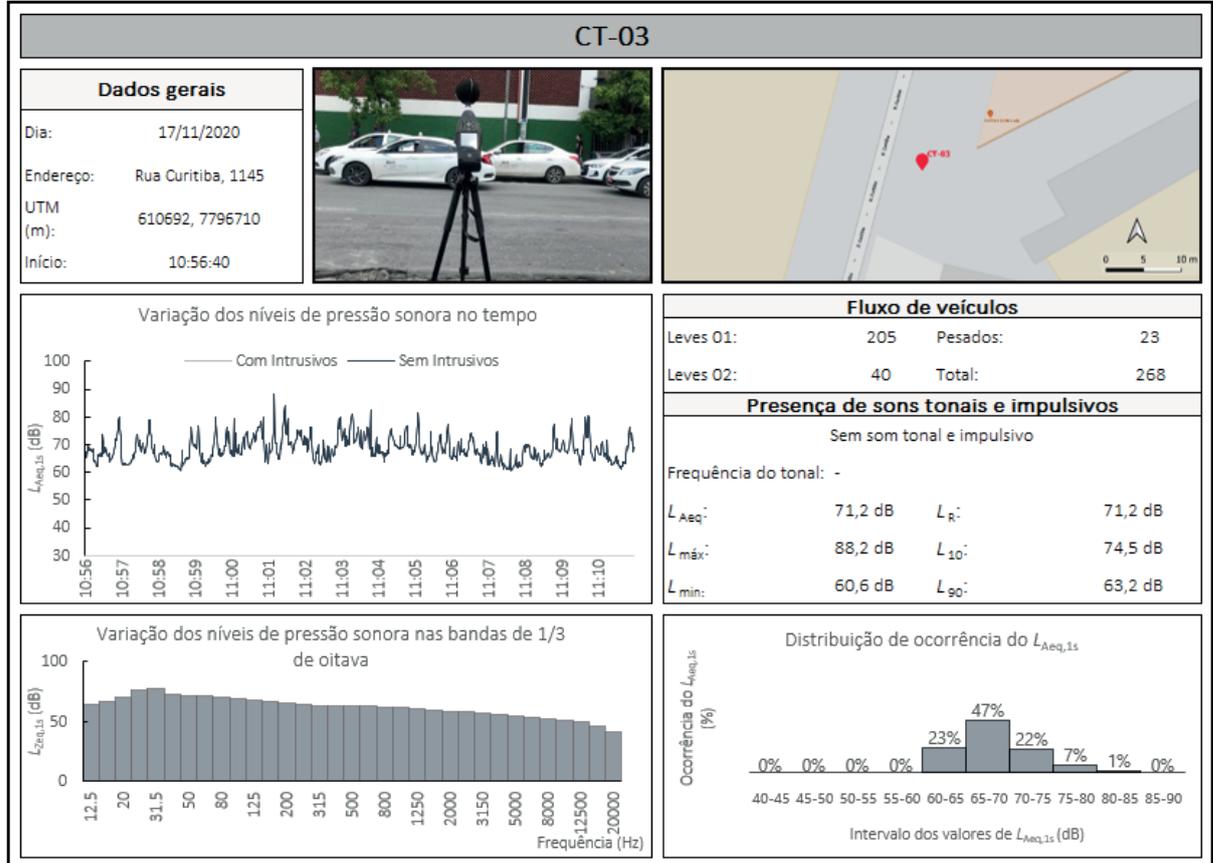
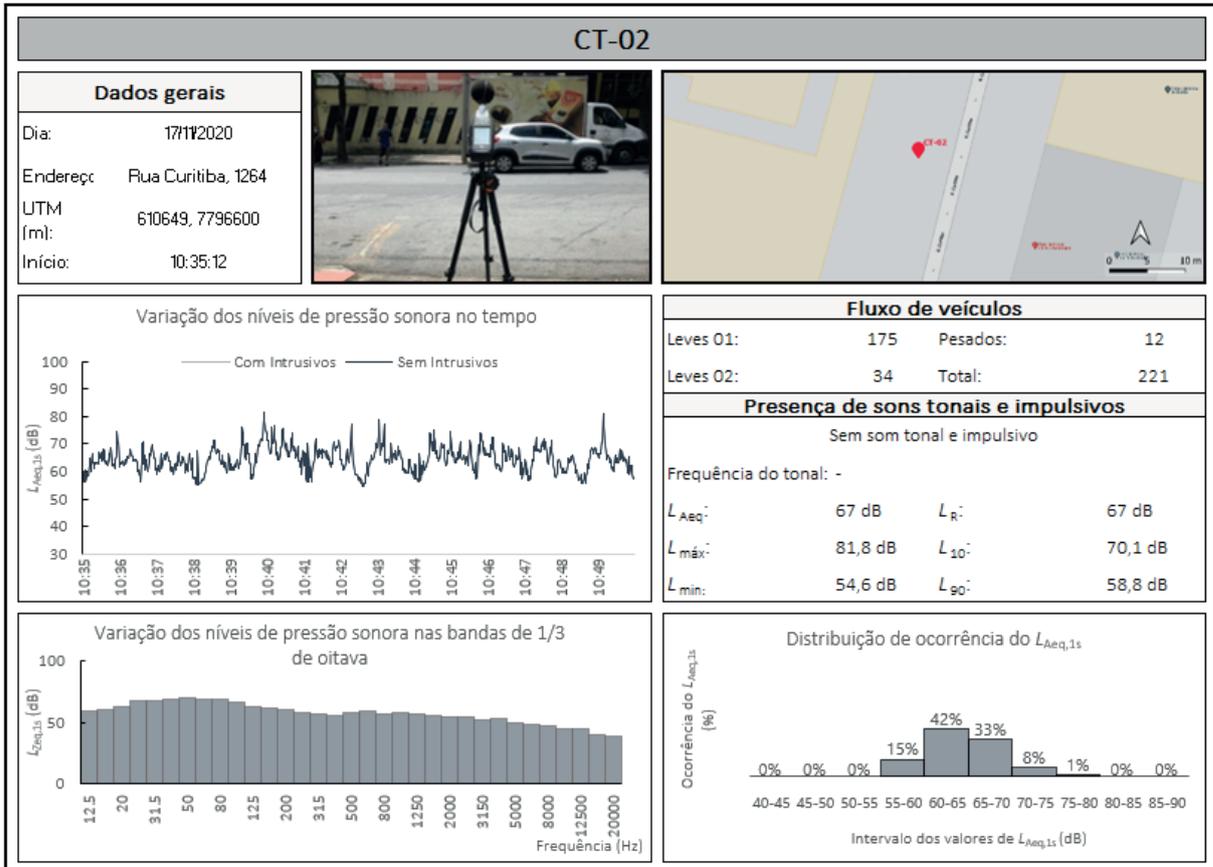
L_{Aeq} :	65 dB	L_R :	65 dB
$L_{máx}$:	77,7 dB	L_{10} :	68,1 dB
L_{min} :	55 dB	L_{90} :	58,3 dB

