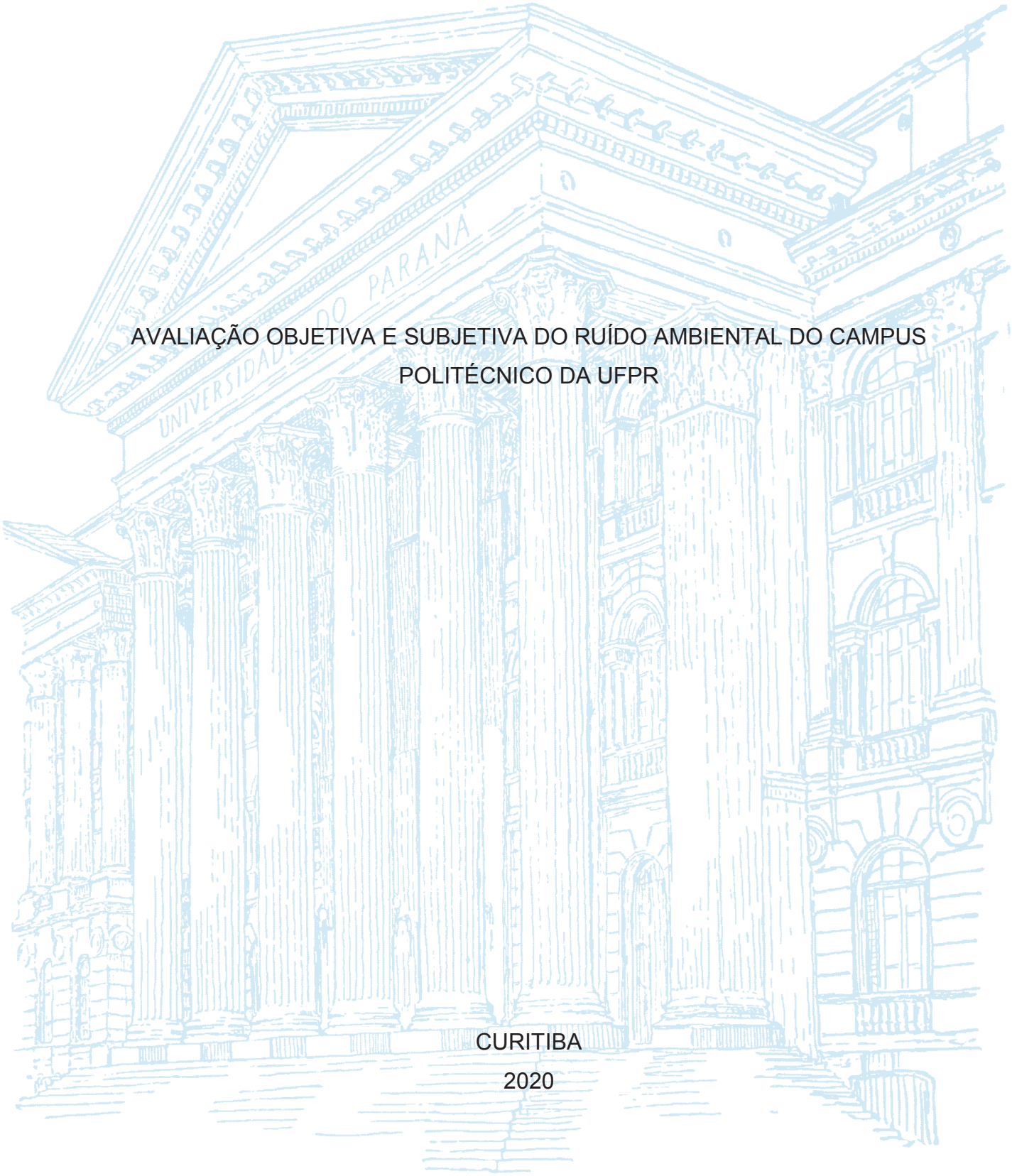
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELLE KAMINSKI SCHITTINI




# AVALIAÇÃO OBJETIVA E SUBJETIVA DO RUÍDO AMBIENTAL DO CAMPUS POLITÉCNICO DA UFPR

CURITIBA

2020

GABRIELLE KAMINSKI SCHITTINI

# AVALIAÇÃO OBJETIVA E SUBJETIVA DO RUÍDO AMBIENTAL DO CAMPUS POLITÉCNICO DA UFPR

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Titular Dr. –Ing. Paulo H. T. Zannin

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Justiniano Ribeiro Junior

CURITIBA

2020

Catalogação na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S337a Schittini, Gabrielle Kaminski
Avaliação objetiva e subjetiva do ruído ambiental do campus politécnico da UFPR [recurso eletrônico] / Gabrielle Kaminski Schittini. – Curitiba, 2020.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2020.

Orientador: Paulo Henrique Trombetta Zannin.
Coorientador: Paulo Justiniano Ribeiro Junior.

1. Poluição Sonora. 2. Controle de ruído. I. Universidade Federal do Paraná. II. Zannin, Paulo Henrique Trombetta. III. Ribeiro Junior, Paulo Justiniano. IV. Título.

CDD: 344.0463

# TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **GABRIELLE KAMINSKI SCHITTINI** intitulada: **Avaliação Objetiva e Subjetiva do Ruído Ambiental do Campus Politécnico da UFPR**, sob orientação do Prof. Dr. PAULO HENRIQUE TROMBETTA ZANNIN, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 18 de Setembro de 2020.

Assinatura Eletrônica
21/09/2020 10:13:33.0
PAULO HENRIQUE TROMBETTA ZANNIN
Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
20/09/2020 22:05:34.0
EMILIO GRACILIANO FERREIRA MERCURI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
21/09/2020 14:43:06.0 NILSON
BARBIERI
Avaliador Externo (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ)

Dedico esse trabalho às minhas queridas avós Anastácia e Geysa (*in memoriam*), mulheres fortes e inspiradoras que sempre me provaram que o conhecimento, em suas diversas formas, nos engrandece e proporciona a realização dos sonhos. Sou eternamente grata pelas inúmeras lições de determinação, fé, resiliência e, principalmente, amor.

## AGRADECIMENTOS

Todos os propósitos que Deus colocou no meu caminho inundam meu coração de gratidão e amor. Ele sempre se fez presente na minha história e através das lições iluminadas pelo Espírito Santo me provou que “Ao homem pertencem os planos do coração; mas a resposta da língua é do Senhor” (Provérbios – 16,1). Sou infinitamente grata pelas oportunidades preparadas, pela proteção diária (exercida pelo meu poderoso Anjo da Guarda) e, acima de tudo, pelas pessoas maravilhosas que tive a benção de conhecer durante a vida e o processo do mestrado, bem como por aquelas que se mostraram presentes e fieis torcedoras da minha felicidade nesse desafio tão enriquecedor.

Minha família é a maior prova dessa graça. Meus maiores apoiadores e minha base em todos os aspectos da vida. Meus pais, Cassio e Sueli, sempre colocaram nossa educação como maior objetivo e herança e nossa felicidade como prioridade absoluta na vida. Minha irmã, Cassiele, sempre viu nas minhas conquistas a vitória dela e usou seu instinto de irmã mais velha para me aconselhar e proteger. Eles são a razão de todos os esforços, o estímulo para a conquista dos objetivos e o lugar para onde sei que sempre posso voltar quando me faltar segurança. Agradeço a esse “pequeno” núcleo para representar toda a gratidão que tenho a minha amada família, formada por avós, tios e primos, as raízes que fortalecem e nutrem meus sonhos.

O Matheus é um dos grandes e lindos propósitos na minha história. É reconfortante saber que o mundo pode contar com um ser humano como ele e quase que mágico entender que posso dividir a vida com alguém tão raro. Suas lições constantes de empatia e busca por um mundo mais justo são inspiração na busca diária de crescer e me tornar melhor. Ele, que sempre acreditou muito mais em mim do que eu mesma, me apoiou técnica e emocionalmente nessa etapa, seja através de auxílio na redação, pesquisa ou organização desse trabalho ou nas palavras e atitudes de carinho, respeito e amor praticadas para me mostrar que essa jornada valeria a pena.

Agradeço ao Professor Titular Dr. –Ing. Paulo H. T. Zannin, quem acreditou em mim desde que cheguei ao mestrado e me apontou caminhos a seguir e objetivos a traçar. Desde que o conheci, entendi que ele é uma enorme referência no tema e no universo da pesquisa. Através de sua orientação e das disciplinas

lecionadas por ele, aprendi muito mais sobre a Acústica e sobre a importância e a dimensão da ciência no mundo. As oportunidades proporcionadas por ele e pela ótima estrutura do LAAICA possibilitaram além da execução desse trabalho um aprendizado que levarei por toda a vida.

A estatística ficou mais clara e ainda mais interessante através das incríveis aulas e da ótima coorientação do Professor Dr. Paulo Justiniano Ribeiro Junior. Agradeço pelas ideias apontadas, pelas dúvidas sanadas e pelos ensinamentos valiosos sobre o quanto a estatística pode engrandecer um trabalho e o conhecimento no geral.

Agradeço aos Professores Drs. Emílio Graciliano Ferreira Mercuri e Nilson Barbieri por aceitarem a participação tanto na banca de qualificação quanto de defesa. Os apontamentos e questionamentos engrandeceram esse trabalho e enriqueceram meu entendimento sobre pesquisa científica.

Através do Matheus ganhei um dos presentes mais bonitos da vida: uma segunda família. Todos eles sempre me acolheram, apoiaram e torceram pelas minhas vitórias. Menciono em especial minha sogra Denise, uma das maiores e mais inspiradoras professoras que conheci, que sempre acreditou no poder transformador da educação. Além disso, ela sempre foi um dos maiores exemplos de fé na minha trajetória, sua calma, paciência e confiança em Deus me consolaram em momentos que o medo tentou tomar conta. O Antonio foi luz e cor nessa etapa de momentos difíceis e de certa forma inseguros. Nenhuma preocupação tem lugar diante do brilho que um sorriso dele emana. Daqui a alguns meses, a luz e o amor serão duplicados, já que o Álvaro virá para dar ainda mais motivos de felicidade e razões para tentar fazer do mundo um lugar melhor para o caminho desses anjos em forma de crianças.

Acredito que família é quem escolhemos para dividir o caminho, mas tive a sorte de receber primas com quem compartilho uma sintonia mágica que vai além dos laços de sangue. Sou imensamente grata a esse grupo tão leve e ao mesmo tempo intenso: Thaís, Renata e Mariana, as conversas sobre os mais diferentes temas, as risadas incontroláveis, o suporte na dor, as ideias, os conselhos... Tudo foi terapêutico (especialmente por termos duas quase psicólogas nesse grupo) e me fortaleceu na caminhada.

Meu maior presente da Engenharia Civil foi a amizade pura, sincera e fundamental da Kárilla. Ela me ensinou tanto: lições que foram desde os conceitos e

as equações até experiências de vida, fé, família e amor. Acredito que essas últimas foram as mais fortes e importantes, a ponto de ela ter dividido a família dela comigo e me mostrado o quanto Deus nos cuida e protege todos os dias. Agradeço por isso (que já é tanto), por ela me entender completamente e por tantas vezes me enxergar muito melhor do que eu sou.

A UFPR me presenteou com uma amiga que levarei para o resto da vida. O amor e a dedicação pela ciência que a Camila carrega são inspiradores e dignos da doutora incrível que ela vai se tornar. Esse título será mais um motivo para admirá-la, além da personalidade única, do caráter íntegro, da empatia rara e da força fascinante. Obrigada por ouvir todas as minhas inseguranças e dificuldades, por compartilhar experiências e ideais e, principalmente, pelos conselhos direcionadores!

Sinto-me profundamente abençoada e feliz por ter conhecido pessoas incríveis e ter o privilégio de tê-las como amigos. Manoela, Diessica, Mariana, Patricia, Felipe, Alexandre, Ana, Gustavo, Rafaela Bonato, Rafaela Burgardt, Daiane. Graças a vocês, a jornada é mais leve, bonita e feliz.

Além da ótima estrutura que o LAAICA oferece, tive o prazer de dividir equipamentos, conversas e dias com pessoas admiráveis. Destaco aqui o Eriberto, um grande pesquisador e uma pessoa extremamente inteligente, que me auxiliou intensamente nesse trabalho e a Beatriz, que sempre esteve disposta a me acompanhar e ajudar nas medições e com quem compartilhei risadas e desabafos por todo o Centro Politécnico.

Sou grata ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental por me abrir essa porta tão importante e especialmente ao secretário Leonildo, por seu trabalho atencioso, comprometido e sempre disposto em sanar dúvidas e ajudar no que fosse necessário.

Acredito que a Ciência transforma o mundo e precisa ser fomentada para progredir. Por isso agradeço a CAPES pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

Por fim, agradeço todas as pessoas que contribuíram para esse trabalho, especialmente as pessoas que se disponibilizaram para responder às entrevistas e a todos que acreditam e constroem diariamente a Ciência na busca de inovações e na transformação em um mundo mais sustentável e justo.

Mestre não é quem sempre ensina, mas quem de repente aprende.

(João Guimarães Rosa, O Grande Sertão: Veredas, p. 271, 1956)

## RESUMO

A poluição sonora além de afetar a qualidade de vida e bem estar, se configura como um importante problema de saúde pública. Dentro do contexto de ambientes educacionais, nos quais elevados níveis de ruído prejudicam a concentração e desempenho dos alunos, campi universitários possuem um valor de suma importância por treinarem e capacitarem os profissionais do futuro. O Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná é afetado por diversas fontes sonoras e frequentado por um grande número de usuários, o que aponta para a necessidade de gerenciamento do ruído. Diante desse problema, o trabalho tem por objetivo avaliação do ruído do campus por dados objetivos - medições e mapeamento sonoro – e subjetivos – entrevistas realizadas com uma amostra dos usuários. A metodologia para atingir tal finalidade consistiu em medições que seguiram os padrões da NBR 10151/2019 em 60 pontos da área; a execução de mapas a partir da inserção de parâmetros de relevo, de tráfego e das características das edificações e vias, os quais foram calibrados de acordo com os dados coletados nas medições; questionários sobre o incômodo causado pelo ruído do campus respondidos por 400 frequentadores do local. Os resultados das medições apontam que o limite estipulado pela Lei Municipal 10.625/2002, referente à ocupação geográfica do campus, foi superado em mais da metade dos pontos, porém apenas 7 pontos respeitaram os parâmetros máximos, para a mesma lei, de acordo com função do local. A área em torno do campus, delimitado por rodovias e vias de fluxo intenso, se destacou com valores acima de 70 dB (A), o que supera o valor máximo da norma para todos os tipos de área. Os mapas sonoros calculados confirmaram os resultados dos valores medidos: o entorno do campus ficou delimitado por cores escuras que indicaram os níveis elevados de ruído, enquanto que internamente mesmo com uma suavização da escala de cores, determinadas áreas ficaram demarcadas por cores que representam níveis de pressão sonora acima dos permitidos. As entrevistas realizadas indicaram que60% dos entrevistados se sentem incomodados pelo ruído do campus e 40% consideram o nível de ruído ambiental razoável (nível médio entre as 5 opções dadas). Nas questões em que foram atribuídas escalas de incômodo para diferentes fontes, a maioria das respostas se concentrou no grau 0 ou nas notas mais baixas. No que tange a relação entre o ruído ambiental do campus e a saúde, mais de 80% das pessoas acreditam que o ruído gerado não prejudica a saúde. Dentre os sintomas levantados, dificuldade de concentração e irritação foram os que tiveram maior expressão em notas mais altas. A heterogeneidade das respostas e as baixas correlações entre as fontes de ruído comprovaram o aspecto subjetivo da percepção e do incômodo causado pelo ruído ambiental nos seres humanos. As três ferramentas utilizadas se mostraram importantes para a avaliação da paisagem sonora e da futura tomada de decisões que priorize a qualidade de vida dos cidadãos e concretize medidas funcionais e economicamente viáveis para o controle do ruído ambiental.



**Palavras-chave**: Poluição Sonora. Medições de Ruído Ambiental. Mapeamento Acústico. Percepção Sonora. Campus Universitário.

## ABSTRACT

The noise pollution in addition to affecting the quality of life and well-being, it's an important problem of public health. Within the context of educational environments, in which high sound pressure levels impair students' concentration and performance, university campus are important because they train and empower the professionals of the future. The Polytechnic Center campus of the Federal University of Paraná is affected by several noise sources and frequented by a large number of people, these facts show the need for noise management. Due to this problem, this work aims the assessment of campus noise by objective data - measurements and noise mapping - and subjective - interviews conducted with a sample of users. The methodology for achieving this purpose consisted of measurements that followed the standards of NBR 10151/2019 in 60 area's points; the calculus of mapping based on the insertion of relief, traffic parameters and the characteristics of buildings and roads, which were calibrated according to the data collected in the measurements; questionnaires about the annoyance caused by the campus noise that were answered by 400 site frequenters. The measurement results show that the stipulated limit by the Municipal Law 10.625/2002, according to the campus geographic occupation, was exceeded in more than half of the points, but only 7 points respected the maximum parameters, for the same Law, according to the location function. The area around the campus, surrounded by highways and roads with intense traffic, stood out with values above 70 dB (A), which exceeds the maximum value of the standard for all types of area. The noise maps calculated confirmed the measurements results: the campus surroundings was delimited by dark colors which indicated high noise levels, while internally even with a smoothing of the color scale, certain areas were marked by colors that represent sound pressure levels above those allowed. The interviews carried out indicated that 60% of the interviewees feel disturbed by the campus noise and 40% consider the level of environmental noise is reasonable (average level among the 5 options given). In the questions in which annoyance scales were assigned the most answers focused on grade 0 or the in the lowest grades. Regarding the relation between campus environmental noise and health, more than 80% of people believe that the noise generated doesn't harm health. Among the symptoms raised, difficulty in concentration and irritation were those with the highest expression in higher scores. The heterogeneity of the responses and the low correlation between the sources of noise proved the subjective aspect of perception and annoyance caused by environmental noise in humans. The three tools used proved to be important for the assessment of the soundscape and future decision-making that prioritize the quality of life of citizens and implement functional and economically viable measures to control environmental noise.



**Key words**: Noise Pollution. Environmental Noise Measurements. Noise Mapping. Noise Perception. University Campus.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CAMINHOS DE PROPAGAÇÃO DO SOM.....23
FIGURA 2 – COMPARAÇÃO ENTRE PRESSÃO SONORA E NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....28
FIGURA 3 – CARACTERÍSTICAS DE RESPOSTA DE PONDERAÇÃO A, B E C PARA MEDIDORES DE NÍVEL SONORO .....29
FIGURA 4 – COMPOSIÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL .....46
FIGURA 5 – RESPOSTA PARA A PERGUNTA “QUAL RUÍDO INCOMODA VOCÊ?” .....48
FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO .....53
FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO .....55
FIGURA 8 – MAPA ESTRATÉGICO PARA O RUÍDO NOTURNO .....57
FIGURA 9 – MAPA DE RUÍDO DA LINHA VERDE .....58
FIGURA 10 – MAPA DE RUÍDO DE VIA URBANA NA REGIÃO NOROESTE DE CURITIBA .....59
FIGURA 11 – MAPAS DE RUÍDO DOS SETORES ESTRUTURAIS DE CURITIBA 60
FIGURA 12 – MAPAS DE RUÍDO DE DUAS AVENIDAS DE CURITIBA .....61
FIGURA 13 – MAPA DE RUÍDO DE UMA ÁREA COMERCIAL DE CAMPO GRANDE.....62
FIGURA 14 – MAPA DE RUÍDO DA MARGINAL PINHEIROS .....63
FIGURA 15 – MAPA DE RUÍDO DE UMA ÁREA DA UFPR.....64
FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO DO INDICADOR DE RUÍDO AMBIENTAL LDEN.....65
FIGURA 17 – FONTES PERTURBADORAS DE RUÍDO EM DIFERENTES ESPAÇOS.....67
FIGURA 18 – MAPAS DE RUÍDO EM UM CAMPUS DE UNIVERSIDADE DE ENGENHARIA .....69
FIGURA 19 – MAPA DE RUÍDO DO CAMPUS ECOVILLE DA UTFPR .....70
FIGURA 20 – RESPOSTAS DE CADA SETOR PARA A PERGUNTA: "VOCÊ ESTÁ INCOMODADO COM O RUÍDO GERADO NO CAMPUS DA UNIVERSIDADE?".....71
FIGURA 21 – MAPA DE RUÍDO DA CIDADE UNIVERSITÁRIA DO RIO DE JANEIRO.....73

FIGURA 22 – MAPA DE RUÍDO DO CAMPUS UNIVERSITÁRIO SEM A INSERÇÃO DE BARREIRA ACÚSTICA.....74
FIGURA 23 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS EM PONTOS EXTERNOS .....75
FIGURA 24 – VISTA AÉREA DO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO .....79
FIGURA 25 – MAPA DE ZONEAMENTO CONSOLIDADO DA ÁREA DE ESTUDO80
FIGURA 26 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO .....83
FIGURA 27 – INTERFACE DO PROGRAMA COM INSERÇÃO DE DADOS CARTOGRÁFICOS.....85
FIGURA 28 – VISUALIZAÇÃO 3D DA DIGITALIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES.....86
FIGURA 29 – LEGENDA DOS MAPAS .....105
FIGURA 30 – MALHAS E MAPAS .....106
FIGURA 31 – MAPA SONORO DO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO.....109
FIGURA 32 – MAPAS COM ALTERAÇÃO DE VELOCIDADE .....112

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - COMPARAÇÃO DOS VALORES MEDIDOS *IN SITU* E LIMITES PERMITIDOS POR LEI ..... 99
GRÁFICO 2 – DIFERENÇA ENTRE OS VALORES SIMULADOS E MEDIDOS ..... 102
GRÁFICO 3 – CURVA DE CALIBRAÇÃO DA SIMULAÇÃO ..... 103
GRÁFICO 4 – DISTRIBUIÇÃO DOS ENTREVISTADOS POR IDADE ..... 117
GRÁFICO 5 – DISTRIBUIÇÃO DOS ENTREVISTADOS POR BLOCOS ..... 117
GRÁFICO 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS ENTREVISTADOS POR BLOCOS (CORRIGIDA) ..... 118
GRÁFICO 7 – TEMPO HÁ QUE FREQUENTA O CAMPUS ..... 119
GRÁFICO 8 – DIAS POR SEMANA QUE FREQUENTA O CAMPUS ..... 120
GRÁFICO 9 – HORAS POR DIA QUE FREQUENTA O CAMPUS ..... 120
GRÁFICO 10 – PERÍODO(S) DO DIA QUE MAIS PASSA NO CAMPUS ..... 121
GRÁFICO 11 – RESPOSTA À PERGUNTA “VOCÊ SE SENTE INCOMODADO PELO RUÍDO DO CAMPUS?” ..... 122
GRÁFICO 12 – CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO DO CAMPUS DE ACORDO COM OS ENTREVISTADOS ..... 123
GRÁFICO 13 – LOCAIS APONTADOS COMO RUÍDO MAIS INTENSO ..... 124
GRÁFICO 14 – GRAU DE INCÔMODO DE CADA FONTE DE RUÍDO DE ACORDO COM OS ENTREVISTADOS ..... 125
GRÁFICO 15 – BOXPLOT DA RELAÇÃO ENTRE O GRAU DE INCÔMODO DE CADA FONTE DE RUÍDO E SETORES ..... 128
GRÁFICO 16 – RELAÇÃO ENTRE GRAU DE INCÔMODO DE CADA FONTE DE RUÍDO E SETORES ..... 132
GRÁFICO 17 – RESPOSTA À PERGUNTA “VOCÊ ACHA QUE O RUÍDO DO CAMPUS PREJUDICA A SAÚDE?” ..... 138
GRÁFICO 18 – INTENSIDADE DE SINTOMAS RELACIONADOS AO RUÍDO ..... 139

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1– NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DE ALGUMAS FONTES .....28
QUADRO 2 – PERCEPÇÃO SUBJETIVA DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....42
QUADRO 3 – ANÁLISE DE TRABALHOS DE RUÍDO AMBIENTAL .....76
QUADRO 4 – ANÁLISE DE TRABALHOS DE RUÍDO AMBIENTAL EM CAMPI UNIVERSITÁRIOS.....77

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – LIMITES DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE ÁREAS HABITADAS E DO PERÍODO ..... 37
TABELA 2 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MÁXIMOS ..... 41
TABELA 3 – DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO DO CENTRO POLITÉCNICO POR SETOR ..... 90
TABELA 4 – COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS EM 15 MINUTOS E 1 HORA ..... 95
TABELA 5 – MÉDIA LOGARÍTMICA E DIFERENÇA ENTRE MÉDIA E NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE 15 MINUTOS ..... 96
TABELA 6 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS ..... 96
TABELA 7 – DIFERENÇA ENTRE MEDIÇÃO *IN SITU* E NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO ..... 100
TABELA 8 – ELEMENTOS DOS MAPAS PARA DIFERENTES MALHAS ..... 104
TABELA 9 – DISTRIBUIÇÃO DAS ENTREVISTAS REALIZADAS ..... 115
TABELA 10 – PROPORÇÃO DA POPULAÇÃO E DA AMOSTRA ..... 115
TABELA 11 – PROPORÇÃO POR GÊNERO DE ACORDO COM SETOR ..... 116
TABELA 12 – RELAÇÃO ENTRE O SEXO E A RESPOSTA À PERGUNTA “VOCÊ SE SENTE INCOMODADO PELO RUÍDO DO CAMPUS?” ..... 122
TABELA 13 – RELAÇÃO ENTRE O SETOR E A RESPOSTA À PERGUNTA “VOCÊ SE SENTE INCOMODADO PELO RUÍDO DO CAMPUS?” ..... 123
TABELA 14 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL PARA GRAU DE INCÔMODO DE FONTES DE RUÍDO ..... 125
TABELA 15 – CORRELAÇÕES ENTRE O GRAU DE INCÔMODO PELA FONTE 136
TABELA 16 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA AS FONTES DE RUÍDO ..... 137
TABELA 17 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL PARA SINTOMAS RELACIONADOS AO RUÍDO ..... 138
TABELA 18 – CORRELAÇÕES ENTRE A INTENSIDADE DOS SINTOMAS ..... 141
TABELA 19 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA AS FONTES DE RUÍDO ..... 141

**SUMÁRIO**

**1 INTRODUÇÃO ..... 17**
1.1 OBJETIVOS ..... 19
1.1.1 Objetivo geral ..... 19
1.1.2 Objetivos específicos ..... 20
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO ..... 20
**2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ..... 21**
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE SOM E RUÍDO ..... 21
2.2 PROPRIEDADES DO SOM ..... 22
2.2.1 Fontes Sonoras ..... 22
2.2.2 Fenômenos de propagação das ondas sonoras ..... 22
2.2.3 Frequência ..... 24
2.2.4 Pressão sonora ..... 24
2.2.5 Intensidade e potência sonora ..... 25
2.3 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA ..... 26
2.3.1 Nível de pressão sonora (NPS) ..... 26
2.3.2 Curva de ponderação ..... 29
2.3.3 Nível de pressão sonora equivalente ($Leq$) ..... 30
2.4 MAPEAMENTO ACÚSTICO ..... 31
2.4.1 Modelos de cálculo do mapeamento de ruído ..... 32
2.4.1.1 ISO 9613-2:1996 ..... 32
2.4.1.2 Modelo de Ruído de Tráfego Rodoviário - RMV-SRM2 ..... 34
2.5 NORMAS E LEGISLAÇÃO VIGENTE ..... 35
2.5.1 Normas para ruído ambiental ..... 35
2.5.1.1 ISO 1996 ..... 35
2.5.1.2 NBR 10151:2019 ..... 37
2.5.2 Legislação para o ruído ambiental ..... 38
2.5.2.1 Resoluções CONAMA ..... 39
2.5.2.2 Lei Municipal 10.625/2002 ..... 40
2.6 PERCEPÇÃO SONORA ..... 42
**3 REVISÃO DA LITERATURA ..... 44**
3.1 RUÍDO AMBIENTAL ..... 44
3.1.1 Ruído de tráfego ..... 45

3.2 PERCEPÇÃO SONORA ..... 47
3.2.1 Efeitos do ruído ambiental na saúde ..... 51
3.3 MEDIÇÕES DE RUÍDO AMBIENTAL ..... 52
3.4 MAPEAMENTO ACÚSTICO ..... 54
3.5 RUÍDO AMBIENTAL EM AMBIENTES ESCOLARES ..... 64
3.5.1 RUÍDO AMBIENTAL EM UNIVERSIDADES ..... 65
**4 METODOLOGIA ..... 78**
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO ..... 78
4.1.1 Universidade Federal do Paraná ..... 78
4.1.2 Campus Centro Politécnico ..... 78
4.2 COLETA DE DADOS EM CAMPO - MEDIÇÕES SONORAS ..... 81
4.3 MAPEAMENTO DE RUÍDO ..... 84
4.3.1 Montagem do modelo – Inserção de parâmetros ..... 85
4.3.2 Calibração do modelo ..... 87
4.3.3 Cálculo do modelo ..... 88
4.4 AVALIAÇÃO SUBJETIVA ..... 89
4.4.1 População e amostra ..... 90
4.4.2 Questionários e entrevistas ..... 92
4.4.3 Tabulação dos dados e análise estatística ..... 93
4.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO ..... 94
**5 RESULTADOS ..... 95**
5.1 MEDIÇÕES SONORAS ..... 95
5.2 MAPEAMENTO ACÚSTICO ..... 100
5.2.1 Calibração do modelo ..... 100
5.2.2 Mapas acústicos calculados ..... 104
5.3 AVALIAÇÃO SUBJETIVA ..... 115
5.3.1 Análise geral da amostra ..... 115
5.3.2 Análise do incômodo pelo ruído ..... 121
**6 CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 142**
**REFERÊNCIAS ..... 145**
**APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO – PERCEPÇÃO DO RUÍDO NO CAMPUS POLITÉCNICO ..... 160**

# 1 INTRODUÇÃO

O som faz parte do cotidiano das pequenas, médias e grandes cidades, porém quando passa a ser desagradável ou indesejado é chamado de ruído. A qualidade do som e as atitudes tomadas frente a ele interferem no nível de incômodo percebido pelas pessoas (KATALIN, 2018). O ambiente urbano é composto por várias fontes sonoras: tráfego (rodoviário, ferroviário e aéreo), instalações industriais, construção civil e atividades sociais. Além da dificuldade envolvida em distinguir e combater as fontes individualmente, a participação simultânea de várias fontes e atividades contribuem para a conversão da paisagem sonora em um cenário de poluição sonora (PAIVA et.al., 2015).

A poluição sonora é reconhecida por afetar a qualidade de vida e o bem-estar há anos. Porém, nas últimas décadas ela está cada vez mais atrelada a um importante problema de saúde pública (NOISE IN EUROPE, 2014). Segundo a Organização Mundial da Saúde, o ruído ocupa o segundo lugar entre os fatores de risco ambiental para a saúde pública, atrás apenas da poluição do ar por partículas ultrafinas ($PM_{2,5}$) (OMS, 2011).

Esse problema pode ser considerado um dos principais agentes de perda de qualidade de vida e qualidade ambiental em uma cidade e sua disseminação ultrapassou os limites das instalações industriais e está cada vez mais presente em atividades de lazer, momentos de descanso e trabalho. Porém, sua percepção é baseada na inter-relação entre pessoa, lugar e atividade no espaço e no tempo (DAVIES et al., 2013).

O incômodo é um dos principais efeitos da exposição ao ruído na saúde humana (OMS, 2011; OKOKON et al., 2015; HAMMERSEN et al., 2016) e também um importante indicador de sensibilidade ao ruído. O grau de sensibilidade ao ruído é uma característica intrínseca que permite uma avaliação da vulnerabilidade de um indivíduo à exposição ao ruído, a qual é influenciada por reações emocionais negativas geradas pela dificuldade de se acostumar a certos tipos de ruído (OKOKON et al., 2015; FRYD; PEDERSEN, 2016).

Os efeitos causados pelo ruído ambiental à saúde podem ser auditivos e não auditivos. Os primeiros relacionam-se com a perda auditiva induzida pelo ruído, a qual pode ser causada por uma exposição única a um som de impulso intenso ou pela exposição em longo prazo a altos níveis de pressão sonora, por exemplo, em

ambientes industriais (BASNER et al. 2014). Já os efeitos não auditivos referem-se a distúrbios do sono, pressão alta, doenças cardiovasculares, emoções negativas, como aborrecimento, raiva, decepção e depressão (MUNZEL et al., 2014; GERAVANDI et al., 2015; MUNZEL et al., 2018; RAJA et.al., 2019).

No contexto dos ambientes educacionais níveis elevados de ruído afetam o comportamento e a compreensão dos alunos e tornam o ensino exaustivo. Existem vários estudos sobre a influência do ruído ambiental no desempenho de aprendizagem e trabalho. Os estudos indicaram que a exposição ao ruído ambiental pode acarretar na diminuição do desempenho cognitivo, no que tange às dificuldades de comunicação, atenção prejudicada, aumento da excitação, irritação e consequências de distúrbios do sono no desempenho escolar (ZANNIN E ZWIRTES 2009; GOSWAMI 2011; ZANNIN et al. 2013b; SU; KANG; JIN, 2013; SOARES et. al, 2014; TZIVIAN, 2017).

Desse modo, gerenciar o nível de ruído ambiental em ambientes acadêmicos é imprescindível para um eficiente processo de aprendizado. Dentro do contexto das organizações acadêmicas, campi universitários detêm um valor crítico já que além de todas as questões educacionais envolvidas, é dentro desses lugares que os profissionais do futuro estão sendo treinados e capacitados (ÇOLAKKADIOĞLU, 2018). Por isso, várias pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de caracterizar e avaliar a poluição sonora em recintos universitários (IBRAHIM, 2015; HARON et al., 2015; THATTAI et al., 2017).

Como a poluição sonora ambiental é um fenômeno inerentemente espacial - varia no espaço geográfico, dependendo da localização da fonte de ruído, do receptor e dos obstáculos intervenientes (como a topografia, os edifícios e as barreiras), o mapeamento estratégico de ruídos surge como uma maneira eficaz de gerenciar o ruído (MURPHY; KING, 2014; SUÁREZ; BARROS, 2014; MELO et. al., 2015; MURPHY; FAULKNER; DOUGLAS, 2020). Essa ferramenta permite identificar locais sujeitos a níveis excessivos de ruído, o número de indivíduos afetados e a previsão de cenários futuros. Assim, é possível tomar medidas que reduzam os níveis de ruído para proteger a saúde pública (MURPHY; DOUGLAS, 2018).

O Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná tem grande importância tanto para os acadêmicos e professores, quanto para a comunidade em geral, diante de suas atividades de Ensino, Pesquisa e Extensão. O perímetro externo do campus é cercado por duas vias expressas com intenso

tráfego de veículos - a via expressa BR 277 que liga a cidade de Curitiba à área costeira do estado do Paraná e a Linha Verde, anteriormente denominada rodovia BR 116, que liga o país de norte a sul. Dessa forma, devido à localização do campus, o ruído gerado pelo fluxo de veículos no entorno do campus é um fator crítico e que acarreta em diversas consequências para a área de estudo.

Além dessa fonte de ruído, há a circulação interna de motos, carros e ônibus em vias que contornam os edifícios do campus; reformas e construções de edificações próximas a salas de aula e postos de trabalho; as diversas manutenções realizadas, principalmente os serviços de jardinagem e coleta de resíduos.

Diante dessas diversas fontes de ruído, do grande número de frequentadores do local, da importância do campus para os usuários e para comunidade em geral e, principalmente, da influência do ruído no processo de aprendizagem e os efeitos negativos na saúde humana, o estudo e gerenciamento dessa problemática são extremamente necessários. Além de monitorar os níveis de ruído através de medições e mapas acústicos, a ferramenta das entrevistas de percepção dos usuários se mostra relevante, pois uma das maiores preocupações é o bem-estar psicofisiológico dos alunos e profissionais envolvidos com o campus em relação ao ruído. A combinação dos resultados objetivos e subjetivos gera um diagnóstico mais abrangente da paisagem sonora estudada, o que auxilia na tomada de decisões da gestão para a mitigação dos impactos gerados pela poluição sonora.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo a realização da caracterização do ruído ambiental no campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, através de medições e mapeamento sonoro, bem como a avaliação da percepção das pessoas que frequentam o campus em relação ao ruído e seus efeitos nas atividades praticadas.

### 1.1.2 Objetivos específicos

a) Análise dos níveis de pressão sonora equivalente ($L_{eq}$) medidos no campus;
b) Comparação dos níveis medidos de ruído e os recomendados pela legislação;
c) Elaboração de mapas acústicos dos locais, com intuito de visualizar amplamente o ambiente acústico da área de estudo;
d) Execução de estudo de percepção sonora ambiental através da aplicação de questionários na amostra selecionada para a área de estudo;
e) Realização de análise descritiva dos dados obtidos através dos questionários, bem como confrontá-los com os mapas e as medições.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho busca a construção de um texto organizado, através de uma sequência lógica das informações apresentadas. Para tal, o texto é dividido em capítulos cujos conteúdos são indicados a seguir.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica do trabalho, na qual são descritos os principais conceitos e definições pertinentes ao tema em estudo, bem como são introduzidas as principais formulações e expressões de interesse. Ainda, são expostas as normas e legislações aplicáveis ao tema de estudo.

No capítulo 3 aborda-se a revisão da literatura, com o objetivo de investigar o estado da arte e entender as características e tendências dos temas desenvolvidos na pesquisa.

O capítulo 4 descreve a metodologia do trabalho, a qual foi dividida em três eixos principais: as medições *in situ*, o cálculo e validação dos mapas acústicos e a realização de entrevistas sobre a percepção sonora dos usuários do campus.

O capítulo 5 traz os resultados e a discussão sobre os mesmos, dentre os quais: dados referentes às medições de ruído, resultados das simulações e informações a respeito das entrevistas realizadas.

Por fim, o capítulo 6 sintetiza as principais conclusões definidas pelo trabalho.

# 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo apresenta conceitos importantes para a temática da pesquisa. Com o propósito de elucidar o entendimento da propagação do som, alguns conceitos relacionados à acústica ambiental são mostrados. Em seguida, são expostas considerações acerca de medições, mapeamento e percepção sonora, assim como aspectos relacionados à legislação que estabelece parâmetros e limites para a poluição sonora.

## 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE SOM E RUÍDO

A ABNT, através da NBR 12179:1992, define som como “toda e qualquer vibração ou onda mecânica que se propaga num meio dotado de forças internas (por exemplo: plástico, viscose, etc.), capaz de produzir no homem uma sensação auditiva”. Gerges (2000) acrescenta que o som pode ser representado por compressões e rarefações – causadas por colisões moleculares - do meio em que se propaga, a partir da fonte sonora. Cabe salientar que não há deslocamento permanente de moléculas, ou seja, não há a transferência de matéria, apenas energia.

Quando essa propagação de ondas sonoras ocorre de forma harmônica, é denominada “som”, no entanto quando acontece de maneira incômoda é denominada “ruído”, (KINSLER et al., 1982; HARRIS, 1998). Gerges (2000) resume que o ruído se caracteriza pela existência de muitas amplitudes e frequências, as quais ocorrem ao mesmo tempo de maneira não harmônica, ao passo que o som é qualificado por poucas amplitudes e frequências, geralmente harmônicas.

Goelzer, Hansen e Sehrndt (2001) defendem que, acusticamente, som e ruído constituem o mesmo fenômeno de flutuações da pressão atmosférica sobre a pressão atmosférica média e que, dessa forma, a diferenciação está na percepção subjetiva, já que um som pode ser considerado ruído para uma determinada pessoa e não para outras. Bistafa (2006) destaca que apesar da conotação negativa, os sons que são qualificados como ruídos podem transmitir informações úteis, como no caso de alarmes e sirenes de ambulâncias ou na compreensão do funcionamento de alguns equipamentos.

A poluição sonora urbana tem como agente causador o ruído urbano ou ruído ambiental, o qual é considerado como um ruído complexo, visto que é composto de várias parcelas de ruídos secundários, provenientes de diversas fontes sonoras. Dessa maneira, para se eliminar ou atenuar este tipo de ruído é necessário intervir em cada parcela que o compõe separadamente (PAZ, 2004).

## 2.2 PROPRIEDADES DO SOM

### 2.2.1 Fontes Sonoras

Um equipamento ou um transdutor que seja capaz de transformar algum tipo de energia em energia sonora é chamado de fonte sonora, a qual pode ser classificada em: pontual, em linha e em área. Essa categorização se dá em função da forma como ocorre a irradiação do som, a depender da distância do receptor (GOELZER et al., 2001; BIES; HANSEN, 2003).

De acordo com Hassall e Zaveri (1979), a classificação se dá da seguinte forma:

- Pontuais: quando apresentam dimensões muito inferiores em relação à distância até o receptor;
- Fonte em linha: quando é considerada composta por um grande número de fontes pontuais dispostas sequencialmente, formando uma irradiação contínua;
- Fonte em área: quando uma fonte ou um conjunto de fontes apresentam-se dispostas em uma área de perímetro fechado, e suas dimensões são consideráveis ou perceptíveis em relação à distância até o receptor.

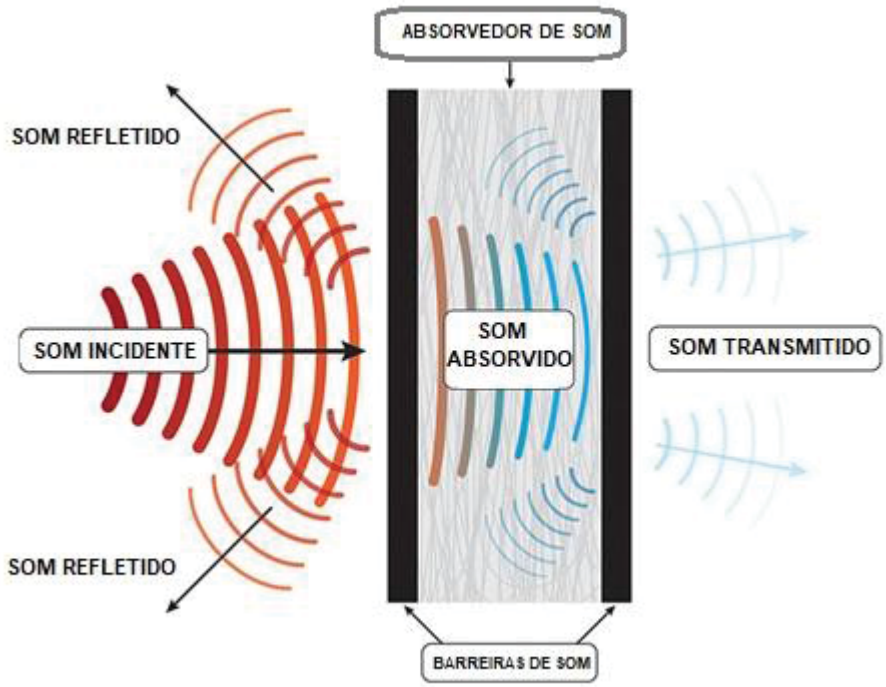
### 2.2.2 Fenômenos de propagação das ondas sonoras

Quando uma onda sonora incidente em uma superfície que separa dois meios distintos, considerados ilimitados, retorna a energia ou parte da energia incidente ao meio de origem ocorre o fenômeno da reflexão. Durante esse processo, a onda retorna ao ambiente com um ângulo igual ao de incidência sobre a superfície (VALLE, 2009; BIES; HANSEN; HOWARD, 2018).

O fenômeno da difração ocorre devido à variação da pressão atmosférica ocorrida no momento da compressão e rarefação da onda sonora. Ela ocorre quando o comprimento da onda em relação aos corpos do meio de propagação é relativamente pequeno, o que permite que as ondas sonoras sejam capazes de contornar ou transpor certos obstáculos, mudando sua direção e reduzindo sua intensidade. Quando as ondas são espalhadas para todas as direções pela superfície atingida de forma aleatória, verifica-se o fenômeno da difusão sonora (KINSLER et al., 1982; CARVALHO; 2010).

No caso de a onda sonora incidente atravessar a superfície que separa dois meios, tem-se o fenômeno denominado de transmissão. A absorção acontece quando parte da onda sonora incidente é atenuada ou distorcida pela superfície ou pelo meio. Além disso, a absorção sonora é definida pela transformação de energia acústica em térmica. Quando uma onda sonora se encontra com uma superfície revestida com um material poroso, dissipa-se por reflexões múltiplas e atrito viscoso, transformando-se em calor (KINSLER et al., 1982; BIES; HANSEN; HOWARD, 2018). A FIGURA 1 apresenta alguns desses fenômenos de propagação das ondas sonoras.

FIGURA 1 – CAMINHOS DE PROPAGAÇÃO DO SOM




FONTE: Adaptado de Duracote (2019).

### 2.2.3 Frequência

Dentre as propriedades físicas do som, a frequência é amplamente usada como forma de caracterizá-lo. Ela pode ser definida como o número de repetições de um evento por unidade de tempo. A frequência sonora é o número de ocorrência de uma onda sonora, a partir de uma vibração, em um segundo. A unidade mais utilizada para frequência sonora é o Hertz (Hz).

O ser humano é capaz de ouvir sons que estejam situados na faixa de frequência entre 20 Hz e 20 kHz, denominada de “faixa de áudio”. Os sons com frequência abaixo de 20 $\mathrm{Hz}$ são considerados infrassons ao passo que os com frequência acima de 20 $\mathrm{kHz}$ são chamados ultrassons. As frequências audíveis são divididas em três regiões, entre 20 e 200 $\mathrm{Hz}$ é possível escutar sons graves ou de baixa frequência, entre 200 e 2.000 $\mathrm{Hz}$ é possível ouvir sons médios, e entre 2.000 e 20.000 $\mathrm{Hz}$ encontram-se os sons agudos ou de alta frequência (BIES; HANSEN; HOWARD, 2018).

### 2.2.4 Pressão sonora

As oscilações das partículas em um meio elástico, em torno do seu ponto de equilíbrio, provocam variação de pressão. Como essa variação ocorre em função da propagação do som, recebe a denominação de pressão sonora (EVEREST; POHLMANN, 2009). A pressão sonora é definida como variação média de pressão em relação à pressão atmosférica e tem como unidade de medida o Pascal (Pa) (BISTAFA, 2006). A Eq. (1) descreve o comportamento da pressão sonora em função do tempo (t):

$$\mathrm{p(t)} = \mathrm{A}\cos\ (2\pi \mathrm{f.\,t}) \tag{1}$$

Onde:

$p$ = pressão sonora em função do tempo t; em $\mathrm{Pa}$;

$A$ = amplitude de pressão, em $\mathrm{Pa}$;

$f$ = representa a frequência, em $\mathrm{Hz}$.

A faixa de pressão sonora captada pelo ouvido humano se encontra entre dois limites: o limiar da audibilidade e o limiar da dor. O primeiro equivale a aproximadamente 2x10$^{-5}$ $\mathrm{N/m^2}$ ou 20 ?Pa (micro Pascal) e o outro corresponde à uma pressão de cerca de 200 $\mathrm{N/m^2}$, ou 200 x 10 ?Pa (ROSSING, 2001).

### 2.2.5 Intensidade e potência sonora

A quantidade média de energia, em uma unidade de tempo, que atravessa uma área unitária perpendicular à direção de propagação da onda explica o conceito de intensidade sonora. Uma vez que energia na unidade de tempo é potência, grandeza expressa em watts (W), a unidade de intensidade sonora é o watt por metro quadrado ($\mathrm{W/m^2}$) (HANSEN, 2005).

A intensidade sonora, apresentada na Eq. (2) se relaciona com a raiz quadrática média da pressão sonora eficaz - $P_{RMS}$ (root mean square value), onde $\rho$ é a densidade do ar ($\mathrm{kg/m^3}$) e $c$ a velocidade do som em ($\mathrm{m/s}$). Este termo $\rho c$ também é nomeado impedância acústica e vale 414 $\mathrm{Ns/m^3}$ a 20° $C$ a uma pressão atmosférica de 1 $\mathrm{atm}$ (KINSLER et al., 1982; GOELZER et al., 2001).

$$\vec{I} = \frac{P_{RMS}{}^2}{\rho c} \tag{2}$$

No caso de uma transmissão espacial esférica, uniforme em todas as direções, a potência sonora pode ser expressa pela Eq. (3), na qual $r$ representa a distância à partir da fonte sonora (KINSLER et al., 1982; GOELZER et al., 2001).

$$W = \vec{I} \cdot 4\pi r^2 \tag{3}$$

Dessa maneira, o que caracteriza uma fonte sonora é sua potência sonora, já que essa indica a capacidade de uma fonte gerar som, ou seja, uma característica intrínseca da fonte. Já a intensidade é um indicador de magnitude, direção e sentido de propagação da energia sonora e por ser uma grandeza vetorial indica o fluxo da energia sonora. A pressão sonora é uma grandeza fortemente relacionada com a sensação subjetiva da intensidade do som e por isso é a mais importante para

caracterizar os efeitos do ruído para o ser humano. Esse valor pode ser medido diretamente pela utilização de um microfone acoplado a um sistema de condicionamento de sinal por ele gerado (HANSEN, 2005; BISTAFA, 2006).

## 2.3 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA

### 2.3.1 Nível de pressão sonora (NPS)

Vista a dificuldade em se expressar números de ordem de grandeza tão discrepantes, como é o caso da pressão sonora, em uma mesma escala linear, optou-se pela escala logarítmica. Um valor de divisão de escala adequado é $\log 10$, ao qual se dá o nome de *Bel* (BIES; HANSEN; HOWARD, 2018).

