

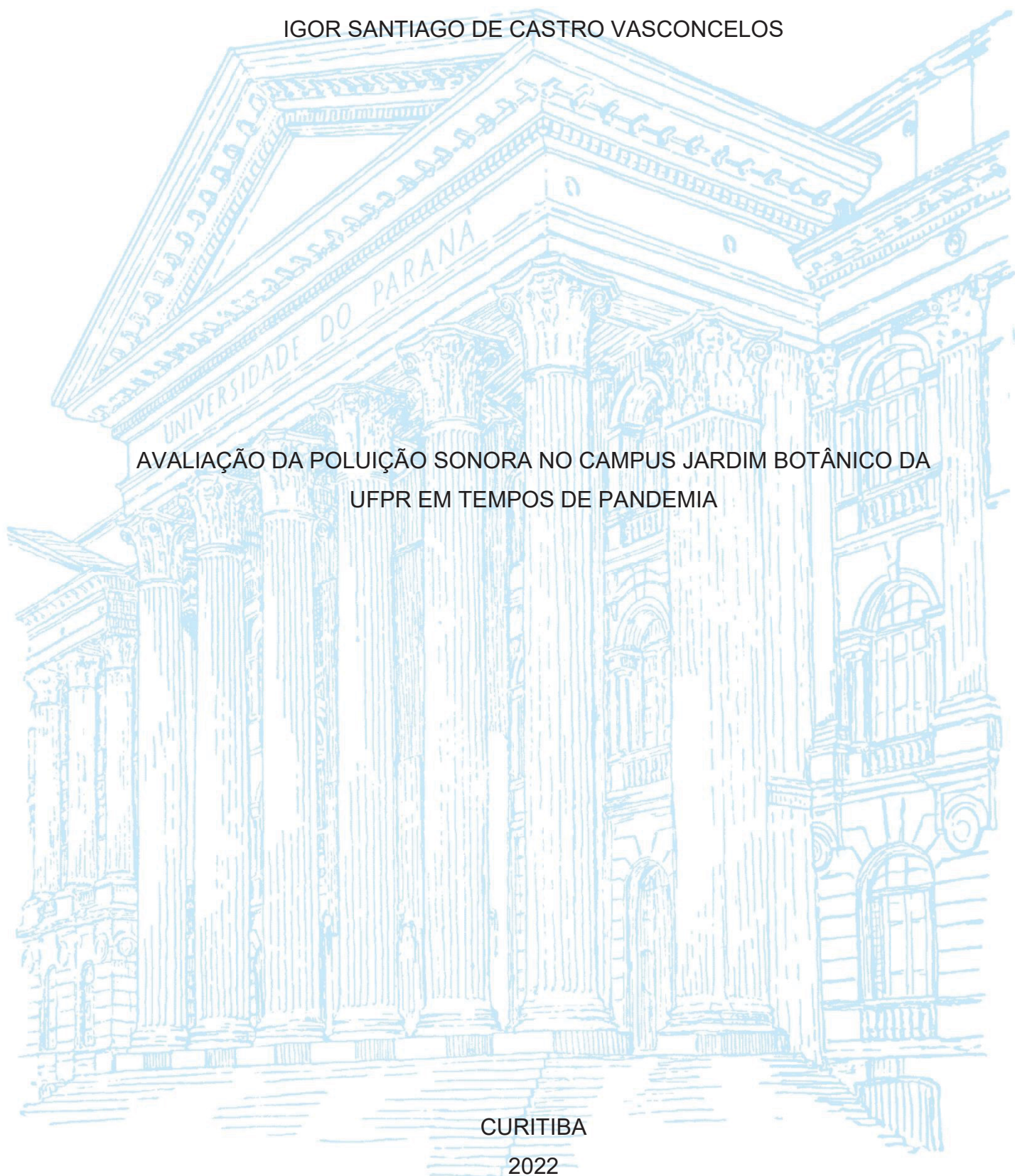
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

IGOR SANTIAGO DE CASTRO VASCONCELOS

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA NO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO DA
UFPR EM TEMPOS DE PANDEMIA

CURITIBA

2022



IGOR SANTIAGO DE CASTRO VASCONCELOS

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA NO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO DA
UFPR EM TEMPOS DE PANDEMIA

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

Área de Concentração: *Infraestrutura e Energia*

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

Coorientadora: Profa. Dra. Karina Mary de Paiva

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Vasconcelos, Igor Santiago de Castro

Avaliação da poluição sonora no Campus Jardim Botânico da
UFPR em tempos de pandemia / Igor Santiago de Castro
Vasconcelos. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor
de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ing. Paulo Henrique Trombetta Zannin.
Coorientadora: Profa. Dra. Karina Mary de Paiva.

1. Poluição sonora. 2. Controle de ruído. 3. Pandemia. I. Zannin,
Paulo Henrique Trombetta. II. Paiva, Karina Mary de. III. Universidade
Federal do Paraná. Programa de pós-Graduação em Engenharia
Ambiental. IV. Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **IGOR SANTIAGO DE CASTRO VASCONCELOS** intitulada: **Avaliação da poluição sonora no Campus Jardim Botânico da UFPR em tempos de pandemia**, sob orientação do Prof. Dr. PAULO HENRIQUE TROMBETTA ZANNIN, que após terem inquirido o aluno 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, 22 de Agosto de 2022.

Assinatura Eletrônica

24/08/2022 13:47:24.0

PAULO HENRIQUE TROMBETTA ZANNIN

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

24/08/2022 11:39:14.0

ANA FLÁVIA LOCATELI GODOI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

24/08/2022 11:52:31.0

CHRISTINE LAROCA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me ajudado a vencer todas as barreiras para a realização deste trabalho. Agradeço a minha família e amigos que sempre se fizeram presentes me ajudando nessa caminhada. Um agradecimento especial para Nádia, Eduardo e Yuri que sempre me apoiaram em todos os momentos.

Meus agradecimentos a Universidade Federal do Paraná, meus chefes e gestores, especialmente ao Pró-Reitor de Gestão de Pessoas Msc. Douglas Ortiz Hamermuller pelo apoio, ajuda e compreensão.

Agradeço aos meus colegas e professores do mestrado em especial ao professor Maurício Felga Gobbi e aos colegas Ana Silvia, Gabriela, Pedro, Karoline, Felipe e João pela convivência harmoniosa, pelas trocas de conhecimento e experiências.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFPR que foi fundamental na minha jornada acadêmica, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço aos meus orientadores professores Paulo Zannin e Karina Paiva pela ajuda, pelos ensinamentos, contribuição e amizade, sobretudo durante a pandemia. Mesmo que de forma remota sempre se mostraram presentes. Sou grato por toda a paciência e ajuda prestada para que meu trabalho fosse concluído.

Ao professor Emílio Mercuri, por compor a banca de qualificação e pelas contribuições fornecidas nas disciplinas ministradas durante o Mestrado.

Às professoras Christine Laroca e Ana Flávia Locateli Godoi por aceitarem o convite para participar da composição da banca, contribuindo para melhorias no trabalho.

Aos que não foram mencionados, mas que de alguma forma estiveram presentes e contribuíram para a minha formação acadêmica, deixo aqui meus agradecimentos.

Obrigado a todos sem vocês não seria possível a realização deste sonho.

RESUMO

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar a poluição sonora no campus Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), no município de Curitiba-PR, durante a pandemia de Coronavírus. Para isso foram realizadas medições acústicas e análise estatística dos níveis de pressão sonora em comparação com medições realizadas antes da pandemia no estudo de Vieira (2018). Para desse modo, identificar se houve impacto significativo na área estudada. Os procedimentos metodológicos pautaram-se na caracterização da área, definição dos pontos de amostragem, coleta de dados em campo, avaliação da poluição sonora conforme a NBR 10.151/2020 e Lei Municipal de Curitiba nº 10.625/2002; e análise estatística dos dados coletados em campo e observados antes da pandemia, por meio de uma análise de variância e teste post hoc de Tukey, com nível de significância (α) de 0,05. Além disso, foram construídos mapas acústicos com o software de modelagem computacional Predictor versão 8.13, modelo 7810 para caracterizar o ambiente sonoro da área de estudo e realizar simulações de possíveis medidas mitigadoras do ruído ambiental. Nos resultados e discussões foram abordados os valores obtidos, pontuadas as localidades onde os níveis sonoros estavam acima do limite permitidos, sendo denotadas as possíveis causas, bem como a relação com a literatura e os resultados da análise estatística e do mapeamento acústico. Concluiu-se que nenhum dos pontos avaliados apresentava níveis de pressão sonora dentro do limite recomendado pela NBR 10151/2020, indicando uma situação preocupante em relação a poluição sonora. Observou-se que os valores mínimos e médios foram afetados pela pandemia, registrando valores inferiores quando comparados com aqueles registrados antes da mesma ($p < 0,05$), já para o nível máximo (L_{max}), os valores foram similares entre si ($p > 0,05$). Dentre as medidas mitigatórias propostas, a que apresentou melhor resultado foi a implantação de barreiras acústicas em locais críticos, embora reduções no fluxo, principalmente dos veículos pesados, também apresentaram redução nos níveis de ruído da área. Entretanto, concluiu-se que apenas uma medida mitigadora isolada não seria suficiente para garantir os níveis de pressão sonora dentro dos valores permitidos.

Palavras-chave: Ruído ambiental. Ruído de tráfego. Poluição sonora. Ruído em tempos de pandemia

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the noise pollution on the Jardim Botânico campus of the Federal University of Paraná (UFPR), in the city of Curitiba-PR, during the Coronavirus pandemic. For this, acoustic measurements and statistical analysis of the data were carried out in comparison with measurements carried out before the pandemic in the study by Vieira (2018). In order to identify whether there was a significant impact in the studied area. The methodological procedures were based on the characterization of the area, definition of sampling points, data collection in the field, evaluation of noise pollution according to NBR 10.151/2020 and Municipal Law of Curitiba nº 10.625/2002; and statistical analysis of the data collected in the field with those verified before the pandemic, through an analysis of variance and Tukey's post hoc test, with a significance level (α) of 0.05. In addition, acoustic maps were constructed with the Predictor computer modeling software, version 8.13, model 7810, to characterize the sound environment of the studied area and perform simulations of possible measures to mitigate environmental noise. In the results and discussions, the values obtained were approached, the locations where the sound levels were above the tolerance limit were punctuated, with the possible causes being denoted, as well as the relationship with the literature and the results of the statistical analysis and acoustic mapping. It was concluded that none of the evaluated points had sound pressure levels within the limit recommended by NBR 10151/2020, indicating a worrying situation in relation to noise pollution. It was observed that the minimum and average values were affected by the pandemic, registering lower values when compared to those recorded before it ($p < 0.05$), while for the maximum level (L_{max}), the values were similar to each other ($p > 0.05$). Among the mitigating measures proposed, the one that presented the best result was the implementation of acoustic barriers in critical locations, although reductions in the flow of vehicles, especially heavy vehicles, also showed a reduction in sound pressure levels. However, only an isolated mitigating measure would not be enough to guarantee sound pressure levels within the allowed values.

Keywords: Environmental noise. Noise pollution. Acoustic mapping. Noise in times of covid-19

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PROPAGAÇÃO DO SOM PURO, ONDA SENOIDAL.....	11
FIGURA 2: CAMPO AUDITIVO.....	12
FIGURA 3: PROPAGAÇÃO DA ONDA SONORA EM MEIO ELÁSTICO.....	13
FIGURA 4: FILTROS PONDERADORES DE FREQUÊNCIA SONORA.....	22
FIGURA 5: COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS NOS 5 PONTOS COM O LIMITE DEFINIDO POR NORMA.....	37
FIGURA 7: MAPA DE RUÍDO NOTURNO EM DUBLIN, IRLANDA.....	39
FIGURA 8: MAPA ACÚSTICO DA CIDADE DE LUANDA – ANGOLA.....	40
FIGURA 9: MAPA DE RUÍDO DA MARGINAL PINHEIROS.....	41
FIGURA 10: FIGURA 10 - MAPA DE RUÍDO DO CAMPUS ECOVILLE DA UTFPR.....	43
FIGURA 11: MAPA ACÚSTICO DO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO DA UFPR COM BARREIRA ACÚSTICA.....	45
FIGURA 12: REDUÇÃO NA POLUIÇÃO SONORA NA CIDADE DE MADRID NA ESPANHA NO PERÍODO DE PANDEMIA DE COVID 19.....	48
FIGURA 13: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA ANTES E DURANTE A PANDEMIA.....	49
FIGURA 14: VISTA AÉREA DA LOCALIZAÇÃO DO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO.....	52
FIGURA 15: ZONEAMENTO URBANO DA REGIÃO DE ESTUDO.....	53
FIGURA 16: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	55
FIGURA 17: ESQUEMA DE POSICIONAMENTO DO ANALISADOR SONORO.....	56
FIGURA 18: PLANILHA DE APOIO PARA MEDIÇÕES DE CAMPO.....	57
FIGURA 19: ANALISADOR SONORO POSICIONADO PARA MEDIÇÃO DE CAMPO.....	57
FIGURA 20: DISTRIBUIÇÃO NORMAL.....	65
FIGURA 21: COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS E LIMITES PERMITIDOS CONFORME A LEGISLAÇÃO.....	71
FIGURA 22: DISPOSIÇÃO DOS PONTOS CALIBRADOS SOBRE A CURVA DE CALIBRAÇÃO IDEAL.....	76
FIGURA 23: MAPAS ACÚSTICOS DESENVOLVIDOS EM DIFERENTES MALHAS.....	78
FIGURA 24: LEGENDA DOS MAPAS ACÚSTICOS.....	80

FIGURA 25: MAPA ACÚSTICO DO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO DA UFPR EM TEMPOS DE PANDEMI.....	81
FIGURA 26: MAPA ACÚSTICO COM REDUÇÃO DE VELOCIDADE 1.....	84
FIGURA 27: MAPA ACÚSTICO COM REDUÇÃO DE VELOCIDADE 2.....	84
FIGURA 28: MAPA ACÚSTICO COM REDUÇÃO EM 20% NO FLUXO DE VEÍCULOS.....	85
FIGURA 29: MAPA ACÚSTICO SEM OS VEÍCULOS PESADOS.....	86
FIGURA 30: BARREIRAS ACÚSTICAS 01 E 02 VOLTADAS PARA RUA LOTHÁRIO MEISSNER.....	87
FIGURA 31: BARREIRAS ACÚSTICAS 03 E 04 VOLTADAS PARA LINHA VERDE.....	88
FIGURA 32: MAPA ACÚSTICO COM BARREIRAS ACÚSTICAS	88
FIGURA 33: GRÁFICO COMPARATIVO DOS RESULTADOS DAS MEDIDAS MITIGADORAS.....	90

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: VALORES DE PRESSÃO SONORA EM MICROPASCAL E SEUS RESPECTIVO VALOR EM DECIBEL.....	17
TABELA 2: LIMITES DE PRESSÃO SONORA EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE ÁREAS HABITADAS.....	28
TABELA 3: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MÁXIMOS CONFORME ZONEAMENTO URBANO.....	29
TABELA 4: COORDENADAS DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	54
TABELA 5: EXEMPLO DE TABULAÇÃO DOS DADOS COLETADOS EM CAMPO.....	58
TABELA 6: AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA CONFORME A LEGISLAÇÃO VIGENTE.....	70
TABELA 7: MÉDIA E DESVIOS PADRÕES DA PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE (LEQ), MÍNIMA E MÁXIMA, ANTES E DURANTE A PANDEMIA NO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO DA UFPR.....	73
TABELA 8: CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS VALORES DA PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE (LEQ) MÍNIMA E MÁXIMA, ANTES E DURANTE A PANDEMIA NO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO DA UFPR.....	74
TABELA 9: DIFERENÇA ENTRE MEDIÇÕES DE CAMPO E NÍVEL SONORO SIMULADO.....	75
TABELA 10: INFORMAÇÕES DOS MAPAS PARA DIFERENTES MALHAS.....	78
TABELA 11: RESULTADO DA PREDIÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS COM SIMULAÇÕES DE MEDIDAS MITIGADORAS.....	89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVOS	9
1.1.1 Objetivo geral	9
1.1.2 Objetivos específicos.....	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 CONCEITOS DE SOM E RUÍDO	10
2.2 PROPAGAÇÃO DO SOM	13
2.3 MEDIÇÃO SONORA	14
2.3.1 Nível de pressão sonora.....	15
2.3.2 Nível de pressão sonora equivalente (Leq)	18
2.4 MEDIDORES SONOROS E FILTROS PONDERADORES.....	20
2.5. MAPAS ACÚSTICOS	23
2.6 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS.....	24
2.6.1 Norma internacional ISO 1996	25
2.6.2 NBR 10151:2020	26
2.6.3 Lei Municipal 10.625/2002.....	28
3 REVISÃO DE LITERATURA	30
3.1 POLUIÇÃO SONORA	30
3.1.1 Ruído de tráfego.....	31
3.2 EFEITOS DO RUÍDO AMBIENTAL À SAÚDE	34
3.2.1 Impactos da poluição sonora em ambientes educacionais	35
3.3 AVALIAÇÃO E CONTROLE DO RUÍDO AMBIENTAL.....	36
3.4 ESTADO DA ARTE: MAPEAMENTO ACÚSTICO	38
3.5 RUÍDO EM ESTABELECIMENTOS DE ENSINO	42
3.6 POLUIÇÃO SONORA EM TEMPOS DE PANDEMIA DE COVID-19.....	47
4 MATERIAIS E MÉTODOS	50
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	51
4.1.1 A Universidade Federal do Paraná	51
4.1.2 O Campus Jardim Botânico.....	51
4.2 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM	54
4.3 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS EM CAMPO.....	55

4.4 AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA	58
4.5 MAPEAMENTO ACÚSTICO	59
4.5.1 Montagem do modelo – Introdução de parâmetros	59
4.5.2 Calibração do modelo	60
4.5.3 Cálculo do modelo	60
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	64
4.6.1 Verificação de normalidade dos dados	64
4.6.2 Relação dos níveis sonoros antes e durante a pandemia	66
4.6.3 Correlação entre os níveis sonoros e o número de veículos	67
4.7 AVALIAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS DO RUÍDO AMBIENTAL	68
4.8 LIMITAÇÕES DO ESTUDO	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.1 AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA	69
5.2 IMPACTO DA PANDEMIA NA POLUIÇÃO SONORA DO CAMPUS	73
5.3 MAPEAMENTO ACÚSTICO	74
5.4 AVALIAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS PARA O RUÍDO AMBIENTAL	83
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
7 REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

A urbanização em rápida expansão em todo o mundo apresenta um fator em comum, o agravamento da poluição ambiental - das emissões de gases, poluição da água e poluição sonora. De acordo com a Organização Mundial da Saúde a exposição ao ruído é um dos maiores problemas enfrentados pela população mundial, sendo considerada uma questão de saúde pública, podendo comprometer a qualidade de vida, e produzir efeitos adversos nos seres humanos e animais, tanto em nível auditivo, quanto extra auditivo, a depender das características do ruído, do tipo de exposição e da susceptibilidade do indivíduo exposto. (WHO, 2018).

Os efeitos nocivos da poluição sonora, envolvem alterações do aparelho auditivo, destacando-se a perda auditiva induzida por ruído (PAIR) (ARAUJO, 2002; GANIME et al 2010; BASNER et al., 2014; MUNZEL et al., 2014) e podem comprometer órgãos, aparelhos e funções do organismo, causando perturbação no sono, irritabilidade, cansaço e dificuldade de concentração, elevação dos níveis de estresse, pressão arterial e a secreção de hormônios como adrenalina e cortisol, que influencia diretamente no desempenho do trabalho (CAVALCANTE; ANDRADE, 2007; MUNZEL et al., 2018).

De acordo com as avaliações recentes publicadas pela Agência Europeia do Meio Ambiente, o tráfego rodoviário é o principal componente da poluição sonora (EEA, 2020). O aumento deste poluente está ligado diretamente ao alto índice de crescimento demográfico da população urbana e consequente aumento das fontes geradoras tais como, aumento das atividades de construção civil e o aumento do número de veículos em circulação (ZANNIN et al., 2002; CALIXTO et.al., 2008).

Em Curitiba, segundo levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) entre os anos de 2011 e 2020 a população cresceu 10,43%, passando de 1.764.541 de habitantes para 1.948.626. Por sua vez, o número de veículos cadastrados no município aumentou 18,78%, passando de 1.232.991 para 1.464.535, ou seja, quatro carros para cada cinco habitantes, conforme dados do Departamento de Trânsito do Paraná (Detran-PR), o que demonstra uma situação preocupante do ponto de vista ambiental, com relação a poluição sonora urbana (DENTRAN, 2020).

No contexto dos ambientes educacionais níveis elevados de ruído afetam o comportamento e a compreensão dos alunos e dificultam a aprendizagem. Atividades

de ensino, pesquisa e extensão exigem um elevado nível de conforto acústico, devido ao alto grau de concentração necessário para realização das mesmas. Existem diversos estudos que demonstram que a exposição ao ruído pode provocar a diminuição na performance cognitiva, com redução da concentração, dificuldades de comunicação, aumento da excitação, irritação, além de distúrbios do sono, afetando diretamente no desempenho escolar (WHO, 2001; HAGEN et. al., 2002; ZANNIN et al. 2013; TZIVIAN, 2017; SCHITTINI, 2020).

O campus Jardim Botânico da UFPR, tem grande importância tanto para os alunos e docentes, quanto para a população, tendo em vista a excelência das atividades de ensino, pesquisa e extensão, que são oferecidas. O campus está localizado em um bairro residencial sendo tangenciado pela rodovia BR-476 (linha verde) e pela Av. Prof. Lothário Meissner. O estabelecimento foi construído estrategicamente na região sudeste da cidade de Curitiba no Paraná, com acessos diretos ao sistema intermodal de transportes, caracterizado pela adjacência às rodovias (sistema rodoviário) que dão acesso direto ao aeroporto internacional (sistema aeroviário).

Com a pandemia do COVID-19 (Sars-CoV-2), medidas restritivas de quarentena e isolamento social foram impostas e diversos estudos indicaram uma redução significativa no ruído ambiental (ASENSIO et al., 2020; ANDRADE et al., 2020). Assim, a comunidade científica da área de acústica foi mobilizada, aproveitando-se desta rara situação para realizar medições sonoras em diferentes locais, com o objetivo de entender e monitorar as mudanças no ruído ambiental em função das ações tomadas para o enfrentamento da emergência de saúde pública.

Este trabalho se justifica pela necessidade de avaliação constante e controle da poluição sonora em ambientes escolares, não só para a melhoria no desempenho do aprendizado, mas também para garantir a qualidade de vida dos alunos e professores. Embora existam diversos estudos realizados no mundo todo sobre a poluição sonora em ambientes educacionais, nenhum avaliou o impacto da pandemia de Coronavírus (SARS-CoV-2) nas condições acústicas destes ambientes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar a poluição sonora no campus Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), no município de Curitiba-PR, durante a pandemia de Coronavírus (SARS-CoV-2), por meio de medições sonoras, mapeamento acústico e análise estatística dos dados medidos em campo em comparação com medições realizadas antes da pandemia no estudo de Vieira (2018).

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar os níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) medidos no campus Jardim Botânico da UFPR em comparação com os valores permitidos pela legislação vigente;
- b) Avaliar o impacto da pandemia de Coronavírus (SARS-CoV-2) nos níveis de ruído do campus Jardim Botânico da UFPR;
- c) Realizar o mapeamento acústico com a finalidade de visualizar amplamente o ambiente sonoro e caracterizar as condições acústicas da área de estudo;
- d) Avaliar possíveis medidas mitigadoras do ruído ambiental, por meio da modelagem acústica computacional;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

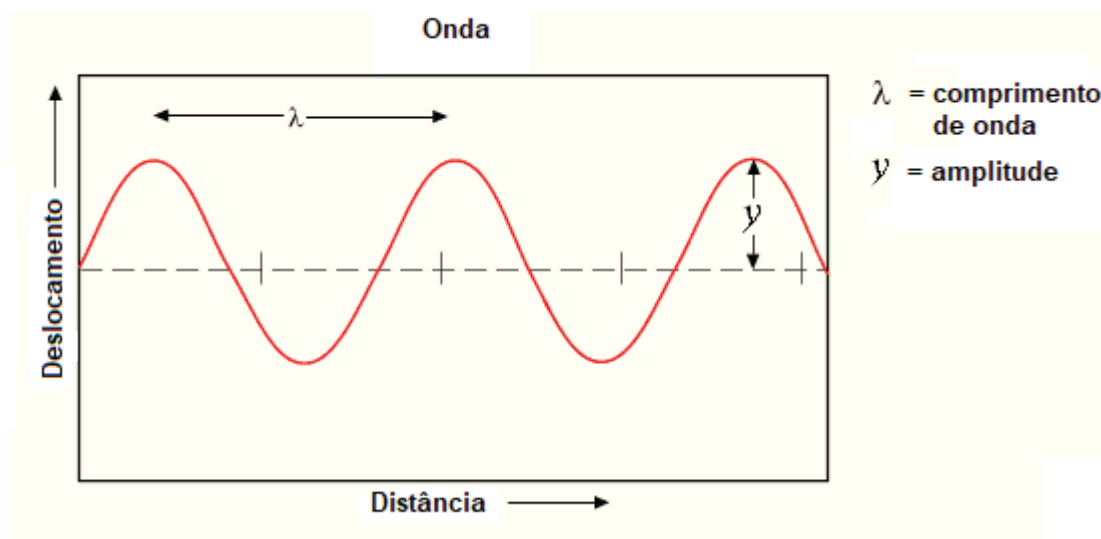
Neste capítulo são apresentadas as principais definições e termos aplicados no desenvolvimento deste trabalho, permitindo uma melhor compreensão dos conceitos associados ao som e ruído, propagação do som, medição sonora, acústica ambiental e mapeamento de ruído. Além disso, apresenta o contexto legal e normativo relacionados ao tema.

2.1 CONCEITOS DE SOM E RUÍDO

O som é o resultado de um movimento vibratório, transmitido através de ondas em um meio elástico, caracterizando-se por uma sensação capaz de impressionar o órgão auditivo das pessoas e dos animais, denominada sensação sonora. Estas flutuações de pressão apresentam-se como ondas mecânicas de um corpo que produz deslocamentos oscilatórios das partículas do meio circundante, formando compressões e distensões sucessivas em todas as direções. (COSTA, 2003; CARVALHO, 2010; MOTA 2012; EVEREST; 2009).