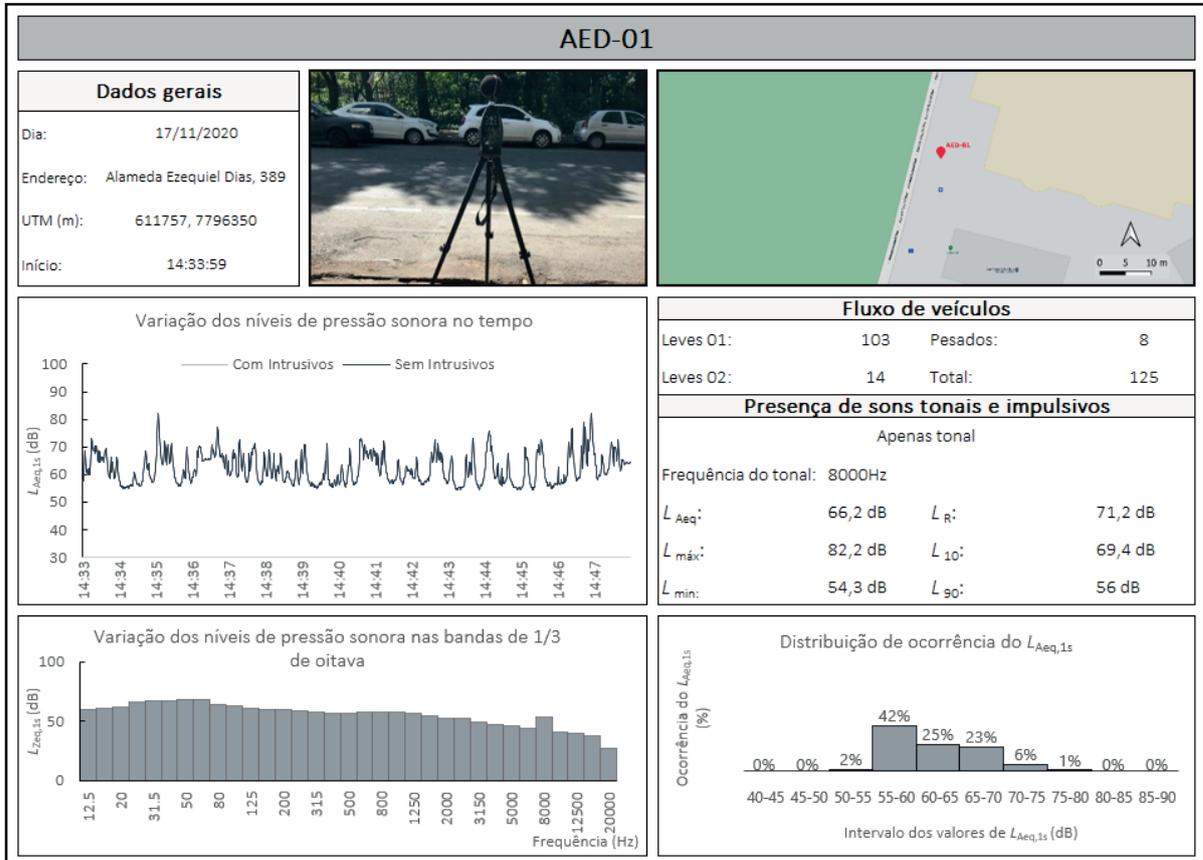
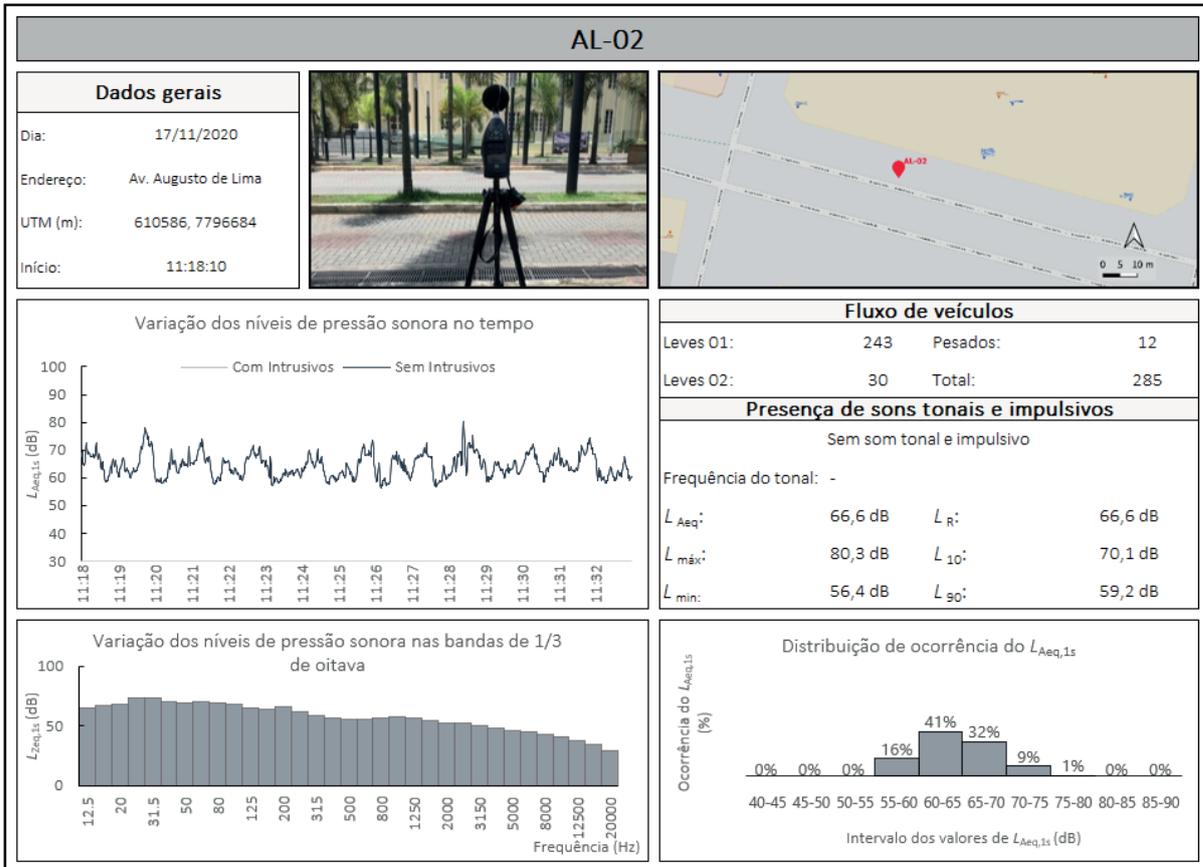
Variação dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava

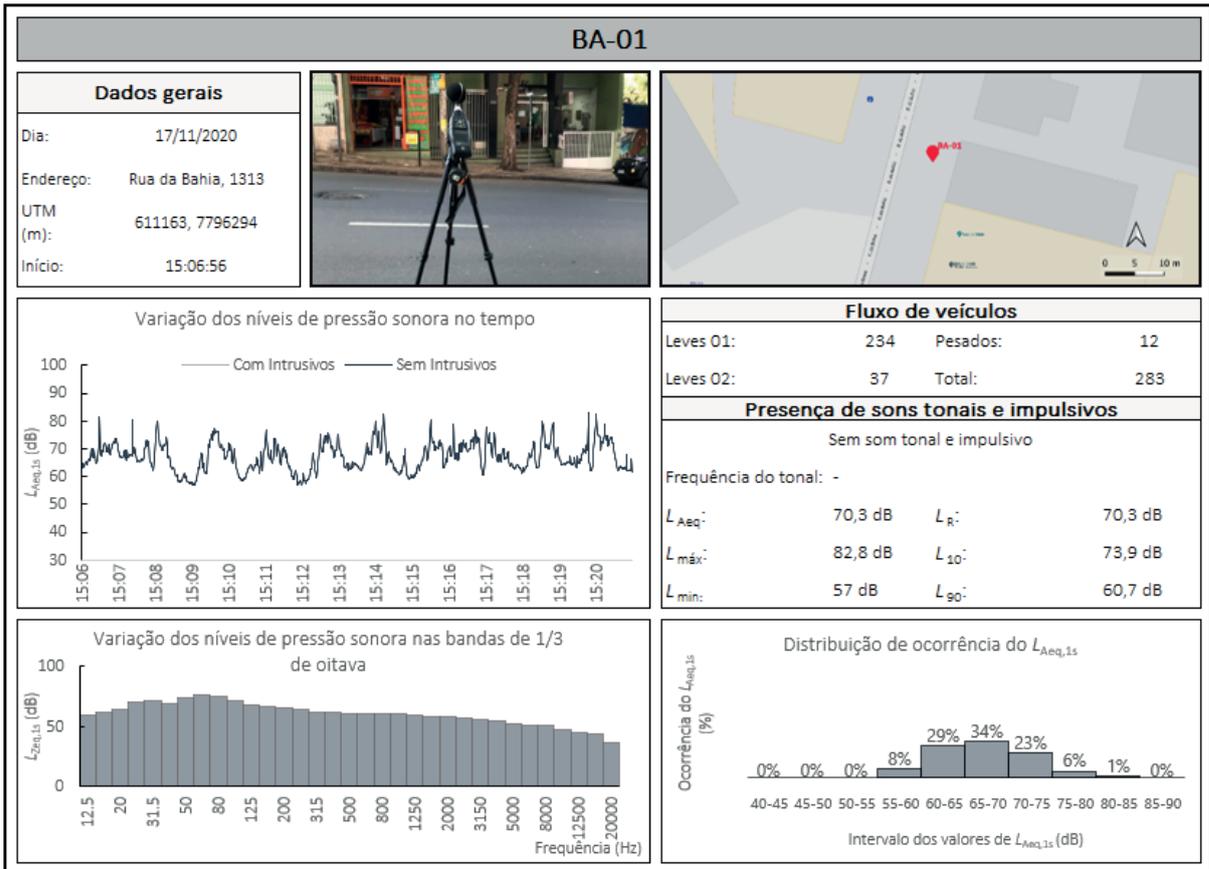


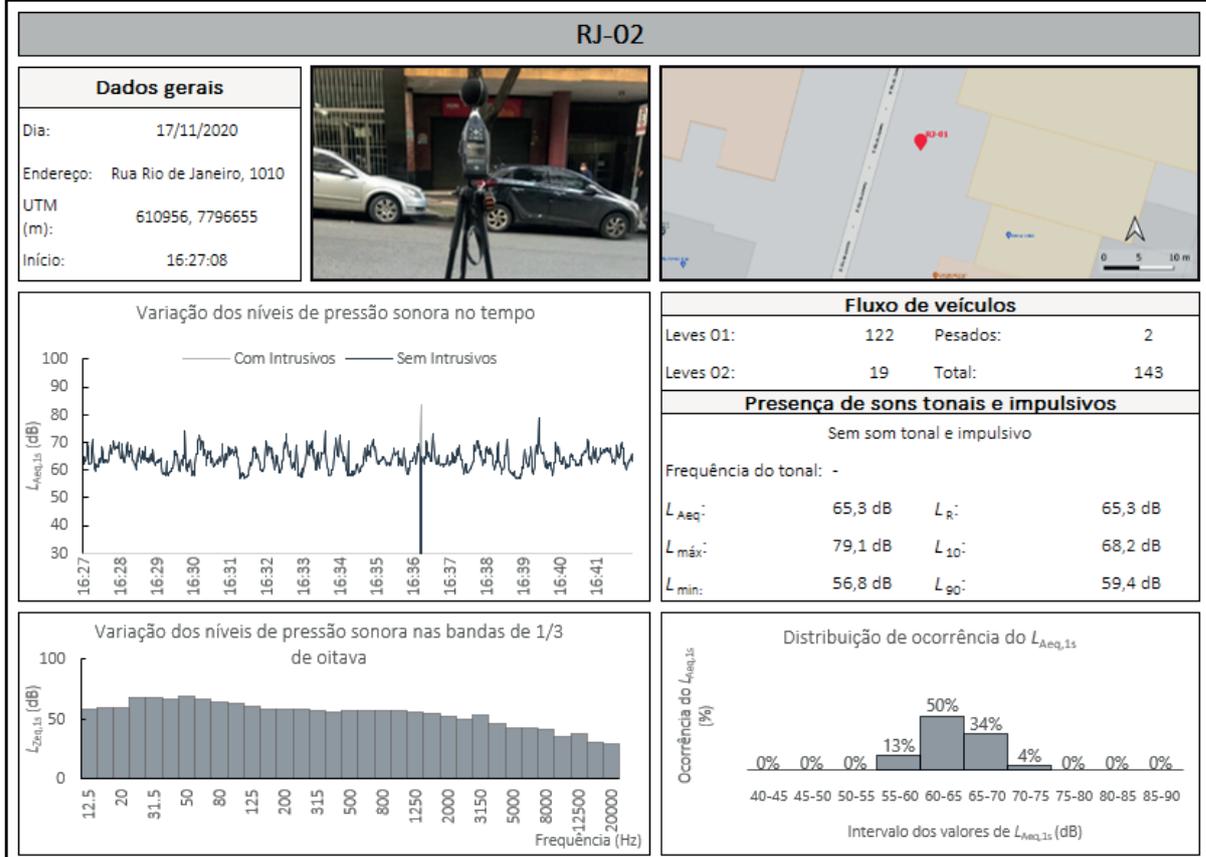
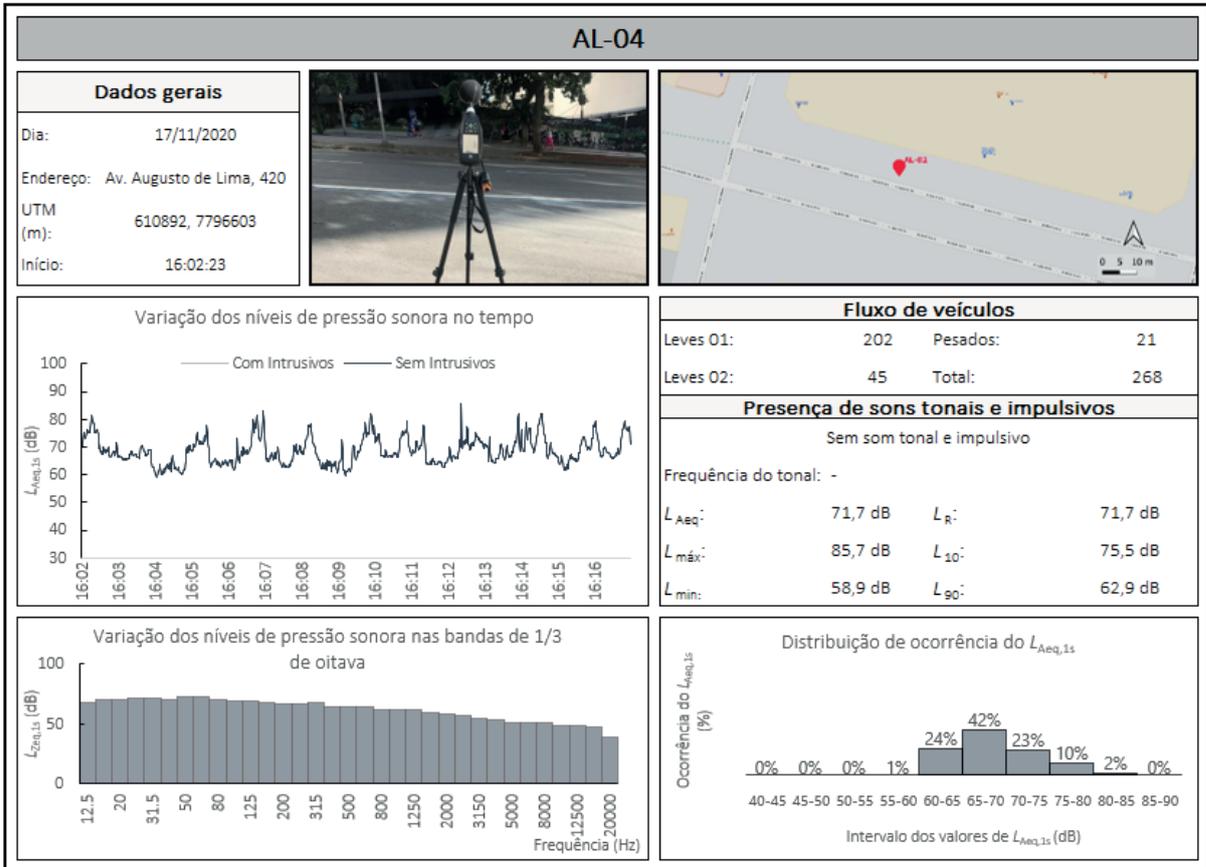
Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$