A escala *Bel* foi desenvolvida para comparação entre potências de sistemas de telefonia utilizando sinais elétricos, com a intenção de comprimir uma ampla faixa de variação da escala linear de potências por transformação dessa em escala logarítmica. Essa grandeza, que está demonstrada na Eq. (4), recebeu esse nome em homenagem a Alexander Graham Bell (BISTAFA, 2006).

$$\mathrm{bel} = \log \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{P_0}} \tag{4}$$

sendo $\mathrm{P}$ a potência do sistema e $\mathrm{P_0}$ uma potência arbitrária de referência.

Dado que a potência sonora é proporcional ao quadrado da pressão sonora, a escala Bel pode ser utilizada para medição dos níveis de pressão sonora, como sendo o logaritmo da relação entre um determinado valor de pressão sonora e a pressão sonora mínima de referência (ROSSING, 2001). Com base na faixa dos valores de pressões sonoras estudadas em acústica, optou-se por trabalhar com a décima parte de uma unidade Bel, o decibel, o qual corresponde a mínima variação da potência sonora detectável pelo sistema auditivo (GERGES, 2000; BISTAFA, 2006; EVEREST; POHLMANN, 2009). Dessa maneira, o nível de pressão sonora $(\mathrm{NPS})$ é definido pela expressão apresentada na Eq. (5):

$$\mathrm{NPS} = 10\log \frac{\mathrm{p_1}^2}{\mathrm{p_0}^2} \tag{5}$$

Onde:

$\mathrm{NPS}$= nível de pressão sonora, em $\mathrm{dB}$,

$\mathrm{p_1}$= pressão sonora instantânea no local de medição, em $\mathrm{Pa}$;

$\mathrm{p_0}$= pressão sonora de referência = 2 x $10^{-5}$ $\mathrm{N/m^2}$.

Analogamente ao nível de pressão sonora, é possível calcular o nível de intensidade sonora, bem como o nível de potência sonora, apresentados respectivamente nas Eq. (6) E (7) (GERGES, 2000; HANSEN, 2005).

$$\mathrm{NI} = 10\log \frac{\mathrm{I_1}^2}{\mathrm{I_0}^2} \tag{6}$$

Onde:

$NI$= Nível de intensidade sonora, em $\mathrm{dB}$;

$I_1$= intensidade sonora no local de medição, em $\mathrm{W/m^2}$;

$I_0$= intensidade sonora de referência = $10^{-12}$ $\mathrm{W/m^2}$.

$$\mathrm{NWS} = 10\log \frac{\mathrm{W_1}^2}{\mathrm{W_0}^2} \tag{7}$$

Onde:

$NI$= Nível de potência sonora, em $\mathrm{dB}$;

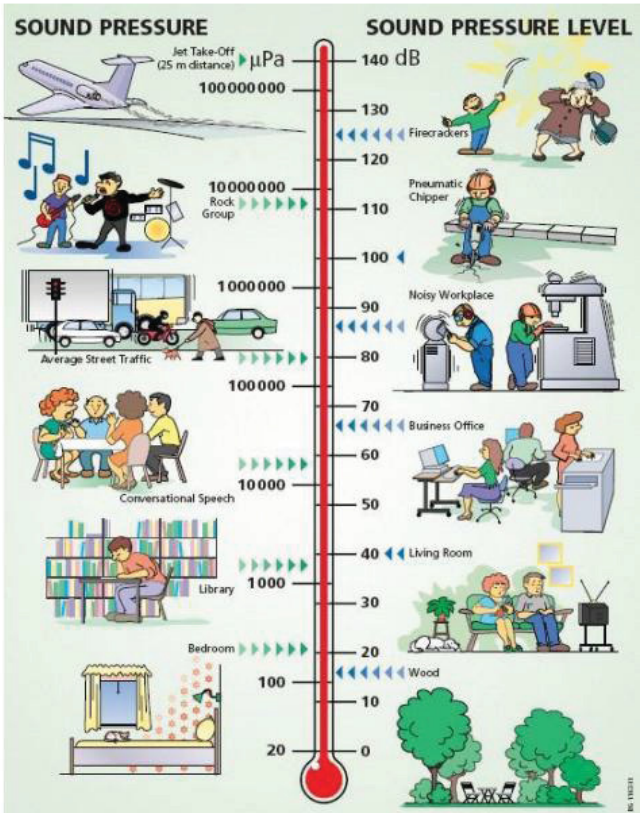
$W_1$= potência sonora emitida pela fonte de interesse, em $\mathrm{W}$;

$W_0$= potência sonora de referência = $10^{-12}$ $\mathrm{W}$.

Em relação a faixa de intensidade acústica a qual o ouvido humano é capaz de responder, sabe-se que a uma frequência de 1000 $\mathrm{Hz}$, a intensidade acústica que é capaz de causar a sensação de dor é $10^{14}$ vezes a intensidade acústica que possibilita a audição. Convertendo esses valores para o nível de intensidade sonora é possível entender que a gama de audibilidade humana vai de 0 a 140 $\mathrm{dB}$ (BIES; HANSEN; HOWARD, 2018).

A FIGURA 2 apresenta a relação entre pressão sonora ($\mu\mathrm{Pa}$) e nível de pressão sonora ($\mathrm{dB}$) para diferentes fontes de ruído.

FIGURA 2 – COMPARAÇÃO ENTRE PRESSÃO SONORA E NÍVEL DE PRESSÃO SONORA




FONTE: Brüel & Kjær (2000).

Além disso, o QUADRO 1 apresenta níveis de pressão sonora e respectivos exemplos de atividades que emitem tais níveis, bem como a classificação subjetiva sobre o ruído.

QUADRO 1– NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DE ALGUMAS FONTES

| **Nível de pressão sonora (dB)** | **Descrição da fonte** | **Descrição subjetiva** |
|---|---|---|
| 140 | Lançamento para a Lua 100 m de distância; fogo de artilharia, na posição do atirador. | Intolerável |
| 120 | Sala de motor de um navio; show de rock, na frente e próximo às caixas de som. | |
| 100 | Moinho Têxtil; sala de imprensa; maquinário de corte de madeira, na posição do operador. | Muito barulhento |
| 80 | Próximo a uma autoestrada, gritando. | Barulhento |
| 60 | Loja de departamentos, restaurante, nível de fala. | |
| 40 | Vizinhança residencial silenciosa, nível ambiente. | Silencioso |
| 20 | Estúdio de gravação, nível ambiente. | Muito silencioso |
| 0 | Limiar de audição para jovens normais. | |

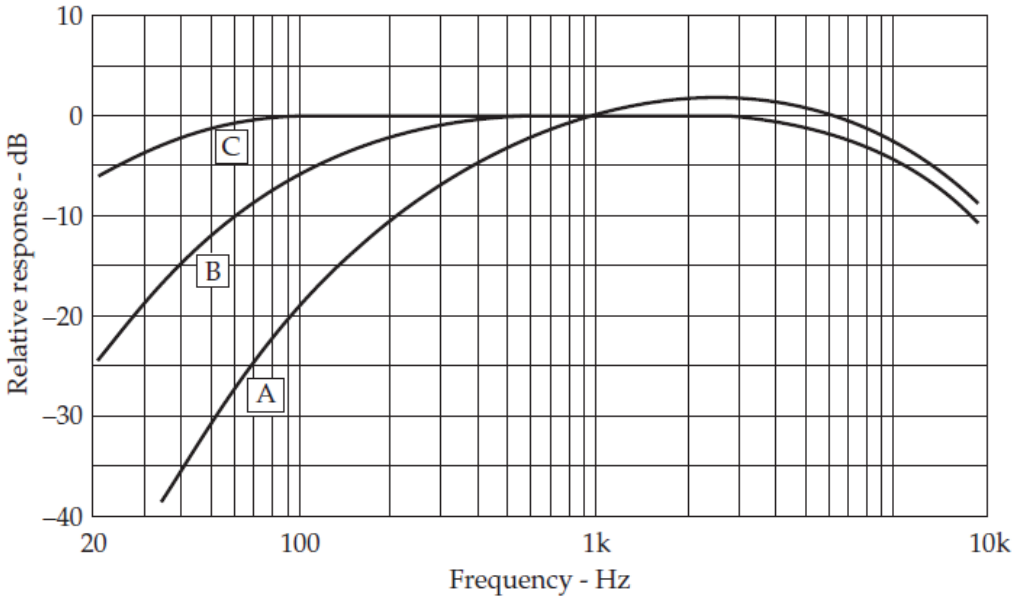
FONTE: BIES, HANSEN, HOWARD (2018).

### 2.3.2 Curva de ponderação

Dentre a complexidade dos fatores que determinam a audibilidade humana está o fato de o ouvido humano não ser igualmente sensível a todas as frequências. Por isso, com o intuito de corrigir os níveis sonoros captados pelos medidores para que se assemelhem percepção do som pelo ouvido humano, foram desenvolvidas a curvas de compensação, as quais foram designadas pelas letras A, B, C, D, etc (GERGES, 2000; BISTAFA, 2006; BIES; HANSEN; HOWARD, 2018).

A curva A aproxima-se das curvas de audibilidade para baixos níveis de pressão sonora, ao passo que as curvas B e C para médios e altos. A curva D foi especialmente padronizada para aeroportos. Os medidores de nível sonoro geralmente oferecem uma seleção de redes de ponderação designadas A, B e C, com respostas de frequência mostradas na FIGURA 3. A curva A é utilizada em larga escala, devido a boa correlação da curva A em testes subjetivos e consequente maior representatividade da sensação auditiva humana (KINSLER et al., 1982, GERGES, 2000; MATEUS, 2008, EVEREST; POHLMANN, 2009).

FIGURA 3 – CARACTERÍSTICAS DE RESPOSTA DE PONDERAÇÃO A, B E C PARA MEDIDORES DE NÍVEL SONORO




FONTE: EVEREST; POHLMANN (2009).

### 2.3.3 Nível de pressão sonora equivalente ($L_{eq}$)

As fontes de ruído ambiental, tais quais o tráfego, aeronaves e indústria, geralmente são difíceis de quantificar porque geralmente variam ao longo do tempo. Dado que os danos causados pelo ruído não dependem apenas do seu nível, mas também do tempo de exposição, se faz necessário avaliar a dose de exposição ao ruído, o que é realizado através do nível de pressão sonora equivalente (GERGES, 2000; EVEREST; POHLMANN, 2009).

O nível de pressão sonora equivalente, descrito na Eq. (8) também pode ser definido como a soma das contribuições de uma série de eventos sonoros, integrados em um intervalo de tempo de interesse. Quando o nível de pressão sonora equivalente já é ponderado em A, pode também ser expresso como $\mathrm{LA_{eq}}$, o qual é utilizado para resumir o ruído emitido em um único valor representativo da energia sonora típica emitida em uma condição específica (BERGLUND, LINDVALL; SCHWELA, 1999).

$$\mathrm{L_{eq}} = 10\log\frac{1}{\mathrm{T}}\int_0^{\mathrm{T}}\frac{\mathrm{p(t)}^2}{{\mathrm{p_0}}^2}\,\mathrm{dt} \tag{8}$$

Onde:

$L_{eq}$= Nível contínuo equivalente, em $\mathrm{dB\ (A)}$;

$T$ = tempo de integração, em segundos $(\mathrm{s})$;

$p_1$= pressão sonora instantânea no local de medição, em $\mathrm{Pa}$;

$p_0$= pressão sonora de referência = 2 x $10^{-5}$ $\mathrm{N/m^2}$.

No caso de medições sonoras realizadas em um mesmo ponto, para se encontrar um valor médio, usa-se também a soma logarítmica. A Eq. (9) descreve a fórmula da média logarítmica dos níveis de pressão sonora.

$$\mathrm{L_{eq,T}} = 10\log\left[\frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}}10^{\frac{(\mathrm{Leq,t})_\mathrm{i}}{10}}\right] \tag{9}$$

Onde:

$L_{eq,T}$= Média logarítmica do nível de pressão sonora, em $dB\ (A)$;

$n$ = número de medições sonoras;

$(Leq, t)_i$= nível de pressão sonora correspondente à medição i, em dB (A);

## 2.4 MAPEAMENTO ACÚSTICO

A qualidade de vida de uma cidade é amplamente afetada pela paisagem sonora. Por isso, o gerenciamento e o mapeamento do ruído urbano são grandes preocupações para todos os envolvidos no planejamento urbano, como as autoridades municipais e o governo no geral. A maneira mais economicamente viável de reduzir os níveis sonoros é preveni-los antes que ocorram, já que a reconstrução ou manutenção de rodovias ou a construção de barreiras acústicas são muito caras (BRÜEL & KJAER, 2019).

De acordo com Klaeboe et al. (2006), o mapeamento sonoro representa uma ferramenta importante para fornecer informações relevantes para planos de ações globais e locais. A utilização de mapas de ruído tem sido um instrumento bastante utilizado, tanto que livros completos sobre esse assunto vêm sendo publicados (LICITRA, 2013; MURPHY e KING, 2014; ZANNIN, 2016).

A publicação da Diretiva Europeia 2002-49-EC de Ruído Ambiental (Environmental Noise Directive - END), aprovada em 2002, foi um marco para essa questão. Essa norma obriga os países membros a se responsabilizarem pelo monitoramento e gerenciamento do ruído, bem como pela publicidade, consulta e elaboração de uma estratégia europeia de longo prazo para enfrentamento do problema (GUARINONI; GANZLEBEN; MURPHY, 2012). De uma maneira geral, essa publicação engloba quatro áreas principais: mapa estratégico de ruído; estimativa de população exposta; planejamento de ação e disseminação dos resultados” (MURPHY; KING, 2014; MURPHY; FAULKNER; DOUGLAS, 2020).

O mapeamento urbano pode ser feito, basicamente, utilizando-se dois tipos de abordagem: medições diretas ou previsões por meio de modelos matemáticos. Enquanto que o emprego exclusivo de medições, apesar de mais preciso, tem maiores custos, os modelos matemáticos além de compreender menores despesas

operacionais, permitem avaliações para situações futuras (MURPHY; KING, 2011; MURPHY; KING, 2014).

Em geral, os cálculos no mapeamento urbano são feitos através de softwares comerciais. Uma grande variedade de softwares é utilizada para esse fim, dentre os quais, podem ser citados: CadnaA, Fluidyn, GipSynoise, IMMI, LIMA, Mithra, Noisemap, Predictor e SoundPLAN (KANG, 2007). Ainda que seja utilizado o mesmo modelo para cálculo de emissão ou de dispersão, diferentes softwares podem apresentar resultados distintos. Desta forma, os resultados estão sujeitos a imprecisões, caso os modelos sejam aplicados em regiões com características diferentes daquelas para as quais foram desenvolvidos. Diante disso, recomenda-se que sejam feitas validações dos resultados encontrados (WG-AEN, 2007; ARANA; 2010; MURPHY; KING, 2014).

### 2.4.1 Modelos de cálculo do mapeamento de ruído

#### 2.4.1.1 ISO 9613-2:1996

A norma ISO 9613 é composta por duas partes, a primeira dedicada à absorção do som pela atmosfera e a segunda dedicada ao método geral de cálculo, o que traz uma abordagem empírica mais alargada à atenuação devida a todos os mecanismos físicos.

A norma ISO 9613-2, intitulada *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation*, descreve um método de engenharia para o cálculo da atenuação da propagação sonora em ambientes externos, com o objetivo de calcular os níveis de ruído ambiental de diferentes fontes sonoras em determinadas distâncias.

O cálculo proposto pela normativa determina as perdas da dispersão sonora da fonte de ruído ao ponto receptor e é realizado em bandas de oitava, com frequências centrais de 63 Hz a 8000 Hz. São considerados aspectos como: divergência geométrica, atenuação devida ao ar, absorção do solo, reflexões em superfícies e atenuação devido a obstáculos.

A partir das informações e parâmetros apresentados é possível incluir os fatores mais relevantes que influenciam a propagação do som. Por isso, na

realização da modelagem é necessário seguir as recomendações da aplicação de fatores de correção nos mapas de ruído, o que determina a acurácia dos modelos.

A ISO 9613-2 calcula o nível de pressão sonora, utilizando uma fonte sonora pontual como referência, através da Eq. (10):

$$L_{fT}(DW) = L_w + D_c - A \tag{10}$$

Onde:

$L_{fT}(DW)$ = nível de pressão sonora ponderado em A gerado por uma fonte pontual;

$L_w$= nível de potência sonora da fonte;

$D_c$= fator de correção da diretividade da fonte;

$A$ = atenuação sonora da propagação do som na atmosfera.

Todas as variáveis citadas são medidas em bandas de oitava, em dB.

Para o cálculo da dispersão sonora, é imprescindível estimar a atenuação total da propagação sonora, a qual deve ser calculada para cada ponto receptor em bandas de oitava. A Eq. (11)apresenta o modelo de cálculo geral para a obtenção da atenuação total:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \tag{11}$$

Onde:

$A_{div}$= atenuação pela divergência geométrica;

$A_{atm}$= atenuação devida a absorção atmosférica;

$A_{gr}$= atenuação causada pelo efeito da superfície do solo;

$A_{bar}$ = atenuação proveniente de elementos que atuam como barreiras acústicas;

$A_{misc}$= atenuação decorrente de efeitos diversos e combinados (nesse termo estão incluídos: áreas verdes, genericamente denominadas de folhagens, indústrias e áreas construídas, o que trata especificamente de áreas residenciais).

É importante ressaltar que para cada termo de atenuação estão relacionados equações, coeficientes e parâmetros envolvidos, os quais podem ser consultados e mais profundamente entendidos na norma referenciada.

### 2.4.1.2 Modelo de Ruído de Tráfego Rodoviário - RMV-SRM2

O ruído gerado pelo tráfego rodoviário pode ser obtido em potência sonora por metro, bem como pela inserção de características como: número de veículos por hora, velocidade do tráfego e tipo de pavimento. Quando se utiliza da opção de inserção do fluxo de veículos por hora no método ISO 9613, a emissão é calculada com base na norma holandesa RMV-SRM2 – *Rekenen Meetvoorschrift Wegverkeerslawaai 2002 – Standaardrekenmethode II* (Regulamento de Cálculo de Medição do Ruído de Tráfego Rodoviário 2002 – Método de Cálculo Padrão II).

O método propõe a divisão em seções elementares, para alcançar uma segmentação angular da faixa de rodagem em consideração. A divisão setorial é tal que as características geométricas e de tráfego em um setor representam as características geométricas e de tráfego no plano medial desse setor. As linhas de tráfego, localizadas no meio de cada faixa, a uma altura de 0,75 metros da superfície da estrada, resumem o caminho seguido pelos veículos. As linhas de origem de cada seção setor são definidas como segmentos retilíneos que passam pela interseção dos planos de fronteira com as linhas de tráfego. Uma fonte pontual é colocada em cada interseção de uma linha de origem com o plano medial do setor em consideração.

O padrão RMV-SRM2 define quatro categorias de veículos: motocicletas, veículos leves (carros, vans com um único eixo traseiro com um máximo de duas rodas sobre o eixo), caminhões leves (pequenos ônibus, camionetas, caminhões não-articulados com um único eixo traseiro) e caminhões pesados (veículos articulados, veículos com mais de um eixo traseiro).

A emissão sonora, expressa em dB (A), é medida por categoria de veículo e definida como mostra a Eq. (12):

$$L_{Ei,m} = 10\log\frac{Q_m}{v_m} + \alpha_{i,m} + \beta_{i,m} log\frac{v_m}{v_{0,m}} + C_{surf.i,m} + C_{Hm} \quad (12)$$

Onde:

$L_{Ei,m}$ = nível de emissão sonora, em dB (A);

$\alpha_{i,m} + \beta_{i,m} log \frac{v_m}{v_{0,m}}$ = nível de potência sonora em dB (A), para a categoria de veículo em consideração;

$i$ = índice da banda de oitava em consideração, variando de 1 a 8 e as respectivas frequências médias correspondentes;

$m$ = índice correspondente à categoria de veículo em consideração;

$Q$ = fluxo médio da categoria de veículo em consideração, expresso como um número de veículos por hora;

$v$ = velocidade média da categoria de veículo em consideração, expressa em km/h;

$v_0$ = velocidade de referência para a categoria de veículo em consideração, expressa em km/h;

$C_{surf.}$ = correção da superfície da estrada, expressa em dB (A);

$C_H$ = correção da inclinação, expressa em dB (A).

## 2.5 NORMAS E LEGISLAÇÃO VIGENTE

### 2.5.1 Normas para ruído ambiental

A caracterização, avaliação e valores limites para o ruído ambiental estão definidos em normas e leis locais ou a um nível mais abrangente. As normas estabelecem valores máximos ou admissíveis de nível de ruído para cada região em função da finalidade ou zoneamento, bem como limites diferenciados em função do horário. As regulamentações internacionais servem como base para as normatizações nacionais e devem ser utilizadas quando o país não apresentar diretrizes para problemas específicos.

#### 2.5.1.1 ISO 1996

A norma intitulada *Acoustics- Description, measurement and assessment of environmental noise* (Acústica - Descrições, medições e avaliação do ruído ambiental) é dividida em duas partes.

A primeira parte - ISO 1996-1 – nomeada como *Basis Quantities and Assessment Procedure* (Conceitos Básicos e Procedimentos de Avaliação) estabelece itens básicos relacionados à descrição do ruído, descreve procedimentos fundamentais de avaliação, bem como caracteriza e diferencia os tipos de ruído ambiental e os respectivos métodos de avaliação pertinentes a cada categoria.

Posto que cada fonte de ruído possui características diferentes e que o grau de incômodo pode variar entre diferentes fontes sonoras que possuem o mesmo nível de ruído, a norma prescreve ajustes entre os níveis emitidos por cada tipo de fonte e de acordo com as características dos sons. Além desse ajustamento, ainda são fornecidos valores relacionados ao período (noturno, fins de semana e feriados).

A segunda parte - ISO 1996-2 – recebe o título de *Acquisition of Data Pertinent to Land Use* (Aquisição de Dados Pertinentes ao Uso do Solo) e tem como objetivo o fornecimento de métodos para a aquisição de dados que descrevem o ruído ambiental. A partir desses dados, os órgãos/autoridades competentes podem selecionar o apropriado uso do solo conforme os níveis de ruído existentes em determinada área ou planejar locais que tenham níveis de ruído apropriados ao uso do solo já existente. A norma elenca os aspectos a serem considerados na aquisição de dados:

- Descrição geográfica da área a ser considerada;
- Caracterização das fontes principais existentes na área;
- Descrição da situação do receptor, como localização, ocupação, uso e caracterização do entorno imediato;
- Condições meteorológicas;
- Nível Corrigido (*Rating Level*).

Visto que a determinação do nível sonoro médio para uma região pode ser feita através de medições, cálculos ou ambos, a norma prescreve diretrizes para esses casos. Para a técnica de medição são especificados parâmetros, como: instrumentação necessária, posicionamento do microfone, recomendações quanto o tempo de medição considerando o tipo de fonte e de receptor. Já em relação ao mapeamento acústico, a norma prevê a confecção de um mapa de ruído que inclua detalhes relevantes das edificações, instalações de tráfego, áreas industriais, áreas agrícolas, vegetação e curvas de nível. Além disso, é indicado que o mapa pode ter

áreas com o mesmo nível de ruído ou o contorno da diferença de ruído, ou ainda uma combinação destes dois tipos.

### 2.5.1.2 NBR 10151:2019

No Brasil, a NBR 10151/2019: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral tem como objetivo instaurar procedimentos técnicos para medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos às edificações, assim como processos e limites para análise dos resultados de acordo com a finalidade de uso e ocupação do solo.

Informações importantes para estudos em monitoramento de ruído são apresentadas, tais quais: definição de descritores de níveis sonoros, classificação de equipamentos de medição, recomendações quanto as condições meteorológicas, os locais, as distâncias, o tempo e o método de medição, bem como critérios para avaliação dos resultados.

Para fins de estudo ou fiscalização da poluição sonora em áreas habitadas, independente de reclamações, deve ser realizada a avaliação sonora ambiental. São considerados aceitáveis, os níveis de pressão sonora que não ultrapassem os respectivos valores apresentados na TABELA 1.

TABELA 1 – LIMITES DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE ÁREAS HABITADAS E DO PERÍODO

| **TIPOS DE ÁREAS HABITADAS** | **RLAeq Limites de níveis de pressão sonora dB (A)** | |
|---|---|---|
| | PERÍODO DIURNO | PERÍODO NOTURNO |
| Áreas de residências rurais | 40 | 35 |
| Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas | 50 | 45 |
| Área mista predominantemente residencial | 55 | 50 |
| Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa | 60 | 55 |
| Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo | 65 | 55 |
| Área predominantemente industrial | 70 | 60 |

FONTE: ABNT (2019).

A OMS recomenda, para exposição média ao ruído, reduzir os níveis de ruído produzidos pelo tráfego rodoviário abaixo de 53 dB (A), pois o ruído do tráfego rodoviário acima desse nível está associado a efeitos adversos à saúde. Já para a a exposição ao ruído noturno, o limite é de 45 dB (A), pois o ruído do tráfego acima

deste nível está associado a efeitos adversos no sono. Apesar do foco na Europa, o relatório é baseado em estudos em outras partes do mundo, principalmente em países da América, Ásia e Austrália, e portanto, tem relevância global (OMS, 2018).

Os limites estipulados pela norma brasileira estão em concordância com outros países. A China, por exemplo, estipula o mesmo limite diurno de 50 dB (A) para áreas educacionais e 60 dB (A) para áreas mistas com predominância comercial. Porém, enquanto no Brasil os limites noturnos dessas áreas são 5 dB (A) menores do que os noturnos, na China essa diferença é de 10 dB (A). Para a área industrial, a norma chinesa se mostra mais restritiva, pois os valores máximos permitidos, diurno e noturno, são 65 e 55 dB (A) (BERGLUND, LINDVALL; SCHWELA, 1999).

A Índia considera áreas com menos de 100 metros de distância de escolas e hospitais como Zonas de Silêncio e estipula valores de 50 e 40 dB (A) como limites para os períodos diurno e noturno. Já para áreas industriais, a norma se mostra mais branda que a brasileira, pois os valores são de 75 e 70 dB (A) (CPCB, 2011).

Nos Estados Unidos, a Lei de Controle de Ruído de 1972 estabelece uma política nacional para promover um ambiente para todos os americanos isentos de ruídos que comprometam sua saúde e bem estar. Embora existam vários regulamentos federais aplicáveis ao ruído ambiental no país, a maioria da política de proteção contra ruído é mantida em nível estadual ou local, no entanto, algumas agências federais, como a Comissão Reguladora Federal de Energia estipula um limite de 55 dB (A) em áreas sensíveis ao ruído durante o dia, valor que diminui para 45 dB (A) a noite. A título de exemplo, a cidade de Miami estabelece os limites diurno e noturno de 60 e 55 dB (A) para zonas residenciais, e 70 e 75 dB (A) para as áreas industriais (CIDADE DE MIAMI, 1997).

### 2.5.2 Legislação para o ruído ambiental

Vista a necessidade de maior rigidez no cumprimento de parâmetros tem-se a legislação específica, a qual age para complementar o que é prescrito pela norma e torna passível de punição os casos de não cumprimento do que se é recomendado.

### 2.5.2.1 Resoluções CONAMA

O CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) é responsável pela legislação ambiental no Brasil. As resoluções lançadas pelo órgão determinam diretrizes e normas técnicas, critérios e padrões relativos à proteção ambiental. As resoluções do CONAMA que tratam do ruído ambiental são a Resolução nº. 001 de 08/03/1990, Resolução nº 002 de 08/03/1990 e a Resolução Nº. 252 de 01/02/1999.

A Resolução nº 001 de 08/03/1990 estabelece que os "problemas dos níveis excessivos de ruído estão incluídos entre os sujeitos ao Controle da Poluição de Meio Ambiente" e ainda que "deterioração da qualidade de vida, causada pela poluição, está sendo continuamente agravada nos grandes centros urbanos". Essa resolução segue padrões da NBR 10151, tanto em relação aos limites de ruído considerados aceitáveis quanto aos padrões de medição. Para os veículos automotores, a resolução decreta que a emissão de ruído obedecerá às normas expedidas pelo Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN.

A Resolução nº 002 de 08/03/1990, a partir do entendimento de que o crescimento demográfico descontrolado, ocorrido nos centros urbanos, acarreta uma concentração de diversos tipos de fontes de poluição sonora, considera que é fundamental o estabelecimento de normas, métodos e ações para controlar o ruído excessivo que possa interferir na saúde e bem-estar da população. Fundamentada nessas ideias, a resolução institui o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – SILÊNCIO, com o objetivo de conscientizar e capacitar pessoas e órgãos responsáveis sobre a poluição sonora, efeitos prejudiciais e formas de controle do ruído. O programa, coordenado pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), visa ainda: incentivar a fabricação e uso de equipamentos e dispositivos com menor intensidade de ruído na indústria, veículos em geral, construção civil, utilidades domésticas; instruir e apoiar técnica e logisticamente a polícia civil e militar para receber denúncias e tomar providências de combate à poluição sonora urbana; estabelecer convênios com órgãos e entidades que possam contribuir para o desenvolvimento do programa.

A Resolução nº 252 de 29/01/1999 define que "os veículos rodoviários automotores são as principais fontes de ruído no meio urbano" e diante disso estabelece, para os veículos rodoviários automotores limites máximos de ruído nas

proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso. Vale ressaltar que não estão sujeitas aos requisitos desta resolução as emissões sonoras de buzinas, sirenes, alarmes e equipamentos similares e os veículos concebidos exclusivamente para aplicação militar, agrícola, de competição, tratores, máquinas de terraplenagem, pavimentação e outros de aplicação especial.

#### 2.5.2.2 Lei Municipal 10.625/2002

Em Curitiba, em 2002, foi sancionada a Lei Municipal 10.625, a qual dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem-estar e do sossego público. No início dessa lei são conceituados alguns termos relevantes à temática da poluição sonora. É disposto que para a medição do nível de pressão sonora devem ser respeitadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e que devem ser observados os seguintes períodos do dia:

- DIURNO: das 07h01min às 19h00min ;
- VESPERTINO: das 19h01min às 22h00min;
- NOTURNO: das 22h01min às 07h00min.

A divisão do território de Curitiba em zonas e setores foi estabelecida pela Lei Municipal 9800/2000, a qual estabelece critérios e parâmetros de uso e ocupação do solo, com o objetivo de orientar e ordenar o crescimento da cidade. As atividades industriais, comerciais, prestadoras de serviços, religiosas, sociais, recreativas e de carga/descarga devem respeitar os níveis de pressão sonora, conforme a respectiva zona de uso, os quais são apresentados na TABELA 2.

A lei ainda destaca a chamada Zona de Silêncio, a qual é imposta quando a propriedade que sofre o incômodo tratar-se de escola, creche, biblioteca pública, hospital, ambulatório, casa de saúde ou similar com leitos para internamento, hotel ou similar, sendo observado o raio de 200 metros de distância. Nesses casos devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1, independentemente da zona de uso.

No que tange às sanções, as pessoas físicas e jurídicas, de direito público ou privado, que infringirem qualquer dispositivo dessa lei estão sujeitas a

penalidades de acordo com o valor em dB (A) excedidos do limite permitido. Dentre as punições estão: notificação por escrito, multa simples ou diária, cassação da Licença Ambiental, embargo, interdição parcial ou total, perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais concedidos pelo Município.

TABELA 2 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MÁXIMOS

| ZONAS DE USO | DIURNO | VESPERTINO | NOTURNO |
|---|---|---|---|
| ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU | 55 | 50 | 40 |
| ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZUC-II, ZT-MF; ZT-NC, ZE-E, ZE-M, ZOO, SE-CC, SE-PS, SE-OI, APA-ST | 60 | 55 | 50 |
| ZR-4, ZC, ZT-BR-116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF, SE-WB, SE-AC, SE-CB, CONEC, SE-PE, SE-WB, SE-UM, SE-NC, SEI, SEHIS, SE-LE, SEVC-PASSAPUNA, SEVS-PASSAÚNA, APA-SS, Vias prioritárias 1 e 2, Vias setoriais, Vias coletoras 1, 2 e 3 | 65 | 60 | 55 |
| ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, ZEI-I (CIC), APA-SUE | 70 | 60 | 60 |

Onde: APA-SARU - Setor de Alta Restrição de Uso; APA-SMRU - Setor de Média Restrição de Uso; APA-ST - Setor de Transição; APA-SUE - Setor de Uso Esportivo; APA-SS - Setor de Serviço; CONEC - Setor Especial Conector – Conectora 1,2,3,4, SC-SF - Setor Especial Comercial Santa Felicidade; SC-UM - Setor Especial Comercial Umbará; SE - Setor Especial Estrutural; SE-AC - Setor Especial da Av. Affonso Camargo; SE-BR-116 - Setor Especial da BR-116; SE-CB - Setor Especial da Rua Engenheiro Costa Barros; SE-CC - Setor Especial Centro Cívico; SE-CF - Setor Especial da Av. Comendador Franco; SEHIS - Setor Especial Habitação de Interesse Social; SEI - Setor Especial Institucional; SE-LE - Setor Especial Linhão do Emprego; SE-MF - Setor Especial da Av. Mal. Floriano Peixoto; SE-NC - Setor Especial Nova Curitiba; SE-OI - Setor Especial de Ocupação Integrada; SE-PE - Setor Especial Preferencial de Pedestres; SE-PS - Setor Especial do Pólo de Software; SEVC-PASSAÚNA -Setor Especial de Vias Coletoras; SEVS-PASSAÚNA - Setor Especial de Vias Setoriais; SE-WB - Setor Especial da Av. Pres. Wenceslau Braz; SH - Setor Histórico; ZC - Zona Central; ZOO - Zona de Ocupação Orientada; ZE-D - Zona Especial Desportiva; ZE-E - Zona Especial Educacional; ZEI-I (CIC) - Zona Especial de Indústria; ZE-M - Zona Especial Militar; ZES - Zona Especial de Serviços; ZI - Zona Industrial; ZR-1 - Zona Residencial 1; ZR-2 - Zona Residencial 2; ZR-3 - Zona Residencial 3; ZR-4 - Zona Residencial 4; ZR-AV - Zona Residencial Alto da Glória; ZR-B - Zona Residencial Batel; ZR-M - Zona Residencial Mercês; ZR-OC - Zona Residencial de Ocupação Controlada; ZUC-II - Zona de Urbanização Consolidada; ZR-SF - Zona Residencial Santa Felicidade; ZR-U - Zona Residencial Umbará; ZS-1 - Zona de Serviço 1; ZS-2 - Zona de Serviço 2; ZT-BR-116 - Zona de Transição BR – 116; ZTMF - Zona de Transição Av. Mal. Floriano Peixoto; ZT-NC - Zona de Transição Nova Curitiba; Z-UM - Zona de Uso Misto.

FONTE: Prefeitura Municipal de Curitiba (2002).

## 2.6 PERCEPÇÃO SONORA

As componentes físicas do som, apresentadas anteriormente, são de extrema importância para sua mensuração. Do ponto de vista fisiológico, a sensação auditiva consiste na ativação do sistema nervoso pelo estímulo sonoro: as mudanças rápidas de pressão do ar causam vibrações no tímpano que transmite essas vibrações por meio das estruturas do ouvido médio e interno para a membrana basilar, na qual existem células ciliares que são ativadas e passam o estímulo ao nervo auditivo, que finalmente o conduz até o lóbulo temporal do cérebro (GOELZER et al., 2001; BISTAFA, 2006; EVEREST; POHLMANN, 2009; PLACK, 2018).

No entanto, além dessas questões físicas, outro fator crucial é interpretação cerebral do som, a qual depende, além dos fatores fisiológicos, de aspectos psicológicos e sociais. A própria definição de ruído como som indesejável aponta para a importância de aspectos subjetivos na avaliação dessa questão (DINIZ; SILVEIRA, 2006; MUZET, 2007).

Acima do limiar da audição, há uma variação da interpretação subjetiva do nível de pressão sonora ou da intensidade do som. O QUADRO 2 resume a percepção subjetiva das mudanças no nível de ruído e mostra que uma redução na energia sonora (pressão ao quadrado) de 50% resulta em uma redução de 3 dB e é perceptível apenas no ouvido normal.

QUADRO 2 – PERCEPÇÃO SUBJETIVA DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

| **Variação do nível de pressão sonora (dB)** | **Variação na potência sonora** | **Efeito subjetivo** |
|---|---|---|
| 3 | 2 vezes | Apenas perceptível |
| 5 | 3 vezes | Claramente perceptível |
| 10 | 10 vezes | Duas vezes mais alto |
| 20 | 100 vezes | Muito mais alto |

FONTE: GOELZER et al. (2001)

A percepção sonora é multissensorial, ou seja, ocorre dentro de um contexto global, o qual inclui além da informação auditiva, aspectos de outras modalidades sensoriais, como visão e tato. Ainda, as pessoas que estão expostas ao som estão sujeitas a outros fatores presentes no ambiente, dentre esses: condições climáticas, paisagem visual, morfologia e práticas envolvidas no ambiente. Por isso, a maneira

com que o indivíduo percebe e interpreta o som está diretamente ligada às múltiplas condições individuais e coletivas relacionadas a diversos aspectos (PEREIRA, 2003).

A avaliação da percepção sonora é influenciada por fatores sociais, dessa forma, a análise da qualidade do som de uma área urbana depende de quanto tempo as pessoas ali vivem, como elas definem a área e quanto elas têm estado envolvidas na vida social da área (KANG; DU, 2003).

O incômodo causado pelo ruído pode resultar da interferência em atividades diárias, sentimentos, pensamentos, sono ou repouso e pode ser acompanhado por respostas emocionais negativas, como irritabilidade, angústia, exaustão e outros sintomas relacionados ao estresse. Dessa forma, o incômodo pode ser considerado um indicador do bem-estar ambiental e um prenúncio dos efeitos subsequentes à saúde gerados pelo ruído. Com base no conceito de que a saúde é um estado de completo bem-estar físico, mental e social, pode-se atrelar o conceito de ruído como estressor ambiental a questões graves de saúde pública, como pressão alta, impactos nos níveis hormonais e efeitos cardiovasculares (BABISCH, 2009; OMS, 2011; WELCH et al., 2013).

As informações sobre incômodo de ruído da população permitem a comparação de preocupações ao longo do tempo, em relação a diferentes fontes de ruído e podem ser usadas como base para o gerenciamento do ruído. Assim, as intervenções projetadas para reduzir o incômodo com o ruído devem levar em consideração os determinantes específicos do assunto, com o objetivo de aumentar o apoio dos cidadãos a essas iniciativas e, consequentemente, aumentar o êxito dessas iniciativas (OKOKON et al., 2015).

Portanto, percebe-se a importância de uma perspectiva subjetiva em conjunto com a análise objetiva na avaliação do ruído urbano. A interpretação e opinião da população unida à análise de parâmetros quantitativos se mostra efetiva para o entendimento e identificação de questões relacionadas ao conforto acústico e ambiental que fornecem subsídios para projetos urbanos (SZEREMETA; ZANNIN, 2009).

# 3 REVISÃO DA LITERATURA

Esse capítulo apresenta a contribuição da comunidade científica nos temas envolvidos nesse trabalho. São citados trabalhos que explanam o ruído ambiental a partir de diferentes abordagens. A problemática do ruído de tráfego é levantada por diversos autores e representada nessa seção. Fatores que envolvem a percepção sonora bem como os efeitos da poluição sonora sobre a saúde estudados por diversos pesquisadores são tratados. São elencados aspectos sobre medição e mapeamento de ruído, afim de entender como esses conteúdos estão sendo trabalhados a nível nacional e internacional. Por fim, com o objetivo de embasar mais profundamente a temática principal desse trabalho, é dado um enfoque na metodologia e nos resultados encontrados em trabalhos sobre poluição sonora em ambientes escolares, mais precisamente, em universidades.

## 3.1 RUÍDO AMBIENTAL

Devido ao crescimento populacional, à urbanização e ao desenvolvimento tecnológico, a exposição ao som indesejado tem crescido em todo o mundo (WELCH et al., 2013). Há uma associação direta entre o ruído ambiental urbano e às atividades humanas, principalmente em áreas com forte desenvolvimento de transportes e indústria (PINTO; MARDONES, 2009).

Ribas (2007) define ruído ambiental como o ruído emitido por diferentes fontes, o qual podendo ser chamado de ruído em comunidade, ruído doméstico e ruído residencial, sendo excluído dessa condição o ruído produzido no ambiente de trabalho ou ruído ocupacional.

De acordo com Zannin et al. (2013a), o ruído que atinge as populações urbanas é gerado por várias fontes, as quais podem ser de natureza simples ou complexa, as quais podem ser encontradas nos sistemas de transporte (rodoviário, ferroviário, aéreo), nas atividades da construção civil, em uma grande variedade de atividades de lazer, como eventos culturais, eventos esportivos, etc.

Países emergentes como Brasil, Índia e China apresentam cada vez mais sérios problemas sociais e ambientais de poluição sonora (ZANNIN et al., 2002, CHAKRABARTY et al., 1997; LAM et al. 2009).

King e Murphy (2016) levantaram a questão sobre o ruído ambiental ser o poluente “esquecido” ou simplesmente “ignorado“. Os autores relatam a necessidade de tornar a questão uma prioridade, pois ainda não é possível evidenciar se a exposição ao ruído está diminuindo (ou até mesmo aumentando) na União Europeia.

A preocupação com o ruído ambiental no Brasil ainda não recebe atenção suficiente, no entanto, alguns pesquisadores mostraram esse problema em Curitiba e em outras grandes cidades, como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre, Aracaju e Campo Grande (ZANNIN et al., 2002; BERTOLI; PAIVA, 2000; ARRUDA; COELHO; SLAMA, 2000; BARROS, 2000; PINTO; MARDONES, 2009; SATTLER, 1999; GUEDES; BERTOLI; ZANNIN, 2011; FILHO et al., 2015; FIEDLER; ZANNIN, 2015a; BUNN; ZANNIN, 2016).

### 3.1.1 Ruído de tráfego

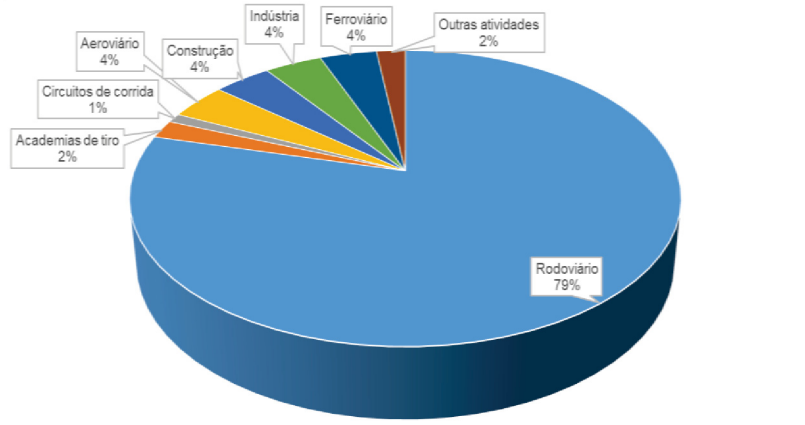
De acordo com Fiedler (2013), o ruído de tráfego é uma parcela do ruído ambiental, bem como o resultado da soma de diversos tipos de ruído provenientes de fontes em trânsito (ex.: automóveis, ônibus, trens etc.). Pesquisas apontam para o fato de o tráfego de veículos ser uma das grandes causas do ruído urbano em Curitiba-PR (ZANNIN et al., 2002).

Segundo Fiedler e Zannin (2015a) e Bunn e Zannin (2016) o ruído de tráfego é causado pelo deslocamento de automóveis, caminhões e motocicletas por rodovias, avenidas e ruas e representa cerca de 2/3 de todo ruído urbano gerado. Assim, as margens de grandes rodovias e eixos de transporte bem como os grandes certos urbanos com elevada densidade de malha rodoviária são as regiões mais afetadas pelo ruído.

Carros e caminhões são as principais fontes causadoras do ruído rodoviário e os caminhões apresentam cerca de 5 dB a mais do que os carros. A emissão de ruído para veículos individuais atinge o pico durante a noite devido a maiores velocidades médias em relação às horas do dia (JABBEN; POTMA; SWART, 2001).

Uma pesquisa realizada na Suécia e na Noruega apontou que o ruído rodoviário representa 79% do ruído total gerado nesses locais. Ainda, ao considerar-se outros modais de trânsito, nomeadamente aeroviário e ferroviário, o valor aumenta para 87%, conforme FIGURA 4 (AMUNDEN; KLEABE, 2005).

FIGURA 4 – COMPOSIÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL




FONTE: Adaptado de Amuden e Klaeboe (2005).

Ece et al. (2018) conduziram um estudo no qual o ruído induzido pelo tráfego foi modelado com o software SoundPLAN®, na cidade de Antalya, na Turquia. Os resultados mostraram que o aumento nas velocidades de veículos pesados em condições de superfície da estrada suave causou mais aumento nas exposições do que a velocidade do veículo leve. A redução da exposição ao ruído através de precauções, como rotas alternativas para veículos pesados e restrição de velocidade, foi em torno de 25,5-63,8%.

Mishra, Parida e Rangnekar (2010) estudaram o ruído do tráfego ao longo de um corredor de trânsito rápido de ônibus na cidade de Delhi, na Índia. A partir de regressões lineares e múltiplas foi construída uma relação entre os diferentes parâmetros de ruído e nível de incômodo. Observou-se que 68% dos entrevistados relataram o problema de estresse devido à exposição ao ruído do tráfego. Dentre os prejuízos identificados, têm-se: perda auditiva (64%), pressão arterial (56%), depressão (48%), agitação (36%) e fadiga (12%).

Percebe-se então o crescente interesse no estudo do ruído de tráfego tanto por parte de agências ambientais quanto de pesquisadores, no que tange às legislações, normativas, metodologias de medição e avaliação e no desenvolvimento de modelos de predição que possibilitem prever e avaliar os níveis de ruído nos locais a serem investigados (CALIXTO; DINIZ; ZANNIN, 2003; FARCAS; SIVERTUN, 2009; MURPHY; KING, 2010; SALOMONS; JANSEN, 2011; SUBRAMANI; KAVITHA; SIVARA, 2012; HINTZCHE; HEINRICHS, 2018; MEYER et al. 2019).

## 3.2 PERCEPÇÃO SONORA

A classificação do som como ruído depende em parte da qualidade da experiência auditiva (percepção) produzida. Psicologicamente, o som é percebido sensorialmente originando um evento mental que é fisiologicamente processado na região cerebral que envolve os processos da audição. Assim, é apenas através da análise da percepção sonora de sons, que o complexo padrão de ondas sonoras pode ser interpretado por cada indivíduo como: ruídos, música, fala humana, entre outros (BERGLUND; LINDVALL, 1995).

O aborrecimento causado pela poluição sonora é um fenômeno comum nas sociedades modernas, particularmente nas industrializadas. O incômodo de ruído depende das características psicológicas e fisiológicas dos indivíduos (BEHESHTI et al., 2018).

De acordo com uma revisão de 27 estudos, as reações de incômodo relacionadas ao ruído dependem de atributos físicos do ruído, atitudes em relação à fonte de ruído e características pessoais dos indivíduos, porém a exposição ao ruído é o mais forte determinante, representando uma média de 17,6% de variação nas reações de aborrecimento individuais. Para explicar a diferença ainda considerável na tolerância a ruído em indivíduos quando a exposição ao ruído é controlada, surge o conceito de sensibilidade ao ruído (JOB, 1988).

Muitos estudos avaliaram os efeitos da poluição sonora em áreas urbanas (MOHAMMADI, 2009; POPESCU; MOHOLEA, 2010). De acordo com esses estudos, existe uma relação positiva entre aborrecimento e aumento exposição ao ruído de diferentes fontes (MIEDEMA; VOS, 1998;MIEDEMA, OUDSHOORN, 2001; BRINK; WUNDERLI, 2010).

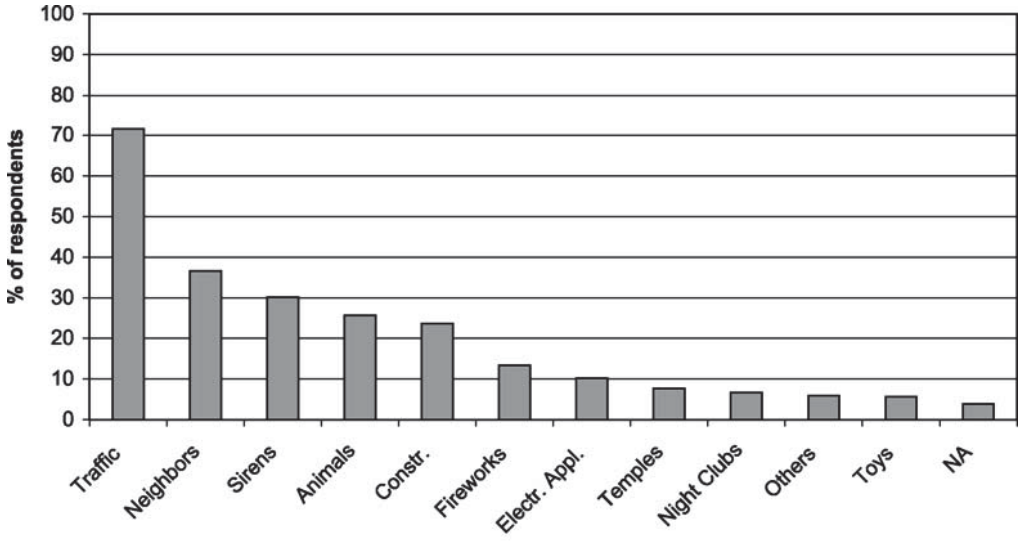
De acordo com Goelzer, Hansen e Sehrndt. (2001), para o estudo do ruído e sua ação no ser humano além de conhecer as características físicas do som, é necessário entender como o ser humano responde a este estímulo sonoro. Esta resposta depende principalmente da frequência e da amplitude deste estímulo sonoro e também da idade e condições de saúde da pessoa sob exposição.