O som puro é descrito como ondas de pressão que se propagam em um meio elástico, normalmente o ar. Essas ondas são definidas por sua amplitude e frequência, conforme FIGURA 1. O som puro pode ser descrito por uma curva senoidal, apresentando pressões positivas e negativas dentro de um ciclo. A quantidade de ciclos por unidade de tempo é denominada frequência do som, geralmente expressada em ciclos por segundo, ou Hertz (Hz). Os ouvidos humanos saudáveis captam sons cuja frequência variam de 15 Hz até cerca de 20.000 Hz, uma ampla faixa. Os sons de baixa frequência são graves (tons mais baixos). Por exemplo, um lá na quarta oitava no piano está a uma frequência de 440 Hz, enquanto a fala geralmente varia de 1.000 a 4.000 Hz. (EVEREST; 2009; VASILIND, MORGAN 2011)

FIGURA 1 - PROPAGAÇÃO DO SOM PURO, ONDA SENOIDAL

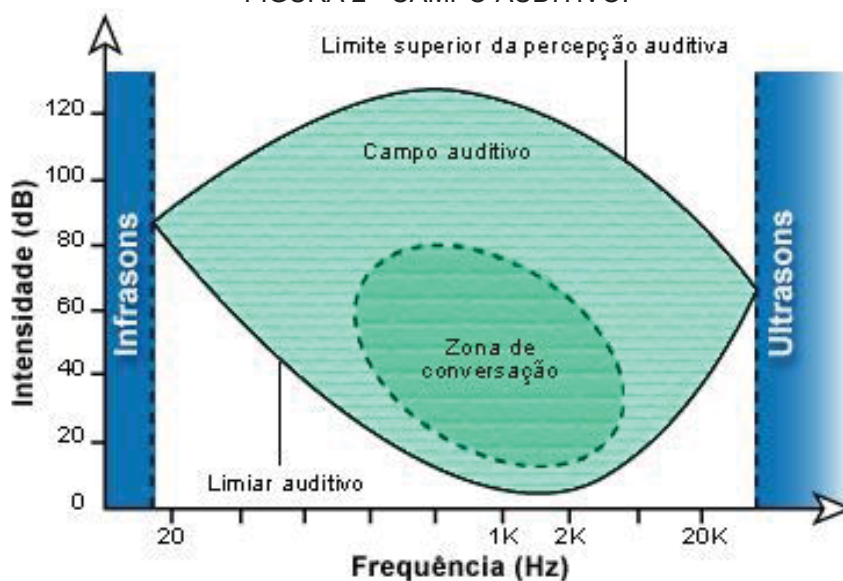


. Fonte: Adaptado de Vasilind; Morgan (2011)

Já o volume de um som é expresso por sua amplitude. A área total sob a curva representa a energia em uma onda de pressão. Como a primeira metade é uma pressão positiva e a outra uma pressão negativa somando-as, produziria pressão zero. Por isso, em acústica é utilizado o valor quadrático médio de uma onda de pressão, primeiro multiplicando a pressão pelo seu próprio valor e então obtendo a sua raiz quadrada. Como o produto dos dois números negativos é um positivo, o resultado é um valor de pressão positiva. No caso de ondas de som, a pressão é expressa em Newtons por metro quadrado (N/m^2). (EVEREST; 2009)

O ouvido humano é um instrumento capaz de captar sons em uma ampla faixa de frequências. A ação física das vibrações, são processadas fisiologicamente e transformadas em impulsos elétricos para o cérebro, ocasionando a sensação sonora. A variação de pressão, para que possa ser detectada como som, deve ter sua amplitude $\geq 2 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$, e ocorrer de forma cíclica para que sistema auditivo possa ser capaz de interpretá-la, podendo ser classificadas de acordo com a altura, intensidade (volume), e o timbre (forma). Sons abaixo de 16 Hz são chamados infrassons e acima de 20.000 Hz, ultrassons, conforme FIGURA 2 (GERGES, 2000, BISTAFA, 2018).

FIGURA 2 - CAMPO AUDITIVO.



FONTE: Bistafa (2018)

De acordo com Mello (2009), Everest (2009) e Bitafa (2018) define-se como ruído ou poluição sonora qualquer som indesejável que atinja níveis não aceitáveis e possa afetar, de forma negativa, a saúde e o bem-estar de um indivíduo ou de uma população. Segundo os autores, o ruído, além de gerar desconforto ao ser humano, pode prejudicar diretamente o aparelho auditivo, provocando a perda ou a diminuição gradual da audição, podendo, ainda, atuar sobre outros órgãos do corpo humano, perturbando as funções neurovegetativas com implicações no funcionamento orgânico, causando alteração no sono, na pressão arterial, perda de equilíbrio, perda de concentração, aumento do nível de estresse, inquietude, irritabilidade, entre outras.

O ruído é classificado como um agente físico que causa danos à saúde e à capacidade auditiva dos seres humanos. Neste caso, mesmo sons agradáveis, mas com volume elevado, devem ser considerados ruídos. O incômodo ou o dano causado pelo ruído depende de suas características físicas (amplitude e frequência), do seu tempo de duração, da resposta subjetiva e suscetibilidade individual.

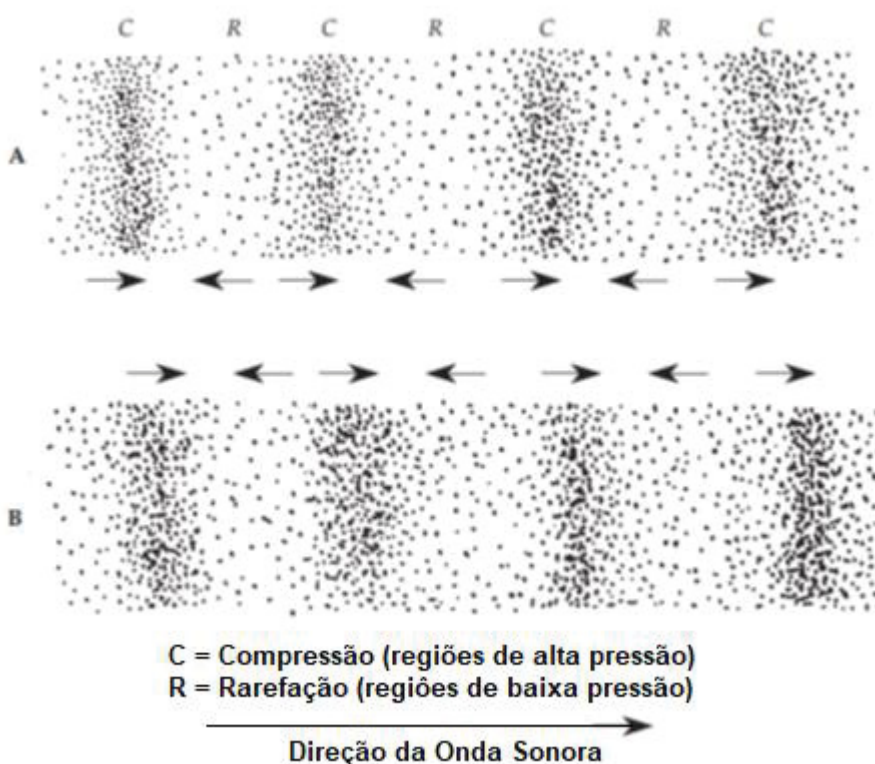
Som e ruído apresentam conceitos diferentes, dependendo das circunstâncias que ocorre como comportamento, irritabilidade, relevância ao receptor ou características fundamentais do ruído, como intensidade e frequência, dentre outros. No contexto deste trabalho, apesar de ser uma sensação subjetiva, existem parâmetros técnicos que diferenciam o ruído e que devem ser considerados na caracterização deste fenômeno.

2.2 PROPAGAÇÃO DO SOM

Segundo Everest (2009), quando uma partícula de ar é movimentada de sua posição original, forças elásticas do ar tendem a retorná-la para sua posição inicial. A inércia das partículas faz com que ela ultrapasse a posição de repouso, colocando em atuação forças elásticas na direção oposta, e assim por diante. Desta forma, o som é imediatamente propagado em gases, líquidos e sólidos, tais como o ar, a água e o aço, os quais são todos meios elásticos. Sem um meio, o som não pode se propagar. Portanto, não há propagação de som no vácuo.

A FIGURA 3 apresenta o esquema de propagação de ondas sonoras, onde moléculas aglomeradas representam áreas de compressão nas quais a pressão do ar é levemente maior do que a pressão atmosférica existente.

FIGURA 3 - PROPAGAÇÃO DA ONDA SONORA EM MEIO ELÁSTICO.



FONTE: Adaptado de Everest (2009)

As áreas menos densas representam rarefação em que a pressão é levemente inferior à atmosférica. As flechas representam que as moléculas estão se movendo para a direita das cristas de compressão e para a esquerda nos canais de rarefação entre as cristas. Qualquer molécula irá mover certa distância para a direita

e, em seguida, a mesma distância para a esquerda de sua posição de equilíbrio não substituída, como a onda sonora avança uniformemente para a direita.

As moléculas, portanto, tendem a se agrupar onde duas setas estão apontando uma para as outras, o que ocorre um pouco a direita de cada compressão. Quando as setas apontam em direção oposta, a densidade das moléculas diminui. Desta forma, o movimento da crista de maior pressão e o de menor pressão explicam o pequeno avanço da onda para a direita. Durante a propagação do som ocorre transmissão de energia ao longo do meio de propagação.

2.3 MEDIÇÃO SONORA

O ouvido humano tem a capacidade de reconhecer uma grande faixa de intensidade acústica, de acordo com a frequência na qual o som é emitido. Isto significa que essa percepção varia em função das frequências sonoras emitidas.

A intensidade sonora é definida como o fluxo contínuo de energia carregado pela onda sonora através de uma área em um ponto no espaço. A unidade usada é watts por metro quadrado (W/m^2). Está associada aquilo que nós comumente chamamos de volume. A diferença entre um som intenso (ou forte) e um som fraco vem da amplitude de vibração da onda. Quanto maior a amplitude da onda, maior a pressão que a onda irá exercer no ar. Isso faz com que os nossos tímpanos vibrem de maneira mais intensa (BISTAFA, 2018).

A potência sonora é importante, pois se relaciona diretamente com a fonte, é a quantidade de energia sonora gerada pela mesma na unidade de tempo, medida em watts (W) (GERER, 2000).

Já a pressão sonora é a variação média (RMS – Root Mean Square) de pressão em relação à pressão atmosférica, medida em Pascals (Pa) ou Newtons por metro quadrado (N/m^2). Depende do meio, do isolamento e da distância à fonte ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$) (BISTAFA, 2018).

Portanto, pode se dizer que para caracterizar acusticamente uma fonte sonora o que importa é a sua potência sonora e não a pressão sonora. Logo, quando precisamos definir soluções mitigadoras para certas fontes, é fundamental conhecer a sua potência sonora. No entanto, quando temos o objetivo de avaliar o perigo e a perturbação causada por fontes de ruído, a pressão sonora é a mais utilizada. Este é o parâmetro mais importante para caracterizar os efeitos do ruído sobre o ser humano

e por sua facilidade de ser medida diretamente através de instrumentos de medição sonora.

2.3.1 Nível de pressão sonora

A pressão sonora é a variação da pressão total em relação à pressão atmosférica, sendo usada em medições fundamentais da amplitude sonora em função da potência e da intensidade sonora.

A faixa de pressão sonora que pode ser ouvida pelo homem é muito extensa, como exemplo, se a pressão sonora for superior a 20 μPa e ocorrer entre 20 Hz e 20 kHz poderá sensibilizar o sistema auditivo humano. E se for próximo de 60 Pa pode proporcionar danos, até mesmo irreversíveis, à audição. (BISTAFA, 2018). Desta forma, devido a esse grande espectro de variação de pressão e ao fato do sistema auditivo não responder de forma linear ao longo das frequências audíveis, a escala pertinente para expressar a resposta subjetiva da audição humana é a logarítmica. (POHLMANN, 2009)

O nível de pressão sonora é uma medida logarítmica da pressão sonora efetiva de um som em relação ao valor de referência. Ele é medido em decibels (dB) acima de um nível de referência padrão. A intensidade é proporcional ao quadrado da média de variação de pressão (OSHA).

Como a resposta dos órgãos sensoriais é proporcional ao logaritmo da magnitude do estímulo (Lei de Weber-Fechner):

Aplicando a relação de potência e intensidade sonora em ondas esféricas da equação 1 na equação 2, verifica-se que a potência é proporcional ao quadrado da pressão e segue a lei do inverso do quadrado da distância, sendo utilizada, por isso a escala logarítmica.

$$\text{Unidade de Sensação} = 10 \log \frac{W'}{W_0'} \quad (1)$$

$$I = \frac{W}{\pi r^2} = \frac{P^2}{\rho c} \quad (2)$$

Onde:

W' = potência sonora registrada [W];

W'_0 = potência sonora de referência [W], igual a 1 dB que é igual a $W' = 1,26 \cdot W'_0$;

I = intensidade sonora;

r = distância da onda a partir do centro de uma fonte sonora esférica [m];

ρc = impedância característica de propagação do som no ar à temperatura ambiente [kg·m⁻² · s⁻¹];

A escala bel (com unidade B) é uma escala logarítmica, representada pelo logaritmo da razão entre duas quantidades, sendo uma a de referência. Para evitar uma escala muito comprimida, um fator de 10 foi introduzido nesta escala, originando o decibel (com unidade dB), que é submúltiplo da escala bel, tal que 1 B equivale a 10 dB. Portanto, o nível de pressão sonora, NPS dado em dB, é determinado pela seguinte equação:

$$\text{NPS} = 10 \log \left[\frac{p^2}{p_0^2} \right] \rightarrow \frac{\text{NPS}}{10} = \log \left[\frac{p^2}{p_0^2} \right] \quad (3)$$

Onde:

NPS = Nível de Pressão Sonora [dB]

p = pressão sonora [N/m²];

p_0 = pressão sonora de referência, igual 2×10^{-5} [N/m²];

Na presença de várias fontes, tem-se:

$$\text{Fonte 1} \rightarrow p_{(1)}^2 \left[10^{\left(\frac{\text{NPS}_{(1)}}{10} \right)} \right] \cdot p_0^2 \quad (4)$$

$$\text{Fonte 2} \rightarrow p_{(2)}^2 \left[10^{\left(\frac{\text{NPS}_{(2)}}{10} \right)} \right] \cdot p_0^2 \quad (5)$$

$$\text{Fonte n} \rightarrow p_{(n)}^2 \left[10^{\left(\frac{\text{NPS}_{(n)}}{10} \right)} \right] \cdot p_0^2 \quad (6)$$

. .
. .

$$p_{\text{global}}^2 = p_0^2 \left[10^{\left(\frac{\text{NPS}_{(1)}}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{\text{NPS}_{(2)}}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{\text{NPS}_{(n)}}{10}\right)} \right] \quad (7)$$

Portanto, conforme BIES, HASEN (2002):

$$\text{NPS}_{(\text{global})} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{p_{(i)}^2}{p_0^2} \right] \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

Onde:

$\text{NPS}_{(\text{global})}$ = nível de pressão sonora [dB];

$P_{(i)}$ = pressão sonora média [N/m^2];

P_0 = pressão sonora de referência $2 \cdot 10^{-5}$ [N/m^2].

A TABELA 1 apresenta alguns valores de pressão sonora em μPa , e seu respectivo valor em dB.

TABELA 1 - VALORES DE PRESSÃO SONORA EM MICROPASCAL E SEUS RESPECTIVO VALOR EM DECIBEL.

Pressão Sonora (μPa)	Nível de Pressão Sonora (dB, Referência de 20 μPa)
20	0
65	10
200	20
640	30
200	40
6400	50
20000	60
60400	70
200000	80
600400	90
2000000	100
6400000	110
20000000	120

FONTE: Adaptado de Harris (1998)

O nível de pressão sonora NPS corresponde ao valor médio quadrático da variação de pressão acústica, medido em Pascal, e a pressão sonora de referência p_0 é 20 μPa , pressão de referência normalizada internacionalmente. O NPS é a medida

física preferencial para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons. O QUADRO 1 apresenta algumas situações do cotidiano e seus respectivos níveis de pressão sonora.

QUADRO 1 – NÍVEIS DE RUÍDO DE SITUAÇÕES DIVERSAS.

Níveis sonoros característicos de diversas situações	
NPS (dB)	Exemplos típicos
140	Avião a jato decolando muito próximo, bombas recreativas.
130	Avião a 1 m.
120	Concerto de rock em frente as caixas de som, trovão, britadeiras.
110	Grande orquestra, trio elétrico.
100	Arrebitamento.
90	Trem, metrô, motocicleta, tráfego de caminhões.
85	Voz alta, avenida de grande movimento.
80	Escritório ruidoso.
75	Voz normal, creches.
70	Aspirador de pó, secador de cabelo, restaurante barulhento, motor de carro.
65	Interior de um carro.
60	Ar condicionado a 6 m de distância, máquina de costura.
55	Grupo de amigos conversando
50	Rua tranquila, escritório silencioso.
40	Vassoura varrendo, geladeira, quarto longe do trânsito.
30	Biblioteca, tic-tac do relógio.
20	Sussurro.
10	Estúdio de gravação.
5	Deserto.
0	Limiar da audibilidade (a 1000 Hz).

FONTE: Adaptado de Peixoto; Silveira (2013)

2.3.2 Nível de pressão sonora equivalente (Leq)

As fontes de ruído ambiental, tais como o tráfego rodoviário, aeronaves e indústria, são difíceis de quantificar, tendo em vista que variam em função 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, ou seja, é necessário o cálculo de uma média representativa o que é realizado

através do nível de pressão sonora equivalente (GERGES, 2000; EVEREST; POHLMANN, 2009).

O nível equivalente caracteriza-se como um nível de pressão sonora constante com a mesma energia acústica de um ruído que varia no tempo. O valor equivalente (médio) é aquele utilizado para fins de comparação com os limites de tolerância estabelecidos nas normas.

O nível de pressão sonora equivalente, descrito na equação 9 também pode ser definido como a soma das contribuições de um conjunto de eventos sonoros, integrados em um determinado intervalo de tempo, podendo também ser expresso como L_{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).

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \quad (9)$$

Onde:

L_{eq} = nível equivalente de pressão sonora [dB];

$T = (t_2 - t_1)$ = tempo total de duração [s];

$p(t)$ = pressão sonora instantânea;

p_0 = pressão sonora de referência 2×10^{-5} [N/m²] ou 20 µPa.

Quando as medições sonoras são realizadas em um mesmo ponto, para se encontrar um valor médio, emprega-se também a soma logarítmica. A equação 10 apresenta a fórmula da média logarítmica dos níveis de pressão sonora.

$$L_{eq, T} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{(L_{eq, t})_i}{10}} \right] \quad (10)$$

Onde:

$L_{eq, t}$ = média logarítmica do nível de pressão sonora, em dB (A);

n = número de medições sonoras;

$L_{(eq, t)i}$ = nível de pressão sonora correspondente à medição i , em dB (A);

2.4 MEDIDORES SONOROS E FILTROS PONDERADORES

Os equipamentos medidores de pressão sonora são classificados de acordo com padronização da International Electrotechnical Commission (IEC) em sua norma 60651:1979 e suas substitutas IEC 61672-1:2002 e IEC 61672-1:2013, que definem estes equipamentos em 4 classes: 0, 1, 2 e 3, diferenciando-os pelo número e qualidade de recursos, considerando a precisão das medições e as características ambientais para aplicação. O padrão da American National Standards Institute (ANSI) por meio da norma ANSI S1.4:1983 também classifica os medidores em diferentes classes: 0, 1 e 2. Em ambas normatizações a precisão da medição é reduzida conforme o número da classe aumenta, influenciando diretamente nos custos de comercialização:

- Classe 0: equipamento de referência de laboratório para a calibração de demais medidores;
- Classe 1: equipamento de precisão recomendado para uso em laboratórios ou medições de campo com condições ambientais controláveis;
- Classe 2: equipamento de uso geral de campo com precisão inferior;
- Classe 3: equipamento para uso preliminar, ou seja, apresenta um valor estimado e aproximada dos níveis de pressão sonora do ambiente.

A precisão dos equipamentos varia de acordo com a frequência do som medido. Na classe 1 os instrumentos têm uma gama mais ampla de frequências e uma incerteza menor na medida. Uma unidade da classe 2 e de menor custo, isto se aplica tanto à sonômetros quanto calibradores.

Recomenda-se a calibração dos sonômetros em laboratórios da Rede Brasileira de Calibração (RBC), credenciados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), a cada dois anos (NBR 10151).

Os filtros ponderadores temporais são componentes internos dos sonômetros que tem a função de reduzir as flutuações de onda irregular dos sons, com o objetivo de facilitar as leituras sonoras. Sendo uma configuração com princípio em uma constante de tempo selecionável nos equipamentos, podendo ser “slow” ou “fast”, onde essas nomenclaturas estão relacionadas à rapidez em que o dispositivo acompanha as flutuações do NPS medido.

Na escala “slow” o tempo de resposta dos medidores é de 1 segundo, havendo uma redução na variação do valor médio, mais adequado para ruídos de comportamento contínuo; enquanto que na escala “fast” o tempo de resposta varia entre 200 e 125 milissegundos, dependendo do tipo de equipamento, sendo favorável em medições de eventos transitórios e não contínuos em pequenos intervalos de tempo. Para sons de impacto ou de pico existe uma escala própria “impulse” onde o tempo de resposta poderá ser da ordem de 35 microssegundo (LAMANCUSA, 2000).

Os medidores de nível sonoro realizam cálculos através da média exponencial, por isso, esse tempo de resposta é fundamental, tendo em vista que novos valores são integrados com os valores anteriores dentro da medição, que são ponderados para suavizar o peso de sua influência à medida que são combinados. A taxa na qual os dados antigos são eliminados para determinar o comportamento da média indicada é provido pelas escalas fast e slow. Desta forma, quando a soma que está se medindo é constante, as duas taxas tendem a gerar o mesmo resultado, no entanto, caso se o som mude rapidamente de nível as duas taxas irão diferir consideravelmente na faixa de muitos decibéis, por isso a importância da escolha adequada da ponderação temporal de medição.

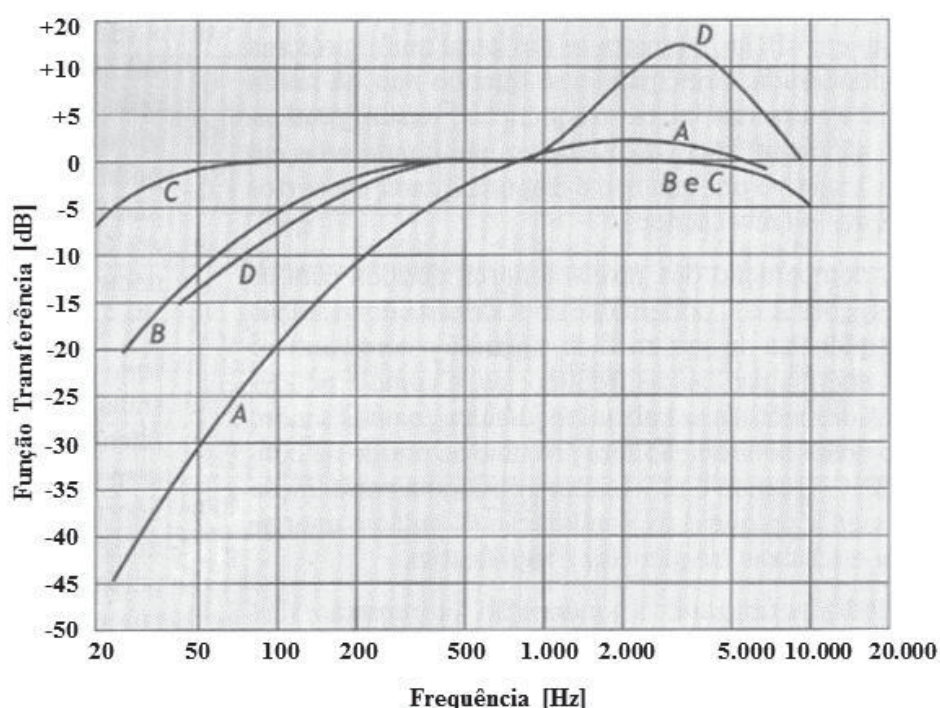
Outra função importante dos sonômetros são os filtros ponderadores de frequência, estes tipos de filtros têm a função de captar a energia sonora em bandas de frequências específicas, funcionando com um princípio de seletividade a partir de ressoadores eletrônicos. De tal modo, que certas frequências são ressoadas e terão uma resposta de sinal intenso, enquanto outras são rejeitadas ou penalizadas, gerando sinais de baixa magnitude.

Essa modificação do espectro sonoro é essencial para se obter uma resposta que tenta se aproximar à forma como o ouvido humano responde à sonoridade das intensidades do som, aplicando essas alterações na entrada do sinal sonoro em determinadas frequências (BISTAFA, 2018). Na FIGURA 4 estão representados os filtros ponderadores, alterando o sinal sonoro de entrada, que está representado no eixo vertical.

- A – penaliza baixas frequências comportando-se como um filtro que passa altas frequências; é simbolizado por dB(A)
- B – raramente utilizado em medições, é considerado o filtro mediano para penalizar baixas frequências; representado por dB(B)

- C – utilizado para NPS de grande magnitude e de rápida duração, faz um contorno de intensidade quase linear das frequências; expresso em dB(C)
- D – não mostrado pela figura, é um caso particular de aplicação para ruídos de aeronaves; quando utilizado é representado por dB(D)
- dB(lin.) – utilizado em equipamentos que não possuem os filtros ponderadores; substitui a ponderação (C) e é expresso em dB.

FIGURA 4 - FILTROS PONDERADORES DE FREQUÊNCIA SONORA.



FONTE: Bistafa, (2018).

Os filtros de ponderação mais utilizados em estudos de acústica são os filtros A e C, sendo que o filtro C, aproxima a resposta auditiva para níveis sonoros de grande intensidade, sendo exigido por algumas normas para medição de sons de impacto. Já o filtro A, é recomendado para níveis sonoros intermediários que são os que ocorrem normalmente na maior parte do tempo. No entanto, as suas limitações devem ser observadas para que a equivalência das distribuições das frequências do som medido seja a mais apropriada de acordo com o objetivo do respectivo estudo acústico (KUEHN, 2010).

Em síntese, no mercado hoje existem diversos equipamentos com grande precisão para medição do nível de pressão sonora, sendo imprescindível a escolha

do medidor mais adequado para cada caso específico, além disso, estes equipamentos possuem filtros de ponderação que dependem do tipo de ruído avaliado e, por isso devem ser levados em consideração para melhor resposta e precisão nas medições e estudos acústicos.

2.5. MAPAS ACÚSTICOS

O mapa acústico ou mapa de ruído tem como principal função a criação de representações visuais do ruído ambiental de uma dada área geográfica, sendo os níveis sonoros representados de maneira semelhante às curvas topográficas de mapas convencionais. A norma ISO 1996 -2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007) recomenda identificar nesses mapas os limites de cada curva por meio de cores padronizadas em intervalos de 5 dB.

Mapas acústicos são ferramentas estratégicas extremamente úteis e fundamentais no diagnóstico de um ambiente sonoro, que permite integrar a prevenção e controle do ruído urbano, facilitando o planejamento acústico em ordenamento do território, gestão do tráfego e redução do ruído a partir do monitoramento. Eles permitem diagnosticar a situação acústica de uma determinada área geográfica e fornecer informações importantes para os planos de ação locais e globais, auxiliando os gestores e tomadores de decisão na formulação de políticas públicas. (LICITRA, 2013; MURPHY e KING, 2014; ZANNIN, 2016). Portanto, servindo como um instrumento auxiliar no desenvolvimento territorial sustentável, visando garantir a qualidade de vida da população.

A utilização de mapeamento acústico para controle de ruído e avaliação acústica atualmente é uma realidade em diversos países. Na Europa, a partir da publicação da Diretiva Europeia 2002-49-EC de Ruído Ambiental (Environmental Noise Directive - END), aprovada em 2002, tornou-se obrigatório para cidades com mais de 250 mil habitantes a elaboração de mapas estratégicos de ruído. 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 (PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2002).

No Brasil, os mapas acústicos não têm sido elaborados de forma sistemática no âmbito dos municípios, existindo segundo Guedes e Bertolli (2015) alguns

exemplos pontuais, como a carta acústica de Fortaleza (CE) de iniciativa da Secretaria do Meio Ambiente e Controle Urbano (DACOL, 2013). No entanto, esse tema vem ganhando importância, com o desenvolvimento de diversos trabalhos acadêmicos em função do aumento significativo da poluição sonora nas grandes e médias cidades brasileiras. (CALIXTO, 2002; MAIA, 2003; GUEDES, 2005; NARDI, 2008; MARDONES, 2009; SOUZA, 2010; ZANNIN; SANT'ANA, 2011; SOUZA FILHO, 2012; FIEDLER, 2013)

O mapeamento acústico pode ser desenvolvido através de dois tipos de metodologias: medições diretas ou previsões por meio de modelos matemáticos. A utilização exclusiva de medições, apesar de mais precisa, tem maiores custos, do que os modelos matemáticos, que além de compreender menores despesas operacionais, permitem simulações de situações futuras (MURPHY; KING, 2011; MURPHY; KING, 2014).

Os cálculos presentes no mapeamento sonoro são realizados através de diversos softwares computacionais comerciais. Dentre os quais, podem ser mencionados: CadnaA, Fluidyn, GipSynoise, IMMI, LIMA, Mithra, Noisemap, Predictor e SoundPLAN (KANG, 2007). Estes softwares se utilizam de diferentes métodos de cálculo para variados tipos de fonte de ruído, por meio de modelos matemáticos que descrevem a propagação sonora ao ar livre, e consideram as influências das características acústicas das fontes geradoras (potência sonora), geométricas da área (topografia, edifícios, vegetação), meteorológicas (vento, temperatura, umidade), além de relevantes fenômenos acústicos (reflexão e difração). (GUEDES, 2015).