PEST-01

Dados gerais

Dia: 29/04/2021
 Endereço: Praça da Estação
 UTM (m): 611605, 7797340
 Início: 09:57:17



Variação dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves O1:	0	Pesados:	0
Leves O2:	0	Total:	0

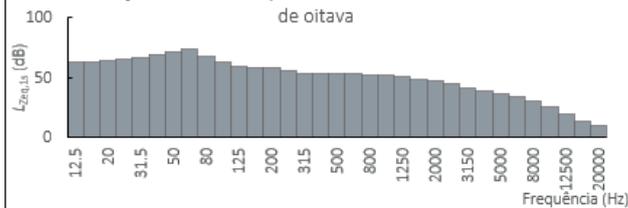
Presença de sons tonais e impulsivos

Sem som tonal e impulsivo

Frequência do tonal: -

L_{Aeq} :	61 dB	L_R :	61 dB
$L_{máx}$:	68,4 dB	L_{10} :	63,5 dB
L_{min} :	53,7 dB	L_{90} :	56,1 dB

Variação dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava



Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$



AND-02

Dados gerais

Dia: 29/04/2021
 Endereço: Av. Andradas - Praça da Estação
 UTM (m): 611561, 7797426
 Início: 10:15:37



Variação dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves O1:	293	Pesados:	43
Leves O2:	55	Total:	391

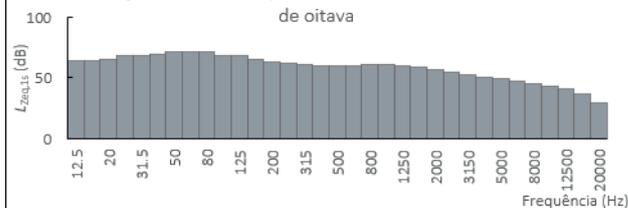
Presença de sons tonais e impulsivos

Sem som tonal e impulsivo

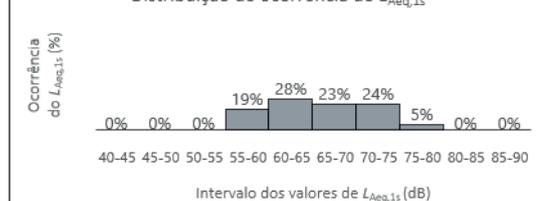
Frequência do tonal: -

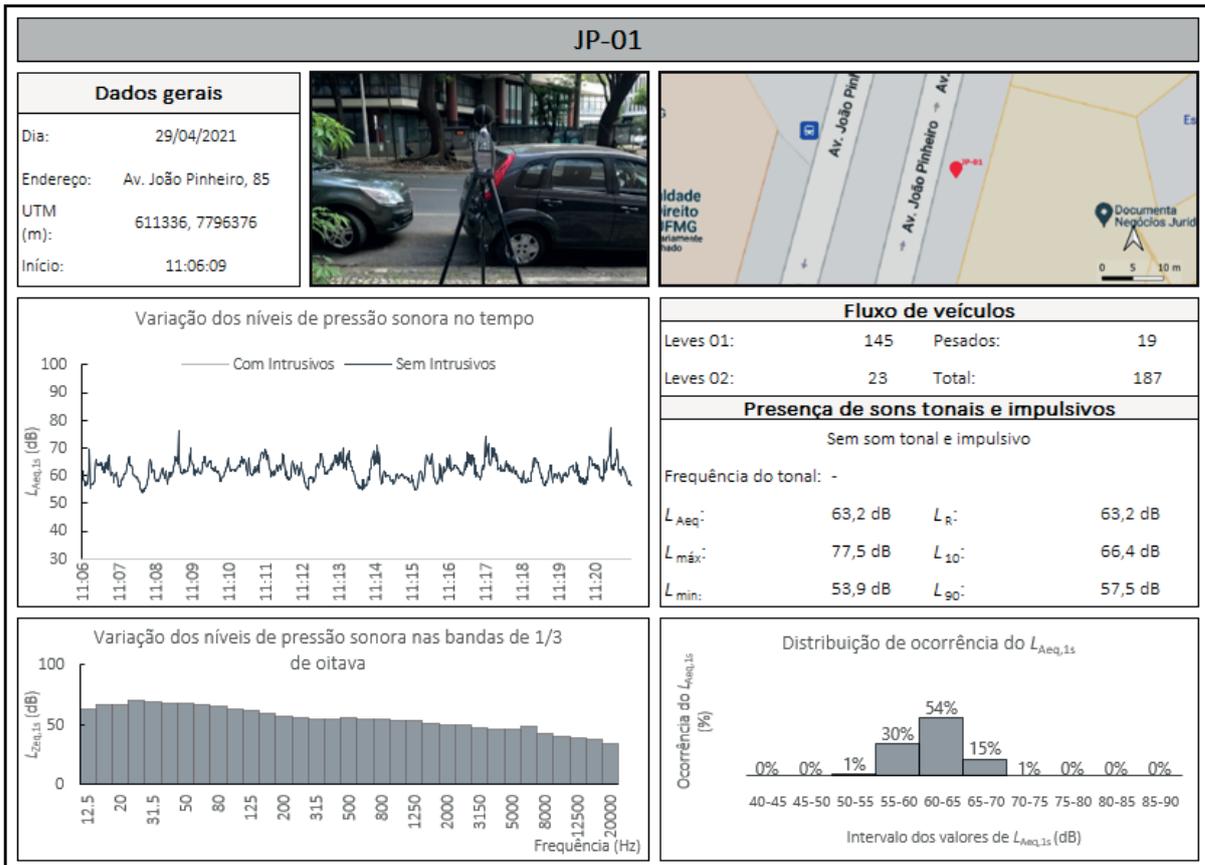
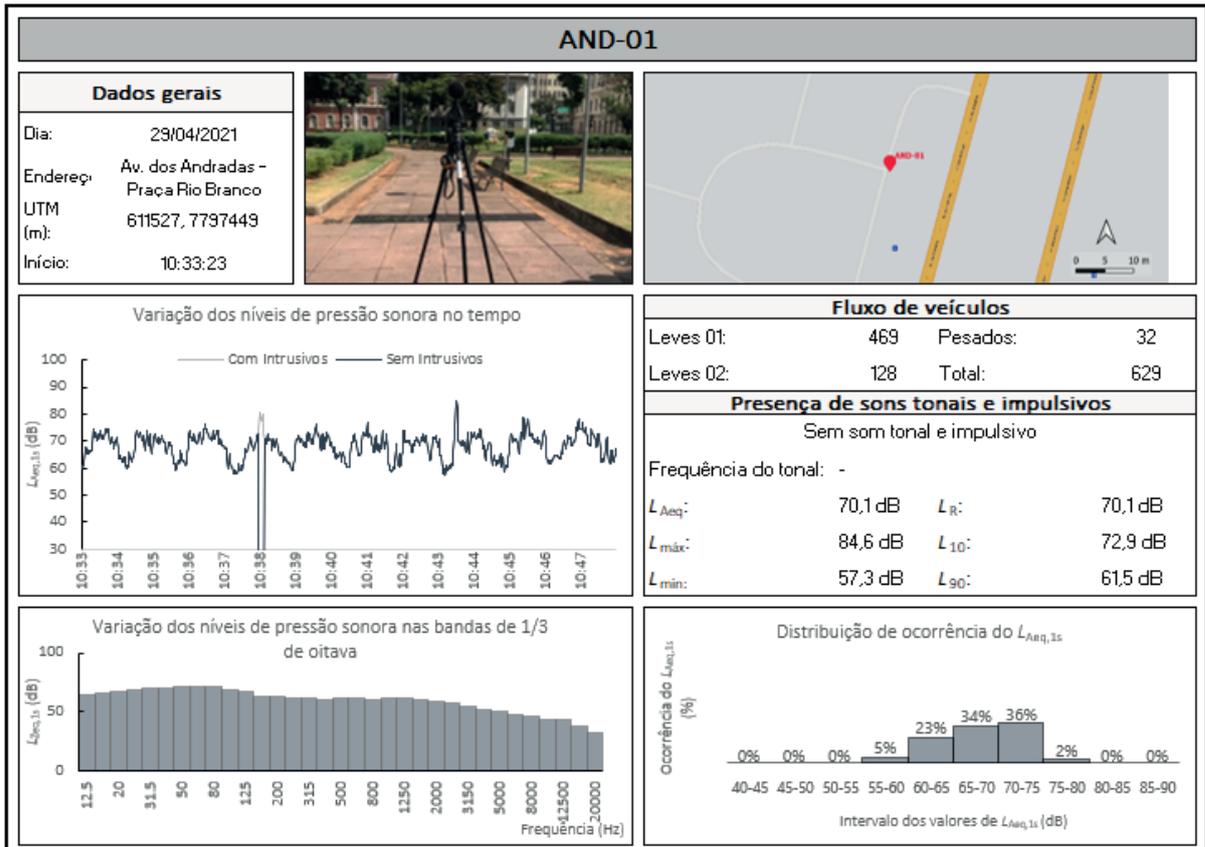
L_{Aeq} :	69,4 dB	L_R :	69,4 dB
$L_{máx}$:	79,4 dB	L_{10} :	73,7 dB
L_{min} :	54,8 dB	L_{90} :	58,1 dB