A estrutura de um questionário de ruído depende do objetivo do estudo e da especificidade da situação de exposição, e deve respeitar algumas diretrizes aplicadas no campo da pesquisa de efeitos de ruído (BERGLUND; LINDVALL, 1995).

O ruído tem sido frequentemente discutido com relação ao seu impacto psicológico, como suas consequências perturbadoras e desagradáveis, que podem causar inquietação e irritabilidade entre a população exposta. Trimmel e Poelzl (2006) estudaram o efeito do ruído de fundo na atividade cerebral de diferentes sujeitos. De acordo com os resultados do seu estudo, mesmo a exposição a ruído de fundo de baixa intensidade pode levar ao aumento do consumo de energia e à interrupção da atenção espacial.

Através de um estudo realizado em Curitiba por meio de questionários, com o objetivo de verificar o impacto do ruído na população demonstrou o ruído gerado pelo tráfego veicular é a fonte de ruído mais irritante. Entre todos os entrevistados que se sentiram incomodados com o ruído gerado em sua rua, 73% apontaram o tráfego como a principal fonte de ruído, como mostra a FIGURA 5 (ZANNIN et al., 2003).

FIGURA 5 – RESPOSTA PARA A PERGUNTA “QUAL RUÍDO INCOMODA VOCÊ?”




NA = No answer

FONTE: Zannin et al. (2003).

Paz, Ferreira e Zannin (2005) avaliaram objetiva e subjetivamente uma zona controlada e uma zona não controlada acusticamente de uma cidade. A parte objetiva foi realizada através de medições *in situ* do nível de pressão sonora equivalente ($L_{eq}$) e o aspecto subjetivo foi representado pela escolha de uma amostra aleatória de cada zona submetida a um questionário. Os valores médios de $L_{eq}$ para a zona não controlada e controlada foram de 72,9 dB (A) e 53,3 dB (A),

respectivamente. A análise multivariada fatorial gerou três indicadores estatísticos: percepção temporal, percepção de ruídos atípicos e fontes e distúrbios. Em relação à percepção temporal, 61,5% dos moradores da zona não controlada e 57,2% dos moradores da zona controlada perceberam aumento no nível de ruído durante a semana. Verificou-se ainda que 70% da população da zona não controlada sente-se incomodada com ruídos advindos de fontes atípicas, enquanto que a proporção para a zona controlada foi de 30%.

Jakovljevic, Paunovic, Belojevic (2009) estudaram a relação entre o incômodo de ruído e o transporte público no centro da cidade de Belgrado, na Sérvia. Eles descobriram que a presença de transporte público tanto no período diurno quanto no noturno é um fator significativo para o incômodo de alto ruído em uma área urbana. Resultados semelhantes foram obtidos por Mirzaie et al. (2012), Dzhambov et al. (2017) e Klein, Marquis-Favre e Champelovier (2017).

Patil et al. (2011) relataram análises subjetivas sobre o ruído do tráfego e a qualidade de vida em moradores das principais vias arteriais da cidade de Amravati, na Índia. Percebeu-se que a maioria dos entrevistados estava ciente da interferência do ruído do tráfego nas atividades diárias e do impacto na saúde. Os que se consideraram extremamente incomodados foram 16,8% e 21,1% declararam estar muito aborrecidos devido ao ruído de tráfego. O incômodo máximo relatado (47%) foi maior durante o meio-dia e a tarde, enquanto 50% dos participantes relataram dor de cabeça, nervosismo e dificuldades auditivas devido à exposição ao ruído.

Na Dinamarca, em 2014, 7000 pessoas foram entrevistadas sobre o incômodo de ruído percebido ao longo de rodovias e vias urbanas nas principais cidades. Os questionários foram realizados via internet ou pelo telefone com pessoas que moravam em regiões próximas às vias. As respostas das entrevistas foram analisadas em conjunto com os níveis de ruído da fachada mais exposta das residências. Os resultados mostram que as pessoas que vivem perto das rodovias se sentem mais incomodadas com a mesma exposição ao ruído do que as pessoas que vivem perto das vias urbanas. O tipo de residência, a existência de uma fachada tranquila, a visão direta do trânsito e a idade estavam entre os fatores moderadores (FRYD; PEDERSEN, 2016).

Zannin e Bunn (2014) avaliaram o ruído causado pelo tráfego ferroviário em Curitiba – PR, através de medições dos níveis de ruído gerados pelos trens, mapas de ruído e entrevistas com moradores afetados. Os entrevistados relataram sentir-se

afetados pelo ruído gerado pela passagem de trens, apontando irritabilidade, dores de cabeça, baixa concentração e insônia. Quando questionados se o ruído de vizinhança os incomodava, 84% responderam que sim e 98% dos respondentes acreditam que o ruído ambiental é prejudicial à sua saúde.

Okokon et al. (2015) entrevistaram 1112 adultos finlandeses selecionados aleatoriamente, com o objetivo de estimar a exposição percebida relacionada ao ruído e à exaustão do tráfego rodoviário, percepções de risco à saúde e incômodo. Através de uma regressão logística binária foi possível estimar quais fatores estavam associados ao incômodo de ruído. Alto ou extremo incômodo pelo ruído foi relatado por 17% dos entrevistados. O ruído do tráfego rodoviário e os escapamentos foram, respectivamente, considerados altos ou extremos riscos para a saúde da população em 22% e 27% dos entrevistados.

Hammersen, Niemann e Hoebel (2016) examinaram associações entre os níveis individuais de incômodo de ruído e saúde mental de adultos na Alemanha, através de uma pesquisa nacional de entrevista de saúde com 19.294 participantes. Questões de aborrecimento de ruído referiam-se ao ruído geral, ao tráfego rodoviário, a vizinhos e ao tráfego aéreo. Foram obtidas associações entre altos níveis de incômodo de ruído e comprometimento da saúde mental de todas as fontes de ruído, exceto o tráfego aéreo. Após o ajuste para covariáveis (fatores sociodemográficos, doenças crônicas e apoio social), homens e mulheres que relataram alto incômodo geral do ruído apresentaram mais do que o dobro de chances de saúde mental prejudicada em comparação com aqueles que não estavam incomodados.

Ahmed e Ali (2017) analisaram a exposição ao ruído e problemas relacionados ou não a audição em estudantes de uma faculdade de odontologia localizada nos Emirados Árabes Unidos (EAU). Foram realizadas medições e um questionário de entrevista estruturada aplicado a 114 alunos. Para a análise dos dados subjetivos, utilizou-se o software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) 17.0. Através de testes qui-quadrado, teste t, porcentagens, frequências, médias e desvios-padrão percebeu-se que cerca de 80% dos alunos apresentaram certo grau de aborrecimento pelo ruído, 54% relataram problemas relacionados à audição e aproximadamente 10% alegaram ter perda auditiva até certo ponto.

### 3.2.1 Efeitos do ruído ambiental na saúde

Muitas revisões da literatura descreveram os efeitos auditivos e não auditivos da exposição ao ruído do tráfego sobre a saúde dos residentes, incluindo perda auditiva induzida por ruído, incômodo, distúrbios do sono, cognição prejudicada em ambientes escolares, hipertensão, doença coronariana, acidente vascular cerebral, insuficiência cardíaca, fibrilação atrial e diabetes (BASNER et al., 2014; MUNZEL et al., 2014; MUNZEL et al., 2018).

Berglund e Lindvall (1995) detalham os efeitos da poluição sonora à saúde:

- Perdas auditivas induzidas por ruído;
- Efeitos sensoriais (dores da cavidade auditiva, zumbido nos ouvidos);
- Percepção do ruído;
- Interferência na fala (comunicação);
- Distúrbios do sono (dificuldade de pegar no sono, alterações do padrão do sono, acordar diversas vezes na mesma noite);
- Efeitos psico-fisiológicos (*stress*, doenças cardiovasculares);
- Efeitos psico-endócrinos e imunológicos (alterações no sistema endócrino e munológico, desorientação, desequilíbrio, fadiga, náusea, dor de cabeça, irritabilidade, instabilidade, redução do apetite sexual, ansiedade, nervosismo, insônia, sonolência anormal e perda de apetite);
- Efeitos na saúde mental (neuroses e irritabilidade).

Omidvari e Nouri (2009) avaliaram os efeitos da poluição sonora sobre policiais de trânsito na cidade de Teerã. Os resultados mostraram que 67% e 60% dos policiais oficiais sofreram insônia e zumbidos nos ouvidos, respectivamente.

Em uma pesquisa de Lam et al. (2009), o ruído do tráfego foi identificado como a fonte mais irritante de poluição sonora em 60% das pessoas que vivem em áreas altamente ruidosas. Constatou-se também que 40% das pessoas foram expostas a ruído insuportável e sofreram confusão e sofrimento.

Goswami, Swain e Panda (2013) avaliaram e analisaram a poluição sonora no tráfego rodoviário na cidade de Rourkela, na Índia. Seus resultados mostraram

que o ruído do tráfego era a fonte mais importante de poluição. As respostas ao questionário indicaram que 50% dos entrevistados sofriam de hipertensão, cefaleia e distúrbios do sono.

A combinação entre dados objetivos e subjetivos foi realizada através de análise fatorial e regressão logística multinomial para se avaliar os fatores que afetam a percepção do ruído na área de estudo, a Linha Verde, em Curitiba. O trabalho de Engel et al. (2014) apresentou medições sonoras e entrevistas com residentes da área, as quais englobavam comportamentos e sintomas relacionados ao ruído e questões socioeconômicas. Os sintomas e reações relatados com maior frequência foram insônia, cefaleia e irritabilidade.

Os estudos de Zannin e Bunn (2014) na cidade de Curitiba revelaram que o tráfego ferroviário causou irritabilidade, dores de cabeça, falta de concentração e insônia; 88% dos moradores da cidade estudada afirmaram que a poluição sonora noturna é o tipo é a que causa mais angústia.

Através da distribuição 400 questionários, um estudo teve como objetivo coletar e analisar dados demográficos e informações sobre atitudes em relação à poluição sonora, seus efeitos nas atividades das pessoas e incômodo pelo ruído, no Samen, distrito da cidade de Mashhad (Irã). De acordo com os resultados deste estudo, os efeitos mais importantes que a poluição sonora teve sobre a sociedade estudada foram nervosismo (29,1%), problemas de conversação (19,8%), amnésia (18,3%) e perda de concentração (12,8%) (MOTEALLEMI et al., 2018).

## 3.3 MEDIÇÕES DE RUÍDO AMBIENTAL

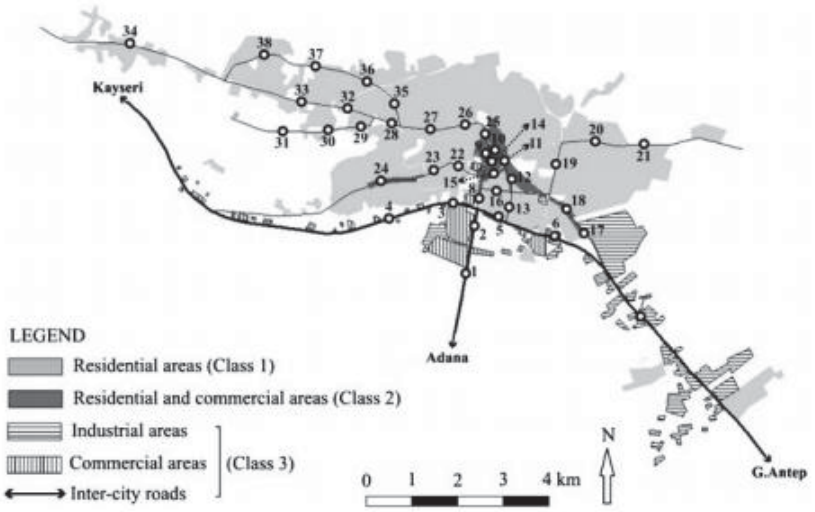
Para Paiva, Cardoso e Zannin (2019) o objetivo das medições de ruído é a obtenção de valores consistentes como forma de qualificar o ruído, além de estabelecer limites máximos para cada gerador. No entanto, devido à diversidade fontes geradoras e o incômodo causado, essa não é uma tarefa simples.

Há uma relação muito complexa entre fatores que caracterizam o ruído e os efeitos sobre as pessoas, já que é necessário entender como o nível de pressão sonora varia ao longo do tempo. No entanto, na prática as avaliações são conduzidas com o uso de poucas medidas, $LA_{eq}$ para ruídos contínuos e $LA_{max}$ para ruídos impulsivos ou de curta duração. Assim, é possível executar uma avaliação de baixo custo, a qual é amplamente utilizada pelos pesquisadores. E as

especificidades dos efeitos das outras características dos ruídos deverão ser encontradas por outras medidas quando necessário (BERGLUND; LINDVALL, 1995).

Na cidade de Kahramanmaraş, na Turquia, um estudo quantificou a poluição sonora do tráfego urbano através de 114 medições em 38 pontos para o nível de ruído equivalente (LAeq), conforme é apresentado na FIGURA 6. Os níveis médios de ruído permaneceram dentro dos limites relatados pelo TRAMEN (*Turkish Regulation of Assessment and Management of Environmental Noise*). No entanto, de acordo com o sistema de classificação italiano, 79% dos locais da cidade tinham níveis de ruído iguais e/ou superiores aos valores limite (DOYGUN; GURUN, 2008).

FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO




FONTE: Doygun e Gurun (2008).

No Irã, Mohammadi (2009) avaliou o ruído através de 20 pontos de medição ao longo de estradas, pavimentos e áreas comerciais do centro da cidade de Kerman. Os valores do nível de ruído equivalente contínuo ponderado A ($LA_{eq}$), os níveis de pico de ruído durante o período de medição ($L_{max}$) e os níveis estatísticos de $L_{10}$, $L_{50}$, $L_{90}$ e $L_{99}$ foram considerados. Os resultados apontaram para o fato de que os níveis de ruído são mais do que o limite aceitável de 60 dB (A), que é o limite de ruído diurno prescrito pelo governo para áreas residenciais comerciais.

Em uma revisão do procedimento de medição da ISO 1996, Morillas et al. (2016) ressaltam a importância da medição do nível de ruído incidente sobre a fachada a fim de identificar propriamente a população atingida.

Os parâmetros $L_{eq}$, $L_{10}$, $L_{50}$ e $L_{90}$o foram utilizados na pesquisa de Kalansuriya, Pannila e Sonndara (2015) para determinar a contribuição de diferentes tipos de veículos nos níveis sonoros de ruído rodoviário no Sri Lanka. A composição dos veículos mostrou que veículos pesados como caminhões e ônibus contribuíram significativamente para os níveis de ruído medidos. Uma correlação linear foi observada entre o $L_{eq}$ e outros parâmetros, especialmente $L_{10}$.

O estudo conduzido por Zannin, Diniz e Barbosa (2002), através de um extensivo trabalho de medição de nível de pressão sonora em 1000 locais na cidade de Curitiba, demonstrou que 93.3% desses pontos apresentaram valores acima de 65 dB (A) durante o dia, e que 40.3% apresentaram valores ainda maiores: 75 dB (A).

Diante da variedade de estudos, a pesquisa de Melo et. al. (2015) teve como objetivo identificar os modelos para o ruído de tráfego em áreas urbanas. Dentre outros trabalhos, foi mencionado o de Calixto, Diniz e Zannin (2003), o qual desenvolveu um modelo para prever o ruído do tráfego de vias que se tornaram grandes avenidas em Curitiba, a partir da utilização dos níveis de emissão de ruído em termos de $L_{eq}$, $L_{10}$ e $L_{90}$ (em dB (A)) e ainda verificou a aplicabilidade do modelo RLS-90 às condições das estradas brasileiras. Fez parte do estudo o trabalho de Paz e Zannin (2010), o qual executou modelagem matemática, a partir de coleta de dados, com o uso de níveis estatísticos para predição de ruído ambiental em um trecho urbano de uma rodovia largamente movimentada na mesma cidade. A análise das pesquisas concluiu que no primeiro, devido à ausência intencional de correção de distâncias (para compatibilizar o modelo com a norma RLS-90) os níveis de ruído previstos tiveram maior diferença média em relação aos níveis de ruído medidos que o estudo de Paz e Zannin (2010).

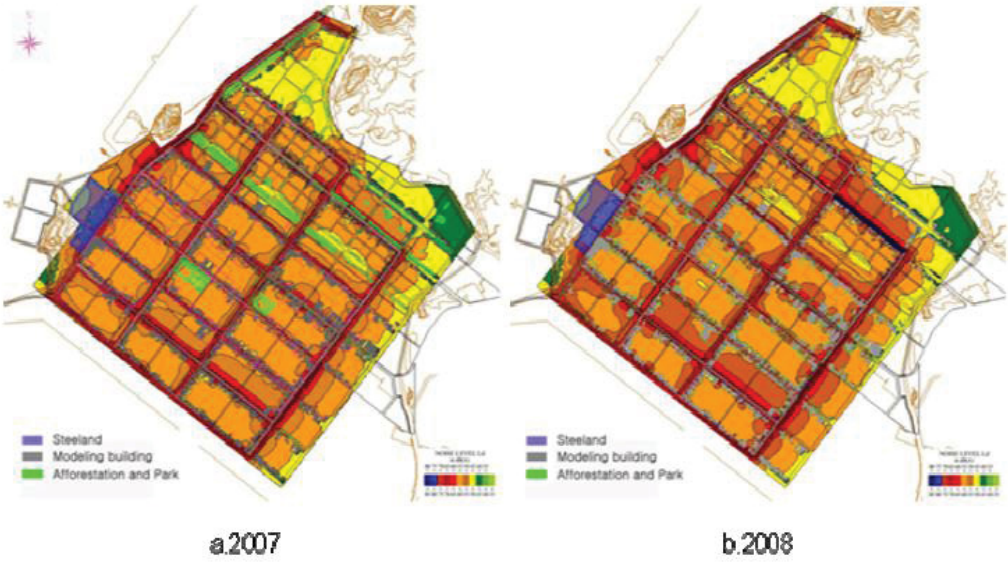
## 3.4 MAPEAMENTO ACÚSTICO

A falta de informações sobre os níveis de ruído e de conhecimento sobre a localização dos pontos críticos gera dificuldade para o setor público interferir e solucionar os problemas, podendo expor a população por longos períodos a uma

condição insalubre. Como o mapa acústico pode simular a morfologia urbana, é possível reduzir os impactos ambientais do ruído e melhorar a qualidade de vida no meio urbano (SUÁREZ; BARROS, 2014).

Na Coreia, estudou-se o ruído gerado pela construção de um prédio aliado ao ruído de tráfego rodoviário da região. Através do software *SoundPlan*, foram construídos mapas de ruído (apresentados na FIGURA 7), comparados com medições previamente realizadas na área de estudo. Os resultados indicaram que o aumento do volume de tráfego causado pelo desenvolvimento de uma área industrial teve maior influência nos níveis de pressão sonora que a área industrial em si (JEONG et al., 2010).

FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO




FONTE: Jeong et al. (2010).

A capital do Chile, Santiago, foi avaliada acusticamente no trabalho de Suárez e Barros (2014). Com a utilização do software CadnaA, os autores realizaram mapeamento de ruído rodoviário na cidade e consideraram aceitáveis as diferenças médias entre dados medidos e modelados, considerando a grande área de estudo e a variedade de tipos de estradas envolvidos. Santiago, utilizando o software CadnaA. Os pesquisadores concluíram que os níveis de ruído foram elevados em uma porcentagem relevante da superfície da cidade.

Cai et al. (2015), utilizaram SIG e GPS para o desenvolvimento de mapas de ruído de tráfego rodoviário em Guangzhou, China, os quais foram confrontados com

dados uma experiência de monitoramento do ruído do tráfego em vários distritos da cidade. O modelo foi validado já que o erro médio entre a estimativa dos valores está abaixo de 2,0 dB.

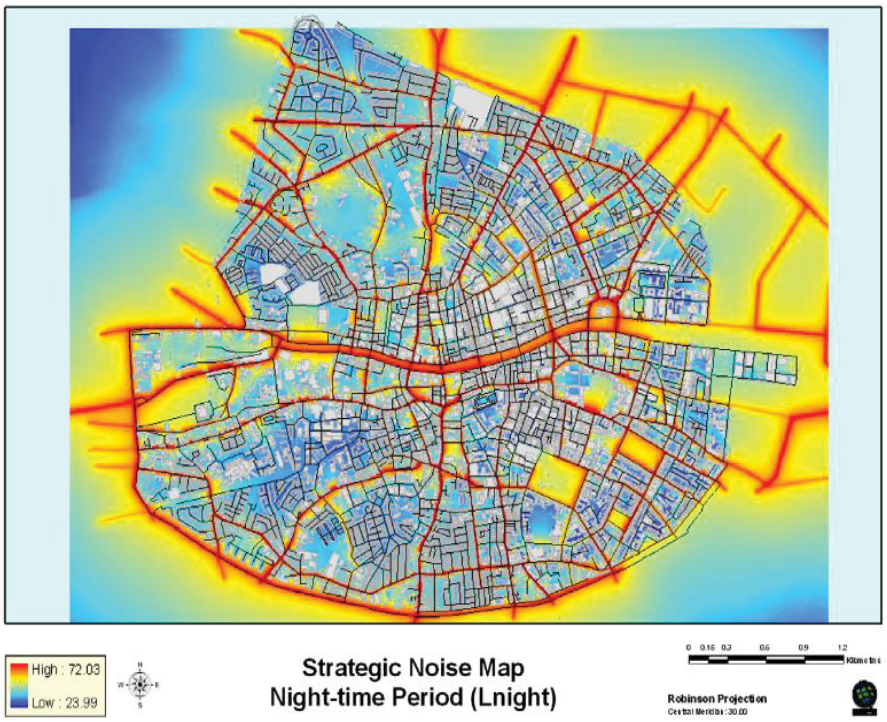
Na Índia, Manwar, Mandal e Pal (2017) conduziram um mapeamento de ruído em uma mina a céu aberto com três modelos diferentes: um baseado nas condições de operação da linha de base em dois turnos e duas outras situações virtuais em que as metas de produção foram aumentadas. Através do software *Predictor*, percebeu-se que para todas as situações, os níveis de ruído previstos excederam os limites de CPCB (*Central Pollution Control Board*) dentro da mina e da área residencial próxima. Ainda, recomendou-se a colocação de barreiras acústica para atenuar a propagação do ruído.

O mapeamento de ruído vem sendo desenvolvido por cidades europeias em função de suas normas diretivas. A Diretiva Europeia 2002-49-EC (PARLAMENTO EUROPEU, 2002) obriga as cidades europeias com mais de 250 mil habitantes a desenvolver mapas acústicos para controle da propagação da energia sonora, visando preservar a qualidade ambiental.

Ausejo et al. (2011) realizaram estudo sobre o ruído ambiental na cidade de Palma de Mallorca (Espanha). A avaliação do nível de ruído foi feita através do software CadnaA, com o método NMPB Routes 96 e revelou uma situação problemática que requer um plano de ação urgente de ruído. Várias medidas de mitigação de ruído são analisadas, considerando além da redução do ruído os benefícios monetários líquidos gerados.

Murphy e King (2011) realizaram um mapeamento estratégico de ruído em Dublin, na Irlanda, tanto para o período diurno quanto para o noturno (FIGURA 8). A pesquisa usou para cálculo de ruído rodoviário, o método britânico CRTN (*Calculation of Road Traffic Noise*), e simulou três situações como forma de reduzir o ruído da região: reduções de tráfego, redução de velocidade e construção de barreiras acústicas.

FIGURA 8 – MAPA ESTRATÉGICO PARA O RUÍDO NOTURNO




FONTE: Murphy e King (2011).

Na Itália, Bellucci, Peruzzi e Zambon (2017) relatam o chamado projeto DYNAMAP (Dynamic Acoustic Mapping), o qual se caracteriza pelo desenvolvimento de redes de sensores de baixo custo para mapeamento de ruído em tempo real. No mesmo país, Borelli et al. (2014) utilizaram quatro métodos de cálculo diferentes para mapeamento de ruído, a fim de avaliá-los e compará-los: ISO 9613-2, NMPB-Routes-1996, NMPB-Routes-2008 e Harmonoise. O tempo computacional para os diferentes métodos de cálculo foi analisado. Para obter uma validação recíproca, os mapas de ruído simulados foram finalmente comparados com mapas provenientes de medições de campo.

Na Romênia, Popescu, Ursu-Fischer e Moholea (2017) apresentaram um estudo comparativo do ruído do tráfego em áreas urbanas, especialmente na cidade de Cluj-Napoca, considerando dois aspectos: os níveis de ruído medidos, nos mesmos pontos e nas mesmas condições, nos anos de 2006 e 2017. Concluiu-se que o problema do tráfego e do ruído gerado por ele na cidade melhorou nos últimos anos, mas ainda não está resolvido e deve permanecer sob atenção do governo local.

A legislação ambiental na América do Sul não impõe mapas de ruído. Mesmo que as queixas sobre o ruído urbano estejam entre as principais questões

tratadas por conselhos ambientais, o governo brasileiro ainda não reconhece o ruído como um problema ambiental (PINTO; MARDONES, 2009). No Brasil, o gerenciamento do ruído e os instrumentos públicos ainda são precários, por isso, o mapeamento de ruído tem sido utilizado basicamente em trabalhos acadêmicos para estudar poluição sonora em algumas cidades brasileiras (ZANNIN; SANT'ANA, 2011).

A reconstrução de uma rodovia na cidade de Curitiba foi avaliada acusticamente por Zannin e Sant'Ana (2011). Foram realizadas medições *in situ* dos níveis de ruído, a partir das quais foram elaborados mapas de ruído em diferentes etapas da implementação do projeto de reestruturação viária. Os mapas revelaram a existência de poluição sonora no trecho urbano da rodovia federal em todos os cenários. Dessa forma, os resultados foram disponibilizados para tomadores de decisão.

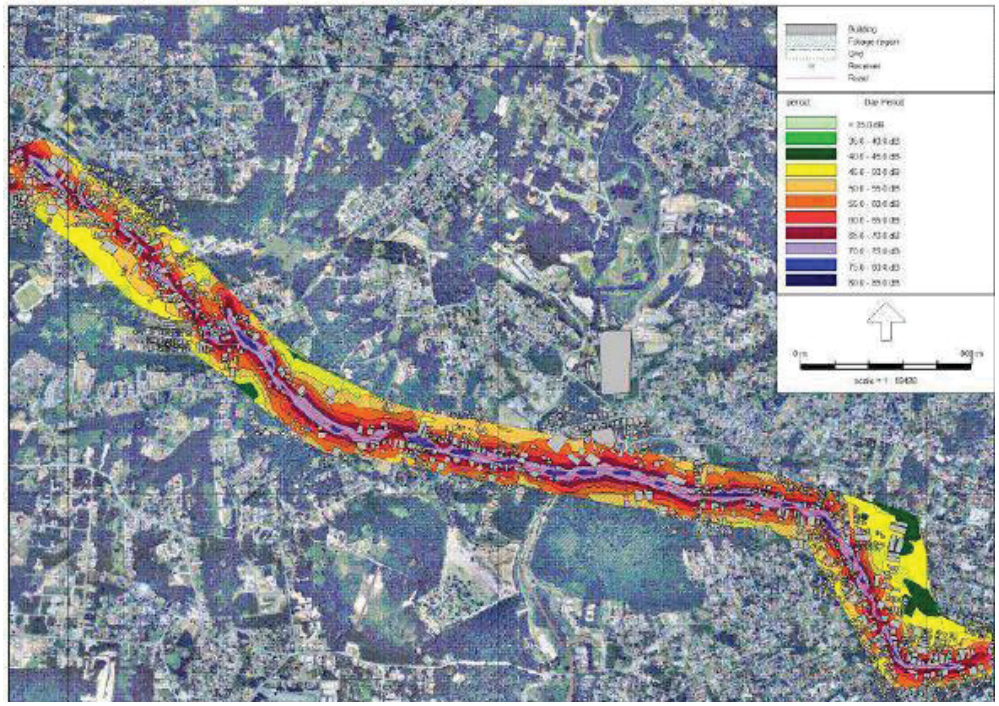
Milanez (2013) fez uso de mapeamento acústico, acompanhado de medições em campo na região da Linha Verde, em Curitiba, na fase de implantação de um novo trecho. Os níveis de ruído registrados nesta estrada excedem os níveis recomendados pela legislação em vigor, como mostra a FIGURA 9. O estudo indicou, a partir de simulações futuras, que mesmo com a implantação de medidas mitigadoras os níveis sonoros estariam acima dos estabelecidos pela Lei Municipal e pela Norma Brasileira.

FIGURA 9 – MAPA DE RUÍDO DA LINHA VERDE

FONTE: Milanez (2013).

Na mesma cidade, Soares (2013) avaliou o ruído ambiental em vias de grande importância para o deslocamento de veículos de um extremo ao outro. A partir de um cenário de referência que representa o “panorama acústico” do período (FIGURA 10), foram simulados cenários hipotéticos de redução (em 50 e 75%) dos veículos e de aumento em 100% dos veículos nas áreas sensíveis. Os resultados indicam que a redução de 50% não é suficiente para reduzir significativamente, enquanto que a diminuição de ¾ dos veículos seria significativa para atender os limites estabelecidos pela legislação. E no cenário futuro foi possível evidenciar que além de um fluxo extremamente saturado, o resultado é um aumento significativo da poluição sonora ambiental.

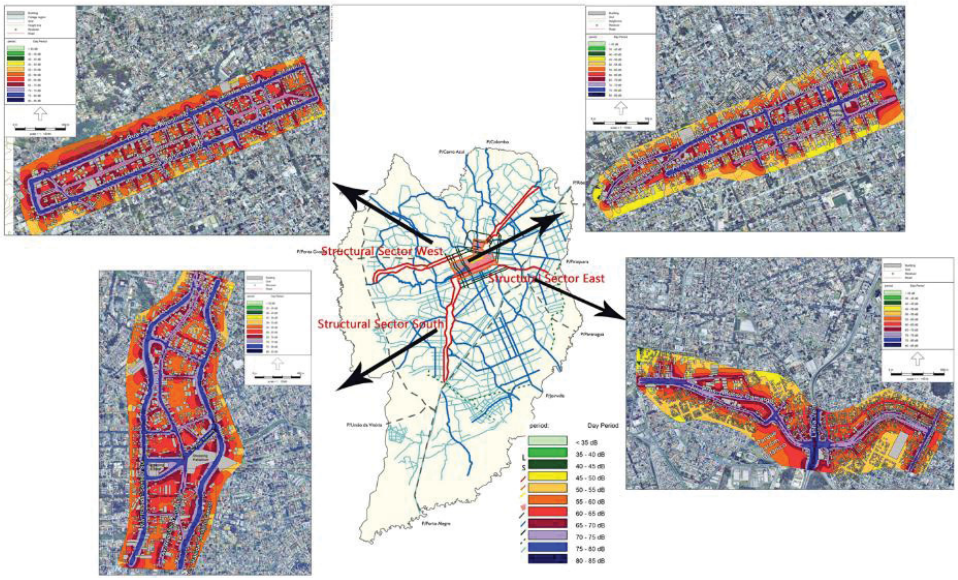
FIGURA 10 – MAPA DE RUÍDO DE VIA URBANA NA REGIÃO NOROESTE DE CURITIBA



FONTE: Soares (2013).

Ainda na cidade de Curitiba, Fiedler e Zannin (2015a) realizaram um estudo que incluiu mais de 232 medições, mapas (ilustrados na FIGURA 11) e simulações computacionais, tais quais mudanças na composição e volume de tráfego. Os pesquisadores relataram que uma redução de 50% do fluxo de tráfego ou redução de 50% do tráfego de veículos pesados reduziria os níveis sonoros em torno de 3 dB (A).

FIGURA 11 – MAPAS DE RUÍDO DOS SETORES ESTRUTURAIS DE CURITIBA




FONTE: Fiedler & Zannin (2015a).

De acordo com a Legislação e Zoneamento urbano municipal, há áreas mais sensíveis e que os limites permitidos para ruído são menores. Um hospital na cidade de Curitiba foi avaliado por Zannin e Ferraz (2016) através de medições e mapas sonoros. A pesquisa revelou que o limites estabelecido pela Lei Municipal de Curitiba Nº 10.625 - 55 dB (A) (período diurno) para áreas ao redor de hospitais – foi excedido. Com a conclusão de que o hospital se encontrava poluído acusticamente, foram propostas medidas mitigatórias para redução do ruído que atinge a área.

Zannin, Vale e Nascimento (2019) avaliaram o ruído longo de duas principais vias da cidade de Curitiba, Brasil. Foram realizadas medições em 27 pontos dos locais, como forma de avaliação da situação acústica e ferramenta de calibração dos mapas. O estudo do tráfego concluiu que 88% do total é composto por veículos leves, com alto fluxo e elevadas velocidades, os quais colaboram para altos níveis de pressão sonora na região. Os resultados das medições e o cálculo dos mapas (FIGURA 12) de ruído indicaram que ambas as vias estão acusticamente poluídas e apontam para a necessidade de um melhor planejamento e gestão urbana.

FIGURA 12 – MAPAS DE RUÍDO DE DUAS AVENIDAS DE CURITIBA

a) Avenida do Batel

b) Avenida Marechal Deodoro

FONTE: Zannin, Vale e Nascimento (2019).

Moraes et al. (2003), a partir de medições dos níveis de pressão sonora equivalente médios, $L_{eq}$ (A), realizaram um estudo de poluição sonora com mapas de ruído. Ficou evidenciado que os níveis de ruído em toda a zona comercial da cidade ultrapassaram os índices máximos recomendados pelas Normas de qualidade vigente no país.

Em Florianópolis, Nardi (2008) realizou um estudo de caso da área central da cidade. A pesquisa se concentrou em um diagnóstico da situação acústica da região através de medições sonoras e mapeamento acústico, através do software *SoundPlan*. Concluiu-se que os níveis sonoros calculados se encontravam consideravelmente altos, as áreas delimitadas para uso de escolas e hospitais apresentaram valores acima do permitido em lei, o que prejudica o nível de concentração de alunos bem como o nível de conforto dos pacientes de hospitais.

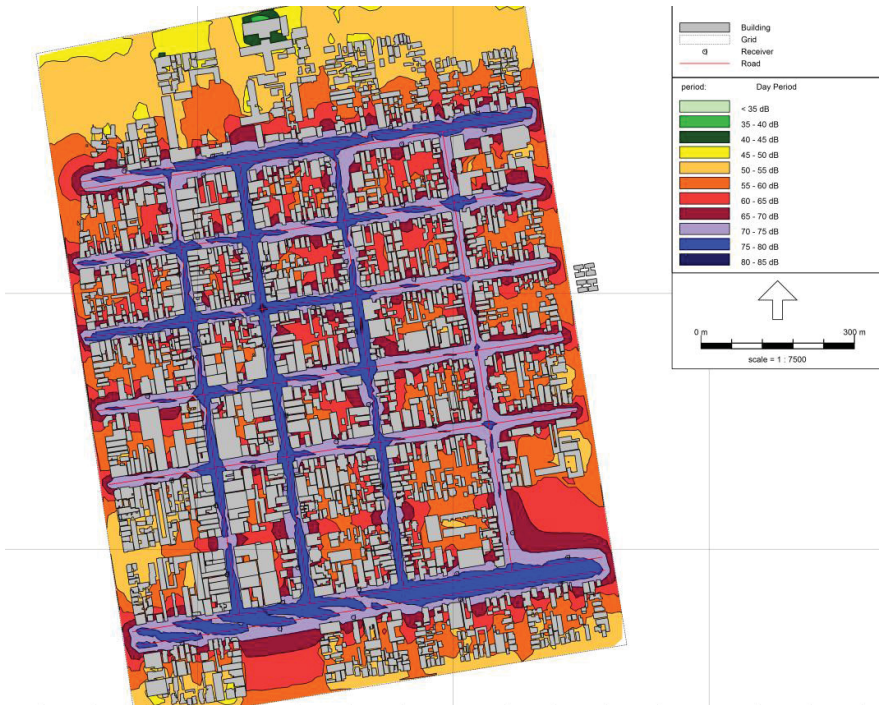
No Rio de Janeiro, Pinto e Mardones (2009) avaliaram os níveis de ruído aos quais a população está exposta, através de medições e mapas de ruído, bem como quantificaram a influência dos aspectos arquitetônicos. Os autores realizaram medições experimentais em 14 pontos do setor escolhido em Copacabana e os mapas foram confeccionados através do software *CadnaA*. Descobriu-se que o ruído devido ao tráfego em todos os pontos selecionados mostra níveis acima dos permitidos.

Já no nordeste brasileiro, Guedes et al. (2011) estudaram o ruído ambiental na cidade de Aracaju. A pesquisa, que envolveu medições e simulações acústicas utilizando o software *SoundPLAN*, revelou que as características físicas da forma urbana, como a densidade de construção, a existência de espaços abertos, a forma e a posição física dos edifícios exercem uma influência significativa sobre o ruído ambiental.

A exemplo da capital paranaense, Filho et al. (2015) realizaram um trabalho alinhando medições em campo e mapeamento acústico para avaliação de ruído urbano. Três áreas distintas na cidade de Campo Grande foram avaliadas: setor comercial, setor misto (comercial e residencial) e setor residencial. Os mapas de ruído indicam a presença de poluição sonora nos setores comercial (

FIGURA 13) e misto. No setor residencial, foram encontradas partes poluídas pelo ruído, mas com grandes áreas onde o limite de ruído de 55 dB (A) é respeitado.

FIGURA 13 – MAPA DE RUÍDO DE UMA ÁREA COMERCIAL DE CAMPO GRANDE

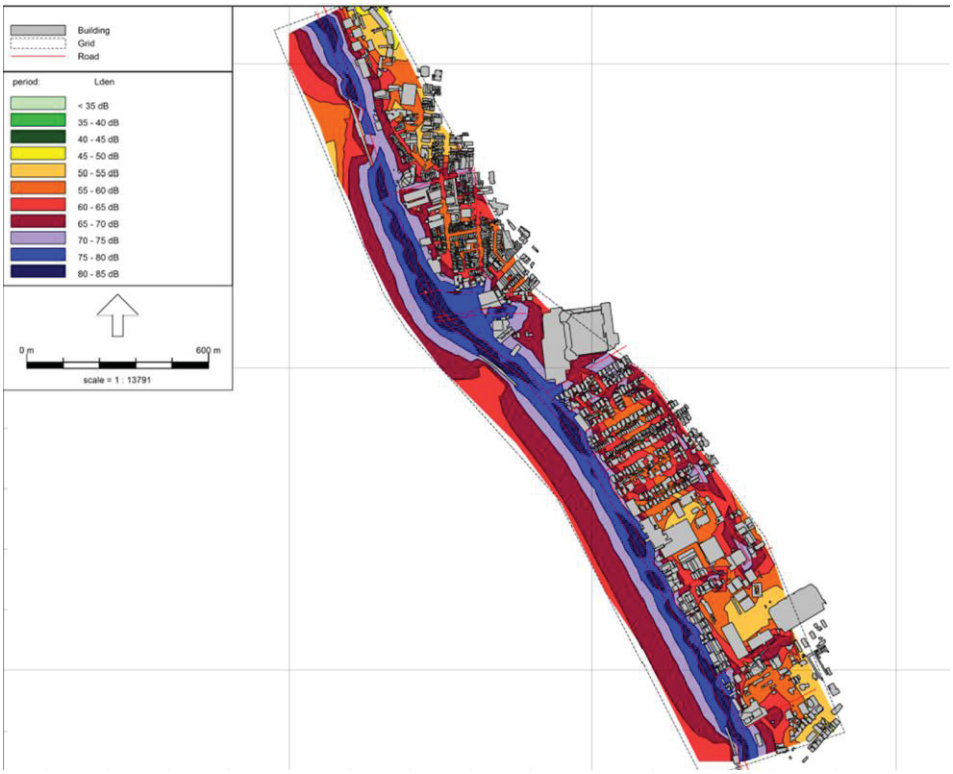



FONTE: Adaptado de ZANNIN et al. (2013a).

Na cidade de Campos do Jordão, em São Paulo, Brito (2017) avaliou a contribuição dos mapas acústicos no planejamento urbano visando à melhoria da paisagem sonora das cidades. O software usado para a modelagem foi o SoundPLAN 7.3, com o qual é possível inserir os resultados obtidos nas medições e todos os objetos urbanos como edifícios, ruas, avenidas, praças e fontes de ruído presentes na região. Os mapas acústicos mostraram que a proximidade das áreas de entretenimento e residências eleva o nível de ruído, prejudicando a qualidade de vida naquela região.

Paiva, Cardoso e Zannin (2019) estudaram um bairro da capital do mesmo estado. O objetivo do estudo foi verificar a correlação entre os níveis de exposição ao ruído do tráfego rodoviário em áreas residenciais e o incômodo resultante com base na percepção e sensibilidade relatada. Através de medições, cálculo de mapas de ruído (FIGURA 14) e aplicação de questionários para averiguar a percepção dos moradores do bairro, concluiu-se o cenário de poluição sonora, já que os níveis de ruído em todos os pontos medidos superaram o nível crítico para a área, 55 dB (A) e o incômodo relacionado ao ruído foi relatado por 48,4% dos entrevistados.

FIGURA 14 – MAPA DE RUÍDO DA MARGINAL PINHEIROS



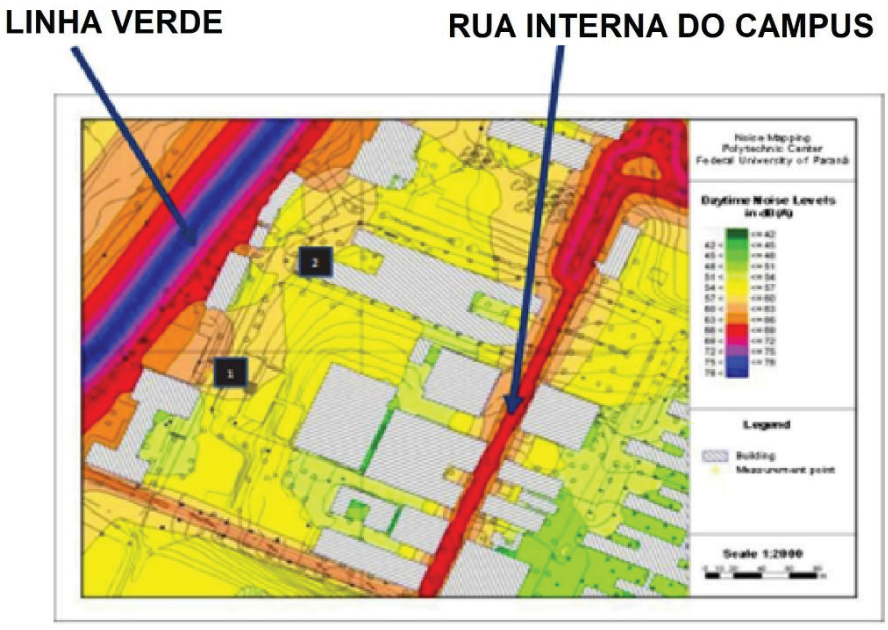
FONTE: Paiva, Cardoso e Zannin (2019).

## 3.5 RUÍDO AMBIENTAL EM AMBIENTES ESCOLARES

Diversos estudos em diferentes países abordaram o problema do ruído ambiental em áreas educacionais (DOCKRELL; SHIELD, 2004; KENNEDY ET AL., 2006; ASTOLFI; PELLEREY, 2008; GOLMOHAMMADI ET AL., 2010; GOSWAMI, 2011; PAZ; ZANNIN, 2012, MINICHILLI et al., 2018). Porém, esses trabalhos não avaliaram o ruído ambiental através do uso de mapeamento acústico em programas especializados como forma de diagnosticar esse problema.

Um dos primeiros trabalhos de mapeamento acústico em um ambiente educacional utilizando tecnologia computacional foi executado por Zannin et al. (2013a). A Universidade Federal do Paraná foi avaliada por meio de medidas *in situ* de nível sonoro contínuo equivalente $L_{eq}$ e os mapas foram gerados através do software SoundPlan e são mostrados na FIGURA 15. Os autores relataram que áreas onde ficam salas de aula e laboratórios apresentaram níveis sonoros na faixa de 54 a 63 dB (A), e que embora haja “ilhas de tranquilidade acústica” no campus Centro Politécnico, a poluição sonora deve ser motivo de preocupação devido aos altos níveis medidos.

FIGURA 15 – MAPA DE RUÍDO DE UMA ÁREA DA UFPR




FONTE: Adaptado de ZANNIN et al. (2013a).

O nível de pressão sonora interno e externo, bem como o isolamento acústico e o tempo de reverberação foram utilizados por Zannin e Zwirtes (2009), para avaliarem o desempenho acústico de salas de aulas em escolas públicas. Zannin e Ferreira (2009) utilizaram dos mesmos parâmetros para avaliação da qualidade acústica de salas de aula em universidades.

### 3.5.1 RUÍDO AMBIENTAL EM UNIVERSIDADES

Em Lima no Peru, Chávez, Yoza e Arellano (2009) determinaram a distribuição do ruído ambiental no campus da Universidade Nacional Agrária de La Molina (UNALM) com um total de 69 estações, cujas medições foram feitas durante o dia e a noite. Os valores obtidos no Nível Pressão Sonora Equivalente Contínua com ponderação A ($LA_{eq}$) para as horas diurnas variou de 44,7 a 59,8 dB (A) e para as noturnas de 39,5 a 51,3 dB (A). Com a utilização do software Arc Gis 9.2, foram confeccionados mapas para ruído diurno, noturno e $L_{den}$ (sendo o último apresentado na FIGURA 16) que indicaram que as áreas correspondentes a atividades acadêmicas têm valores de ruído ambiental superiores a 50 dB (A) indicados pela ENCA (*Estándares Nacionales de Calidad Ambiental*).

FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO DO INDICADOR DE RUÍDO AMBIENTAL LDEN

FONTE: Chávez, Yoza e Arellano (2009).

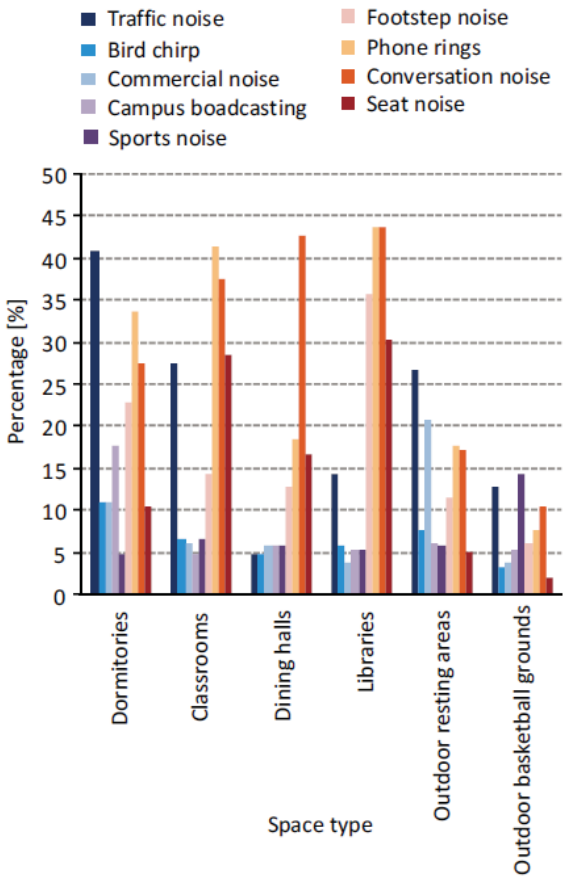
Pérez, Baro e Ancela (2010) elaboraram o mapa estratégico de ruído do Campus Universitário de Teatinos da Universidade de Málaga, Espanha. O software CadnaA foi utilizada para a confecção dos mapas e para a calibração do mapa foi realizada apenas uma medição com um nível de ruído com 5 min de duração a 10m da via de trafego de veículos. O estudo aponta para o fato de 89% das fachadas dos edifícios do campus estarem acima do proposto pela Diretiva 2002/49/CE da União Europeia que especifica níveis até no máximo 60 dB (A).

Otutu (2011) realizou a medição dos níveis de som e porcentagem de ocorrência em áreas estratégicas do Campus 2 da Delta State University, Abraka, na Nigéria. Quatro leituras de 22 locais foram tomadas pela manhã, durante o horário de trabalho e a noite, após o horário de trabalho. Os níveis de ruído medidos quando comparados com os limites de exposição de 75 dB (A), como recomendado pela OMS (1980) e FEPA (1991), exigem uma necessidade urgente em empregar estratégias de controle.

Zhou e Zhang (2012) avaliaram a condição ambiental do campus da Hebei University of Engineering na cidade de Handan, China. Em 28 pontos o nível de pressão sonora foi medido durante 10 min, durante o dia e a noite, e foram gerados mapas de ruído através de um programa de computador de gráficos de superfície. Os níveis médios calculados para o período diurno e noturno foram respectivamente 54,5 dB (A) e 55,4 dB (A).