Com a utilização dos mapas de ruído obtém-se uma melhor visualização do problema da poluição sonora, sua abrangência e também suas fontes emissoras. Sendo então possível propor diferentes cenários, buscando a redução ou melhoria da qualidade do ambiente sonoro.

2.6 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS

Considerando os riscos associados à poluição sonora, foram criados diversos regulamentos e legislações no mundo todo visando controlar e fiscalizar a emissão deste poluente no meio ambiente. Portanto, para realizar uma avaliação da poluição sonora de forma adequada, é fundamental o conhecimento das normas locais, nacionais e internacionais sobre o assunto, pois além de estabelecer limites para os

níveis de ruídos toleráveis para diferentes ambientes, fornecem a descrição dos métodos de avaliação e os tipos de equipamentos a serem utilizados.

2.6.1 Norma internacional ISO 1996

Esta norma da Organização Internacional de Normalização é denominada “Acústica: Descrições, medições e avaliação do ruído ambiental”. Ela é dividida em duas partes, sendo a primeira (ISO 1996-1) “Conceitos básicos e procedimentos de avaliação”; e a segunda (ISO 1996-2) com o título de “Aquisição de dados pertinentes ao uso do solo”

Baseado nos princípios dessa norma, normativas nacionais regulamentações e limites aceitáveis para o ruído podem ser desenvolvidos. A primeira parte da norma define os itens básicos a serem utilizados para descrever o ruído em ambientes comunitários e descreve procedimentos de avaliação. Também, especifica métodos para avaliar a exposição a vários tipos de ruídos ambientais. Esta parte não especifica limites de ruído ambiental. Utiliza como norma de referência a IEC 6.16.72-1, norma da Comissão Eletrotécnica Internacional.

Nessa primeira parte são apresentados ajustes para avaliação de níveis de diferentes fontes sonoras, tendo em vista que a resposta da comunidade ao ruído pode variar entre diferentes fontes sonoras que possuem o mesmo nível de ruído. Essa parte descreve ajustes para sons que tenham diferentes características, também indica ajustes para horário noturno para fins de semana e feriados, a fim de proporcionar o descanso à população. Esses ajustes podem ser adicionados às medições ou à predição do nível de pressão sonora contínuo equivalente.

A segunda parte da norma tem o objetivo de fornecer os métodos para a aquisição de dados que descrevam o ruído ambiental. Utilizando esses dados como base, autoridades podem estabelecer um sistema para selecionar uso apropriado do solo conforme os níveis de ruído existentes em determinada área, ou planejar locais que tenham níveis de ruído apropriado de uso do solo já existente em norma específica.

Para aquisição dos dados, a norma preconiza que deve ser considerada: a descrição geográfica da área a ser avaliada; as fontes principais devem ser caracterizadas; deve-se fazer a descrição da situação do receptor, tais como:

localização, ocupação, uso e caracterização do entorno; e as condições meteorológicas devem ser registradas.

O nível sonoro médio de longo prazo pode ser determinado através de medições, cálculos ou ambos. A técnica de medição a ser utilizada, como por exemplo, à instrumentação, o número de posições do microfone e a duração do tempo de medição dependem da natureza da fonte e do receptor.

Em uma grade, pontos adjacentes não devem ter diferenças superiores a 5 dB. O número de posições a ser medido pode ser reduzido quando a interpolação é possível pela utilização de modelos de propagação que permitem o cálculo do nível de pressão sonora em posições intermediárias. A posição das medições deve ser indicada em um mapa.

- Os instrumentos utilizados devem ser preferencialmente do tipo 1 ou 2;
- As medições devem ser feitas na altura do receptor, de 1 a 2 metros da fachada;
- O intervalo de tempo deve ser escolhido de modo que cubra todas as variações de emissões e transmissões do ruído;
- O tempo de medição dependerá da exatidão do resultado desejado.

Além dos resultados das medições do ruído ambiental da área e os resultados calculados, uma apresentação em termos de zonas de ruído pode ser utilizada. É recomendado que o contorno das zonas represente diferença de resultados múltiplos de 5 dB. Existem na norma duas tabelas para representar esses resultados por meio de cores ou hachuras. A primeira tabela usa múltiplo de 5 dB e a segunda múltipla de 10 dB. Os detalhes e escala do mapa depende: do tamanho, estrutura e uso da área considerada; do objetivo do planejamento; do estágio de procedimento do planejamento.

O mapa de ruído deverá ser estabelecido como mapa oficial, em uma dada escala, descrevendo detalhes relevantes das edificações, instalações de tráfego, áreas industriais, áreas agrícolas, vegetação e curvas de nível. O mapa deverá mostrar a localização dos pontos medidos ou calculados.

2.6.2 NBR 10151:2020

Esta norma da ABNT da Associação Brasileira de Normas Técnicas tem por objetivos fixar as condições exigidas para a avaliação do ruído aceitável em

comunidade; especificar o método para a medição do ruído; especificar correções nos níveis medidos, se o ruído apresentar características especiais.

Em relação aos procedimentos de medição, a norma especifica que as medições devem ser realizadas externamente aos limites da propriedade que contém a fonte de ruído.

Correções devem ser feitas caso o ruído apresente características especiais, a norma estabelece que essas correções devem ser feitas para obter uma melhor avaliação do incômodo à comunidade. Os valores medidos devem ser aproximados para números inteiros e fenômenos atípicos de ruído não devem ser considerados, como trovões e chuvas fortes.

Em relação ao tempo de medição, a norma estabelece que esse tempo deve caracterizar o ruído em questão, podendo ser realizada em apenas uma medição ou uma sequência delas. O microfone deve ser protegido durante as medições e as medições devem ser feitas a 1,2 metros do chão e menos de 2 metros do limite da propriedade que contém a fonte e de qualquer superfície refletora, caso não seja possível, isso deve estar transcrito no relatório.

Além de parâmetros para medições externas, a norma da ABNT estabelece regras para medições internas. As medições no interior de edificações devem ser efetuadas a pelo menos 1 metro de qualquer superfície refletora. Devem ser medidos pelo menos 3 pontos, afastados pelo menos 0,5 metro entre si se possível.

A avaliação do ruído deve ser feita comparando-se os valores medidos aos níveis determinados pela norma, conforme a atividade e horários dos períodos noturno e diurno dependendo dos hábitos da população, entretanto o período noturno não deve começar antes das 22 horas e não deve terminar antes das 7 horas do dia seguinte se for domingo ou feriado.

Se a avaliação for feita em ambiente interno, os critérios utilizados devem ser os mesmos do externo, com correção de (-1 dB(A) para janelas abertas e -15 dB(A) para janelas fechadas). O nível de ruído ambiente não deve ser superior ao estabelecido na TABELA 2.

TABELA 2 - LIMITES DE PRESSÃO SONORA EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE ÁREAS HABITADAS.

TIPOS DE ÁREAS HABITADAS	LAeq 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 (2020)

2.6.3 Lei Municipal 10.625/2002

Esta lei municipal da cidade de Curitiba "dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem-estar e do sossego público e dá outras providências".

A lei dá algumas definições básicas, como a de som, de ruído, de poluição sonora de nível equivalente' Define os períodos:

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

A lei cita as normas da ABNT como referência a ser seguida para realização das medições. No entanto, a referida norma não traz especificações sobre o ruído de tráfego e também não aplica correções para diferentes tipos de ruído, como impulsivos e tonais, apenas estabelece que ruídos atípicos, como sirenas, sinos e alarmes não devem ser considerados na avaliação da poluição sonora ambiental.

Além de outros parâmetros, regras e especificações, a lei fornece níveis máximos de ruído conforme as zonas urbanas. Divide essas zonas em três períodos (manhã, tarde e noite) estabelecendo níveis máximos para cada período em cada uma das zonas urbanas conforme o zoneamento urbano e uso do solo da cidade de Curitiba.

A lei ainda dispõe sobre a chamada Zona de Silêncio, para áreas 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.

As 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. A Tabela 3 apresenta os limites de pressão sonora máximos permitidos para zonas urbanas nos diferentes períodos conforme a lei municipal de Curitiba.

TABELA.3 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MÁXIMOS CONFORME ZONEAMENTO URBANO

ZONAS DE USO	DIURNO	VESPERTINO	NOTURNO
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	55 dB(A)	50 dB(A)	40 dB(A)
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 dB(A)	55 dB(A)	50 dB(A)
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 dB(A)	60 dB(A)	55 dB(A)
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, ZEI-I (CIC), APA-SUE	70 dB(A)	60 dB(A)	60 dB(A)

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.

Fonte: Prefeitura Municipal de Curitiba (2002)

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a contribuição da comunidade científica nos temas abordados neste trabalho, sendo relacionadas às pesquisas referentes ao ruído ambiental, suas causas e consequências, formas de avaliação, controle e monitoramento, com o objetivo de entender como esses conteúdos estão sendo tratados a nível nacional e internacional. Além disso, são apresentadas pesquisas sobre mapeamento acústico e avaliação da poluição sonora em estabelecimentos de ensino, e por fim, é dado destaque aos estudos relacionados ao impacto da pandemia de Coronavírus (Sars-COV2) na poluição sonora.

3.1 POLUIÇÃO SONORA

Diversos estudos apontam o aumento da urbanização e industrialização como principais responsáveis pela acelerada e desordenada expansão e verticalização das cidades, com consequente impacto no meio ambiente. Somando-se a isso, a falta de planejamento territorial, a variedade de fontes ruidosas combinadas e o crescimento da frota de veículos tem configurado ambientes urbanos acusticamente degradados. (ZANNIN et al., 2003, PAIVA, 2014, FIEDLER; ZANNIN, 2015a)

Nas últimas décadas o ruído ambiental deixou de ser apenas um incômodo, um problema local, para se tornar um problema generalizado, global e difuso. De acordo com a organização Mundial da Saúde, das Nações Unidas, (WHO, 2011) a poluição sonora é, juntamente com a poluição do ar e da água, um dos principais problemas ambientais enfrentados pela população mundial, principalmente nos grandes centros urbanos, onde o problema cresce cada vez mais (ZANNIN et al, 2003; Paz, 2004; PAZ et al, 2005; LACERDA, 2005; RIBAS, 2007).

Segundo Zannin et al. (2013), a poluição sonora é causada principalmente pelo ruído produzido pelos sistemas de transporte, instalações industriais e comerciais, obras de construção civil, instalações de entretenimento e sistemas de propaganda e podem ser subdivididas em três grupos:

- Fontes estacionárias: são instalações, máquinas ou canteiros de obras que possuem uma localização ou posição física determinada. Apesar de ser chamado de ponto pode ser desde um complexo industrial até um

equipamento de ar condicionado, dependendo das condições de escala da região analisada.

- Fontes móveis: são fontes geradoras de ruído que se movem no espaço, geralmente serve para designar os diversos modais do sistema de transporte .de carga e passageiros.
- Fontes coletivas: é quando o somatório do ruído gerado em uma área ou espaço físico é causado por diversos elementos geradores de ruído, fixos ou móveis. Neste caso é considerado como uma única fonte de ruído, mesmo tendo diversos geradores internos de ruído, é o caso de ruas e parques com aglomeração de pessoas.

Segundo a Organização Mundial da Saúde – (OMS), 40% da população nos países da União Europeia (UE) está exposta diariamente, ao ruído ambiental com níveis acima de 55 dB (A) e aproximadamente 20% a níveis acima de 65 dB(A), considerando como limite para ausências de danos ao homem (WHO, 2018).

Em 2012, aproximadamente 17 milhões de pessoas nos países membros da UE foram expostos a níveis de ruído médio diário superiores a 65 dB(A). Esse número é aproximadamente duas vezes maior que o número de pessoas que foram expostas ao ruído em 2007 e a tendência é que esse número aumente à medida que avança a industrialização e urbanização (AEA, 2017).

Nos países em desenvolvimento como Brasil, China e Índia a situação é ainda mais preocupante, apresentando problemas no aspecto social e ambiental relacionado a poluição sonora (ZANNIN et al., 2002; LAM et al. 2009; WHO 2018).

No Brasil a preocupação com a poluição sonora ainda está longe de receber a atenção necessária e diversas pesquisas têm evidenciando esse problema na cidade de Curitiba e em outras grandes cidades, como São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Belo Horizonte, Campo Grande e Aracaju (ZANNIN et al., 2002; BERTOLI; PAIVA, 2014; 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

Estudos realizados em várias cidades têm revelado que o ruído de tráfego é o maior contribuinte para os níveis sonoros medidos e a maior causa de incômodo em

áreas urbanas. Esse aumento acelerado no número de veículos motorizados nos centros urbanos tem causado um acréscimo considerável no número de reclamações da população (ZANNIN et al., 2003; BUNN E ZANNIN, 2016).

Segundo Fildler e Zannin (2015) o ruído de tráfego é responsável por cerca de 2/3 de todo ruído urbano gerado nas cidades, o deslocamento de automóveis, caminhões e motocicletas por rodovias, avenidas e ruas é o grande causador desse poluente no meio. Sendo as regiões mais afetadas aquelas as margens de grandes rodovias e eixos de transporte e os grandes centros urbanos, com elevada densidade malha rodoviária.

Este tipo de ruído tem gerado preocupação de órgãos ambientais e de pesquisadores, com a criação de 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 (ANSAY, 2013; BUNN E ZANNIN, 2016)

Segundo Annecke; Zimmerman, (2008) o ruído de tráfego, está associado a quatro fatores principais:

- Ruído de veículos: este fator depende diretamente do veículo, seus componentes e condições de funcionamento. Varia de acordo com o tipo e potência do motor, sistema de exaustão, tipo de suspensão, regime de trabalho do veículo (em aceleração ou frenagem), sistema de freios, condições do tráfego (fluindo com mais velocidade ou engarrafado) e condições gerais de manutenção. Um conjunto destas características pode ser observado na diferença entre caminhões e veículos leves. Os caminhões ao utilizarem um sistema de tração diesel de elevada potência, sistemas de freios e suspensão adequados ao transporte de carga tornam-se de quatro a dez vezes mais ruidosos que veículos leves de passeio;
- Ruído devido ao tipo e condições da pavimentação: depende da fricção entre o pneu e o pavimento, do tipo e rugosidade do pavimento e das condições de manutenção da pavimentação. Outra característica associada à pavimentação diz respeito ao alinhamento da via, pavimentos elevados ou rebaixados projetam menor nível de ruído sobre as construções e residências, porém um alinhamento ao mesmo nível

das construções projeta diretamente o ruído do tráfego da via nas fachadas dos prédios e residências.

- Ruído devido ao comportamento do motorista: depende das atitudes e ações do motorista do veículo que está trafegando. Dirigir com motor em alta rotação, acelerações ou frenagens bruscas, uso da buzina, volume do sistema de som do veículo;
- Ruído devido a operações de construção ou reforma da via de tráfego: a construção e manutenção de estradas exige uma considerável quantidade de máquinas e equipamentos que produzem elevados níveis de ruído, além de causar diminuição na velocidade do fluxo de veículos.

Em um estudo realizado na cidade de Antalya, na Turquia foi demonstrado que o aumento nas velocidades de veículos pesados em condições de superfície de uma estrada suave causou um aumento nas exposições ao ruído mais significativo do que na velocidade de veículos leves. A redução da exposição ao ruído por meio de medidas, como rotas alternativas para veículos pesados e restrição de velocidade, foi em torno de 25,5 - 63,8% conforme modelagem no software SoundPLAN® (ECE ET AL, 2018).

O fluxo de veículos na via, ou seja, a quantidade de veículos e suas respectivas velocidades médias são fatores determinantes em relação ao ruído gerado. Maiores fluxos de veículos significam consequentemente maiores ruídos emitidos. Para uma maior quantidade de veículos teremos um aumento de 3 dB no ruído emitido cada vez que dobra a quantidade de veículos trafegando. Em relação à velocidade, um aumento na velocidade média do tráfego aumenta de forma significativa o ruído ambiental, pois aumenta a rotação do motor, ruído do sistema de exaustão, ruído devido à interação pneu pavimentação, ruídos de acelerações e desacelerações e possíveis ruídos de freadas. Desta forma, com a redução da velocidade dos veículos é possível a redução do ruído emitido. Com uma redução de 50% na velocidade média do trânsito é possível uma redução em até 6 dB sobre nível geral de ruído emitido (ANNECKE; ZIMMERMAN, 2008; ELLEBJERG, 2007).

No entanto, um dos fatores determinantes pela insatisfação gerada pelo tráfego de veículos é a distância entre a fonte e o receptor. Quanto mais próximo estiver o receptor da via de trânsito, maior será o nível de pressão sonora neste receptor. Como uma via de trânsito tem a característica de uma fonte em linha, a cada

vez que dobra a distância entre o receptor e o tráfego de veículos, ocorre uma redução no nível da pressão sonora recebida em 3 dB. (ELLEBJERG, 2007)

3.2 EFEITOS DO RUÍDO AMBIENTAL À SAÚDE

Existem diversas evidências comprovadas da associação entre a exposição humana ao ruído e efeitos nocivos à saúde, sendo baseadas principalmente em experimentos sobre plausibilidade biológica. (BABISCH, 2014). Em 2011, o escritório regional da OMS na Europa realizou uma Pesquisa Conjunta com a Comissão Europeia (CE) publicou um relatório sobre a carga de doenças do ruído ambiente que quantificou os anos saudáveis de vida perdidos nos países da Europa Ocidental como resultado do ruído ambiental (WHO, 2011).

A carga da doença é calculada, em uma única medida de anos de vida ajustados por incapacidade (DALYs), como a soma dos anos de vida perdidos por mortes prematuras e os anos vividos com deficiência para pessoas que vivem com a doença ou condição de saúde ou suas consequências na população em geral (OMS, 2014). Informações foram consideradas para quantificar a carga de doenças do ambiente relacionadas ao ruído para doenças cardiovasculares, comprometimento cognitivo em crianças, distúrbios do sono, zumbido e aborrecimento.

O relatório, com base em um conjunto limitado de dados, estimou que dias perdidos devido ao ruído ambiental em países da Europa Ocidental são equivalentes a 61.000 anos para doença isquêmica do coração (DIC), 45.000 anos para deficiência cognitiva em crianças, 903.000 anos para distúrbios do sono, 22.000 anos para zumbido e 654.000 anos para aborrecimento (Escritório Regional da OMS para a Europa e JRC, 2011).

As avaliações disponíveis colocam as doenças causadas pelo ruído ambiental como sendo o segundo maior problema depois da poluição do ar (Escritório Regional da OMS para a Europa & JRC, 2011; Hänninen et al., 2014; OMS 2014b). No entanto, devido a falta de dados de exposição nas áreas central e oriental da Região Europeia não foi possível avaliar a carga de doenças do ruído ambiental para toda a região.

A exposição ao ruído pode causar uma série de alterações morfológicas e fisiológicas em um organismo, que resulta na diminuição da sua capacidade funcional, na deterioração da sua capacidade de compensação quando houver um esforço adicional, ou no aumento da susceptibilidade aos efeitos nocivos de outras influências

ambientais. Esta definição inclui a redução temporária ou em longo prazo do funcionamento físico, psicológico ou social dos seres humanos ou dos seus sistemas de órgãos (GOINES; HAGLER, 2007; EGGERMONT, 2019; LAUER et al., 2019; SHA et al., 2020);

Diversas pesquisas descreveram os efeitos auditivos e extra auditivos da exposição ao ruído sobre a saúde da população, incluindo a perda auditiva induzida por ruído, distúrbios do sono, comprometimento cognitivo em ambientes escolares, hipertensão arterial, doença coronariana e diabetes (BASNER et al., 2014; MUNZEL et al., 2014; MUNZEL et al., 2018).

3.2.1 Impactos da poluição sonora em ambientes educacionais

A aprendizagem está ligada a intercâmbios dentro da língua falada. Métodos de ensino modernos, com a uso de novas mídias ou uma variedade de estímulos de aprendizagem, são especialmente dependentes de alta qualidade da comunicação oral. Altos níveis de pressão sonora aumentam a interferência na comunicação e interpretação da fala, impondo automaticamente um esforço adicional por parte dos professores e alunos, causando exaustão mais cedo do que se poderia esperar, consumindo recursos cognitivos que seriam mais efetivamente gastos na compreensão dos conteúdos, e no pensamento. (LUBMAN D, SUTHERLAND LC, 2001; KLATTE, 2002).

A capacidade de ler, entender e extrair informações é um pré-requisito fundamental para o sucesso do aprendizado. Podemos, assim, supor que uma boa atmosfera de escuta não influencia apenas a aquisição da linguagem, mas também a aprendizagem da leitura e da escrita. O excesso de ruídos em ambientes de ensino causa dificuldade em manter a atenção e concentração podendo levar a uma aprendizagem exaustiva (ARELT ET. AL, 2001; ZANNIN et al. 2013; TZIVIAN, 2017; SCHITTINI, 2020)

Falar com a voz elevada para abafar o ruído não é apenas uma causa de problemas de voz e garganta dos professores, mas também impede a qualidade das declarações, tornando-as mais curtas e simples, a velocidade da fala é mais lenta, a entonação fica monótona. No geral é menos ensinado. A aprendizagem fica cada vez menos interessante e motivadora (LUBMAN D, SUTHERLAND LC, 2001; TIESLER, 2002; GILAVAND E JAMSHIDNEZHAD, 2015).

Chiang e Lai (2008) relataram os efeitos nocivos do ruído no bem-estar mental e físico dos alunos como parte de seu estudo. De uma infinidade de efeitos demonstráveis, os seguintes resultados negativos foram relatados especificamente no contexto de uma sala barulhenta: cansar-se facilmente, redução na eficiência das atividades; aumento da frequência cardíaca; dispepsia; pouco apetite; insônia; dor de cabeça, zumbido e palidez facial

Podemos também destacar os distúrbios do sono causados pelo efeito do ruído ambiental, que afetam diretamente no desempenho escolar. Todas as funções do cérebro e do organismo em geral são influenciadas durante o sono, sendo que o sono ininterrupto com qualidade é conhecido por ser um pré-requisito para o bom funcionamento fisiológico e mental das pessoas saudáveis (HAGLER, 2007). Estes efeitos incluem a redução da qualidade percebida do sono, o aumento do cansaço, as alterações de humor, do estado de depressão e do bem-estar e a diminuição do desempenho nas atividades diárias (WHO, 2001; HAGEN et. al., 2002).

3.3 AVALIAÇÃO E CONTROLE DO RUÍDO AMBIENTAL

Zannin, Diniz e Barbosa (2002), realizaram medições do nível de pressão sonora em 1.000 pontos na cidade de Curitiba e concluíram que 93.3% desses pontos apresentaram valores acima de 65 dB (A) durante o dia, e que 40.3% apresentaram valores ainda maiores, acima de 75 dB(A).

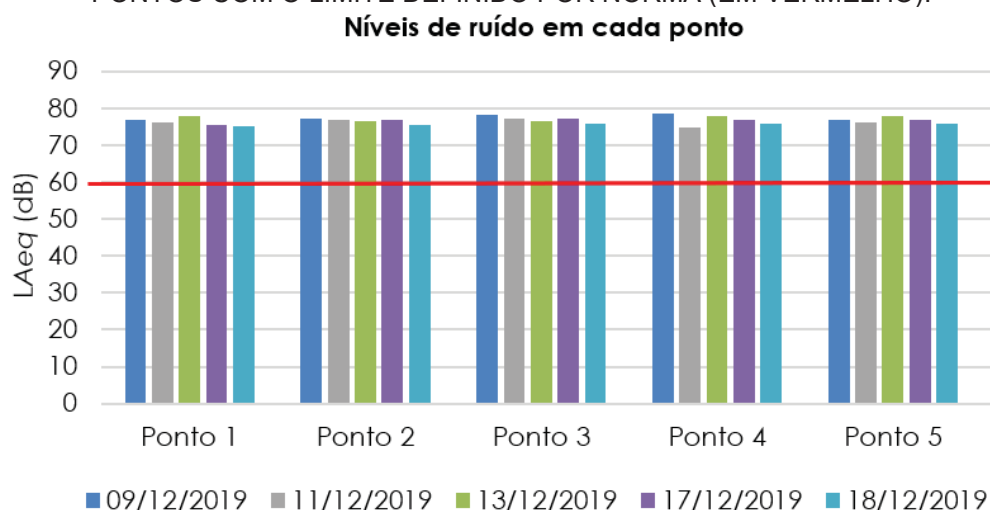
Calixto, Diniz e Zannin (2003), desenvolveram um modelo para prever o ruído do tráfego de vias que se tornaram grandes avenidas em Curitiba, a partir da utilização dos níveis de emissão de ruído e ainda verificaram a aplicabilidade do modelo RLS-90 às condições das estradas brasileiras. Para isso, Paz e Zannin (2010), utilizaram a modelagem matemática a partir da coleta de dados, com o uso de níveis estatísticos para predição de ruído ambiental em um trecho urbano de uma rodovia largamente movimentada de Curitiba. A pesquisa concluiu que devido à ausência 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).

Borbosa et. al (2020) realizaram uma avaliação da poluição sonora na região central de Uberaba – MG. Foram realizadas medições de nível de pressão sonora de acordo com a NBR 10.151/2019 em 5 zonas da região central de Uberaba e em cada

zona foram realizados 4 pontos de medição. Para cada ponto, a medição foi realizada de 1 em 1 minuto, totalizando 10 minutos. A partir dos valores de níveis de pressão sonora foi obtido o nível de pressão sonora equivalente que corresponde à média do ruído de cada local e este valor foi comparado com as normas referentes a poluição sonora. Os resultados demonstraram valores acima dos estabelecidos por normas podendo acarretar danos à saúde da população que está submetida a esta poluição. Sendo, portanto, necessário um melhor planejamento urbano da cidade e a incorporação de medidas de controle e de atenuação sonora para o bem-estar da comunidade.

Ribeiro et al (2020) com o objetivo de avaliar os níveis de pressão sonora no canteiro central na BR-262 em Cariacica no Espírito Santo, em comparação com os valores estabelecidos pela NBR 10.151. Para isso, foi realizada a medição em 5 pontos da via e simultaneamente a contagem de veículos e pessoas que transitavam no local. Os resultados (FIGURA 6) apresentaram LAeq superior a 76 dB(A), expondo a falta de qualidade acústica dos espaços públicos destinados ao lazer e à prática esportiva, além de fornecer dados para melhorias das cidades.

FIGURA 6: COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS NOS 5 PONTOS COM O LIMITE DEFINIDO POR NORMA (EM VERMELHO).



FONTE: Ribeiro et al. (2020)

Atualmente, existem diversas discussões sobre as soluções para o problema do ruído gerado pelo tráfego de veículos. Contudo, os usuários das rodovias também devem ser levados em consideração, pois têm o direito de trafegar em uma pista segura e bem conservada. Assim, a busca ideal é a de uma rodovia econômica,

durável, confortável, segura e silenciosa, sendo esse último quesito válido tanto para o usuário da rodovia quanto para a população vizinha (STRUFALDI et al., 2009).

Nesse sentido, diversos estudos no Brasil e no mundo tem demonstrado a importância de se realizar avaliações e monitoramento do ruído de tráfego, com o objetivo de avaliar e identificar locais poluídos, propondo medidas para redução dos níveis de ruído emitidos, visando garantir a qualidade de vida da população (PAZ E ZANNIN, 2010; FIEDLER, P. E. K.; ZANNIN, P. H. T, 2015, SCHITTINI, 2020)

Visando mitigar o ruído gerado nas rodovias na interação pneu-pavimento na Europa, nos Estados Unidos e no Japão tem sido adotado a solução combinada de pavimentos silenciosos e barreiras acústicas e, em alguns casos, um pavimento silencioso pode ser mais efetivo para reduzir o barulho do tráfego do que as barreiras acústicas, de acordo com Ulf Sandberg, professor-adjunto do Swedish National Road and Transport Research Institute (VIT) e da Chalmers University of Technology da Suécia, Revista Técnica (2007).

Em um estudo conduzido por Aps e Bernucci (2020), foi avaliada a redução nos níveis de ruído em um trecho da rodovia Mario Covas (Rodoanel) em São Paulo com a utilização de pavimentos silenciosos com camadas de rolamento asfálticas do tipo CPA (camada porosa de atrito) utilizando ligantes modificados por polímeros e por borracha moída de pneus, uma vez que esse tipo de mistura apresenta um grande volume de vazios interligados, condição essencial para que haja a absorção das ondas sonoras na própria camada.