Variação dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava



Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$

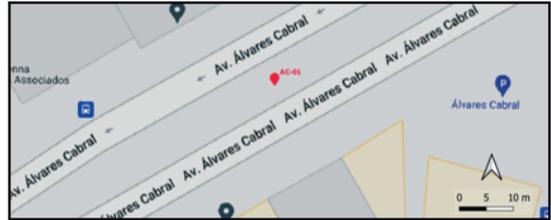




AC-01

Dados gerais

Dia: 29/04/2021
 Endereço: Av. Álvares Cabral
 UTM (m): 611101, 7796328
 Início: 11:27:22



Varição dos níveis de pressão sonora no tempo



Fluxo de veículos

Leves O1:	107	Pesados:	4
Leves O2:	27	Total:	138

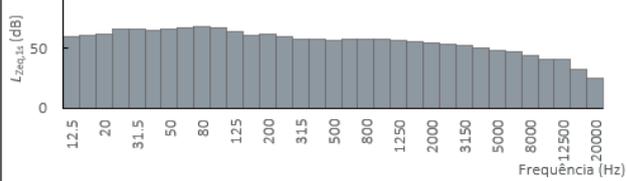
Presença de sons tonais e impulsivos

Sem som tonal e impulsivo

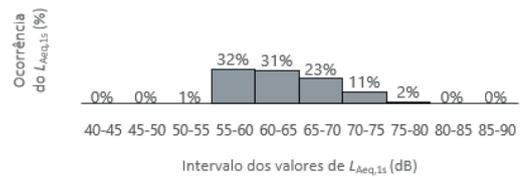
Frequência do tonal: -

L_{Aeq} :	66,7 dB	L_R :	66,7 dB
$L_{máx}$:	78,7 dB	L_{10} :	70,7 dB
L_{min} :	54,1 dB	L_{90} :	57,3 dB

Varição dos níveis de pressão sonora nas bandas de 1/3 de oitava



Distribuição de ocorrência do $L_{Aeq,1s}$



ANEXO I – Certificado de calibração do calibrador de nível sonoro (Classe 1) modelo 4231 da Brüel & Kjær

 CALILAB - Laboratório de Calibração e Ensaios ISO 17025: Laboratório Acreditado (Accredited Laboratory)	TOTAL SAFETY LTDA. R Gal Humberto AC Branco, 286 (310) São Caetano do Sul - CEP 09560-380 Tel: (11) 4220-2600 info@totalsafety.com.br www.totalsafety.com.br
--	--

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

Nº: RBC2-10987-443

Certificate Number

RBC - REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO

Brazilian Calibration Network



CLIENTE

Customer

dB. Lab. de Engenharia Acústica Eirele
Rua Alessandra Salum Cadar, 415 - Sala 208 - Buritis
Belo Horizonte - MG - CEP 30575-190

Processo / O.S.:

20074

Interessado

Interested party

(o mesmo)

Item calibrado

Calibrated item

Calibrador de nível sonoro (Classe 1)

Calilab é um Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre (Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro) de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025 sob o número CAL 0307.

Marca

Brand

Brüel & Kjær

Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela Cgcre que avaliou a competência do laboratório e comprovou a sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades – SI).

Modelo

Model

4231

Este certificado é válido apenas para o item descrito, não sendo extensivo a quaisquer outros, ainda que similares. Este certificado somente pode ser reproduzido em sua forma integral e desde que seja legível. Reproduções parciais ou para fins de divulgação em material publicitário, requerem autorização expressa do laboratório. Nenhuma reprodução poderá ser usada de maneira enganosa.

Número de série

Serial number

2272033

A versão original deste certificado é um arquivo PDF.

Identificação

Identification

BK 4231-1

(informações adicionais na página 2)

Data da calibração

Date of calibration (day/month/year)

31/01/2020

Assinado de forma digital por

Elvis Gouveia

DN: cn=Elvis Gouveia, o=Total

Safety Ltda., ou=Calilab,

email=elvis@totalsafety.com.

br, c=BR

Dados: 1e01e0.00.00.00 00:40:00:40

00:00:00

Total de páginas

Total pages number

3

Data da Emissão:

Date of issue

31/01/2020

Elvis Gouveia
Signatário Autorizado

Authorized Signatory

Página

Page

1

A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation). A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da IAAC (Interamerican Accreditation Cooperation).

Cgcre is Signatory of the ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) Mutual Recognition Arrangement. Cgcre is signatory of the IAAC (Interamerican Accreditation Cooperation) Mutual Recognition Arrangement.

Local da calibração

Calibration location

Sede do laboratório Calilab (conforme indicado na página 1).

Condições ambientais

Environmental conditions

Temperatura	24,1 °C
Umidade relativa	36 %
Pressão atmosférica	931 hPa

Procedimento

Procedure

Instrução de Trabalho IT-502 (revisão em vigência na data desta calibração). O procedimento está baseado na norma IEC 60942 – *Sound Calibrators*. Os critérios de conformidade dependem da revisão desta norma: 1988, 1997, 2003 ou 2017. A revisão escolhida pelo laboratório corresponde prioritariamente à revisão declarada pelo fabricante. O conjunto de parâmetros calibrados atende a recomendação do documento DOQ-CGCRE-052.