Na China, Su, Kang e Jin (2013) revelaram o impacto do ambiente acústico em campi universitários fechados, através de questionários subjetivos em oito universidades da China e medições acústicas na cidade de Harbin. Os valores de nível de pressão sonora encontrados variaram de 49,7 dB (A) e 76,6 dB (A) através de medições com tempo de 5 minutos em cada ponto de aplicação. Apenas 28% dos alunos consideraram-se satisfeitos com o ambiente acústico do campus. A FIGURA 17 demonstra quais as fontes de ruído foram consideradas mais perturbadoras nos diferentes ambientes da universidade.

FIGURA 17 – FONTES PERTURBADORAS DE RUÍDO EM DIFERENTES ESPAÇOS




FONTE: Su, Kang e Jin (2013).

Também na China, Zhang et. al. (2019) investigaram o nível de poluição ambiental acústica de um campus universitário na cidade de Hengyang, através de medições e aplicação de questionários. De acordo com a norma chinesa seguida pelos autores (*GB 3096-2008 Environmental Quality Standard for Noise*), metade dos 24 pontos excederam o limite de 55 dB (A). No entanto, dos 500 estudantes entrevistados, 96,12% responderam que havia pouca poluição sonora no campus, a ponto de causar impacto na vida e nos estudos. Os autores sugerem algumas medidas para o controle do ruído na universidade, como por exemplo, gerenciamento de tráfego e regularização da zona verde do campus.

A Universidade de Ataturk, na Turquia foi avaliada acusticamente por Ozer (2014) através de medições de ruído em 12 locais onde há fluxo intenso de tráfego de veículos motorizados e em um local com relativamente menos tráfego. A partir de um mapa construído através do software ArcGis 9.1, pode ser determinado que

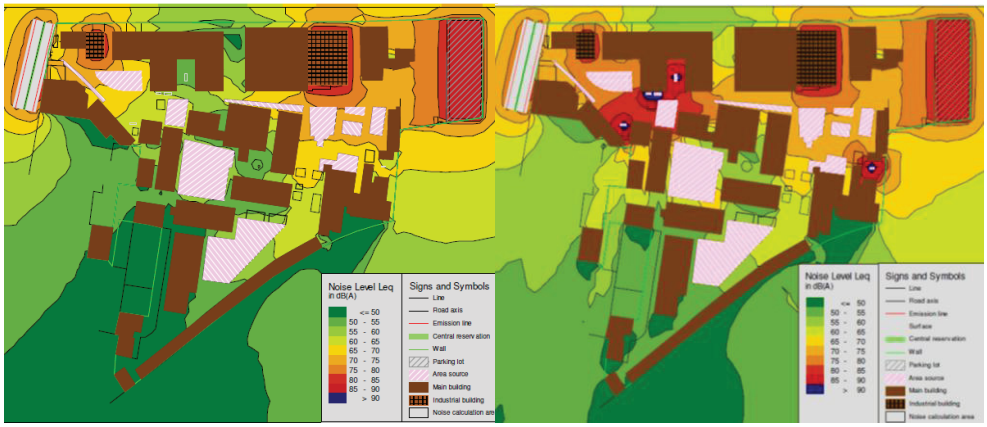
apenas o ponto próximo ao menor tráfego está abaixo do limite permitido de 55 dB (A). A faixa predominante de valores de ruído no mapa do campus foi de 55 - 65 dB (A).

No mesmo país, Gunes e Ozyavuz (2018) produziram mapas acústicos no campus da Universidade Namik Kemal, na cidade de Tekirdag. Os níveis de ruído foram medidos em 28 pontos, selecionados de forma homogênea no campus, em períodos da manhã, meio-dia e fim da tarde. Os resultados demonstram que o nível de ruído se situa na faixa de 44 a 66 dB (A), 44 a 78 dB (A) e 42 a 73 dB (A), nos três períodos mencionados, respectivamente. Diante disso, os autores consideram a região poluída acusticamente e apontam locais em que os valores são mais altos, como por exemplo, os pontos de acesso ao campus, o refeitório e os estacionamentos. Visto que o ruído é um dos componentes mais importantes da qualidade de vida urbana, é evidenciada a necessidade de um melhor planejamento das instalações do campus, para a correta concentração e distribuição dos níveis sonoros.

El-Sharkawy e Alsubaie (2014) mediram níveis sonoros no campus da Universidade de Damman, Arábia Saudita. As medições foram feitas em tempos de 10 a 15 minutos fora do próprio campus, nas ruas internas e dentro de vários edifícios. Todos os níveis de ruído dentro do campus foram mais altos do que as diretrizes recomendadas e o tráfego dentro do campus da foi a principal fonte dos elevados níveis de poluição sonora ambiental.

Ibrahim (2015) avaliou acusticamente Campus de Engenharia da Universidade Al-Mustansiriyah, em Bagdá, no Iraque. Através da utilização do software *SoundPlan* foram gerados mapas de ruído que demonstraram que os geradores de ruído ligados a áreas próximas chegam a ter níveis de pressão sonora superiores a 90 dB (A), quando os geradores de energia estão ligados. A FIGURA 18 demonstra a comparação entre o comportamento do ruído com os equipamentos desligados e ligados.

FIGURA 18 – MAPAS DE RUÍDO EM UM CAMPUS DE UNIVERSIDADE DE ENGENHARIA
a) com geradores de energia desligados
b) com geradores de energia ligados




(a) (b)

FONTE: Ibrahim (2015).

O problema de ruído ambiental na *Universiti Teknologi Malaysia* (UTM) foi avaliado por Haron, Han e Darus (2015). Um total de 24 locais de medição foram selecionados com base nas zonas de trabalho e cada local foi medido em uma hora durante o período de trabalho. Cerca de 95,8% dos resultados das medições excederam o limite de 50 dB (A) permitido pela diretriz do Departamento de Meio Ambiente para a área em questão.

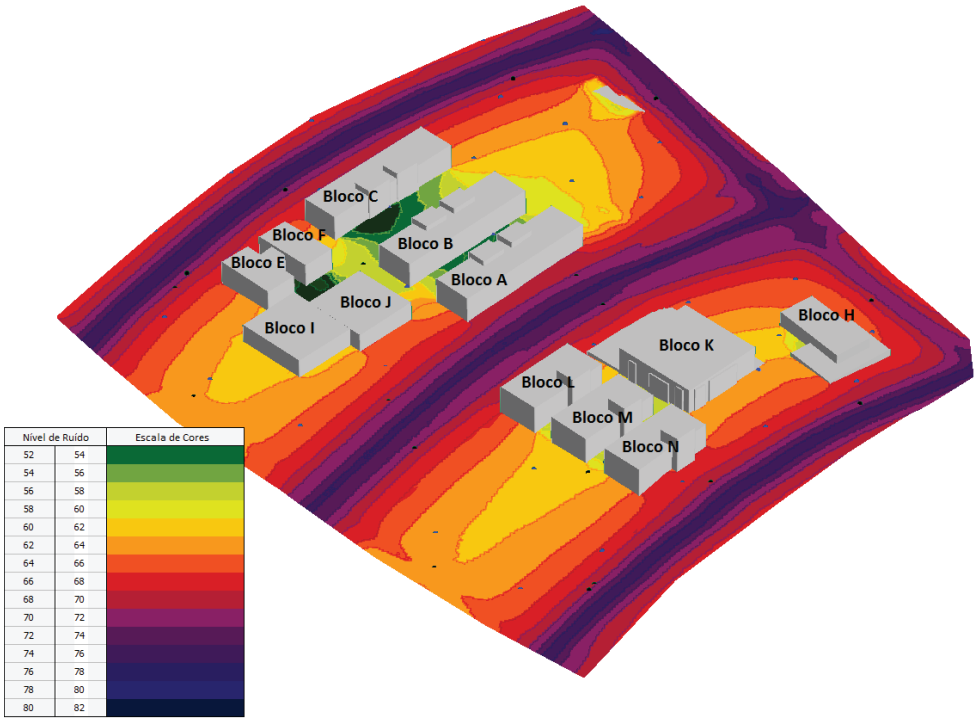
Com o objetivo de acompanhar o estágio inicial de prevenção da poluição, Sudarsan e Nithiyanantham (2016) realizaram um estudo sobre a poluição sonora na *SRM University*, na Índia, a qual comporta um hospital em suas instalações. Foram medidos 10 pontos externamente e 14 dentro do campus, durante um intervalo de tempo de 24 minutos por medição. De acordo com o Conselho Central de Controle da Poluição da Índia, o limite para área na qual a universidade está inserida é de 65 dB (A) e para zonas hospitalares, 50 dB (A). Os níveis médios de pressão sonora respeitaram os 65 dB (A), mas os pontos compreendidos na área hospitalar, excederam os limites em todos os horários medidos.

Thattai et al. (2017) analisaram o nível de ruído em diferentes pontos do mesmo campus universitário indiano. Um total de 24 pontos de coleta de amostragem foi feito em dois ciclos de leitura. Esse estudo seguiu os parâmetros para o controle de níveis de ruído, legalmente estabelecidos pela Regulamentação

sobre poluição sonora (regulamento e controle) de 2000, sob a Lei do Meio Ambiente, de 1986, a poluição sonora desejável para instituições de ensino e hospitais durante o dia é de 50 dB (A). Altos níveis de ruído foram registrados durante a manhã e à noite, correspondendo aos horários de entrada e saída dos alunos, tendo um valor de pico que atingiu cerca de 106 dB (A).

Ansay (2013) analisou o impacto ambiental sonoro gerado pelo tráfego rodoviário dentro do Campus Ecoville da UTFPR. Foram realizados medições e mapeamento sonoro em três cenários: o primeiro, apresentado na FIGURA 19, retratou a situação atual situação do campus, ainda em fase de implantação, o qual foi utilizado para validar o modelo computacional e dois modelos futuros para simular o local 5 anos depois, período de provável finalização do projeto. Concluiu-se que poucos espaços possuíam um nível de ruído abaixo do nível indicado de 55 dB (A) e que, em relação às simulações de cenários futuros, apesar do aumento no fluxo de veículos, foi possível obter uma redução em até 4 dB (A) no nível de ruído devido à diminuição da velocidade dos veículos.

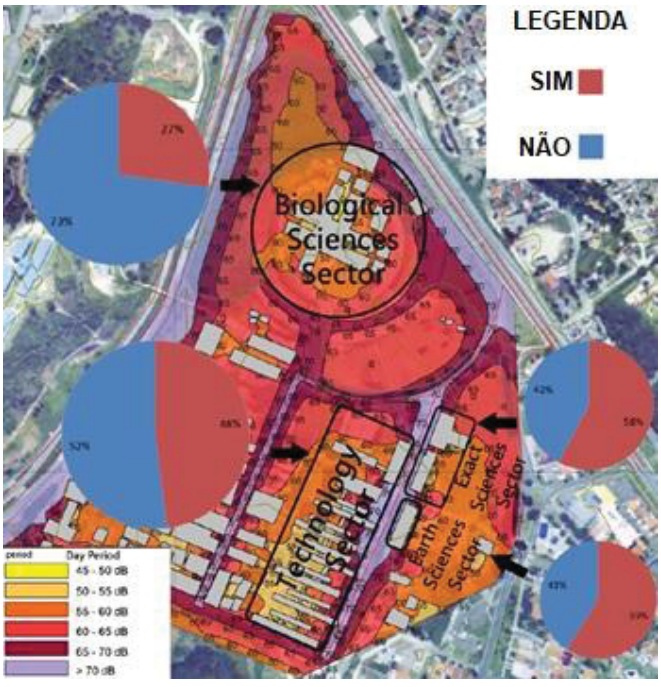
FIGURA 19 – MAPA DE RUÍDO DO CAMPUS ECOVILLE DA UTFPR




FONTE: Ansay (2013).

O estudo realizado por Zannin et al. (2013b) descreve a caracterização da poluição sonora no Campus Politécnico da UFPR através de medições de pressão sonora, mapeamento acústico e entrevistas. O descritor utilizado foi o nível de pressão sonora equivalente ($L_{eq}$) expressado em dB, o qual foi medido em 58 pontos de acordo com a norma brasileira NBR 10151. Os autores não encontraram variação entre as medições de 3 min, 15 min e 1 hora, portanto, com o objetivo de economizar tempo e conservar o equipamento, bem como garantir condições meteorológicas, optou-se pelas medições de 3 minutos. Os dados do $LA_{eq}$ foram comparados com os limites de emissão de ruído para ambientes externos em áreas educacionais recomendadas pela OMS de 55 dB (A) e os resultados indicaram que 89,65% dos pontos avaliados ultrapassaram o valor. Os 389 entrevistados foram questionados sobre percepção do ruído, incômodo causado e sintomas físicos e psicológicos relacionados. A FIGURA 20 apresenta a proporção das respostas de cada setor sobre sentir incômodo pelo ruído.

FIGURA 20 – RESPOSTAS DE CADA SETOR PARA A PERGUNTA: "VOCÊ ESTÁ INCOMODADO COM O RUÍDO GERADO NO CAMPUS DA UNIVERSIDADE?"




FONTE: Adaptado de Zannin et al. (2013b).

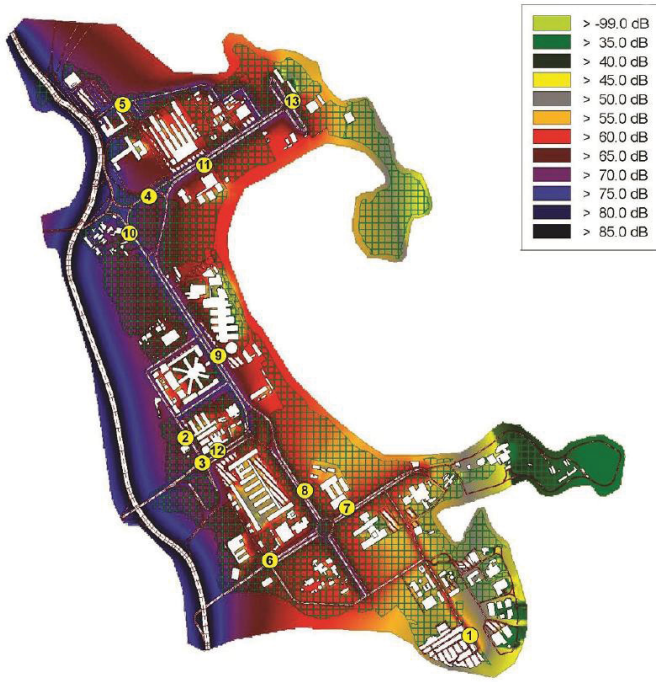
O entorno do Campus Centro Politécnico foi avaliado através de uma análise espectral por Soares et. al. (2014). Além da conclusão de que a faixa de frequência do ruído gerado se encontrou predominantemente entre 63 Hz e 12500 Hz, os

autores apontaram que todos os pontos analisados em um trecho da rodovia BR 277 estavam em desconformidade com a Lei Municipal 10.625 e que dos 14 pontos medidos na Linha Verde, apenas 4 não excederam o limite estipulado pela legislação.

O impacto ambiental sonoro da UFPR também foi avaliado por Vieira (2018). O tráfego rodoviário de veículos foi analisado através de medições *in situ* e mapeamento sonoro, nos campi Centro Politécnico e Jardim Botânico. Foram medidos 65 pontos, durante 15 minutos cada, dos quais 59 apresentaram níveis de pressão sonora superiores a 55 dB (A) que é o limite máximo para uma Zona de Silêncio e 32 desses mesmos pontos apresentaram valores superiores a 60 dB (A) que é o limite para uma Zona Educacional Especial, mostrando assim um ambiente sonoro poluído. Foram simulados cenários futuros e medidas mitigatórias. A partir disso, estimou-se para 2032 um acréscimo de média de 2 dB (A) para o Campus Jardim Botânico e 1,5 dB (A) para o Centro Politécnico e o melhor resultado de medidas mitigatórias foi a construção de barreiras acústicas em locais críticos.

A avaliação do impacto das transformações urbanas da Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro através da comparação de mapas de ruído foi realizada por Magioli e Torres (2018). Os mapas de ruído foram elaborados através de simulação acústica pelo software CadnaA e foram validados através da medição dos níveis de pressão sonora em 13 pontos escolhidos estrategicamente. A FIGURA 21 apresenta o mapa representativo do cenário acústico investigado, o qual retrata que o limite exigido pela NBR 10151 de 50 dB (A) para áreas escolares não é respeitado e que existem grandes áreas com níveis de ruído acima de 60 dB (A). Além de sugerirem medidas mitigatórias, tais quais, utilização de materiais acusticamente absorventes, estudo de posicionamento de novas edificações e controle de ruído na fonte no caso dos ônibus que circulam internamente, os autores ainda destacam a questão da desatenção quanto ao ruído no planejamento urbano, fato que se torna evidente ao analisar o Plano Diretor da UFRJ para 2020 que não inclui a poluição sonora em seu desenvolvimento.

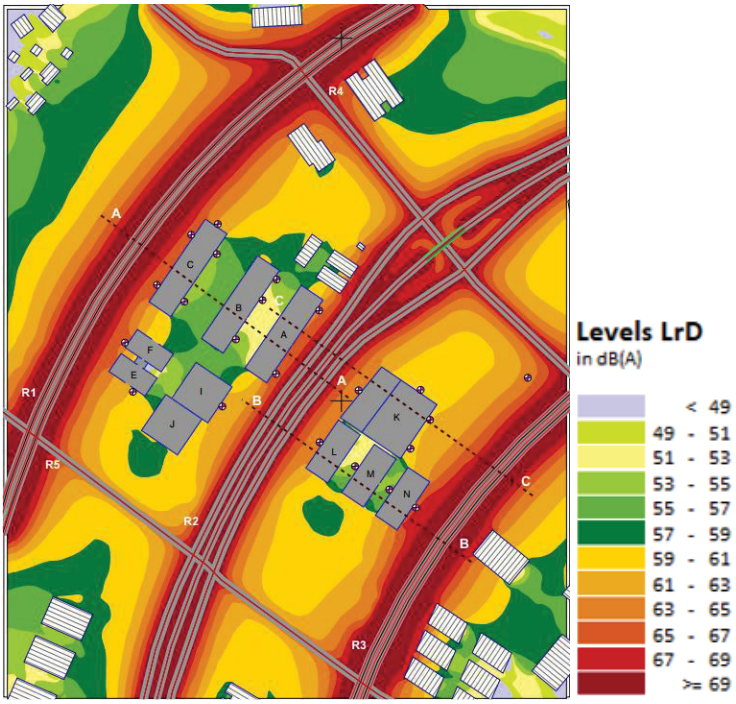
FIGURA 21 – MAPA DE RUÍDO DA CIDADE UNIVERSITÁRIA DO RIO DE JANEIRO




FONTE: Magioli e Torres (2018).

A inserção de uma barreira acústica simples de blocos de concreto em um campus universitário em Curitiba foi estudada por Amarilla (2019), a fim de reduzir o impacto dos níveis de poluição sonora e estimular a reciclagem de subprodutos da construção e demolição. Para isso, inseriu-se na biblioteca do software *SoundPlan* um novo coeficiente de absorção sonora, o qual foi encontrado através de testes laboratoriais com as amostras de concreto desenvolvidas. Para validação dos cenários simulados, foi realizada a medição sonora de 22 pontos da área de estudo – a mesma avaliada por Ansay (2013) –, dos quais 6 estavam dentro do limite estabelecido pela NBR 10151. A FIGURA 22 ilustra a situação do campus através de um mapa produzido no software utilizado. Os resultados das simulações, após a inserção da barreira acústica, indicaram uma atenuação do ruído em média de 12 dB em torno do campus.

FIGURA 22 – MAPA DE RUÍDO DO CAMPUS UNIVERSITÁRIO SEM A INSERÇÃO DE BARREIRA ACÚSTICA

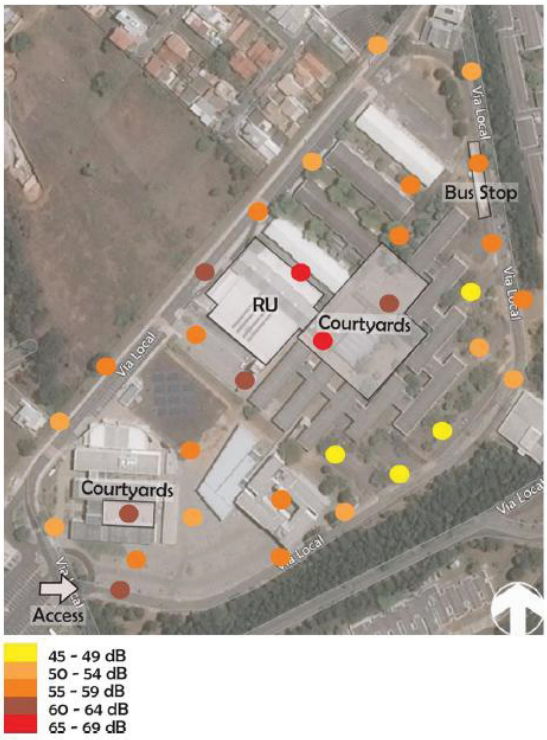



FONTE: Amarilla (2019).

Souza, Alberto e Barbosa (2019) identificaram a influência da pressão sonora na percepção e no comportamento do usuário em um setor de um campus universitário na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. Foram realizadas 32 medições externas e 11 internas. Em relação ao tempo de medição, como testes estatísticos demonstraram que não havia diferenças significativas entre os grupos de medidas (intervalos de 1 minuto durante 3, 15 e 60 minutos), optou-se pelas medições de 3 minutos, as quais foram totalizadas por medições de um intervalo de 1 minuto em 3 diferentes períodos do dia. Os resultados indicaram que 87% e 53% das medições externas excederam os limites estipulados pela NBR 10151 (50 dB) e OMS (55 dB), respectivamente. A FIGURA 23 apresenta a localização dos pontos bem como os resultados médios das medições em uma escala de cores de acordo com o nível de pressão sonora. Além dos dados objetivos, foram aplicados questionários a 140 voluntários, incluindo professores, alunos e funcionários e, apesar da grande quantidade de locais com níveis de ruído acima do permitido, apenas 55% dos voluntários relataram ser incomodados pelo ruído, dentre os quais, apenas metade tenta mitigar os efeitos do problema enquanto estuda ou trabalha. Os autores destacam que os resultados apontam para a necessidade de uma ação

conjunta entre o planejamento do campus e o design das salas, a fim de definir alternativas arquitetônicas e urbanas para redução de ruído.

FIGURA 23 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS EM PONTOS EXTERNOS




FONTE: Souza, Alberto e Barbosa (2019).

Com o objetivo de criar maior embasamento sobre os métodos de avaliação de ruído ambiental, o QUADRO 3 apresenta uma análise comparativa dos trabalhos citados. Dentre os pontos elencados, tem-se: os aspectos de tempo de medição, número de pontos medidos, horário em que os dados foram coletados, o software de mapeamento utilizado e se houve avaliação subjetiva no estudo. Essas pesquisas não tiveram como foco os ambientes escolares/universitários, mas colaboram para o entendimento da área de poluição sonora.

Para a compreensão do tema aplicado especificamente a ambientes universitários os mesmos aspectos citados acima foram listados para outros trabalhos abordados na revisão de literatura, apresentados no QUADRO 4. É importante ressaltar foram considerados os estudos que fizeram medições externas do nível médio equivalente ($L_{eq}$) na área de campi universitários.

QUADRO 3 – ANÁLISE DE TRABALHOS DE RUÍDO AMBIENTAL

| Trabalho | Tempo de medição | Pontos medidos | | Horário | Software de mapeamento | Avaliação subjetiva |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Número de pontos | Medições por ponto | | | |
| Jeong et. al. (2010) | - | 10 | 3 | 06:00 às 22:00 h | SoundPlan 6.0 | Não |
| Suárez e Barros (2014) | 15 min | 274 | 1 | 09:00 às18:00 h 20:00 às 21:00 h | CadnaA | Não |
| Cai et al. (2015) | 20 min | 53 | 2 | - | SIG e GPS | Não |
| Manwar, Mandal e Pal (2017) | - | 4 | 1 | - | Predictor | Não |
| Ausejo et al. (2011) | | 4 | 1 | | CadnaA | Não |
| Murphy e King (2011) | 15 min | 8 | 1 | - | CRTN | Não |
| Bellucci, Peruzzi e Zambonm (2017) | 1h | 17 | 1 | - | GIS | Não |
| Popescu, Ursu-Fischer e Moholea (2017) | 3 horas | 240 | 1 | - | - | Não |
| Zannin e Sant'Ana (2011) | 3 min | 28 | 3 | - | Predictor 6.0 | Não |
| Milanez (2013) | 15 min | 25 | 1 | 09:00 às 11:00 h, 14:00 às 16:30 h | Predictor 8.11 | Não |
| Soares (2013) | 15 min | 22 | 1 | 09:00 às 11:00 h, 14:00 às 16:00 h | Predictor 8.11 | Não |
| Fiedler e Zannin (2015a) | 10 min | 232 | 1 | 07:00 às 19:00 h | Predictor 8.11 | Não |
| Zannin, Valle e Nascimento (2019) | 10 min | 27 | 1 | - | Predictor 8.11 | Não |
| Moraes et al. (2003) | 30 min | 9 | 3 | 08:00 às 18:30h | Nome não informado | Não |
| Nardi (2008) | 10 min | 25 | 3 | 08:00 às 09:00 h, 11:00 às 12:00 h, 17:00 às 18:00 h | SoundPlan 6.0 | Não |
| Filho et al. (2015) | 10 min | 174 | 1 | 06:00 às 18:00 h | Predictor 8.11 | Não |
| Zannin e Ferraz (2016) | 10 min | 30 | 1 | 07:00 às 19:00 h | Predictor | Não |
| Brito (2017) | 15 min | 15 | 8 | 06:00 às 18:00 h | SoundPlan 7.3 | Não |
| Paiva, Cardoso e Zannin (2019) | 15 min | 75 | 1 | - | Predictor 8.11 | Sim |

FONTE: A autora (2020).

QUADRO 4 – ANÁLISE DE TRABALHOS DE RUÍDO AMBIENTAL EM CAMPI UNIVERSITÁRIOS

| Trabalho | Tempo de mediçã o | Número de pontos medidos | Horário | Software de mapeamento | Avaliação subjetiva |
|---|---|---|---|---|---|
| Chávez et al. (2009) | Contínu o (24 h) | 69 | 07:00 às 22:00h<br>22:00 às 07:00h | ArcGis 9.2 | Não |
| Pérez et al. (2010) | 5 min | 1 | 19:20 h | CadnaA | |
| Zhou e Zhang (2012) | 10 min | 28 | 08:00 às 12:00 h<br>14:00 às 18:00 h<br>22:00 às 05:00 h | Nome não mencionado | Não |
| Su; Kang; Jin (2013) | 5 min | 29 | 08:00 às 12:00 h<br>14:00 às 18:00 h<br>22:00 às 05:00 h | - | Sim |
| Zhang et. al. (2019) | 20 min | 24 | 08:00 às 12:00 h<br>12:00 às 14:00 h<br>15:00 às 19:00 h<br>21:00 às 01:00 h | Não utilizado | Sim |
| Ozer (2014) | 4 min | 12 | 08:00 às 09:00 h<br>12:00 às 13:00 h<br>16:00 às 17:00h | Arc Gis 9.1 | |
| El-Sharkawy e Alsubaie (2014) | 10-15 min | Não informado | 07:00 às 09:00 h<br>13:00 às 14:00 | - | Não |
| Ibrahim (2015) | 5 min | 150 | 8:00 às 14:30 h | SoundPlan | Não |
| Haron et al. (2015) | 1 hora | 24 | Não informado | - | Não |
| Thattai et al. (2017) | 24 min | 24 | 8:00 às 10:00 h<br>12:00 às 14:00 h<br>15:00 às 17:00 h | - | Não |
| Ansay (2013) | 15 min | 22 | 12:00 às 19:00h | Predictor 8.11 | Não |
| Zannin et al. (2013b) | 3 min, 15 min e 1 h | 58 | 13:30 às 17:00 h | Predictor 8.1 | Sim |
| Soares (2014) | 15 min | 41 | 13:30 às 16: 30 h | Não utilizado | Não |
| Vieira (2018) | 15 min | 65 | 09:30 às 11:00 h<br>13:30 às 17:00 h | Predictor 8.1 | Não |
| Gunes e Ozyavuz (2018) | - | 28 | 08:00 às 09:00 h<br>12:00 às 13:00 h<br>17:00 às 18:00h | ArcGis | Não |
| Magioli e Torres (2018) | 20 min | 13 | Pico de tráfego | CadnaA | Não |
| Amarilla (2019) | 15 min | 22 | 08:00 às 11:30 h | SoundPlan | Não |
| Souza, Alberto e Barbosa (2019) | 1 min | 32 | 07:30 às 09:30<br>11:30 às 13:30 h<br>16:30 às 18:30 h | Não utilizado | Sim |

FONTE: A autora (2020).

# 4 METODOLOGIA

A pesquisa se caracteriza como descritiva quanto ao seu objetivo, pois visa analisar características de um fenômeno, a influência do ruído urbano e a percepção sonora em um ambiente universitário. Em relação aos métodos de coleta e análise, o estudo considera diferentes procedimentos: a realização de medições acústicas, mapeamento acústico e entrevistas com os usuários da área de estudo.

## 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1.1 Universidade Federal do Paraná

A Universidade Federal do Paraná, fundada em 1912, é a mais antiga universidade do Brasil e referência no ensino superior para o Estado e para o Brasil, diante de sua importância e excelência através dos cursos de graduação, especialização, mestrado e doutorado. Tem sua função social valorizada de acordo com o tripé Ensino, Pesquisa e Extensão, pois essas atividades devem devolver a comunidade, em forma de conhecimento, tecnologia e cultura, os recursos públicos que a permitem existir enquanto Instituição Federal de Ensino Superior (UFPR, 2019).

A Universidade oferece 135 cursos de graduação, 79 de mestrado e 50 de doutorado, além de turmas de especialização, residência médica e multiprofissional. Em Curitiba, estão localizados 12 campi da instituição, nomeadamente: Prédio Histórico, Campus Reitoria, Campus Batel, Campus Juvevê, Campus Cabral, Campus Centro Politécnico, Campus Jardim Botânico, Setor de Educação Profissional e Tecnológica (SEPT), Complexo Hospital de Clínicas, Setor de Ciência da Saúde, Maternidade Victor Ferreira do Amaral e Centro da Visão. A UFPR conta ainda com estruturas físicas instaladas em 5 outras cidades paranaenses: Matinhos, Pontal do Paraná, Palotina, Jandaia do Sul e Toledo (UFPR, 2019).

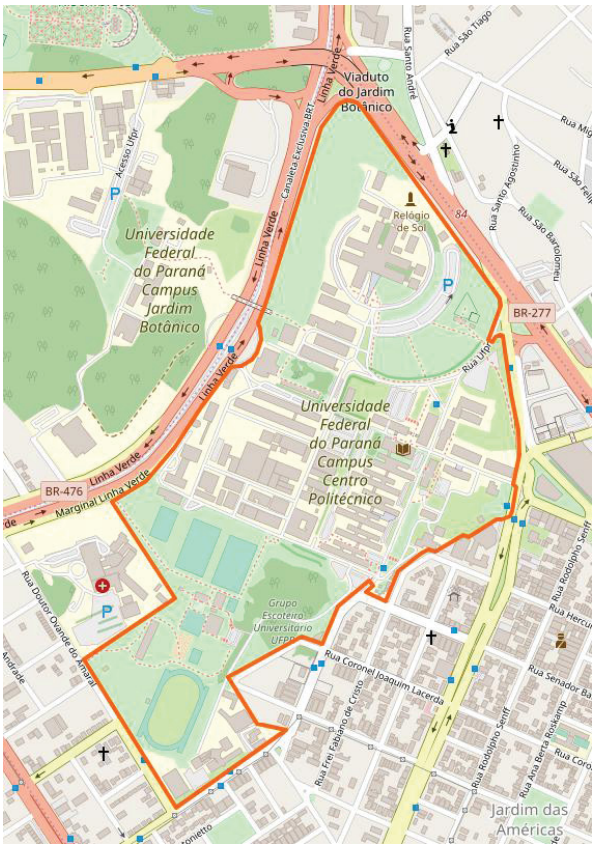
### 4.1.2 Campus Centro Politécnico

O campus Centro Politécnico abriga 4 setores da universidade: Ciências Biológicas, Ciências Exatas, Ciências da Terra e Tecnologia. Dentro do primeiro

setor estão os departamentos de Anatomia, Biologia Celular, Bioquímica, Botânica, Educação Física, Farmacologia, Fisiologia, Genética, Patologia Básica e Zoologia. Os departamentos de Desenho, Estatística, Física, Informática, Matemática e Química fazem parte do setor de Ciências Exatas. No setor de Ciências da Terra estão contemplados os departamentos de Geomática, Geografia, Geologia e Centros de Estudos do Mar. Os departamentos contemplados pelo setor de Tecnologia são: Arquitetura e Urbanismo, Construção Civil, Engenharia Ambiental, Engenharia de Bioprocessos e Tecnologia, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia Química, Hidráulica e Saneamento, e Transportes.

O campus fica localizado no Bairro Jardim das Américas e tem duas rodovias ao seu entorno: a Marginal Linha Verde (também conhecida como rodovia Régis Bittencourt - BR 116) e a BR 277. O local abriga 68 edificações e conta com uma área de 588.156,44 m² e 176.179,94 m² de área construída (UFPR, 2016). A FIGURA 24 apresenta uma vista aérea da área de estudo.

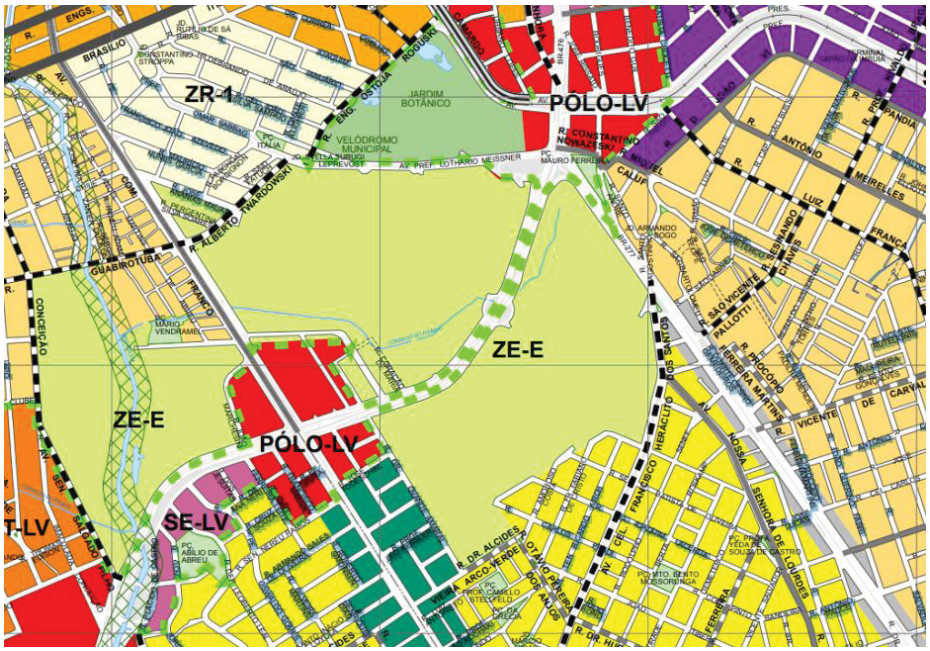
FIGURA 24 – VISTA AÉREA DO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO




FONTE: OpenStreetMap (2019).

De acordo com o Mapa de Zoneamento Consolidado de Curitiba, com base na Lei 9800/2000 e decretos 188/2000, 733/2001 e 992/2004, a área de estudo é classificada como Zona Especial Educacional (ZE-E) (FIGURA 25).

FIGURA 25 – MAPA DE ZONEAMENTO CONSOLIDADO DA ÁREA DE ESTUDO




FONTE: IPPUC (2015).

A Lei Municipal de Curitiba 10.625/02 estipula os limites máximos de ruído de acordo com as áreas demarcadas pelo município e, ainda, define como Zona de Silêncio “a faixa determinada pelo raio de 200,00 m (duzentos metros) de distância de hospitais, escolas, bibliotecas públicas, hotéis, postos de saúde ou similares”. Por isso, mesmo que a área de estudo pertença a uma Zona Especial Educacional, a classificação mais adequada seria a de Zona Sensível à Ruído ou Zona de Silêncio.

Segundo essa lei os níveis máximos de pressão sonora para Zona Educacional Especial são: 60 dB (A) para o período diurno (07h01min às 19h00min), 55 dB (A) para o período vespertino (19h01min às 22h00min) e 50 dB (A) para o período noturno (22h01min às 07h00min). Já para uma Zona Sensível à Ruído ou Zona de Silêncio os limites diurnos, vespertino e noturno são, respectivamente: 55 dB (A), 50 dB (A) e 45 dB (A).

## 4.2 COLETA DE DADOS EM CAMPO - MEDIÇÕES SONORAS

Os procedimentos descritos na NBR 10151:2019 e as recomendações das normas ISO 1996 partes 1 e 2 nortearam a realização das medições do nível de pressão equivalente, afim de garantir precisão e padronização dos dados.

A sequência metodológica sugerida por Bunn (2013) serviu como base para para o estudo do ruído ambiental da área de estudo:

1. Levantamento do local;
2. Reconhecimento das fontes de ruído existentes no local;
3. Realização de medições dos níveis de pressão sonora equivalente ($L_{eq}$);
4. Contagem manual do fluxo de veículos;
5. Análise dos resultados.

Os analisadores de nível de pressão sonora utilizados foram o B&K 2238 e B&K 2250, classificados como de terceira geração e de primeira classe. Os aparelhos de classe I atendem aos padrões da IEC (*International Eletrotechinical Commission*) e o ANSI (*American Standards Institute*) e a norma brasileira NBR 10151/19. Os equipamentos mencionados foram calibrados pelo B&K 4231 e configurados no modo de resposta *fast* e avaliação na curva de ponderação A, em uma faixa dinâmica de 30 a 110 dB. Os níveis sonoros foram medidos por meio dos indicadores de nível equivalente $LA_{eq}$, níveis máximo e mínimos, $LA_{max}$ e $LA_{min}$.

Como recomendado pela NBR 10151, os analisadores foram posicionados a uma distância mínima de 2 m de superfícies refletoras de som, como muros e edificações e a uma altura de 1,2 m do solo. As medições foram realizadas em dias com condições climáticas favoráveis, sem a presença de ventos ou chuva.

As medições sonoras foram realizadas entre os meses de agosto e novembro de 2019 e ocorreram sempre no período diurno, durante o horário de aula (09:00 – 11:00 h e 14:00 – 17:00 h), evitando-se os horários de entrada, saída e almoço, afim de caracterizar o campus de uma maneira geral durante o tempo de aula e não nos horários de pico.

Em relação ao intervalo de medição a NBR 10151 indica que a determinação do tempo de medição deve permitir a caracterização sonora do objeto de medição, incluindo as alterações sonoras no decorrer do procedimento e no ambiente

avaliado, mas não define exatamente valores padrões de tempo de medição. A literatura relata que medições de curta duração podem acelerar a coleta de dados com o risco de não gerar informações suficientes ao passo que medições longas são cansativas e a disponibilidade de tempo, recursos humanos e equipamentos limitam o procedimento e podem ainda resultar em respostas iguais às obtidas em medições com intervalos menores (FIEDLER, 2013).

Romeu *et al.* (2011) realizou um estudo em ruas com grande circulação de veículos com o objetivo de determinar tempos de medição sonora em que os erros fossem aceitáveis. Para tal, foram realizados experimentos com intervalos que variaram entre 10 minutos e 1 hora e como conclusão os autores indicaram o tempo de 15 minutos, pois com isso o erro encontrado foi de apenas ± 2 dB com uma cobertura populacional de 90%. Portanto, para os pontos que se encontram próximos ao entorno da área de estudo, os quais são caracterizados por um volume constante e intenso de tráfego de veículos, optou-se pelo tempo de 15 minutos (MURPHY e KING, 2011; SOARES, 2013; ZANNIN et. al., 2013a; SUÁREZ e BARROS, 2014; BRITO, 2017; VIEIRA, 2018, PAIVA; CARDOSO; ZANNIN, 2019).

Para os locais de medição internos ao campus, com o intuito de compreender se esse tempo de medição seria suficiente para a avaliação proposta do ruído ambiental, visto que não há um fluxo constante de veículos, em 10 pontos escolhidos estrategicamente foram realizadas medições de 15 minutos e 1 hora. Para tanto, os dois equipamentos anteriormente citados foram utilizados simultaneamente - o aparelho B&K 2238 para coletas com o tempo de 15 minutos enquanto que o B&K 2250 para medições acústicas de 1 hora.

A FIGURA 26 apresenta a localização exata dos pontos de medições realizadas até o presente momento. A quantidade de pontos foi determinada com o objetivo de dispor de um maior número de dados e informações sobre a área de estudo, bem como ter uma maior precisão na calibração dos mapas. A escolha da posição dos pontos foi realizada estrategicamente, de forma a abranger as rodovias e avenidas que circundam o campus, as ruas internas com maior volume de tráfego, áreas com maior circulação de alunos e funcionários, principalmente próximos às fachadas de prédios com salas de aula, bem como locais com características diferentes dessas e que, por isso, são considerados menos ruidosos. Os cruzamentos foram evitados visto que como os veículos estão em desaceleração, frenagem e aceleração, o ruído pode variar consideravelmente.

FIGURA 26 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO

FONTE: Google Earth (2019).

Os dados coletados com os analisadores sonoros foram transferidos, tratados e analisados nos softwares Noise Explorer 7815 e BZ-5503 Measurement Partner Suite, os quais processam os valores para os níveis sonoros equivalentes, os níveis sonoros estatísticos e os valores limites de máximo e mínimo, obtidos em cada ponto. A partir do processamento dos dados das medições, é possível realizar avaliações quanto ao comportamento do ruído ambiental na área, com base nas normas pertinentes.

Conjuntamente às medições foram realizadas contagem de veículos nos pontos próximos às ruas e rodovias. Dessa maneira, o levantamento dos dados relacionados ao tráfego foi realizado durante os 15 minutos de cada medição e foram listadas informações referentes à quantidade de veículos de acordo com a categoria (motocicletas, veículos leves, caminhões leves e caminhões pesados), tipo de pavimentação e velocidade média da via. Nessa etapa, para iniciar/finalizar as medições e simultaneamente realizar a contagem de veículos de acordo com cada categoria, foi necessária a contribuição de 2 ou 3 colaboradores, a depender da intensidade do fluxo em cada local de medição. Os operadores, posicionados em locais estratégicos para a contagem, anotavam os dados relevantes em planilhas previamente padronizadas para posteriormente compilar todas as informações necessárias ao estudo.

## 4.3 MAPEAMENTO DE RUÍDO

Os softwares de mapeamento acústico são ferramentas importantes de avaliação do impacto já que possibilitam o cálculo dos níveis sonoros a partir da inserção das características topográficas e dos dados de tráfego do local de estudo. Além disso, permitem a simulação de alterações de determinados parâmetros, o que possibilita a avaliação prévia do efeito de alternativas de controle do ruído passíveis de adoção.

Diante do progresso nos métodos computacionais da área, uma série de pacotes de software de mapeamento de ruído foi desenvolvida, na qual se destaca o *Predictor*. Esse programa determina os níveis sonoros em função de sua propagação desde a fonte geradora até uma distância pré-determinada, os quais são representados por um mapa em escala de cores graduada em relação aos níveis de ruído. A entrada de dados permite a simulação de um grande número de variáveis, dentre as quais, o cálculo de fenômenos de propagação, a adoção de fatores de correção (efeitos do solo e áreas de atenuação) e as características de tráfego de uma via.

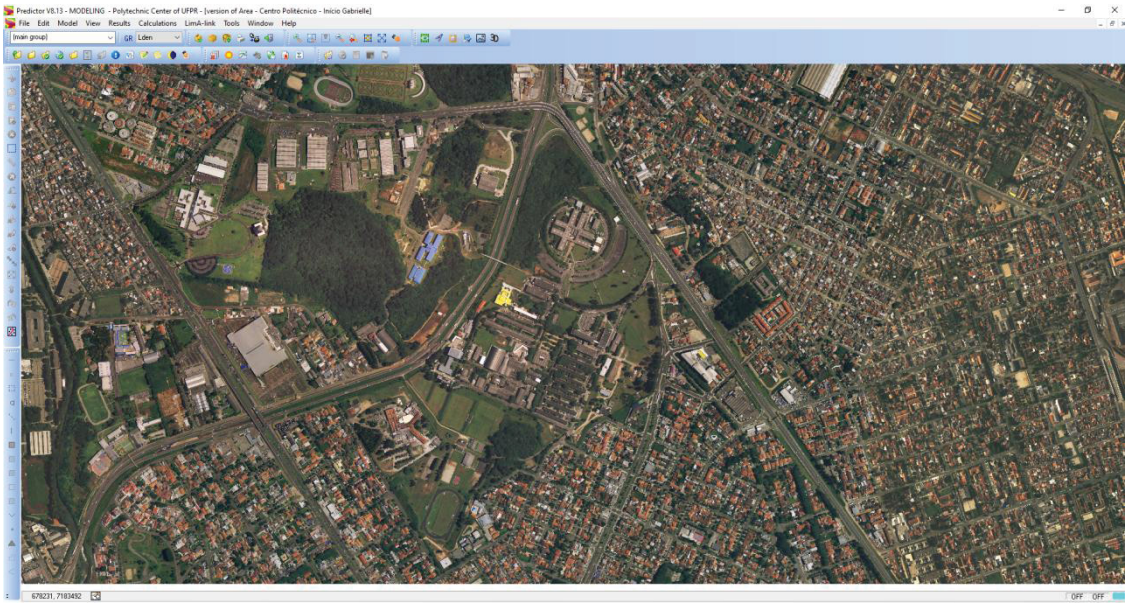
Para a construção dos mapas, a versão 8.13 do software *Predictor* foi utilizada e foram seguidos padrões adotados em trabalhos anteriores realizados pelo grupo do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) na UFPR (ZANNIN et al., 2011; ENGEL, 2012; FIEDLER, 2013; ZANNIN et al.,

2013b; ANSAY, 2013; SOARES, 2013; ZANNIN; BUNN, 2014; FIEDLER; ZANNIN, 2015a; VIEIRA, 2018). Tais padrões adotados são compatíveis com os encontrados em pesquisas na literatura (PINTO e MARDONES, 2009; GUEDES et. al., 2011; MERCHAN; DIAZ-BALTEIRO, 2013; SUÁREZ e BARROS, 2014; FILHO et al., 2015; MANWAR et al., 2017; PAIVA, CARDOSO; ZANNIN, 2019).

### 4.3.1 Montagem do modelo – Inserção de parâmetros

Para a construção de um mapa de ruído é necessário a disponibilização de informações sobre parâmetros físicos, geométricos, de tráfego e acústicos. Para o levantamento de dados cartográficos, a topografia do local (curvas de nível de 5 em 5 metros), foi obtida através da base de dados do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC, disponível em seu site. As ortofotocartas (imagens fotográficas georreferenciadas corrigidas de deformações existentes nas fotografias aéreas) por não se encontrarem acessíveis diretamente para serem descarregadas no site do IPPUC, foram solicitadas e disponibilizadas por e-mail os arquivos mais recentes do bairro Jardim das Américas. A FIGURA 27 ilustra a interface de inserção dos dados cartográficos no software.

FIGURA 27 – INTERFACE DO PROGRAMA COM INSERÇÃO DE DADOS CARTOGRÁFICOS



FONTE: A autora (2019).

O cálculo realizado pelo software exige a inserção das edificações da área de estudo com suas características altimétricas, já que as construções além de absorverem o som, ajudam na reflexão e alteram de sua propagação no meio. Como essas informações não são disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC, a digitalização é realizada de forma manual através das ortofotocartas como plano de fundo e da observação presencial bem como da visualização das imagens disponíveis no Google Earth. Vista a diversidade nas características altimétricas das edificações, a partir da hipótese que um pavimento compreenda 3 metros de altura, foi adotada uma padronização de acordo com o número de pavimentos para cada edificação. A representação gráfica das edificações no software é apresentada na FIGURA 28.

FIGURA 28 – VISUALIZAÇÃO 3D DA DIGITALIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

FONTE: A autora (2019).

Em relação às informações do tráfego, no momento das medições observaram-se as condições das pistas para que pudesse ser feita a escolha correta do pavimento no software. No caso de vias com duas pistas ou mais onde há tráfego em apenas um ou nos dois sentidos, a caracterização se dá apenas por uma linha como fonte de emissão. Já para vias separadas por canteiros centrais, uma linha de emissão foi adotada para cada via. Os dados inseridos em cada linha de emissão são: o fluxo de tráfego por hora de cada categoria de veículo – obtido pela contagem prévia realizada no momento das medições (multiplicou-se o valor por 4 visto que o

tempo de medição foi de 15 minutos); o tipo de pavimento e a velocidade média de cada categoria de veículos – a qual foi tomada como a velocidade máxima permitida para os veículos leves e motocicletas e para as outras duas categorias considerou-se 10 km/h abaixo da máxima permitida.