Após a execução do revestimento, foi realizada a verificação dos novos níveis de ruído e a solução final foi complementada com a instalação de barreiras acústicas. Essa foi a primeira vez que a utilização da CPA foi executada com tal finalidade no Brasil. Os resultados demonstraram que houve uma redução de 8,1 dB(A) nos níveis de ruído gerado. Entretanto os valores medidos ainda ficaram acima dos limites toleráveis pela legislação vigente, havendo a necessidade de implantação de barreiras acústicas para complementar a solução.

3.4 ESTADO DA ARTE: MAPEAMENTO ACÚSTICO

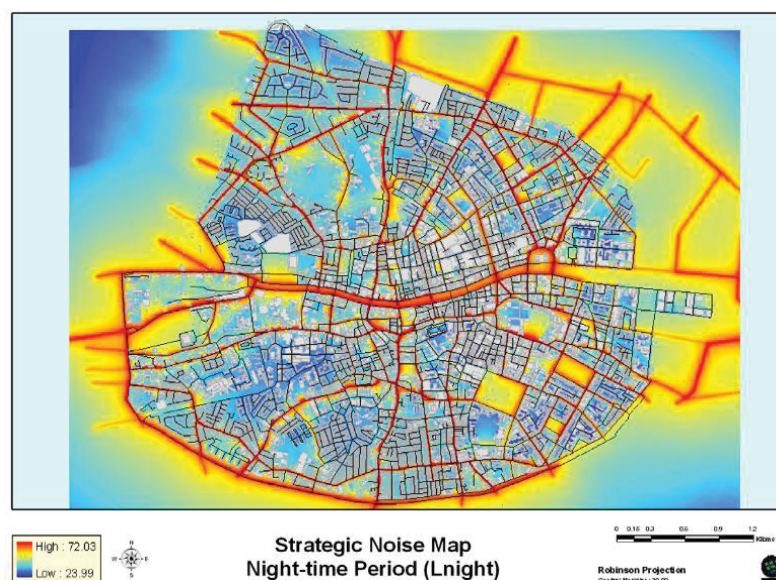
Diversos trabalhos realizaram mapeamento acústico no Brasil e no mundo nos últimos anos. A maioria dos trabalhos utilizou softwares comerciais especializados na predição de ruído ambiental. Com interface simples, estes softwares trazem módulos

de simulação de ruído. Os mais utilizados foram o Predictor (Fiedler e Zannin, 2015), Soundplan (Gomez et al., 2015) e Cadna-A (Suárez e Barros, 2014), além de pesquisas que demonstram a equivalência de desempenho entre eles (Arana et al., 2010).

Em um destes estudos, Guedes (2005) discutiu os resultados da influência de formas urbanas sobre o ruído ambiental na cidade de Aracaju- SE. O estudo, que envolveu medições in-situ e simulações acústicas usando o software SoundPLAN, iniciou-se com a análise do cenário acústico decorrente, seguida pela criação e simulação de cenários hipotéticos em setores ainda desocupados da região em estudo.

Murphy e King (2011) realizaram um mapeamento acústico em Dublin, na Irlanda conforme FIGURA 7. A pesquisa usou para cálculo de ruído rodoviário, o método inglês CRTN (*Calculation of Road Traffic Noise*), e simulou três situações com o objetivo de reduzir o ruído da região: reduções de tráfego, redução de velocidade e construção de barreiras acústicas.

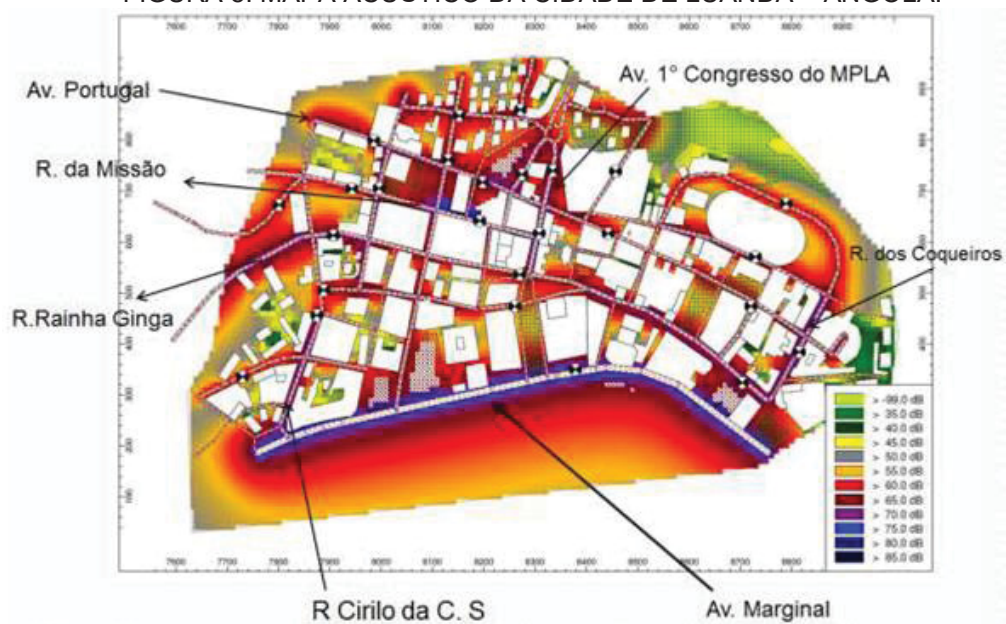
FIGURA 7: MAPA DE RUÍDO NOTURNO EM DUBLIN, IRLANDA.



FONTE: Murphy e King (2011).

Em Luanda, capital de Angola, Fernandes (2013), realizou o mapeamento acústico da cidade com o software CadnaA, (FIGURA 8) com o objetivo de comparar os resultados obtidos e analisando o cenário acústico sob a ótica da engenharia urbana e identificar as principais fontes de ruído na área de estudo.

FIGURA 8: MAPA ACÚSTICO DA CIDADE DE LUANDA – ANGOLA.



FONTE: Fernandes (2013)

Zannin et al, (2013) estudou a distribuição do ruído de tráfego dentro do campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná associando os níveis de ruído encontrados com os efeitos na população acadêmica, por meio de uma análise subjetiva de entrevistas realizadas.

Fiedler, (2013) estudou da distribuição do ruído nos principais eixos de transporte urbano da cidade de Curitiba identificando o efeito da poluição ambiental nas áreas sensíveis ao ruído destas regiões, tais como hospitais e escolas.

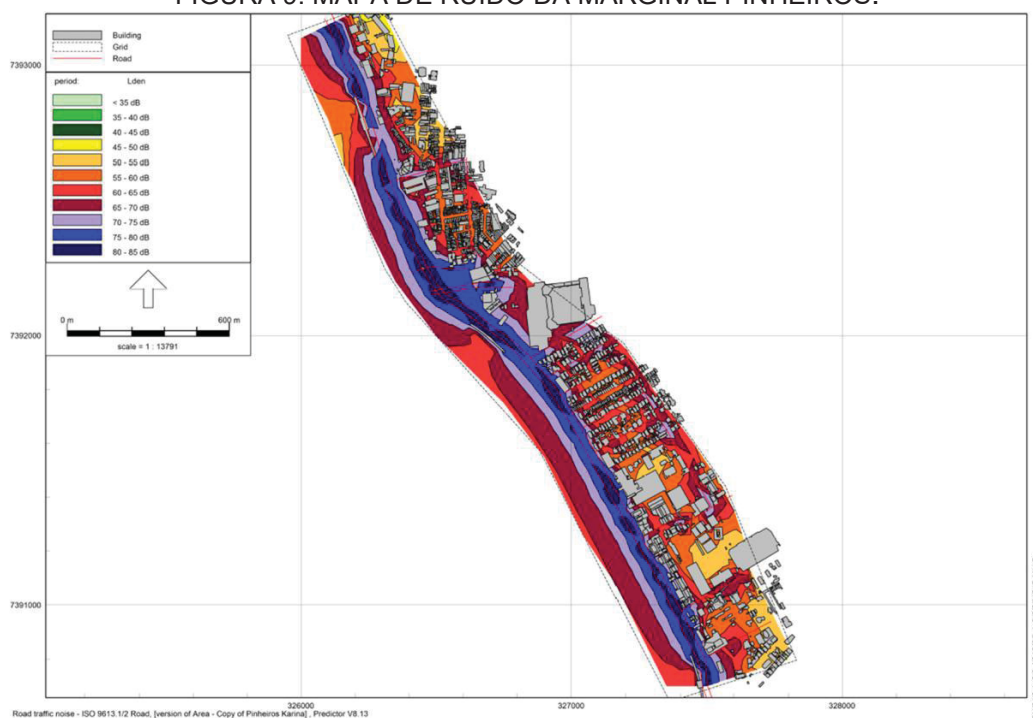
Na Romênia, Moholea Popescu, e Ursu-Fischer (2017) avaliaram o ruído do tráfego em áreas urbanas, da cidade de Cluj-Napoca, foram realizadas medições sonoras em 2006 e 2017, nos mesmos pontos e nas mesmas condições. Os resultados demonstraram que o problema ruído gerado pelo do tráfego de veículos na cidade melhorou nos últimos anos, porém ainda não foi totalmente resolvido e deve permanecer em atenção pelo do governo.

Brito (2017) em um estudo de caso realizado na cidade de Campos do Jordão, São Paulo, elaborou mapas acústicos com o software SoundPlan 7.3, com o objetivo de avaliar a contribuição desta ferramenta no planejamento urbano e na melhoria da paisagem sonora da cidade. Foram realizadas 8 medições (4 em dias úteis e 4 em feriados e finais de semana) em cada um dos 15 locais selecionados e com duração de 15 minutos cada. Os locais selecionados foram definidos como sensíveis (praças, escolas, hotéis e pousadas). 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.

Na cidade de São Paulo, mais precisamente na região de Pinheiros, Paiva, Cardoso e Zannin (2019) avaliaram a correlação entre os níveis de exposição ao ruído do tráfego rodoviário em áreas residenciais e o incômodo gerado com base na percepção e sensibilidade da população. Foram realizadas medições, e elaboração de mapas acústicos conforme FIGURA 9 e aplicação de questionários com o objetivo de verificar a percepção dos moradores do bairro em relação ao ruído. O estudo concluiu que o cenário de poluição sonora, tendo em vista que os níveis de ruído medidos em todos os pontos ultrapassaram o limite crítico para a área, 55 dB (A) e o incômodo relacionado ao ruído foi relatado por 48,4% dos entrevistados.

FIGURA 9: MAPA DE RUÍDO DA MARGINAL PINHEIROS.



FONTE: Paiva, Cardoso e Zannin (2019)

Gozalo et al (2019) estudaram a atribuição estatística de erros na modelagem do ruído urbano. Uma análise de distribuição de diferenças entre os níveis de som medidos e calculados foi realizada com o objetivo de avaliar a precisão do modelo de ruído para diferentes características urbanísticas e de tráfego rodoviário que influenciam suas incertezas.

Os resultados mostraram que o modelo de ruído subestima os valores de pressão sonora nas categorias de estradas com os maiores e menores fluxos de tráfego rodoviário. O monitoramento da velocidade do veículo e o uso de uma estratégia apropriada de medição no local podem melhorar essas estimativas. Além disso, foi observada uma clara influência do número e da porcentagem de veículos pesados na superestimação dos valores de ruído.

3.5 RUÍDO EM ESTABELECIMENTOS DE ENSINO

Como visto anteriormente, o ruído em ambientes educacionais está relacionado a uma série de problemas e pode comprometer a aprendizagem. Sendo assim, muitos estudos no Brasil e no mundo abordaram este tema.

Nascimento et al. (2007) realizaram um estudo com o objetivo de determinar se nos ambientes da UNICAMP apresentavam poluição sonora, ou seja, se os níveis de ruído destes estão acima dos determinados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Foram realizadas medições de nível de pressão equivalentes de 5 minutos e comparados com legislação. O trabalho demonstrou que os níveis de pressão sonora presentes nas dependências do campus encontravam-se entre 67 e 76 dB, ou seja, acima dos recomendados pela OMS e pela ABNT. A partir dos resultados foram sugeridas soluções para atenuação do ruído nos ambientes.

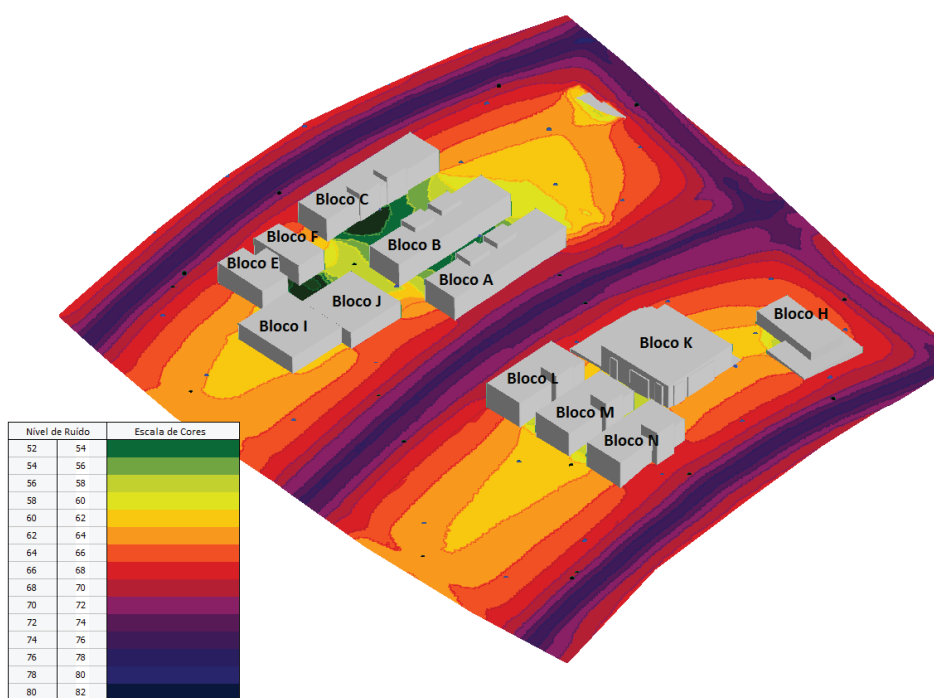
Zannin et al. (2013) avaliaram o ruído de fundo na Universidade Federal do Paraná por meio de medições sonoras médias (L_{eq}) e mapas acústicos, com o uso do software SoundPlan. Os resultados demonstraram que os locais onde ficam as salas de aula e laboratórios apresentavam níveis de ruído entre 54 a 63 dB (A), e que embora algumas áreas ocorriam as chamadas “ilhas de tranquilidade acústica” no campus Centro Politécnico, a poluição sonora deve ser motivo de preocupação tendo em vista os altos níveis encontrados em diversos pontos.

Em Maputo, capital de Moçambique, na África oriental, Penicela et al. (2018) realizaram uma pesquisa com o objetivo de medir os níveis de poluição sonora em 10 escolas primárias na cidade de Maputo e compararam os valores obtidos com os recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Em cada escola foram feitas 3 medições: 1 no pátio e 2 na sala de aula (ocupada e desocupada por alunos). Os resultados mostram que no pátio em apenas 1 escola foi encontrado o valor de 53,6 dB (A) dentro do limite recomendado pela OMS que é de 55 dB. O estudo

concluiu que a poluição sonora nas escolas decorre da combinação de 3 principais fontes: tráfego rodoviário, alunos (particularmente das primeiras classes) e outras atividades de funcionamento da escola.

Ansay (2013) avaliou a poluição sonora do tráfego rodoviário no Campus Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Foram realizadas medições e mapeamento acústico, simulando diferentes cenários: a atual condição acústica do campus (FIGURA 10), e duas simulações futuras para o local. Os resultados demonstraram que poucos locais se encontravam com nível sonoro abaixo do limite de tolerância de 55 dB (A) e nas 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 10 - MAPA DE RUÍDO DO CAMPUS ECOVILLE DA UTFPR.



FONTE: Ansay (2013)

El-Sharkawy e Alsubaie (2014) realizaram uma avaliação acústica no campus da Universidade de Damman na Arábia Saudita em relação ao ruído ambiental e as condições de conforto acústico das salas. Os resultados mostraram que os níveis de ruído das salas estavam acima do limite recomendado e que o tráfego de veículos dentro do campus foi a principal fonte de poluição sonora.

No Campus de Engenharia da Universidade Al-Mustansiriyah, em Bagdá, Ibrahim (2015) realizou uma avaliação dos níveis sonoros ambientais do local. Neste estudo foi utilizado o software SoundPlan para construção dos mapas acústicos. Os resultados evidenciaram que haviam fontes de ruído com níveis de pressão sonora superiores a 90 dB (A) em áreas muito próximas ao campus.

Na Índia, Thattai et al. (2017) realizaram um estudo que analisou os níveis de ruído em 24 estações (Leq por 2 horas) em várias estações durante três períodos de tempo diferentes entre os dois ciclos. Esse estudo seguiu os parâmetros legalmente estabelecidos pela Regulamentação local sobre poluição sonora recomendada para instituições de ensino e hospitais durante o dia, que era de 50 dB (A). O trabalho concluiu que havia poluição sonora no campus e que os valores de Leq estavam acima dos limites permitidos de 55 dB(A) e que o problema era devido, principalmente, em função da localização do campus, posicionado ao lado da linha férrea e a um ponto de ônibus. As vantagens logísticas de estar perto da estação e do ponto de ônibus acabam sendo compensadas pela intrusão de ruído.

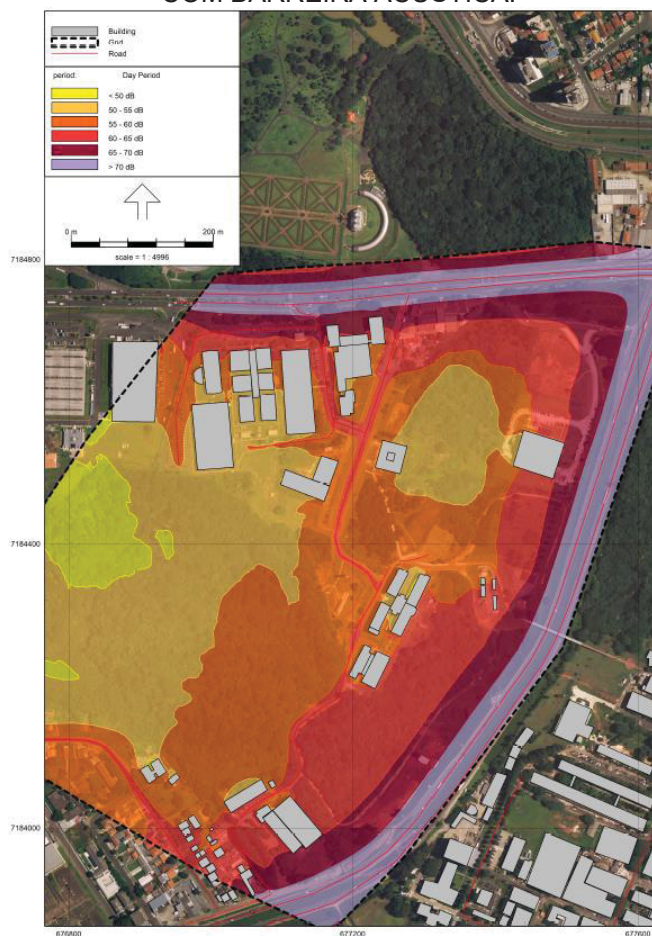
Outro estudo realizado no mesmo país em Delhi, Ismail e Ahmed (2018), investigaram o nível de conscientização sobre a poluição sonora, suas causas, seus impactos na saúde e soluções entre os jovens em Delhi. O artigo usou dados primários coletados por meio de questionários com estudantes universitários. O estudo conclui que a maioria dos jovens está ciente da poluição sonora, suas causas e prováveis efeitos na saúde, mas a grande maioria dos jovens não percebeu a poluição sonora como um desafio ambiental e classificou-a como a ameaça menos importante para a saúde e o meio ambiente.

Na Universidade de Teknologi Malaysia a poluição sonora foi avaliada por Haron, Han e Darus (2015). Foram realizadas medições em 24 locais selecionados com base nas zonas de trabalho e cada local foi medido em uma hora durante o período de trabalho. Os resultados demonstraram que 95,8% das medições excederam o limite de 50 dB (A) permitido pela diretriz do Departamento de Meio Ambiente para a área em questão.

Vieira (2018) desenvolveu uma pesquisa que avaliou a poluição sonora na Universidade Federal do Paraná por meio de medições sonoras e mapeamento acústico, nas Unidades do Centro Politécnico e Jardim Botânico. Foram realizadas medições em 65 pontos estratégicos, dos quais 59 apresentaram níveis de pressão sonora acima de 55 dB (A) que é o limite máximo para uma Zona de Silêncio e 32

apresentaram valores superiores a 60 dB (A) que é o limite para uma Zona Educacional Especial, demonstrando que os ambientes apresentavam poluição sonora. Para a simulação de cenários futuros e medidas mitigadoras foi utilizado o software *Predictor* 8.13. O estudo concluiu que a melhor alternativa é a construção de barreiras acústicas em locais críticos (FIGURA 11)

FIGURA 11 - MAPA ACÚSTICO DO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO DA UFPR COM BARREIRA ACÚSTICA.



FONTE: Vieira (2018)

Schittini (2020) realizou um estudo no mesmo campus Universitário visando caracterizar o ruído ambiental por meio de medições e mapeamento acústico, assim como, a avaliação subjetiva com frequentadores do campus. Os resultados demonstraram que os valores de pressão sonora estavam acima do limite em mais da metade dos pontos. A área em torno do campus, delimitado por rodovias e vias de alto fluxo de veículos, apresentou valores acima de 70 dB (A), acima do limite para todos os tipos de área. Nas entrevistas 60% dos entrevistados relataram se sentir incomodado com o ruído e 40% consideraram o nível de ruído razoável.

Em síntese, pode-se observar um grande número de trabalhos que avaliaram as condições acústicas em áreas educacionais e encontraram valores acima dos recomendados, evidenciando um problema sério de poluição sonora nestes ambientes. O QUADRO 2 traz um resumo dos principais trabalhos pesquisados sobre o tema. Foram considerados os estudos que fizeram medições ambientais do nível de pressão sonora equivalente (Leq) e/ou simulação acústicas em estabelecimentos de ensino.

QUADRO 2: RESUMO DOS TRABALHOS ACADÊMICOS SOBRE RUÍDO EM ESTABELECIMENTOS DE ENSINO

TRABALHO	TEMPO DE MEDIÇÃO	NÚMERO DE PONTOS MEDIDOS	HORÁRIO	SOFTWARE DE MAPEAMENTO
Nascimento et al. (2007)	5 min	21	11:00 às 18:00h	
Zannin et al. (2013)	15 min	20	08:00 às 18:00h	SoundPlan
Su et. al. (2013)	5 min	25	09:00 às 19:00h	Predictor
Ansay (2013)	15 min	22	12:00 às 19:00h	Predictor 8.11
Penicela et al. (2018)	10 min	30	08:00 às 18:00h	
Murphy e King (2011)	15 min	8	Não informado	CRTN
El-Sharkawy e Alsubaie (2014)	10-15 min		07:00 às 14:00 h	
Ibrahim (2015)	5 min	150	08:00 às 14:30 h	SoundPlan
Thattai et al. (2017)	24 min	24	08:00 às 17:00h	
Haron, Han e Darus (2015)	1 h	24	Não informado	
Vieira (2018)	15 min	65	9:30 às 17:00h	Predictor 8.13
Ausejo et al. (2011)	Não informado	4	Não informado	CadnaA
Zannin e Ferraz (2016)	10 min	30	07:00 às 19:00 h	Predictor
Paiva, Cardoso e Zannin (2019)	15 min	75	Não informado	Predictor 8.11
Schittini (2020)	15 min	60	08:00 às 17:00h	Predictor 8.13

3.6 POLUIÇÃO SONORA EM TEMPOS DE PANDEMIA DE COVID-19

O SARS-CoV-2 se originou no mercado de animais de Wuhan na China, em dezembro de 2019 e se espalhou pelo mundo infectando mais de 600 milhões de pessoas até julho de 2022 (WHO, 2022; Wang et al., 2020). A Organização Mundial da Saúde (OMS) a nomeou como doença coronavírus 2019 (COVID-19) e o Comitê Internacional de Taxonomia de Vírus (ICTV) deu a nomenclatura como SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2) para o novo coronavírus (Kandeel et al., 2020).

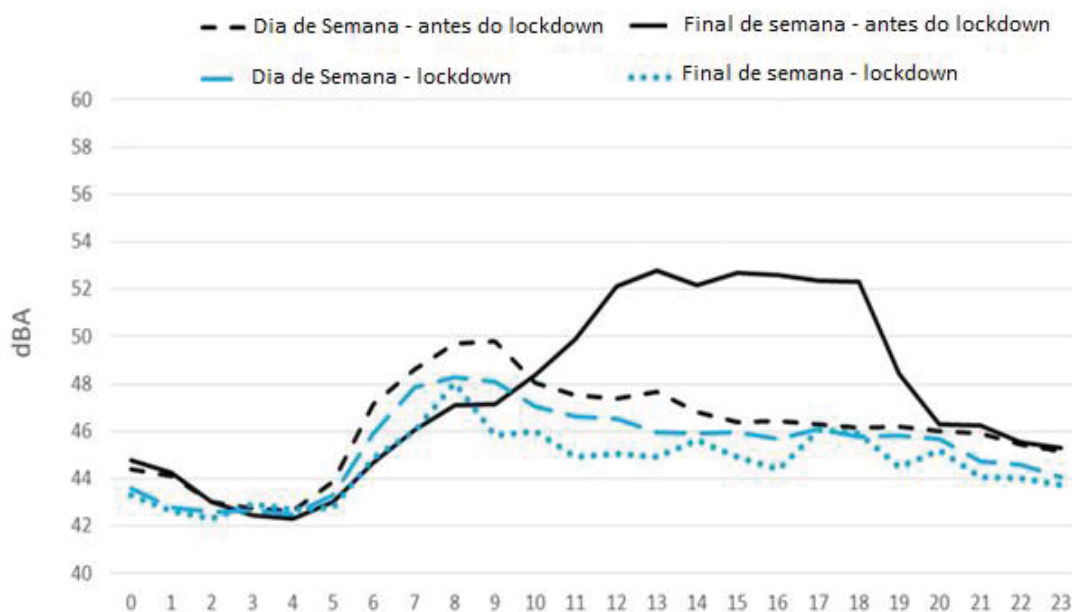
Com um aumento exponencial no número de casos da doença em 2020, foi decretada a pandemia do COVID-19 e diversas medidas de restrição foram iniciadas em muitos países. Com o isolamento social, várias atividades humanas e industriais permaneceram suspensas para minimizar a interação entre humanos. Vários efeitos positivos foram observados no meio ambiente, como redução da poluição do ar, melhoria na qualidade da água e poluição sonora (GHOSH, 2020).

Um estudo realizado pela Associação Brasileira para a Qualidade Acústica, em meio à quarentena imposta pela pandemia de covid-19, mostrou que em áreas da região central da cidade de São Paulo o nível sonoro reduziu em até 10 dB(A), em relação a medições anteriores. Esse valor corresponde à metade (50%) da sensação sonora percebida nesses locais normalmente (PROACÚSTICA, 2020).

A poluição sonora em Dublin foi monitorada em 12 estações de monitoramento entre janeiro e maio de 2020. Entre estas, 80% das estações relataram 60% de redução de ruído no período de bloqueio em comparação com a situação normal (BASU ET AL., 2021).

Asensio et al. (2020) monitorou a redução da poluição sonora de março a junho de 2020 na cidade de Madrid na Espanha. Os autores relataram que o nível de ruído foi reduzido de 4-6 dB durante o período de bloqueio em comparação com o período de desbloqueio (FIGURA 12).

FIGURA: 12: REDUÇÃO NA POLUIÇÃO SONORA NA CIDADE DE MADRID NA ESPANHA NO PERÍODO DE PANDEMIA DE COVID 19.



FONTE: Adaptado de Asensio et al. (2020)

Curovic et al. (2021) investigou o efeito do bloqueio mediado pelo COVID-19 no nível de poluição sonora. Os autores analisaram dados de poluição sonora em várias áreas de tráfego na cidade de Koper, Eslovênia em janeiro de 2018 (antes da pandemia), fevereiro de 2020 e abril de 2020, e os autores relataram a redução da poluição sonora de 2,2 e 5,7 dB respectivamente devido à pandemia de COVID-19.

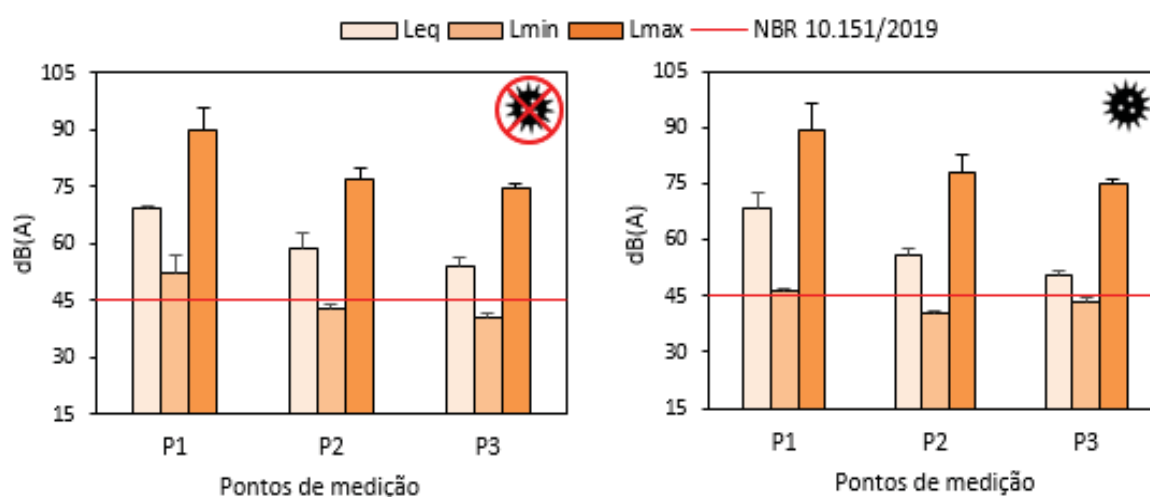
Em países emergentes também foram realizados estudos buscando investigar os impactos da pandemia de COVID-19 na poluição sonora urbana.

Mishra et al. (2021) pesquisou a consequência da fase de bloqueio em diferentes zonas residenciais, comerciais, industriais e de silêncio da cidade na cidade de Kanpur, na Índia. Foram coletados dados de sensores ambientais portáteis, que revelaram que embora tenha sido observada uma redução significativa nos níveis de ruído durante a pandemia, exceto na zona comercial, todas as outras estações de monitoramento apresentaram níveis sonoros bem acima dos limites de ruído recomendados pela Central de Poluição Conselho de Controle (CPCB) da Índia. Várias estratégias de mitigação de ruído também foram propostas pelo estudo, o que pode, de fato, abrir caminho para a elaboração de medidas de controle de ruído em nível local e regional.

No Brasil, Andrade, Lima e Zannin (2021) realizaram um estudo que objetivou avaliar o ruído ambiental no entorno de um hospital público da cidade de Sorocaba,

antes e durante a pandemia de COVID-19 e concluiu que houve uma redução significativa na circulação de veículos leves e pesados durante a pandemia e menor redução para as motos. Verificou-se que o P1 foi o ponto mais ruidoso e o que teve a menor variação em dB (A) durante a pandemia, associado a maior velocidade e maior circulação de veículos. Ainda que exista forte correlação entre o número de veículos e os níveis sonoros, estatisticamente não houve diferença significativa. Porém outros fatores devem ser levados em consideração, como a velocidade dos veículos. A FIGURA 13 apresenta os níveis de ruído nos pontos avaliados no entorno do local.

FIGURA 13: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA ANTES E DURANTE A PANDEMIA.



FONTE: Andrade, Lima e Zannin (2021)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem o objetivo de apresentar a metodologia que foi empregada na realização deste estudo. Assim como, descrever os equipamentos e softwares utilizados em todas as etapas do desenvolvimento do trabalho.

Em síntese, o presente trabalho realizou um estudo transversal para avaliação da poluição sonora no campus Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), no município de Curitiba-PR, durante a pandemia de Coronavírus (SARS-CoV-2), entre os meses de julho e dezembro de 2021, por meio de medições acústicas e análise estatística de dados medidos em campo em comparação com medições realizadas antes da pandemia no estudo de Vieira (2018). Para desse modo, identificar se houve impacto significativo no ruído ambiental da área estudada.

Além disso, foram construídos mapas acústicos com o software de modelagem computacional Predictor versão 8.13, modelo 7810 para caracterizar o ambiente sonoro da área estudada e realizar simulações de possíveis medidas mitigadoras do ruído ambiental.

Para atingir os objetivos propostos nesta pesquisa foram desenvolvidos os seguintes passos:

- **1º passo:** Caracterização da área de estudo;
- **2º passo:** Definição dos pontos de amostragem;
- **3º passo:** Coleta de dados em campo;
- **4º passo:** Avaliação da poluição sonora;
- **5º passo:** Análise estatística do impacto da pandemia no ruído ambiental da área de estudo;
- **6º passo:** Calibração do modelo;
- **7º passo:** Cálculo dos mapas acústicos;
- **8º passo:** Simulação de cenários com a implantação de medidas mitigadoras do ruído ambiental na área de estudo.

Os equipamentos e softwares utilizados na elaboração do trabalho foram:

- i. Analisador sonoro (Brüel & Kjaer 2238) com capacidade de realizar análise em frequências, (classe 1 segundo IEC 60651). Conforme NBR 10151/2019 – Avaliação de Ruído em Comunidades;
- ii. Calibrador modelo BK 4231;

- iii. Tripé regulável;
- iv. Software Predictor 8.13, modelo 7810 para o cálculo e geração dos mapas acústicos e predições de medidas mitigadoras;
- v. Software estatístico *R* para comparação dos resultados.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 A Universidade Federal do Paraná

A Universidade Federal do Paraná é a universidade mais antiga do Brasil e símbolo da cidade de Curitiba, referência no ensino superior para o Estado e para o Brasil. A Universidade oferece cursos de graduação, especialização, mestrado e doutorado, com atividades de Ensino, Pesquisa e Extensão (UFPR, 2021).

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: 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 cinco outras cidades paranaenses: Matinhos, Pontal do Paraná, Palotina, Jandaia do Sul e Toledo (UFPR, 2021).

4.1.2 O Campus Jardim Botânico

O Campus Jardim Botânico da UFPR está localizado no bairro Jardim Botânico em Curitiba. Nele estão inseridos o Setor de Ciências Sociais Aplicadas, que compreende os cursos de Administração, Ciências Contábeis, Ciências Econômicas e Gestão da Informação, Setor da saúde

A Linha Verde (BR 476) e a Avenida Prefeito Lothário Meissner são as principais rodovias localizadas no entorno ao campus. A BR 476, possui 6 faixas de 3,6 metros cada e velocidade permitida de 70 km/h, enquanto a Avenida Prefeito Lothário Meissner possui 4 faixas de 3,6 metros e velocidade de 60 km/h.

A Avenida Prefeito Lothário Meissner apresenta tráfego intenso de veículos leves, motocicletas e veículos pesados (ônibus e caminhões). Além disso, bem em frente ao portão de acesso ao Campus Jardim Botânico existe um semáforo junto com um retorno, por onde centenas de caminhões fazem retorno diariamente, para acessar a BR 277 ou para acessar a linha verde BR 476.

Em frente ao Campus, está localizado o Parque Jardim Botânico um dos maiores cartões postais de Curitiba e o ponto turístico mais visitado da cidade, também tangenciado pela Av. Prefeito Lothário Meissner. (CURITIBA, 2021)

A FIGURA 14 apresenta a uma vista aérea da localização do campus Jardim Botânico. O campus possui uma área total de 455.184,49 m² e área construída de 56.408,84 m² sendo 22 edificações.

FIGURA 14 - VISTA AÉREA DA LOCALIZAÇÃO DO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO.



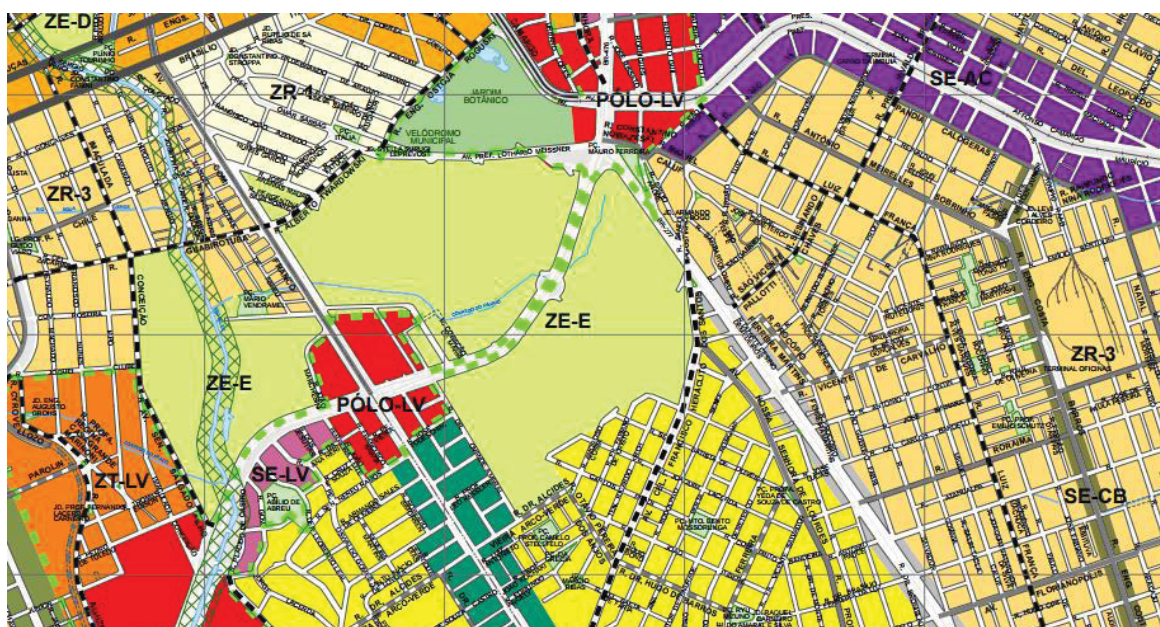
FONTE: Google Earth (2021)

Segundo o Zoneamento Urbano de Curitiba, com base na Lei 9800/2000 e decretos 188/2000, 733/2001 e 992/2004, a área em que o campus Jardim Botânico

está localizada é classificada como Zona Especial Educacional (ZE-E) representado na FIGURA 15. Entretanto, de acordo com as classificações na Lei Municipal 10.625/02, mesmo a área de estudo estando localizada em uma ZE-E, a classificação mais adequada pelas características do local seria de Zona Sensível à Ruído ou Zona de Silêncio, compreendendo hospitais, escolas, bibliotecas públicas e similares.

A FIGURA 15 apresenta o zoneamento urbano da região conforme o mapa do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), órgão responsável por desenvolver, detalhar e monitorar o Plano Diretor do município de Curitiba.

FIGURA 15 - ZONEAMENTO URBANO DA REGIÃO DE ESTUDO.



FONTE: IPPUC (2015)

A Lei Municipal 10625/02, define os limites de tolerância para valores de pressão sonora de Zona Educacional Especial em 60 dB(A) para o período diurno (07h01min às 19h:00min), 55 dB(A) para o período vespertino (19h01min às 22h00min) e 50 dB(A) para o período noturno (22h01min às 07h00min). Porém para Zona Sensível à Ruído ou Zona de Silêncio o limite diurnos é 55 dB(A), vespertino 50 dB(A) e noturno 45 dB(A).

4.2 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

A localização dos pontos de amostragem foi estabelecida por meio de suas coordenadas geográficas em termos de latitude e de longitude conforme TABELA 4. Para a definição dos pontos de amostragem, foram selecionadas as ruas com maior volume de tráfego, principalmente entradas e saídas, sendo avaliadas 5 ruas internas e 2 rodovias que contornam o campus, totalizando 25 pontos de amostragem. Os pontos escolhidos foram os mesmos realizado no estudo de Vieira (2018) antes da pandemia de corona vírus (SarsCov-2) para melhor padronização e comparação dos resultados.

TABELA 4 - COORDENADAS DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

PONTOS DE MEDIÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE
P01	25°26'39.57"S	25°26'39.57"S
P02	25°26'39.55"S	49°14'22.95"O
P03	25°26'41.10"S	49°14'24.90"O
P04	25°26'40.86"S	49°14'21.86"O
P05	25°26'42.67"S	49°14'19.39"O
P06	25°26'41.09"S	49°14'18.99"O
P07	25°26'46.42"S	49°14'18.34"O
P08	25°26'48.11"S	49°14'19.21"O
P09	25°26'43.85"S	49°14'14.42"O
P10	25°26'53.29"S	49°14'16.60"O
P11	25°26'53.95"S	49°14'14.77"O
P12	25°26'51.78"S	49°14'13.42"O
P13	25°26'54.14"S	49°14'10.68"O
P14	25°26'59.48"S	49°14'13.51"O
P15	25°27'3.56"S	49°14'16.84"O
P16	25°27'3.03"S	49°14'18.08"O
P17	25°27'3.80"S	49°14'19.26"O
P18	25°27'5.09"S	49°14'19.76"O
P19	25°27'5.52"S	49°14'21.08"O
P20	25°27'2.38"S	49°14'22.38"O
P21	25°27'0.46"S	49°14'19.69"O
P22	25°26'39.68"S	49°14'18.72"O
P23	25°26'39.81"S	49°14'16.62"O
P24	25°26'40.83"S	49°14'15.94"O
P25	25°26'46.38"S	49°14'25.61"O

A FIGURA 16 apresenta a localização dos pontos de amostragem em vista aérea da área de estudo.

FIGURA 16 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.



FONTE: Google Earth (2021)

4.3 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS EM CAMPO

A coleta dos dados em campo foi realizada conforme os procedimentos descritos na NBR 10151:2019 - Avaliação de Ruído em Comunidades e recomendações das normas ISO 1996 partes 1 e 2 - Acústica - Descrições, medições e avaliação do ruído ambiental.

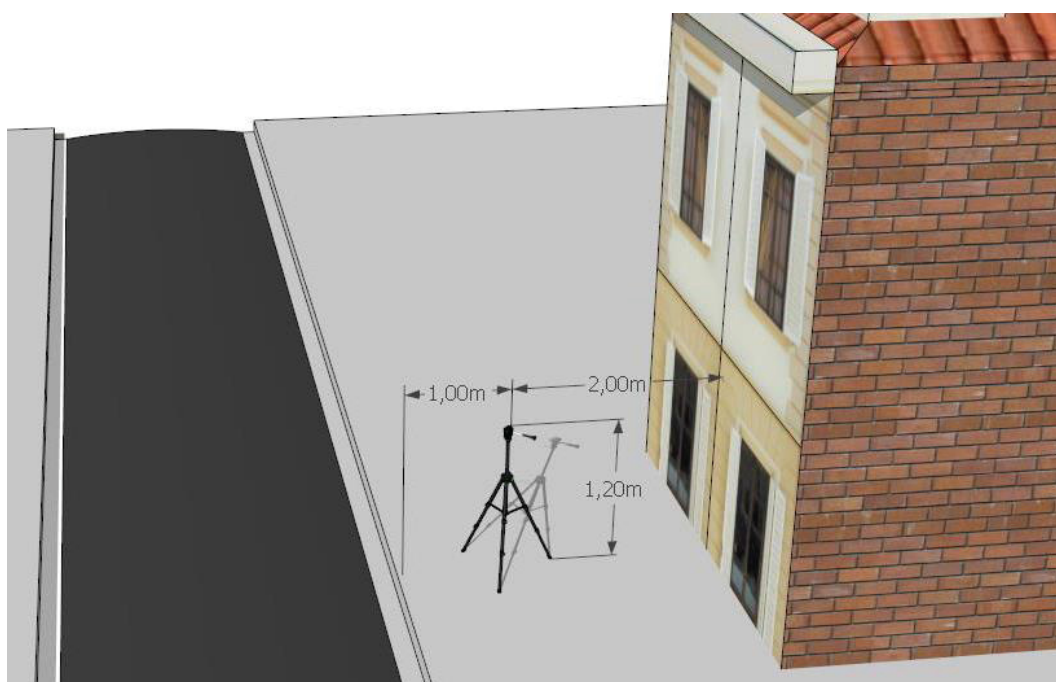
O analisador de nível de pressão sonora utilizado foi o B&K 2238 classificado como de terceira geração e de primeira classe. Os aparelhos de classe I atendem aos

padrões da IEC (International Electrotechnical Commission) e o ANSI (American Standards Institute) e a norma brasileira NBR 10151/19.

O equipamento foi calibrado pelo B&K 4231 previamente à medição e configurado 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 com ponderação na escala “A”, (LA_{eq}), níveis máximo e mínimos, (LA_{max}) e (LA_{min}) respectivamente.

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. (FIGURA 17). As medições foram realizadas em dias com condições climáticas favoráveis, com ausência de fontes sonoras atípicas, tais como chuva e vento forte.

FIGURA 17 - ESQUEMA DE POSICIONAMENTO DO ANALISADOR SONORO.



FONTE: Adaptado de Ansay, (2013).

As medições foram realizadas entre os meses de julho e dezembro de 2021 em período diurno (09:30 – 11:00 horas e 13:30 – 17:00 horas), nos mesmos dias da semana, mês e horário realizados no estudo comparativo. O tempo de medição foi definido em 15 minutos (MURPHY e KING, 2011; SOARES, 2013; ZANNIN et. al., 2013a; SUÁREZ e BARROS, 2014; BRITO, 2017; VIEIRA, 2018, PAIVA; CARDOSO; ZANNIN, 2019). A calibração dos medidores utilizados foi feita antes do início das medições com um calibrador BK 4231.

A contagem de veículos nos pontos próximo a rodovias e ruas, foi realizada durante o tempo de medição, como auxílio de uma planilha de apoio, conforme o exemplo apresentado na FIGURA 18. Em seguida os dados foram transferidos para uma tabela eletrônica com demais dados importantes dos pontos de medições.

FIGURA 18: PLANILHA DE APOIO PARA MEDIÇÕES DE CAMPO

PONTO DE MEDIÇÃO:		DATA:		HORÁRIO:	
EQUIPAMENTO:					
CLIMA:					
TEMPERATURA:		UMIDADE:		VENTO:	
Leq (A)	Lmax (A)		Lmin (A)		
VEICULOS LEVES	VEICULOS PESADOS		MOTOS		

FIGURA 19 – ANALISADOR SONORO POSICIONADO PARA MEDIÇÃO DE CAMPO



Essa planilha foi utilizada basicamente para facilitar a transferência dos dados para uma tabela eletrônica após as medições. As medições foram realizadas por pelo menos duas pessoas em função do tráfego intenso da rodovia. A tabulação de dados foi realizada conforme a TABELA 5, sendo apresentada completa no APÊNDICE A.

TABELA 5: EXEMPLO DE TABULAÇÃO DOS DADOS COLETADOS EM CAMPO

PONTO	EQUIPAMENTO	TEMPO DE MEDIÇÃO	VEÍCULOS LEVES	VEÍCULOS PESADOS	MOTOS	LA EQ	LA MÁX.	LA MIN
P1	2238	15:08	15	1	5	51,5	68,8	38,1
P2	2238	15:00	9	2	4	50,9	70,5	35,6
P3	2238	15:10	12	1	5	51,6	71,4	36,8
P4	2238	15:02	10	0	4	53,1	70,9	34,5

4.4 AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA

A avaliação da poluição sonora, foi realizada por meio da comparação dos níveis de pressão sonora equivalentes (L_{eq}) coletados em campo, com os valores estabelecidos pela NBR 10.151/2020 e Lei Municipal de Curitiba nº 10.625/2002.

A NBR define as condições exigíveis para aceitabilidade do ruído em comunidades no Brasil, para o período diurno (50 dB) em áreas residenciais urbanas ou de hospitais ou de escolas. A legislação municipal, rege sobre as imissões sonoras o ambiente urbano e estabelece para Zona Educacional Especial (60 dB) e para Zona Sensível à Ruído ou Zona de Silêncio (55 dB), classificação mais adequada pelas características do local de estudo, que engloba hospitais, escolas, bibliotecas públicas e similares conforme QUADRO 2.

QUADRO 2 - LIMITES DE PRESSÃO SONORA CONFORME OS REQUISITOS LEGAIS

NBR 10151	Lei Municipal Zona de Silêncio	Lei Municipal ZE-E
50 dB(A)	55 dB(A)	60 dB(A)

4.5 MAPEAMENTO ACÚSTICO

O software utilizado para o mapeamento acústico foi o Predictor 8.13 da Brüel & Kjaer. Esse software calcula os níveis sonoros em função de sua propagação com a distância da fonte geradora a um ponto pré-determinado, que são representados por um mapa em escala de cores graduada em relação aos níveis de ruído. Os dados de entrada no programa são utilizados para simular um grande número de parâmetros, tais como, o cálculo de fenômenos de propagação, inserção de fatores de correção (efeitos do solo, vegetação e locais de atenuação) e características de tráfego da via.

Na construção dos mapas, foram seguidos padrões adotados em trabalhos anteriores realizados pela equipe do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) da UFPR (FIEDLER, 2013; ANSAY, 2013; VIERA, 2018; SCHITTINI, 2020).

A metodologia utilizada para a construção dos mapas acústicos adotou as seguintes etapas: escolha do método de cálculo; inserção das curvas de nível da área de estudos e áreas do entorno; inserção de ortofotos para digitalização manual das edificações e áreas de vegetação; inserção de dados de entrada (nível sonoro medido, tipo de rodovia, tipos de veículos, característica de tráfego) escolha da área de cálculo e espaçamento da malha; elaboração e calibração do modelo por meio de pontos receptores nos locais exatos de medição.

4.5.1 Montagem do modelo – Introdução de parâmetros

Nesta etapa foram introduzidas as informações sobre os parâmetros físicos, geométricos, de tráfego e acústicos da área de estudo e sua circunvizinhança. 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, disponibilizadas em seu site.

A inclusão das características altimétricas das edificações também foram parâmetros fundamentais para o cálculo da propagação do ruído. No entanto, estes dados não são disponibilizados pelo IPPUC, sendo então necessária a digitalização manual de cada edifício utilizando as ortofotos, como plano de fundo, no próprio software *Predictor*. Para as características altimétricas de cada edificação foi

observado o número de pavimentos em cada edificação, e adotado de forma geral um valor de 3 m para cada pavimento.

4.5.2 Calibração do modelo

Nesta etapa, os dados calculados pelo software foram validados com a situação real da área de estudo. Inicialmente o software realiza uma verificação geral do modelo e avisa caso ocorra alguma inconsistência ou falha nos níveis topográficos, nas características altimétricas das edificações ou na emissão sonora. Logo em seguida é realizada uma comparação entre os valores simulados e as medições in loco, por meio da inserção de pontos receptores no modelo, na localização exata dos pontos onde foram realizadas as medições de campo.

De acordo com Silva (2010), a diferença entre os valores calculados e os medidos não deve ultrapassar o limite de ± 5 dB (A). Mendonça et. al. (2013) considera que, como o Brasil ainda carece de informações e pesquisas relacionadas ao assunto, essa diferença de ± 5 dB (A) é aceitável para áreas urbanas.

Entretanto, segundo Gonzalo (2019) não há uma regra fixa, depende do objetivo do estudo acústico. Assim, para mostrar os níveis para a população e entender onde houver possíveis problemas de 3 a 4 dB (A) de desvio padrão é o suficiente; já para avaliar um plano de ação, pode ser preciso 2 a 3 dB (A). Nos modelos Harmonoise, o desvio padrão para aglomeração são, em média, 2,5 dB (A) e para rodovias (300m), de 4 a 5 dB (A).

No contexto deste trabalho, para comparação e análise dos valores simulados com os valores reais medidos foi admitido a diferença de ± 4 dB (A) como limite de confiabilidade.

4.5.3 Cálculo do modelo

Para o cálculo do modelo, o software faz cruzamentos da combinação de ponto fonte-receptor para o caminho de som direto, como todos os possíveis caminhos sonoros de reflexão em objetos, 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).

Nesta etapa é realizada a delimitação da área de cálculo, que é fundamental 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 levando em conta a topografia do terreno, interferência, reflexão e difração das construções e das superfícies existentes sobre os níveis de pressão sonora emitidos pelas vias de trânsito de veículos.

Segundo Guedes e Leite (2007), recomenda-se utilizar uma malha média superior a 20 x 20 m para mapas de ruído em áreas pouco urbanizadas e para mapas onde ocorre grandes aglomerações urbanas, a malha não deve ser superior a 10 x 10 m. O tempo de cálculo e tamanho dos arquivos desejados podem também ser fatores decisivos para escolha da malha. Valores de 20 x 20 m ou 15 x 15 m levam a aproximações admissíveis para alguns casos, resultando na vantagem de maior rapidez no processamento dos dados, entretanto pode comprometer o detalhe dos resultados em alguns casos principalmente em áreas mais densamente ocupadas.

A Environmental Noise Directive (2002/49/EC) recomenda que para a elaboração de mapas acústicos, a altura do grid deve ser de 4 m. Sendo assim, para este trabalho foram testadas diferentes malhas (50x50m), (20x20m) (10x10m) e (5x5m) com altura de 4m para escolha da mais adequada para o estudo em tela.

Os mapas sonoros são então obtidos por interpolação dos níveis de pressão sonora calculados para cada nó da malha, gerando curvas de mesmo nível de ruído. Para melhor visualização cada curva ou as regiões delimitadas por estas curvas podem ser associadas a uma escala de cores relacionadas ao nível de ruído indicado (Brüel & Kjaer, 2010).

Dentre os modelos de simulação disponibilizados pelo Programa Predictor será adotado o modelo ISO 9613-1/2 Road, que especifica um método de engenharia que calcula a atenuação do som durante sua propagação em ambientes externos para prever os níveis sonoros ambientais a qualquer distância devido a inúmeras fontes sonoras. Essa norma estabelece como a propagação do som é atenuada ao longo do caminho e como são estimadas as correções para absorção atmosférica (temperatura e umidade relativa), reflexões, efeitos da topografia do solo, efeitos dos obstáculos (barreiras, edificações e vegetação) além de efeitos de vento e absorção do solo.

Esse método de cálculo selecionado atende a todas as especificações necessárias para a obtenção do mapa acústico e que já vem sendo amplamente

utilizado em trabalhos acadêmicos e publicações encontrados na literatura (ZANNIN; SANT'ANA, 2011; LEE et al, 2008; CHO et al, 2004; CHO; MUN, 2008; FIEDLER et al, 2012). Segundo Bies e Hansen, (2009) o método ISO apesar de não ser muito complexo produz resultados dentro da precisão recomenda pela WG-AEN (2002).

O software *Predictor* então calcula os níveis de ruído conforme o modelo ISO 9613-1 e 2, e utiliza-se das seguintes equações:

$$L_{lt,per} = L_{dw} - C_m - C_{t,per} \quad (11)$$

$$L_{dw} = L_w - R - A \quad (12)$$

Onde:

$L_{lt,per}$ = Nível de pressão sonora em dB(A) de longa duração em oitava (ou 1/3 de oitava) durante o período de avaliação;

C_m = Correção meteorológica em dB;

$C_{t,per}$ = Correção para o tempo de atividade da fonte durante o período de avaliação em dB;

L_{dw} = Nível de pressão sonora equivalente contínuo em dB(A) em oitava (ou 1/3 de oitava);

L_w = Nível de potência sonora em dB(A) em oitava (ou 1/3 de oitava);

R = Redução da fonte definida pelo usuário em dB em oitava (ou 1/3 de oitava);

A = Atenuação (por banda de oitava) em dB em oitava (ou 1/3 de oitava).

Já a atenuação é calculada da seguinte forma:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{fol} + A_{site} + A_{hous} \quad (13)$$

Onde:

A_{div} = Atenuação causada pela divergência entre a fonte e o receptor em dB;

A_{atm} = Absorção atmosférica em dB/oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{gr} = Atenuação provocada pelo solo em dB/oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{bar} = Atenuação provocada por obstáculos (edifícios, topografia, muros, etc.) em dB/oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{fol} = Atenuação devido a vegetação em dB/oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{site} = Atenuação devido a instalações de indústrias em dB/oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{hous} = Atenuação devido a residências em dB;

A emissão sonora de rodovias pode ser dada em potência sonora por metro, mas também pelo número de veículos por hora, velocidade do tráfego e tipo de pavimento. Quando se utiliza a opção de veículos por hora no método ISO 9613, a emissão é calculada baseada na norma RMV-SRM2, que define quatro categorias de veículos:

- a) Motocicletas: motos, motocicletas.
- b) Veículos leves: carros, vans com um único eixo traseiro com um máximo de 2 rodas;
- c) Caminhões leves: Ônibus, micro-ônibus, caminhões não articulados com um único eixo traseiro;
- d) Caminhões pesados: veículos articulados, veículos com mais de um eixo traseiro, excluindo ônibus e micro-ônibus.

Conforme o manual do software *Predictor*, a potência sonora por categoria de veículo é calculada através das seguintes equações então:

$$L_w = 10 \cdot \log (Q/V) + a + b \cdot V + C_{wh} \quad (14)$$

$$C_{wh} = \text{Max} (C_w, C_h) \text{ se } C_h <> 0, C_w \text{ se } C_h = 0 \quad (15)$$

$$C_h = 5 \cdot \log (p_h) - 1,5 \quad (16)$$

Onde,

Q = Número médio de veículos por hora;

V = Velocidade média do tráfego em km/h;

a = Parte da potência sonora gerada por um veículo (independente da velocidade) em dB(A);

b = Parte da potência sonora gerada por um veículo (dependente da velocidade) em dB(A) x hora/km;

C_{wh} = Correção combinada para o tipo de pavimento e declividade em dB;

C_w = Correção da superfície (pavimento) em dB(A);

C_h = Correção da declividade em dB;

p_h = Declividade em %.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados coletados em campo foram comparados por estatística, verificando-se a normalidade por meio do teste Shapiro-Wilk e a relação dos níveis sonoros antes e durante a pandemia, com o objetivo de verificar o impacto da pandemia nos valores de pressão sonora encontrados. Além disso, foi realizada uma correlação entre os níveis sonoros e o número de veículos, com o objetivo de verificar se há uma inter-relação entre os diferentes veículos e o nível de pressão sonora verificado. Para essa etapa do estudo, foi utilizado o software estatístico *R*.

4.6.1 Verificação de normalidade dos dados

Para fins de comparação estatística é fundamental verificar a normalidade dos dados, visando a descrição da amostra e sua análise inferencial, ou seja, determinar se o conjunto de dados de uma dada variável aleatória, é bem modelada por uma distribuição normal ou não, ou para calcular a probabilidade da variável aleatória subjacente estar normalmente distribuída.

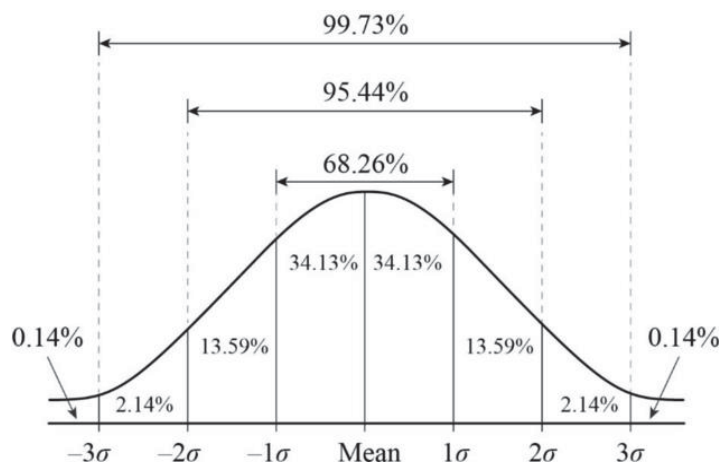
Mais precisamente, os testes são uma forma de seleção de modelos, e podem ser interpretados de várias formas, dependendo de como cada um interpreta as probabilidades. A curva normal, também chamada de distribuição Gaussiana, apresenta propriedades que a tornam especiais para a estatística, especialmente sua simetria, única moda (coincidente com a média e a mediana). (MIOT, 2017)

Uma distribuição normal é definida por dois parâmetros - a média e o desvio padrão (DP) - que descrevem uma distribuição teórica de uma variável dentro da população da qual a amostra foi coletada.

A média (média) é a soma dos valores de uma variável dividida pelo número de elementos. É uma medida da tendência central de um conjunto de dados.

O desvio padrão é uma estimativa da variabilidade da população da qual a amostra foi coletada. Para dados com uma distribuição normal, cerca de 95% dos indivíduos terão valores dentro de 2 desvios padrões da média, e o restante está espalhado igualmente acima e abaixo desses limites, conforme ilustra a Figura 23. (LAMB CR, 2008).

FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO NORMAL.



FONTE: Lamb CR, (2008)

Existem diversos testes estatísticos que verificam o ajuste dos dados à distribuição normal a partir de diferentes hipóteses e algoritmos. Todos os testes implicam a hipótese de normalidade dos dados (H_0), retornando um p-valor $> 0,05$ se resultarem na aderência aos parâmetros de normalidade. Algumas simulações apresentam um melhor desempenho para os testes de Shapiro-Wilk e Shapiro-Francia. Estes testes sofrem influência do tamanho amostral, sobre a sua eficiência.

Em amostras pequenas (de 4 a 30 unidades), há maior possibilidade do erro tipo I, sendo preferidos os testes de Shapiro-Wilk e Shapiro-Francia (maior especificidade). À medida que aumentam as amostras, especialmente acima de 500 unidades, todos os testes apresentam melhores desempenhos; entretanto, é importante adotar o nível de significância de $p < 0,01$, em função da possibilidade da ocorrência do erro tipo II causado pelo aumento amostral (perda de sensibilidade) (MIOT, 2017).

Portanto, no contexto deste estudo, para avaliar a normalidade dos dados de pressão sonora medidos, foi escolhido o teste de Shapiro-Wilk que foi desenvolvido por meio do software R (R CORE TEAM, 2020).

Proposto por Shapiro & Wilk (1965) esse teste utiliza a seguinte estatística:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (17)$$

Onde as constantes a_1, a_2, a_n são calculadas com:

$$(a_1, a_2, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}} \quad (18)$$

Onde:

$m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ > o vetor dos valores esperados das estatísticas de ordem da amostra;

V = a matriz de covariâncias dessas estatísticas,

p-valor deste teste é calculado exatamente para $n = 3$, em outras situações utilizam-se aproximações diferentes para $4 \leq n \leq 11$ e para $n \geq 12$, (Shapiro & Francia, 1972).

4.6.2 Relação dos níveis sonoros antes e durante a pandemia

Para a avaliação da poluição antes e durante a pandemia, são esperadas que as medidas de um mesmo ponto de medição apresentem similaridades, enquanto que as medidas de pontos distintos sejam diferentes. Dessa forma, as observações de um mesmo ponto de medição são dependentes, o que faz com que o uso dos testes usuais de comparação de duas ou mais amostras não sejam adequados, uma vez que existe violação da suposição de independência das observações.

Então, para verificar a diferença entre as medições antes e durante a pandemia, a variável de interesse é numérica, devendo ser comparadas com o valor do mesmo ponto de medição com o objetivo de verificar se existe diferença significativa dessa variável entre dois grupos de interesse.

Assim, foi adotado como efeito fixo o momento de avaliação (antes e durante a pandemia), sendo o efeito aleatório o ponto onde foram registradas por meio de uma análise de variância mista.

Uma vez encontrada variação estatística significativa ($p < 0,05$) foi aplicado o teste post hoc de Tukey. Esse teste de comparações múltiplas é bastante difundido e utilizados e se destaca por ser poderoso ao fazer comparações entre todos os pares e também por ser de fácil aplicação. É conhecido como Teste de Tukey HSD (Teste de Tukey da Diferença Honestamente Significativa).

O valor calculado foi comparado com o valor tabelado, a um determinado nível de significância (α). Para realização deste teste foi utilizado o software estatístico R com nível de significância (α) de 5%.

4.6.3 Correlação entre os níveis sonoros e o número de veículos

A correlação entre duas variáveis (Leq e número de veículos) em um mesmo ponto de medição é calculada com o intuito de verificar se existe inter-relação entre essas variáveis. Considera-se que tal medida deve estar no intervalo fechado de -1 a 1, em que -1 indica perfeita correlação negativa ou inversa e 1 indica perfeita correlação positiva ou direta. A correlação negativa indica que o crescimento de uma das variáveis implica, em geral, no decrescimento da outra. A correlação positiva indica, em geral, o crescimento ou decrescimento concomitante das duas variáveis consideradas.

Para verificar a correlação entre os níveis sonoros e número de veículos foi utilizada a correlação de Pearson, esse coeficiente de correlação é um teste que mede a relação estatística entre duas variáveis contínuas realizado por meio da seguinte equação:

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (19)$$

Onde:

x_i e y_i são os valores de x e y para o i -ésimo indivíduo.

O cálculo da correlação de Pearson foi desenvolvido no software estatístico *R* (R CORE TEAM, 2020)

4.7 AVALIAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS DO RUÍDO AMBIENTAL

Para avaliação de possíveis soluções para o controle do ruído ambiental na área de estudo foram realizadas simulações de medidas mitigadoras, por meio da modelagem acústica computacional no software Predictor Versão 8.13.

As medidas mitigadoras propostas foram:

- **1º cenário:** Redução na velocidade das vias;
- **2º cenário:** Redução em 20% no número de veículos;
- **3º cenário:** Eliminação dos veículos pesados;
- **4º cenário:** Implantação de barreiras acústicas;

A partir dos resultados da modelagem acústica e dos mapas gerados para os diferentes cenários, os valores de pressão sonora (L_{eq}) calculados nos pontos receptores foram tabelados e comparados, com a finalidade de avaliar a eficácia das medidas mitigadoras propostas.

4.8 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

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

- a) Medições: os dias escolhidos para realização das medições podem variar conforme 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). Sendo assim, para a comparação do estudo antes da pandemia de Viera (2018), buscou-se respeitar horários e dias definidos a fim de avaliar, de uma forma geral, o ruído do campus no período diurno;
- b) Contagem de veículos: considerando que a contagem de veículos foi realizada de forma manual, admite-se que podem ocorrer imprecisões. O ideal seria obter estes dados de forma eletrônica, ou realizadas por um grupo maior de pessoas, porém à falta de dados, indisponibilidade de tempo e recursos humanos limitam essa informação. No entanto buscou-se realizar a contagem de veículos por pelo menos 2 pessoas para melhor precisão dos dados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir deste estudo, pontuando as localidades onde os níveis sonoros apresentavam-se acima do limite de tolerância conforme a legislação vigente, sendo denotadas as principais causas, bem como a relação com a literatura. Além disso, são apresentados os resultados da análise estatística do impacto da pandemia na poluição sonora, o mapeamento acústico e as simulações de possíveis medidas mitigadoras do ruído ambiental.

5.1 AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA

A avaliação da poluição sonora foi realizada por meio das medições dos níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) coletadas para cada um dos 25 pontos em comparação com o valor estabelecido na legislação vigente (TABELA 4). Dentre as quais: NBR 10151 que define 50 dB (A) para áreas urbanas como escolas e hospitais; Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002, de 60 dB (A) o limite máximo para Zona Educacional Especial (ZE-E); e 55 dB (A) o limite para Zona de Silêncio (ZL), classificação mais adequada para a área em que o campus universitário está localizado.

A partir destas medições, foi possível observar que os locais que apresentaram maior nível de pressão sonora média (L_{eq}), foram os pontos P1, P2, P13, P14, P15, P18, P19, P22 e P23 todos acima de 65 dB(A). Estes pontos correspondem aos locais situados próximos a rua professor Lotherio Mesner, (P1, P2, P22 e P23) e as margens da BR 472 – Linha verde, (P13, P14, P15, P18 e P19), que são as principais vias de acesso ao campus Jardim Botânico. Portanto, evidenciando, que o tráfego de veículos externo ao campus é a principal fonte de poluição sonora da área de estudo.

A TABELA 6 apresenta o valor de pressão sonora média (L_{eq}) e os pontos de medição que atenderam ou não aos limites permitidos conforme NBR 10151 e Lei Municipal de Curitiba.

TABELA 6 - AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA CONFORME A LEGISLAÇÃO VIGENTE.

<i>Pontos de Medição</i>	<i>Durante a pandemia dB(A)</i>	<i>NBR 10151</i>	<i>Lei Municipal Zona de Silêncio</i>	<i>Lei Municipal ZE-E</i>
P1	66,20	N.A	N.A	N.A
P2	66,20	N.A	N.A	N.A
P3	56,50	N.A	N.A	A
P4	60,70	N.A	N.A	A
P5	54,80	N.A	A	A
P6	63,20	N.A	N.A	N.A
P7	54,40	N.A	A	A
P8	52,60	N.A	A	A
P9	51,80	N.A	A	A
P10	51,70	N.A	A	A
P11	56,20	N.A	N.A	A
P12	53,20	N.A	A	A
P13	64,40	N.A	N.A	N.A
P14	66,50	N.A	N.A	N.A
P15	65,90	N.A	N.A	N.A
P16	59,80	N.A	N.A	A
P17	64,20	N.A	N.A	N.A
P18	69,20	N.A	N.A	N.A
P19	69,50	N.A	N.A	N.A
P20	59,20	N.A	N.A	A
P21	55,70	N.A	N.A	A
P22	69,00	N.A	N.A	N.A
P23	66,80	N.A	N.A	N.A
P24	60,90	N.A	N.A	N.A
P25	55,60	N.A	N.A	A

Legenda: N.A – não atende a legislação; A – atende a legislação

A FIGURA 21 apresenta o gráfico dos níveis de pressão sonora equivalente (Leq) cortado pelas três linhas conforme NBR 10151 (linha cinza), Legislação Municipal - Zona de Silêncio (linha amarela) e Zona Educacional Especial (linha azul).

Realizada a comparação dos dados obtidos em campo com os valores máximos permitidos pela legislação, foi possível verificar que o nível sonoro equivalente Leq nos pontos (P1, P2, P6, P13, P14, P15, P17, P18, P19, P22, P23, P24) encontrava-se acima do limite exigido conforme a Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002, que estabelece limites para as imissões sonoras no ambiente urbano da Zona Educacional Especial para período diurno de 60 dB. Estes pontos estão localizados em frente ao Setor de Ciências da Saúde, Setor de Ciências Sociais Aplicadas e Engenharia Florestal.

Em relação a Zona Educacional Especial (ZE-E), menos de 50% dos pontos avaliados atenderam aos requisitos legais. Foi possível constatar que os referidos pontos apresentam valores elevados, pois são locais com maior exposição a Av. Professor Lothário Meissner e a linha verde. Estas avenidas apresentam um tráfego intenso e constante de veículos, além disso, em frente ao portão de acesso ao Campus há um semáforo junto a um retorno, por onde centenas de caminhões fazem o retorno diariamente, para acessar a BR 277 ou para acessar a BR 476 (linha verde). Nestes pontos é possível verificar uma situação de poluição sonora.

Embora a área de estudo esteja localizada em uma ZE-E, a classificação mais adequada pelas características do local seria de Zona Sensível à Ruído ou Zona de Silêncio, que engloba hospitais, escolas, bibliotecas públicas e similares. Em relação à Zona de Silêncio (55 dB), apenas os pontos (5, 7, 8, 9 e 10) apresentavam valores dentro do limite permitido, ou seja, 80% dos pontos medidos estavam acima do limite. Configurando, portanto, poluição sonora nestes ambientes.

Em relação à NBR 10151 - Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas, a qual define (50 dB) para áreas residenciais urbanas ou de hospitais ou de escolas. A análise indicou o pior cenário e nenhum dos locais avaliados apresentou valores dentro dos padrões para a referida norma. Portanto, indicando poluição sonora em todos os pontos.

Esses resultados estão de acordo com os valores encontrados nos trabalhos de Paz e Zannin (2012) e Soares et. al. (2014) e Viera (2018) nos quais em todos os pontos, os níveis de pressão sonora equivalentes apresentavam não conformidade com o estipulado pela norma.

5.2 IMPACTO DA PANDEMIA NA POLUIÇÃO SONORA DO CAMPUS

Para verificar se houve influência da pandemia de Sars-CoV-2 nos níveis de pressão sonora no campus Jardim Botânico da UFPR, foi realizado um estudo estatístico por meio da aplicação de uma análise de variância com um modelo linear misto. Nele, adotou-se como efeito fixo o momento de avaliação (antes e durante a pandemia), sendo o efeito aleatório o ponto onde foram registradas.

Uma vez encontrada variação estatística significativa ($p < 0,05$) foi aplicado o teste post hoc de Tukey. Prévio a realização do teste estatístico, os dados obtidos nos equipamentos em campo foram submetidos a uma análise de normalidade pelo teste de Shaphiro-Wilk encontrando que os valores máximo e mínimo demonstraram normalidade ($p > 0,05$), já o valor médio (L_{eq}) não demonstrou normalidade ($p < 0,05$) e aplicou-se, portanto, uma transformação hiperbólica ($1/y$) para obter normalidade dos dados ($p > 0,05$).

Logo em seguida, foi aplicada uma correlação de Pearson entre os valores de pressão sonora equivalente com a quantidade de veículos registrados nos pontos. Todas as análises foram desenvolvidas com 5% de significância estatística, no software R (R CORE TEAM, 2020).

Observou-se que os valores mínimos e médios foram afetados pela pandemia, registrando valores inferiores quando comparados com aqueles registrados antes da mesma ($p < 0,05$), já para o nível máximo (L_{max}), os valores foram similares entre si ($p > 0,05$) (TABELA 7).

TABELA 7 - MÉDIA E DESVIOS PADRÕES DA PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE (L_{eq}), MÍNIMA E MÁXIMA, ANTES E DURANTE A PANDEMIA NO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO DA UFPR, PARANÁ, BRASIL 2022 (N=25).

NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	ANTES DA PANDEMIA	DURANTE A PANDEMIA
Mínimo	51,92 ± 6,02 ^a	47,35 ± 2,79 ^b
Médio	61,74 ± 5,02 ^a	60,29 ± 5,41 ^b
Máximo	77,12 ± 9,36 ^a	78,84 ± 5,75 ^a

Legenda: Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey

Por outro lado, observaram-se correlações positivas e significativas entre os valores mínimo, máximo e médio, sugerindo que qualquer um deles pode ser um critério para avaliação da poluição sonora em ambientes educacionais. Observou-se também, que o valor mínimo (L_{min}), demonstrou correlação baixa a não significativa ($p > 0,05$) com a quantidade de veículos e motos (TABELA 8).

TABELA 8 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS VALORES DA PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE (LEQ) MÍNIMA E MÁXIMA, ANTES E DURANTE A PANDEMIA NO CAMPUS JARDIM BOTÂNICO DA UFPR, PARANÁ, BRASIL (N=25).

	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	VEÍCULOS LEVES	VEÍCULOS PESADOS
MÁXIMO	0,62 (0,002)*				
MÍNIMO	0,56 (0,022)*	0,46 (0,054)			
VEÍCULOS LEVES	0,63 (0,002)*	0,44 (0,045)*	-0,03 (0,921)		
VEÍCULOS PESADOS	0,64 (0,001)*	0,56 (0,015)*	0,30 (0,249)	0,86 (<0,001)*	
MOTOS	0,55 (0,003)*	0,65 (0,003)*	-0,05 (0,829)	0,97 (<0,001)*	0,73 (<0,001)*

Legenda: *Valores com significância estatística ($p < 0,05$).

5.3 MAPEAMENTO ACÚSTICO

A simulação computacional foi a ferramenta utilizada para identificar o comportamento do campo acústico do ambiente estudado. Esta etapa foi desenvolvida no software Predictor 8.13, modelo 7810, com o principal objetivo de visualizar amplamente o ambiente sonoro da área de estudo e realizar simulações de medidas mitigadoras, como por exemplo, com a implantação de barreiras acústicas, redução na velocidade das vias e redução no tráfego de veículos.

A calibração do modelo foi realizada por meio de ajustes, de modo a permitir que a simulação computacional representasse o valor mais próximo da situação real observada em campo.

A TABELA 9 apresenta os resultados obtidos a partir da calibração do modelo. A validação foi feita principalmente para que o cálculo de propagação de ruído do mapa estivesse de acordo com os valores encontrados nas medições.

Nesta etapa, foram introduzidos no modelo pontos receptores à mesma altura e posição daqueles que foram medidos em campo. A partir dos ajustes necessários, o modelo é considerado calibrado quando a diferença entre os valores medidos e simulados não ultrapassar ± 4 dB (A).

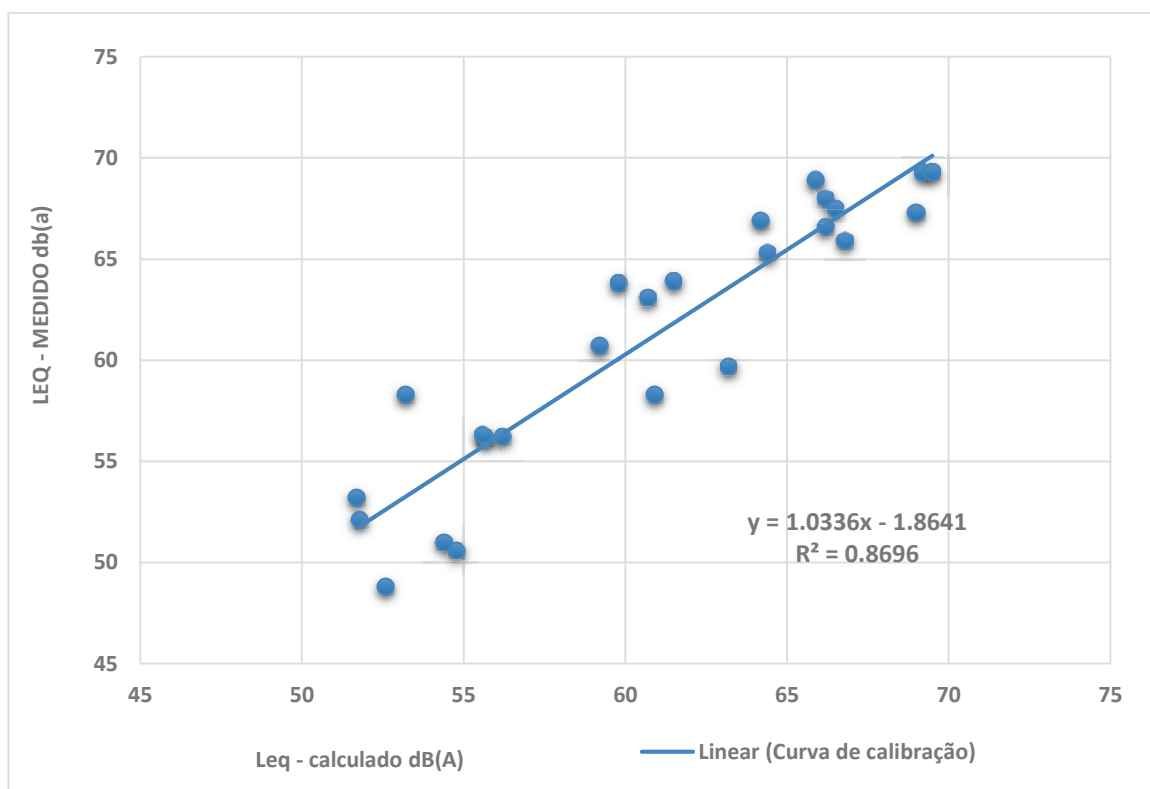
TABELA 9.- DIFERENÇA ENTRE MEDIÇÕES DE CAMPO E NÍVEL SONORO SIMULADO

<i>PONTOS DE MEDIÇÃO</i>	<i>Leq MEDIDO dB(A)</i>	<i>Leq SIMULADO dB(A)</i>	<i>DIFERENÇA dB (A)</i>
P1	66,2	66,6	0,4
P2	66,2	68,0	1,8
P3	56,5	63,9	2,4
P4	60,7	63,1	2,4
P5	54,8	50,8	-4,0
P6	63,2	59,7	-3,5
P7	54,4	51,4	-3,4
P8	52,6	48,8	-3,8
P9	51,8	52,1	0,3
P10	51,7	53,2	1,5
P11	56,2	56,3	0,1
P12	53,2	57,1	3,9
P13	64,4	65,3	0,9
P14	66,5	67,5	1,0
P15	65,9	68,9	3,0
P16	59,8	63,8	4,0
P17	64,2	66,9	2,7
P18	69,2	69,3	0,1
P19	69,5	69,3	-0,2
P20	59,2	60,7	1,5
P21	55,7	56,1	0,4
P22	69,0	67,3	-1,7
P23	66,8	65,9	-0,9
P24	60,9	58,3	-2,6
P25	55,6	56,3	0,7

É possível observar que todos os receptores simulados tiveram diferença menores que 4 dB (A) para os níveis de pressão sonora medidos. A FIGURA 22 mostra a curva de calibração para o mapeamento da área. 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 principal é obter um modelo que seja o mais linear possível e próximos da realidade.

Realizado os ajustes necessários, a calibração atingiu os parâmetros previamente estabelecidos. Os níveis de pressão sonora medidos tiveram uma média de **60,77 dB (A)** enquanto os simulados **61,1 dB (A)** e o coeficiente de correlação entre eles foi de **0,87**. 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 0,1 dB (A) e o maior foi o limite máximo estabelecido de 4,0 dB (A).

FIGURA 22 - DISPOSIÇÃO DOS PONTOS CALIBRADOS SOBRE A CURVA DE CALIBRAÇÃO IDEAL



A partir da interpolação espacial dos resultados do cálculo da malha, é obtido um mapa completo de toda a área. Existem vários algoritmos de interpolação que podem ser utilizados para desenvolver 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 medidos.

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

Para compreender a influência da malha aplicada aos cálculos, bem como definir a melhor escolha para a área de estudo, foram realizadas simulações em diferentes tamanhos de malha. A TABELA 10 apresenta os diferentes elementos para cada uma das malhas utilizadas. Este recurso proporciona mensurar o nível de pressão sonora nos receptores em cada um dos pontos gerados. Os mapas são calculados por meio de combinações realizadas entre as informações inseridas e os dados geográficos, edificações e características das vias e do fluxo de veículos.

TABELA 10 – INFORMAÇÕES DOS MAPAS PARA DIFERENTES MALHAS

<i>MALHA (grid)</i>	<i>PONTOS RECEPTORES</i>	<i>COMBINAÇÕES</i>
50m x 50m	529	1.051
20m x 20m	3.149	59.831
10m x 10m	12.521	237.899
5m x 5 m	50.018	950.342

Conforme o valor da malha é reduzido, ela fica cada vez mais refinada, passando de 50 x 50 m para 20 x 20 m, há uma redução de 60% em tamanho da malha em compensação os valores de receptores e combinações aumentaram cerca de 6 vezes. Já para as demais modificações, nas quais a malha foi reduzida pela metade, os dois elementos quadruplicaram de valor. Essas ampliações nas variáveis tem a função de aumentar o refino e aprimoramento de detalhes do mapa acústico.

O tempo de cálculo no software é influenciado diretamente pelo tamanho da malha, quanto menor o valor da grade mais tempo leva para o processamento do mapa. Enquanto a malha de 50 m x 50 m demorou em média 2 horas para executar o cálculo, a malha de 5 m x 5 m demorou 53 horas (mais de 2 dias). Já para malhas de 1m x 1m o tempo de processamento é de 7 dias. Deste modo, é fundamental a escolha correta da malha para cada caso, dependendo do nível de precisão e do tempo disponível para o estudo acústico.

A FIGURA 23 apresenta a diferença entre os mapas utilizando as diferentes malhas. O lado esquerdo mostra o mapa com a representação das malhas, sendo possível observar que com a redução da malha, os pontos se aproximam e a cobertura da área fica mais uniforme. O lado direito mostra os mapas originados a partir das diferentes malhas, com as respectivas escalas de cores conforme os níveis de pressão sonora da área de estudo.

FIGURA 23 - MAPAS ACÚSTICOS DESENVOLVIDOS EM DIFERENTES MALHAS



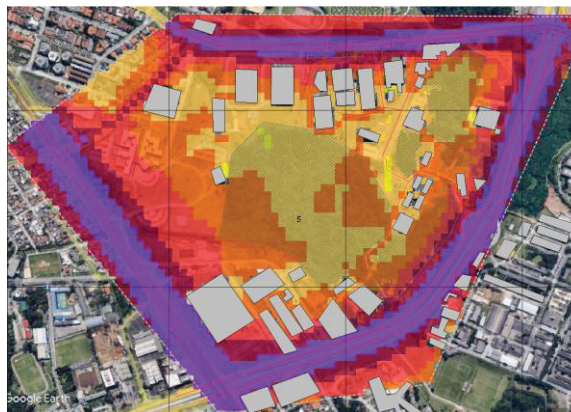
a) Malha 50 m x 50m



b) Mapa 50m x 50m



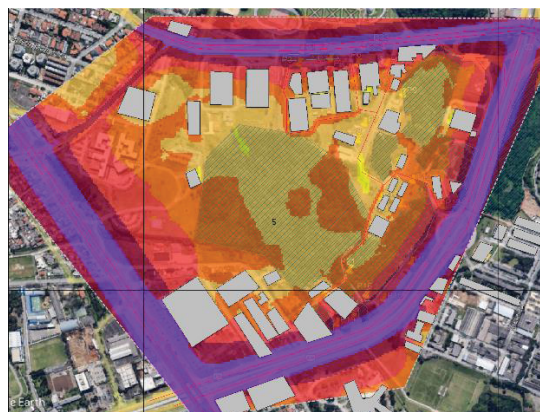
c) Malha 20 m x 20m



d) Mapa 20m x 20m



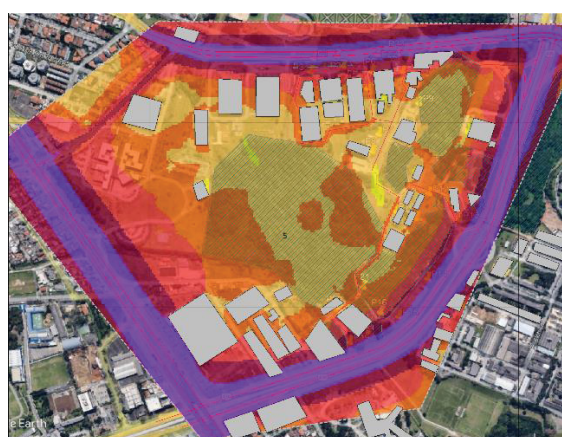
e) Malha 10m x 10m



f) Mapa 10m x 10m



g) Malha 5m x 5m



h) Mapa 5m x 5m

Analisando os mapas gerados a partir das diferentes malhas é possível verificar que aqueles gerados com malhas de 50m x 50m e 20m x 20m apresentaram deformidades quando comparados com as duas últimas malhas utilizadas. Isso é evidenciado nos locais de maior tráfego de veículos, principalmente próximo à rua professor Lothario Mesner (parte superior do mapa) e na região da Linha Verde à direita do mapa e na BR 277. Estes locais apresentam um fluxo intenso de veículos, nos dois primeiros mapas, na linha que delimita estas vias não há a representação de uma linha contínua de mesma graduação de cor. Além disso, é possível observar que, em relação as outras duas representações gráficas, as cores mais escuras, que representam os níveis mais elevados de ruído, se encontram em menor escala e de maneira menos uniforme.

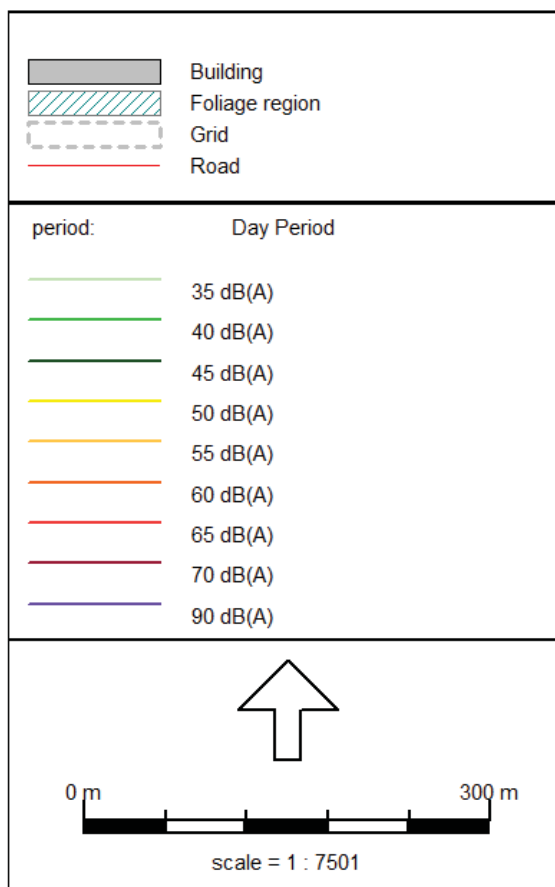
Por outro lado, os mapas elaborados com malhas menores (10m x 10m) e (5m x 5m) não apresentaram deformidades. Tanto em uma visualização geral quanto na aproximação para encontrar detalhes, as cores foram as mesmas nessas duas imagens.

Portanto, a partir desta análise foi possível concluir, que quando a região é de grandes proporções, como um bairro ou uma cidade, a variação entre malhas de 5 e 10 m não causam divergências significativas nas representações dos níveis sonoros. Isso pode ser observado nas imagens (f) e (h), nos quais a área de estudo é coberta de forma homogênea conforme os níveis de pressão sonora apresentados.

No contexto deste trabalho, como o objetivo é apresentar um panorama geral do campus Jardim Botânico da UFPR, o mapa desenvolvido a partir da malha de 10 x 10 m atende, de forma satisfatória, a análise desejada.

A FIGURA 24 exibe a legenda dos mapas acústicos apresentados no trabalho com o objetivo de melhorar a compreensão e entendimento dos mesmos.

FIGURA 24 - LEGENDA DOS MAPAS ACÚSTICOS.



FONTE: Predictor (2022)

A FIGURA 25 apresenta o mapa acústico do campus Jardim Botânico da UFPR ampliado, para melhor a identificação das cores por áreas de exposição ao ruído, bem como a legenda da respectiva da escala de cores e níveis de pressão sonora.

Jd Botabico

Building
Foliage region
Grid
Receiver
Road

period: Day Period

35 dB(A)
40 dB(A)
45 dB(A)
50 dB(A)
55 dB(A)
60 dB(A)
65 dB(A)
70 dB(A)
90 dB(A)

0 m 300 m
scale = 1 : 7501

400 m

676500 677000 677500 678000

184500 184000 183500

A partir do mapeamento acústico e da distribuição espacial do nível de pressão sonora ao longo da área, é possível observar que há predominância de cores que correspondem aos maiores níveis de pressão sonora de acordo com a legenda, especificamente nas regiões próximas as rodovias que contornam o campus. A cor lilás e os tons mais escuros de vermelho representam estas regiões, que foram predominantemente as principais fontes responsáveis pelo ruído ambiental na área estudada.

Os menores níveis de ruído, representados por tons de verde, não foram identificados em nenhuma região do mapa acústico, corroborando assim, com os dados das medições realizadas em campo. O limite de 50 dB (A), estabelecido na NBR 10151 não foi respeitado em nenhuma região, o que demonstra uma situação preocupante em relação as condições acústicas do ambiente. Contudo, apesar desta situação negativa em relação ao ruído ambiental, o mapa revela alguns locais com porções homogêneas de menores níveis de pressão sonora, observados na região interna do campus, onde estão localizados o Bloco Didático II do Departamento de Enfermagem e Terapia Ocupacional e no Restaurante Universitário.

O tom mais escuro de amarelo, que representa o valor de 55 dB (A), nível máximo permitido para as Zonas de Silêncio, conforme a Lei Municipal de Curitiba, é verificado em diversas regiões do mapa, principalmente nas fachadas internas dos blocos de Ciências Sociais aplicadas, Setor de Ciências da Saúde e blocos da Odontologia, Nutrição e Farmácia.

Já as fachadas externas dos blocos de engenharia florestal, ciências da saúde e sociais aplicadas apresentam áreas demarcadas pela cor laranja no tom mais escuro, o que supera o limite de 60 dB (A), estipulado pela Lei Municipal 10.625 levando em consideração a classificação da área como Zona Educacional Especial. Essa escala de cor é apresentada devido a maior proximidade destes locais às rodovias externas ao campus.

Em consonância com as medições de campo, o cálculo do mapa de ruído mostra que as áreas mais próximas às rodovias são as mais afetadas pela poluição sonora, este resultado corrobora com o encontrado no estudo de Vieira (2018), o qual revelou que na área do campus, o nível de pressão sonora foi maior do que o permitido em 84% dos pontos de medição. As cores que correspondem aos níveis mais elevados de ruído estão nessas vias e nas regiões que as contornam, nas áreas com maior exposição a rua Professor Lothário Meissner e Linha Verde, que estão

representadas pela cor vermelha escura, a qual equivale a níveis superiores a 70 dB (A).

Os níveis de ruído diminuem à medida que se afastam dessas vias, para as cores laranja e laranja escuro, as quais representam respectivamente níveis de 60 e 65 dB (A), desses, o primeiro pode ser observado nas regiões internas do campus. Esses níveis podem ser explicados, pois estão localizados adjacentes e muito próximos das principais fontes de ruído ambiental da área de estudo.

5.4 AVALIAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS PARA O RUÍDO AMBIENTAL

A partir da análise dos dados coletados em campo e da elaboração dos mapas acústicos, foram identificados níveis elevados de ruído na área de estudo, que podem prejudicar, de forma significativa as atividades desenvolvidas no campus. Desse modo, com o objetivo de propor melhorias nas condições acústicas do local, foram avaliadas possíveis medidas mitigadoras do ruído ambiental, por meio de simulações computacionais com software de modelagem acústica Predictor 8.13.

No 1º cenário foi realizada a simulação com a redução na velocidade das vias externas ao campus. Essa medida poderia ser implantada, por exemplo, estabelecendo mudanças na velocidade máxima permitida das vias e instalação de radares eletrônicos. A velocidade da rua Lothário Meissner foi reduzida de 60km/h para 50km/h e depois para 40 km/h e na linha verde a velocidade foi reduzida de 70km/h para 60km/h em seguida para 50km/h. Os mapas acústicos com redução de velocidade são apresentados nas FIGURAS 26 e 27.

Neste cenário, foi possível observar que os pontos próximos às rodovias sofreram redução conforme o previsto, porém de pequena magnitude. Quando as velocidades foram reduzidas para 40km/h na Lothário Meinser e 50km/h na linha verde, a condição ficou melhor e houve redução mais perceptível no mapa. A área de cor lilás foi reduzida em consequência vários pontos mais distantes das rodovias também apresentaram redução, diminuindo assim, a área na cor vermelha escura, que representa valores acima de 60 dB (A), isso também acabou por influenciar os valores de pressão sonora nos pontos receptores mais centralizados no campus. Portanto, foi possível verificar que a redução na velocidade do tráfego demonstrou ser uma alternativa para mitigação do ruído ambiental.

Segundo Annecke e Zimmerman (2008) isso ocorre, pela redução na rotação do motor, ruído do sistema de exaustão, ruído devido à interação pneu pavimentação, ruídos de acelerações e desacelerações e possíveis ruídos de freadas.

FIGURA 26 – MAPA ACÚSTICO COM REDUÇÃO DE VELOCIDADE 1

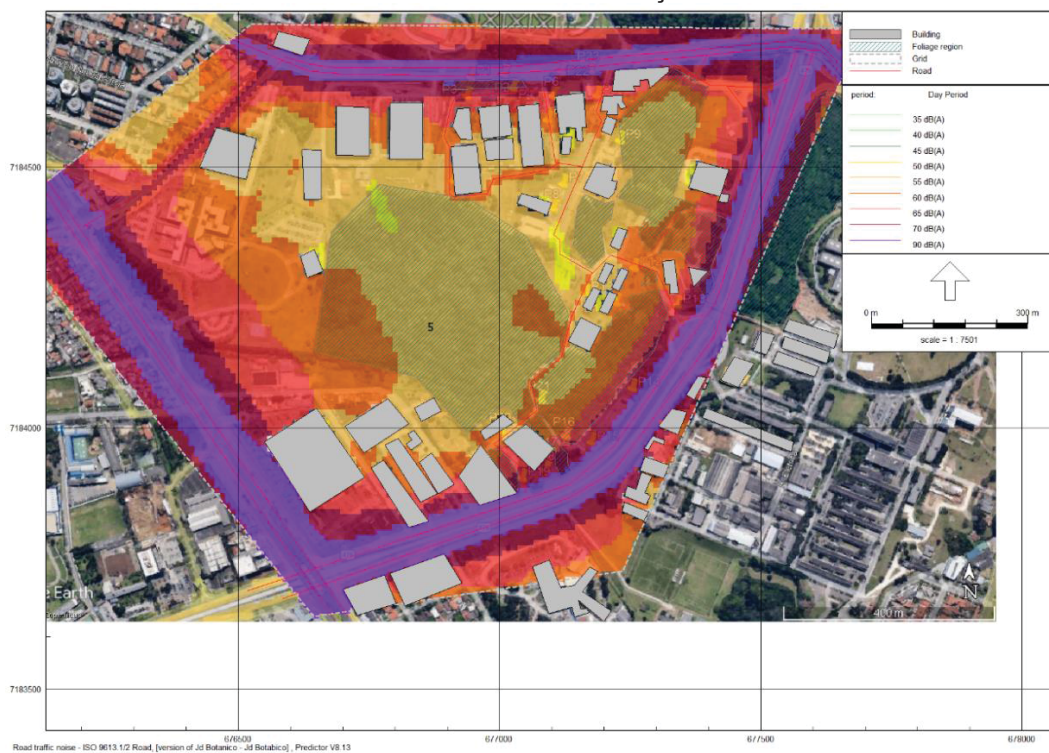
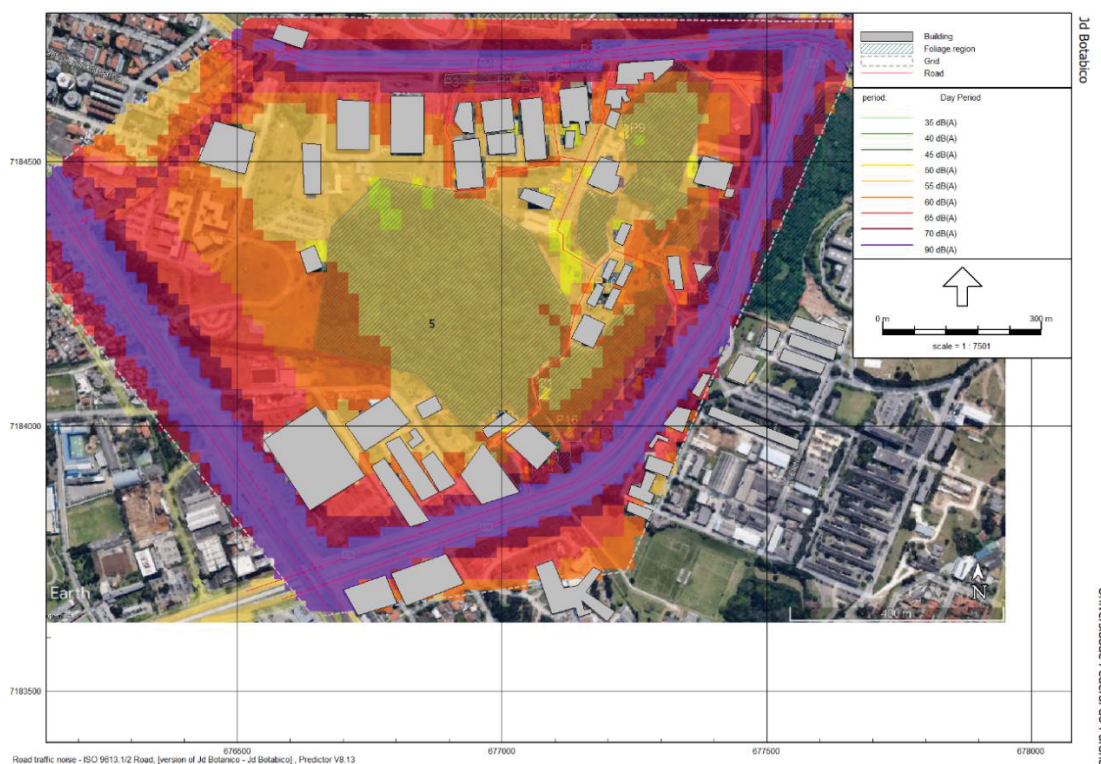
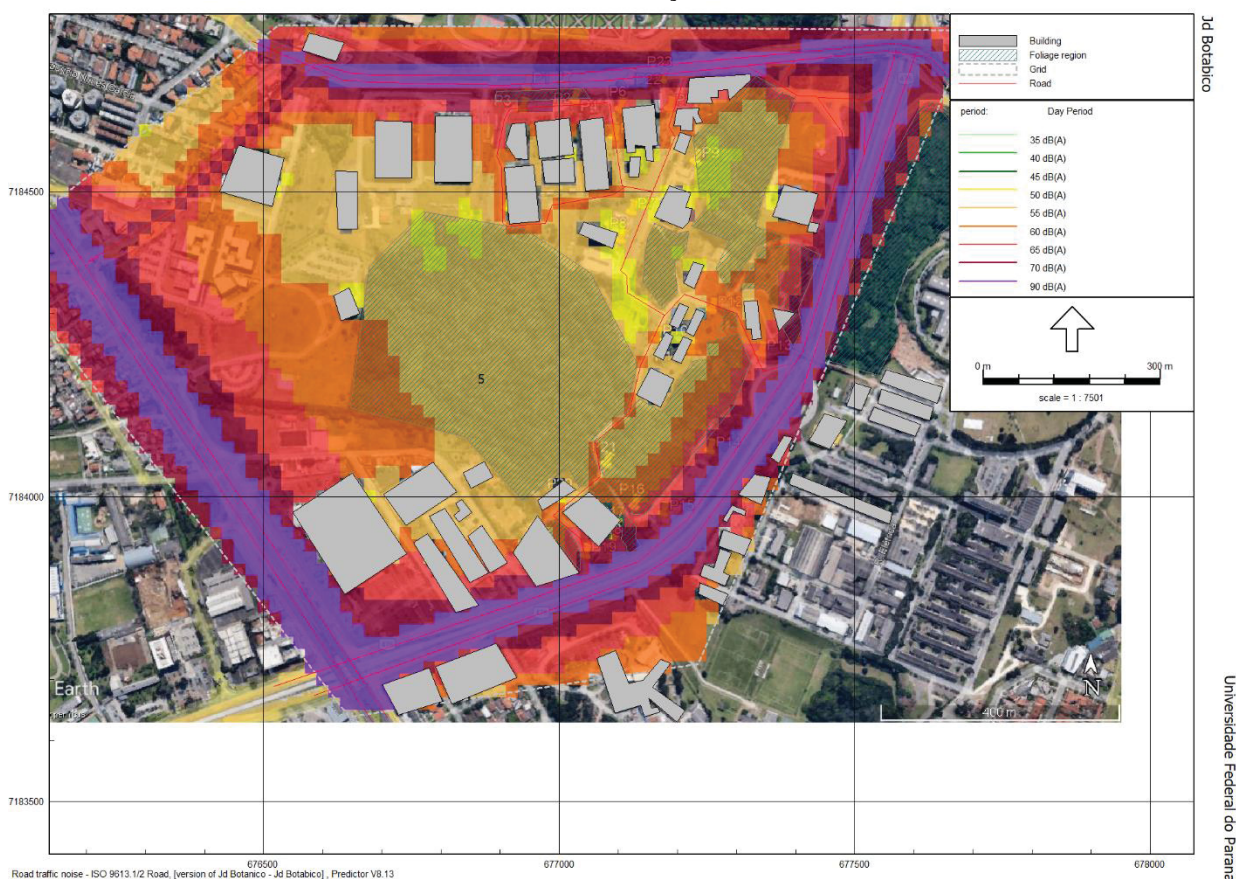


FIGURA 27 – MAPA ACÚSTICO COM REDUÇÃO DE VELOCIDADE 2



Já no 2º cenário, foram realizadas simulações com redução no fluxo de veículos das vias externas ao campus. A implantação de um rodízio de placas de veículos como é feito na cidade de São Paulo, é um exemplo de aplicação dessa medida. O rodízio funcionaria da seguinte forma: durante as segundas-feiras não poderia circular veículos com finais de placa 1 e 2. Já nas terças, 3 e 4. Nas quartas, 5 e 6; nas quintas, 7 e 8; e nas sextas, 9 e 0. Com a implantação do rodízio, teoricamente, o número de veículos circulando na região poderia reduzir em 20%. Para isso, foram realizadas simulações no software de modelagem acústica com redução no fluxo de veículos da Av. Professor Lothário Meissner e da BR 472 – Linha verde em 20% para todos os veículos (carros, motos e veículos pesados). A FIGURA 28 apresenta o mapa acústico com redução no número de veículos.

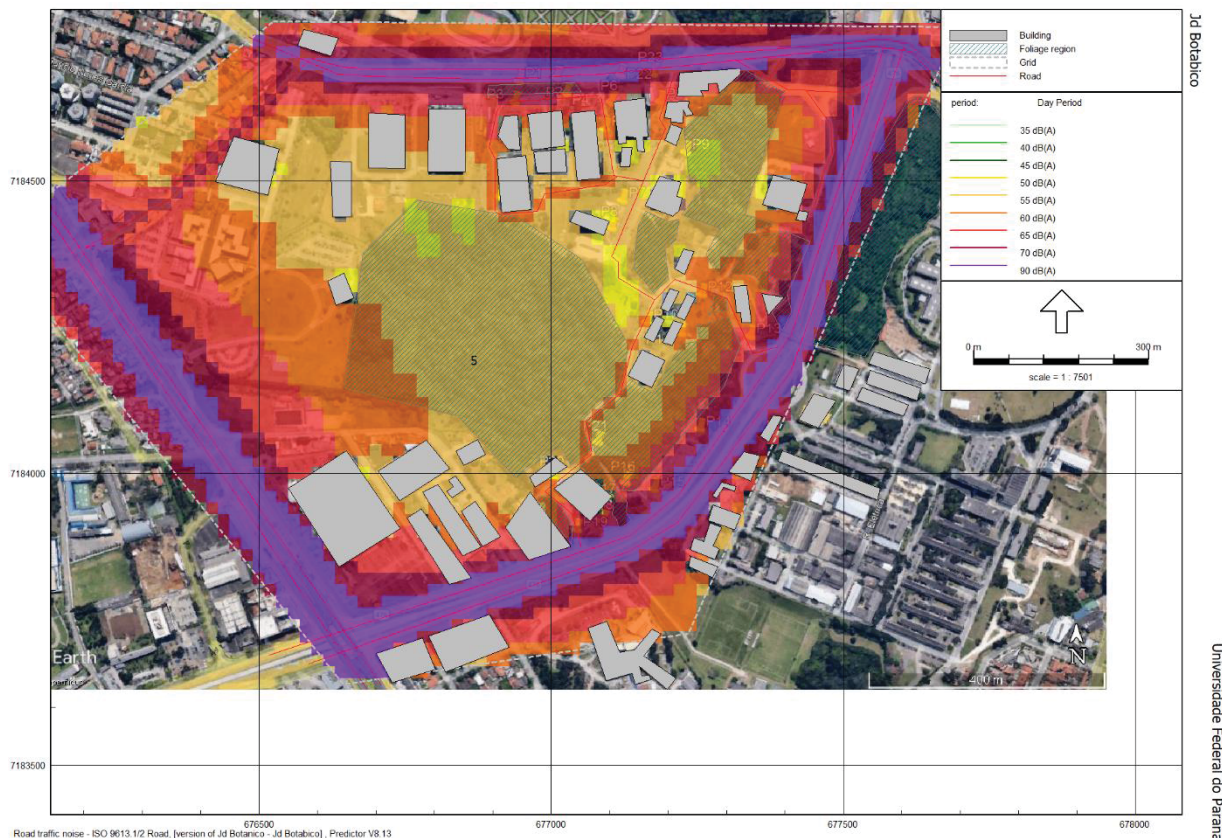
FIGURA 28 – MAPA ACÚSTICO COM REDUÇÃO EM 20% O FLUXO DE VEÍCUL



Neste cenário, foi observada as mesmas mudanças de cores quando comparados ao mapa de referência, houve redução na graduação de cor em áreas próximas às rodovias e regiões internas do campus. Nessa última simulação foi possível verificar que muitas áreas apresentaram valores abaixo de 55 dB (A).

O 3º cenário foi com a simulação do mapa acústico sem os veículos pesados nas vias do entorno do campus. Essa alternativa poderia ser implantada pela Secretaria Municipal de Trânsito com a proibição da circulação de veículos de carga no período diurno na Linha Verde próxima ao campus e na rua Lothário Meissner.

FIGURA 29 – MAPA ACÚSTICO SEM OS VEÍCULOS PESADOS



Nesse cenário o mapa apresentou uma redução ainda maior na gradação de cores do mapa de referência, principalmente na largura das faixas de pressão sonora próximas a entrada principal do campus. Isso pode ser explicado, tendo em vista que veículos pesados são fontes geradoras de ruído de maior intensidade. Nesse caso seria uma alternativa interessante, visto que na frente do portão de acesso ao Campus há um semáforo junto a um retorno, por onde muitos caminhões fazem o retorno diariamente, para acessar a BR 277 ou para acessar a BR 476 (linha verde).

O 4º cenário foi com a simulação de uma medida de engenharia, a instalação de barreiras acústicas em locais estratégicos as margens das rodovias de maior fluxo de veículos onde a situação é mais crítica. Essa solução é bastante utilizada no Japão, nos Estados Unidos e em países da Europa. Estes dispositivos funcionam como obstáculos entre as fontes geradoras e os receptores. (COSTA, 2013).

A proposta consiste na construção de 4 barreiras acústicas de concreto com 4 metros de altura cada, com espessura de 20 cm. As barreiras 01 e 02 estão localizadas em frente ao setor de ciências da saúde adjacentes a rua Professor Lothário Meissner e possuem 350 e 180 metros respectivamente, conforme FIGURAS 30. As barreiras 03 e 04 estão voltadas para a Linha Verde e possuem 180 e 265 metros respectivamente conforme FIGURA 31. Os mapas gerados com a simulação das barreira acústicas são apresentados na FIGURA 32.

FIGURA 30 - BARREIRAS ACÚSTICAS 01 E 02 VOLTADAS PARA RUA LOTHÁRIO MEISSNER.



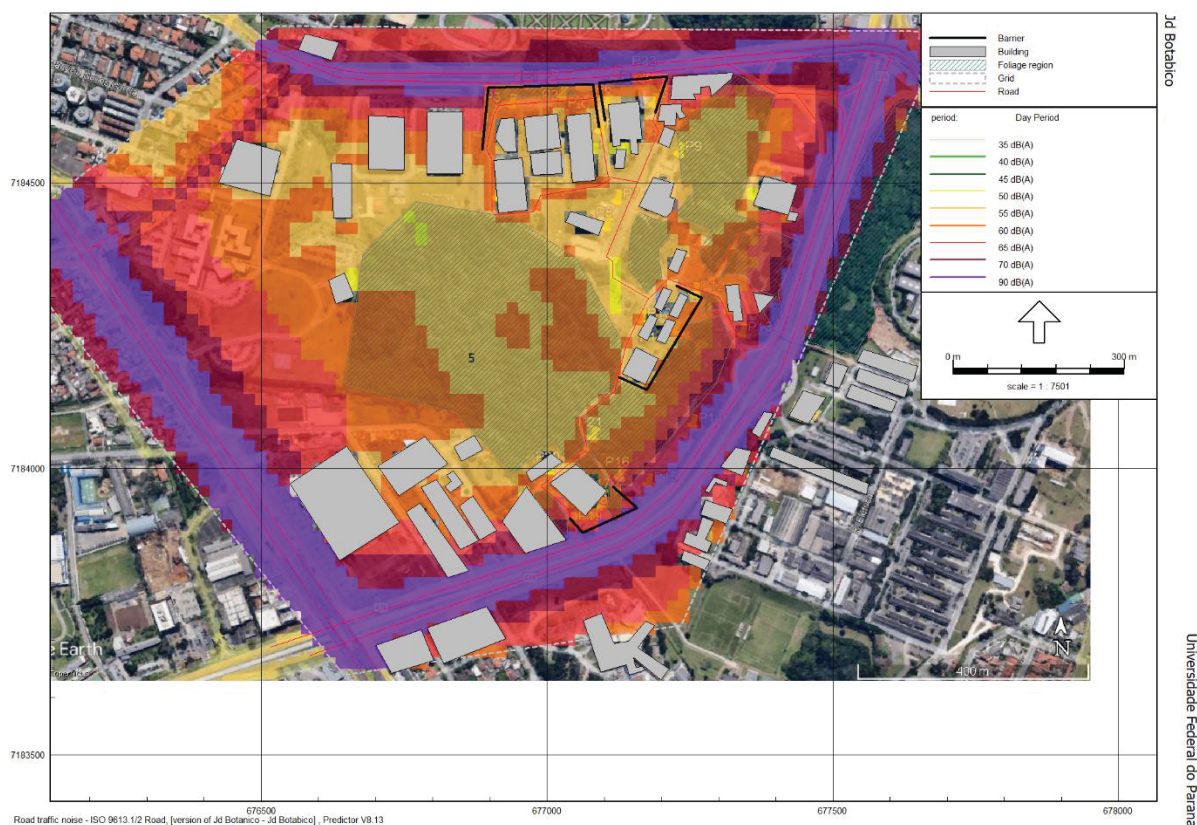
FONTE: Google Earth (2022)

FIGURA 31 - BARREIRAS ACÚSTICAS 03 E 04 VOLTADAS PARA LINHA VERDE



Fonte: Adaptado Google Earth (2022)

FIGURA 32 – MAPA ACÚSTICO COM BARREIRAS ACÚSTICAS



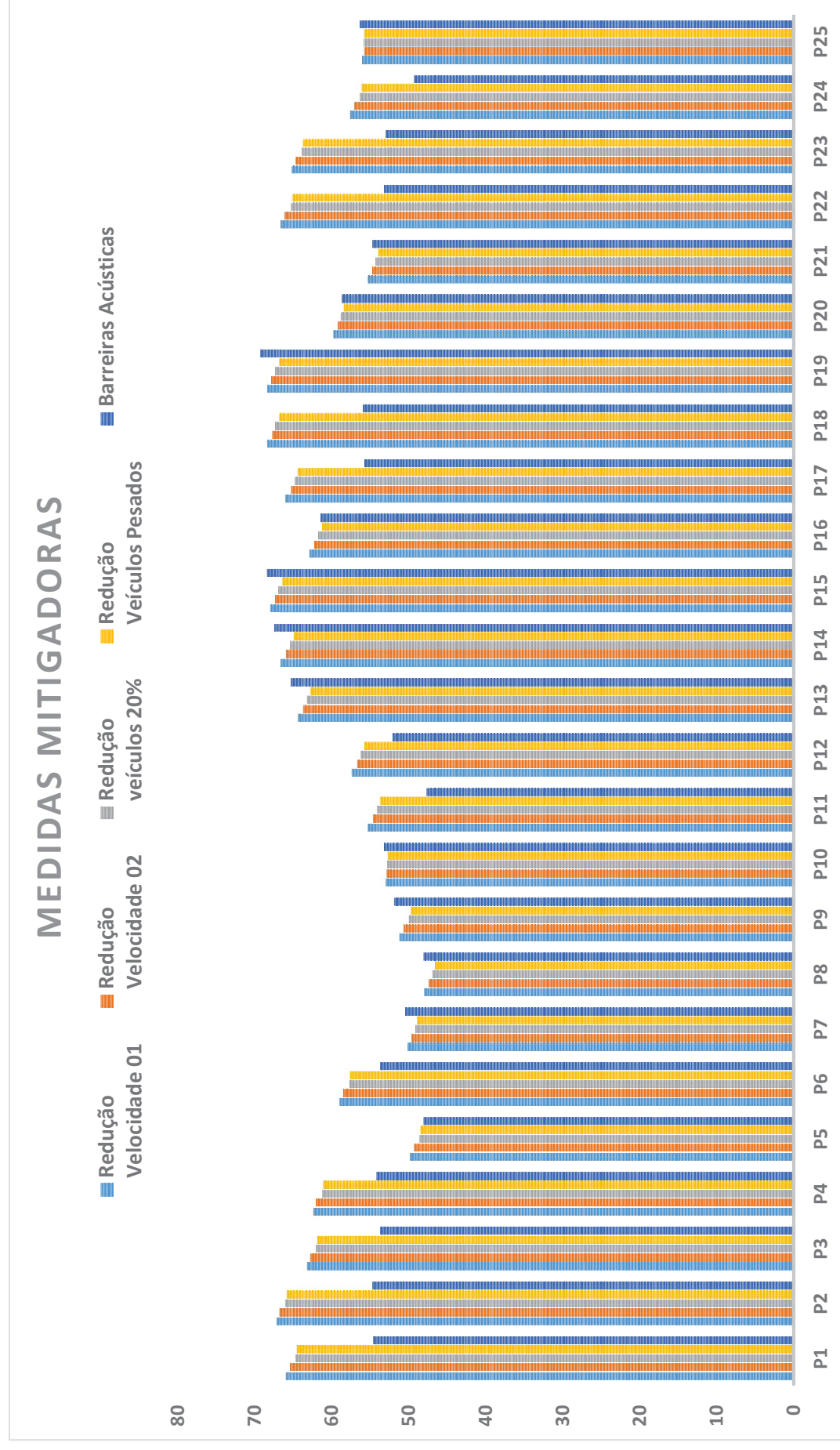
Este cenário, com a instalação de barreiras acústicas, foi o que apresentou o melhor resultado em relação as medidas mitigadoras, com redução ainda maior do ruído ambiental, principalmente nas regiões mais próximas de onde foram posicionadas as barreiras. Estas regiões ficaram protegidas e o mapa apresentou faixas menores da cor lilás e das cores vermelhas em tons escuros, que representam os níveis de pressão sonora de maior intensidade conforme a legenda.

A TABELA 11 apresenta o resultado dos cálculos da predição dos níveis de pressão sonora nos pontos receptores para as quatro simulações de medidas mitigadoras do ruído ambiental propostas para a área de estudo.

A TABELA 11 – RESULTADO DA PREDIÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS COM SIMULAÇÕES DE MEDIDAS MITIGADORAS

Ponto de medição	CENÁRIO DE REFERENCIA	1º CENÁRIO		2º CENÁRIO	3º CENÁRIO	4º CENÁRIO
	Leq Simulado	Redução Velocidade 01	Redução Velocidade 02	Redução veículos 20%	Redução Veículos Pesados	Barreiras Acústicas
P1	66.6	65.9	65.4	64.7	64.5	54.6
P2	68.0	67.2	66.8	66	65.8	54.7
P3	63.9	63.2	62.8	62	61.8	53.7
P4	63.1	62.4	62	61.2	61.1	54.2
P5	50.8	49.8	49.3	48.6	48.5	48.1
P6	59.7	59	58.5	57.7	57.6	53.7
P7	51.4	50.2	49.6	49.1	48.9	50.4
P8	48.8	48	47.4	46.9	46.6	48.1
P9	52.1	51.2	50.6	50	49.7	51.9
P10	53.2	53	52.9	52.8	52.7	53.2
P11	56.3	55.3	54.6	54.1	53.7	47.7
P12	57.1	57.4	56.7	56.2	55.7	52.1
P13	65.3	64.4	63.7	63.2	62.8	65.3
P14	67.5	66.6	65.9	65.4	64.9	67.4
P15	68.9	68	67.3	66.9	66.4	68.4
P16	63.8	62.9	62.2	61.7	61.2	61.5
P17	66.9	66	65.3	64.8	64.4	55.7
P18	69.3	68.4	67.7	67.3	66.8	55.9
P19	69.3	68.4	67.8	67.3	66.8	69.3
P20	60.7	59.8	59.2	58.8	58.4	58.7
P21	56.1	55.3	54.7	54.3	53.9	54.7
P22	67.3	66.6	66.1	65.3	65.1	53.2
P23	65.9	65.2	64.7	63.9	63.7	53
P24	58.3	57.6	57.1	56.3	56.1	49.3
P25	56.3	56	55.8	55.8	55.8	56.3

FIGURA 33 – GRÁFICO COMPARATIVO DOS RESULTADOS DAS MEDIDAS MITIGADORAS



Os resultados obtidos no 1º cenário, demonstraram que houve uma redução em média de **0,75 dB (A)** e de **1,3 dB (A)** em relação ao cenário de referência para velocidade 1 e 2 respectivamente. A maior diferença foi verificada no ponto (P7) com redução de **1,2 dB (A)** com redução na velocidade 1 e de **1,8 dB (A)** com redução de velocidade 2, enquanto a menor diferença foi no observada no ponto (P12) com redução de 0,2 e 0,4 dB (A) respectivamente.

No 2º cenário, houve uma redução em média de **1,85 dB (A)**. O ponto que apresentou maior redução foi o ponto P7 com redução de **2,3 dB (A)** em relação ao cenário de referência e o ponto com menor redução de pressão sonora foi o ponto P10 com 0,4 dB (A) de redução.

O 3º cenário foi o que apresentou melhor resultados em relação as simulações realizadas na frota de veículos (velocidade e fluxo), demonstrando uma redução em média de **2,15 dB (A)**. Os pontos que apresentaram maior redução foram os pontos (P11, P12, P14, P16) com redução de **2,6 dB (A)** e o ponto com menor redução de pressão sonora foi o ponto (P10) com apenas 0,5 dB (A) de redução em relação ao cenário de referência

O 4º cenário foi o que apresentou melhor resultados em relação a todas as simulações realizadas de medidas mitigadoras, demonstrando uma redução em média de **5,42 dB (A)** nos níveis sonoros. O ponto que apresentou maior redução foi o (P16) com redução de **14,1 dB (A)**. Entretanto, nos pontos (P10, P13, P19 e P25) não houve redução nenhuma nos níveis sonoros em relação ao cenário de referência. Isso demonstra que a medida é interessante para proteção de determinadas áreas, mas não se demonstrou efetiva para regiões mais afastadas das barreiras acústicas.

Em relação a lei municipal para Zona Educacional Especial, nos 3 primeiros cenários não houve redução ao ponto de atender a referida legislação e mais de 50% dos pontos continuaram apresentando valores acima dos limites permitidos. No 4º cenário com a implantação das barreiras acústicas apenas os pontos (P13, P14, P15, P16 e P19) não atenderam a legislação e 80% dos pontos apresentaram valores dentro do padrão exigido.

Para a Zona de silêncio, nos 3 primeiros cenários também não foi observada redução ao ponto de atender a referida legislação, apenas nos pontos P11 e P21 sofreram alteração em relação ao cenário de referência mantendo-se dentro do padrão, ou seja 70% dos pontos ainda apresentaram valores acima dos limites permitidos. No 4º cenário com a implantação das barreiras acústicas 35% dos pontos

não atenderiam a essa condição, demonstrando alteração em relação ao cenário de referência nos pontos (P1, P2, P3, P4, P11, P12, P21, 22, 23, 24) ou seja 65% dos pontos apresentaram valores dentro do padrão exigido.

Em relação à NBR 10151 - Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas, a qual define (50 dB) para áreas residenciais urbanas ou de hospitais ou de escolas, no 1º cenários também não foi observada redução ao ponto de atender a referida legislação, apenas os pontos (P5 e P7) sofreram alteração em relação ao cenário de referência mantendo-se dentro do padrão, mas demonstrando que 88% dos pontos não atenderiam a legislação. No 2º e 3º cenários não houve grandes alterações e 84% dos pontos ainda demonstraram não atender a referida norma. No 4º cenário com a implantação das barreiras acústicas apenas os pontos (P5, P8 e P11 e P24) apresentaram valores dentro do limite permitido, demonstrando que 84% dos pontos não atenderiam a norma.

Por fim, conclui-se que apesar das medidas mitigadoras apresentarem redução significativa no ruído ambiental, caso implementadas de forma isoladas, não seriam suficientes para manter toda a área de estudo em conformidade com a legislação vigente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por motivação, o fato de que a poluição sonora é um dos principais problemas ambientais enfrentados pela população mundial, principalmente nos grandes centros urbano. Nos estabelecimentos de ensino, a situação é ainda mais delicada, tendo em vista que o ruído pode afetar diretamente o desempenho escolar, causando sérios problemas no aprendizado. Com a pandemia de Coronavírus (SARS-CoV-2), medidas restritivas de circulação foram impostas, causando mudanças significativas no ruído ambiental.

Dentro deste contexto, com a realização deste estudo foi possível avaliar a poluição sonora no campus Jardim Botânico da UFPR, durante a pandemia do (Sars-CoV-2), por meio de medições acústicas em conformidade com a legislação vigente e realizar uma comparação estatística entre os níveis medidos antes e durante a pandemia, sendo possível verificar a influência desse evento nas condições sonoras do ambiente. Neste quesito, observou-se que devido a pandemia houve redução nos valores de pressão sonora na área de estudo.

Entretanto, embora os resultados demonstrarem redução dos níveis de ruído, muitos pontos avaliados apresentaram valores acima dos limites permitidos, evidenciando uma situação preocupante em relação à poluição sonora. Acredita-se que isso, pode ter sido em função do fato, de que apesar das atividades do campus estarem suspensas devido a pandemia, houve um retorno gradual das atividades comerciais com o avanço na vacinação.

A partir do mapeamento acústico, foi possível visualizar amplamente o ambiente sonoro e caracterizar as condições da área de estudo. Os resultados da modelagem computacional corroboraram com os dados obtidos nas medições de campo. O entorno do campus ficou delimitado por cores que indicaram níveis de pressão sonora elevados, enquanto que nas áreas internas, mesmo com uma atenuação na escala de cores, determinadas áreas ficaram delimitadas por cores que representaram níveis de pressão sonora acima dos limites permitidos.

Com o objetivo de propor melhorias nas condições acústicas do campus, foram avaliadas possíveis medidas mitigadoras do ruído ambiental, por meio de simulações, com software de modelagem acústica Predictor 8.13. Nesse aspecto, dentre as medidas mitigatórias propostas, a eliminação de veículos pesados apresentou resultados melhores do que com a redução da velocidade das vias e da

frota total de veículos em 20%. No entanto, essa alternativa não é tão simples de ser implantada, pois depende do interesse integrado de órgãos públicos e de questões políticas para aprovação legislativa.

A instalação de barreiras acústicas próximas aos blocos mais atingidos pelo ruído, apresentou resultados ainda melhores. Foi observado uma redução média de 5,42 dB (A) e máxima de até 14,1 dB (A) em alguns pontos receptores posicionados atrás das barreiras acústicas.

Em síntese, o objetivo pretendido por este trabalho foi alcançado e a metodologia utilizada se mostra satisfatória para avaliação de áreas expostas ao ruído ambiental. As medições de campo são capazes de fornecer dados quantitativos para avaliações acústicas em conformidade com requisitos legais, ou comparações com períodos específicos, como no caso da pandemia. A modelagem computacional possibilita visualizar amplamente o ambiente sonoro e caracterizar as condições acústicas de uma determinada área, além de simular medidas para controle do ruído ambiental, se mostrando uma ferramenta importante para tomada de decisão em estudos acústicos. No entanto, os procedimentos devem ser seguidos rigorosamente conforme recomendado, principalmente em relação as medições sonoras. A contagem de veículos e a introdução das curvas de níveis também se mostraram fundamentais para a calibração do modelo.

Estes resultados podem assessorar projetistas e gestores públicos a compreender quais ambientes precisam de intervenções prioritárias, e podem contribuir para a elaboração de cronogramas de ações de curto e médio prazo, com o objetivo de adequar o ambiente para oferecer melhores condições de ensino e maior qualidade de vida aos alunos e professores do campus.

Medidas mitigadoras como a redução da velocidade máxima permitida das vias, instalação de radares eletrônicos, redução no fluxo de veículos com rodízio de placas, além de intervenções de engenharia como barreiras acústicas e asfaltos silenciosos são apenas algumas das possíveis soluções para redução da poluição sonora urbana. Porém, apenas soluções em conjunto e políticas públicas podem fazer a cidade pensar no controle do ruído de uma forma global.

Para trabalhos futuros, sugere-se estudos de outras soluções como asfaltos silenciosos, barreiras acústicas construídas com outros materiais com maior absorção ou reflexão e avaliação de soluções em conjunto cujos resultados podem ser ainda melhores.

APENDICE I – MEDIÇÕES REALIZADAS NO CAMPUS JD BOTÂNICO (DURANTE A PANDEMIA)

PONTO	EQUIPAMENTO	TEMPO DE	VEÍCULOS	VEÍCULOS	MOTOS	LA eq dB(A)	LA máx.	LA min
		MEDIÇÃO	LEVES	PESADOS				
P1	2238	15:05	562	46	41	66,2	81,1	46
P2	2238	15:02	495	41	39	66,2	82,5	49,7
P3	2238	15:00	0	0	0	56,5	71,1	47,9
P4	2238	15:00	1	0	1	60,7	75,1	50,2
P5	2238	15:00	5	0	4	54,8	73,1	44,4
P6	2238	15:01	4	0	2	63,2	86,6	44,5
P7	2238	15:00	2	0	1	64,4	86,1	50,2
P8	2238	15:00	1	0	0	52,6	70,1	44,8
P9	2238	15:00	0	0	1	51,8	74,2	45,3
P10	2238	15:00	1	0	1	51,7	72,3	44,1
P11	2238	15:00	0	0	0	56,2	72,9	49,3
P12	2238	15:00	0	0	0	59,2	78,2	51,8
P13	2238	15:02	790	93	113	64.4	85.1	57.2
P14	2238	15:00	790	93	113	66.5	83.1	51.4

P15	2238	15:01	790	93	113	65.9	80.0	58.3
P16	2238	15:00	0	0	0	59.8	81.2	54.1
P17	2238	15:00	790	93	113	64.2	86.7	57.3
P18	2238	15:01	790	93	113	69.2	86.3	60.4
P19	2238	15:03	790	93	113	69.5	86.6	60.5
P20	2238	15:00	0	0	2	59.2	75.8	51.7
P21	2238	15:02	0	0	1	55.7	62.6	51.1
P22	2238	15:03	790	93	39	69.0	84.4	53.5
P23	2238	15:00	790	93	39	66.8	86.9	52.7
P24	2238	15:00	0	0	2	60.9	76.9	54.6
P25	2238	15:01	0	0	0	55.6	75.1	46.7

APENDICE II – MEDIÇÕES REALIZADAS NO CAMPUS JD BOTÂNICO (ANTES DA PANDEMIA)

PONTO	EQUIPAMENTO	TEMPO DE		VEÍCULOS		VEÍCULOS		MOTOS	LA eq	LA máx.	LA min
		MEDIÇÃO		LEVES		PESADOS					
P1	2238	15:00		402		25		31	66.7	80.8	52.4
P2	2238	15:00		573		33		40	68.5	91.1	57.6
P3	2238	15:00		0		0		0	59.3	73.6	59.5
P4	2237	15:00		6		0		1	60.4	-	-
P5	2237	15:00		59		0		7	57.9	-	-
P6	2237	15:00		64		1		3	62.2	-	-
P7	2237	15:00		15		0		3	56.4	-	-
P8	2237	15:00		20		1		4	55.2	-	-
P9	2237	15:00		2		0		0	53.6	67.5	49.7
P10	2237	15:00		3		0		1	53.1	65.3	43
P11	2238	15:00		0		0		0	57.9	73.0	49.3
P12	2237	15:00		0		0		0	53.7	-	-
P13	2238	15:00		0		0		0	64.5	-	-
P14	2238	15:00		604		45		51	68.5	-	-
P15	2238	15:00		573		33		40	68.2	91.1	57.6

P16	2237	15:00	0	0	0	68.5	-	-
P17	2237	15:00	604	45	51	60.5	-	-
P18	2237	15:00	415	18	41	63.1	86.2	52.7
P19	2237	15:00	0	0	0	67.3	76.0	49.1
P20	2237	15:00	4	0	0	69.0	85.2	48.5
P21	2237	15:00	18	0	1	55.5	67.9	45.7
P22	2237	15:00	415	18	41	56.7	86.2	55.1
P23	2238	15:00	415	18	41	68.1	85.4	58.6
P24	2237	15:00	14	0	3	57.8	72.9	49.3
P25	2238	15:00	0	0	0	57.8	75.3	52.8

7 REFERÊNCIAS

ARAUJO, Simone Adad. **Perda Auditiva Induzida por Ruído em Trabalhadores de Metalúrgica.** 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rboto/a/SGH79Wv6CCkspLhy45ZnNzt/?lang=pt&format=pdf>. Acessado em 22/04/2020.

ANDRADE, Erik de Lima. **Covid-19 Ruído Ambiental: Influência da pandemia nos níveis de pressão sonora externa de um hospital público.** Simpósio Brasileiro online de Gestão Urbana. São Paulo 2020.

APS, Marcia Liedt; BERNUCCI, Légi Bariani. **Mitigação do ruído proveniente do tráfego de rodovias por meio da implantação do revestimento asfáltico do tipo camada porosa de atrito – cpa: caso brasileiro,** São Paulo, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (Brasil). NBR-10151: **Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o Conforto da Comunidade,** 2020.

ASENSIO C., PAVON I., DE ARCAS G. **Mudanças nos níveis de ruído na cidade de Madrid durante o bloqueio COVID-19 em 2020.** *J. Acoust. Soc. Sou.* 2020;

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.

ANNECKE, R., ZIMMERMAN, U. **Examples of using traffic management measures on noise in cities - Munich'** in Ellebjerg, L. (ed) 2008.

BASU B., MURPHY E., MOLTER A., BASU AS, SANNIGRAHI S., BELMONTE M., PILLA F. **Investigando mudanças na poluição sonora devido ao bloqueio COVID-19: o caso de Dublin, Irlanda.** *Sustentar. Cities Soc.* 2021

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.

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

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 3a ed. São Paulo: Editora Blucher, 2018.

CAVALCANTE, Taciana Luce de Oliveira; ANDRADE, Wagner teobaldo Lopes. **Efeitos Auditivos e Extras Auditivos Decorrentes do Ruído na Saúde do Dentista 2007**. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/rbcs/article/view/11869/7304> Acessado em 22/04/2020.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica Arquitetônica**. 2.ed. – Brasília: Thesaurus, 2010. 238p.

CORTINO, Fabiana R. Dall, **Metodologia Para Definição De Estratégia De Controle E Avaliação De Ruído Ocupacional**. 2011. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

COSTA, Ennio Cruz. **Acústica Técnica**. São Paulo: Blucher, 2003. 127p.

CALIXTO, A.; PULSIDES, C.; ZANNIN, P. H. T.; **Evaluation of transportation noise in urbanised areas. A case study**. Archives of acoustics. 33. 185-199. 2008

CALIXTO, A.; DINIZ, F. B.; ZANNIN, P. H. T. **The statistctical modeling of road traffic noise in na urban setting**. Cities, vol. 20. p.23-29. 2003

CALIXTO, A. **O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias de grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob**

parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2002.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica.** Brasília. Thesaurus, 2006

DETRAN-PR 2020. **Estatísticas de Trânsito – Frota de veículos por Tipo e Município 2020.** Disponível em: <http://www.detran.pr.gov.br/modules/catasg/servicosdetalhes.php?tema=transitoseguro&id=614>. >. Acesso em 8 de abril de 2021.

ELLEBJERG, L. **Effectiveness and Benefits of Traffic Flow Measures on Noise Control WP H.1 Methods for Noise Control by Traffic Management SILENCE, SILENCE_H.D1_20070105.** 2007.

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

EEA, European Environment Agency. **Noise in Europe – 2020.** Copenhagen Denmark, 2020. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/pt/highlights/numero-de-europeus-expostos-a>. Acessado em 22/06/2021.

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, 2015.

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, 2015.

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

GANIME et al, JP. **Ruído como um dos Riscos Ocupacionais: Uma revisão de Literatura.** 2010 Disponível em: https://scielo.isciii.es/pdf/eg/n19/pt_revision1.pdf
Acessado em 13/05/2020.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Ruído: Fundamentos e Controle.** Florianópolis: NR, 2000.

GUARNACCIA, C.; QUARTIERI, J.; RUGGIERO, A. Acoustical noise study of a factory: indoor and outdoor simulations integration procedure. **International Journal of Mechanics**, v. 8, p. 298–306, 2014.

HAGEN, M.; HUBER, L.; KAHLERT, J. Acoustic school easing. In: **Proc. Of the Int. Forum Acusticum Sevilha**, Sevilha, 2002.

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

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise: ISO 1996-1. Basic quantities and assessment procedures: Part 1**, Suíça, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics - Description and measurement of environmental noise: ISO 1996-2. Acquisition of data pertinent to land use: Part 2**, Suíça, 1998.

KANDEEL M., IBRAHIM A., FAYEZ M., AL-NAZAWI M. **De SARS e MERS CoVs para SARS-CoV-2: movendo-se em direção ao uso de códon mais enviesado em genes estruturais e não estruturais virais.** J. Med. Virol. 2020; 92 : 660–666. doi: 10.1002

MANVELL, D.; VAN BANDA, E. H. **Good practice in the use of noise mapping software.** Applied Acoustics, Noise Mapping., v. 72, n. 8, p. 527–533, 2011.

MELLO, Celso Antonio Bandeira de. **Curso de Direito Administrativo**. 26^a. Ed. São Paulo. Malheiros. 2009

MIOT, Hélio Amante. **Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais**. Vasc Bras. 2017 Apr.-Jun.; 16(2):88-91

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. **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.

NBR 10152. **Níveis de ruído para conforto acústico**, ABNT, 1989.

NIOSH [1998]. **Occupational Noise Exposure**. U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication n. 98-126.

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.

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.

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.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

RIOS, A. N. **Efeito do Ruído Tardio na Audição e na Qualidade do Sono em Indivíduos Expostos a Níveis Elevados. Ribeirão Preto**, 2003. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Medicina da USP/Ribeirão Preto.

SORAINEN, E.; KOKKOLA, H. Optimal noise control in a carpentry plant. **Applied Acoustics**, Amsterdam, v. 61, p. 37-43, 2000.

STRUFALDI, E. G. B.; APS, M. BERNUCCI, L. L. B.; DA SILVA P. B.; **Relação entre ruído do tráfego e aderência pneu pavimento em rodovias**. CONINFRA 2009 – Congresso De Infraestrutura De Transportes, São Paulo, 2009.

SCHITTINI, Gabrielle Kaminski. **Avaliação Objetiva e Subjetiva do Ruído Ambiental do Campus Politécnico da UFPR**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2020

Wang C., Horby PW, Hayden FG, Gao GF **Um novo surto de coronavírus de interesse global para a saúde**. Lanceta. 2020; 395: 470–473

WEBSTER, M. Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA: Proposta para elaboração e execução. In: VIEIRA, S. **Manual de Saúde e Segurança do Trabalho: qualidade de vida no trabalho, volume 2**. São Paulo: LTr, 2005.

WHO Coronavirus (COVID-19) painel. **Situação por país, território e área. 2021.**
Disponível em: <https://covid19.who.int/table>. Acessado em 19 de julho de 2021.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Noise in schools.** Geneva, 2001

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.

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.

ZANNIN, P .H. T.; KRÜGER, E. L.; DORIGO, A. L. **Acoustic and Luminous Performance Evaluations in Classrooms in Curitiba, Brazil.** Indoor and Built Environment. 2008

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.; KRÜGER, E. L.; DORIGO, A. L. **Acoustic and Luminous Performance Evaluations in Classrooms in Curitiba, Brazil.** Indoor and Built Environment. 2008

ZANNIN, 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.; 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.