Plano de calibração

Calibration plan

Os critérios de seleção do método atendem aos requisitos da ISO 17025. O plano de calibração é elaborado e pactuado observando: o uso de métodos apropriados, as características do item sob teste e as necessidades do cliente. Para que o serviço de calibração complete sua finalidade, o laboratório recomenda que este certificado de calibração seja submetido a análise crítica, observando os erros de medição reportados e as incertezas associadas a cada teste, avaliando o impacto que cada parâmetro tem sobre as medições. Sempre que pertinente, são incluídas informações adicionais sobre contrato, solicitações do cliente, plano de calibração e configurações do item. Ajustes e reparos não fazem parte do escopo de acreditação.

Imparcialidade e confidencialidade

Impartiality and confidentiality

De acordo com a ISO 17025:2017 o laboratório não pode permitir que pressões comerciais, financeiras ou outras comprometam a imparcialidade. A norma identifica situações de risco à imparcialidade quando os relacionamentos são baseados em propriedade, governança, gestão, pessoal, recursos compartilhados, finanças, contratos, marketing (incluindo promoção de marcas) e pagamento de comissões de vendas ou outros benefícios pela indicação de novos clientes. Para assegurar a independência do CALILAB e promover um ambiente neutro, de equidade e sem conflitos de interesses, a Total Safety optou por manter-se livre de quaisquer associações que a identifiquem como uma parte interessada. O CALILAB é, portanto, um LABORATÓRIO DE TERCEIRA PARTE e não se beneficia em detrimento de resultados de calibrações ou ensaios que sejam favoráveis ou desfavoráveis ao prestígio de uma determinada marca ou modelo. O CALILAB também assegura a seus clientes o atendimento de todos os requisitos de confidencialidade previstos na ISO 17025:2017.

Incerteza de medição

Measurement uncertainty

Os resultados reportados referem-se à média dos valores encontrados. Cada Incerteza Expandida de Medição (U) relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2,00$, para uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. Quando o fator de abrangência k é um valor diferente de 2,00 o valor de k é reportado juntamente com os resultados. A expressão da incerteza de medição é determinada de acordo o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (GUM). A capacidade de medição e calibração (CMC) do laboratório Calilab é informada no site do Inmetro. Em uma determinada calibração a incerteza reportada poderá ser maior do que a CMC.

Informações adicionais do item sob teste

Additional information

A calibração foi realizada com o adaptador marca Brüel & Kjær, modelo UC0210 acoplado de propriedade do cliente. A utilização de outros adaptadores pode resultar níveis diferentes dos declarados neste certificado.

Rastreabilidade

Traceability

Microfone de 1/2 polegada: Identificação P114, Certificado RBC2-10796-680 (Emitente RBC/Calilab)
Multímetro Digital: Identificação P212, Certificado RBC-17/0620 (Emitente RBC/Sigtron)

Continuação do Certificado Nº: RBC2-10987-443

Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre (Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro)
de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025 sob o número CAL 0307.

Página

Page 3

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO

Results

Nível de pressão sonora e frequência

valor nominal	valor medido	tolerância ± (IEC 60942:1988)	incerteza de medição	unidade da medida
94	93,7	0,3	0,1	[dB]
1000 (94 dB)	1000,0	20,0	0,1	Hz
114	113,7	0,3	0,1	[dB]
1000 (114 dB)	1000,0	20,0	0,1	Hz

O critério de conformidade definido na norma IEC 60942:1988 estabelece que os desvios não devem exceder os limites de tolerância especificados (expressos na tabela). O mesmo critério de aceitação vale para amplitude e frequência. Todavia, este critério não inclui a incerteza de medição. Recomenda-se observar se existem desvios de magnitude tal que não permitam assegurar a conformidade do calibrador de nível sonoro.

(fim do resultados)

Opiniões e interpretações (não fazem parte do escopo de acreditação)

Opinions and interpretations (not covered by accreditation scope)

(---)

ANEXO II – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE NÍVEL SONORO 2270, DO MICROFONE 4189 E DO PRÉ-AMPLIFICADOR ZC-0032 DA BRÜEL & KJÆR



LACEL B&K - Laboratório de Acústica
Spectris do Brasil Instrumentos Eletrônicos Ltda
Rua Laguna, 276 Jardim Caravelas - São Paulo / SP
CEP: 04728-000
Telefone: (11) 5188-8165
e-mail: sac@bksv.com

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Certificado N°: CBR1900527

página 1 de 9

CALIBRAÇÃO DO CONJUNTO:

Medidor de Nível Sonoro:	Brüel & Kjær	2270	N° série: 2679285	Identificação: dB-SON-2270-1
Microfone:	Brüel & Kjær	4189	N° série: 2676588	
Pré-amplificador:	Brüel & Kjær	ZC-0032	N° série: 6140	

CLIENTE:

dB Laboratório de Engenharia Acústica EIRELI
Avenida Nossa Senhora do Carmo, 45 sala 708
Bairro Carmo - Belo Horizonte / MG
30310-000



Processo LACEL.B&K: 195/19

CONDIÇÕES DA CALIBRAÇÃO:

Pré-condicionamento: 4 horas em (23 ± 2) °C

Condições ambientais estão descritas nas páginas seguintes e dentro das tolerâncias mencionadas abaixo:

Temperatura ambiente: ± 3 °C

Pressão atmosférica: ± 1 kPa

Umidade relativa: ± 20 %

PROCEDIMENTO:

O Medidor de Nível Sonoro foi calibrado de acordo com os requisitos especificados na IEC 61672-3:2006 para Tipo 1.

DOCUMENTAÇÃO UTILIZADA:

Procedimento de calibração BPC 12r10 para Medidor de Nível Sonoro, utilizando o Sistema de Calibração B&K 3630.

Formulário padronizado - BFC SLM 02r01

INFORMAÇÕES:

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório.

Este certificado é válido apenas para o objeto calibrado e não pode ser reproduzido parcialmente sem autorização prévia.

Data da calibração: 20/08/2019

Data de emissão: 20/08/2019

Marcos Allegretti
Responsável pela Calibração

Marcos Allegretti
Signatário Autorizado



LACEL B&K - Laboratório de Acústica
Spectris do Brasil Instrumentos Eletrônicos Ltda
Rua Laguna, 276 Jardim Caravelas - São Paulo / SP
CEP: 04728-000
Telefone: (11) 5188-8165
e-mail: sac@bksv.com

Certificado N°: CBR1900527

Laboratório de Calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 305.

página 2 de 9

Equipamentos

Descrição	Tipo	Fabricante	Número de série	Próxima Calibração	Laboratório / Número do certificado
Sistema de Calibração	3630	Brüel & Kjær	2520106	novembro/2020	INMETRO DIMCI 1368/2017
Calibrador	4226	Brüel & Kjær	2670120	outubro/2021	Brüel & Kjær NA CAS-339743-K8G3H3-903
Termo-higrômetro	608-H1	Testo	34803899	junho/2021	Testo RBC 68342/1 e 68342/2
Barômetro	PTB330	Vaisala	J3410001	setembro/2019	ABSi RBC CAL-151736/17

Inspeção visual

Inspeção visual e operação de comandos relevantes do instrumento. (seção 5)

Resultado

Visual inspection OK

Condições ambientais

Condições ambientais no início da calibração. (seção 7)

Valor medido
[°C / kPa / %]

Air temperature	21,9
Air pressure	93,8
Relative humidity	55,8

Informações de referência

Informações sobre o nível de referência, faixa e canal. (seção 19.h + 19.m)

Valor
[dB]

Reference sound pressure level	94
Reference level range	140
Channel number	1

Acústica - Indicação na Frequência de Calibração

É a medição e ajuste do instrumento usando o calibrador acústico. Os valores em dB são relativos a 20µPa. (seção 9 + 19.m)

Valor medido Incerteza de medição
[dB / Hz] [± dB]

Calibration check frequency (in-house calibrator)	1000,0	1,0
Initial indication (in-house calibrator)	94,0	0,2
Adjusted indication (in-house calibrator)	94,1	0,2