Ainda, são adicionadas informações sobre a vegetação presente no local, de acordo com a área compreendida e altura média das árvores, elementos levantados da mesma maneira realizada para edificações (observação presencial e verificação pelo Google Earth). No tocante às questões meteorológicas, não foi necessária a utilização de fatores de correção para atenuação atmosférica, pois as medições ocorreram em boas condições climáticas (sem vento forte e sem chuva).

### 4.3.2 Calibração do modelo

A etapa de calibração dos modelos é de extrema importância, pois é a partir dela que os dados calculados pelo software podem ser validados com a situação real da área de estudo. Em uma primeira fase é realizada uma checagem geral do modelo, na qual o software acusa a existência de falhas ou incoerências nos níveis de cota (topografia), nas características altimétricas das edificações ou nas linhas de emissão.

Após essa validação, é realizado o confrontamento entre os valores simulados e os medidos. Essa conferência é feita através da inserção de pontos receptores no modelo, nos pontos exatos onde foram realizadas as medições em campo. Notada a importância desse elemento para o estudo, são efetuados ajustes que permitam a mais precisa compatibilidade do modelo com a situação real.

Pinto et. al. (2004) e Simón et al. (2008) defendem em suas pesquisas que a diferença máxima entre os dados medidos in loco e os valores simulados deve ser de ± 2dB (A). Esse valor corresponde ao que foi estabelecido por Guedes e Leite (2011) em estudo realizado para a Agência Portuguesa do Ambiente, o qual afirma que diferenças de ± 2dB (A) entre valores simulados e medidos atendem aos limites aceitáveis.

No entanto, segundo a WG3 (2001) existe uma estreita relação entre a precisão do método de cálculo, a distância e as características do local. Para áreas de até 2000 m², com um relevo acidentado, a diferença entre os valores calculado

pela simulação e os valores medidos não deve ultrapassar ± 3 dB(A) e para áreas urbanas essa diferença é aumentada para 4 dB(A).

Licitra e Memoli (2008) afirmam que, de acordo com o *European Commision Working Group – Assesment of Exposure to Noise*, a diferença entre o nível de pressão sonora equivalente $L_{eq}$ calculado e medido não deve ultrapassar 4,6 dB (A), com 95% de confiança. Para Silva (2010), a diferença entre os valores calculados e medidos não deve ultrapassar o limite de ± 4 dB (A). Mendonça et. al. (2013) considera que, como o Brasil ainda carece de informações e pesquisas relacionadas ao assunto, essa diferença de ± 4 dB (A) é aceitável para áreas urbanas.

Licitra (2019) esclarece que uma diferença aceitável entre os dados medidos e simulados depende do alvo do estudo. De acordo com o autor, se a intenção é mostrar os níveis ao cidadão e entender o cenário geral, um valor entre 3 e 4 dB (A) é suficiente, valores mais baixos (2 a 3 dB (A)) são sugeridos para avaliar um plano de ação.*

A partir disso, os valores simulados são comparados com os valores reais medidos e é realizada uma análise de correspondência entre os mesmos. Nesse caso, vista a dificuldade de encontrar uma padronização oficial em relação ao assunto, principalmente em pesquisas realizadas no Brasil, a diferença de ± 4 dB (A) pode ser adotada como limite de confiabilidade para áreas urbanas.

### 4.3.3 Cálculo do modelo

Para cada combinação de ponto fonte-receptor, o software faz cruzamentos para o caminho de som direto, bem como todos os possíveis caminhos sonoros de reflexão em objetos, tais como edifícios ou barreiras. São determinadas as distâncias e alturas dos itens (edificações, vegetação etc.), além dos desvios verticais e horizontais, os quais servem de base para o cálculo da atenuação e das correções necessárias (BRUEL & KJAER, 2010).

A delimitação da área de cálculo é uma parte imprescindível para a realização dos cálculos e obtenção dos mapas acústicos. O software gera uma malha de pontos receptores (*grid noise map*) usada como base para apresentação das isolinhas (contornos) dos níveis de pressão sonora simulados.

* Comunicação pessoal de Gaetano Licitra, em 02 de setembro de 2019, recebida por correio eletrônico.

A distância entre os pontos é definida pelo usuário e depende do objetivo de estudo. Quanto menor adistância entre os nós maior será a quantidade de pontos em uma mesma área, posto que a malha é bidimensional, ao se diminuir o tamanho da malha pela metade, a quantidade de pontos aumenta ao quadrado.

Guedes e Leite (2007) recomendam que bairros e regiões inteiras de uma cidade utilizem malhas na ordem de 100 m a 200 m; fábricas, parques e conjuntos residenciais empreguem malhas na média de 20 m a 50 m e mapas estratégicos de aglomerações urbanas não devem apresentar uma malha superior a 10 x10 m. Outro fator determinante na escolha do *grid* é o tempo de cálculo e tamanho dos arquivos, dessa forma, ao passo que malhas na faixa de 15 x 15 m e 20 x 20 m geram aproximações aceitáveis, com a vantagem de maior rapidez de processamento e arquivos mais leves, há a perda de detalhes dos resultados em algumas zonas mais densamente ocupadas.

Diante dessas informações, para esse trabalho foram testados diferentes tamanhos de malha, como forma de entender as diferenças e características dessas possibilidades. Para a execução de mapas acústicos, outro parâmetro a ser empregado é a altura, para a qual foi respeitada o valor de 4 m, com objetivo de seguir a recomendação da *Environmental Noise Directive* (2002/49/EC) e com eficácia comprovada em diversos estudos (ZANNIN et al., 2013b; SOARES, 2013; ZANNIN; BUNN, 2014; FIEDLER; ZANNIN, 2015a; FIEDLER; ZANNIN, 2015b; BUNN; ZANNIN, 2016; PAIVA; CARDOSO; ZANNIN, 2019; ZANNIN; VALLE; NASCIMENTO, 2019).

Após a realização das etapas anteriormente explicadas, tem-se como resultado o mapa dos níveis de ruído com a escala de cores relacionada aos níveis sonoros. A partir dessa ferramenta é possível constatar os níveis de ruído em qualquer ponto da área definida, através de uma leitura fácil, rápida e direta, o que colabora para a melhor visualização e entendimento da intensidade, distribuição e propagação do ruído.

## 4.4 AVALIAÇÃO SUBJETIVA

No que tange à análise subjetiva dessa pesquisa, apresenta-se um estudo sobre a percepção sonora através de questionários aplicados aos usuários da área

de estudo, dentre os quais estão contemplados alunos, professores e servidores da instituição. Para tal, tomou-se como base o método elaborado por Engel (2013):

1. Definição do método da elaboração e aplicação das entrevistas;
2. Delimitação dos locais de coleta de dados;
3. Obtenção de dados sobre a população;
4. Cálculo do tamanho da amostra;
5. Elaboração dos questionários de percepção sonora;
6. Aplicação os questionários;
7. Tabulação dos dados do questionário;
8. Levantamento de dados estatísticos;
9. Interpretação dos resultados.

### 4.4.1 População e amostra

Os dados mais recentes sobre a população do Centro Politécnico encontrados e utilizados para essa pesquisa estão disponibilizados no Relatório de Atividades da UFPR do ano de 2016. Esta publicação é um relato completo dos dados relativos às atividades da universidade e serve para que toda a sociedade, em especial a comunidade acadêmica, tenha conhecimento do alcance das atividades e relevância dos resultados apresentados pela instituição. A TABELA 3 apresenta os valores expostos no relatório, os quais foram selecionados para o presente estudo de acordo com a classificação por setores do campus e funções dos usuários.

TABELA 3 – DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO DO CENTRO POLITÉCNICO POR SETOR

| | **Ciências Biológicas** | **Ciências da Terra** | **Ciências Exatas** | **Tecnologia** | **Total** |
|---|---|---|---|---|---|
| Alunos | 2863 | 1832 | 3064 | 5768 | 13527 |
| Professores | 256 | 127 | 236 | 272 | 891 |
| Servidores | 369 | 192 | 332 | 378 | 1271 |
| Total | 3488 | 2151 | 3632 | 6418 | 15689 |

FONTE: UFPR (2016).

Uma etapa importante antes da definição da amostra é a determinação do erro amostral, o qual que é a diferença entre a estimativa da amostra e o verdadeiro

resultado populacional. O erro amostral tolerável é a margem de erro aceitável em um estudo estatístico (BARBETTA, 2002). Para essa pesquisa, optou-se por um erro amostral de 5%, o que assegura uma boa confiabilidade e permite uma amostra viável de ser entrevistada.

Para o cálculo da amostra participante da pesquisa sobre a percepção do ruído nas dependências do Centro Politécnico da UFPR, as Eq. (13) e (14) apresentam fórmulas simples que levam em conta o tamanho da população e o erro amostral tolerável (BARBETTA, 2002).

$$n_0 = \frac{1}{E_0^2} \tag{13}$$

$$n = \frac{N.n_0}{N + n_0} \tag{14}$$

Onde:

$n_0 =$ primeira aproximação do tamanho da amostra;
$E_0 =$ erro amostral tolerável;
$N =$ tamanho da população;
$n =$ tamanho da amostra.

Ainda, com o objetivo de corroborar com o estudo a partir de pesquisas já realizadas sobre o tema no local de estudo, a amostra mínima foi estimada com base nas informações de um trabalho similar realizada no local, em 2013. O estudo teve como resultado uma porcentagem de 47% de usuários que responderam se sentir incomodados com o ruído do campus (ZANNIN ET AL., 2013b). Portanto, através da Eq. (15), apresentada por Cochran (1977), calculou-se o tamanho da amostra a partir da proporção esperada de pessoas incomodadas pelo ruído.

$$n = \frac{p.q.z^2.N}{E_0^2(N+1) + z^2.p.q} \tag{15}$$

Onde:

$p =$ proporção esperada de indivíduos incomodados pelo ruído;

$q =$ 1 – p;

$E_0 =$ erro amostral tolerável;

$z =$ 1,96 (percentil da distribuição normal);

N= tamanho da população;

$n =$ tamanho da amostra.

A partir da aplicação dos dados levantados (população da área de estudo) e adotado (erro amostral), o tamanho de amostra para o primeiro método de cálculo foi de 390 participantes. Já para o critério que levou em conta dados anteriores sobre a percepção sonora, a equação resultou em um valor de 383 indivíduos. A diferença entre os resultados foi baixa e optou-se pelo maior valor como amostra mínima de participantes.

### 4.4.2 Questionários e entrevistas

Para este estudo, foram realizadas entrevistas através de questionários sobre percepção sonora. O questionário utilizado para o presente estudo foi elaborado pela autora da pesquisa com base em questões desenvolvidas em um estudo anterior de Zannin et. al. (2013b). Dentre as questões englobadas, estão: características gerais do usuário (idade, sexo, função e setor), informações relacionadas à permanência no local (área que mais frequenta, período de permanência e tempo há que frequenta o mesmo) e opiniões sobre a percepção e incômodo do ruído (grau de incômodo quanto às fontes de ruído, locais com maior intensidade sonora e sintomas relacionados ao ruído do campus).

Um formulário prévio foi preparado e a partir disso realizou-se um estudo piloto na área no mês de agosto de 2019. O objetivo do estudo piloto foi a avaliação do questionário e do método de entrevistas a ser empregado e determinar o seu aprimoramento, principalmente no que se refere a:

a) Teste da clareza e aplicabilidade das questões, buscando o aperfeiçoamento do questionário;
b) Receptividade dos entrevistados;

c) Tempo médio de abordagem de indivíduos e duração das entrevistas e consequentemente número de amostras coletadas durante um período determinado.

A partir desse estudo, algumas perguntas foram reescritas e as opções de resposta reformuladas. Um exemplo importante é o item sobre as fontes de ruído: no primeiro documento elaborado questionava-se qual era a fonte de ruído que mais causava incômodo. Após a realização do estudo piloto, percebeu-se que citar as fontes de ruído existentes no campus e apresentar uma resposta com mensuração em escala permitiu um maior entendimento sobre a percepção do usuário bem como uma segregação entre as fontes.

O questionário aplicado contém perguntas de múltipla escolha e de mensuração em escala, nas quais são atribuídas notas para alguns itens, o que caracteriza uma entrevista estruturada. Um modelo do questionário aplicado neste estudo pode ser visualizado no Apêndice 1. A aplicação dos questionários se deu entre os meses de setembro e novembro de 2019, com o intuito de manter consistência entre as medições e as entrevistas.

O sistema de entrevistas utilizado na área de estudo é pessoal e individual, realizado somente pela autora da pesquisa. Para o critério de seleção, o único questionamento é se o indivíduo frequenta o campus habitualmente ou está no local casualmente. Na abordagem, os respondentes são informados que se trata de uma pesquisa de mestrado de uma aluna da universidade, sobre o propósito do estudo e a rápida duração de tempo da entrevista (cerca de 5 minutos). As perguntas são feitas verbalmente para o entrevistado e transcritas ou assinaladas pela pesquisadora, sem interferência de sua interpretação, com o objetivo de manter a neutralidade da mesma. A principal razão de tomar essa cautela é a necessidade de comparação com o mesmo conjunto de perguntas, onde as diferenças refletem a diversidade entre os respondentes e não as diferenças na maneira de efetuar as perguntas (SARANTAKOS, 2005).

### 4.4.3 Tabulação dos dados e análise estatística

Os dados coletados com a aplicação do questionário foram tabulados no software *SPSS Statistics v. 17.0*, o qual possibilita o cálculo de dados estatísticos

resultantes da avaliação subjetiva da pesquisa. A análise dos resultados das entrevistas foi do tipo descritiva, na qual foram calculados e avaliados índices estatísticos, como: frequências absolutas e relativas, medidas de tendência central (moda, média e mediana), medidas de dispersão (desvio-padrão) e medidas de associação (coeficientes de correlação). Foi realizado um confrontamento, também descritivo, entre os dados objetivos (medições e mapas de ruído) e subjetivos (resultados das entrevistas).

## 4.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

No presente trabalho são admitas limitações no que se refere a:

a) Medições: em relação aos dias de medição, a escolha pode variar de acordo com o objetivo da pesquisa e do tipo de ruído ambiental avaliado. O ideal é que sempre sejam realizadas nos mesmos dias e nos mesmos horários, porém a disponibilidade de tempo, recursos humanos, equipamentos e de condições meteorológicas limitam essa escolha (SOARES, 2013). Por isso, buscou-se respeitar horários e dias definidos a fim de classificar, de uma maneira geral, o ruído do campus no período diurno de aulas durante os dias de semana. Diante disso, os resultados obtidos não devem ser generalizados para finais de semana e outras faixas de horário.

b) Entrevistas: a utilização de questionários acarreta em limitações em relação a fatos ocorridos anteriormente, como por exemplo, não considera efeitos de adaptação das pessoas ao ambiente de estudo e desconhece as condições da saúde auditiva e psicológica dos entrevistados. Outro fator ainda, é que não há controle sobre a fidedignidade das respostas, visto que por diversos fatores, o entrevistado pode ou não responder as questões de forma genuína de acordo com sua percepção (SZEREMETA, 2010).

# 5 RESULTADOS

Alinhada à maneira como foram subdivididos os métodos para a realização deste estudo, a apresentação dos resultados foi subdividida em: valores das medições, resultados do mapeamento sonoro e análise dos dados subjetivos.

## 5.1 MEDIÇÕES SONORAS

A realização das medições sonoras é de extrema importância para o estudo, já que além de caracterizarem o ambiente sonoro, servem de base para a calibração do modelo de mapeamento sonoro. Como o presente trabalho conta com uma quantidade relativamente grande de pontos de medição, o tempo de medição é uma questão a ser analisada, já que envolve diversos aspectos, tais quais insumos (baterias), mão de obra (disponibilidade de pessoas para ajudar), equipamentos (softwares e medidores sonoros) e as condições climáticas. Diante disso, em 10 pontos foi realizada a comparação entre as medições de 15 minutos e de 1 hora, apresentada na TABELA 4.

TABELA 4 – COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS EM 15 MINUTOS E 1 HORA

| **Ponto de medição** | **$L_{eq}$ [dB (A)] 15 min** | **$L_{eq}$ [dB (A)] 1 h** | **Diferença entre os $L_{eq}$ de 15 min e 1h [dB (A)]** |
|---|---|---|---|
| P03 | 58,1 | 56,4 | 1,7 |
| P04 | 51,6 | 51,5 | 0,1 |
| P06 | 54,8 | 54,4 | 0,4 |
| P11 | 59,8 | 57,9 | 1,9 |
| P12 | 62,3 | 64,1 | -1,8 |
| P13 | 60,3 | 62,3 | -2 |
| P14 | 63,8 | 65,8 | -2 |
| P15 | 54,4 | 53,8 | 0,6 |
| P16 | 58,1 | 58,4 | -0,3 |
| P17 | 58,4 | 59,2 | -0,8 |

FONTE: A autora (2019).

Além da diferença aritmética entre os dois valores de medição, através da Eq. (9) foram calculados a média logarítmica de cada ponto e a diferença entre esse valor e a medição de 15 minutos, já que essa é a mais viável para se realizar nesse trabalho. Esses dados são mostrados na TABELA 5.

TABELA 5 – MÉDIA LOGARÍTMICA E DIFERENÇA ENTRE MÉDIA E NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE 15 MINUTOS

| **Ponto de medição** | **$L_{eq,T}$ [dB (A)] 15 min** | **Diferença entre $L_{eq}$ de 15 min e $L_{eq,T}$ [dB (A)]** |
|---|---|---|
| P03 | 57,3 | 0,77 |
| P04 | 51,6 | 0,05 |
| P06 | 54,6 | 0,20 |
| P11 | 59,0 | 0,85 |
| P12 | 63,3 | -0,99 |
| P13 | 61,4 | -1,11 |
| P14 | 64,9 | -1,11 |
| P15 | 54,1 | 0,29 |
| P16 | 58,3 | -0,15 |
| P17 | 58,8 | -0,42 |

FONTE: A autora (2019).

Observa-se uma diferença relativamente pequena entre os valores, o que respeita os limites encontrados por Romeu et. al. (2011). Dessa forma, define-se que para todos os pontos, mesmo aqueles em que não há um fluxo constante de veículos, as medições de 15 minutos são suficientes para caracterizar o ruído ambiental.

A TABELA 6 mostra os 60 pontos medidos alinhados aos seus respectivos níveis de pressão sonora equivalentes, com a variação mínima e máxima em cada um destes pontos de medição.

TABELA 6 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS

| **Ponto de medição** | **$L_{eq}$ [dB (A)]** | **$L_{MAX}$ [dB (A)]** | **$L_{MIN}$ [dB (A)]** |
|---|---|---|---|
| P01 | 69,3 | 83,3 | 61 |
| P02 | 71,2 | 90,4 | 59,1 |
| P03 | 58,1 | 74,9 | 44,1 |
| P04 | 51,6 | 72,2 | 41 |
| P05 | 58,2 | 76,2 | 42,4 |
| P06 | 54,8 | 66,3 | 46,1 |
| P07 | 75,2 | 92,9 | 65,5 |
| P08 | 71,9 | 88,1 | 55,7 |
| P09 | 70,6 | 86,5 | 51 |
| P10 | 66,4 | 83,5 | 47,5 |
| P11 | 59,8 | 73,8 | 50,7 |
| P12 | 62,3 | 49,5 | 52,3 |
| P13 | 60,3 | 88,5 | 47 |
| P14 | 63,6 | 84,7 | 54,1 |

| Ponto de medição | $L_{eq}$ [dB (A)] | $L_{MAX}$ [dB (A)] | $L_{MIN}$ [dB (A)] |
|---|---|---|---|
| P15 | 54,4 | 69,6 | 48,9 |
| P16 | 58,1 | 75 | 51,3 |
| P17 | 58,4 | 77,6 | 53,8 |
| P18 | 62,3 | 77,1 | 52,8 |
| P19 | 62,7 | 84 | 53,8 |
| P20 | 54,9 | 69,8 | 45,1 |
| P21 | 63,5 | 81,6 | 44,6 |
| P22 | 67,9 | 93,2 | 44,4 |
| P23 | 60,2 | 93,2 | 44,4 |
| P24 | 71,8 | 87,3 | 57,4 |
| P25 | 77,5 | 102 | 58 |
| P26 | 66,6 | 93,6 | 45,3 |
| P27 | 64,9 | 88,8 | 45,3 |
| P28 | 61,7 | 85 | 79,8 |
| P29 | 62,9 | 86,3 | 43,2 |
| P30 | 65,7 | 85,4 | 49,7 |
| P31 | 58,6 | 75,4 | 43,2 |
| P32 | 58,1 | 78,1 | 45,2 |
| P33 | 56,9 | 76,6 | 45,6 |
| P34 | 61,2 | 82,9 | 46,8 |
| P35 | 60,9 | 79,2 | 47,1 |
| P36 | 53,2 | 72,8 | 45,5 |
| P37 | 56,7 | 74,3 | 43,3 |
| P38 | 74,9 | 89,1 | 66,7 |
| P39 | 74,8 | 87,6 | 59,6 |
| P40 | 78 | 105,1 | 60,5 |
| P41 | 80,9 | 101,4 | 64,2 |
| P42 | 55,7 | 75,1 | 47,8 |
| P43 | 56,6 | 78,6 | 51,4 |
| P44 | 55,4 | 71 | 44 |
| P45 | 57,1 | 75,1 | 46,6 |
| P46 | 64,9 | 78,6 | 48 |
| P47 | 59,9 | 74,4 | 47,8 |
| P48 | 53,3 | 68,1 | 42 |
| P49 | 55 | 77,4 | 39 |
| P50 | 58,7 | 71,9 | 50,9 |
| P51 | 60,5 | 82,3 | 47,7 |
| P52 | 56,8 | 70,3 | 53,4 |
| P53 | 62,8 | 84,3 | 46,9 |
| P54 | 58,9 | 74,3 | 44,9 |
| P55 | 57,7 | 69,5 | 51,6 |
| P56 | 65 | 85,2 | 50,6 |
| P57 | 59,5 | 75,1 | 52,3 |

| Ponto de medição | $L_{eq}$ [dB (A)] | $L_{MAX}$ [dB (A)] | $L_{MIN}$ [dB (A)] |
|---|---|---|---|
| P58 | 59,9 | 71,9 | 51,3 |
| P59 | 57,7 | 79 | 45,3 |
| P60 | 55,6 | 82,7 | 42,5 |

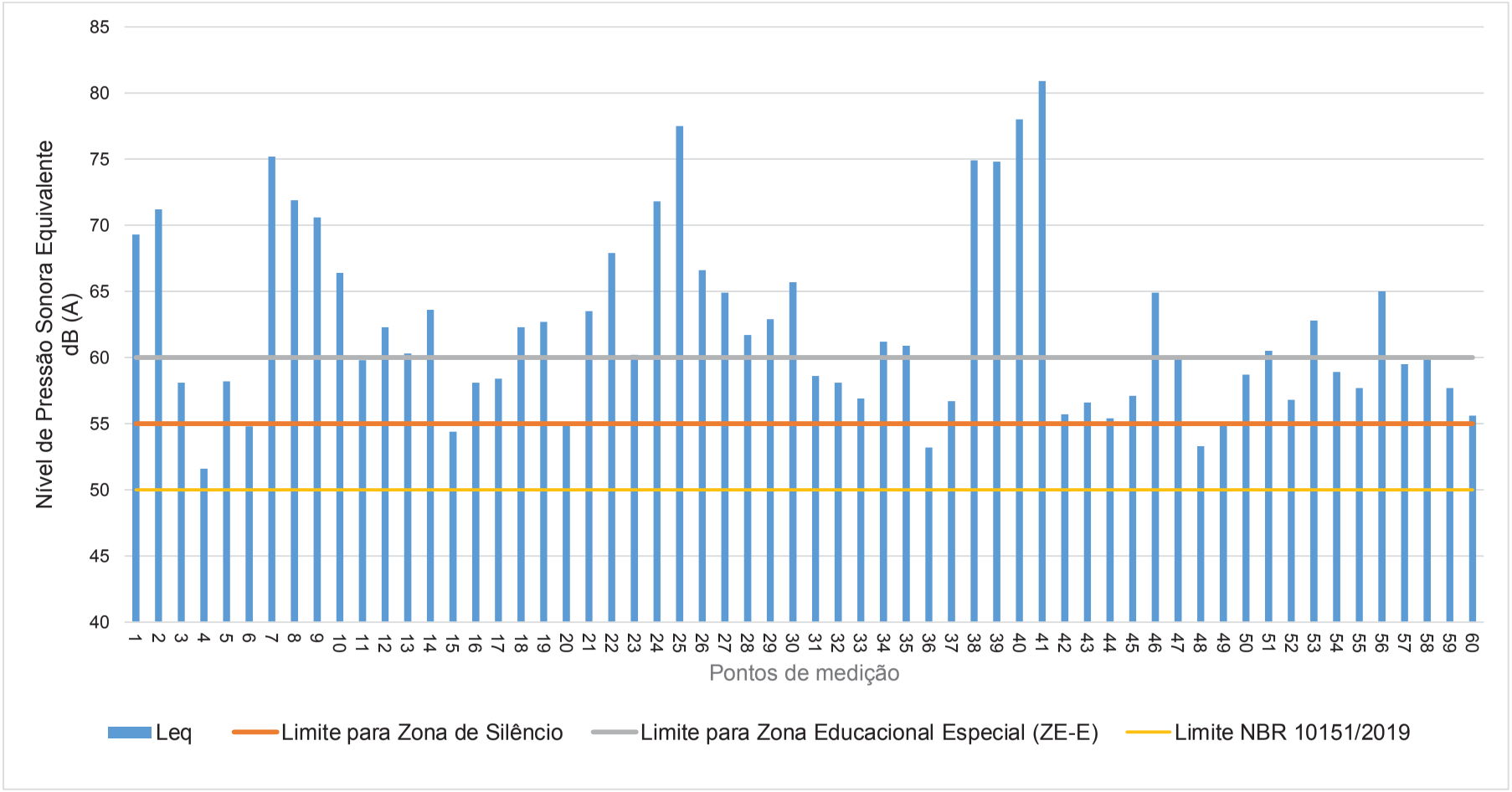
FONTE: A autora (2019).

O GRÁFICO 1 apresenta o nível de pressão sonora equivalente ($L_{eq}$) obtido em cada um dos 60 pontos medidos no campus. O gráfico é cortado por três linhas horizontais: o valor de 50 dB (A) definido pela NBR 10151 para áreas urbanas com escolas e hospitais; de acordo com os limites estabelecidos pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002: em 60 dB (A) que é o limite máximo segundo a legislação municipal para a região em que o campus universitário se encontra, Zona Educacional Especial (ZE-E), bem como no valor de 55 dB(A), o qual é definido para Zona de Silêncio, classificação mais adequada para a área e, ainda, .

A análise a partir da consideração do limite de 60 dB (A) já aponta para uma situação crítica, pois 31 pontos se encontram acima desse valor, o que corrobora com o estudo de Vieira (2018), no qual aproximadamente apenas 50% dos pontos medidos respeitaram o limite da Zona Educacional Especial. A avaliação baseada na classificação de Zona de Silêncio confirma a situação de poluição sonora, já que apenas 7 pontos estão abaixo do limite determinado. Esse número vai ao encontro dos resultados obtidos pela pesquisa Zannin et. al. (2013b), a qual conclui que dos 58 pontos medidos somente 6 estão abaixo do limite de 55 dB (A). A avaliação com base na NBR 10151 indicou o pior cenário, pois o limite foi superado em todos os pontos medidos. Esses resultados obtidos corroboram com os valores encontrados nos trabalhos de Paz e Zannin (2012) e Soares et. al. (2014), nos quais em todos os pontos, os níveis de pressão sonora equivalente encontravam-se em não conformidade com o estipulado pela norma.

Os pontos que tiveram os maiores valores de $LA_{eq}$ foram os que estavam localizados nas vias de grande movimento ao entorno do campus. Os níveis de pressão sonora medidos na BR 277, na Avenida Coronel Francisco Heráclito dos Santos e na Linha Verde são similares aos apontados por Soares (2014) e, em sua maioria, desrespeitam até o limite de 70 dB (A), estipulado para Zonas Industriais, o qual representa o máximo valor definido pela Lei Municipal 10.625.

GRÁFICO 1 - COMPARAÇÃO DOS VALORES MEDIDOS *IN SITU* E LIMITES PERMITIDOS POR LEI




FONTE: A autora (2019).

## 5.2 MAPEAMENTO ACÚSTICO

Os mapas sonoros poderem ser elaborados pontualmente, como forma de verificar a contribuição de cada fonte para o ambiente ou através um conjunto de pontos para identificar e analisar a paisagem sonora da área. A primeira maneira fornece também a calibração do modelo estudado.

### 5.2.1 Calibração do modelo

A TABELA 7 apresenta os resultados obtidos para a calibração do modelo de cálculo. A validação foi feita através de ajustes no modelo a fim de deixar a simulação computacional o mais próximo da medição real, para que dessa forma o cálculo de propagação de ruído do mapa esteja de acordo com os valores medidos *in situ*. Para essa etapa, são introduzidos no modelo pontos receptores à mesma altura e posição daqueles que foram medidos no local. A partir dos ajustes necessários realizados, o modelo é considerado calibrado quando a diferença entre os valores medidos e simulados não ultrapassa ± 4 dB (A).

TABELA 7 – DIFERENÇA ENTRE MEDIÇÃO *IN SITU* E NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO

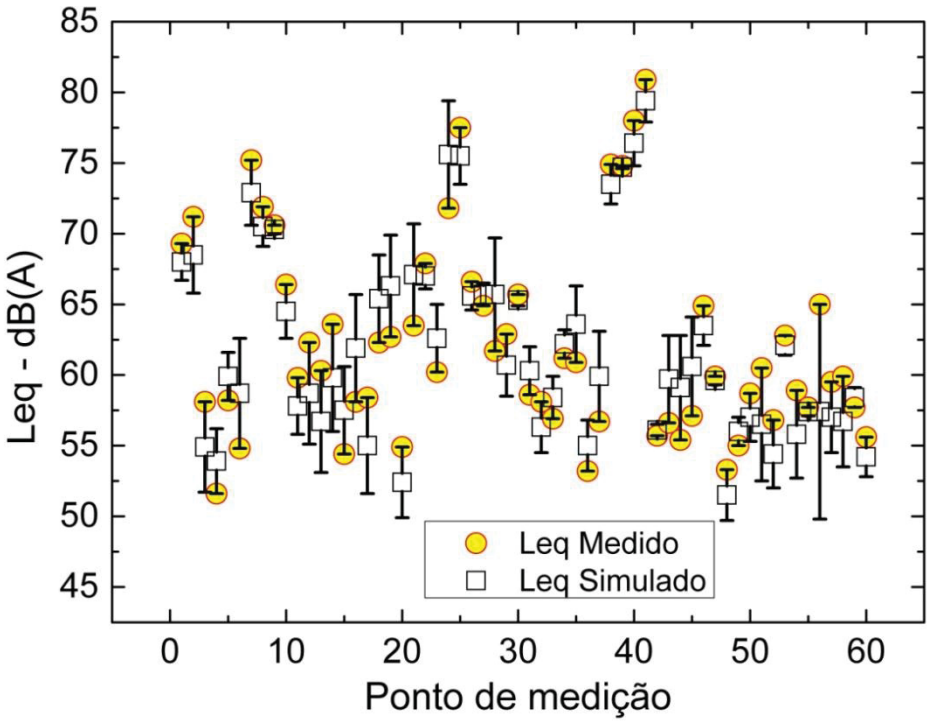
| **Ponto** | **$L_{eq}$ Medido [dB (A)]** | **$L_{eq}$ Simulado [dB (A)]** | **Diferença [dB (A)]** |
|---|---|---|---|
| P01 | 69,3 | 67,9 | 1,4 |
| P02 | 71,2 | 68,5 | 2,7 |
| P03 | 58,1 | 55 | 3,1 |
| P04 | 51,6 | 53,9 | -2,3 |
| P05 | 58,2 | 59,9 | -1,7 |
| P06 | 54,8 | 58,7 | -3,9 |
| P07 | 75,2 | 72,9 | 2,3 |
| P08 | 71,9 | 70,5 | 1,4 |
| P09 | 70,6 | 70,3 | 0,3 |
| P10 | 66,4 | 64,5 | 1,9 |
| P11 | 59,8 | 57,8 | 2 |
| P12 | 62,3 | 58,5 | 3,8 |
| P13 | 60,3 | 56,7 | 3,6 |
| P14 | 63,6 | 59,7 | 3,9 |
| P15 | 54,4 | 58,2 | -3,8 |
| P16 | 58,1 | 61,9 | -3,8 |
| P17 | 58,4 | 54,7 | 3,7 |
| P18 | 62,3 | 65,3 | -3 |
| P19 | 62,7 | 66,2 | -3,5 |
| P20 | 54,9 | 52,4 | 2,5 |

| Ponto | $L_{eq}$ Medido [dB (A)] | $L_{eq}$ Simulado [dB (A)] | Diferença [dB (A)] |
|---|---|---|---|
| P21 | 63,5 | 67,1 | -3,6 |
| P22 | 67,9 | 67 | 0,9 |
| P23 | 60,2 | 62,6 | -2,4 |
| P24 | 71,8 | 75,6 | -3,8 |
| P25 | 77,5 | 75,5 | 2 |
| P26 | 66,6 | 65,6 | 1 |
| P27 | 64,9 | 65,7 | -0,8 |
| P28 | 61,7 | 65,6 | -3,9 |
| P29 | 62,9 | 60,7 | 2,2 |
| P30 | 65,7 | 65,3 | 0,4 |
| P31 | 58,6 | 60,3 | -1,7 |
| P32 | 58,1 | 56,4 | 1,7 |
| P33 | 56,9 | 57,7 | -0,8 |
| P34 | 61,2 | 61,3 | -0,1 |
| P35 | 60,9 | 63,5 | -2,6 |
| P36 | 53,2 | 55 | -1,8 |
| P37 | 56,7 | 59,9 | -3,2 |
| P38 | 74,9 | 73,6 | 1,3 |
| P39 | 74,8 | 74,7 | 0,1 |
| P40 | 78 | 76,4 | 1,6 |
| P41 | 80,9 | 79,4 | 1,5 |
| P42 | 55,7 | 56,9 | -1,2 |
| P43 | 56,6 | 53,7 | 2,9 |
| P44 | 55,4 | 59,1 | -3,7 |
| P45 | 57,1 | 60,5 | -3,4 |
| P46 | 64,9 | 62,4 | 2,5 |
| P47 | 59,9 | 60,8 | -0,9 |
| P48 | 53,3 | 51,5 | 1,8 |
| P49 | 55 | 56 | -1 |
| P50 | 58,7 | 57 | 1,7 |
| P51 | 60,5 | 56,5 | 4 |
| P52 | 56,8 | 54,4 | 2,4 |
| P53 | 62,8 | 62,1 | 0,7 |
| P54 | 58,9 | 55,8 | 3,1 |
| P55 | 57,7 | 57,4 | 0,3 |
| P56 | 65 | 57,4 | 7,6 |
| P57 | 59,5 | 57 | 2,5 |
| P58 | 59,9 | 56,7 | 3,2 |
| P59 | 57,7 | 58,4 | -0,7 |
| P60 | 55,6 | 54,2 | 1,4 |

FONTE: A autora (2020).

Além de tabelados, os valores medidos e simulados foram inseridos no GRÁFICO 2, com o intuito de visualizar a amplitude das diferenças entre os valores medidos em campo e os valores calculados pelo software.

GRÁFICO 2 – DIFERENÇA ENTRE OS VALORES SIMULADOS E MEDIDOS




FONTE: A autora (2020).

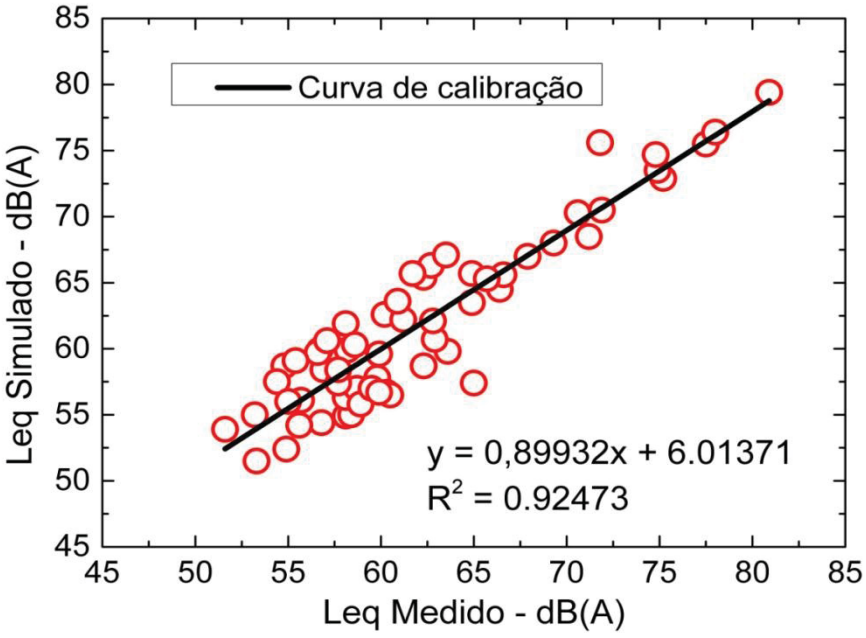
É possível perceber que com exceção do ponto 56, todos os demais receptores simulados tiveram diferença menores que 4 dB (A) para os níveis de pressão sonora medidos. A alta diferença encontrada nesse ponto ocorreu porque próximo ao local de medição havia a execução de uma obra. O modelo de cálculo utilizado permite a inserção dos veículos, de suas características e velocidade, mas não permite a inserção simultânea de fontes pontuais. Para inserir uma fonte similar ao ruído produzido pelos equipamentos utilizados em uma construção, seria necessária a utilização de outro modelo de cálculo, mas com isso, se perderia os dados coletados na contagem de veículos.

Como esse problema ocorreu em apenas um ponto, optou-se por manter o modelo de cálculo selecionado previamente, pois o mesmo aprimora o mapeamento da área escolhida, a qual conta com rodovias e avenidas de tráfego intenso, bem como de ruas internas ao campus. Ao mesmo tempo, a medição realizada nesse ponto foi mantida, pois é de grande relevância identificar os níveis de pressão sonora próximos à construção, já que na avaliação subjetiva a fonte relacionada a obras foi levantada e apontada por muitos indivíduos na questão sobre o incômodo

do ruído. Vale ressaltar aqui que a obra este presente durante todo a execução desse trabalho, porém é um evento transiente. Dessa maneira, se o local fosse avaliado em outros períodos o cenário encontrado, tanto nas medições e mapas quanto nas entrevistas, poderia ser diferente.

O GRÁFICO 3 mostra a curva de calibração para o mapeamento da área. Observa-se que essa ferramenta generaliza as estimativas de erros (resíduos) para englobar um modelo geral. Este modelo tem a capacidade de estimar em função do valor medido qual seria o valor simulado, sendo que o objetivo geral é obter um modelo que seja o mais linear possível. Portanto, a calibração atingiu os parâmetros previamente propostos. Os níveis de pressão sonora medidos tiveram uma média de 62,2 dB (A) enquanto os simulados 61,9 dB (A) e o coeficiente de correlação entre eles foi de 0,925. Para as diferenças entre os dois níveis, a partir da utilização dos números em módulo, foram obtidos como média e mediana os valores de 2,27 e 2,1 dB (A), respectivamente. O menor valor foi de 0,10 dB (A) e o maior (desconsiderando o ponto 56) foi o próprio limite de 4,0 dB (A).

GRÁFICO 3 – CURVA DE CALIBRAÇÃO DA SIMULAÇÃO




FONTE: A autora (2020).

### 5.2.2 Mapas acústicos calculados

Um mapa completo de toda a área é obtido pela interpolação espacial dos resultados na malha. Existem vários algoritmos de interpolação que podem ser usados para desenhar o mapa. Entre as técnicas para interpolação espacial, tem-se os interpoladores geoestatísticos, os quais usam algoritmos de regressão de mínimos quadrados para criar um modelo estatístico, o que permite a previsão de níveis de ruído em locais não observados.

A resolução da grade de cálculo e o número de receptores influenciam o mapa. A seleção de uma malha de alta resolução permite uma maior precisão das isolinhas. O software de simulação de ruído executa o processo de cálculo e cabe ao usuário selecionar o tamanho da grade, como um compromisso entre a precisão do mapa e o esforço de cálculo (ASENSIO et. al., 2011).

Com o intuito de compreender a influência da malha aplicada aos cálculos, bem como definir a melhor escolha para a área estudada, o mapa foi simulado em diferentes tamanhos de *grid*. A TABELA 8 apresenta os diferentes elementos para cada uma das malhas utilizadas. Através dos receptores é possível mensurar o nível de pressão sonora em cada um dos pontos gerados por esse recurso. Os mapas são calculados através das diversas combinações realizadas entre as informações inseridas previamente, como os dados geográficos, edificações, os aspectos sobre os veículos e as vias, etc.

TABELA 8 – ELEMENTOS DOS MAPAS PARA DIFERENTES MALHAS

| Malha | Pontos receptores | Combinações |
|---|---|---|
| 50 m x 50 m | 404 | 10504 |
| 20 m x 20 m | 2213 | 57538 |
| 10 m x 10 m | 8676 | 225576 |
| 5 m x 5 m | 34497 | 896922 |

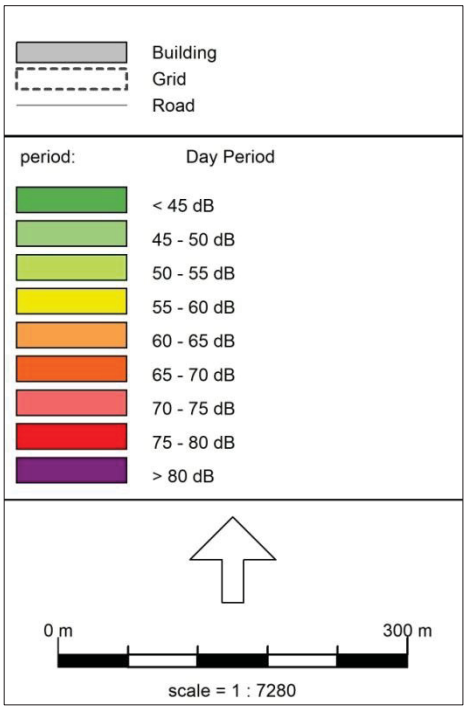
FONTE: A autora (2020).

Nota-se que à medida que a malha foi refinada de 50 x 50 m para 20 x 20 m (uma redução numérica de 60%) os valores de receptores e combinações aumentaram cerca de 6 vezes. Já para as demais modificações, nas quais a malha foi refinada pela metade, os dois elementos quadriplicaram. Essas ampliações nas

variáveis apontam para o aprimoramento de detalhes quando a malha é refinada. A simulação com a malha de 1 x 1 m não foi executada devido ao grande processamento de dados e ao tempo de cálculo (aproximadamente 7 dias).

Para melhor compreensão do mapeamento diante da disposição das imagens, a FIGURA 29 apresenta as informações contempladas na legenda dos mapas exibidos no trabalho.

FIGURA 29 – LEGENDA DOS MAPAS

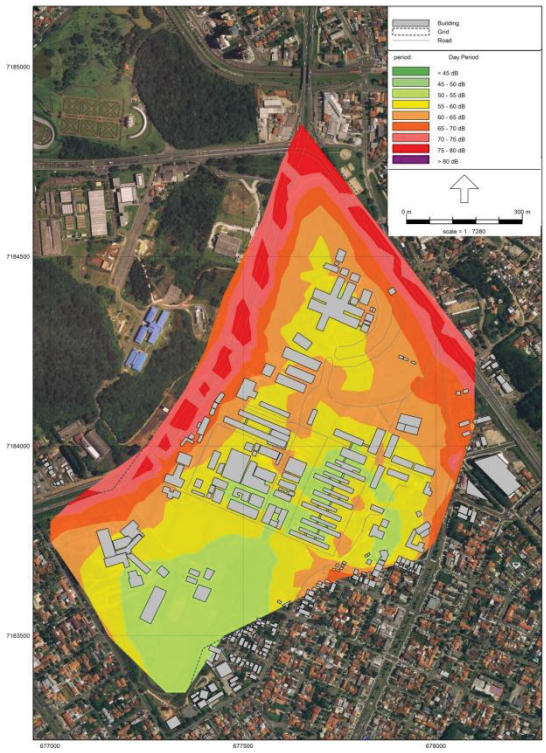



FONTE: A autora (2020).

A FIGURA 30 ilustra a diferença entre as malhas e os mapas de cores. O lado esquerdo da imagem expõe os vértices que originam a formação das malhas e é possível perceber que com o refinamento da grade, os pontos se aproximam e a cobertura da área se torna mais uniforme. A partir das diferentes malhas, originam-se os mapas com escalas de cores para os níveis de ruído das regiões da área de estudo.

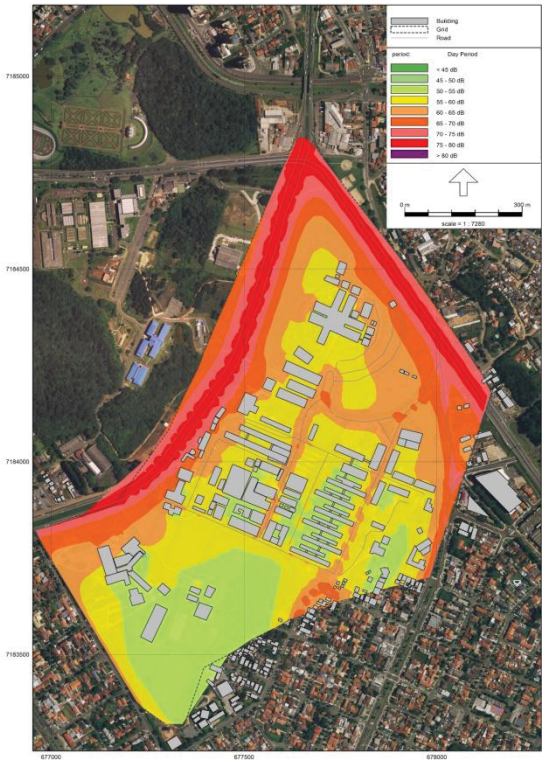
FIGURA 30 – MALHAS E MAPAS

a) Malha 50 x 50 m



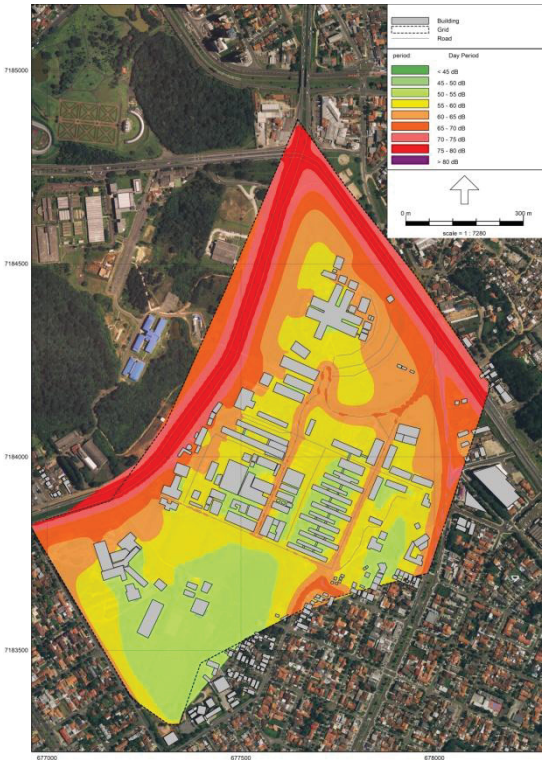

b) Mapa de ruído 50 x 50 m

c) Malha 20 x 20 m



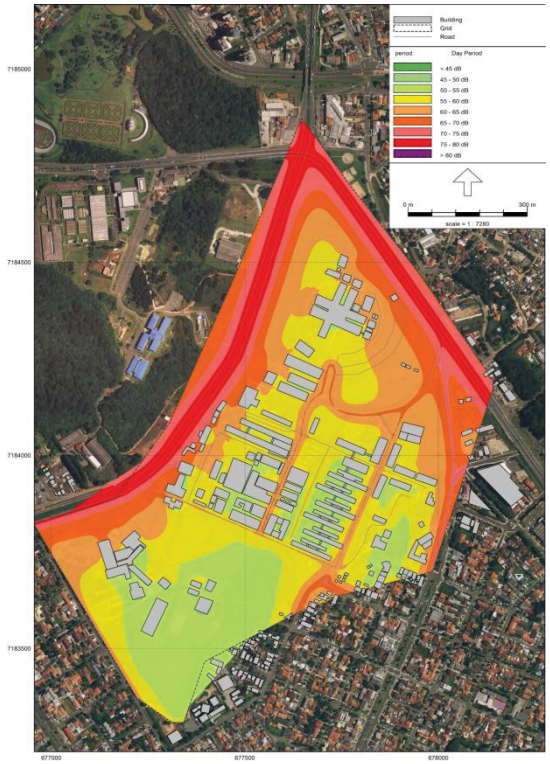

d) Mapa de ruído 20 x 20 m

e) Malha 10 x 10 m




f) Mapa de ruído 10 x 10 m

h) Malha 5 x 5 m




i) Mapa de ruído 5 x 5 m

FONTE: A autora (2020).