Acústica - Nível de Ruído com o Microfone Acoplado

É o nível de ruído medido com o microfone acoplado em um período de 30 segundos. Uma câmara anecóica é usada para isolar o ruído ambiente. Os valores em dB são relativos a 20µPa. (seção 10.1)

Valor máximo Valor medido Desvio Incerteza de medição
[dB] [dB] [dB] [± dB]

A weighted	17,7	16,6	-1,1	0,5
Monitor Level	20,7	7,2	-13,5	0,5

Certificado N°: CBR1900527

Laboratório de Calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 305.

página 4 de 9

Acústica - Resposta em Frequência na Ponderação C

É a resposta do medidor de nível sonoro para um sinal de pressão sonora no nível de calibração em 1 kHz e em outras frequências. Os valores em dB são relativos a 20µPa. (seção 11)

	Pressão sonora no acoplador	Correção do microfone no 4226	Influência do corpo	Valor esperado	Valor medido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[± dB]
1000Hz, Ref, (1st)	94,12	0,10	-0,07	94,1	94,1	-1,1	1,1	0,0	0,2
1000Hz, Ref, (2nd)	94,12	0,10	-0,07	94,1	94,1	-1,1	1,1	0,0	0,2
1000Hz, Ref, (Average)	94,12	0,10	-0,07	94,1	94,1	-1,1	1,1	0,0	0,2
125,89Hz (1st)	94,11	0,00	0,00	94,0	94,0	-1,5	1,5	0,1	0,2
125,89Hz (2nd)	94,11	0,00	0,00	94,0	94,0	-1,5	1,5	0,1	0,2
125,89Hz (Average)	94,11	0,00	0,00	94,0	94,0	-1,5	1,5	0,1	0,2
3981,1Hz (1st)	94,02	0,90	-0,09	92,5	92,2	-1,6	1,6	-0,3	0,3
3981,1Hz (2nd)	94,02	0,90	-0,09	92,5	92,2	-1,6	1,6	-0,3	0,3
3981,1Hz (Average)	94,02	0,90	-0,09	92,5	92,2	-1,6	1,6	-0,3	0,3
7943,3Hz (1st)	93,84	2,80	-0,08	88,2	87,8	-3,1	2,1	-0,3	0,4
7943,3Hz (2nd)	93,84	2,80	-0,08	88,2	87,8	-3,1	2,1	-0,3	0,4
7943,3Hz (Average)	93,84	2,80	-0,08	88,2	87,8	-3,1	2,1	-0,3	0,4

Elétrica - Nível de Ruído Inerente

É a leitura do nível do ruído inerente ao medidor de nível sonoro para verificar se o valor é suficientemente baixa para que não altere a linearidade do instrumento. Os valores em dB são relativos a 1µV. (seção 10.2)

	Valor máximo	Valor medido	Incerteza de medição
	[dB]	[dB]	[± dB]
A weighted	13,6	12,6	1,0
C weighted	14,3	12,9	1,0
Z weighted	19,4	17,9	1,0

Elétrica - Resposta em Frequência na Ponderação A

É a resposta do medidor de nível sonoro para um sinal de tensão senoidal de 1 kHz e para as outras frequências. Os valores para as outras frequências são calculados relativo ao valor de 1 kHz, e são comparados com o valor esperado. Os valores em dB são relativos a 1µV. (seção 12)

	Nível elétrico	Valor esperado	Valor medido	Resposta Elétrico + Acústico	Influência do corpo	Valor corrigido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dBV]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[± dB]
1000Hz, Ref,	-24,69	95,0	95,0	0,00	0,00	95,00	-1,1	1,1	0,00	0,2
63,096Hz	1,51	95,0	95,0	-0,01	0,07	95,03	-1,5	1,5	0,03	0,2
125,89Hz	-8,59	95,0	95,0	-0,01	0,07	95,05	-1,5	1,5	0,05	0,2
251,19Hz	-16,09	95,0	95,0	-0,01	0,14	95,08	-1,4	1,4	0,08	0,2
501,19Hz	-21,49	95,0	95,0	-0,02	0,29	95,23	-1,4	1,4	0,23	0,2
1995,3Hz	-25,89	95,0	95,0	0,03	-0,02	95,02	-1,6	1,6	0,02	0,2
3981,1Hz	-25,69	95,0	95,0	0,03	-0,02	95,00	-1,6	1,6	-0,00	0,2
7943,3Hz	-23,59	95,0	95,0	-0,04	-0,01	94,95	-3,1	2,1	-0,05	0,2
15849Hz	-18,09	95,0	94,1	0,86	0,18	95,14	-17,0	3,5	0,14	0,2

Elétrica - Resposta em Frequência na Ponderação C

É a resposta do medidor de nível sonoro para um sinal de tensão senoidal de 1 kHz e para as outras frequências. Os valores para as outras frequências são calculados relativo ao valor de 1 kHz, e são comparados com o valor esperado. Os valores em dB são relativos a 1µV. (seção 12)

	Nível elétrico	Valor esperado	Valor medido	Resposta Elétrico + Acústico	Influência do corpo	Valor corrigido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dBV]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[± dB]
1000Hz, Ref,	-24,69	95,0	95,0	0,00	0,00	95,00	-1,1	1,1	0,00	0,2
63,096Hz	-23,89	95,0	95,0	-0,01	0,07	95,01	-1,5	1,5	0,01	0,2
125,89Hz	-24,49	95,0	95,0	-0,01	0,07	95,07	-1,5	1,5	0,07	0,2
251,19Hz	-24,69	95,0	95,0	-0,01	0,14	95,11	-1,4	1,4	0,11	0,2
501,19Hz	-24,69	95,0	95,0	-0,02	0,29	95,29	-1,4	1,4	0,29	0,2
1995,3Hz	-24,49	95,0	95,0	0,03	-0,02	95,05	-1,6	1,6	0,05	0,2
3981,1Hz	-23,89	95,0	95,0	0,03	-0,02	95,01	-1,6	1,6	0,01	0,2
7943,3Hz	-21,69	95,0	95,0	-0,04	-0,01	94,95	-3,1	2,1	-0,05	0,2
15849Hz	-16,19	95,0	94,1	0,86	0,18	95,11	-17,0	3,5	0,11	0,2

Elétrica - Resposta em Frequência na Ponderação Linear

É a resposta do medidor de nível sonoro para um sinal de tensão senoidal de 1 kHz e para as outras frequências. Os valores para as outras frequências são calculados relativo ao valor de 1 kHz, e são comparados com o valor esperado. Os valores em dB são relativos a 1µV. (seção 12)

	Nível elétrico	Valor esperado	Valor medido	Resposta Elétrico + Acústico	Influência do corpo	Valor corrigido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dBV]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[± dB]
1000Hz, Ref,	-24,69	95,0	95,0	0,00	0,00	95,00	-1,1	1,1	0,00	0,2

Certificado N°: CBR1900527

Laboratório de Calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 305.

página 6 de 9

63,096Hz	-24,69	95,0	95,0	-0,01	0,07	95,03	-1,5	1,5	0,03	0,2
125,89Hz	-24,69	95,0	95,0	-0,01	0,07	95,04	-1,5	1,5	0,04	0,2
251,19Hz	-24,69	95,0	95,0	-0,01	0,14	95,11	-1,4	1,4	0,11	0,2
501,19Hz	-24,69	95,0	95,0	-0,02	0,29	95,26	-1,4	1,4	0,26	0,2
1995,3Hz	-24,69	95,0	95,0	0,03	-0,02	95,02	-1,6	1,6	0,02	0,2
3981,1Hz	-24,69	95,0	95,0	0,03	-0,02	95,03	-1,6	1,6	0,03	0,2
7943,3Hz	-24,69	95,0	95,0	-0,04	-0,01	94,95	-3,1	2,1	-0,05	0,2
15849Hz	-24,69	95,0	94,1	0,86	0,18	95,17	-17,0	3,5	0,17	0,2

Elétrica - Ponderação no Tempo e na Frequência em 1 kHz

É a medição da ponderação no tempo e na frequência em 1 kHz utilizando um sinal elétrica na faixa de referência. A medição corresponde a ponderação A e resposta em FAST. Os valores em dB são relativos a 1 μ V. (seção 13)

	Valor esperado [dB]	Valor medido [dB]	Limite (-) [dB]	Limite (+) [dB]	Desvio [dB]	Incerteza de medição [\pm dB]
LAF, Ref.	94,0	94,0	-0,4	0,4	0,0	0,2
LCF	94,0	94,0	-0,4	0,4	0,0	0,2
LZF	94,0	94,0	-0,4	0,4	0,0	0,2
LAS	94,0	94,0	-0,3	0,3	-0,0	0,2
LAeq	94,0	94,0	-0,3	0,3	0,0	0,2

Elétrica - Linearidade do Nível na Faixa de Referência

É a medição da linearidade do nível na faixa de referência com um sinal de 8 kHz até o limite da faixa ou a indicação de sobrecarga (overload). Os valores em dB são relativos a 1 μ V. (seção 14)

	Valor esperado [dB]	Valor medido [dB]	Limite (-) [dB]	Limite (+) [dB]	Desvio [dB]	Incerteza de medição [\pm dB]
94 dB	94,0	94,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
99 dB	99,0	99,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
104 dB	104,0	104,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
109 dB	109,0	109,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
114 dB	114,0	114,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
119 dB	119,0	119,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
124 dB	124,0	124,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
129 dB	129,0	129,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
134 dB	134,0	134,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
135 dB	135,0	135,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
136 dB	136,0	136,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
137 dB	137,0	137,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
138 dB	138,0	138,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
139 dB	139,0	139,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
140 dB	140,0	140,0	-1,1	1,1	0,0	0,2

Certificado N°: CBR1900527

Laboratório de Calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 305.

página 7 de

Elétrica - Linearidade do Nível na Faixa de Referência

É a medição da linearidade do nível na faixa de referência com um sinal de 8 kHz até o limite da faixa ou a indicação de fora da faixa (underrange). Os valores em dB são relativos a 1µV. (seção 14)

	Valor esperado	Valor medido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[± dB]
94 dB	94,0	94,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
89 dB	89,0	89,0	-1,1	1,1	-0,0	0,2
84 dB	84,0	84,0	-1,1	1,1	0,0	0,2
79 dB	79,0	79,1	-1,1	1,1	0,1	0,2
74 dB	74,0	74,1	-1,1	1,1	0,1	0,2
69 dB	69,0	69,1	-1,1	1,1	0,1	0,2
64 dB	64,0	64,1	-1,1	1,1	0,1	0,2
59 dB	59,0	59,1	-1,1	1,1	0,1	0,2
54 dB	54,0	54,1	-1,1	1,1	0,1	0,2
49 dB	49,0	49,1	-1,1	1,1	0,1	0,2
44 dB	44,0	44,1	-1,1	1,1	0,1	0,2
39 dB	39,0	39,2	-1,1	1,1	0,2	0,2
34 dB	34,0	34,3	-1,1	1,1	0,3	0,2
30 dB	30,0	30,4	-1,1	1,1	0,4	0,2
29 dB	29,0	29,5	-1,1	1,1	0,5	0,2
28 dB	28,0	28,6	-1,1	1,1	0,6	0,2
27 dB	27,0	27,8	-1,1	1,1	0,8	0,2
26 dB	26,0	26,9	-1,1	1,1	0,9	0,2
25 dB	25,0	26,0	-1,1	1,1	1,0	0,2

Elétrica - Resposta a Pulso Tonal na Ponderação Temporal FAST

É a resposta do instrumento para uma sequência de pulsos tonais na frequência de 4 kHz, medido na faixa de referência. Os valores em dB são relativos a 1µV. (seção 16)

	Valor esperado	Valor medido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[± dB]
Continuous, Ref.	137,0	137,0	-0,8	0,8	0,0	0,1
200 ms Burst	136,0	136,0	-0,8	0,8	0,0	0,1
2 ms Burst	119,0	118,9	-1,8	1,3	-0,1	0,1
0,25 ms Burst	110,0	109,9	-3,3	1,3	-0,1	0,1

Elétrica - Resposta a Pulso Tonal na Ponderação Temporal SLOW

É a resposta do instrumento para uma sequência de pulsos tonais na frequência de 4 kHz, medido na faixa de referência. Os valores em dB são relativos a 1µV. (seção 16)

	Valor esperado	Valor medido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[± dB]
Continuous, Ref.	137,0	137,0	-0,8	0,8	0,0	0,1
200 ms Burst	129,6	129,6	-0,8	0,8	0,0	0,1
2 ms Burst	110,0	110,0	-3,3	1,3	0,0	0,1

Elétrica - Resposta a Pulso Tonal para Leq

É a resposta do instrumento para uma sequência de pulsos tonais na frequência de 4 kHz, medido na faixa de referência. Os valores em dB são relativos a 1 μ V. (seção 16)

	Valor esperado	Valor medido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[\pm dB]
Continuous, Ref,	137,0	137,0	-0,8	0,8	0,0	0,1
200 ms Burst	130,0	130,0	-0,8	0,8	-0,0	0,1
2 ms Burst	110,0	110,0	-1,8	1,3	-0,0	0,1
0,25 ms Burst	101,0	100,8	-3,3	1,3	-0,2	0,1

Elétrica - Pico de Sinal de 8 kHz na Ponderação C

É a resposta para um sinal de um ciclo completo na frequência de 8 kHz em relação a um sinal contínuo. Essa medição é feita na faixa menos sensível. Os valores em dB são relativos a 1 μ V. (seção 17)

	Valor esperado	Valor medido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[\pm dB]
Continuous, Ref,	135,0	135,0	-0,4	0,4	0,0	0,2
Single Sine	138,4	138,4	-2,4	2,4	-0,0	0,2

Elétrica - Pico de Sinal de 500 Hz na Ponderação C

É a resposta para um sinal de meio ciclo na frequência de 500 Hz em relação a um sinal contínuo. Essa medição é feita na faixa menos sensível. Os valores em dB são relativos a 1 μ V. (seção 17)

	Valor esperado	Valor medido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[\pm dB]
Continuous, Ref,	135,0	135,0	-0,4	0,4	0,0	0,2
Half-sine, Positive	137,4	137,1	-1,4	1,4	-0,3	0,2
Half-sine, Negative	137,4	137,1	-1,4	1,4	-0,3	0,2

Elétrica - Indicação de Sobrecarga

É a indicação de sobrecarga do instrumento determinado com um sinal de meio ciclo na frequência de 4 kHz. Essa medição é feita na faixa menos sensível. Os valores em dB são relativos a 1 μ V. (seção 18)

	Valor medido	Limite (-)	Limite (+)	Desvio	Incerteza de medição
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[\pm dB]
Continuous	140,0	-0,4	0,4	0,0	0,2
Half-sine, Positive	141,3	-10,0	10,0	1,3	0,2
Half-sine, Negative	141,8	-10,0	10,0	1,8	0,2
Difference	141,8	-1,8	1,8	0,5	0,3

Certificado N°: CBR1900527

Laboratório de Calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 305.

página 9 de 9

Condições ambientais

Condições ambientais no final da calibração. (seção 7)

	Valor medido
	[°C / kPa / %]
Air temperature	22,1
Air pressure	93,8
Relative humidity	55,7