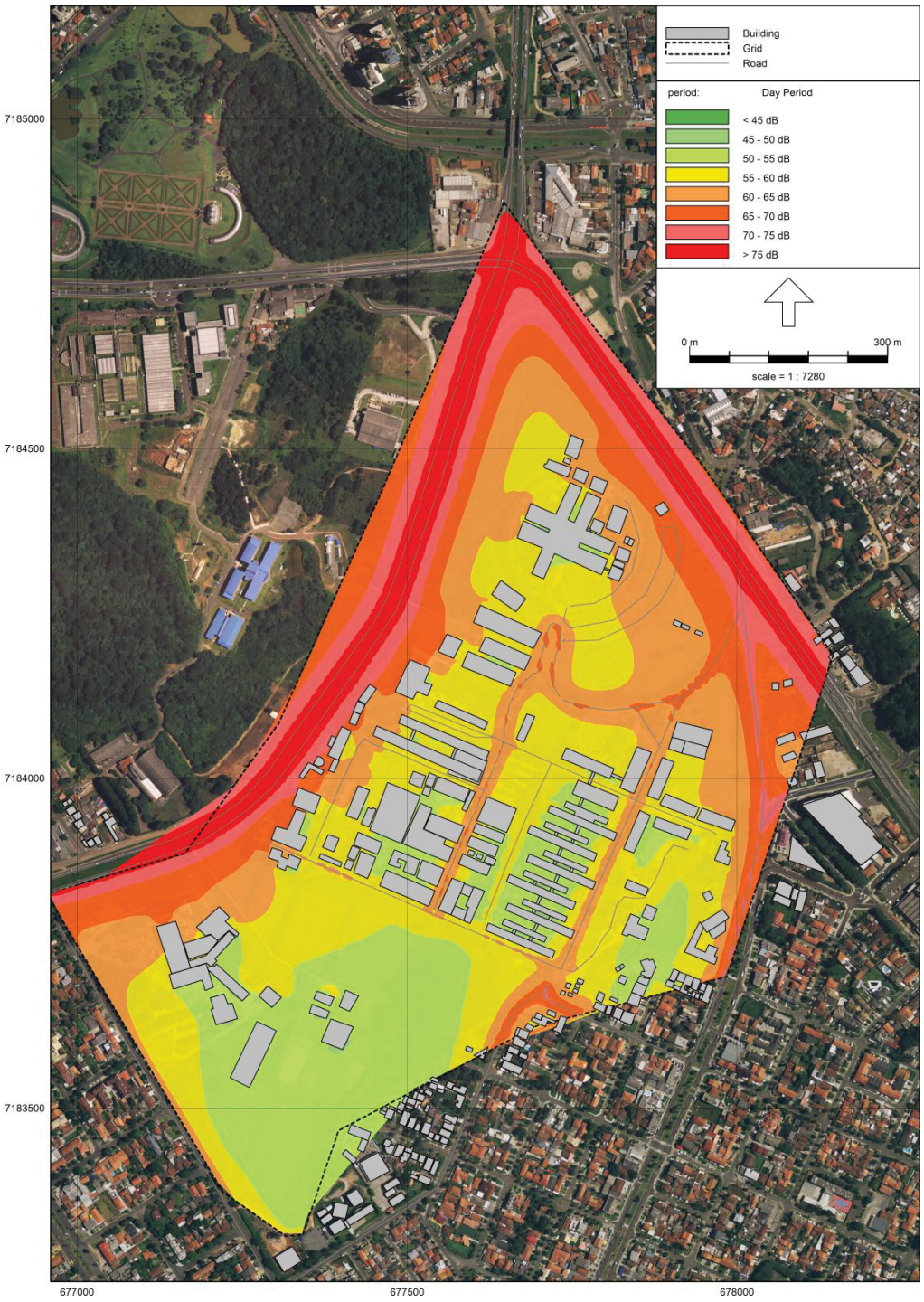
A comparação entre os mapas gerados apresenta distorções quando analisados as duas primeiras malhas utilizadas. O maior destaque se dá nos locais de tráfego de veículos, principalmente na região da Linha Verde (à esquerda do mapa). Nesses locais tem-se um fluxo intenso e constante de carros, caminhões, ônibus e motos e, nos dois primeiros mapas, a linha que demarca a passagem desses veículos não há a representação de uma linha contínua de mesma cor. Ainda, nos dois primeiros mapas, as cores mais escuras, que representam os níveis mais elevados de ruído, se encontram em menor escala e de maneira menos uniforme que as outras duas representações gráficas.

Já os mapas elaborados a partir das malhas de 10 x 10 m e 5 x 5 m não apresentaram diferenças. Tanto em uma visualização geral quanto na aproximação para encontrar detalhes, as cores foram as mesmas nessas duas imagens. Entende-se que por ser uma região de larga escala, como um bairro ou uma cidade, a variação entre malhas de 5 e 10 m não resultam em divergências nas representações dos níveis sonoros. Isso pode ser percebido nas imagens das malhas que comprovam que as duas grades cobrem de maneira homogênea a área de estudo.

Dessa forma, entende-se que para esse estudo, como o objetivo é um panorama geral do campus, o mapa realizado a partir da malha de 10 x 10 m seria suficiente para a análise desejada. Porém, como esse entendimento só poderia ser alcançado após a análise das grades, o teste de 5 x 5 m foi executado.

Após a opção de grade determinada, para a avaliação da paisagem sonora da superfície, a FIGURA 31 ilustra o mapa sonoro do campus ampliado, para melhor a identificação das cores por áreas de exposição ao ruído, bem como a legenda respectiva da escala de cores.

FIGURA 31 – MAPA SONORO DO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO




FONTE: A autora (2020).

É possível notar predominância de cores que correspondem aos maiores níveis de ruído estabelecidos. Os dois tons mais escuros de verde, que representam os menores níveis, não foram encontrados em nenhuma região do mapa. Dessa forma, como já comprovado pelas medições, o limite de 50 dB (A), estabelecido pela

NBR 10151 não é respeitado em nenhuma região do campus, o que aponta para a situação crítica do local. Por outro lado, apesar desta situação negativa e preocupante de poluição sonora, o mapa revela alguns locais com porções homogêneas dos menores níveis de ruído identificados. A região mais representativa, no entanto, está na área das quadras esportivas, onde há menor circulação de pessoas e poucos blocos com presença constante de usuários. Outra região onde é possível visualizar essas áreas, porém em menor escala, está próxima ao bloco Rubens Meister e a alguns laboratórios, locais frequentados principalmente pelo setor de Tecnologia.

A cor amarela, a qual supera o valor de 55 dB (A), o máximo permitido para as Zonas de Silêncio, de acordo com a Lei Municipal 10.625, está presente em diversas áreas do mapa, como o Setor Biológicas, Ciências da Terra e os blocos ligados ao Departamento de Química, Física e Informática, os quais pertencem ao Setor de Exatas.

Alguns blocos associados aos Setores de Exatas e Ciências da Terra estão próximos a áreas demarcadas pela cor laranja no tom mais fraco, o que supera o limite de 60 dB (A), estipulado pela Lei Municipal 10.625 quando se leva em conta a categorização do local como Zona Educacional Especial. Essa escala de cor é processada devido às vias internas de circulação de veículos do campus, as quais são percorridas por motos, carros, ônibus e alguns caminhões. O maior destaque para essa cor está na área da via que dá acesso ao campus pela BR-277, onde além da grande circulação dos veículos, existem os pontos de ônibus e vagas de estacionamento para veículos particulares. Além disso, próximo aos Setor de Ciências da Terra, há a execução de obras, o que agrava o quadro da região.

Assim como observado nas medições, o cálculo do mapa de ruído mostra que as áreas mais próximas às rodovias são as mais afetadas pela poluição sonora, resultado também encontrado na pesquisa de Su, Kang e Jin (2013), a qual revelou que na área do entorno do campus, cercado por rodovias, o nível de pressão sonora foi maior do que o permitido em 87% dos pontos de medição. As cores correspondentes aos níveis mais elevados de ruído estão nessas vias e nas regiões que as circundam. Tanto a BR-277 quanto a Linha Verde estão claramente demarcadas pela cor vermelha, a qual equivale a níveis superiores a 75 dB (A). Conforme se afastam dessas vias, os níveis diminuem para as cores salmão e laranja no tom escuro, as quais representam respectivamente níveis entre 70 – 75

dB (A) e 65 – 70 dB (A), desses, o último pode ser encontrado no limite interno do campus. Esses níveis são explicados pelo enorme número de veículos - especialmente veículos pesados, como caminhões, ônibus e veículos de serviço, além do grande volume de motos e veículos leves.

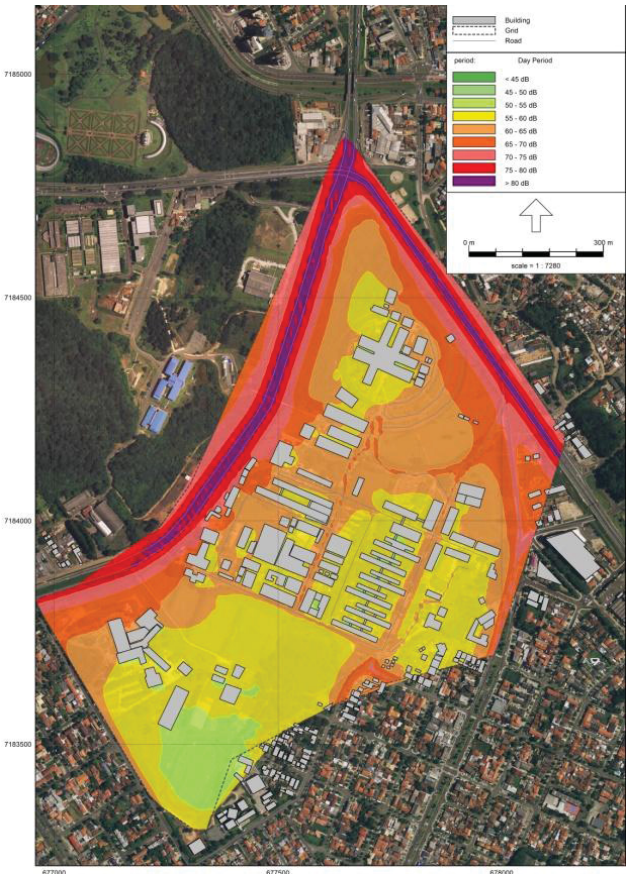
Ainda, com o uso do software foram simulados mapas com a alteração de velocidade nas vias internas e externas ao campus, para cenários que possivelmente ocorrem no local. Os resultados de todos os cálculos (com a utilização da malha de 10 x 10 m) estão ilustrados na FIGURA 32.

Nas duas primeiras simulações, os valores de velocidade interna foram mantidos e houve variação nas duas principais vias de intenso movimento e nas demais ruas externas. O primeiro mapa (a) apresenta os resultados da alteração para 90 km/h na Linha Verde e na BR-277 e um aumento de 10 km/h nas demais vias que circundam o campus. Já o segundo (b) ilustra os níveis de ruído em um aumento para 100 km/h nas duas vias de intenso fluxo mencionadas e a mesma variação de 15 km/h nas demais ruas.

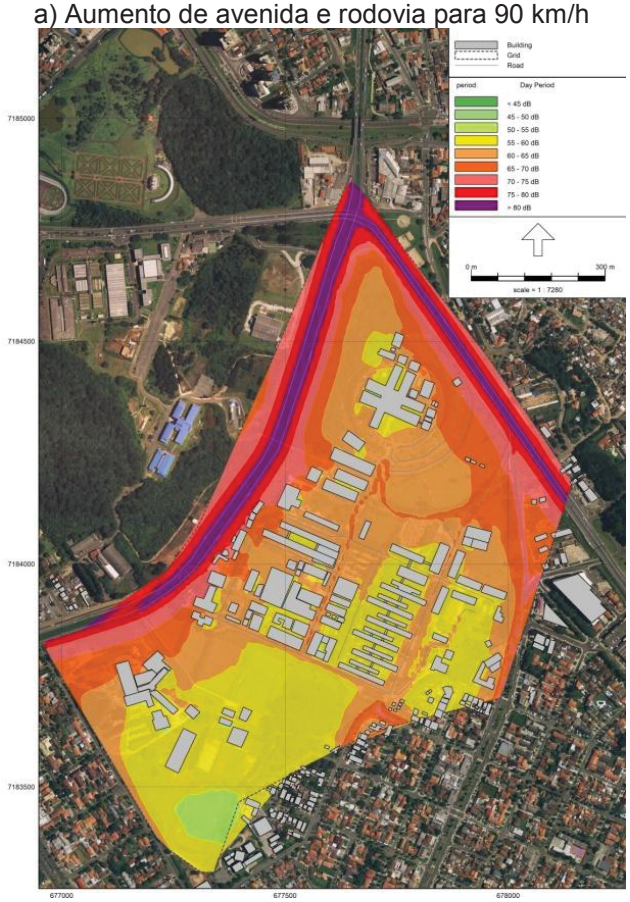
Nos dois últimos mapas, foram repetidos os aumentos, respectivamente, dos dois primeiros mapas apresentados e ainda foi calculada uma variação de velocidade nas ruas internas ao campus. No terceiro mapa (c), além das alterações repetidas do mapa (a) a velocidade interna do local foi aumentada de 20 km/h para 30 km/h. O último (d) contém as maiores velocidades em todas as vias: os mesmos valores externos do mapa (b) e para as ruas internas foi utilizada a velocidade de 40 km/h.

É importante ressaltar que as velocidades mencionadas foram utilizadas para as categorias de veículos leves e motocicletas. Para os veículos pesados, os valores foram sempre 10 km/h menores.

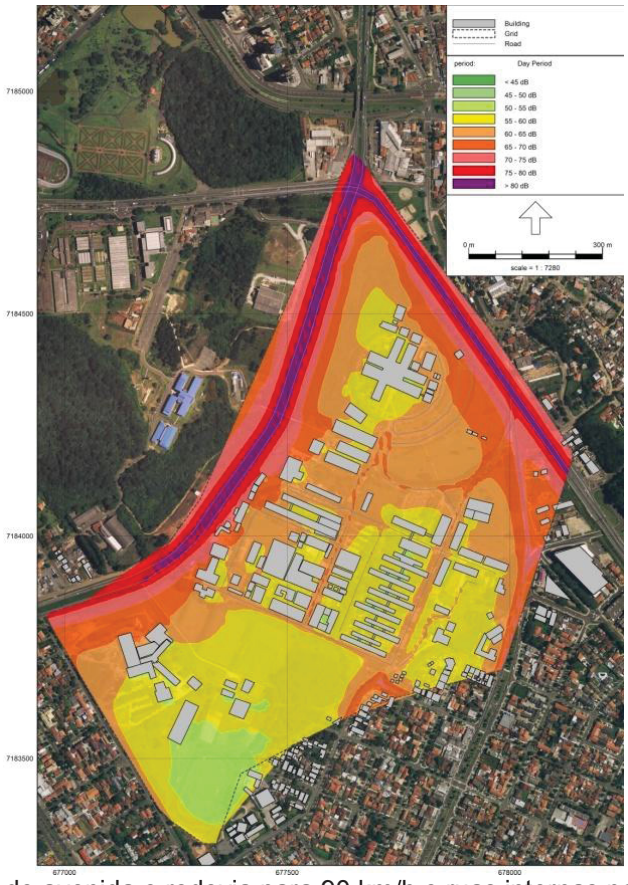
FIGURA 32 – MAPAS COM ALTERAÇÃO DE VELOCIDADE



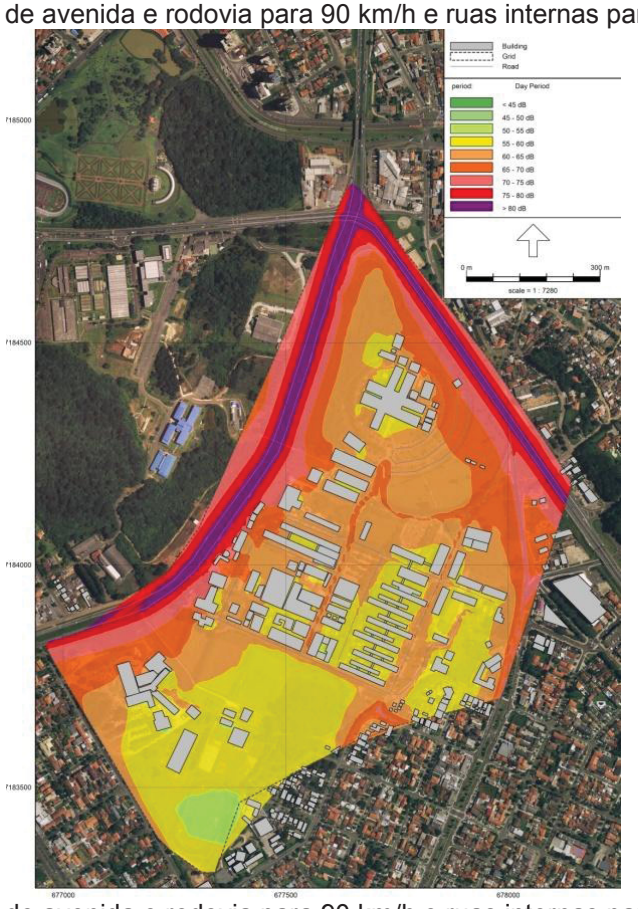

a) Aumento de avenida e rodovia para 90 km/h




b) Aumento de avenida e rodovia para 100 km/h




c) Aumento de avenida e rodovia para 90 km/h e ruas internas para 30 km/h




d) Aumento de avenida e rodovia para 90 km/h e ruas internas para 40 km/h

FONTE: A autora (2020).

A primeira observação, comum a todos os mapas, é a manifestação de uma escala de cores a mais, o que aponta para níveis ainda mais elevados de ruído. A cor roxa que indica níveis acima de 80 dB (A) foi encontrado regiões das duas vias com o fluxo mais intenso de veículos – a Linha Verde e a BR-277. As velocidades colocadas nessas vias foram de 90 km/h e 100 km/h, valores que podem ser utilizados pelos veículos a depender das condições do tráfego e da via.

Os dois primeiros mapas (com alteração apenas nas vias externas) tiveram uma configuração parecida, com uma pequena diferença na escala mais escura expressa na Linha Verde: o segundo mapa apresenta uma linha ligeiramente mais uniforme na cor, enquanto que o primeiro tem algumas pequenas falhas nessa via (na região superior do mapa). As duas simulações quando comparadas com o mapa inicial tiveram a substituição de cores por outras mais intensas, o que comprova o aumento dos níveis de ruído. Além das vias, áreas próximas apresentaram essa mudança, bem como regiões internas ao campus, mas que foram afetadas pela alteração. Tanto na área superior, quanto na inferior do mapa (na qual foram alteradas as velocidades das ruas em 10 km/h), houve substituição por cores mais escuras (verde para amarela e amarela para laranja, por exemplo). Pode-se visualizar áreas maiores com a cor amarela e o tom mais claro da cor laranja, as quais representam níveis acima dos 55 dB (A) e 60 dB (A), respectivamente, máximo valor permitido para áreas educacionais e para a área geográfica à qual o campus pertence, de acordo com a legislação municipal.

Nos últimos mapas são percebidas as mesmas mudanças de cores quando comparados ao mapa inicial, porém as modificações dos mapas (a) e (b) para o (c) e (d) são muito menos expressivas e pontualmente localizadas. Na comparação com o mapa inicial, é percebida uma intensidade e maior distribuição das cores que identificam os níveis acima de 55 dB (A) e uma diminuição quase ao ponto da ausência da cor verde. Na confrontação entre as 4 simulações de alteração da velocidade, as diferenças percebidas no mapa (c) são principalmente em torno do Bloco Rubens Meister (“Espinha de Peixe”) e na parte inferior do mapa. Porém essas pequenas alterações são mais perceptíveis na comparação entre os dois últimos mapas e não quando o mapa (c) é comparado com os dois anteriores. Isso pode ser explicado pelo fato de que a circulação interna não é tão grande quanto a externa e o aumento da velocidade não traz tantas modificações, já que o número de veículos é relativamente baixo.

## 5.3 AVALIAÇÃO SUBJETIVA

### 5.3.1 Análise geral da amostra

Foram entrevistados, de acordo com as orientações descritas no item 4.4.2, um total de 400 usuários do campus Centro Politécnico. A TABELA 9 evidencia o número de entrevistados segundo a categorização apresentada na seção 4.4.1. Dentro dessa divisão, percebe-se que o maior em setor (em número de pessoas) é o de Tecnologia, com 41,5% do total de entrevistados. Os setores Ciências Biológicas e Ciências Exatas representam o mesmo percentual de respondentes – 22,3%. Por último, 14% dos entrevistados fazem parte do setor de Ciências da Terra.

TABELA 9 – DISTRIBUIÇÃO DAS ENTREVISTAS REALIZADAS

| | **Ciências Biológicas** | **Ciências da Terra** | **Ciências Exatas** | **Tecnologia** | **Total** |
|---|---|---|---|---|---|
| Alunos | 73 | 47 | 77 | 148 | 345 |
| Professores | 7 | 3 | 5 | 7 | 22 |
| Servidores | 9 | 6 | 7 | 11 | 33 |
| Total | 89 | 56 | 89 | 166 | 400 |

FONTE: A autora (2020).

Em relação às questões de proporção da amostra, existem várias opções de realização das entrevistas, dentre elas prezar pela fragmentação de determinados grupos ou, independente da divisão existente, entrevistar todas as classes na mesma proporção a fim de criar correlações entre os grupos. Nesse estudo, a proporção da população do campus no que se refere à distribuição função/setor foi respeitada na amostra entrevistada. A TABELA 10 demonstra que a classificação das entrevistas realizadas assemelha-se fortemente ao agrupamento real do campus.

TABELA 10 – PROPORÇÃO DA POPULAÇÃO E DA AMOSTRA

| | **Ciências Biológicas** | | **Ciências da Terra** | | **Ciências Exatas** | | **Tecnologia** | | **Total** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pop. | Amostra | Pop. | Amostra | Pop. | Amostra | Pop. | Amostra | Pop. | Amostra |
| Alunos | 82,1% | 82,0% | 85,2% | 83,9% | 84,4% | 86,5% | 89,9% | 89,2% | 86,2% | 86,3% |
| Professores | 7,3% | 7,9% | 5,9% | 5,4% | 6,5% | 5,6% | 4,2% | 4,2% | 5,7% | 5,5% |
| Servidores | 10,6% | 10,1% | 8,9% | 10,7% | 9,1% | 7,9% | 5,9% | 6,6% | 8,1% | 8,3% |

FONTE: A autora (2020).

A última coluna da TABELA 10 apresenta a divisão por função dos entrevistados no campus, independentemente do setor no qual se enquadram. A partir disso, entende-se que a proporção geral de acordo com a função também foi respeitada e que os alunos representam a grande maioria dos frequentadores do campus, enquanto os professores e servidores somam menos de 15% do total.

No que se refere ao gênero a proporção da amostra foi bem distribuída, do total de entrevistados 51,8% são do sexo feminino e 48,2% do sexo masculino. Essa classificação em relação aos setores mostrou que apenas o de Tecnologia contou com mais representantes do sexo masculino (58,5%), enquanto que os setores de Ciências Biológicas, Ciências da Terra e Ciências Exatas tiveram uma maior taxa de respondentes do sexo feminino (66,3%, 60,7% e 50,6%, respectivamente), como ilustra a TABELA 11.

TABELA 11 – PROPORÇÃO POR GÊNERO DE ACORDO COM SETOR

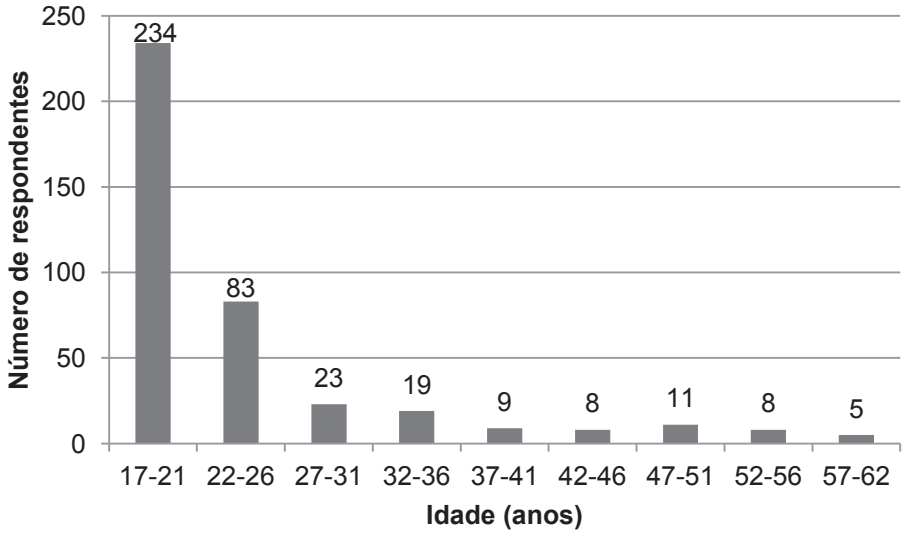
| | **Ciências Biológicas** | **Ciências da Terra** | **Ciências Exatas** | **Tecnologia** | **Total** |
|---|---|---|---|---|---|
| Feminino | 59 | 34 | 45 | 69 | 207 |
| Masculino | 30 | 22 | 44 | 97 | 193 |
| Total | 89 | 56 | 89 | 166 | 400 |

FONTE: A autora (2020).

Visto que a grande maioria da amostra e da população é representada pelos estudantes, as respostas sobre a idade dos entrevistados apontou para o predomínio de jovens na universidade. A média no quesito idade foi de 24,3 anos enquanto que a mediana foi de 20 anos. Os entrevistados mais novos, 15 alunos, tem 17 anos e as pessoas mais velhas que responderam esse questionário, um servidor e um professor, já completaram 62 anos. A distribuição por idade pode ser melhor entendida de acordo com o GRÁFICO 4.

.

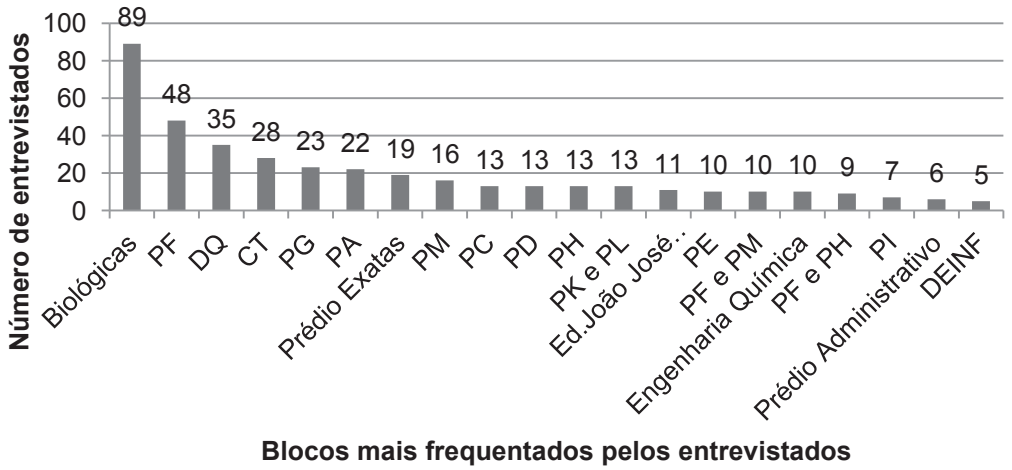
GRÁFICO 4 – DISTRIBUIÇÃO DOS ENTREVISTADOS POR IDADE




FONTE: A autora (2020).

No que diz respeito à permanência nos determinados locais do campus, pôde-se observar o destaque ao Bloco de Biológicas, pois esse foi considerado um conglomerado durante as entrevistas, já que apesar da sua grande área, é um prédio único, no qual estão concentrados os diversos campos do setor. O GRÁFICO 5 mostra como os entrevistados se distribuem geograficamente na área de estudo.

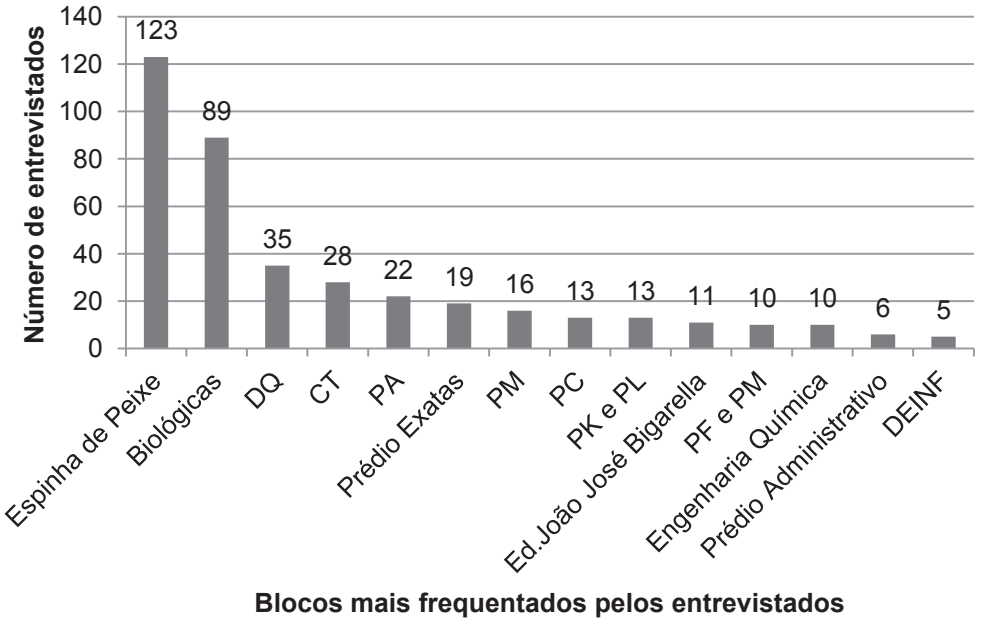
GRÁFICO 5 – DISTRIBUIÇÃO DOS ENTREVISTADOS POR BLOCOS




FONTE: A autora (2020).

Com o intuito de comparação, os blocos PE, PF, PG e PI foram considerados pertencentes a uma mesma unidade – Bloco Rubens Meister (“Espinha de Peixe”). Dessa maneira, busca-se respeitar o mesmo critério utilizado para contabilizar os indivíduos que frequentam o Bloco de Biológicas. A nova configuração dessa distribuição é apresentada no GRÁFICO 6 e mostra que a maioria dos alunos se encontra nesse bloco, o que é justificado pela grande diversidade de cursos que tem aulas nesse local. Ainda, esse bloco pertence ao Setor de Tecnologia, o qual tem maior número de representantes se comparado aos outros setores, justifica-se o destaque desse bloco em relação aos demais.

GRÁFICO 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS ENTREVISTADOS POR BLOCOS (CORRIGIDA)



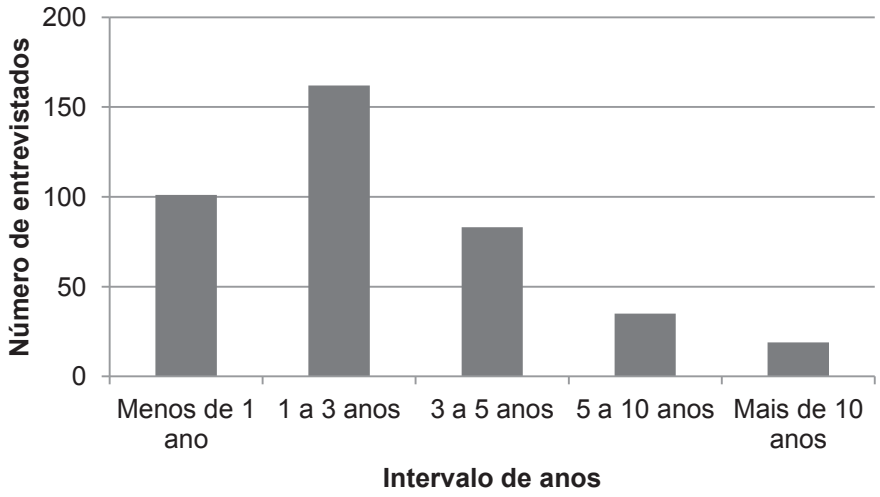

FONTE: A autora (2020).

Para entender a dinâmica de permanência dos entrevistados no campus e a posterior análise da relação entre o incômodo pelo ruído e o tempo que as pessoas frequentam o local, foram realizadas quatro questões referentes a intervalos de tempo.

É importante compreender a categorização dos entrevistados no que diz respeito aos anos a que frequentam o campus. Primeiramente, como forma de identificar a amostra nesse aspecto: entender se há predominância de determinado grupo e como se comporta a distribuição. Além disso, pode-se avaliar se há uma

relação que aponte para a influência desse tempo no incômodo pelo ruído. O GRÁFICO 7 demonstra que o intervalo de 1 a 3 anos foi o de maior destaque, com cerca de 40% das respostas, ao passo que aproximadamente 25% dos entrevistados afirmaram frequentar o campus há menos de 1 ano e 21% entre 3 e 5 anos. Os usuários há mais tempo totalizaram uma parcela menor: 35 pessoas (8,8%) utilizam o campus entre 5 e 10 anos e apenas 4,4% contam com mais de 10 anos de experiência no campus, grupo esse representado por servidores e professores.

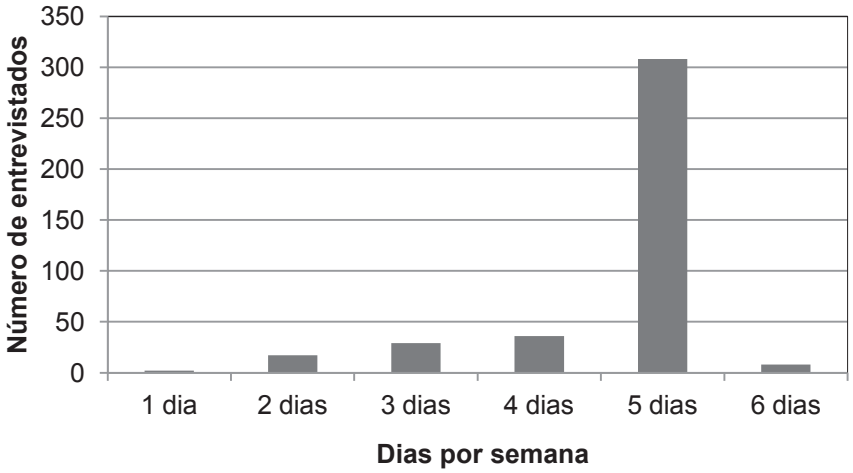
GRÁFICO 7 – TEMPO HÁ QUE FREQUENTA O CAMPUS




FONTE: A autora (2020).

Nessa mesma linha de avaliação, é válido conhecer os períodos de permanência na área de estudo, o que pode ser ilustrado pelos GRÁFICO 8, GRÁFICO 9 e GRÁFICO 10. Visto que a maioria dos alunos tem aulas todos os dias da semana e os servidores e professores também possuem uma carga horária completa, mais de ¾ dos entrevistados responderam frequentar o campus 5 dias na semana. Os usuários que vão ao campus até 3 dias na semana totalizaram 12% do total, ao passo que as respostas para 4 e 6 dias representaram 9% e 2%.

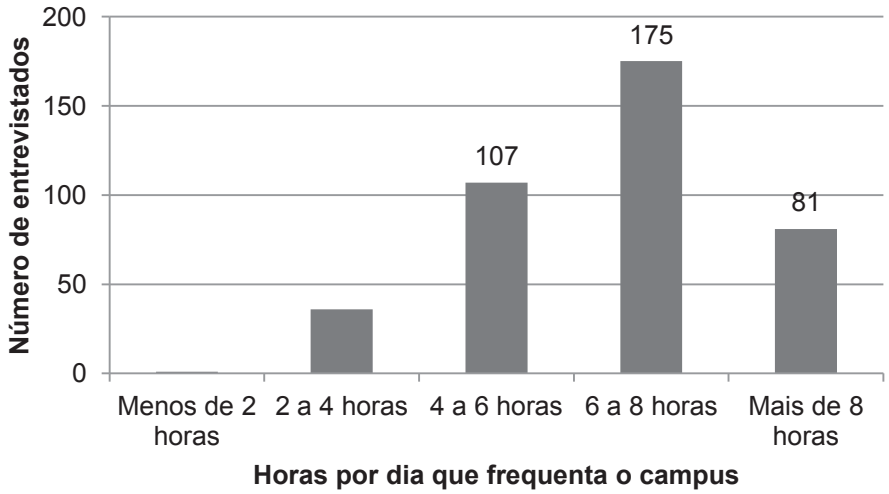
GRÁFICO 8 – DIAS POR SEMANA QUE FREQUENTA O CAMPUS




FONTE: A autora (2020).

Dado que muitos cursos contam com carga horária integral de aulas e os funcionários cumprem jornada de 8 horas de trabalho, quase a metade dos entrevistados afirmou ficar no campus, em média, de 6 a 8 horas. A permanência por até 4 horas chegou próxima aos 10%, o intervalo de 4 a 6 horas representou cerca de 27% e os usuários que informaram permanecer por mais de 8 horas no campus refletiram aproximadamente 20% do total.

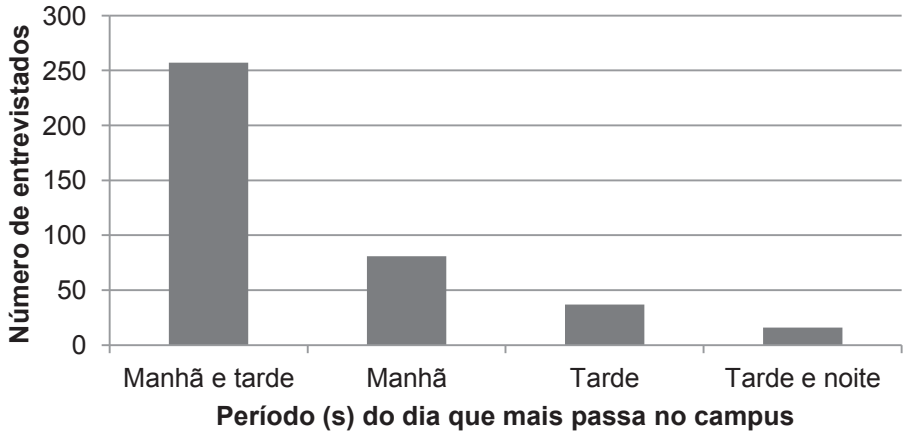
GRÁFICO 9 – HORAS POR DIA QUE FREQUENTA O CAMPUS




FONTE: A autora (2020).

Como o estudo se limitou à caracterização do ruído no período diurno, os usuários que incluíram o período noturno na sua permanência não representaram mais de 7% do total de entrevistados. Alinhadas às respostas da questão anterior (destaque ao número de respostas no intervalo que vai de 4 a 8 horas), a grande maioria dos entrevistados – 64,3% – frequentam o campus tanto pelo período da manhã quanto da tarde. Em relação aos períodos isolados, aproximadamente 20% frequentam pela manhã e 9% à tarde.

GRÁFICO 10 – PERÍODO(S) DO DIA QUE MAIS PASSA NO CAMPUS

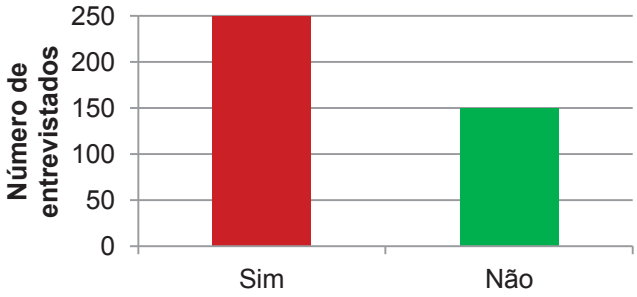



FONTE: A autora (2020).

### 5.3.2 Análise do incômodo pelo ruído

A pergunta que inicia o questionamento sobre o incômodo causado pelo ruído dentro do campus foi realizada de forma mais direta, com a opção de responder se o usuário se sentia ou não incomodado por esse problema. O objetivo foi a comparação das respostas com um estudo realizado anteriormente, o qual teve essa questão como ponto de análise. O GRÁFICO 11 mostra que 62,5% dos entrevistados responderam que o ruído do campus os incomoda, valor consideravelmente maior ao encontrado pelo estudo Zannin et al (2013b), o qual apontou que 47% das pessoas se sentiram incomodadas pelo ruído produzido no campus.

GRÁFICO 11 – RESPOSTA À PERGUNTA “VOCÊ SE SENTE INCOMODADO PELO RUÍDO DO CAMPUS?”




FONTE: A autora (2020).

Quando avaliada a relação entre o sexo dos entrevistados e a resposta a essa pergunta, apresentada na TABELA 12 percebe-se um maior incômodo relatado pelas mulheres. Dentro desse grupo, quase 70% respondeu se sentir incomodada, já os participantes do sexo masculino demonstraram um equilíbrio relativo entre as respostas: os homens que responderam “sim” representam cerca de 55% do grupo.

TABELA 12 – RELAÇÃO ENTRE O SEXO E A RESPOSTA À PERGUNTA “VOCÊ SE SENTE INCOMODADO PELO RUÍDO DO CAMPUS?”

| Sexo | RESPOSTA “SIM” | RESPOSTA “NÃO” | TOTAL |
|---|---|---|---|
| Feminino | 142 | 65 | 207 |
| Masculino | 108 | 85 | 193 |
| Total | 250 | 150 | 400 |

FONTE: A autora (2020).

Essa conclusão corrobora com a pesquisa realiza por Ismail e Ahmed (2018) a qual revela que jovens do sexo feminino são mais sensíveis à poluição sonora em comparação com os do sexo masculino em uma universidade de Delhi, na Índia. Dentro do grupo feminino, 90,3% das entrevistadas têm consciência e se incomodam com a poluição sonora.

No que tange a relação entre os setores e as respostas para a pergunta geral sobre o incômodo do ruído, o de Tecnologia foi o que apresentou o maior equilíbrio entre as respostas “sim” e “não”. Os entrevistados pertencentes a esse setor que responderam se sentir incomodados pelo ruído do campus representaram 56,6% do grupo. Nos setores de Biológicas e Exatas, houve uma diferença percentual de cerca de 30% entre as respostas positivas e negativas. O setor de

Ciências da Terra apresentou a maior discrepância entre as respostas, 73,2% dos usuários desse grupo responderam se sentir incomodados pelo ruído. A TABELA 13 apresenta os números absolutos dessa relação.

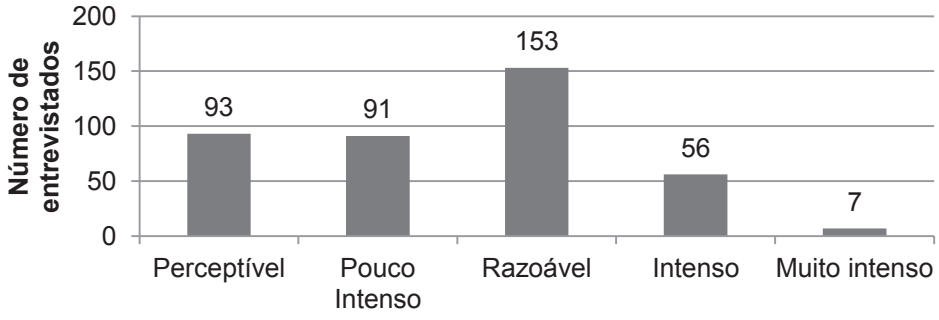
TABELA 13 – RELAÇÃO ENTRE O SETOR E A RESPOSTA À PERGUNTA “VOCÊ SE SENTE INCOMODADO PELO RUÍDO DO CAMPUS?”

| Sexo | RESPOSTA “SIM” | RESPOSTA “NÃO” | TOTAL |
|---|---|---|---|
| Tecnologia | 94 | 72 | 166 |
| Exatas | 58 | 31 | 89 |
| Biológicas | 57 | 32 | 89 |
| Ciências da Terra | 41 | 15 | 56 |
| Total | 250 | 150 | 400 |

FONTE: A autora (2020).

Dentro de uma questão com cinco alternativas de escala, os usuários atribuíram grau para a intensidade do ruído percebida no campus, como pode ser observado no GRÁFICO 12. A opção que se destacou foi a de nível médio, quase 40% dos entrevistados avaliaram o ruído do campus como razoável. Identificou-se ainda predominância nos níveis mais baixos: cada uma das opções “perceptível” e “pouco intenso” correspondeu a aproximadamente 23% do total. Já os níveis maiores de incômodo somaram pouco mais de 15%, com apenas 2% de respostas para o grau “muito intenso”.

GRÁFICO 12 – CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO DO CAMPUS DE ACORDO COM OS ENTREVISTADOS

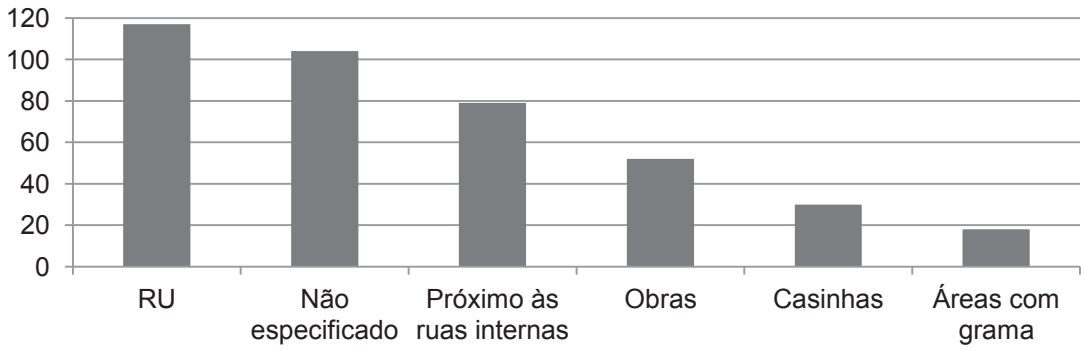



FONTE: A autora (2020).

Os entrevistados foram questionados sobre quais eram os locais com maior intensidade sonora no campus e as respostas estão ilustradas no GRÁFICO 13.

Cerca de ¼ das pessoas não sabiam apontar um lugar em destaque, seja por perceberem a presença do ruído de maneira uniforme ou por nunca se atentarem a essa questão. A maior parte dos usuários, aproximadamente 30 %, definiu a área no entorno do RU como o local com nível de ruído mais elevado, devido à presença constante de aparelhos de som para divulgação de eventos e a grande circulação de pessoas na região. Uma parcela de 20% dos entrevistados relacionou o tráfego interno de veículos como ruído mais intenso e por isso elencou as áreas próximas às vias internas do campus nessa questão. Pouco mais de 50 pessoas optaram pelos locais onde há execução de obras, 30 escolheram as chamadas “casinhas”, região próxima ao Bloco I, onde há realização de ensaios com música alta e pouco menos de 20 usuários indicaram que regiões com grandes áreas de gramas são as que concentram níveis mais elevados de ruído no campus.

GRÁFICO 13 – LOCAIS APONTADOS COMO RUÍDO MAIS INTENSO




FONTE: A autora (2020).

Além de questionar diretamente o incômodo causado pelo ruído, buscou-se investigar o grau de incômodo de cada uma das principais fontes de ruído encontradas na área. Essa análise se faz importante para entender se existe e qual (is) fonte (s) se destaca (m) no que diz respeito à percepção dos usuários do campus e se há relação entre as opções colocadas. A TABELA 14 apresenta os valores de mediana, média e desvio padrão para questão “Quanto cada uma dessas fontes de ruído te incomoda no campus, em uma escala de 0 a 10” de acordo as fontes sugeridas pela entrevistadora. Foi ainda perguntado aos usuários se havia alguma outra fonte a ser sugerida, porém dos 400 entrevistados apenas 3

mencionaram uma opção diferente – nomeadamente o ensaio das baterias da universidade -, o que se tornou estatisticamente insignificante nessa pesquisa.

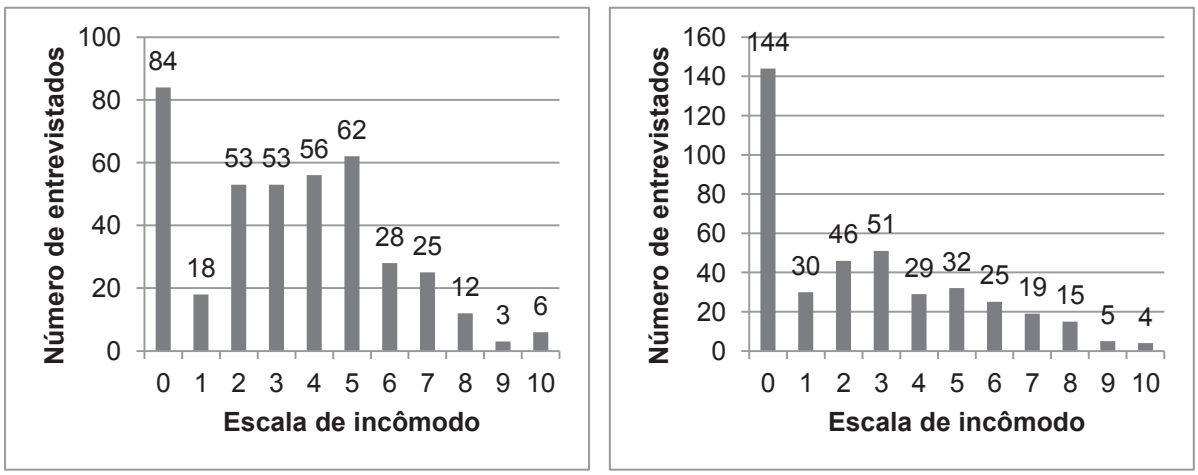
TABELA 14 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL PARA GRAU DE INCÔMODO DE FONTES DE RUÍDO

| Fonte de ruído | Grau de incômodo atribuído | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Mediana | Média | Desvio padrão | Coeficiente de Variação (%) |
| Tráfego interno de veículos | 3,00 | 3,36 | 2,497 | 74,37 |
| Tráfego de veículos no entorno | 2,00 | 2,60 | 2,665 | 102,61 |
| Construção civil | 4,00 | 4,04 | 2,890 | 71,54 |
| Manutenção da jardinagem | 5,00 | 4,57 | 3,346 | 73,29 |
| Pessoas | 5,00 | 4,60 | 2,582 | 56,10 |
| Música alta | 2,00 | 2,87 | 2,960 | 103,13 |
| Passagem de aviões | 0,00 | 1,12 | 1,739 | 155,27 |

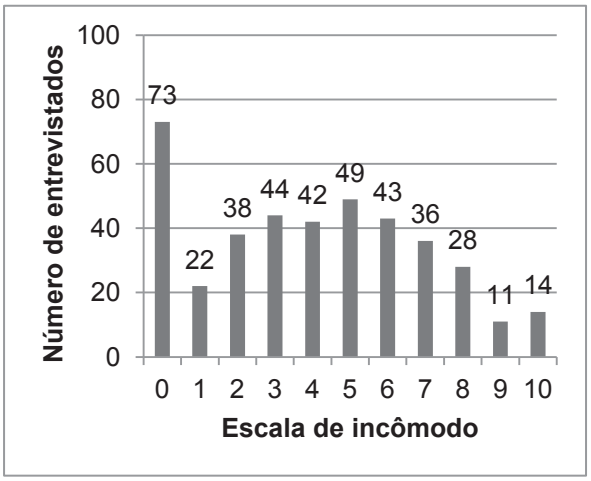
FONTE: A autora (2020).

É possível verificar que as fontes com os maiores valores para média e mediana foram “Manutenção da jardinagem” e “Pessoas”, porém nenhum desses ultrapassou o nível médio de grau de incômodo. Ainda, para todas as fontes o valor de desvio padrão e o coeficiente de variação (relação entre o desvio e a média) foram altos, o que demonstra uma dispersão significativa dos dados e aponta para uma amostra heterogênea no que diz respeito ao grau de incômodo das fontes, especialmente o tráfego (rodoviário e aeroviário). Além dessa análise, o GRÁFICO 14 ilustra o número absoluto de respostas para a mesma questão.

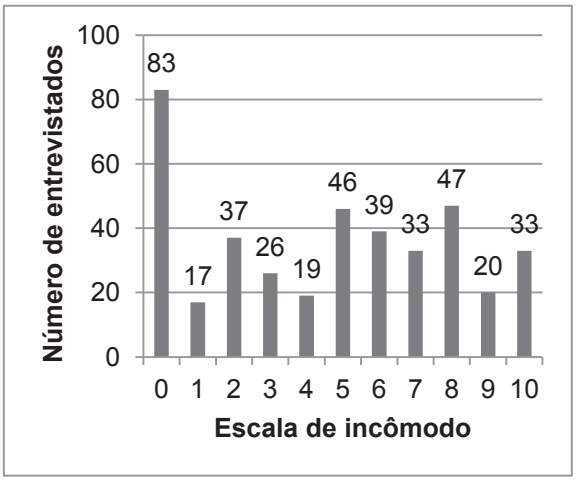
GRÁFICO 14 – GRAU DE INCÔMODO DE CADA FONTE DE RUÍDO DE ACORDO COM OS ENTREVISTADOS



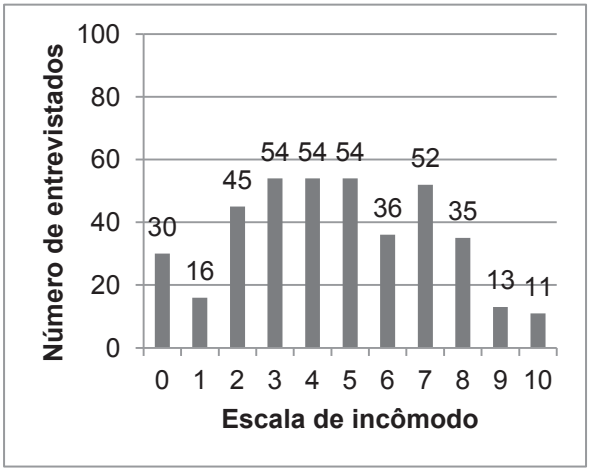
a) Tráfego interno de veículos



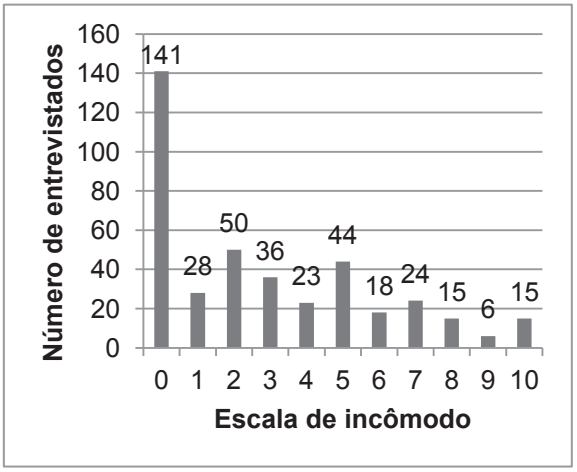

b) Tráfego de veículos no entorno



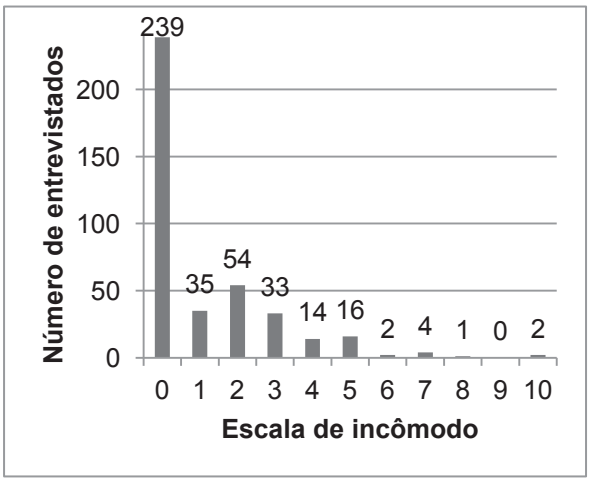

c) Construção Civil




d) Manutenção da Jardinagem




e) Pessoas




f) Música alta

g) Passagem de aviões

FONTE: A autora (2020).

Pode-se perceber que de todas as fontes mencionadas, apenas uma delas não teve como maioria das respostas o valor 0 da escala. Isso demonstra que a fonte “Pessoas”, quando comparada às demais, representou um incômodo mais significativo nos usuários. De acordo com a maioria dos comentários ouvidos nessa questão, o ruído causado por conversas ou movimentos de outras pessoas, mesmo que não seja tão “alto” como os demais, se apresenta de forma mais constante e por isso atinge esse maior grau de sensibilidade nos entrevistados.

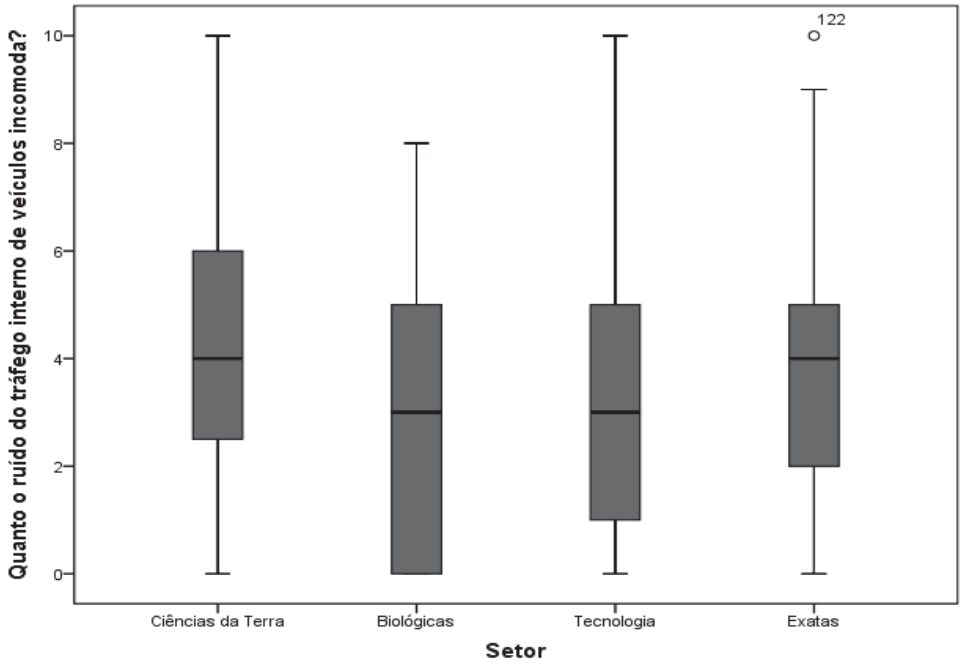
Juntamente com a fonte “Pessoas”, os ruídos advindos da “Construção Civil” tiveram uma melhor distribuição das respostas, com menor disparidade entre os resultados. Enquanto as demais fontes concentraram respostas em determinados valores da escala, as duas fontes mencionadas tiveram uma representatividade em torno de 10% de cada valor numérico. Ainda, aliadas à “Manutenção da Jardinagem” as duas fontes citadas foram as que tiveram as respostas iguais ou acima do valor médio (5), mais expressivas. Enquanto nas outras opções, a soma de respostas maiores ou iguais a 5 não representaram mais de 30% do total de entrevistados, nessas três fontes esse valor caracterizou aproximadamente metade dos usuários. A “Manutenção da Jardinagem” se destacou nesse quesito: 54,5% dos entrevistados corresponderam à parcela que se incomoda em um grau 5 ou maior na escala. Enquanto que “Pessoas” e “Construção Civil” tiveram 50,3% e 45,3% de usuários nesse grupo.

O ruído emitido pela passagem de aviões representou o menor nível de incômodo entre as opções apresentadas. Cerca de 60% dos entrevistados respondeu não se sentir incomodado por essa fonte e mais de 90% dos usuários se concentraram no grupo que respondeu os valores abaixo do grau médio de incômodo. Muitos indivíduos comentaram que nem sequer escutam ou percebem a passagem de aviões pelo campus ou quando ouvem, por ser relativamente rápido e pouco frequente não chega a causar incômodo.

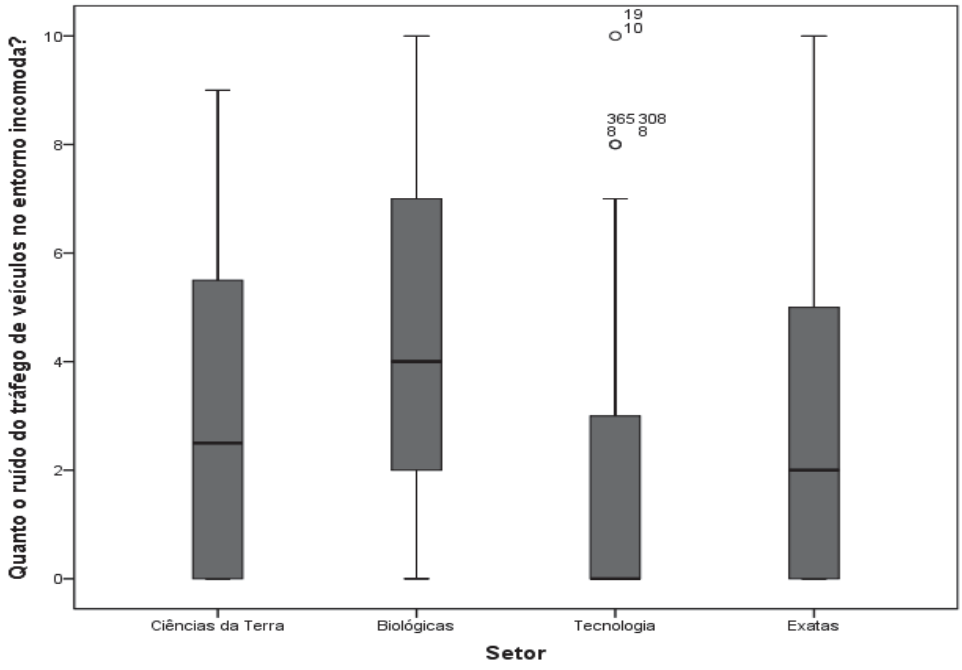
Em relação aos veículos, percebe-se uma sensibilidade maior ao tráfego interno do que no entorno do campus. Enquanto a resposta “não incomoda” (grau 0) foi de 36% para o tráfego externo, para a circulação interna de veículos essa parcela foi de 21%. A não percepção ao ruído gerado pelo tráfego externo ao campus, que se mostrou preocupante de acordo com as medições, pode ser explicada pela distância de alguns blocos aos limites geográficos do campus, além das questões subjetivas da percepção.

Ainda sobre as fontes, avaliou-se a relação entre os setores e as notas dadas para o incômodo. O GRÁFICO 15 apresenta o *boxplot* de cada fonte para os 4 setores, para uma visualização geral da média e da distribuição das notas por setor.

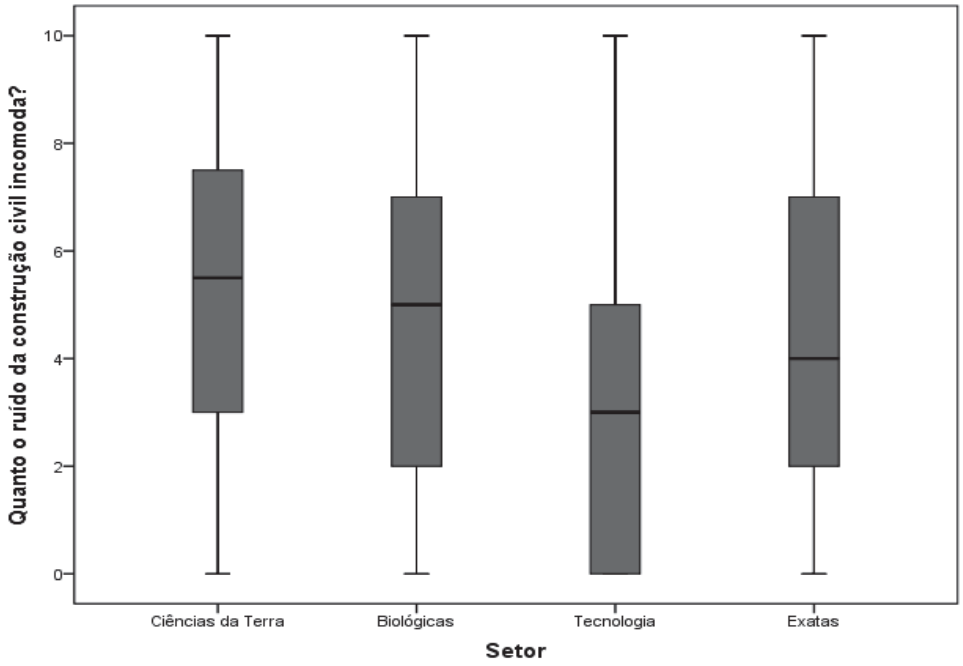
GRÁFICO 15 – BOXPLOT DA RELAÇÃO ENTRE O GRAU DE INCÔMODO DE CADA FONTE DE RUÍDO E SETORES



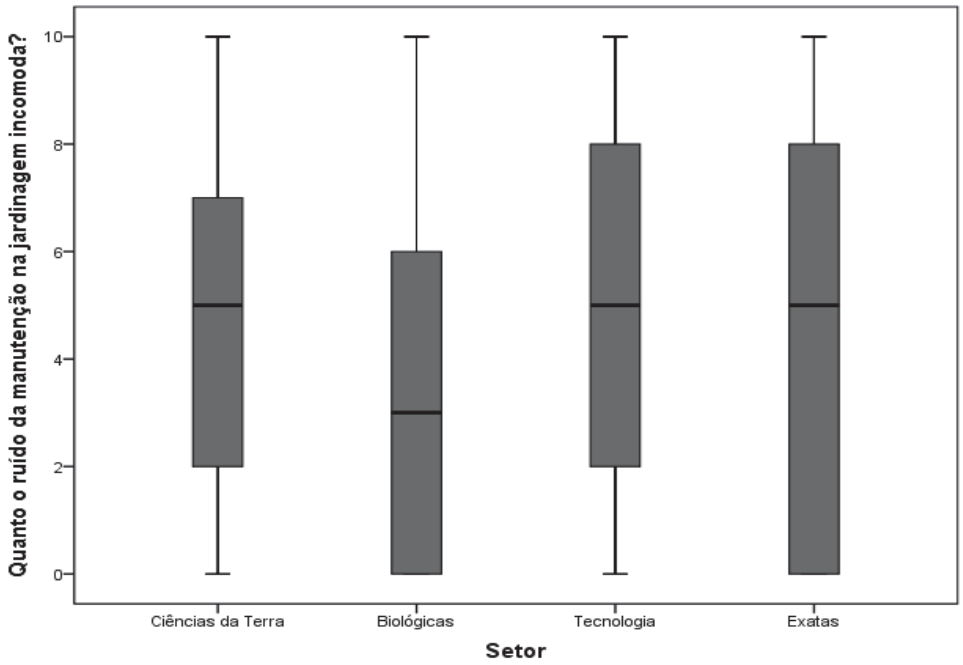

a) Tráfego interno de veículos



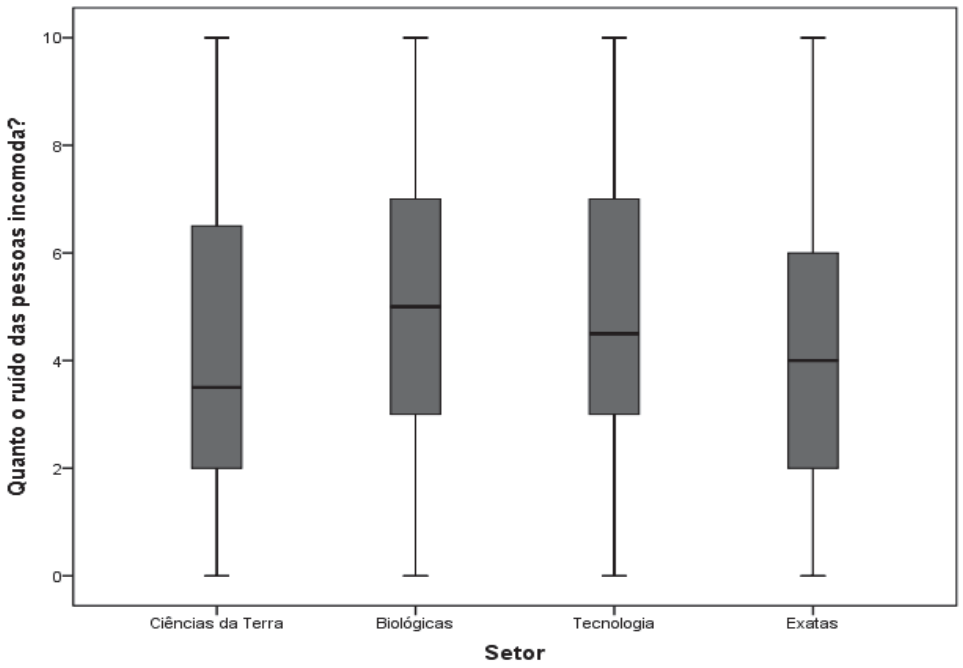

b) Tráfego de veículos no entorno



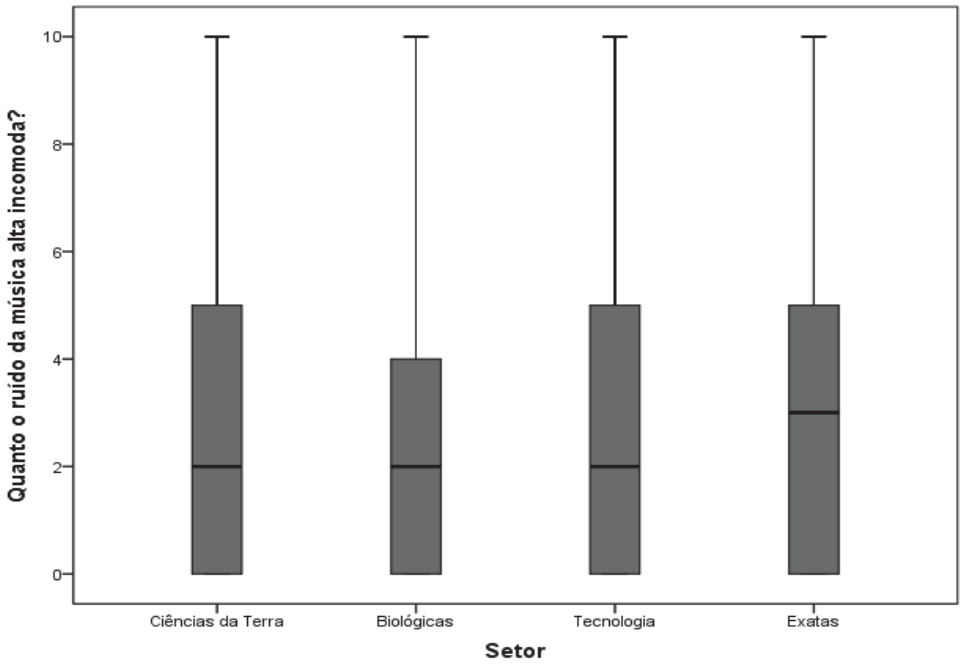

c) Construção Civil



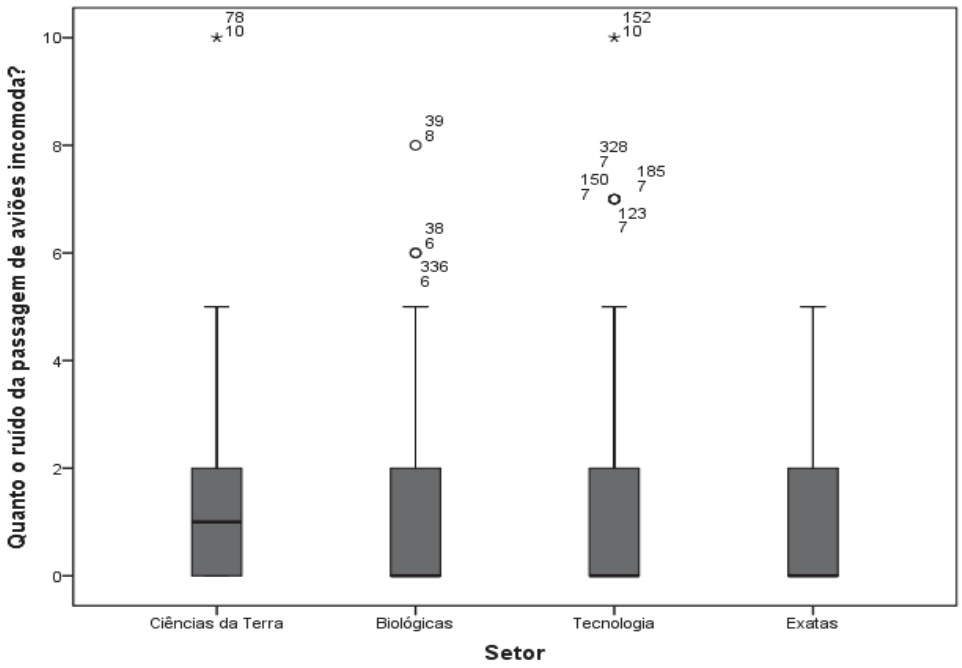

d) Manutenção da Jardinagem




e) Pessoas




f) Música alta




g) Passagem de aviões

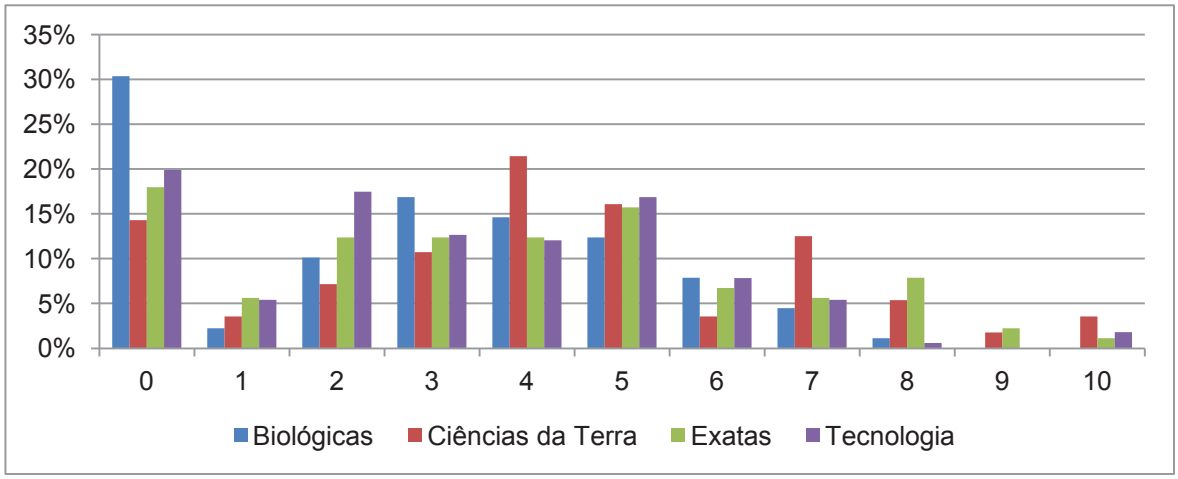
FONTE: A autora (2020).

Os diagramas demonstram que houve maior uniformidade das respostas por setores sobre a fonte “Pessoas”. Nessa opção, as médias ficaram entre 4,1 e 5,3 e os extremos entre as notas atribuídas não variaram fortemente. Em relação aos veículos, a circulação interna causou um incômodo menor se comparada ao ruído gerado pelos veículos que transitam no entorno do campus, com destaque, nesse caso, para o Setor de Biológicas com a maior média e mediana (4,10 e 4,0) nessa fonte. Já para os ruídos oriundos da construção civil, o Setor de Ciências da Terra se evidenciou em relação aos demais, com uma média de 5,43 e mediana de 5,5. As respostas para o ruído da manutenção da jardinagem mostram uma maior distribuição entre as opiniões, especialmente no Setor Exatas. As menores notas foram atribuídas para o que diz respeito à música alta e passagem de aviões, para a última em todos os setores a média não ultrpassasou 1,5 e, com exceção do Setor Ciências da Terra, os demais setores tiveram 0 como valor de mediana.

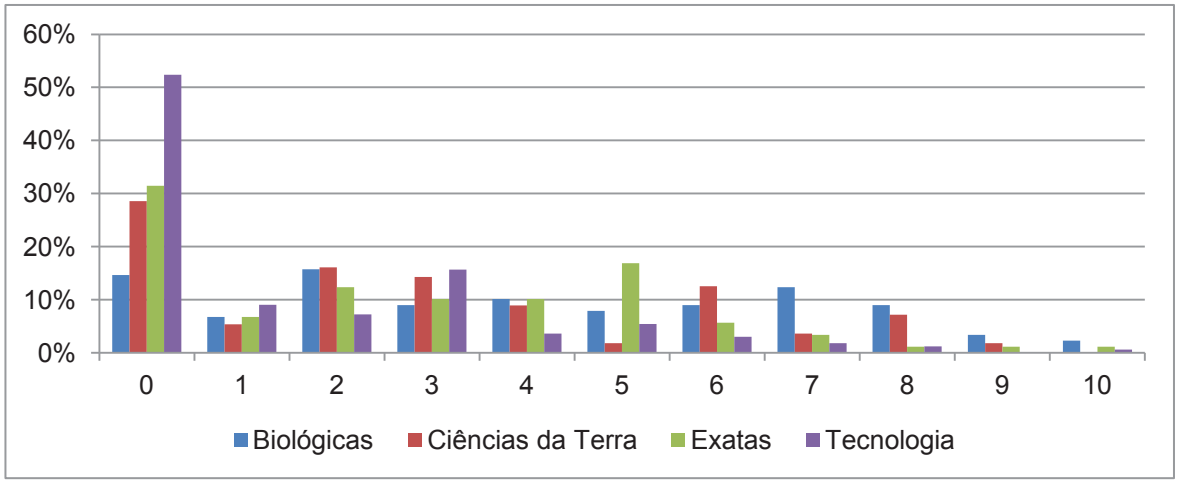
Para um maior detalhamento da relação entre o incômodo e os setores, o GRÁFICO 16 apresenta a quantidade (em porcentagem) de respostas por setor para cada fonte de ruído mencionada. Como o número de usuários por setor respeitou a proporção identificada na universidade, existe diferença no tamanho dos grupos de

setores, por isso optou-se pela taxa percentual de respostas dentro de cada grupo. Assim, em cada gráfico, o somatório das quantidades representadas pelas barras de mesma cor resultam em 100%.

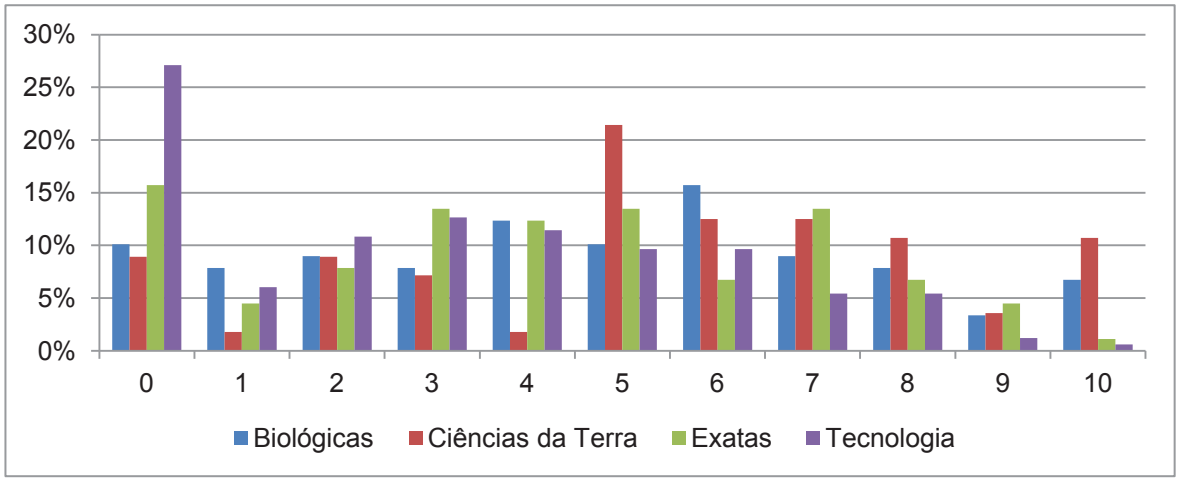
GRÁFICO 16 – RELAÇÃO ENTRE GRAU DE INCÔMODO DE CADA FONTE DE RUÍDO E SETORES



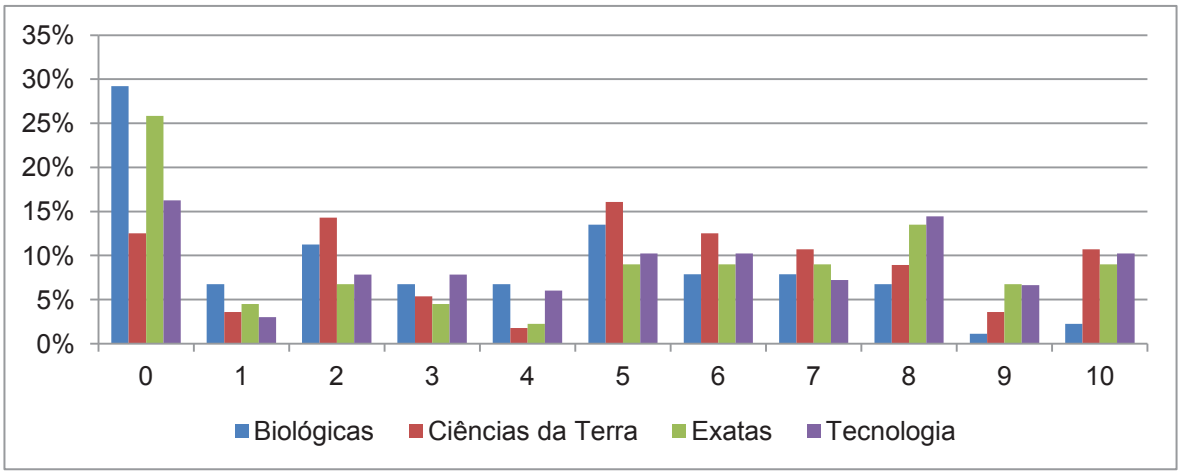

a) Tráfego interno de veículos



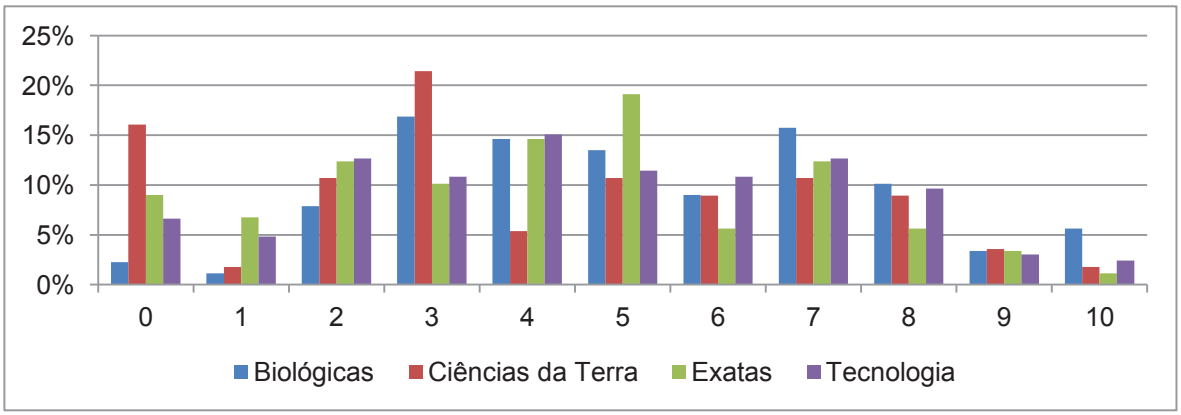

b) Tráfego de veículos no entorno



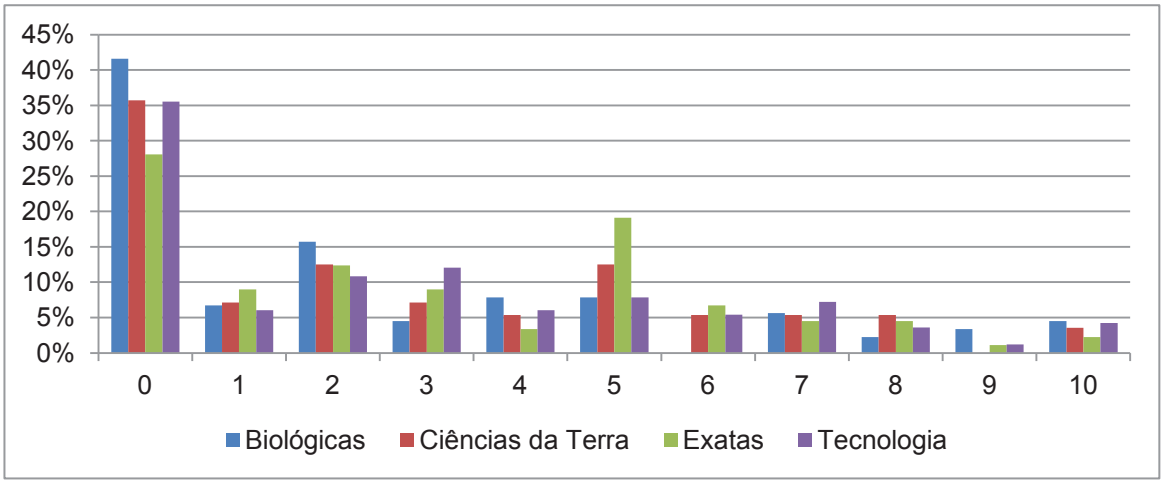

c) Construção Civil



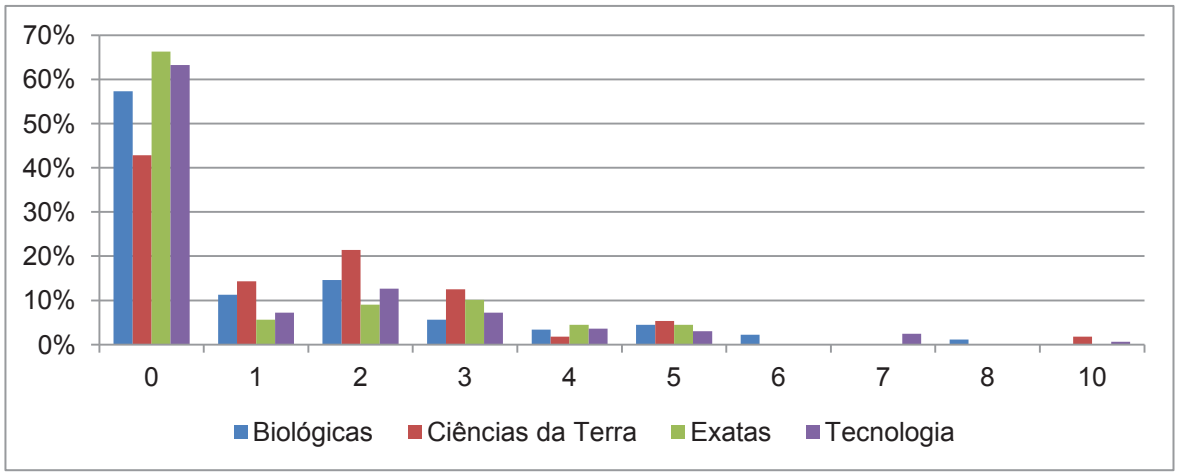

d) Manutenção da Jardinagem




e) Pessoas




f) Música alta




g) Passagem de aviões

FONTE: A autora (2020).

Sobre a problemática dos veículos, na questão do tráfego interno, o Setor Biológicas concentrou ¾ das respostas nas notas menores que 5, com destaque na nota 0 que compreendeu 30% dos usuários desse setor. Os setores de Exatas e Ciências da Terra foram os que tiveram maior representação em notas mais altas, o que pode ser explicado pela proximidade dos blocos com as vias de maior circulação no campus, especialmente o Bloco de Exatas, por estar localizado na região dos pontos de ônibus internos ao campus.

Já em relação ao tráfego no entorno do campus, o Setor Biológicas foi o que obteve maior número de respostas acima da nota 5, cerca de 35% dos entrevistados desse setor. Essa informação pode ser explicada pelo fato desse setor ser, comparativamente, o mais próximo das duas grandes vias com intenso fluxo de

veículos que circundam o campus. Os setores de Ciências da Terra e Exatas tiveram um comportamento parecido, enquanto que o de Tecnologia concentrou as respostas em notas mais baixas, com apenas 6% das escolhas em notas maiores do que 5.

O Setor de Ciências da Terra se destacou na questão do ruído da construção civil, já que esse é o mais próximo das obras realizadas no campus durante o período da pesquisa. Apenas 30% dos usuários do setor elencaram notas menores do que 5 para essa fonte, enquanto que nos outros setores essa parcela foi maior que 50% e especialmente no setor de Tecnologia foi de quase 70%. O grau máximo de incômodo, para essa fonte, teve um maior número de respostas também dentro do Setor de Ciências da Terra.

Esse setor teve um comportamento das respostas parecido para a fonte de manutenção da jardinagem. Para essa fonte, Biológicas e Exatas tiveram destaque na nota 0, com parcelas de 29,3% e 25,8%, respectivamente. Já o Setor de Tecnologia, no qual, as salas de aula são muito próximas às áreas com grama, teve a maior representação em notas altas, tanto quando comparado a outros setores nessa fonte, quanto no confrontamento do setor com outras fontes.

Como já visto na análise geral, anterior à avaliação por setor, o ruído gerado por pessoas teve a melhor distribuição de notas para todos os setores. Tanto a distribuição por notas, quanto a proximidade entre cada setor e a média foi mais uniforme para essa fonte.

O incômodo por música alta e passagem de aviões se mostrou fraco em todos os setores. O primeiro teve menos de ¼ de respostas acima de 5 em todos os setores, enquanto que o segundo não somou mais de 5% em nenhum dos setores para esses valores.

De acordo com Guimarães (2013) é importante analisar a interferência de uma variável em outra e as técnicas associadas a esse estudo representam uma ferramenta fundamental nas ciências sociais e do comportamento, na engenharia e nas ciências naturais. A associação entre duas variáveis quantitativas é preferencialmente expressa por um coeficiente de correlação, como por exemplo, o de Pearson. Porém, segundo Barbereta (2002) é importante ressaltar que o conceito de correlação refere-se a uma associação numérica entre duas variáveis, o que não implica necessariamente em uma relação de causa e efeito.

Visto que a questão que abrange o incômodo em relação às fontes utiliza variáveis quantitativas, a TABELA 15 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson dos confrontamentos entre os graus de incômodo das fontes. Esse coeficiente é um grau de relação entre duas variáveis quantitativas e exprime o grau de correlação através de valores situados entre -1 e 1.

TABELA 15 – CORRELAÇÕES ENTRE O GRAU DE INCÔMODO PELA FONTE

| **Relação entre as fontes de incômodo** | **Coeficiente de Pearson** | **Interpretação da correlação** |
|---|---|---|
| Tráfego de veículos no entorno x construção civil | 0,412 | Moderada |
| Tráfego de veículos no entorno x tráfego interno de veículos | 0,401 | Moderada |
| Pessoas x música alta | 0,367 | Fraca |
| Construção civil x tráfego interno de veículos | 0,342 | Fraca |
| Tráfego de veículos no entorno x passagem de aviões | 0,276 | Fraca |
| Tráfego de veículos no entorno x música alta | 0,27 | Fraca |
| Manutenção da jardinagem x tráfego interno de veículos | 0,252 | Fraca |
| Construção civil x manutenção da jardinagem | 0,251 | Fraca |
| Aviões x música alta | 0,212 | Fraca |
| Construção civil x passagem de aviões | 0,198 | Bem fraca |
| Tráfego de veículos no entorno x pessoas | 0,187 | Bem fraca |
| Música alta x tráfego interno de veículos | 0,168 | Bem fraca |
| Manutenção da jardinagem x passagem de aviões | 0,157 | Bem fraca |
| Pessoas x tráfego interno de veículos | 0,152 | Bem fraca |
| Aviões x tráfego interno de veículos | 0,134 | Bem fraca |
| Construção civil x música alta | 0,129 | Bem fraca |
| Manutenção da jardinagem x pessoas | 0,11 | Bem fraca |
| Construção civil x pessoas | 0,073 | Bem fraca |
| Tráfego de veículos no entorno x manutenção da jardinagem | 0,068 | Bem fraca |
| Manutenção da jardinagem x música alta | 0,065 | Bem fraca |
| Pessoas x passagem de aviões | 0,015 | Bem fraca |

FONTE: A autora (2020).

Observa-se que todas as correlações foram positivas, o que indica que, mesmo em diferentes graus, conforme uma das variáveis cresce há aumento na outra. Na análise, foi possível verificar 3 graus de correlação: mais da metade dos itens apresentou o mais baixo deles (coeficientes menores que 0,2), cerca de 30% se caracterizou como uma correlação fraca (coeficientes entre 0,2 e 0,39) e apenas 2 foram consideradas moderadas (coeficientes entre 0,4 e 0,69). Dos 8 primeiros itens (todos maiores que 0,25), 6 contam com a presença do tráfego – interno ou no

entorno – de veículos, o que indica que mesmo que elas não sejam as mais representativas na avaliação individual das fontes, se destacam no que tange a correlação entre o aumento de incômodo das mesmas e das demais.

Com a obtenção dos valores das correlações, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (TABELA 16) para essa questão, com o objetivo de encontrar um meio de condensar a informação contida nas várias variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas com uma perda mínima de informação. No entanto, para explicar aproximadamente 80% da variação dos dados são necessários 5 componentes principais, o que não se torna viável em um problema com 7 variáveis. Essa resposta aponta para o fato de não haver uma forte interdependência no entre as diferentes fontes, o que comprova uma relação subjetiva dos usuários no que diz respeito à percepção e o incômodo pelo ruído.

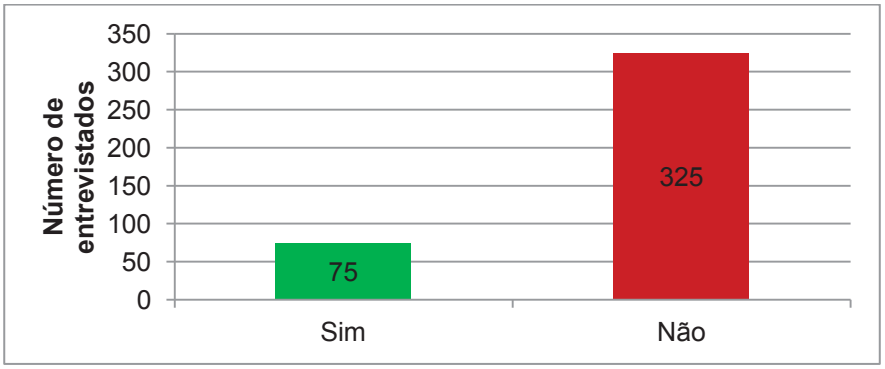
TABELA 16 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA AS FONTES DE RUÍDO

| **Componente** | **Valores próprios iniciais** | | |
|---|---|---|---|
| | **Total** | **% de variação** | **% cumulativa** |
| 1 | 2,292 | 32,737 | 32,737 |
| 2 | 1,174 | 16,776 | 49,514 |
| 3 | 0,938 | 13,400 | 62,914 |
| 4 | 0,866 | 12,368 | 75,282 |
| 5 | 0,639 | 9,122 | 84,404 |
| 6 | 0,612 | 8,745 | 93,149 |
| 7 | 0,480 | 6,851 | 100,000 |

FONTE: A autora (2020).

Além da questão do incômodo do ruído, outra pergunta realizada com opções de “sim” ou “não” foi sobre a opinião dos entrevistados no que diz respeito à relação do ruído do campus e a saúde dos usuários. As respostas ilustradas no GRÁFICO 17 demonstram que a grande maioria das pessoas, pouco mais de 80%, não acredita no potencial de o ruído percebido no campus prejudicar sua saúde. Durante o momento das entrevistas, muitos comentários sobre essa questão foram de que os usuários não perceberam nenhum problema de saúde advindo pelo ruído e que o ruído gerado na área não era substantivamente alto a ponto de causar danos à saúde.

GRÁFICO 17 – RESPOSTA À PERGUNTA “VOCÊ ACHA QUE O RUÍDO DO CAMPUS PREJUDICA A SAÚDE?”




FONTE: A autora (2020).

Assim como os usuários puderam atribuir uma escala de incômodo para cada fonte presente no campus, a pergunta final do questionário permitia que os usuários imputassem um valor para a intensidade de sintomas associados ao ruído gerado no campus. A TABELA 17 contempla as medidas de tendência central para essa pergunta.

TABELA 17 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL PARA SINTOMAS RELACIONADOS AO RUÍDO

| **Sintoma** | **Grau atribuído** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Mediana** | **Média** | **Desvio padrão** | **Coeficiente de variação (%)** |
| Irritação | 4,00 | 3,76 | 2,942 | 78,18 |
| Dificuldade de concentração | 5,00 | 4,75 | 2,846 | 59,98 |
| Insônia | 0,00 | ,55 | 1,436 | 263,55 |
| Dor de cabeça | 0,00 | 2,01 | 2,657 | 132,36 |
| Zumbido | 0,00 | 1,33 | 2,181 | 164,60 |

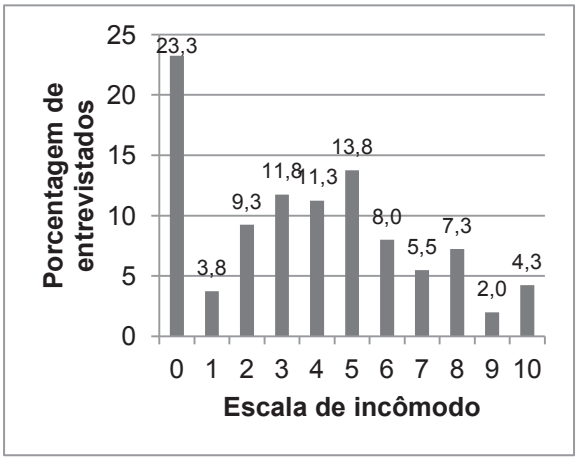
FONTE: A autora (2020).

Os valores de média e mediana observados são ainda menores dos que os resultados da pergunta sobre o incômodo pelas fontes. Dos 5 sintomas, 3 apresentaram uma mediana de 0 e médias não superiores a 2. Dessa forma, pode-se entender que os usuários, quando identificam e relacionam esses sintomas ao ruído do campus, percebem de forma branda. A dificuldade de concentração se destacou entre as respostas e mesmo assim, a média e mediana não ultrapassaram o nível médio. O desvio padrão e o coeficiente de variação foram elevados em todos sintomas, comprovando a heterogeneidade da amostra, especialmente para insônia. Para esse sintoma, a grande maioria das respostas foi próxima a 0 e com as poucas

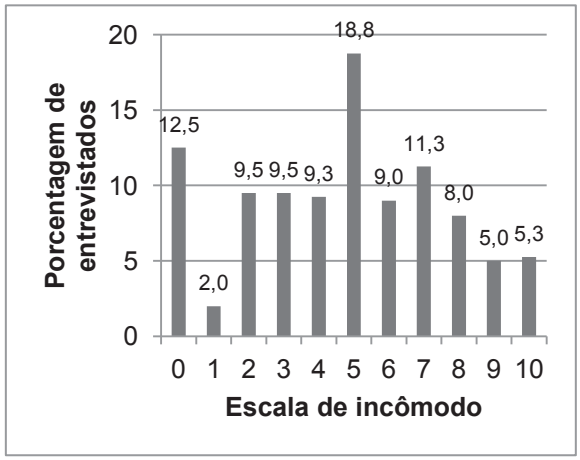
respostas para notas maiores, o desvio e o coeficiente de variação tiveram essa amplitude tão significativa.

A partir do GRÁFICO 18 é possível observar a distribuição das respostas dos indivíduos à essa questão. Visto que houve grande disparidade em algumas das questões, nomeadamente os sintomas “insônia” e “zumbido”, optou-se por apresentar a disposição das respostas em porcentagem de entrevistados ao invés de número absoluto.

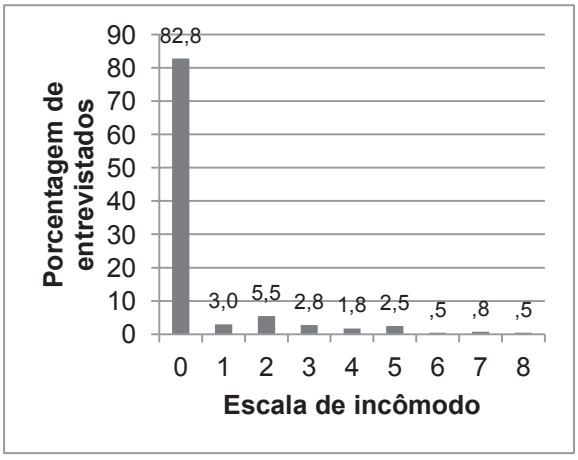
GRÁFICO 18 – INTENSIDADE DE SINTOMAS RELACIONADOS AO RUÍDO



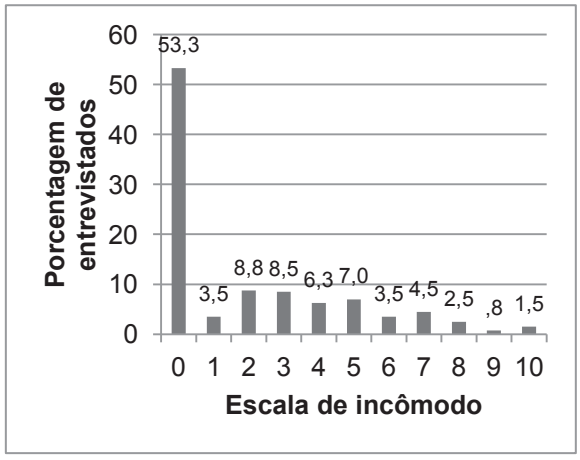

a) Irritação



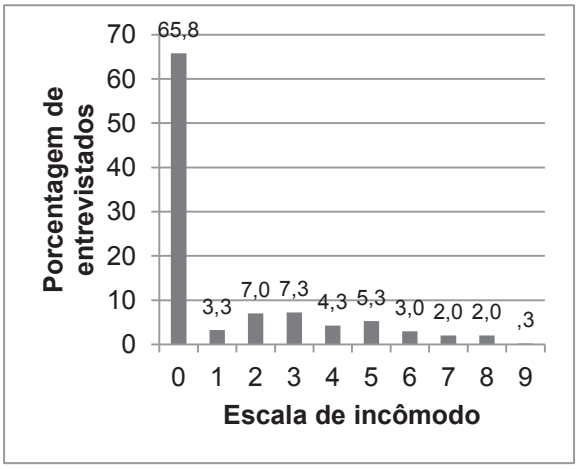

b) Dificuldade de concentração




c) Insônia




d) Dor de cabeça




e) Zumbido

FONTE: A autora (2020).

Dos sintomas apresentados, com exceção de “dificuldade de concentração”, a resposta de grau 0, que indica “não sinto” representou a maioria dos entrevistados, com destaque para a insônia, alternativa na qual 331 participantes responderam não ter esse sintoma por associação ao ruído do campus. Já no que tange a questão da influência do ruído na concentração, a maioria das respostas foi para o grau de médio, 75 pessoas optaram pelo valor 5 quando questionadas sobre a dificuldade de concentração associada ao ruído do campus.

Para “irritação” e “dificuldade de concentração”, a porcentagem de respostas de grau 0 foram as de menor valor. Os dois sintomas tiveram, respectivamente, 93 e 50 indivíduos que optaram pelo valor 0, enquanto que nos outros sintomas a atribuição a esse grau foi feita por mais de 200 participantes. Ainda, esses dois sintomas foram os que tiveram mais expressividade nas respostas para os graus iguais ou maiores que o médio. A soma para “irritação” foi de 163 usuários que optaram pelos níveis mais altos de sensibilidade, enquanto que para “dificuldade de concentração” esse valor foi de 229 participantes. Respostas semelhantes foram encontradas no estudo de Lacerda et. al. (2005) no qual os entrevistados quando questionados o que o ruído da rua lhes causava, elencaram como principais reações psicossociais a irritabilidade (55%) e a baixa concentração (28%).

Avaliou-se ainda, como mostra a TABELA 18, as correlações entre os sintomas identificados.

TABELA 18 – CORRELAÇÕES ENTRE A INTENSIDADE DOS SINTOMAS

| Relação entre os sintomas | Coeficiente de Pearson | Interpretação da correlação |
|---|---|---|
| Irritação x dificuldade de concentração | 0,67 | Moderada |
| Irritação x dor de cabeça | 0,458 | Moderada |
| Dor de cabeça x zumbido | 0,435 | Moderada |
| Dificuldade de concentração x dor de cabeça | 0,419 | Moderada |
| Insônia x dor de cabeça | 0,414 | Moderada |
| Insônia x zumbido | 0,385 | Fraca |
| Dificuldade de concentração x zumbido | 0,364 | Fraca |
| Irritação x zumbido | 0,298 | Fraca |
| Dificuldade de concentração x insônia | 0,29 | Fraca |
| Irritação x insônia | 0,278 | Fraca |

FONTE: A autora (2020).

Ainda que não tenham aparecido correlações de ordens maiores do que moderadas, percebe-se valores mais altos quando comparados aos valores de correlação das fontes de ruído e no caso dos sintomas não foram identificadas correlação “bem fracas”. O destaque nessa análise é da correlação entre os sintomas “irritação” e “dificuldade de concentração”, a qual por apenas 3 centésimos não foi considerada uma correlação forte. Pode-se entender, até pelos comentários mencionados nas entrevistas, que a partir da percepção do ruído, se há irritação, consequentemente dificulta-se a concentração e o caminho inverso também ocorre.

Assim, como na avaliação das fontes, para os sintomas foi aplicada a Análise de Componentes Principais (TABELA 19). Nesse caso, a ferramenta também não se mostra adequada, já que para explicar a variação de cerca de 80% dos dados, o número de componentes necessários é 3 em uma questão com 5 variáveis. Dessa forma, entende-se que as pessoas relatam seus sintomas de forma independente.

TABELA 19 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA AS FONTES DE RUÍDO

| Componente | Valores próprios iniciais | | |
|---|---|---|---|
| | Total | % de variação | % cumulativa |
| 1 | 2,617 | 52,344 | 52,344 |
| 2 | 0,914 | 18,282 | 70,627 |
| 3 | 0,614 | 12,284 | 82,911 |
| 4 | 0,536 | 10,722 | 93,634 |
| 5 | 0,318 | 6,366 | 100,000 |

FONTE: A autora (2020).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo se propôs a caracterizar o ruído ambiental em um campus universitário, através de medições, mapeamento sonoro e entrevistas de percepção de ruído. Os resultados objetivos apontam para uma situação de poluição sonora, já que os limites estabelecidos a nível nacional e municipal não foram respeitados em grande parte da área.

As medições dos níveis de pressão sonora comprovam o cenário crítico do local no que diz respeito a normas e legislações de ruído ambiental. O limite mais permissível avaliado, referente à ocupação geográfica do campus, foi superado em mais da metade dos pontos, enquanto que para o valor mais adequado de acordo com a mesma lei, diante da função do local, apenas 7 pontos respeitaram os parâmetros máximos. A pior avaliação se deu segundo a norma brasileira, na qual todos os pontos medidos excederam os valores estabelecidos. A área em torno do campus, delimitado por rodovias e vias de fluxo intenso, se destacou com valores acima de 70 dB (A), o que supera  o valor máximo da norma para todos os tipos de área.

Os mapas sonoros produzidos, os quais representam ferramentas de simulação computacional eficientes, capazes de quantificar dados de níveis de pressão sonora e representar graficamente a propagação sonora, confirmaram os resultados obtidos nas medições. O entorno do campus ficou delimitado por cores escuras que indicaram os níveis elevados de ruído, enquanto que internamente mesmo com uma suavização da escala de cores, determinadas áreas ficaram demarcadas por cores que representam níveis de pressão sonora acima dos permitidos. A inserção de parâmetros, como os veículos contabilizados em campo e os dados referentes a materiais e dimensões, foram de extrema importância para a calibração do modelo, o que possibilitou confiança nos gráficos gerados.

As entrevistas realizadas se mostraram uma fonte importante para entender a percepção dos usuários em relação ao ruído do campus. A amostra respeitou a proporção da população no que se refere à distribuição por setores e funções. De uma maneira geral, concentrou um público jovem (80% dos entrevistados abaixo de 30 anos), uma divisão equilibrada quanto ao gênero e de usuários que passam muito tempo na área: pouco mais de 75% frequentam o local por 5 dias na semana e aproximadamente 65 % passa mais de 6 horas por dia no campus.

As perguntas relacionadas ao ruído ambiental revelaram que mais de 60% dos entrevistados se sentem incomodados por esse fator e 40% consideram o nível de ruído ambiental razoável (nível médio entre as 5 opções dadas). Mesmo com uma parcela alta de respostas positivas para o incômodo, quando questionados sobre as fonte de ruído presentes no campus, a maioria das respostas se concentrou no grau 0 ou em notas mais baixas da escala. No que tange a relação entre o ruído ambiental do campus e a saúde, mais de 80% das pessoas acreditam que o ruído gerado não prejudica a saúde. Dentre os sintomas levantados, dificuldade de concentração e irritação foram os que tiveram maior expressão em notas mais altas.

Ainda que relações entre as notas atribuídas e os setores foram traçadas e possíveis explicações determinadas, diante da heterogeneidade das respostas e das baixas correlações entre as fontes de ruído, fica comprovado o aspecto subjetivo da percepção e do incômodo causado pelo ruído ambiental nos seres humanos. Há grande variação no entendimento sobre o ruído e seus possíveis danos, o qual é influenciado tanto por questões do meio quanto por condições físicas e psicológicas de cada indivíduo.

Visto que apesar da condição de poluição sonora do campus, indicada pelas medições e comprovada pelos mapas, as respostas aos questionários demonstram que os elevados níveis de ruído não incomodam ou não são percebidos por grande parte dos usuários. Diante disso, se evidencia a importância da conscientização sobre esse problema e sobre os prejuízos provocados tanto para a população quanto para o ambiente em geral. Além da questão da compreensão por parte da população, fica clara a necessidade de medidas de controle de ruído na área estudada, o que depende de políticas públicas interessadas no gerenciamento e mitigação do ruído emitido pelas diversas fontes existentes.

A metodologia utilizada neste trabalho se mostra como uma alternativa satisfatória para um estudo adequado de áreas expostas ao ruído. As medições são importantes por fornecerem dados quantitativos para avaliações de acústica, as simulações realizadas pelos mapas representam opções quando, por diferentes motivos, não é possível utilizar os medidores em campo, além de complementar estudos que executaram medições e predizer cenários futuros. As entrevistas contemplam uma ferramenta útil, já que através delas pode-se traçar um panorama da percepção do ruído pela população e de pontos primordiais a serem resolvidos. A

união desses três elementos é uma forte estratégia para a avaliação acústica e consequente correta tomada de decisões que priorize a qualidade de vida dos cidadãos e instaure medidas funcionais e economicamente viáveis para o controle do ruído ambiental.

## REFERÊNCIAS

AHMED, H.O.; ALI, W.J. Noise levels, noise annoyance, and hearing-related problems in a dental college. **Archives Of Environmental & Occupational Health**, v. 72, n. 3, p.159-165, 2017.

AMARILLA, R. S. D. **Estudo de barreira acústica no controle de ruído em um campus universitário**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

AMUNDSEN, A. H., KLAEBOE, R. **A Nordic perspective on noise reduction source.** Institute of Transport Economics – Noruega, 2005.

ANSAY, S. S. **Análise do Ruído Urbano no Campus Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.** 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2013.

ARANA, M.; SAN MARTIN, R.; SAN MARTIN, M. L.; ARAMENDIA, E. 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.

ARRUDA, F. R.; COELHO J. L. B; SLAMA, J. G. Aspectos do Controle de Ruído Urbano na Cidade do Rio de Janeiro. XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, p. 410-415, 2000.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-12179: **Tratamento acústico em recintos Fechados.** ABNT. 1992.

ASTOLFI, A.; PELLEREY, F.=. Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms. **The Journal Of The Acoustical Society Of America**, v. 123, n. 1, p.163-173, 2008.

AUSEJO, M.; TABACCHI, M.; RECUERO, M.; ASENSIO, C.; PAGÁN, R.; PAVÓN, I. Design of a Noise Action Plan based on a Road Traffic Noise Map. **Acta Acustica United With Acustica**, v. 97, n. 3, p.492-502, 2011.

ASENSIO C, RECUERO M, RUIZ M, AUSEJO M, PAVÓN I. Self-adaptive grids for noise mapping refinement. **Applied Acoustics**, v. 72, p. 599–610, 2011.

BABISCH, W.; HOUTHUIJS, D.; PERSHAGEN, G.; CADUM, E.; KATSOUYANNI, K.; VELONAKIS, M. Annoyance due to aircraft noise has increased over the years - Results of the HYENA study. **Environment International**, v. 35, n. 8, p.1169-1176, 2009.

BARBETTA, A. P. Estatística Aplicada às Ciências Sociais. 5 ed. Florianópolis: Ed. UFSC, 2002.

BARROS, C. J. O. Análise Espacial do Controle da Poluição Sonora em Belo Horizonte. XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, p. 380-385, 2000.

BASNER, M., BABISCH, W., DAVIS, A., BRINK, M., CLARK, C., JANSSEN, S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. **The Lancet**, v. 383, n. 9925, p.1325-1332, 2014.

BEHESHTI, M.H.;HAJIZADEH, R.; JEBELI, M.B; ZIA, G.; DAMYAR, N. The role of individual and personality traits in noise annoyance. **Annals of Medical and Health Sciences Research**, v. 8; n. 3, p. 133-138, 2018.

BELLUCCI, P.; PERUZZI, L. ZAMBON, G. LIFE DYNAMAP project: The case study of Rome. **Applied Acoustics**, v. 117., p. 193-206, 2017.

BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D. H. **Guidelines for community noise**. Geneva: World Health Organization: Protection of the Human Environment, 1999.

BERTOLI, S.R.; PAIVA, C.E.L. Exposição não ocupacional a ruído de passageiros de trens metropolitanos da grande São Paulo, XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, p. 386-391, 2000.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H.; HOWARD, C. Q. **Engineering Noise Control**. 5th Edition. Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, 855 p., 2018.

BISTAFA, S. R.; **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: EdgardBlücher, 2006.

BITAR, O. Y.; ORTEGA, R. D. E. Gestão ambiental. In: OLIVEIRA, A. M. de; BRITO, S. N. A. de (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 499-508.

BORELLI, D.; REPETTO, S.; SCHENONE. Noise Mapping of the Flyover Highway in Genoa: comparison of different methods. **Noise Mapping**, v. 1, n. 1, p.59-73, 2014.

BRINK M.; WUNDERLI, J. M. A field study of the exposure-annoyance relationship of military shooting noise. **The Journal Of The Acoustical Society Of America**, v. 127, n. 4, p.2301-2311, 2010.

BRITO, L. A. P. F. The use of acoustic maps as excess noise identification tool in urban areas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p.1095-1107, 2017.

BRÜEL & KJÆR. **Environmental Noise Booklet**. Brüel & Kjær. Dinamarca, 2000.

BRUEL & KJÆR. **Predictor –Lima v.8.1 user guide**. Bruel & Kjaer Sound and Vibration A/S, 2010.

BUNN, F; ZANNIN, P. H. T. Assessment of railway noise in an urban setting. Applied Acoustics, v. 104, p. 16-23, 2016.

CAI, M.; ZOU, J.; XIE, J.; MA, X. Road Traffic Noise Mapping in Guangzhou Using GIS and GPS. **Applied Acoustic**, v. 87, p. 94-102, 2015.

CALIXTO, A., DINIZ, F.B., ZANNIN, P. H. T. The modeling of road traffic in an urban setting. **Cities**, v. 20, n. 1, p. 23-29, 2003.

CHAKRABARTY, D., SANTRA, S. C., MUKHERJEE, A., ROY, B.; DAS, P. Status of road traffic noise in Calcutta metropolis, India. **The Journal Of The Acoustical Society Of America**, v. 101, n. 2, p.943-949, 1997.

CHÁVEZ, O., YOZA, L., ARELLANO, A. Distribución del ruido ambiental en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina en el periodo Enero-Marzo 2007, **Anales científicos UNALM**, v. 70, n. 2, 2009.

CIDADE DE MIAMI. Code of Ordinances. Codified through Ord. No. 11483, 1997.

COCHRAN, W. G. **Sampling techniques**. 3.ed., John Wiley, 1977.

ÇOLAKKADđOğLU, D., YUCEL, M., KAHVECI, B., AYDINOL, O. 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.1-14, 2018.

CENTRAL POLLUTION CONTROL BOARD (CPCB). **The Noise Pollution (Regulation and Control) Rules, 2000**. New Delhi, Índia, 2011.

DAVIES, W. J.; ADAMS, M. D.; BRUCE, N. S.; CAIN, R.; CARLYLE, A., CUSACK, P. Perception of soundscapes: An interdisciplinary approach. **Applied Acoustics**, v. 74, n. 2, p. 224-231, 2013.

DOCKRELL, J. E.; SHIELD, B. M. Children's perceptions of their acoustic environment at school and at home. **The Journal Of The Acoustical Society Of America**, v. 115, n. 6, p. 2964-2973, 2004.

DOYGUN, H.; GURUN, D. K.Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaraş, Turkey. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 142, n. 1-3, p.65-72, 2008.

DURACOTE. Decoupled Sound. Disponível em: <https://www.duracote.com/blog/decoupled-sound/>. Acesso em: 15 jun. 2019.

DZHAMBOV, A.; TILOV, B.; MARKEVYCH, I.; DIMITROVA, D. Residential road traffic noise and general mental health in youth: The role of noise annoyance, neighborhood restorative quality, physical activity, and social cohesion as potential mediators. **Environment International**, v. 109, p.1-9, 2017.

ECE, M.; TOSUN, I.; EKINCI, K.; YALÇINDAĞ, N.S. Modeling of road traffic noise and traffic flow measures to reduce noise exposure in Antalya metropolitan

municipality. **Journal Of Environmental Health Science And Engineering**, v. 16, n. 1, p.1-10, 2018. Journal

EL-SHARKAWY, M. F.; ALSUBAIE, A.S.R. Study of environmental noise pollution in the university of dammam campus. **Saudi Journal Of Medicine And Medical Sciences**, v. 2, n. 3, p.178-184, 2014.

ENGEL, M. S. **Caracterização da Poluição Sonora, através de medições e mapeamentos sonoros e entrevistas de percepção sonora na Linha Verde em Curitiba.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2012.

ENGEL, M.S.; SEGUNDO, E.H.V.; HOCHSTEINER, E.; ZANNIN, P.H.T. Statistical analysis of a combination of objective and subjective environmental noise data using factor analysis and multinomial logistic regression. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, p. 393-399, 2014.

European Environment Agency. Noise in Europe 2014; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2014.

EVEREST, F. A.; POHLMANN, K. C. **Master HandBookf of Acoustics**, 5 ed. McGraw-Hill, 2009.

FARCAȘ, F.; SIVERTUN, A. Road Traffic noise: GIS Tools for Noise Mapping and a Case Study of Skane Region. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 34, part XXX, 2009.

Federal Environmental Protection Agency (1995): Guidelines and standard for Environmental Pollution Control in Nigeria (FEPA), Abuja.

FERNANDES, A. P. S. **Ruído Ocupacional Avaliação de Ruído**. Dissertação (Mestrado em Segurança e Higiene no trabalho), Instituto Politécnico de Setúbal, 2013.

FIEDLER, P. E. K. **Poluição Sonora nos Eixos Estruturais de Transportes da Cidade de Curitiba-PR**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2013.

FIEDLER, P. E. K.; ZANNIN, P. H. T. Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs—Noise maps and measurements. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 51, p.1-9, 2015a.

FIEDLER, P. E. K.; ZANNIN, P.H. T. Noise mapping as a tool for urban planning. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 74, p. 114-116, 2015b.

FILHO, J. J. S.; STEFFEN, J. L.; ANDREASE, W. A.; ZANNIN, P. H. T. Urban Noise Assessment Based on Noise Mapping and Measurements. **Canadian Acoustics**, v 43, n. 1, p. 3-10, 2015.

FRYD, J.; PEDERSEN T. H. Noise Annoyance from Urban Roads and Motorways. **Internoise 2016**, p. 5666-5677, 2016.

GERAVANDI, S.; TAKDASTAN, A.; ZALLAGHI, E.; VOUSOGHINIRI, M.; MOHAMMADI, M. J. Noise Pollution and Health Effects. **Jundishapur Journal of Health Sciences**, v. 7, n. 1, p. 1-5, 2015.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2 ed. Florianópolis, 2000.

GOELZER, B.; HANSEN, C. H; SEHRNDDT, G. A. **Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control.** Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2001.

GOLMOHAMMADI, R.; GHORBANI, F.; MAHJUB, H.; DENESHMEHR, Z. Study of school noise in the capital city of Tehran-Iran. **Iran Journal of Environmental Health, Science and Engineering**, v. 7, n. 4, p. 365-370, 2010.

GOSWAMI, S.; NAYAK, S. K.; PRADHAN, A. C.; DEY, S. K. A study on traffic noise of two campuses of University, Balasore, India. **Journal of Environmental Biology**, v. 32, p. 105-109, 2011.

GOSWAMI, S.; SWAIN, B. K.; PANDA, S. K. Assessment, analysis and appraisal of road traffic noise pollution in Rourkela city, India. **Journal of Environmental Biology**, v. 34, n. 5, p. 891-895, 2013.

GUARINONI, M.; GANZLEBEN, C.; MURPHY, E. Impact of environmental noise on health. In: **Towards A Comprehensive Noise Strategy**, p. 11–23, 2012.

GUEDES, I. C. M; BERTOLI, S. R., ZANNIN, P. H. T. Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju - Brazil. **Science Of The Total Environment**, v. 412-413, p.66-76, 2011.

GUEDES, M.; LEITE, M. J. Directrizes para elaboração de mapas de ruído. 3ª edição, **Agência Portuguesa do Ambiente**, 2011.

GUIMARÃES, Paulo Ricardo B. **Análise de Correlação e medidas de associação**. DEST/UFPR, 2013.

GUNES, M.; OZYAVUZ, M.Noise mapping of Namik Kemal University Campus (Tekirdag – Turkey) by using geographic information systems. **Journal of Environmental Protection and Ecology**, v. 19, n. 1, p. 186-195, 2018.

HAMMERSEN, F.; NIEMANN, H.; HOEBEL, J. Environmental Noise Annoyance and Mental Health in Adults: Findings from the Cross-Sectional German Health Update (GEDA) Study 2012. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, v. 13, n. 10, p.954-1006, 2016.

HANSEN, C. **Noise control: From concept to application**. New York: Taylor & Francis, 2005.

HARON, Z.; HAN, L. M.; DARUS, N. A preliminary study of environmental noise in public university. **Jurnal Teknologi**, v. 77, n. 16, p.145-151, 2015.

HARRIS, C. M. **HandBook of Acoustical Measurements and Noise Control.** 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1646 p., 1998.

HASSALL, J. R.; ZAVERI, K.; Acoustic Noise Measurement. 4 ed. Dinamarca: Brüel&Kjaer Magazine, 280 p., 1979.

HINTZCHE, M.; HEINRICHS, E. Traffic Noise and Noise Action Planning in Germany. **2018 Joint Conference - Acoustics**, p.1-5, 2018.

IBRAHIM, S. A. J. Noise Mapping of the Campus of the College of Engineering/The University of Al- Mustansiriyah.**Journal of Environment and Earth Science**, v.5, n. 4, p. 108-115, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. . ISO 9613: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation. Suiça, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996-2 Acoustics – Description, Measurement and assessment of environmental noise – Part 2:** Determination of Environmental noise levels, Suíça, 2007.

ISMAIL, S., AHMED, S. Noise Pollution, Its Sources and Effects: A Case Study of University Students in Delhi. **EPRA International Journal of Economic and Business Review**, v. 6, n. 2, p. B15-B23, 2018.

J.M.B.; GONZÁLES, D.M.; GOZALO, G.R. A review of the measurement procedure of the ISO 1996 standard. Relationship with the European Noise Directive. **Science Of The Total Environment**, v. 565, p.595-606, 2016.

JABBEN, J.; POTMA C.J.; SWART W.J. Continuous monitoring of noise emission from roadways. **Proceedings of the Inter-Noise**. The Hague, 2001.

JAKOVLJEVIC, B.; PAUNOVIC, K.; BELOJEVIC, G. Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population. **Environment International**, v. 35, n. 3, p.552-556, 2009.

JEONG, J. H.; DIN, N.B.C.; OTSURU, T.; KIM, H.C. An Application of Noise Maps for Construction and Road Traffic Noise in Korea. **International Journal of the Physical Science**. v. 5, n. 7, p. 1063-1073, 2010.

JOB, R. F. S. Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. **The Journal Of The Acoustical Society Of America**, v. 83, n. 3, p.991-1001, 1988.

KALANSURUIYA, C.M.; PANNILA, A.S.; SONNDARA, D.U.J. Traffic composition and variability of road traffic noise levels in the vicinity of Colombo, Sri Lanka. **Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka**, v. 43, p, 135-140, 2015.

KANG, J.; DU, Z. Sound field and acoustic comfort in library reading rooms. **Proceedings of the 10th international congress on sound and vibration,** p. 4779–4786, 2003.

KATALIN, A. Studying noise measurement and analysis. **Procedia Manufacturing**, v. 22, p.533-538, 2018.

KENNEDY, M.; HODGSON, M.; EDGETT, D.; LAMB, N.; REMPEL, R. Subjective assessment of listening environments in university classrooms: Perceptions of students. **The Journal Of The Acoustical Society Of America**, v. 119, n. 1, p. 299-309, 2006.

KING, E.A.; MURPHY, E. Environmental noise – 'Forgotten' or 'Ignored' Pollutant? **Applied Acoustics**, v. 112, p.211-215, 2016.

KINSLER, L. E.; FREY, A. R; COPPENS, A. B; SANDERS J. V. **Fundamentals of Acoustic,** 3 ed. USA, 1982.

KLAEBOE, R.; ENGELIEN, E.; STEINNES, M. Context sensitive noise impact mapping. **Applied Acoustics**, n. 67, p. 620-642, 2006.

KLEIN, A.; MARQUIS-FAVRE, C.; CHAMPELOVIER, P. Assessment of annoyance due to urban road traffic noise combined with tramway noise. **The Journal Of The Acoustical Society Of America**, v. 141, n. 1, p.231-242, 2017.

LACERDA A B. M.; MAGNI C.; MORATA T. C.; MARQUES J. M.; ZANIN P. H. T. Ambiente urbano e percepção da poluição Sonora. Ambiente & Sociedade, v. 8, n. 2, p. 1-15, 2005.

LAM, K. C.; CHAN, P. K.; CHAN, T. C.; AU, W. H.; HUI, W. C. Annoyance response to mixed transportation noise in Hong Kong. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 1, p.1-10, 2009.

LICITRA, G. **Acceptable difference between sound measurements and noise map calculation**. Mensagem recebida por <paulo.zannin@gmail.com> em 02 set. 2019.

LICITRA, G. **Noise Mapping in the EU**. 1 ed. New York: Taylor and Francis Group, 2013.

LICITRA, G; MENOLI, G. Limits and advantages of Good Practice Guide to Noise Mapping**.** In: EURONOISE – EUROPEAN CONFERENCE ON NOISE CONTROL, 7, 2008, Paris. **Anais eletrônicos.** Paris: European Acoustic Association, 2008.

MAGIOLI, F. B.; TORRES, J. C. B. Influência das transformações urbanas no conforto acústico: estudo-piloto da cidade universitária da UFRJ. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 2, p.400-413, 2018.

MAKAREWICZ, R., GALUZKA, M. Empirical revision of noise mapping. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p.578-581, 2011.

MAKAREWICZ, R., GALUZKA, M. Road traffic noise prediction based on speed-flow diagram. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 4, p.190-195, 2011.

MANWAR, V.; MANDAL, B. B.; PAL, A. K. Environmental propagation of noise in mines and nearby villages: a study through noise mapping. **Noise and Health**, v. 18, n. 63, p. 185-193, 2016.

MATEUS, D. Acústica de Edifícios e Controlo do Ruído. Lisboa, 2008.

MELO, R. A.; PIMENTEL, R. L.; LACERDA, D. M.; SILVA, W. M. Applicability of models to estimate traffic noise for urban roads. Journal **Of Environmental Health Science And Engineering**,v. 13, n. 1, p. 1-7, 2015.

MENDONCA, A. B. D. ; SURIANO, M. T.; SOUZA, L. C. L.; VIVIANI, E. Classes de quadras urbanas determinadas pelos níveis de ruídos. **Urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 480, p.63-77, 2013.

MERCHAN, C. I; DIAZ-BALTEIRO, L. Noise pollution mapping approach and accuracy on landscape scales. **Science Of The Total Environment**, v. 449, p. 115-125, 2013.

MEYER, R., BENETTO, E., MAUNY, F., LAVANDIER, C. Characterization of damages from road traffic noise in life cycle impact assessment: A method based on emission and propagation models. **Journal Of Cleaner Production**, v. 231, p.121-131, 2019.

MIEDEMA, H. M.; OUDSHOORN, C. G. Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. **Environmental Health Perspectives**, v. 109, n. 4, p.409-416, 2001.

MIEDEMA, H. M.; VOS, H. Exposure-response relationships for transportation noise. **The Journal Of The Acoustical Society Of America**, v. 104, n. 6, p.3432-3445, 1998.

MILANEZ, M. L. Análise do impacto ambiental sonoro com a implantação do Trecho Norte da Linha Verde em Curitiba. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2013.

MINICHILLI, F.; GORINI, F.; ASCARI, E.; BIANCHI, F.; COI, A.; FREDIANELLI, L.; LICITRA, G.; MANZOLI, F.; MEZZASALMA, L.; CORI, L. Annoyance Judgment and Measurements of Environmental Noise: A Focus on Italian Secondary Schools. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, v. 15, n. 2, p.208-225, 2018.

MIRZAEI, R.; ANSARI-MOGADDAM, A.; MOHAMMADI, M.; RAKHSHANI, F.; SALMANPOR, M. Noise Pollution in Zahedan and Residents' Knowledge About Noise Pollution. **Journal Of Health Scope**, v. 1, n. 1, p.3-6, 2012.

MISHRA, R. K.; PARIDA, M.; RANGNEKAR, S. Evaluation and analysis of traffic noise along bus rapid transit system corridor. **International Journal Of Environmental Science & Technology**, v. 7, n. 4, p.737-750, 2010.

MOHAMMADI, G. An Investigation of Community Response to Urban Traffic Noise. **Global Perspective For Competitive Enterprise, Economy And Ecology**, p.673-680, 2009.

MORAES, E; LARA, L.; TOGUCHI, L.; PINTO, A.Mapa de ruídos da Zona Comercial de Belém, uma parcela do mapa de ruídos da cidade de Belém, Brasil.**TecniAcustica**, 2003.

MOTEALLEMI, A.; BINA, B.; MORTEZAIE, S. Effects of noise pollution on Samen district residents in Mashhad city. **Environmental Health Engineering And Management**, v. 5, n. 1, p.23-27, 2018.

MUNZEL, T., GORI, T., BABISCH, W., BASNER, M. Cardiovascular effects of environmental noise exposure. **European Heart Journal**, v. 35, n. 13, p.829-836, 2014.

MUNZEL, T., SCHMIDT, F.P., STEVEN, S., HERZOG, J., DAIBER, A., SORENSEN, M. Environmental Noise and the Cardiovascular System. **Journal Of The American College Of Cardiology**, v. 71, n. 6, p.688-697, 2018.

MURPHY, E., KING E.A. Strategic environmental noise mapping: methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directives and their policy implications. **Environmental International**, v. 36, n. 3, p. 290-298, 2010.
MURPHY, E.; KING, E.A. **Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health and Policy**. Elsevier. San Diego, CA. 2014.

MURPHY, E.; KING, E.A. Scenario Analysis and Noise Action Planning: Modelling the Impact of Mitigation Measures on Population Exposure. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 487-494, 2011.

MURPHY, E; DOUGLAS, O. Population exposure to road traffic noise: Experimental results from varying exposure estimation approaches. **Transportation Research Part D**: Transport and Environment, v. 58, p.70-79, 2018.

MURPHY, E; FAULKNER, J. P.; DOUGLAS, O. Current State-of-the-Art and New Directions in Strategic Environmental Noise Mapping. **Current Pollution Reports**, v. 6, n. 2, p. 54-64, 2020.

MUZET, A. Environmental noise, sleep and health. **Sleep Medicine Reviews**, v. 11, n. 2, p.135-142, 2007.

NARDI, A.S.L.V**. Mapeamento Sonoro em ambiente urbano: Estudo de caso: área central de Florianópolis.** 162 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

OKOKON, E. O.; TURUNEN, A. W.; UNG-LANKI, S.; VARTIAINEN, A. K.; TIITTANEN, P.; LANKI, T. Road-Traffic Noise: Annoyance, Risk Perception, and Noise Sensitivity in the Finnish Adult Population. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, v. 12, n. 6, p.5712-5734, 2015.

OMIDVARI, M.; NOURI, J. Effects of noise pollution on traffic policemen. **International Journal of Environmental Research**; v. 3, n. 4, p. 645-665, 2009.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe, World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, 2011.

Organização Mundial da Saúde (OMS). Environmental Noise Guidelines for the European Region; WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Dinamarca, 2018.

OTUTU, O.J. Investigation of environmental noise within Campus 2, Delta State University, Abraka, Nigeria. **International Journal of Recent Research and Applied Studies**, v. 6, n. 2,p. 223-229, 2011.

OZER, S., ZENGIN, M.; YILMAZ, H. Determination of the Noise Pollution on University (Education) Campuses: a Case study of Ataturk University. **Ekoloji**, p.49-54, 2014.

PAIVA K. M; CARDOSO, M. R .A.; RODRIGUES R. M. G. C. Noise pollution and annoyance: An urban soundscapes study. **Noise & Health**, v. 17, p. 125, 2015.

PAIVA K. M.; CARDOSO, M. R. A.; ZANNIN, P. H. T. Exposure to road traffic noise: annoyance, perception and associated factors among brazil's adult population. **Science Of The Total Environment**, v. 650, p. 978-986, 2019.

PARLAMENTO EUROPEU. Directiva 2002/49/EC. Assessment and management of environmental noise, 2002.

PATIL, C.R.; MODAK, J. P.; CHOUDHARI, P. V.; DHOTE, D. S. Subjective analysis of road traffic noise annoyance around major arterials in intermediate city. **European Journal of Applied Sciences**, v. 3, n. 2, p. 58-61, 2011.

PAZ, E. C. **Estudo de um modelo de avaliação e predição acústica para o ruído de tráfego.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, 2004.

PAZ, E. C., ZANNIN, P. H. T. Avaliação da poluição sonora no campus III – Campos Centro Politécnico e Campus Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná – Curitiba, PR, RaEga, v. 26, p. 05–34, 2012.

PAZ, E. C.; FERREIRA, A. M. C.; ZANNIN, P. H. T. Estudo comparativo da percepção do ruído urbano. **Revista de Saúde Pública**, v. 39, n. 3, p. 467-472, 2005.

PAZ, E. C.; ZANNIN, P. H. T. Urban daytime traffic noise prediction models. **Environmental monitoring and assessment**, v. 163, p. 515-529, 2010.

PEREIRA, M. Percepção Sonora no Espaço Público: Indicadores de Tolerância ao Ruído na Cidade do Rio de Janeiro. **Anais do ENCAC –ELACAC**, p. 779-786, 2003.

PÉREZ, F. P.; BARO, E. N.; ANCELA, J. L. C. Mapa Estratégico de Ruido Del Campus Universitário de Teatinos (Malaga), **TecniAcustica**, 2010.

PINTO, F. A. C.; MARDONES, M. D. M. 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, 2008.

PINTO, F.R; GUEDES, M.G.; LEITE, M.J. **Projecto-piloto de demonstração de mapas de ruído - escalas municipal e urbana.** Portugal: Instituto do Ambiente, 2004.

PLACK C. **The sense of hearing**. 3ª edição. New Jersey, EUA: Lawrence Erlbaum Associates Inc, 2018.

POPESCU, D. I.; MOHOLEA, I. F. Monitoring the Reaction and Response of People to Urban Noise. **Archives Of Acoustics**, v. 35, n. 2, p.237-244, 2010.

POPESCU, D.I.; URSU-FISCHER, N.; MOHOLEA, J.F.. Road traffic noise in Cluj-Napoca city- ten years after the first strategic noise map. **Acta Technica Napocensis - Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering**, v. 60, n. 4, p. 515-520, 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA – PMC, SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – SMMA. Lei nº 10.625, de 19 de fevereiro de 2002: Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público e dá outras providências. Curitiba, 2002.

RAJA, R.; RAJASEKARAN, V.; SRIRAMAN, G. Non-auditory Effects of Noise Pollution on Health: A Perspective. **Indian Journal Of Otolaryngology And Head & Neck Surgery**, p.1-2, 2019.

RIBAS, A. **Reflexões sobre o ambiente sonoro na cidade de Curitiba: a percepção do ruído urbano e seus efeitos sobre a qualidade de vida de moradores dos setores especiais estruturais**. 219 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, 2007.

ROSSING, T. D; MOORE, F. R.; WHEELER, P. A. **The Science of Sound**. 3 ed. Los Angeles: Pearson Addison Wesley, 680 p., 2001.

SALOMONS, E. M.; JANSSEN, S. A. Practical Ranges of Loudness Levels of Various Types of Environmental Noise, Including Traffic Noise, Aircraft Noise, and Industrial Noise. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, v. 8, n. 6, p.1847-1864, 2011.

SARANTAKOS, S. **Social Research**. 3. Ed. New York: Palagrave MacMillian, 2005.

SATTLER, M. A. Urban noise survey for the city of Porto Alegre, Brazil. **The Journal Of The Acoustical Society Of America**, v. 105, n. 2, p.1282-1282, 1999.

SILVA, Â.; SILVA, L.; SOUZA, L. Avaliação do ruído num bairro residencial em Bauru: SP - Situação de pico de tráfego. In: **4º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano Regional Integrado e Sustentável**. Faro, 2010.

SILVEIRA, S.Q.; DINIZ, P. **Análise do monitoramento de níveis de pressão sonora nos biênios 1987/1988 e 1997/1998**. Monografia (Aperfeiçoamento/Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental). Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

SIMÓN, F.; MORAES, E.; GUIMARÃES, L.; FERNANDEZ, M. J. Caracterización del ruido de la ciudad de Belém. **Congresso Ibérico de Acústica**. Universidade de Coimbra, 2008.

SOARES, P. D. **Avaliação da Poluição Sonora Ambiental na Cidade de Curitiba**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Paraná, 2013.

SOARES, P.; ZANNIN, P. H. T.; RIBEIRO, R.; SANTOS, G.; CONSTANTINI,A. **Análise Espectral do Ruído no Entorno do Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná.** Raega – O Espaço Geográfico em Análise; V. 32. 2014.

SOUZA, T. B.; ALBERTO, K. C.; BARBOSA, S. A. Evaluation of noise pollution related to human perception in a university campus in Brazil. **Applied Acoustics**, v. 157, p.1-11, 2019.

SU, W.; KANG, J.; JIN, H. Acoustic Environment of University Campuses in China.ACTA – **Acustica United With Acustica**, v. 99, p. 410-420, 2013.

SUÁREZ, E.; BARROS, J. I. Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. **Science Of The Total Environment**, v. 466-467, p.539-546, 2014.

SUBRAMANI, T.; KAVITHA, M.; SIVARAJ, K. P. Modelling Of Traffic Noise Pollution. International. **Journal of Engineering Research and Applications**, v. 2, n. 3, p. 3175-3182, 2012.

SUDARSAN, J. S.; NITHIYANANTHAM, S. Study on Noise Pollution at SRM University Campus (South India–Asia). **Advanced Science, Engineering And Medicine**, v. 8, n. 11, p.896-905, 2016.

SZEREMETA, B. **A percepção dos praticantes de atividade física sobre a qualidade ambiental sonora dos parques públicos de Curitiba-PR**. 144 f. Tese (Doutorado em Educação Física). Departamento de Educação Física, Universidade Federal do Paraná, 2010.

SZEREMETA, B.; ZANNIN, P. H. T. Analysis and evaluation of soundscapes in public parks through interviews and measurement of noise. **Science Of The Total Environment**, v. 407, n. 24, p.6143-6149, 2009.

THATTAI, D.; SUDARSAN, J.S.; SATHYANATHAN, R.; RAMASAMY, V. Analysis of noise pollution level in a University campus in South India. **Iop Conference Series**: Earth and Environmental Science, v. 80, p. 1-7, 2017.

TRIMMEL, M.; POELZL, G. Impact of background noise on reaction time and brain DC potential changes of VDT-based spatial attention. **Ergonomics**, v. 49, n. 2, p.202-208, 2006.

TZIVIAN, L.; JAKISCH, M.; WINKLER, A.; WEIMAR, C.; HENNIG, F.; SUGIRI, D.; SOPPA, V. J.; DRAGANO, N.; ERBEL, R.; JÖCKEL, K.H.; MOEBUS, S. Associations of long-term exposure to air pollution and road traffic noise with cognitive function - An analysis of effect measure modification. **Environment International**, v. 103, p.30-38, 2017.

UFPR - Universidade Federal do Paraná. **A Universidade**. Disponível em: < http://www.ufpr.br/portalufpr/a-universidade-institucional/ >. Acesso em 20 de jul. de 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Pró-Reitora de Planejamento, Orçamento e Finanças. **Relatório de Atividades**. Curitiba, 2016.

VALLE, S. Manual Prático de Acústica – 3ª Edição, Revisada e Ampliada. Editora Música & Tecnologia – 2009.

VIEIRA, T.J. **Avaliação da poluição sonora nos campi Centro Politécnico e Jardim Botânico através de medições e mapas de ruído.** 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2018.

WELCH, D.; SHEPHERD, D.; DIRKS K.N.; MCBRIDE, D; MARSH, S. Road traffic noise and health-related quality of life: A cross-sectional study. **Noise Health**. v. 15, n. 65, p.224-230, 2013.

WG-AEN. Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, v.2, 2007. Disponível em <http://sicaweb.cedex.es/docs/documentacion/Good-Practice-Guide-for-Strategic-Noise-Mapping.pdf>

World Health Organization (1980): “International Standard/Acceptable Levels. Nigeria.

ZANNIN, P. H. T. Noise Pollution in Urban and Industrial Environments: Measurements and Noise Mapping. **Nova Science Publishers**, 2016.

ZANNIN, P. H. T.; BUNN, F. Noise annoyance through railway traffic - a case study. **Journal Of Environmental Health Science And Engineering**, v. 12, n. 1, p.1-12, 2014.

ZANNIN, P. H. T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F. B.; FERREIRA, J. A. C.; SCHUHLI, R. B. Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 4, p.521-524, ago. 2002.

ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B.; FERREIRA, J. A.; BARBOSA, W. Environmental Noise Pollution in the City of Curitiba, Brazil. **Applied Acoustics**, v. 63, p. 351-358, 2002.

ZANNIN, P. H. T.; ENGEL, M. S.E.; FIEDLER, P. E. K.; BUNN, F. 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, 2013b.

ZANNIN, P. H. T.; FERRAZ, F. Assessment of Indoor and Outdoor Noise Pollution at a University Hospital Based on Acoustic Measurements and Noise Mapping. **Open Journal of Acoustics,** v. 6, p. 71-85, 2016.

ZANNIN, P. H. T.; ZWIRTES, D. P. Z. Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools. Applied Acoustics, v. 70, n. 4, p.626-635, 2009.

ZANNIN, P. H.T.; FERREIRA, A. M. C.; Field measurements of acoustic quality in university classrooms. **Journal of Scientific And Industrial Research**, v. 68, p. 1053-1057, 2009.

ZANNIN, P.H.T.; CALIXTO A.; DINIZ, F.B.; FERREIRA, J.A. A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 23, n. 2, p.245-255, 2003.

ZANNIN, P.H.T.; SANT'ANA, D. Q. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project – A case study in Brazil. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 479-486, 2011.

ZANNNIN, P. H. T.; GAMA, V. L.; CUNHA, M. L.; DAMIANI, E. F.; BENETTI, M.; BIANCHI, H.; HORA, A. L. S.; GUEDES, G. B.; PORTELLA, T. L.; PINTO, V. A. J.; SANT'ANA, D.Q. Noise Mapping of an Educational Environment. **Canadian Acoustic,**v. 41, n. 1, p.27-34, 2013a.

ZANNIN, P. H. T; VALLE, F.; NASCIMENTO, E. O. Assessment of Noise Pollution along Two Main Avenues in Curitiba, Brazil. **Open Journal Of Acoustics**, v. 09, n. 02, p. 26-38, 2019.

ZHANG, X,; HU, Y.; RAN, X.; ZHANG, Y.; ZHONG, Y.; ZENG, J.; ZHENG, H. Investigation and Measurement Analysis of Campus Noise Pollution Based on a

University in Hengyang. **Iop Conference Series**: Materials Science and Engineering, v. 592, p.1-6, 2019.

ZHOU, J.; ZHANG, X. Monitoring and Assessment of Campus Noise in Hebei University of Engineering. **International Journal of Advancements in Computing Technology**, v. 4, n 20, p 321-330, 2012.

## APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO – PERCEPÇÃO DO RUÍDO NO CAMPUS POLITÉCNICO

**1. Setor a que pertence:**

( ) Ciências da Terra ( ) Biológicas ( ) Tecnologia ( ) Exatas

**2. Sexo:** ( ) Masculino ( ) Feminino

**3. Idade:**

**4. Função:**

( ) Estudante ( ) Professor ( ) Servidor/

**5. Qual o bloco/área que mais frequenta?**

**6. Há quanto tempo frequenta o campus?**

( ) Menos de 1 ano ( ) 1 a 3 anos ( ) 3 a 5 anos ( ) 5 a 10 anos ( ) Mais de 10 anos

**7. Quanto tempo em média por semana passa no campus?**

( ) 1 dia ( ) 2 dias ( ) 3 dias ( ) 4 dias ( ) 5 dias ( ) 6 dias

**8. Quanto tempo por dia passa no campus?**

( ) Menos de 2 horas ( ) 2 a 4 horas ( ) 4 a 6 horas ( ) 6 a 8 horas ( ) Mais de 8 horas

**9. Sente algum incômodo com ruídos gerados no Campus?**

( ) Sim ( ) Não

**10. Qual a intensidade do ruído gerado no Campus?**

( ) Perceptível ( ) Pouco Intenso ( ) Razoável ( ) Intenso ( ) Muito Intenso

**11. Qual (is) o (s) período (s) do dia que mais passa no campus?**

( ) Manhã ( ) Tarde ( ) Noite ( ) Manhã e Tarde ( ) Manhã e noite ( ) Tarde e noite

**12. Quanto cada uma dessas fontes de ruído te incomoda no campus, em uma escala de 0 a 10, onde 0 é "não incomoda nada" e 10 corresponde a "incomoda extremamente a ponto de prejudicar atividades"?**

a) Tráfego interno de veículos:

b) Tráfego de veículos no entorno:

c) Construção Civil:

d) Manutenção da jardinagem:

e) Pessoas:

f) Música alta:

g) Passagem de aviões:

h) Outra (citar):

**13. Quais os locais com maior intensidade sonora no Campus?**

**14. Você acha que o ruído do campus prejudica a saúde?**

( ) Sim ( ) Não

**15. Em relação aos sintomas associados ao ruído do campus, com qual intensidade sente cada um, em uma escala de 0 a 10, onde 0 é "não sinto" e 10 corresponde a "sinto intensamente"?**

a) Irritação:

b) Dificuldade de concentração:

c) Insônia:

d) Dor de cabeça:

e) Zumbido: