

MILENA ROSA LOPES LOZANO

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO NA PROPAGAÇÃO DO
RÚIDO AMBIENTAL: UMA PROPOSTA PARA REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE
POLUIÇÃO SONORA**

Botucatu

2018

MILENA ROSA LOPES LOZANO

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO NA PROPAGAÇÃO DO
RÚIDO AMBIENTAL: UMA PROPOSTA PARA REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE
POLUIÇÃO SONORA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Ciência Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Simões
Coorientador: Prof. Dr. João Candido Fernandes

Botucatu

2018

L925i

LOZANO, MILENA ROSA LOPES

Influência de diferentes coberturas do solo na propagação do ruído ambiental : uma proposta para redução dos níveis de poluição sonora / MILENA ROSA LOPES

LOZANO. -- Botucatu, 2018

104 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Prof. Dr. Danilo Simões

Coorientador: Prof. Dr. João Cândido Fernandes

1. Controle de ruído. 2. Planejamento urbano. 3. Isolamento acústico. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: INFLUÊNCIA DE DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO NA PROPAGAÇÃO DO RUIDO AMBIENTAL: UMA PROPOSTA PARA REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE POLUIÇÃO SONORA

AUTORA: MILENA ROSA LOPES LOZANO

ORIENTADOR: DANILO SIMOES

COORIENTADOR: JOAO CANDIDO FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. DANILO SIMOES

Depto de Engenharia de Produção / UNESP - Campus Experimental de Itapeva


Prof. Dr. PAULO TORRES FENNER

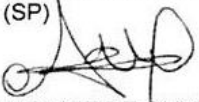
Depto. Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrômicas - UNESP


Prof. Dr. ANDERSON ANTONIO DA CONCEIÇÃO SARTORI

USC / Bauru (SP)


Prof. Dr. ANDRE LUIZ DE OLIVEIRA CHAVES

Instituto de Arquitetura e Urbanismo / USP São Carlos

Botucatu, 27 de abril de 2018

*Pos meus amados pais,
Clélia e José (in memoriam),
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Formular meus agradecimentos apenas com palavras seria impossível. Enquanto escrevo, as lágrimas rolam ao pensar em tudo que ocorreu desde junho de 2014 até abril de 2018 que hoje se transforma em gratidão.

Primeiramente gratidão à Deus e à Nossa Senhora que me aparam e me carregaram no colo quando eu não tinha mais forças para seguir sozinha.

A meu pai, que eu sei que de onde ele está me orientou e me iluminou nos momentos de escuridão

A minha mãe, professora de profissão e de vida. Meu espelho, meu motivo para não desistir e minha razão de viver.

Aos professores que fizeram dessa jornada uma jornada possível nos anos mais difíceis da minha vida – primeiramente aos meus primeiros orientadores Prof. Dr. Alcides Leão que permitiu o meu acesso ao doutorado e ao Prof. Dr. Paulo Torres Fenner que me acolheu e me mostrou um caminho possível.

Ao Prof. Dr. Danilo Simões, cujas palavras faltam para demonstrar o tamanho de minha gratidão por tornar tudo possível quando não existia mais luz. Seus ensinamentos, comprometimento e amparo foram essenciais e sem eles teria desistido de seguir a diante com toda certeza.

Ao Prof. Dr. João Cândido Fernandes cujo qual desde a especialização é meu exemplo de caráter, ética e dedicação ao ofício de professor.

Aos coordenadores da PG Ciência Florestal Prof. Dr. Iraê Guerrini e Prof^a Dr^a Magali que são exemplos de zelo e dedicação e que me mostraram inúmeras vezes me iluminaram em momentos de dificuldades.

Aos colegas dos grupos de estudos e de disciplinas que com conversas e risadas tornaram os dias mais leves e partilharam as dores comigo – em especial à Joyce e a pós-doc Rita que me fizeram entender o que é ciência e me contagiou com seu amor à pesquisa (mesmo eu sendo apenas uma professora buscando seguir com minha missão) e ao Lucas pelo auxílio nos últimos dias na impressão.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida em meus primeiros anos de jornada.

Aos colaboradores do departamento de Ciência Florestal, em especial pela paciência e carinho para conosco.

RESUMO

A poluição sonora pode impactar na qualidade de vida e na saúde das populações urbanas. Diante disso, a busca por ações mitigadoras, como exemplo, a implantação de barreiras vegetativas que visam atenuar os níveis de ruído ambiental. Neste contexto, objetivou-se simular a influência de barreira vegetativa para a atenuação do ruído ambiental na cidade de Botucatu, Estado de São Paulo. O desenvolvimento do estudo foi pautado em duas etapas. A Etapa I - cobertura do solo contemplou a realização de medições do nível de ruído ambiental em quatro condições diferentes utilizando uma motosserra como emissor de ruído em baixa rotação e alta rotação. A Etapa II – mapeamento contemplou o mapeamento do ruído ambiental urbano da Zona Central da cidade por meio do levantamento do nível de ruído ambiental (L_{Aeq}) no período diurno, em pontos amostrais localizados na zona central da cidade. Os dados foram interpolados em Sistema de Informação Geográfica (SIG) e as cartas acústicas classificadas de acordo com os limites de tolerância estabelecidos pela legislação. A população que transita ou reside na Zona Central de Botucatu está exposta a níveis de pressão sonora que podem causar, ao longo do tempo, problemas relacionados à saúde como como insônia, estresse, comportamento agressivo e irritabilidade, entre outros, devido a níveis de pressão acima do permitido. A estratégia utilizada de adoção de barreira vegetativa na simulação pode ser considerada como uma solução para atenuação de ruído ambiental urbano, por consentir reduzir 5,04 dB(A) para uma barreira vegetativa de 2,90m de largura.

Palavras-chave: Mapeamento acústico. Planejamento urbano. Barreiras vegetais.

ABSTRACT

The noise pollution can impact in the life and health quality of urban population. Therefore, the search for mitigating actions as, for example, the deployment of vegetative barriers that aim to attenuate the levels of environmental noise. In this regard, the objective was to simulate the influence of vegetative barriers for the environmental noise mitigation in the city of Botucatu, state of São Paulo. The development of this study was based in two stages. The Stage I – soil covering contemplated the measurement of the environmental noise level in four different conditions using a chainsaw as a noise emitter in low rotation and high rotation. The Stage II – mapping contemplated the charting of urban environmental noise in the Central Zone of the city by surveying the environmental noise level (L_{Aeq}) during the day, in sample places located in the same zone of the city. The data were interpolated in Geographic information system (GIS) and the acoustic charts classified according to the limits of tolerance established by the legislation. The population that transits or lives in the Central Zone of Botucatu is exposed to sound pressure levels that can cause, over time, health problems such as insomnia, stress, aggressive behavior, irritability and others, due to pressure levels above the ordinary. The strategy used to establish the vegetative barrier in the simulation can be considered as a solution for the mitigation of urban environmental noise, by allow reducing 5.04 dB(A) to a vegetative barrier of 2.90m width.

Key-words: Acoustic mapping. Urban planning. Vegetable barriers.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Configuração da escala decibel.....	23
Figura 2 – Limiares auditivos	24
Figura 3 – Configuração do Campo Sonoro	29
Figura 4 – Nível de ruído estimado nas vizinhanças de rodovias hipotéticas	33
Figura 5 – Exemplo de L_{eq} para uma fonte flutuante de ruído	36
Figura 6 – Localização da Área de Estudo.	52
Figura 7 – Medidor de ruído INCON – modelo IDAC-100.....	54
Figura 8 – Motosserra marca Stihl modelo MS 381.....	55
Figura 9 – Tratamentos Etapa I - cobertura do solo	56
Figura 10 – Fluxograma da Etapa I - cobertura do solo.....	57
Figura 11 – Fluxograma da Etapa II - mapeamento	59
Figura 12 – Localização dos 96 pontos selecionados para o mapeamento acústico	61
Figura 13 – Uso e ocupação utilizado para o mapeamento acústico.....	63
Figura 14 – Canteiro central simulado, área compreendida entre pontos 8 e 14.....	64
Figura 15 – Canteiro simulado para atenuação do ruído	65
Figura 16 – Carta Hipsométrica da Zona Central de Botucatu	73
Figura 17 – Carta de Declividade da Zona Central de Botucatu	74
Figura 18 – Carta acústica da Zona Central de Botucatu com a krigagem.....	77
Figura 19 – Mapa Acústico simulado para a redução dos níveis de ruído.....	82

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 - Variação em dB e percepção humana do som.....	25
Tabela 2 - Redução em dB e percepção humana de redução.....	25
Tabela 3 - Atenuação sonora proporcionada por um maciço de vegetação	31
Tabela 4 - Coeficientes de absorção de acordo com o tipo de cobertura do solo	31
Tabela 5 - Nível de critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A), para emissão de ruído de tráfego de acordo com as normas internacionais vigentes.....	40
Tabela 6 - Nível de critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A)	42
Tabela 7 - Nível de critério de avaliação para ruído em área urbana, em dB(A) L11032/92 - CETESB	43
Tabela 8 - Zoneamento, uso e ocupação do solo urbano do município, Lei nº 4.127/2000.....	45
Tabela 9 – Zonas atualizadas pela Lei Complementar nº 1224/2017.....	45
Tabela 10 – Proporção e área das classes amostradas no Plano Municipal de Arborização – programa MultiSpec.....	53
Tabela 11 – Áreas com diferentes coberturas de solo.....	56
Tabela 12 – Medição dos níveis de ruído (dB(A)) emitidos pelo motosserra.....	68
Tabela 13 - Síntese da atenuação de L_{Aeq} (dB(A)) obtido para cada tipo de cobertura do solo	68
Tabela 14 - Estimativas dos parâmetros dos polinômios, segundo tratamento e condição de operação e seus respectivos R^2	69
Tabela 15 - Equivalência, por similaridade, do nível de ruído entre a Lei de Zoneamento Urbano e a NBR 10.151.	70
Tabela 16 – Estatística Descritiva dos Valores de L_{Aeq} (dB(A)) mapeados	71
Tabela 17 - Valores de L_{Aeq} (dB(A)) obtidos para cada classe de ruído mapeada ...	75
Tabela 18 - Valores de L_{Aeq} (dB(A)) obtidos áreas de hospitais ou de escolas	76
Tabela 19 - Valores de L_{Aeq} (dB(A)) simulados.....	79
Tabela 20 – Estatística Descritiva dos Valores de L_{Aeq} (dB(A)) simulados	80
Tabela 21 - Valores de L_{Aeq} (dB(A)) obtidos para cada classe de ruído mapeada ...	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

OMS – Organização Mundial de Saúde

WHO – World Health Organization

ASLHA – American Speech-Language-Hearing Association

ISO – International Organization for Standardization

NBR – Norma Brasileira NBR 10.151 – Avaliação do nível de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade

dB – Decibel

dB(A) – Decibel ponderado na curva de equalização “A”

L_{Aeq} – Nível Sonoro Contínuo Equivalente Ponderado A

L_p – Nível de Pressão Sonora

L_{Pico} – Valor Máximo de Pressão Sonora

PAINPSE – Perda de audição induzida por níveis de pressão sonora elevados - já foi chamada de PAIR (perda auditiva induzida por ruído)

SIG – Sistema de Informação Geográfica

WNS – Weinstein’s Noise Scale

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 OBJETIVO.....	20
2.1 Objetivos específicos.....	20
3 HIPÓTESE.....	20
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.1 Som	21
4.2 Ruído	24
4.3 Ruído ambiental.....	26
4.4 Acústica.....	28
4.5 Influência da vegetação na acústica do ambiente	30
4.6 Medição de Ruído Ambiental.....	34
4.7 Efeitos da exposição ao ruído.....	37
4.8 Legislação Ambiental.....	39
4.9 Mapeamento de ruídos ambientais.....	45
4.10 Geoestatística.....	47
4.11 Teoria das variáveis regionalizadas.....	48
4.12 Variograma.....	49
4.11 Krigagem.....	50
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	52
5.1 MATERIAL.....	52
5.2 MÉTODOS.....	54
5.2.1 Medidor de ruído.....	54
5.2.2 Emissor de ruído utilizado na Etapa I - cobertura do solo.....	54
5.2.3 Etapa I - cobertura do solo.....	55
5.2.4 Modelagem matemática.....	57
5.2.5 Etapa II – Mapeamento.....	58
5.2.5.1 Procedimento para medição dos níveis de ruído e simulação.....	59
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
6.1 Etapa I - cobertura do solo.....	66
6.2 Etapa II - mapeamento.....	69

6.2.1 Simulação de cenário utilizando o TMata Nativa como barreira vegetativa para atenuação de ruído na área mapeado.....	79
7 CONCLUSÕES.....	85
REFERÊNCIAS.....	86
APÊNDICE A – Valores de LAeq obtidos para cada um dos 96 pontos da Zona Central de Botucatu, SP.....	100
APÊNDICE B – Quadro síntese das medições realizadas na Etapa II – mapeamento.....	103
APÊNDICE C – Condições Climáticas dos dias de levantamento de campo da Etapa II – mapeamento.....	104

1 INTRODUÇÃO

O ruído está presente no dia a dia das pessoas, no trabalho, no fluxo de veículos, *smartphones*, entre outras fontes geradoras, constantes no cotidiano urbano e que podem prejudicar o sistema auditivo humano. Diante disso, um ambiente que possui conforto acústico proporciona uma boa qualidade de vida aos indivíduos que o utilizam, porém, ambientes com altos níveis de ruído ambiental podem aumentar o nível de estresse, diminuir a capacidade de concentração, entre outros impactos à saúde e à qualidade de vida da população.

Somente nos EUA estima-se que haja 36 milhões de pessoas com algum grau de debilidade auditiva (OYLER, 2012). Já no Brasil, um levantamento do censo demográfico de 2010 identificou 9,8 milhões de portadores de deficiência auditiva, representando 5,1% da população. Segundo o mesmo censo, 1,3% da população brasileira entre zero e 14 anos apresenta algum tipo de deficiência auditiva enquanto essa proporção sobe para 4,2% entre 15 e 64 anos e aumenta para 25% da população que está com 65 anos ou mais (IBGE, 2010).

Diante deste contexto, o ambiente urbano apresenta características específicas, as quais o diferenciam dos demais, pois apresentam coberturas de solo diferentes e com extensões distintas, por conseguinte, propagam as ondas sonoras com intensidades que variam em consonância a diversos fatores. A exemplo disto, tem-se a grande variabilidade dos campos sonoros e à presença de barreiras de atenuação, que impactam diretamente nos níveis de pressão sonora no ambiente urbano.

As cidades são ambientes acusticamente ricos e de estrutura complexas, compostas de áreas construídas, vias de tráfego de veículos, áreas verdes e espaços não construídos. Entre os agentes físicos do campo sonoro que interferem nessa atenuação ou amplificação tem-se o tipo de solo, vegetação, declividade do terreno, temperatura e umidade relativa do ar.

Desta forma, a concepção dos espaços urbanos precisa ser gerenciada a fim de possibilitar a existência de ambientes sonoros agradáveis, com a presença de vegetação nativa e capazes de diminuir ruídos indesejáveis, que acarretam danos à saúde, condição que justifica verificar a correlação entre os diferentes tipos de cobertura do solo e seu impacto na diminuição nos níveis de ruído ambiental.

2 OBJETIVO

Objetivou-se simular a influência de barreira vegetativa para a atenuação do ruído ambiental na cidade de Botucatu, Estado de São Paulo.

2.1 Objetivos específicos

- Analisar a influência de diferentes coberturas do solo na propagação do ruído ambiental;
- Realizar o mapeamento deste ruído da zona central do município de Botucatu, Estado de São Paulo;
- Simular barreira vegetativa como cobertura do solo em ambiente SIG para atenuação de ruído da área mapeada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Som

O som é definido como a propagação de uma onda mecânica longitudinal que cria compressões e rarefações periódicas, na mesma direção da propagação, em um meio físico (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 1963).

Também se pode definir o som como a energia transportada de um meio vibrante para o meio gasoso adjacente. Esse transporte de energia entre os meios faz com que a camada de ar adjacente se torne densa e se desloque até se chocar com o gás em equilíbrio a sua frente. Ao transferir a energia de camada para camada, cria-se uma nova camada densa de gás que se move para frente e a primeira camada, devido à perda de energia, passa a se dispersar para trás a fim de ocupar a área de baixa densidade (BERG e STORK, 1995).

Quando a camada densa atinge o receptor, ela exerce uma pressão sobre o mesmo um pouco maior do que o meio normalmente exerce. Ao passo que a camada de baixa densidade causa uma diminuição da pressão do meio sobre o receptor. O som percebido pelo ouvido, ou por um microfone, por exemplo, é a variação da pressão ambiente sobre o receptor. Essa variação de pressão no meio causada pela onda sonora é chamada de pressão sonora ou pressão acústica e é medida em pascais (Pa) sendo $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ (HALLIDAY e RESNICK, 1988).

De acordo com a Fundação Jorge Duprat Figueiredo, de Segurança e Medicina do Trabalho - FUNDACENTRO (2008), as vibrações sonoras são detectáveis quando a pressão do ar atinge valores de ordem de $2 \times 10^5 \text{ Pa}$, para frequências em torno de 1.000 Hz.

O som também pode ser definido como a energia resultante de movimentos vibratórios que se propaga em meio elásticos em uma ou mais direções. Quanto mais denso o meio, mais rápido é a velocidade de propagação do som (HALLIDAY; RESNICK, 1988).

Desta forma, a velocidade de propagação da onda sonora, através dos diferentes meios materiais, e a percepção da pressão sonora sofrida pelo receptor dá-se de forma diferente devido às diferenças estruturais entre os meios de propagação, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, e às características do receptor (RAICHEL, 2006).

A pressão sonora é diferente da intensidade sonora. A intensidade do som é a quantidade de energia contida no movimento vibratório e corresponde à energia transportada pela onda sonora por unidade de área. Essa intensidade é medida em watts por metro quadrado (W/m^2) (HALLIDAY; HESNICK; WALKER, 1996).

Segundo Fernandes (2013), o ouvido humano obedece a Lei de Weber, ou seja, conforme aumentamos a pressão sonora no meio o ouvido fica cada vez menos sensível a essa variação, precisando de um aumento exponencial para que o aparelho auditivo perceba essa intensidade de maneira linear.

Essa relação entre a variação da intensidade física do estímulo e a percepção da mesma por um indivíduo varia em escala logarítmica. Com o objetivo de estabelecer uma relação entre o limiar de audibilidade, a pressão sonora emitida e a resposta ao estímulo pelo ouvido humano, foi criada uma escala de referência em número de decibels (dB). A palavra 'decibel' (décimo de bel), é uma homenagem a Alexandre Graham Bell, pesquisador de acústica e inventor do telefone, que corresponde ao expoente da relação das intensidades físicas, multiplicado por 10 (ALDRED, 1971).

Como pode ser observado na Equação 1, decibel não é uma unidade de medida, mas uma escala. A pressão do ar causado pela onda sonora é medida em W/cm^2 e o nível de pressão sonora é definido em decibels (dB) quanto à audibilidade, com valores de referência fixados de $10^{-16} W/cm^2$ e $2 \times 10^{-4} BAR$ ($BAR = 1 \text{ dina}/cm^2$) para o limiar de audição.

O que se convencionou chamar de volume sonoro, ou percepção de "som alto/baixo", está associado com o nível de pressão sonora percebido. O Nível de Pressão Sonora (NPS), segundo (EVEREST e POHLMANN, 2014; OLSON, 1967), é definida como a intensidade sonora medida em decibels (dB) pela Equação 1:

$$NPS = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{P_i^2}{P_0^2} \right] = 20 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{P_0} \right] \quad (1)$$

em que,

P = pressão sonora (N/m^2 ou Pa);

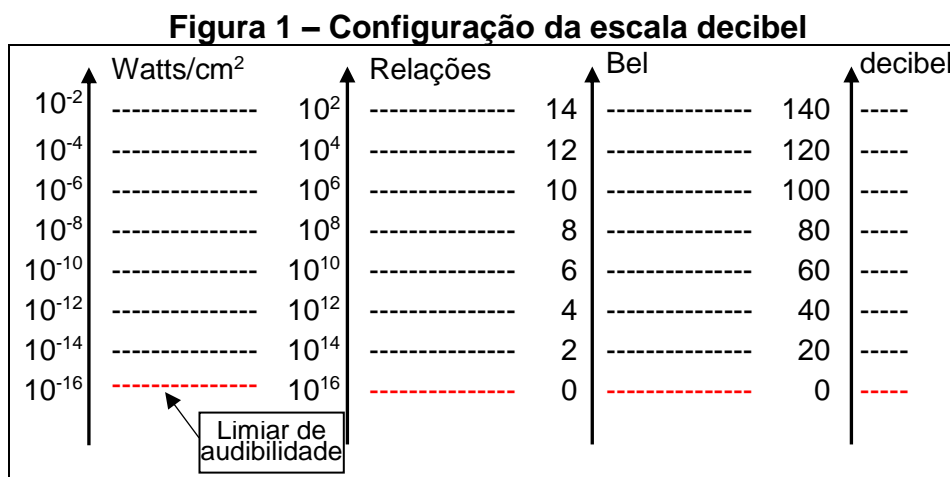
P_0 = pressão sonora de frequência de referência (limiar de audição a 1000Hz) = $20 \mu Pa$ ($20 \times 10^{-6} Pa$);

n = número de medições.

O NPS e o nível de intensidade sonora são grandezas físicas diferentes. A intensidade sonora depende exclusivamente da onda sonora, considerado uma grandeza objetiva medida pela potência dividida pela área.

Esta grandeza não depende do observador, ou seja, se dois observadores diferentes estiverem a uma mesma distância de um emissor sonoro, ambos receberão ondas sonoras de mesma intensidade em Watts/cm². Já o nível sonoro é uma grandeza subjetiva, ou seja, depende do observador.

Assim, se dois observadores diferentes estiverem a uma mesma distância de um emissor sonoro eles poderão perceber sonoridades ou níveis sonoros diferentes (decibel), sendo relacionada ao nível de audibilidade, como pode ser observado na Figura 1 (CYSNE, 2006).



Fonte: Fernandes (2013).

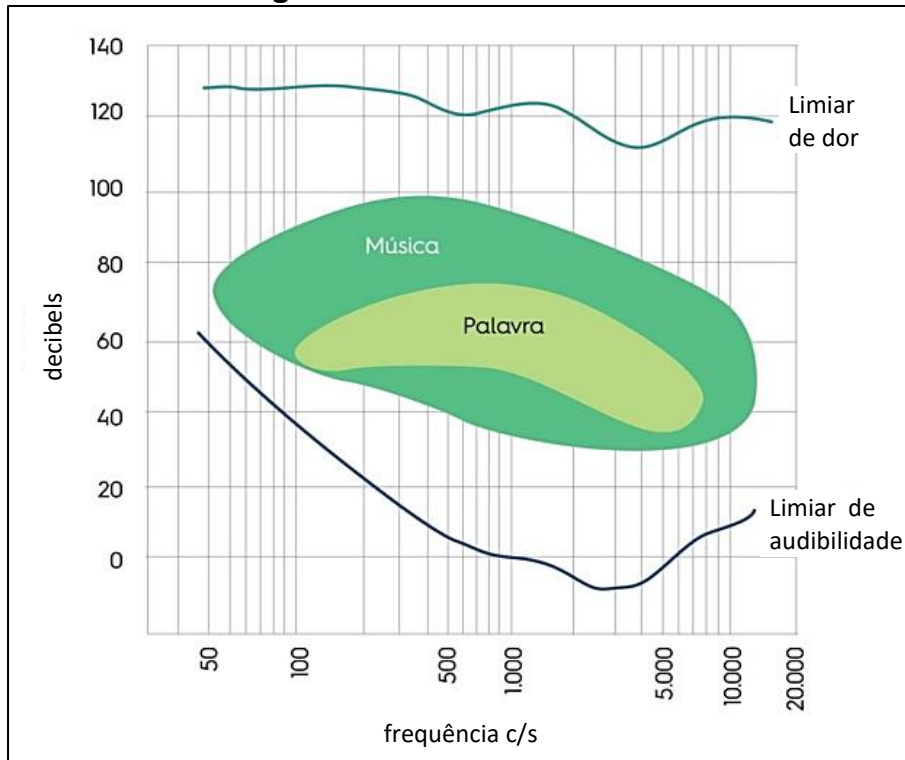
O número de vezes em que um período ocorre por segundo, denominada de frequência, possui como unidade adotada internacionalmente desde 1960 o Hertz (Hz) — termo criado pela Comissão Eletrotécnica Internacional em 1930 em homenagem ao físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (TAYLOR e THOMPSON, 2008).

Além do limite de audibilidade quanto à pressão sonora, há um limite de audibilidade quanto à frequência da onda sonora, que corresponde ao número de oscilações completas realizadas por uma partícula por unidade de tempo (OKUNO, CALDAS e CHOW, 1982).

Em média, os seres humanos são capazes de perceber frequências sonoras de 20 Hz a 20 kHz. Dentro desse espectro, há os sons denominados graves (de baixa frequência) e agudos (de alta frequência). Já sons abaixo e acima desses limiares são

chamados de infrassons e ultrassons, respectivamente (GORDON-SALANT, 2005). Ainda este autor, durante a infância, os humanos são capazes de ouvir frequências pouco acima de 20 kHz. No entanto, esse limiar decai com a idade em virtude do envelhecimento e pode ser agravado pela exposição prolongada a ruídos altos e/ou constantes (SLIWINSKA-KOWALSKA e DAVIS, 2012).

Figura 2 – Limiões auditivos



Fonte: Adaptado de DE MARCO (1982).

4.2 Ruído

A WHO (WHO, 2017) estabelece que para uma qualidade de vida adequada, o nível de pressão sonora médio diário que um indivíduo deve ser exposto é de cerca de 55 dB(A), sendo considerado acima de 75 dB(A) gerador de desconforto acústico (BUCCHERI FILHO, 2010).

Tal percepção de desconforto, porém, vai além do valor aferido em medição, pois há uma linha tênue entre o que se caracteriza como ruído e o que é definido como som, haja vista que cada pessoa apresenta uma resposta diferente ao som/ruído, que depende, dentre outros fatores, de sua personalidade e de seu estado psicológico durante a exposição (DINIZ, 2003).

A percepção humana do som não segue uma escala linear, haja visto que a variação de pressão sonora é medida em escala logarítmica, como pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Variação em dB e percepção humana do som

Variação em dB(A)	Percepção Humana do Som
2 – 3	Muito pouco perceptível
5	Claramente perceptível
10	Dobro ou metade (2x)
20	Mudança dramática (4x)
40	Diferença entre um sussurro e um som extremamente alto (16x)

Fonte: DMPED, 2010 apud BOLT, BERAKE e NEWNAN, 1973.

Essa diferença entre o nível de pressão sonora equivalente medido e variação perceptível ao ser humano da variação dessas medições também pode ser observada na Tabela 2 (ANDRADE et al., 1998).

Tabela 2 - Redução em dB e percepção humana de redução

Redução Sonora – dB	Melhoria perceptível - %
2	28
3	30
4	36
5	45
6	50
7	55
8	60
9	65
10	68
11	71
12	74
13	75

Fonte: Adaptado de Andrade et al. (1998).

De uma forma geral, o ruído pode ser definido como som indesejável, desagradável ou insalubre. Quanto à definição do ponto de vista físico, como um fenômeno completo fruto da superposição de muitas amplitudes e frequência de forma desarmônica de sons de diversas fontes resultando em um fenômeno acústico não periódico (GARCIA e FAUS, 1991; FERNANDES, 2009; PHILLIPS, et al., 2010; SOUZA e PAUL, 2010).

Não há uma diferença específica do ponto de vista físico entre o ruído ocupacional e o ambiental, sendo a principal diferença o local de ocorrência e o gerenciamento dos impactos oriundos da fonte sonora. De acordo com a *International Organization for Standardization* – Norma ISO 2204 (1979), o ruído pode ser classificado em relação ao seu nível de pressão sonora em ruído contínuo estacionário, não estacionário, contínuo flutuante, intermitente e ruído de impacto.

O ruído contínuo estacionário é aquele que as variações de níveis são desprezíveis durante o tempo de observação. Os não estacionários são aqueles cuja variação é significativa. O ruído contínuo flutuante possui variação contínua de um valor apreciável durante o tempo de aferição. Já o ruído intermitente é aquele que durante o período de observação em vários momentos chega a diminuir seu valor até o nível do ruído de fundo e o ruído de impacto é aquele ruído que apresenta picos de alta intensidade com duração inferior a um segundo em intervalos superiores a um segundo (ISO, 1979).

4.3 Ruído ambiental

De acordo com a Diretiva Europeia 49/CE (2002), o ruído ambiental pode ser definido como um som externo indesejado ou prejudicial, criado por atividades humanas, incluindo o ruído emitido por meios de transporte, tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e instalações utilizadas na atividade industrial.

Este tipo de ruído pode ser classificado como aéreo ou estrutural. O ruído aéreo possui origem no ambiente atmosférico, já o ruído estrutural é proveniente de sólidos (ZANNIN et al., 2002; LACERDA et al., 2005).

A diferença entre a origem, aérea ou estrutural (de impacto), influencia na quantidade de energia transmitida entre os meios. Os ruídos aéreos, transmitidos pelo meio gasoso, afetam os ambientes vizinhos à fonte de vibração (alto falantes, aparelhos eletrodomésticos, etc.) e a energia transmitida é relativamente pequena. Já

os ruídos de impacto, estruturais, são gerados por impactos ou atritos de encontro a estrutura e se propagam através de toda a estrutura e tubulações, podendo afetar ambientes situados a distâncias consideráveis da fonte (CANEVACCI, 1993).

Para De Marco (1982), o ruído aéreo é originado pela excitação direta do ar decorrente de fontes sonoras no exterior ou no interior de edifícios, propaga-se pelo ar e pode ser transmitido através dos elementos de construção (paredes, janelas etc.).

De acordo com a ISO 1996/2 (2017), esse tipo de ruído é configurado pela união de todas as fontes sonoras situadas ao entorno do receptor que pode ser o tráfego, o ruído emitido por pássaros, máquinas, entre outros.

Entre estas diversas fontes de ruído ambiental, o tráfego veicular, um dos maiores contribuintes do componente aéreo, é o ruído produzido pelos veículos motorizados podendo ser pontuais (buzinas, motores funcionando parados) ou lineares devido ao deslocamento (AMORIM et al., 2017).

O nível de ruído ambiental emitido pelo tráfego urbano dependerá das características dos veículos que trafegam por esta (tipo de veículo, fluxo e velocidade de tráfego), das características físicas da via (funcionamento do motor, atrito dos pneus com a pavimentação e do gradiente da via) e das características do tráfego em si. Além disso, as condições meteorológicas e das características urbanas e geográficas que circundam a via influenciam nos níveis de ruído ambiental (GUEDES, BERTOLI, 2011; BISTAFA, 2011).

A Resolução CONAMA nº252 (BRASIL, 1999) considera que os veículos rodoviários automotores são as principais fontes de ruído no meio urbano e as Resoluções CONAMA nº1, 2 e 8 (BRASIL, 1993) e nº 17 (BRASIL, 1997), também reforçam e estabelecem procedimentos e limites máximos para o controle e fiscalização da emissão de ruído dos veículos automotores em uso, especialmente quanto à deterioração e adulteração do sistema de escapamento.

Independentemente do motor, o escapamento é responsável por boa parte do ruído emitido pelo veículo. Dentro dele, há um abafador, que bloqueia a saída de parte do ruído, e em alguns casos também um ressonador, que absorve algumas frequências de som e deixa passar outras.

Estes veículos podem ser caracterizados de acordo com o porte e função, como veículos leves (carros de passageiros), veículos pesados (caminhões e ônibus) e motocicletas, sendo os veículos pesados os maiores contribuintes para os níveis de

decibels medidos em zona urbana (JOHNSON e SAUNDERS, 1968; IRVINE e RICHARDS, 1998; SILVA e CORREIA, 2012).

Outras condições de tráfego que interferem no nível de ruído ambiental urbano são as características dos pneus e da porosidade da pavimentação da via, especialmente em vias com velocidade média acima de 60 km h^{-1} (ZANNIN et al., 2002). Em caso de chuvas, a pavimentação molhada pode contribuir em até +5 dB ao ruído total (BERGLUND et al., 1999).

Em pavimentações lisas com maior uniformidade, os tipos de pneus possuem maior influência no nível de ruído emitidas, sendo as pavimentações porosas capazes de atenuar, em média, -1,0 dB. Em pavimentações mais acidentadas e ásperas, a variação entre o nível de ruído emitido por diferentes tipos de pneus diminui, porém, o nível médio emitido é bem maior podendo chegar a +4,5 dB para superfícies mal-acabadas (BLOKLAND et al., 1996).

4.4 Acústica

A adequação acústica de um ambiente influencia na qualidade do som que é emitido, captado, bem como, na interpretação do mesmo (ROSSING, 1990). De acordo com Bies e Hansen (2009), o campo sonoro é o meio pelo qual a energia sonora é transmitida e que sofre perturbação nas variáveis em regime permanente que descrevem este meio. Para fluidos, as variáveis alteradas pela energia sonora são: temperatura, densidade, velocidade da partícula do ambiente e a energia interna do fluido (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 1963).

Porém, quando um objeto é atingido por uma onda sonora com frequência igual a alguma das frequências naturais do objeto ou algum de seus harmônicos, a intensidade de vibração do objeto aumenta criando um efeito de amplificação sonora (EVEREST e POHLMANN, 2014). Esse tipo de efeito é muito utilizado por construtores de instrumentos musicais na fabricação de caixas de ressonância como as de violinos e violões (HOPKIN e SCOVILLE, 1996).

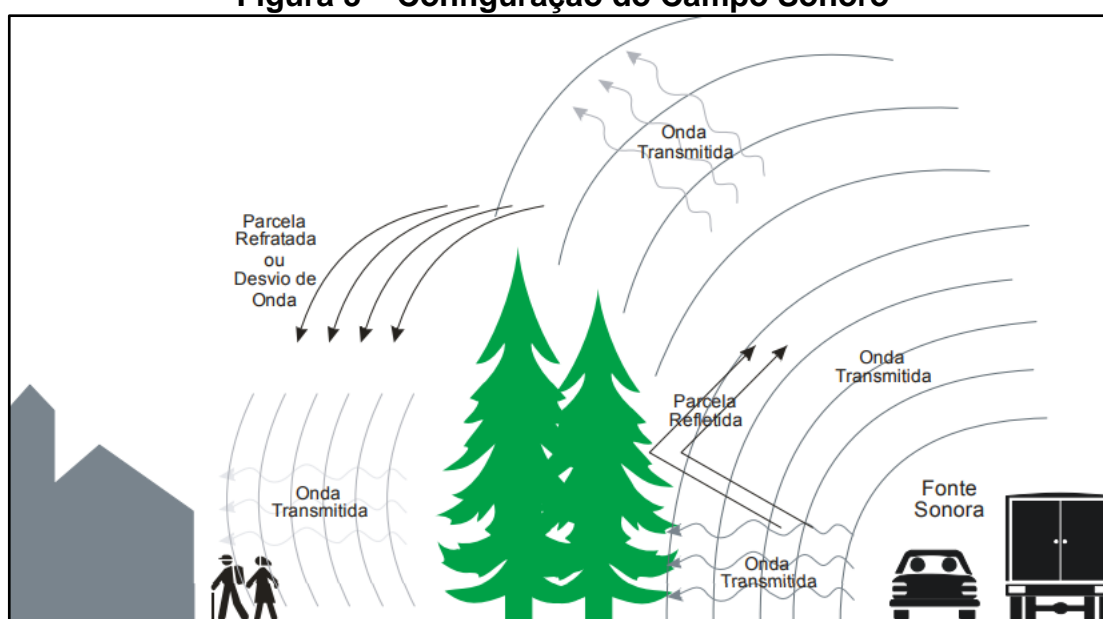
No entanto, dependendo do material e da frequência, essa oscilação mais intensa do objeto devido a ressonância pode levar o mesmo a perder a sua estrutura devido à forte agitação das moléculas. Um exemplo clássico desse efeito são as taças que se quebram quando expostas a certos sons (WHITE e WHITE, 2014).

Dessa forma, pode se dizer que o nível de ruído aumenta ou diminui de acordo com a configuração do campo sonoro, Figura 3, relacionado com a distância do receptor à fonte emissora, presença ou não de barreiras ou obstáculos, atenuação da propagação pelas características do meio como tipo de solo, vegetação e terreno e condições meteorológicas como direção e velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar (BENADE, 1990; BERG e STORK, 2004).

Ainda segundo Benade (1990) e Berg e Stork (2004), os campos sonoros podem ser classificados quanto à distância da fonte, sendo classificados como: campo distante – aquele que está afastado de uma fonte sonora a ponto da pressão acústica e a velocidade de partícula estarem em fase; campo próximo - o aquele que está bem próximo a uma fonte acústica, cuja qual a pressão acústica e a velocidade estão fora de fase.

Também pode se classificar os campos sonoros quanto ao nível de reflexão em: campo reverberante – campo sonoro no qual as ondas se propagam com a mesma probabilidade em todas as direções e são refletidas mais de uma vez pelos limites do meio de propagação; campo livre – ambiente no qual as ondas podem se propagar em um meio contínuo sem barreiras que possam interferir; campo difuso – o campo onde as ondas se propagam em distribuição uniforme no volume do meio (FELICIO, 2008).

Figura 3 – Configuração do Campo Sonoro



Fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2006).

4.5 Influência da vegetação na acústica do ambiente

Para que um ruído não seja audível é necessário impedir a sua propagação. Tal pode ser conseguido através da colocação de obstáculos já existentes ou os especialmente construídos para reduzir o efeito entre a fonte e o receptor.

O formato das superfícies presentes no ambiente em que a onda sonora é propagada, sejam convexas ou côncavas, atuam na dispersão ou na concentração das ondas sonoras no ambiente. Além disso, os elementos desse ambiente de acordo com a sua estrutura, absorvem ou propagam com maior ou menor intensidade tais ondas (SILVA e CORREIA, 2012).

A morfologia urbana, dessa forma, representa um fator fundamental para se definir como o ruído produzido pelas fontes urbanas tem sua energia dissipada no meio ambiente. As edificações que margeiam as vias atuam como barreiras construídas para a propagação do ruído, reduzindo o nível sonoro e modificando sua composição espectral (NIEMEYER e SLAMA, 1998).

Segundo Rodrigues (2013), no que tange a eficácia, uma barreira de vegetação natural, possui eficácia muito reduzida uma vez que são necessários pelo menos cerca de 10 metros de densa vegetação para que se observe uma redução de 1 dB (A).

Gerges (2000) concluiu que, apesar da pouca atenuação quando comparada com outras barreiras, a vegetação pode servir como uma barreira visual, ocasionando um efeito psicológico mais favorável ao receptor. Ainda segundo o mesmo autor, para uma atenuação de 2 dB em 1kHz é necessária uma área de árvores densas a 10m de distância da fonte e com uma largura de 20m, podendo aumentar para 4 dB quando a grama for densa e houver folhagens no solo.

Segundo Carvalho e Rocha (2008), a atenuação significativa do ruído pela vegetação só ocorre após 10m de vegetação densa e com maior eficácia para altas frequências do que para baixas frequências, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Atenuação sonora proporcionada por um maciço de vegetação

Espessura de vegetação - EV (m)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz
$10 \leq EV < 20$	0	0	0	1	1	1	1	2	3	dB
$20 \leq EV < 200$	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12	dB/m
$EV > 200$	4	4	6	8	10	12	16	18	24	dB

Fonte: Carvalho e Rocha (2008).

Segundo estudo realizado por Niemeyer e Slama (1998), a composição e consistência do solo, bem como sua cobertura, interfere na diferença entre a proporção de energia absorvida e refletida pelo mesmo. Desta forma, como pode ser observado na Tabela 4, quanto maior a porosidade do solo e tipo de cobertura do mesmo, mais absorvente será tal superfície.

Para Carvalho (2009), a redução do ruído por vegetação está relacionada à alteração e absorção do sinal sonoro pela folhagem. Baseado nos estudos de Géron (1988), sobre a capacidade de atenuação das espécies arbustivas, ainda segundo Carvalho (200), uma faixa arborizada com largura de 30m é capaz de reduzir de 6 a 8 dB e que a eficácia da atenuação pode variar de acordo com as espécies presentes e com o tipo de folhagem existente, apontando algumas espécies com bons coeficientes de absorção, tais como *Acer pseudoplatanus* (nome popular: padreiro), *Pseudotsuga menziesii* (nome popular: pinheiro), *Ilex aquifolium* (nome popular: azevinho), *Quercus robur* (carvalho), *Fagus sylvatica* (faia-europeia), *Prunus laurocerasus* (louro-cerejeiro) e *Rhododendron*.

Tabela 4 - Coeficientes de absorção de acordo com o tipo de cobertura do solo

Categoria	Coeficiente de Absorção (α)		Tipo de Material
1	Totalmente Refletivo	$\alpha = 0$	Espelho d'água / Laje de concreto / Chapa metálica / Madeira envernizada / Mármore / Granito
2	Semi-refletivo	$\alpha = 0,2$	Madeira não polida e com juntas largas / Reboco / Placas de pedra regulares / Blocos de concreto rugoso / Solos revestidos de material betuminoso, como asfaltos e resinas
3	Semi-absorvente	$\alpha = 0,5$	Madeira não polida sem juntas
4	Absorvente	$\alpha = 0,7$	Solo natural muito irregular com vegetação densa
5	Totalmente Absorvente	$\alpha = 1$	Hipótese teórica.

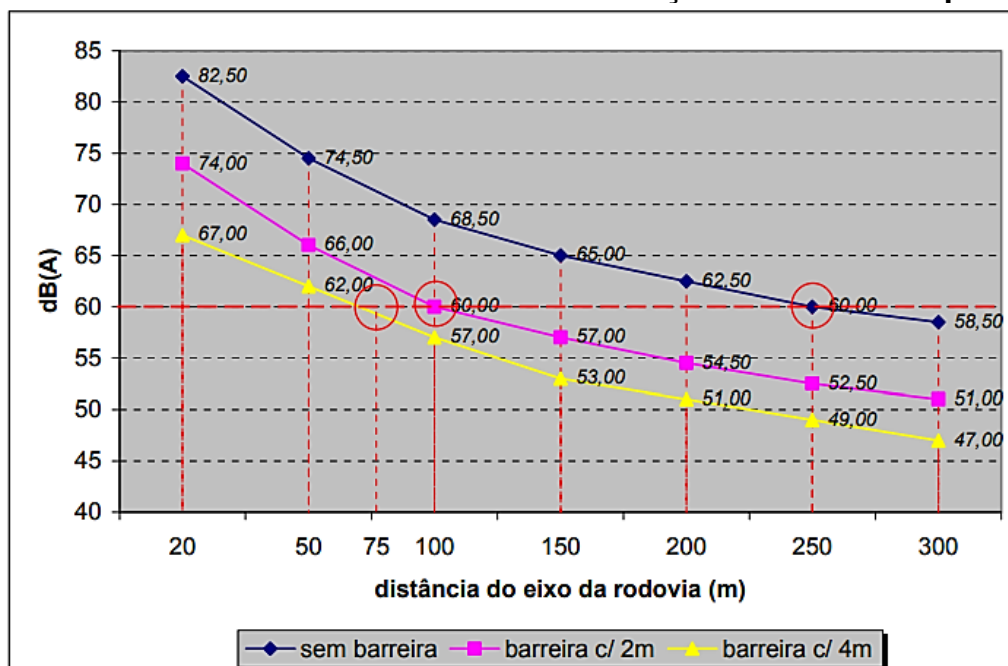
Fonte: Adaptado de Niemeyer e Slama (1998).

O Instituto de Pesquisas Rodoviárias, por meio do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT em 2006 regulamentou a Norma DNIT nº 076/2006 denominada “Tratamento ambiental acústico das áreas lindeiras da faixa de domínio”. Norma trata especificamente de áreas que circundam as rodovias brasileiras, porém identificou dois importantes efeitos da presença de barreiras acústicas vegetativas: a redução natural sonora com a distância e a diminuição do nível de ruído com a instalação das barreiras (Figura 4).

De acordo com a Norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT nº 076/2006, barreiras acústicas são “anteparos naturais ou artificiais, dispostos ao longo da rodovia, na faixa de domínio ou fora da mesma, à semelhança de parede que objetiva impedir que o ruído proveniente do tráfego rodoviário, alcance de forma não reduzida uma comunidade lindeira à mesma. As Barreiras Acústicas se classificam em refletoras, absorventes ou altamente absorventes, em função das características do local, do material de sua estrutura, natural ou artificial, podendo-se conjugar mais de um processo.

Ainda segundo esta Norma, a distância para se atingir o padrão legal de 60 dB (A), que é da ordem de mais de 270m sem a instalação de barreiras, poderá ser reduzida para cerca de 100m com uma barreira de dois metros de altura e para apenas 65m no caso de se instalar uma barreira com quatro metros de altura, apresentando em seu Anexo A o Gráfico 1 anexo ilustra os valores dos níveis sonoros calculados desde a margem da rodovia (vinte metros do eixo central), até uma distância de 300 metros.

Figura 4 – Nível de ruído estimado nas vizinhanças de rodovias hipotéticas



Fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2006).

De acordo com Nunes (1999), diferente de estradas e rodovias, nas áreas urbanas os veículos raramente circulam com fluidez e em alta velocidade pois na grande maioria o tráfego urbano é chamado de pulsante, com veículos movendo-se com uma série de acelerações e desacelerações, com pequenos períodos de movimento fluído e outros períodos completamente parados, especialmente em cruzamentos sinalizados com baixas velocidades e veículos em marcha lenta e motores com altas rotações dominando claramente o ruído produzido pelo motor e pelo escapamento.

Ainda segundo a mesma autora, as variáveis que influenciam na propagação do som em áreas urbanas são muitas, entre elas:

- Absorção do som pelo ar em função da distância entre a fonte de ruído e o receptor. Para o fluxo de veículos, tem-se 3 dB de atenuação de ruído ao ar livre para cada duplicação da distância (...).*
- Gradiente de temperatura que provoca movimentos de ascendência ou descendência das ondas sonoras;*
- Efeito do vento que depende da velocidade do vento e mudança de sua direção, provocando aumentos ou declínios nos níveis de pressão sonora, dependendo da localização do receptor.*
- Cobertura do solo ou tipo de pavimento que compõe a pista de rodagem e seu estado de conservação influenciam na emissão de ruídos, em função de seu atrito com os pneus dos veículos. Sabe-*

- se que o pavimento asfáltico liso é o menos ruidoso, seguido pelo de concreto gasto pelo uso. Para um mesmo tipo de pneus, as diferenças encontradas entre o menos ruidoso (asfalto liso) e o mais ruidoso (concreto frisado) alcançam os 11 dB(A);*
- e) *A inclinação da via indica os trechos mais ruidosos. Para manter a velocidade, é necessário aumentar a potência do motor, aumentando sua rotação, que se consegue reduzindo a relação de marchas. O ruído gerado pelo motor é função direta de sua rotação, logo, quanto mais lenta a marcha, maior o ruído emitido. Pode-se afirmar ainda que, em veículos que utilizam a 5ª marcha, os níveis de pressão sonora em função da velocidade tendem a ser menores;*
- f) *As barreiras acústicas urbanas mais comuns são as paredes ou fachadas das edificações. A fonte de ruído, os veículos, situa-se entre duas barreiras paralelas. À medida que reduzem notavelmente os níveis sonoros em sua parte posterior, refletem o ruído para a calçada, criando um espaço semi-reverberante entre os prédios, principalmente quando a distância entre as fachadas, ou barreiras, é pequena. Essa situação torna mais lenta a redução dos níveis sonoros do tráfego, resultando no fenômeno conhecido como efeito canhão (SANCHO, 1982). Logo, as reflexões do som com as paredes originam um aumento dos níveis de ruído e em ruas estreitas, os níveis de ruído são maiores que em ruas largas, mesmo que o fluxo horário de veículos seja menor nas vias estreitas;*
- g) *Efeito da Vegetação GERGES (1992) conclui que para uma atenuação de 2 dB em 1kHz é necessária uma área de árvores densas à 10 m de distância da fonte e com uma largura de 20m. Quando a grama for densa e houver folhagens no solo, essa atenuação pode aumentar para 4 dB.*

4.6 Medição de Ruído Ambiental

Segundo Fernandes (2009), a medição dos níveis de ruído é a principal atividade para avaliação dos problemas de qualidade ambiental e pode ir de uma simples edição pontual ou um levantamento mais meticuloso, com análise de alta precisão usando analisadores de frequência. Segundo o mesmo autor, os medidores de pressão Sonora são instrumentos que possuem regulamentação internacional como da *International Electrotechnical Commission – (IEC)* e do *American National Standards Institute (ANSI)* e que apresentam a maior versatilidade e opção de modelos, desde simples até complexas análises de níveis sonoros, com diferentes graus de precisão.

Os aparelhos medidores do nível de intensidade da pressão sonora são denominados popularmente de decibelímetros. As medições são feitas levando-se em consideração a sensibilidade do ouvido em Nível de Pressão Sonora (NPS), equalizando o valor obtido de acordo com a *Balanced Noise Criterion Curves* estabelecida pela norma ambiental vigente, sendo no total 4 curvas de ponderação A, B, C e D (EVEREST e POHLMANN, 2014).

Tais aparelhos geralmente são compostos por microfone, atenuador, circuitos de equalização, circuitos integrados, mostrador (digital ou analógico) graduado em dB, calibrador, faixa de medida de 30 a 140 dB e com pelo menos duas constantes de tempo: lenta (*slow*) ou rápida (*fast*) (ICHISATO, 2004).

De acordo as normas *International Standard* IEC 60651(1979), IEC 60804(1985) e IEC 61672(2002), os equipamentos de medição sonoros, quanto a precisão, podem ser classificados em tipo 0, 1, 2 e 3, sendo a classe 0 a mais precisa e classe 3 a menos precisa. Já os equipamentos mais precisos possuem melhores características direcionais, de ponderação de frequência e de ponderação, detecção e indicação do tempo, sensibilidade a vários ambientes, entre outros.

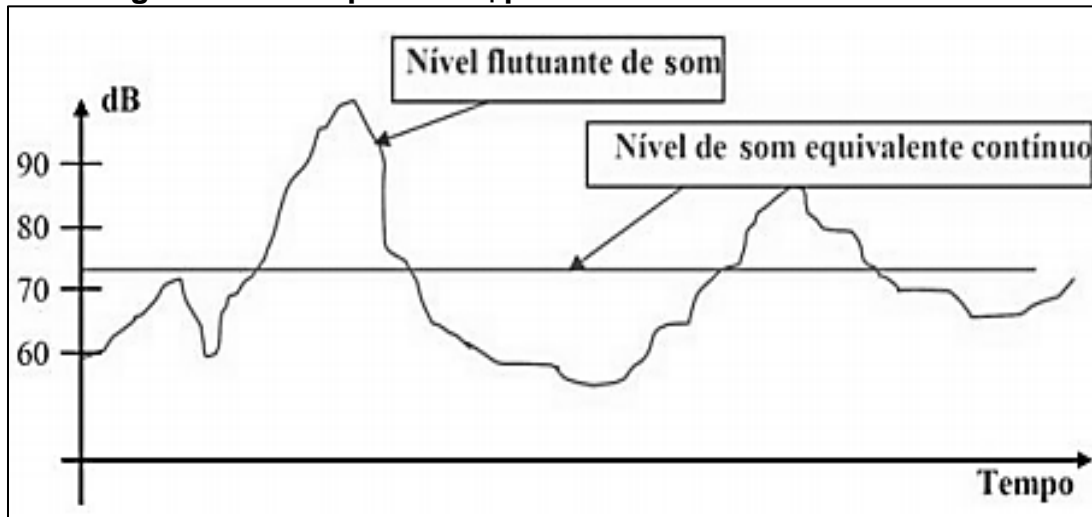
A classe 2 é mais adequada a medição geral em campo, com maior eficiência de 100 Hz a 8000 Hz e normalmente são equipados com um microfone piezoelétrico e só incluem as curvas de ponderação A e os modos de operação *fast* e *slow*. A escolha do tipo de medição depende da finalidade da mesma. A medição do nível de intensidade sonora determina a taxa média de energia sonora transmitida na direção em questão por uma unidade de área normal a esta direção no ponto específico (MALCHAIRE, 1994).

Além do arranjo acerca do medidor, as medições de campo estão diretamente ligadas ao objetivo do estudo e à representatividade do valor obtido. O nível de ruído contínuo equivalente, L_{eq} , é considerado o método mais preciso para avaliar o risco auditivo (Figura 5) e representa o valor contínuo de um nível de ruído expresso em dB no qual a energia integrada é igual a energia integrada total de uma sucessão de eventos, sendo o tempo de medição varia conforme as características ambientais ou o tipo de ruído.

O método de determinação do L_{eq} é o método utilizado para a aferição de ruídos flutuantes, obtendo um valor de nível sonoro contínuo equivalente e o tempo de levantamento pode ser um minuto, 30 minutos, uma hora, e normalmente utilizando o

circuito de resposta lenta e a ponderação na curva “A”, sendo denominado L_{Aeq} (BISTAFA, 2011).

Figura 5 – Exemplo de L_{eq} para uma fonte flutuante de ruído



Fonte: Fernandes (2013).

Para a análise dos ruídos ambientais, incluso os ruídos urbanos de transporte, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 10.151:2000, versão corrigida 2003, “Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando ao conforto da comunidade – Procedimento” e ABNT NBR 10152:1987, versão corrigida 1992, “Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento” utiliza como parâmetro o L_{Aeq} - O nível de pressão sonora equivalente contínuo (L_{Aeq}), definido pela Equação 2:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{t} \int_0^T \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \quad (2)$$

em que:

t é o tempo de integração;

P é a pressão sonora instantânea;

P_0 é a pressão sonora de referências $2,0 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$;

L_{Aeq} é o nível de ruído contínuo equivalente em dB(A).

Segundo Berglund et al. (1999), também pode-se definir L_{Aeq} como a soma das contribuições de uma série de eventos sonoros, integrados em um intervalo de tempo de interesse. O indicador L_{Aeq} é utilizado para resumir o ruído emitido pela via, em um único valor representativo da energia sonora típica emitida em uma condição específica.

Há também outros indicadores de frequência acumulada da ocorrência dos níveis de ruído eventuais por um certo período, na faixa entre 10% e 90%. Tais valores, conhecidos como L%, são utilizados para caracterizar respectivamente os níveis de ruído eventuais máximos, L10, e de ruído ambiente, L90, de uma via. Quanto menos estável é o ruído, maior é a diferença entre os valores L10 e L90 em um mesmo ponto (STEPHENSON e VULKAN, 1968).

Assim, além do parâmetro exigido pelas normas (L_{Aeq}), pode se obter o L_{ASmax} , L_{AS10} , L_{AS90} e o L_{ASmi} (GERGES, 2000) para caracterizar o ruído ambiental de uma via:

- L_{AS10} - O nível estatístico excedido em 10% do tempo de medição, é mais usado para estudos de ruído ambiental;
- L_{AS90} - nível estatístico excedido em 90% do tempo de medição, é utilizado como indicador do nível sonoro do ruído de fundo; L_{AS90} - nível estatístico excedido em 90% do tempo de medição, é utilizado como indicador do nível sonoro do ruído de fundo;
- L_{ASmax} - nível de ruído máximo ponderado em A, sendo o nível mais alto do ruído ambiental, ocorrido em uma posição, durante um certo período de tempo.
- L_{ASmin} - nível sonoro mínimo ponderado em A, sendo o nível mais baixo do ruído ambiental ocorrido em uma posição, durante um certo período.

4.7 Efeitos da exposição ao ruído

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017) estabelece que para uma qualidade de vida adequada, o ruído médio diário que um indivíduo pode ser exposto é de cerca de 55 dB(A), sendo considerado acima de 75 dB(A) gerador de desconforto acústico.

Segundo Levey et al. (2012), a exposição contínua a mais de 85 decibéis (dBA) de ruído pode causar danos progressivos e permanentes à audição, bem como prejudicar o desempenho no trabalho, aumentar a fadiga e causar irritabilidade (MELAMED e BRUHIS, 1996).

Rossi (2011) complementa que um ambiente que traga conforto ambiental tem um impacto positivo na qualidade de vida e na saúde dos indivíduos, bem como é comprovado que o ruído ambiental possui efeitos prejudiciais à saúde e à qualidade de vida, pois aumenta o nível de estresse, diminui a capacidade de concentração, entre outros.

Um dos danos causados pela exposição prolongada ao ruído é a Perda de audição induzida por níveis de pressão sonora elevados - PAINPSE que é uma doença neurossensorial, irreversível, causada por exposição a níveis elevados de som durante um longo período. Exemplos de altos níveis de ruído são os grandes centros urbanos, ruídos ocupacionais, disparo de arma de fogo, buzina ou fogos de artifício etc. (KNOBEL, 2013).

A deficiência auditiva é um dos problemas sensoriais mais frequentes na população. Em um relatório de 2013, a Organização Mundial de Saúde - *World Health Organization* - WHO (WHO, 2017), estimava que cerca de 360 milhões de pessoas ao redor do mundo possuía algum grau de debilidade auditiva que compreende uma perda de audição de mais de 40 decibels para adultos e 30 decibels para crianças (MALCHAIRE, 2011). Esse número corresponde à cerca de 5,3% da população mundial sendo que, desses 360 milhões, 32 milhões são crianças.

Em seu relatório em 2010, a WHO aponta os riscos de doenças cardiovascular, prejuízos cognitivos em crianças e distúrbios do sono provocados pela exposição à poluição sonora das cidades (BUCCHERI FILHO, 2010).

Porém, vale ressaltar que os passivos ambientais da poluição sonora não são atuais e são relatados desde a antiguidade. Como exemplo, tem-se a civilização grega de Sibares que há 720 A.C instituíram um sistema de zoneamento urbano, colocando a zona industrial afastada da área residencial devido ao barulho e o Imperador Plínio que em 620 A.C estabeleceu a primeira relação entre surdez e exposição de ruído, identificando que as pessoas que viviam próximas às cataratas do rio Nilo ficavam ensurdecidas (ZAJARKIEWICCH, 2010). Ainda segundo o autor, no século I A.C o imperador Júlio Cezar determinou que a proibição da circulação de carroças à noite pelas ruas de Roma. Já no século XVIII, Fosbroque relaciona surdez como doença ocupacional ao citar "Surdez do Ferreiro" e Maljutin relaciona surdez, ruído ambiental e tempo de exposição.

No Reino Unido, Davis et al. (2007) constataram que os britânicos levam cerca de 10 anos para assumir que têm algum problema de audição e procurar ajuda, além disto, maioria só procuram ajuda quando a capacidade de comunicação fica muito prejudicada.

A perda auditiva afeta não apenas a capacidade de comunicação, mas também a capacidade de socialização das pessoas que sofrem com a debilidade. Como apontado por Kaland e Salvatore (2002), a dificuldade de comunicação leva a pessoa

a um cenário de isolamento social o que é particularmente danoso para crianças, pois a dificuldade de comunicação afeta também sua capacidade de aprendizagem.

4.8 Legislação Ambiental

A Política Nacional de Meio Ambiente, Lei nº 6.938/81, define poluição sonora como:

“a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) Prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;*
- b) Criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;*
- c) Afetem desfavoravelmente a biota;*
- d) Afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;*
- e) Lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”*

Salientando que a poluição sonora é resultante das atividades dos itens (a), (b) e (e) e leva a diversos impactos do ruído na saúde e segurança da população, prejudicam a produtividade das atividades econômicas e é fruto do lançamento de energia em desacordo aos padrões previamente estabelecidos pelos órgãos competentes. Assim, toda atividade que emitir energia em forma de som que extrapole os padrões ambientais será considerada poluidora.

Os padrões ambientais brasileiros são definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA e pelas legislações ambientais estaduais e municipais. Os padrões de emissão sonora também podem ser obtidos Normas Técnicas de Segurança e Higiene do Trabalho – NR’s, portarias do CONTRAN que têm como objetivo estabelecer condutas preventivas para manter a integridade física e fisiológica do trabalhador (CONAMA, 2012).

Internacionalmente, há também normativas quanto à poluição sonora, tais como:

- NEPA (1969) – National Environmental Policy - Estados Unidos;
- NCA (1972) – Noise Control Act - Estados Unidos;
- The Green Paper on Future Noise Policy (1996) –Comissão of the European Communities;
- Diretiva Europeia 2002/49/CE - referente a Avaliação e Gestão do Ruído Ambiente na União Europeia, cuja qual determinou a “elaboração de mapas de

ruído, com base em métodos de avaliação comuns aos Estados-Membros” como obrigatória para cidades acima de 250 mil habitantes

- Diretiva Europeia 97/24/EC - método hoje utilizado para medição de ruído em motocicleta, referida na Resolução CONAMA nº 268/2000; e
- Diretiva 2002/49/CE uma referência no programa de ações e metas para combate à poluição sonora, e na implantação de sistema de informação de ruído ambiental à população.

Tais normativas além de estabelecerem métodos de medição e programas de combate à poluição sonora também estabelecem critérios de avaliação para ambientes externos quanto ao nível máximo de ruído de tráfego, em dB(A), permitido, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 - Nível de critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A), para emissão de ruído de tráfego de acordo com as normas internacionais vigentes

País	Indicador	Período diurno (dB(A))	Repouso (dB(A))	Período noturno (dB(A))
Austrália	L10, 18h	60	-	55
Áustria	L _{Aeq}	50-55	-	40-55
Canadá	L _{Aeq}	50	-	50
Dinamarca	L _{Aeq} , 24h	55	55	55
França	L _{Aeq}	60-65	-	55-57
Alemanha	L _{eq(dn)}	50-55	-	40-45
Holanda	L _{Aeq}	50	45	40
Espanha	L _{Aeq}	60	-	50
Suécia	L _{Aeq} , 24h	55	55	55
Reino Unido	L _{Aeq}	55	-	42
Suíça	L _{eq(dn)}	55	-	45

Fonte: BRUEL e KJAER (2000).

De acordo com a WHO (1999) é de suma importância o gerenciamento e controle de ruído em países em desenvolvimento, visto que a gestão e controle do ruído já são realizados em países desenvolvidos há algumas décadas.

No entendimento de Rodrigues (2013), o aumento da população mundial, e o consequente incremento do número de habitantes nas cidades levaram a um crescimento dos níveis de ruído nas zonas urbanas, levando a necessidade de programas municipais de controle desse tipo de poluição sonora.

Zajarkiewicz (2010) salienta que a falta de uma legislação federal específica para questão da poluição sonora urbana que estabeleça limites de emissões das diversas fontes de ruído atualmente é preenchida com as resoluções CONAMA nº 01 e 02 de 1990. Porém as legislações estaduais e municipais estabelecem seus próprios critérios, devendo o município implementar estrutura eficiente para atender com rapidez às denúncias dos munícipes, como pode ser observado na Tabela 6.

Destacam-se para o estudo realizado as legislações:

- Lei nº 10.277/2001 – Estatuto da Cidade;
- Resolução CONAMA nº1/1990 – no que tange aos problemas de níveis excessivos de ruídos estarem inclusos entre os sujeitos ao Controle da Poluição Ambiental;
- Resolução CONAMA nº2/1990 – Programa Nacional de Educação e Combate à poluição Sonora;
- Resolução CONAMA nº 7/93 e 252/99 – Tratou do ruído de veículos com motor do ciclo Otto e Diesel e depois de todos os demais veículos, exceto motocicletas;
- NBR 10.151 – Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade;
- NBR 10.152 – Níveis de Ruído para conforto Acústico.
- NR6 - Equipamento de Proteção Individual - EPI;
- NR7 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional - PCMSO;
- NR15 - Atividades e Operações Insalubres; e
- NR17 - Ergonomia (item 17.5.2).

A NR 15 define a máxima exposição diária à pressão sonora e determina que um indivíduo pode se expor a um nível de ruído de 85 dB(A) por no máximo oito horas diárias. No entanto se o nível for de 90 dB(A), o tempo de exposição será reduzido à quatro horas diárias e se for de 95 dB(A), à duas horas diárias. Sabe-se também que os níveis de pressão sonora acima dos 65 dB(A) podem contribuir para aumentar os casos de insônia, estresse, comportamento agressivo e irritabilidade, entre outros.

Níveis superiores a 75 dB(A) podem gerar problemas de surdez e provocar hipertensão arterial.

O Código Brasileiro de Trânsito, Lei nº 9503/97, em seu Artigo 24, também reforça que os órgãos municipais de trânsito devem “planejar e implantar medidas para redução da circulação de veículos e reorientação do tráfego, com o objetivo de diminuir a emissão global de poluentes”. Destaque não só para a poluição sonora, mas atmosférica.

Segundo Milaré (2013), o Estado deve ser responsabilizado pelos danos ambientais provocados por terceiros, visto que está determinado que seu dever é fiscalizar e impedir que tais danos venham a ser causados à população.

No Estado de São Paulo, referente à legislação correlacionada à poluição sonora, pode-se destacar a Lei nº 997/76 – Política Estadual de Meio Ambiente; Decreto 12.342/78 – colocando a CETESB como autoridade responsável pelo controle da poluição ambiental estadual e a Norma Técnica Lei 11032/92 que dispõe sobre o método de ensaio para determinação do nível de ruído em ambientes internos e externos de áreas habitadas

Para realizar as medições de ruído de tráfego urbano, as recomendações descritas na NBR 10.151, para medições no exterior de edificações são:

- Utilizar protetor sobre o microfone para prevenir o efeito de ventos;
- Efetuar as medições em pontos afastados aproximadamente 1,2 m do piso e pelo menos 2 m do limite de edifícios e de quaisquer outras superfícies refletoras, como muros, paredes etc.

Esta norma também estabelece os Níveis de Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB(A), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Nível de critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000).

Já a normativa estadual da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, Norma Técnica L 11032/92, prescreve o procedimento para a determinação

do nível ruído em ambientes internos e externos de áreas habitadas e fixa os níveis admissíveis de ruído para cada tipo de ambiente, tipo de ocupação do solo e para cada período do dia.

Tal Norma estabelece os níveis admissíveis de ruído em áreas urbanas em três períodos dos dias distintos, das 7h às 19h, das 19h às 22h e das 22h às 7h, o que difere da NBR 10151 que determina período diurno 7h às 22h e período noturno das 22h às 7h e também determina valores diferentes para ambientes externos e internos.

De acordo com a L11032/92, para áreas externas diversificadas, mistas, contendo zonas residências e comerciais e industriais o nível máximo permitido é de 60 dB(A) das 7h às 19h, 55 dB(A) para o período das 19h às 22h e 50 dB(A) das 22h às 7h, o que pode ser observado na Tabela 7.

**Tabela 7 - Nível de critério de avaliação para ruído em área urbana, em dB(A)
L11032/92 - CETESB**

Classificação de área	Período	Nível de ruído [dB(A)]			
		Ambiente externo	Ambiente interno		
			Janelas abertas	Janelas simples fechadas	Janelas duplas (*) fechadas
Estritamente residencial	das 7h às 19h	50	40	35	30
	das 19h às 22h	45	35	30	25
	das 22h às 7h	40	30	25	20
Predominante-mente residencial	das 7h às 19h	55	45	40	35
	das 19h às 22h	50	40	35	30
	das 22h às 7h	45	35	30	25
Diversificada (residências, comércio, indústrias)	das 7h às 19h	60	50	45	40
	das 19h às 22h	55	45	40	35
	das 22h às 7h	50	40	35	30
Predominante-mente industrial	das 7h às 19h	65	55	50	45
	das 19h às 22h	60	50	45	40
	das 22h às 7h	55	45	40	35
Estritamente industrial	das 7h às 19h	70	60	55	50
	das 19h às 22h	70	60	55	50
	das 22h às 7h	70	60	55	50

(*) 2 vidros separados por uma camada de ar.

Fonte: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (1992).

No que tange à legislação municipal, o Plano Diretor, instituído por lei, é obrigatório para municípios acima de 20 mil habitantes, de acordo com a Carta Magna do Estatuto da Cidade Lei Federal 10.257/01, e tem como objetivo o planejamento do uso e ocupação do solo e o zoneamento ambiental de acordo com as normas ambientais vigentes e referido Estudo de Impacto de Vizinhança - EIV.

A definição dessas zonas em consonância com as faixas definidas pelas normativas ambiental de resíduos garantem um nível de qualidade ambiental necessário para manutenção da qualidade de vida da população (SANTOS, 2014).

Ainda segundo o mesmo autor, o critério de avaliação utilizado para o mapeamento das áreas e o zoneamento municipal por similaridade são:

- ZE – Zona especial
- ZCVS – Zona de conservação da vida silvestre
- ZPVS – Zona de preservação da vida silvestre
- ZOC – Zona de ocupação controlada
- ZR 1,2,3 – Zona residencial (permite ensino em edificação exclusiva)
- ZR 4, 5 – Zona residencial (permite comércio em edificação mista e pequena indústria)
- ZR 6 – Zona residencial e agrícola
- ZCS – Zona de comércio e serviço
- ZUM – Zona de uso misto
- ZT – Zona turística
- ZC – Zona comercial
- AC – Área central
- ZI – Zona industrial
- ZPI – Zona predominantemente industrial
- ZIC – Zona industrial e de comércio
- ZP – Zona Portuária

A legislação ambiental de Botucatu possui apenas uma normativa que dispõe sobre sons urbanos e fixa níveis e horários em que será permitida a sua emissão dos mesmos nas diferentes zonas e atividades, a Lei Nº 4127, de 22 de dezembro de 2000 (BOTUCATU, 2000). Vale ressaltar que tal legislação se encontra desatualizada quanto às definições das zonas do atual Plano Diretor, Lei Complementar Nº 1224/2017, cuja qual pode ser observada nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Zoneamento, uso e ocupação do solo urbano do município, Lei nº 4.127/2000

ZONAS DE USO	Diurno	Vespertino	Noturno
	7h às 16h	16h às 19h	19h às 7h
S1: Estritamente Residencial- Z1 -	55	55	50
S2: Predominantemente Residencial - Z2	65	65	50
S3: Predominantemente Residencial de Densidade Média - Z2*; Zonas Especiais - Z6.I, Z6.III, Z6. VI e Z6. VIII e Zona de proteção e Preservação Ambiental - Z7	65	65	50
S4: Zona Mista - Z3	65	65	60
S5: Central - Z4 e Corredores Especiais de Serviços - ZCR.I a ZCR.6	70	70	60
S6: Industriais - Z5 e Z5.I	70	70	65

Fonte: Botucatu (2000).

Tabela 9 – Zonas atualizadas pela Lei Complementar nº 1224/2017.

Macroregiões	Microregiões
I - Zonas Residenciais	Z-1- Zona estritamente residencial;
II - Zonas Comerciais e de Serviços	Z-2- Zona predominantemente residencial;
III - Zonas Industriais	Z-3- Zona mista;
IV - Zonas Especiais de Interesse Urbanístico	Z-4- Zona central;
	Z-5- Zona industrial;
	Z-6- Zona especial de interesse urbanístico;
	ZCR: Corredores especiais de serviço

Fonte: Botucatu (2007).

4.9 Mapeamento de ruídos ambientais

Países já desenvolvidos realizam estudos, pautados em programas contínuos de avaliação e redução dos níveis de ruído, além de utilizarem o mapeamento acústico como estratégia para o monitoramento, planejamento e redução do ruído urbano. Dentro desse contexto, o mapa acústico tem um papel relevante no levantamento e análise da situação atual, sendo a utilização de algoritmos matemáticos para a previsão do ruído gerado por uma via de tráfego uma ferramenta útil ao planejamento urbano para simulação de cenários e planejamento de ações, bem como acompanhamento dos resultados obtidos com as ações executadas.

Segundo Scariot et al. (2012), a utilização de geotecnologias e análise estatística de dados multivariada para a elaboração de mapas de níveis de ruído é

uma importante ferramenta para visualização e compreensão do comportamento das ondas sonoras em determinada área.

A norma ISO 9613-2 retrata cálculos de atenuação de ruído para estudos em áreas de escala municipal, além desta norma, Kluijver e Stoter (2003) também recomendam a mesma metodologia quanto ao espaçamento, logo, de 25 metros entre os pontos receptores, porém não há um padrão definido, sendo encontrado diferentes tipos de amostragem de acordo com as características da área a ser analisada.

O manual *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*, produzido pelo *European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise – WG-AEN* (2007) apresenta aos países da União Europeia a metodologia padrão para realizar o mapeamento do ruído e a maneira de coletar os dados de poluição sonora, de acordo com a Diretiva 2002/49/CE. Tal manual apresenta o projeto *Accuracy Study* indicando o mapeamento como estratégia para coleta de dados e modelagem de ruído ambiental.

Vale ressaltar que o levantamento de dados tem como fato preponderante o planejamento da quantidade de dados, locais e períodos de medição, visto que estas variáveis determinam a qualidade da representação pelos modelos matemáticos e permitem uma análise estatística confiável (LANDIM, 2003).

Há disponível no mercado diferentes programas para mapeamento acústico e modelos de simulação matemática para visualização 3D, entre eles o Predictor-LimA desenvolvido pela empresa Bruel & Kjaer, o CadnaA, desenvolvido por DataKustik e o SoundPLAN comercializado por Braunstein e Berndt GmbH. O software Predictor-LimA não necessita de softwares adicionais como SIG's e sua análise é baseada nas diretrizes da Comissão Europeia. O software SoundPLAN foi desenvolvido por uma empresa alemã e integra o mapeamento ao planejamento e diagnóstico ambiental. Já o software CadnaA é um programa com soluções avançadas de cálculo e apresentação do campo sonoro e sua análise é baseada em normas nacionais (ABNT) e internacionais (DATAKUSTIK, 2013).

O programa computacional ArcGis versão 10.2 é um software utilizado no mundo inteiro para elaboração de bancos de dados georeferenciados e permite a interpolação de dados e compatibilidade com os SIG's utilizados para elaboração dos Planos Diretores Municipais, diferentes de outros softwares específicos para ruído existentes no mercado (COLLINS, 2004).

Ainda segundo este autor, os mapas temáticos podem ser analisados ou modelados de acordo com a variabilidade espacial dos dados estudados e a interpolação das amostras podem ser determinísticas ou geoestatísticas.

Há muito ainda a ser desenvolvido no Brasil acerca do mapeamento de ruídos ambientais urbanos. Um dos exemplos dos municípios que estão na vanguarda desse monitoramento é a cidade de Fortaleza que, segundo Brito (2014) fez sua carta acústica baseada na metodologia proposta pelo manual WG-AEN (2007) e na Diretiva 2002/49/CE, porém com a utilização de dados de 1995.

Na América do Sul há programas de mapeamento e gerenciamento de ruído urbano em Santiago (Chile), Bogotá (Colômbia) e Buenos Aires (Argentina), por exemplo. Já no Brasil, programas de mapeamento de ruído com ações e metas para combate à poluição sonora acesso à informação de ruído ambiental pela população são escassos, podendo citar algumas ações relacionadas nos municípios de Fortaleza, São Paulo, Florianópolis, Belém, Rio de Janeiro, Curitiba e Aracaju (HOLTZ, 2012).

No município de São Paulo, SP em 22 de julho de 2016, foi sancionada a Lei nº 16.499, de 20 de julho de 2016 que dispõe sobre a elaboração do Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo e que estabelece o Mapa de Ruído em São Paulo a ser confeccionado em até sete anos.

4.10 Geoestatística

A geoestatística consiste em um conjunto de técnicas que permite obter a variação de determinada característica de um local para outro geograficamente. Ou seja, ela estuda e analisa variáveis que possuem valores amostrados que se relacionam com a posição espacial que ocupam, assumindo valores diferentes em locais diferentes (WOJCIECHOWSKI, 2009).

Segundo Hamlett et al. (1986), o uso da estatística descritiva e análises estatísticas tradicionais, baseadas na independência das observações, estão sendo substituídas por análises espaciais pois consideram as correlações entre observações vizinhas.

A geoestatística considera as características estruturais e aleatórias de uma variável espacialmente distribuída, de forma a descrevê-la adequadamente (MOOLMAN e VAN HUYSSTEEN, 1989). As informações necessárias para obtenção

da escala de variação da propriedade escolhida são usualmente obtidas a partir de levantamentos de propriedades de interesse e medidas em pontos dispostos com espaçamento constante, ou seja, normalmente utiliza-se uma malha regular (NASH et al., 1988).

Desta forma, a geoestatística é aplicada aos dados coletados em pontos cujas coordenadas são conhecidas, dentro da área de interesse, e permite a obtenção da sua escala de variância geográfica. Uma vez quantificada, a dependência espacial da variável de estudo pode ser utilizada para a interpolação entre observações, permitindo o mapeamento da propriedade por meio da krigagem. Esta técnica permite a estimativa de valores de forma não tendenciosa e com variância mínima (GONÇALVES, 1997).

McBratney e Webster (1983), Vieira et al. (1983) e Souza et al. (1997) preconizam que o estudo da dependência espacial de variáveis pode reduzir o número de amostras em relação ao uso dos procedimentos amostrais definidos na Estatística clássica, o que justifica o uso da geoestatística para levantamento de dados ambientais.

Landim (2006) salienta que os fenômenos naturais tendem a se apresentar frequentemente com variações entre vizinhos, ou seja, as variações não são aleatórias e, assim, apresentam algum grau de dependência espacial entre si.

Ressalta-se também que, é a partir do estudo da dependência espacial e relacionamento entre base de dados e a base cartográfica que se pode realizar diversos procedimentos comuns do geoprocessamento, como a análise geoestatística, e a representação gráfica de resultados (BARCELLOS, 1997).

4.11 Teoria das variáveis regionalizadas

Tais variáveis são caracterizadas como variáveis regionalizadas, que são aquelas que possuem um valor definido em cada ponto do espaço e possui algumas características qualitativas como: a) é “localizada”, ou seja, suas variações ocorrem dentro de um espaço/volume determinado; b) é “contínua”, apresenta uma continuidade moderadamente estável em sua variação espacial, a qual pode ser expressa através da diferença entre duas amostras vizinhas; e c) são “anisotrópicas” em diferentes direções, apresentam variação no grau de significância ao longo de uma seção (MATHERON, 1963).

Tal comportamento significa que duas amostras vizinhas estão correlacionadas, ou seja, apresentam uma similaridade/continuidade entre si, de tal forma que duas amostras próximas são similares quanto ao atributo estudado (SINCLAIR; BLACKWELL, 2004).

A estimativa desses valores e da dependência espacial, de acordo com Vieira et. al. (1983), com base da pressuposição da estacionaridade da hipótese intrínseca, pode ser obtida pela Equação 3.

$$\gamma(h) = \left(\frac{1}{2N(h)} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

em que,

$N(h)$ é o número de pares experimentais de observações; e

$[z(x_i) - z(x_i + h)]$ são os pares de pontos separados por uma distância h .

4.12 Variograma

Silva et. al. (2013) aponta que o método mais indicado para estimar a dependência espacial entre as amostras é o variograma, considerando que a interpolação entre os locais mensurador for necessária para a elaboração de mapas. Ainda segundo a mesma autora, um variograma típico apresenta como componentes: A (alcance – distância em que a diferença de valor entre os pontos separados a uma distância h se estabiliza), C (Componente Estrutural – propriedade estudada), C_0 (efeito pepita – variabilidade da propriedade em estudo) e $C_0 + C$ (patamar, valor em que a diferença $[z(x_i) - z(x_i + h)]$ se estabiliza).

Os valores obtidos pelos métodos geoestatísticos dependem do modelo de variograma ajustado, podendo ser linear, esférico, exponencial e gaussiano, além disso, as inferências e produtos resultantes, como mapas, dependem do modelo ajustado e o modelo pode ser validado pelo método da validação cruzada (GUIMARÃES, 2004). A validação cruzada é empregada para verificar se o ajuste dos variogramas permite calcular o erro experimental, o erro médio e a variância do erro padronizado (CASTRIGNANÒ, 2011).

O variograma representa o nível de dependência espacial entre os pontos amostrados ao longo da área analisada (MATHERON, 1971). Para variáveis espacialmente dependentes, espera-se que a diferença entre os pares seja

proporcionalmente crescente com relação à distância até um determinado ponto, a partir do qual a curva se estabiliza num valor aproximadamente igual à variância, determinado como valor patamar. O intervalo entre valor da distância até início do valor patamar, alcance (a), podem ser correlacionados (FARIAS, 2003).

Este grau de dependência espacial pode ser obtido pelo Índice de Dependência Espacial (IDE) que, segundo Zimback (2001), é dado pela Equação 4:

$$IDE = \left(\frac{C}{C+C_0} \right) \times 100 \quad (4)$$

em que, C é o componente estrutural e $C + C_0$ é o patamar do variograma obtido.

Para $IDE \leq 25\%$ tem-se fraca dependência espacial, entre 25% e 75% uma moderada dependência espacial e $\geq 75\%$ forte dependência espacial.

Além do ajuste e análise do variograma, os métodos geoestatísticos utilizam interpoladores. Os interpoladores clássicos como polígonos de zonas de influência, inverso da distância e spline possuem como vantagens da utilização o fato de serem simples, intuitivos e facilmente implementáveis em rotinas computacionais. Porém, não consideram o suporte amostral, não consideram o padrão de variabilidade espacial e não fornecem medida do erro da estimativa. Já os interpoladores geoestatísticos minimiza o erro da estimativa pois aplica métodos estatísticos, permitindo medidas de certeza e acurácia, como por exemplo a krigagem (GOOVAERTS, 1997).

4.11 Krigagem

De acordo com Landim (2006), a krigagem é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo variograma.

A krigagem considera que há correlação espacial entre os pontos amostrados e que tal correlação explica a variação espacial dos dados, utilizando técnicas de médias ponderadas. Há dois métodos de krigagem a ordinária, cuja qual assume que não há tendência ao determinar a interpolação entre os dados e a krigagem universal, que assume que há uma tendência entre os dados amostrados (COLLINS, 2004).

A krigagem, diferente dos demais algoritmos de interpolação, permite verificar os erros de estimação e tem a capacidade de gerar melhores estimativas para a avaliação de recursos naturais e outras variáveis pois permite uma melhor predição e embasa-se na não-tendenciosidade do estimador e variância mínima das estimativas (MIRANDA, 2005). Ainda segundo Miranda (2005), os passos para realização da krigagem é: realizar a estatística univariada da variável ambiental regionalizada, gerar o variograma experimental, ajustar o variograma (quando necessário), validar o modelo teórico e aplicar a krigagem computacional.

A krigagem, segundo Moraes et al. (2012), utiliza informações a partir do variograma ajustado para encontrar os pesos ótimos a serem associados aos pontos com valores conhecidos e estimar os pontos desconhecidos.

De acordo com Ventura (2012), os mapas acústicos gerados utilizando a técnica geoestatística de interpolação por krigagem, comparados com o resultado dos mapas acústicos dos softwares comerciais de previsão acústica como o CadnaA, apresentam resultados validados, necessitando apenas de um aumentando o número de pontos medidos e/ou contornando o problema das distâncias euclidianas que existe na maioria dos interpoladores em comparação com o CadnaA.

Em estudo realizado no Irã por Alesheikh e Omidvari (2010) também foi utilizado como software para confecção das cartas acústicas o software ArcGIS e como técnica de interpolação a co-krigagem, ressaltando que a co-krigagem é um método de interpolação que usa dados de vários dados tipos para prever valores do tipo de dados primário, fornecendo erros padrão das previsões, sendo sua principal vantagem sobre outras técnicas de interpolação é que ele atribui pesos às observações com base no formulário do variograma em vez de atribuindo alguma função de ponderação arbitrária.

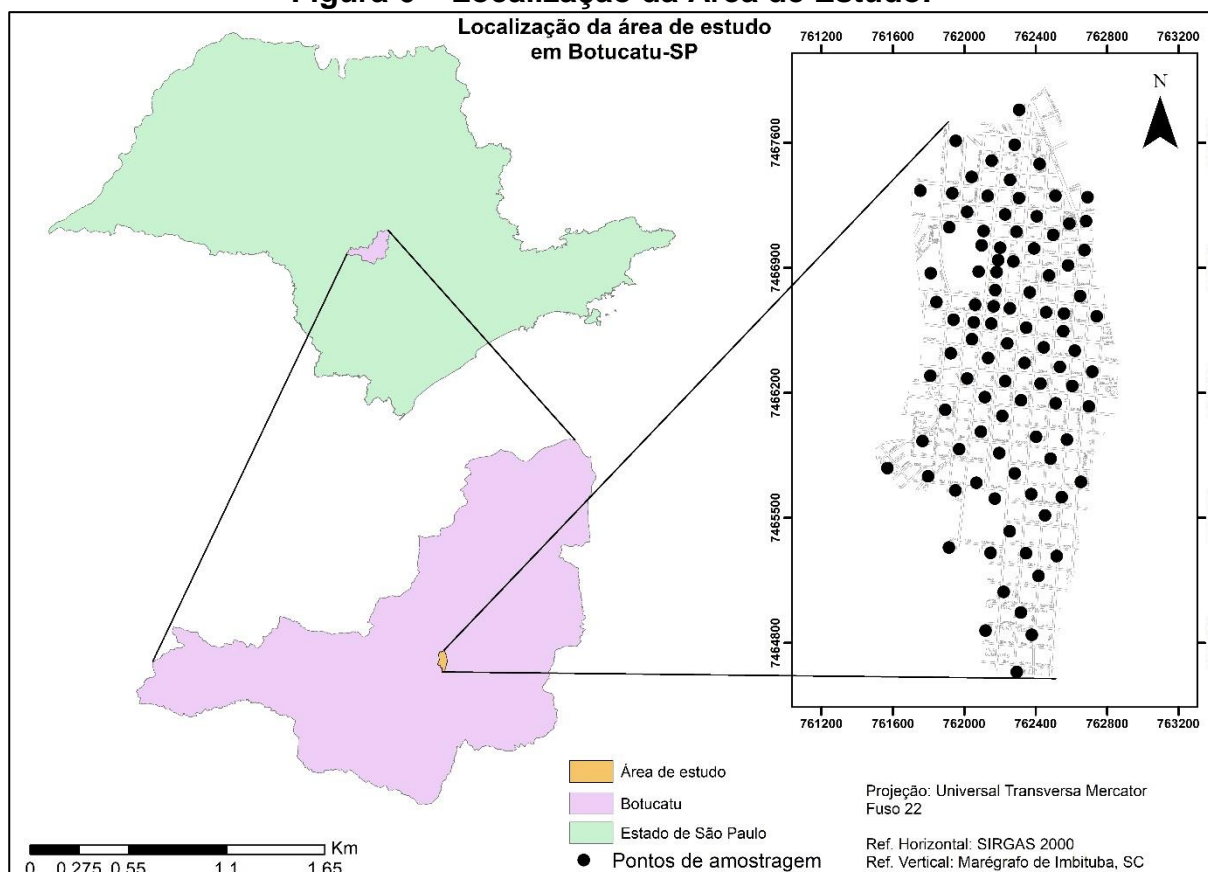
4 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 MATERIAL

Os procedimentos metodológicos englobaram duas etapas, caracterizadas como: “Etapa I - cobertura do solo” com finalidade para obtenção dos valores de atenuação de diferentes coberturas de solo; “Etapa II – mapeamento”, que teve como propósito o mapeamento do ruído ambiental e a simulação de atenuação por barreira vegetativa, denominada de “Etapa II – mapeamento”.

Nesta perspectiva, o estudo foi desenvolvido no perímetro urbano da cidade de Botucatu, localizada na região Centro Oeste do Estado de São Paulo, situada nas coordenadas geográficas da sede municipal são de 22°52'20" Latitude Sul e 48°26'37" Longitude Oeste (Figura 6).

Figura 6 – Localização da Área de Estudo.



De acordo com Cunha e Martins (2009), pode-se classificar a cidade de Botucatu pelo método de Köppen (1936) como Cfa, clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e o mês mais frio (julho) fica entorno de 16,3°C e segundo o método de Thornthwaite

(1948) como B2rB'3a', ou seja, é uma cidade de clima úmido com pequena deficiência hídrica em abril, julho e agosto e com evapotranspiração potencial anual de 945,15 mm, sendo concentrada com 33% no verão. Diante destas condições meteorológicas, o experimento foi desenvolvido no período seco, isto é, entre abril e novembro de 2017.

De acordo com o Programa Município Verde Azul, a cidade de Botucatu realizou em 2005 em parceria com a ONG "Nascentes" o diagnóstico quantitativo e qualitativo das árvores existentes na área urbana do município. O referido inventário contendo a tabela de frequência de indivíduos de porte arbóreo é atualizado periodicamente pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente, com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o CTGEO, desenvolvido pelo CETEC de Lins-SP.

A cidade de Botucatu, no ano base 2014, de acordo com levantamento realizado utilizando o SIG CTGEO e o programa MultiSpe, com base em imagem do satélite SPOT-5, na escala 1:25.000, de resolução espacial de 2,5 m e ortorretificada, apresenta uma área de projeção da copa de indivíduos de porte arbóreo de aproximadamente 19 km² (Tabela 10) presente dentro do perímetro urbano do município, que era de 98,45 km².

Tabela 10 – Proporção e área das classes amostradas no Plano Municipal de Arborização – programa MultiSpec.

Classe	Porcentagem(%)	Área (km ²)
Copa de Árvore	19,17	18,87
Relvado/gramíneas	18,32	18,04
Solo exposto claro	10,94	10,77
Solo exposto escuro	5,75	5,66
Asfalto	8,33	8,2
Sombra	5,19	5,11
Rio/Lago	0,27	0,27
Piscina	3,36	3,3
Telha clara	2,39	2,35
Telha cinza	3,41	3,35
Telha cerâmica	8,26	8,13
Fundo	-	-
Reflorestamento	2,47	2,43
Vegetação nativa	12,14	11,95

Fonte: Programa Município Verde Azul (2015).

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Medidor de ruído

Para as medições de ruído foi utilizado um dosímetro acústico na função decibelímetro da marca INCON, modelo IDAC-100 (Figura 7), o qual permite uma faixa de medição de 40 a 140 Db, logo, com faixa de Frequência de 25Hz a 20 KHz. Este equipamento está padronizado de acordo com as normas IEC 61.252 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 1993), ANSI S1.25 (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, 1997), Norma Regulamentadora Nº 15 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1978) e da Normal de Higiene Ocupacional nº 01 preconizada pela Fundacentro (FUNDACENTRO, 2001).

O medidor de ruído foi calibrado antes de iniciar as medições. Desta forma, utilizou-se o calibrador acústico da marca INCON, modelo ICAL-100, o qual permite selecionar calibrações de 94dB ou 114dB, e frequência de 1kHz, em consonância à Norma IEC 60942 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2003).

Figura 7 – Medidor de ruído INCON – modelo IDAC-100



5.2.2 Emissor de ruído utilizado na Etapa I – cobertura do solo

Para emissão de ruído, foi utilizado um motosserra da marca Stihl, modelo MS 381 (Figura 8), com potência de 3,9 kW, com 72,2 cm³ de cilindrada, e sabre de 40cm/16" utilizada em baixa rotação (marcha lenta) e em alta rotação.

Figura 8 – Motosserra marca Stihl modelo MS 381.



5.2.3 Etapa I - cobertura do solo

Nesta etapa foram selecionadas quatro áreas distintas (Figura 9) localizadas nas coordenadas geográficas 22° 50' de Latitude Sul e 48° 25' de Longitude Oeste, e altitude de 770m acima do nível do mar, pertencentes à Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu.

Estas áreas foram caracterizadas como tratamentos (Tabela 10) com o propósito de analisar a variação do nível de ruído em áreas com diferentes coberturas de solo. Conforme dados da Estação Meteorológica do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP (PRADO, 2017), durante a coleta dos níveis de ruído a temperatura ambiente era 20,5°C, a umidade relativa do ar 69% e a velocidade do vento de 0,5 km/h, portanto, de acordo com a NBR 10.151.

Os níveis de ruído, L_{Aeq} , foram coletados de 1 em 1 segundo, durante 10min, em alta e baixa rotação do motor do motosserra e ponderando quatro distâncias do emissor, isto é, 1m, 5m, 10m e 15m e comparados com a condição inicial - menos de 30cm de distância do emissor (motosserra).

Para o tratamento $T_{\text{Reflorestamento}}$ a coleta de dados foi realizada entre as linhas de plantio, apenas em uma única direção em terreno plano (Figura 9).

Figura 9 – Tratamentos Etapa I - cobertura do solo

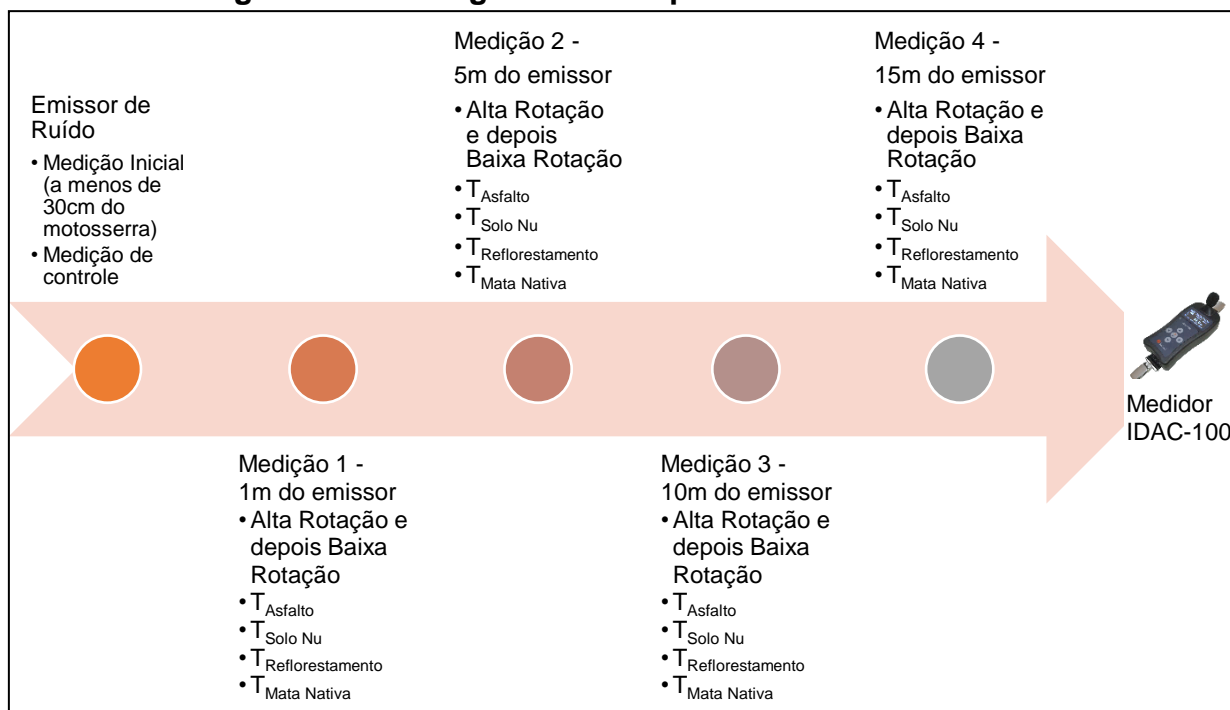


Tabela 11 – Áreas com diferentes coberturas de solo

Tratamento	Descrição	Coordenadas
T_{Asfalto}	Via pavimentada por asfalto do tipo concreto betuminoso usinado a quente, com 10m de largura.	22°50'43.87"S, 48°26'2.73"O
T_{Solo Nu}	Solo exposto em estrada sem pavimentação do tipo Latossolo vermelho, com 7m de largura.	22°50'6.76"S, 48°25'39.68"O
T_{Reflorestamento}	Área com reflorestamento de eucalipto com idade de sete anos, espaçamento de 3,0 x 2,0 m e com sub-bosque livre de vegetação.	22°51'18.47"S, 48°25'54.97"O
T_{Mata Nativa}	Floresta latifoliada tropical fechada (remanescente – não virgem).	22°50'12.39"S 48°25'36.90"O

Os níveis de ruído foram coletados ponderando quatro distâncias do emissor, isto é, 1m, 5m, 10m e 15m (Figura 10), e comparados com a condição inicial, na qual o medidor de ruído foi posicionado a menos de 30cm de distância do emissor (motosserra) e os valores em L_{Aeq} observados para comparação com os níveis coletados nas quatro distâncias e tratamentos descritos.

Figura 10 – Fluxograma da Etapa I - cobertura do solo



5.2.4 Modelagem matemática

Ponderando cada tratamento, com alta e baixa rotação, empregou-se a técnica de regressão polinomial (DRAPER; SMITH, 1998) para descrever o comportamento do nível de ruído emitido pelo motosserra em função da distância do emissor. Como o ruído é resultado de operações logarítmicas do Nível de Pressão Sonora, foi necessário fazer uma transformação logarítmica na variável resposta, ou seja, no ruído emitido pelo motosserra. Ademais, foram testados os modelos linear, quadrático e cúbico, e como critério de seleção foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2) obtido seja maior que 0,8.

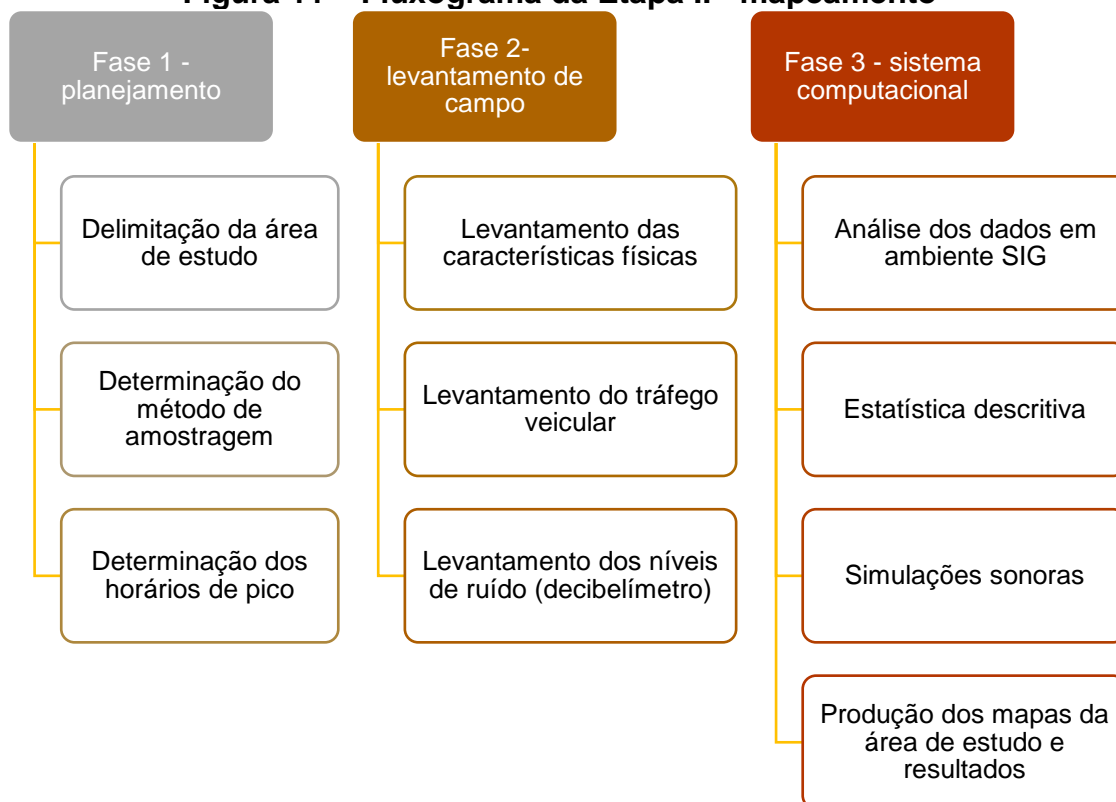
5.2.5 Etapa II – Mapeamento

Esta etapa foi desenvolvida conforme o fluxograma demonstrado na Figura 11, assim, contemplada em três fases. Na primeira fase, foi delimitada a área mapeada e distribuição dos pontos de coleta (amostragem) dos níveis de ruído. Ainda nesta fase, foi realizado um estudo piloto a fim de monitorar os níveis de ruído em dois pontos da área central da cidade, sendo este realizado durante sete dias consecutivos, por conseguinte, foi possível delimitar os horários com maior intensidade de fluxo de veículos e o delineamento experimental.

Na fase seguinte, foi realizada a coleta dos níveis de ruído, os quais tiveram como fonte o tráfego de veículos leves e pesados, os quais trafegavam dentro do perímetro delimitado para o estudo, caracterizados pelo Conselho Nacional de Trânsito, Resolução CONTRAN Nº 396, de 13 de dezembro de 2011. Como veículos leves aqueles que correspondem a ciclomotores, motonetas, motocicletas, automóveis, utilitários, caminhonetes e camionetas, entre outros, com peso bruto total inferior ou igual a 3.500kg e veículos pesados aqueles correspondentes a ônibus, micro-ônibus, caminhão, reboque ou semirreboque, entre outros com peso bruto total acima de 3.500kg (BRASIL, 2011).

Nesta perspectiva, a última fase contemplou a inserção dos dados em ambiente SIG e realização da Estatística Descritiva, a qual permitiu identificar os níveis de ruído conforme a Legislação Brasileira vigente, e por fim, a elaboração do SIG acústico e a simulação dos dados ponderando barreira vegetativa.

Figura 11 – Fluxograma da Etapa II - mapeamento



5.2.5.1 Procedimento para medição dos níveis de ruído e simulação

A área de estudo utilizada foi a Zona Central de Botucatu que, conforme a Lei Complementar nº 1224/2017, é definida como um polígono compreendendo entre as Ruas Francisco Lotufo e Rangel Pestana e da Rua Antônio Bernardo à Rua Tiradentes (Figura 12).

A escala e metodologia de trabalho foi pautada no guia *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, version 2* (European Commission, 2006), que recomenda a escala de 1:25.000, para articulação com Plano Diretor Municipal.

Para criação do SIG Sonoro, o primeiro passo foi a definição do delineamento experimental, que envolveu, entre outros procedimentos, a escolha da técnica de coleta de amostras e definição da malha de amostragem. As malhas de amostragem podem ser do tipo aleatória, agregada ou regular/homogênea, quando os pontos estão regularmente espaçados. O arranjo espacial esperado é a malha regular, porém, por motivos diversos, é difícil a coleta de dados respeitando-se esse arranjo.

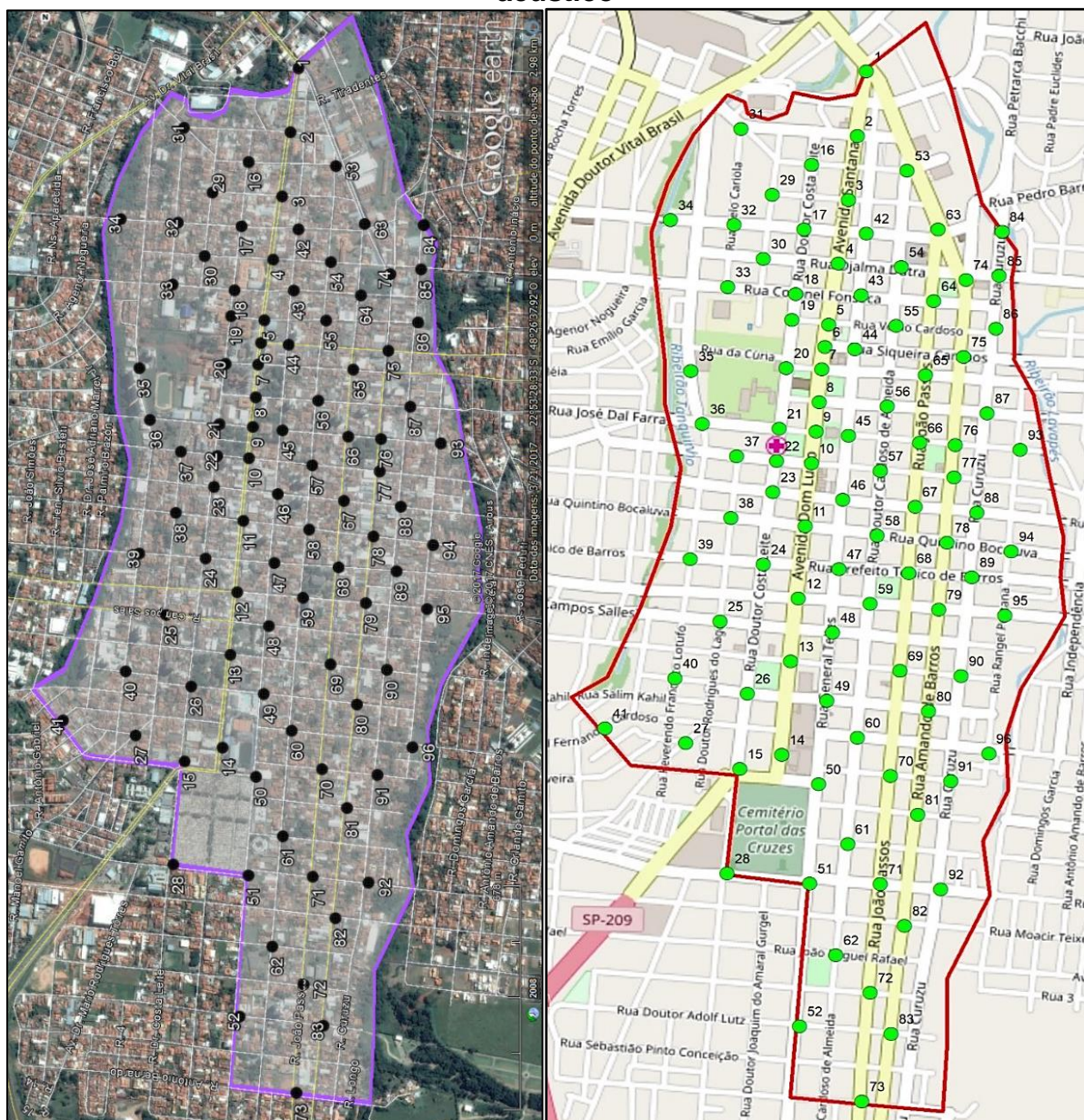
A partir da cartografia da Zona Central de Botucatu, a qual, apresenta a localização das fontes de ruído (infraestruturas de transporte e fontes fixas) e dos obstáculos permanentes à propagação do ruído (barreiras acústicas existentes), foram selecionados os pontos amostrais por meio do método da amostragem aleatória estratificada, de forma à obtenção dos níveis de ruído a uma distância máxima de 300m entre os pontos, totalizando 96 pontos amostrais (Apêndice A).

Contudo, nas áreas com maior intensidade de tráfego estas medições foram realizadas a cada 100m a fim de maior acurácia na elaboração do mapa (Figura 12). Cabe ressaltar que, de acordo com Ventura (2012), as cartas acústicas geradas por meio da interpolação em ambiente SIG, comparados com os resultados dos mapas de ruído de softwares de previsão acústica comercial, apresentam bons resultados, necessitando apenas de um aumentando o número de pontos medidos, reforçando a importância do condensar a amostragem em áreas de densidade de fontes sonoras.

As medições de L_{Aeq} foram realizadas a cada um segundo, em ciclos de 15 minutos de duração e pausas de 10 minutos de intervalo entre as medições. Estudos realizados por Murgel (2007), Mendonça et al. (2013) demonstram que cinco minutos de duração para cada faixa de horário são suficientes para representar vias de tráfego intenso.

Contudo, optou-se por 15 minutos de duração das medições conforme estabelecido no Guia Prático para Medições de Ruído Ambiente conforme a Diretiva Europeia 2002/49/CE (DIRECTIVE 2002/49/CE, 2002). Dessa forma, obteve-se no período diurno, de acordo com os horários determinados no estudo piloto como horários de pico, com três medições por dia para cada ponto amostral, o que permitiu determinar a uma média logarítmica, a qual foi utilizada como diretriz para elaboração da carta de ruído.

Figura 12 – Localização dos 96 pontos selecionados para o mapeamento acústico



Fonte: Google Earth Pro (Image CNES /Airbus 21/03/2017).

Para estas medições, o medidor de pressão sonora foi posicionado de acordo com a norma NBR 10151 perpendicularmente à via, a uma distância de 1,20m do solo e 2m de edificações e aproximadamente sete metros do centro das vias. As medições foram realizadas entre os semáforos posicionado de modo a captar os níveis nos dois sentidos das vias, além disto, a fim de eliminar os níveis de ruído decorrentes da aceleração ou desaceleração dos veículos, posicionando o alinhamento de modo a captar os dois sentidos da via.

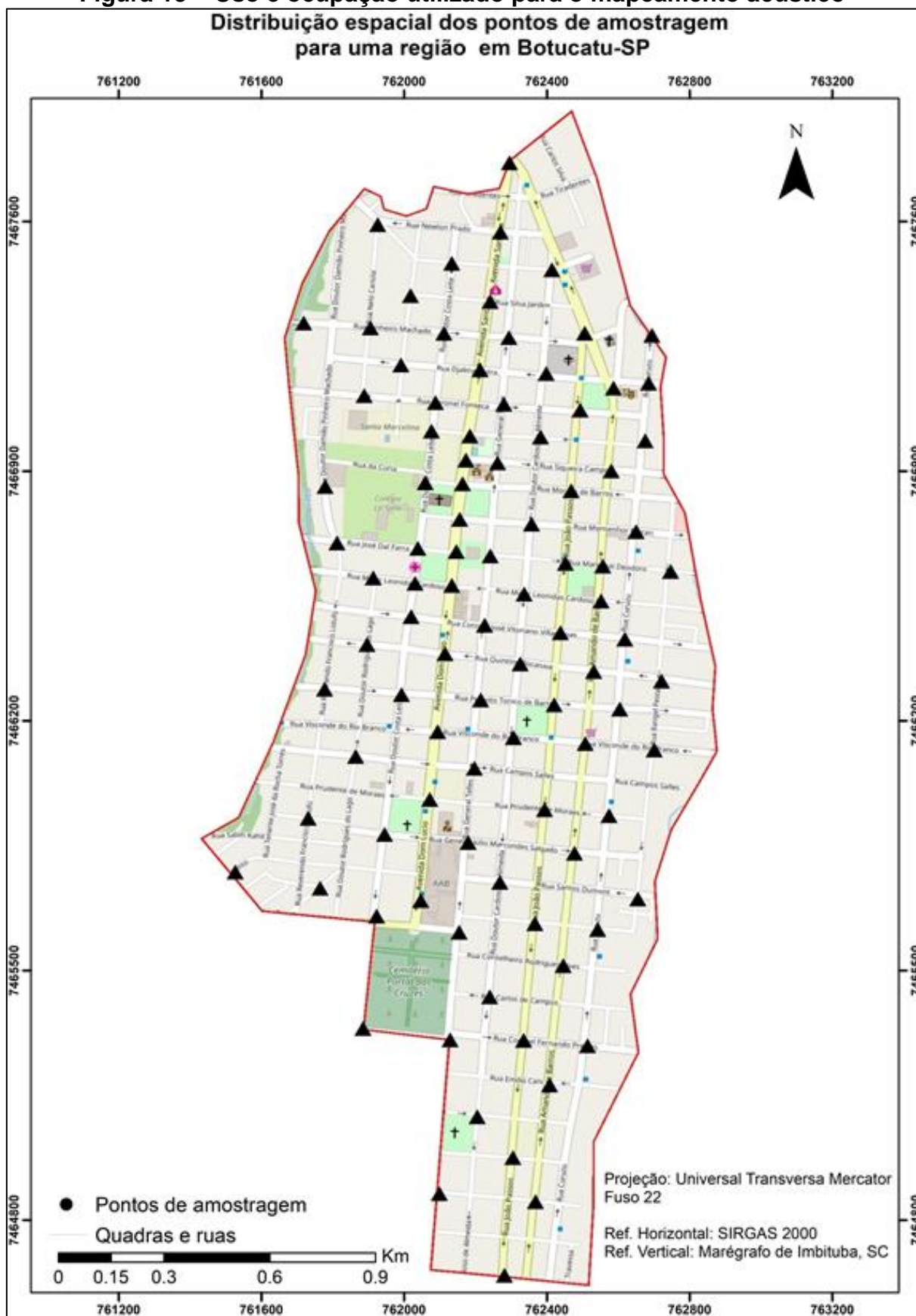
Durante a coleta dos dados foi constatado zero milímetros de pluviosidade (chuva), os dias apresentavam sol, com nuvens esparsas, sendo que a temperatura média foi de $20,8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,56$, umidade relativa do ar de $76\% \pm 3,93$ e a velocidade média do vento $1,4 \pm 0,47$, portanto, o procedimento foi realizado de acordo com a NBR 10151.

Diante desse contexto, após a realização das medições foi feita a estatística descritiva das medições realizadas, gerado o variograma experimental, ajustado e validado. Adotou-se, então, a metodologia adaptada de Mendonça et al. (2013), assim, a obtenção da classe acústica da quadra foi por meio da determinação de uma média logarítmica dos L_{Aeq} e a krigagem ordinária para interpolação e a classificação dos níveis de ruído.

Para o estabelecimento das classes de faixas acústicas, foi utilizado as zonas delimitadas pelo Plano Diretor Municipal do município em análise e os limites determinados pela NBR 10151, fixando o limite para zonas urbanas de uso misto com vocação comercial, os quais não devem exceder ao nível de 60 dB (A) no período diurno, compreendido entre 7h e 22h. Destarte, foram ponderadas faixas acústicas: inferior a 55 dB(A); 56 a 60 dB(A); 61 a 65 dB(A); 66 e 70dB(A); e acima de 71dB(A).

Desta forma, para realização do mapeamento, foi elaborado um mapa cadastral (Figura 13) como base para todo o mapeamento acústico da região, identificando as áreas comerciais, residenciais e as quadras que possuíam instituições de ensino, bem como a localização do hospital inserido na região estudada.

Figura 13 – Uso e ocupação utilizado para o mapeamento acústico

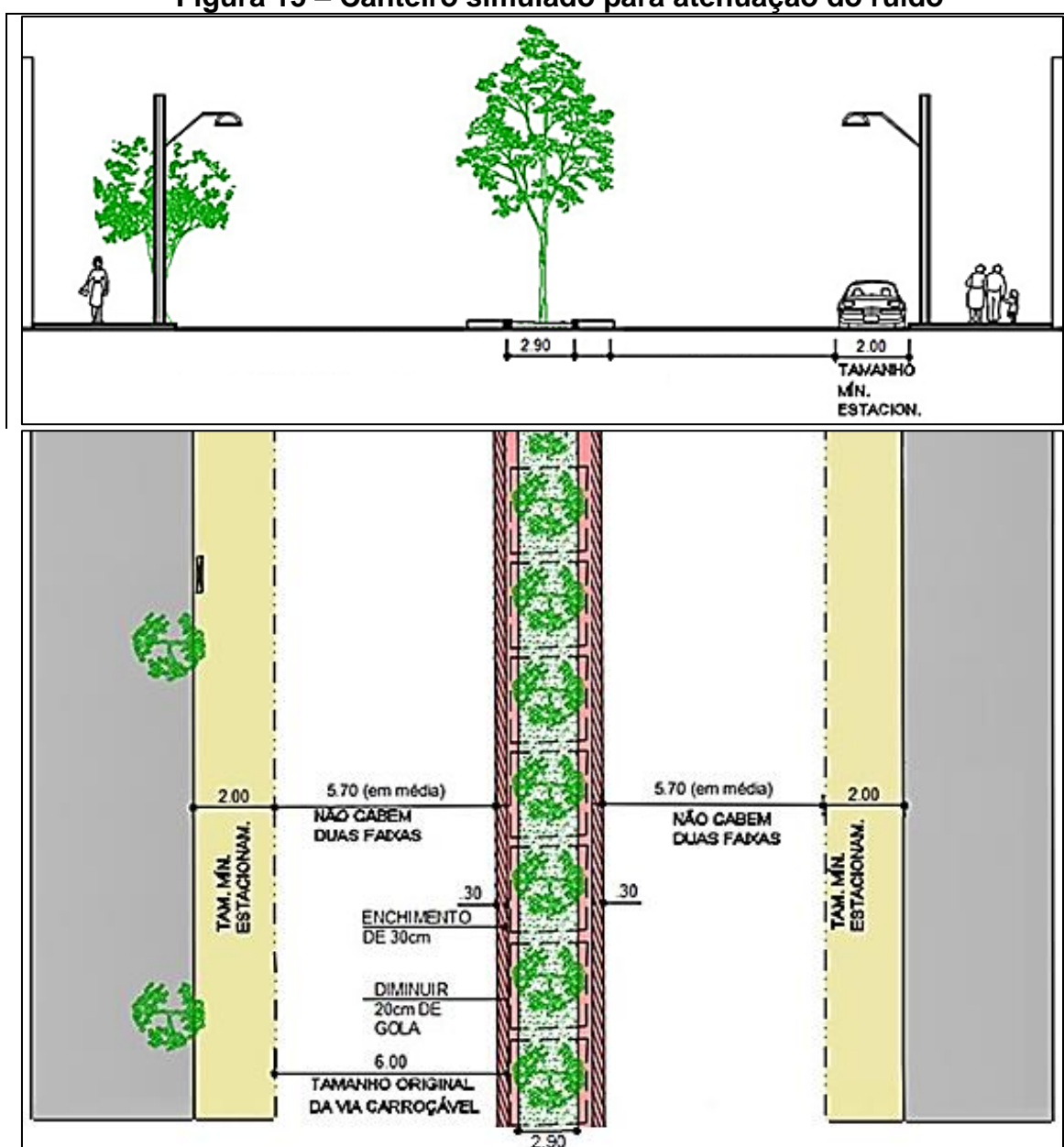


Fonte: Google Earth Pro (OpenStreetMap 21/03/2017).

Os valores de atenuação dos níveis de ruído foram calculados por:
 $Atenuação (dB(A)) = (L_{Aeq1} \times \%Veículos\ Pesados) + (L_{Aeq2} \times \%Veículos\ Leves).$

Em que, L_{Aeq1} é o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A médio para baixa rotação (dB(A)); L_{Aeq2} é o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A médio para alta rotação (dB(A)); $\%Veículos\ Pesados$ é o percentual da frota de veículos automotores do tipo pesado; $\%Veículos\ Leves$ é o percentual da frota de veículos automotores do tipo leve.

Figura 15 – Canteiro simulado para atenuação do ruído



5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Etapa I - cobertura do solo

Ao analisar o L_{Aeq} , constatou-se que para o $T_{Asfalto}$ a motosserra em baixa rotação, observa-se uma diminuição na ordem de 15,34 dB(A) do L_{Aeq} entre a distância um metro do emissor e a distância de 15m do emissor, respectivamente, com desvio padrão 0,24, 0,70, 1,67 e 1,60.

Quanto ao $T_{Asfalto}$ em alta rotação, constatou-se uma diminuição do L_{Aeq} de 18,62 dB(A) entre a distância 1m e a distância 15m, com desvio padrão de 0,77, 0,33, 0,74 e 0,55 para as distâncias de 1m, 5m, 10m e 15m, respectivamente.

Para o $T_{Solo Nu}$, em baixa rotação, a atenuação foi de 15,34 dB(A) do L_{Aeq} entre a distância de 1m do emissor e a distância de 15m do emissor e temos como desvio padrão de 3,02 para a distância de 1m, 0,76 para a distância 5m, 0,69 para a distância 10m e 0,67 para distância 15m.

Em relação ao $T_{Solo Nu}$ em alta rotação, a diminuição do L_{Aeq} foi de 21,85 dB(A) entre a condição inicial e o valor observado à distância 15m com desvio padrão de 0,77, 0,33, 0,74 e 0,55 para as distâncias de 1m, 5m, 10m e 15m, respectivamente.

Ao analisar o $T_{Reflorestamento}$ em baixa rotação constatou-se uma diminuição do L_{Aeq} de 26,30 dB(A) entre a condição inicial e a distância de 15m e de 20,4 dB(A) entre a distância de 1 metro do emissor e a distância de 15 metros do emissor.

Os valores apresentados têm desvio padrão de 3,02 para a distância de 1m, 3,00 para a distância de 5m, 1,36 para a distância de 10m e 0,81 para distância de 15m.

Quanto ao $T_{Reflorestamento}$ em alta rotação houve uma diminuição do L_{Aeq} de 20,85 dB(A) entre a distância 1m e a distância de 15m, com desvio padrão de 1,26 para a distância de 1m, 0,56 para a distância 5m, 2,76 para a distância de 10m e 1,62 para distância de 15m.

Para o $T_{Solo nu}$ em baixa rotação verificou-se uma diminuição do L_{Aeq} de 25,1 dB(A) entre a distância de 1 metro do emissor e a distância de 15 metros do emissor e desvio padrão de 3,81 para a distância de 1m, 3,41 para a distância 5m, 2,26 para a distância 10m e 2,10 para distância de 15m.

Já para o $T_{Mata nativa}$, em alta rotação, ocorreu uma diminuição do L_{Aeq} de 23,2 dB(A) entre a distância de 1m e a distância de 15m com desvio padrão de 3,97 para

a distância de 1m, 1,03 para a distância 5m, 0,95 para a distância 10m e 2,31 para distância 15m.

Diferente do apresentado nos estudos de Gerges (1992) que apontou a necessidade de 10m de distância da fonte e uma largura de 20m de árvores densas para obtenção da atenuação de 2dB(A), o presente estudo apontou a redução de 23,99dB(A) na condição de 10m de distância da fonte para baixa rotação.

Salienta-se ainda que estudo conduzido por Géron (1988) apontava como redução de 6-8dB e 40% de redução da sensação de ruído percebida, para faixa arborizada com largura de 30m. Porém as espécies ponderadas no estudo, eram comuns das florestas temperadas (hemisfério norte). No entanto, foi realizado no interior do bioma mata atlântica, em um fragmento de vegetação nativa remanescente do tipo floresta latifoliada tropical fechada.

Em estudo realizado por Cataño e Bonivento (2005) houve uma redução de aproximadamente 3 dB para área com cobertura do solo contendo espécies arbóreas, em comparação com área sem presença de árvores. Já estudo Posada et al. (2009), apontaram que não há diferenças significativas entre os lugares com vegetação e sem ela, porém o estudo teve como tratamentos) área com vegetação de gramíneas (controle); – área com espécies arbóreas com alturas superiores a 5 m; áreas com espécies com alturas inferiores a 5 m e com ramificação a partir da base; e área com com indivíduos na maior parte das espécies Suribio (*Zygia longifolia*), búcaro (*Erythrina fusca*) e chirlobirlo (*Tecoma stans*), além disso, com seis indivíduos em média a cada 100m².

Além disto, apontou que para a atenuação de ruído em zonas urbanas pode-se obter a diminuição de 4,60 a 29,40 dB(A) para ruídos de baixa frequência e de 2,65 a 25,85 dB(A) para ruídos de alta frequência, porém, para tal deve-se tomar medidas diferentes com relação ao uso e ocupação do solo urbano, focando em estratégias que privilegiem a arborização urbana e a preservação de as áreas nativas, estabelecendo barreiras acústicas vivas mais largas, compridas, altas e densas.

Para a condição inicial, isto é, obtido os níveis de ruído emitidos pelo motosserra a uma distância inferior a 30cm do emissor, constatou-se uma diferença de 13,05 dB(A) ao comparar as diferentes condições de operação do equipamento (Tabela 12).

Tabela 12 – Medição dos níveis de ruído (dB(A)) emitidos pelo motosserra

Condição da operação	Pressão sonora (dB(A))
Baixa rotação	93,30
Alta rotação	106,35

Pode se observar na Tabela 13, que apresenta a síntese da Etapa I – cobertura do solo, para a distância de 15m do emissor, em comparação com a condição inicial os melhores resultados obtidos para alta rotação $T_{Solo Nu}$, de 106,35 dB(A) para 84,5 dB(A), de 106,35 dB(A) para 80,5 dB(A) para o $T_{Mata Nativa}$. Para a baixa rotação, os melhores resultados foram obtidos para o $T_{Reflorestamento}$, de 93,3 dB(A) para 67,0 dB(A), de 93,3 dB(A) para 63,90 dB(A) para o $T_{Mata Nativa}$.

Tabela 13 - Síntese da atenuação de L_{Aeq} (dB(A)) obtido para cada tipo de cobertura do solo

Baixa rotação - L_{Aeq} (dB(A))									
Condição Inicial	1m	Redução	5m	Redução	10m	Redução	15m	Redução	Tratamento
93,3	84,98	8,32	72,67	20,63	69,31	23,99	69,64	23,66	$T_{Asfalto}$
	84,98	8,32	72,67	20,63	69,31	23,99	69,64	23,66	$T_{Solo Nu}$
	87,40	5,90	75,90	17,40	68,30	25,00	67,00	26,30	$T_{Reflorestamento}$
	88,70	4,60	70,20	23,10	69,10	24,20	63,90	29,40	$T_{Mata Nativa}$
Alta rotação - L_{Aeq} (dB(A))									
Condição Inicial	1m	Redução	5m	Redução	10m	Redução	15m	Redução	Tratamento
106,35	106,33	0,02	96,38	9,97	89,92	16,43	87,71	18,64	$T_{Asfalto}$
	105,99	0,36	96,00	10,35	85,70	20,65	84,50	21,85	$T_{Solo Nu}$
	105,90	0,45	93,80	12,55	88,00	18,35	85,50	20,85	$T_{Reflorestamento}$
	103,70	2,65	91,90	14,45	86,40	19,95	80,50	25,85	$T_{Mata Nativa}$

Desta forma, observa-se que os dados obtidos na Etapa I - cobertura do solo indicam uma redução de 25,85 dB(A) para $T_{Mata Nativa}$ para o nível de ruído a 15m de distância da fonte sonora e uma redução de 21,85 dB(A) para 15m de distância para a cobertura do solo $T_{Solo Nu}$, em alta rotação. Para a baixa rotação, os resultados foram obtidos para o $T_{Reflorestamento}$, com redução de 26,30 dB(A) e com redução de 29,40 dB(A) para o $T_{Mata Nativa}$ à 15m de distância da fonte sonora.

Os polinômios selecionados foram de segundo grau para todos os tratamentos, ou seja, a equação que descreve o comportamento do nível de ruído emitido pelo

motosserra (y), em função da distância do emissor (x) é descrito por $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_2x^2$, em que b_0 , b_1 e b_2 representam os estimadores dos parâmetros para o intercepto e os efeitos linear e quadrático, respectivamente. A Tabela 14 apresenta os valores estimados dos coeficientes de cada polinômio em cada tratamento, considerando a condição da operação (baixa rotação e alta rotação), com os respectivos R^2 .

Tabela 14 - Estimativas dos parâmetros dos polinômios, segundo tratamento e condição de operação e seus respectivos R^2 .

Tratamento	Condição de operação	Parâmetro			R^2
		b_0	b_1	b_2	
T _{Asfalto}	Baixa	1,95	$-1,99 \times 10^{-2}$	$8,75 \times 10^{-4}$	0,94
	Alta	2,05	$-1,44 \times 10^{-2}$	$5,07 \times 10^{-4}$	0,99
T _{Solo Nu}	Baixa	1,96	$-1,98 \times 10^{-2}$	$7,21 \times 10^{-4}$	0,97
	Alta	2,04	$-1,58 \times 10^{-2}$	$5,30 \times 10^{-4}$	0,96
T _{Reflorestamento}	Baixa	1,94	$-1,75 \times 10^{-2}$	$6,82 \times 10^{-4}$	0,86
	Alta	2,04	$-1,52 \times 10^{-2}$	$5,44 \times 10^{-4}$	0,94
T _{Mata Nativa}	Baixa	1,96	$-2,26 \times 10^{-2}$	$8,47 \times 10^{-4}$	0,82
	Alta	2,03	$-1,27 \times 10^{-2}$	$3,20 \times 10^{-4}$	0,92

6.2 Etapa II – mapeamento

Para o estabelecimento dos horários da coleta dos dados dos níveis de ruído foi realizado um estudo piloto próximo as medianas da avenida Dom Lúcio e da rua Amando de Barros, durante seis dias consecutivos entre os dias 05 e 10 de junho de 2017, isto é, foi considerado o fluxo de veículos de segunda-feira à sábado, ademais, com observância ininterrupta das 07h às 19h. O nível médio de ruído (L_{Aeq}) das vias principais compreendidas entre os pontos 01 e 14 foi $68,50 \text{ dB(A)} \pm 3,23$ (desvio padrão) e para a via entre os pontos 74 e 81 foi de $67,09 \text{ dB(A)} \pm 3,30$ (desvio padrão).

Destarte, foi possível constatar que os horários com maiores níveis de ruído foram entre as 7h e 8h em regiões próximas a áreas escolares; das 8h às 9h nas áreas comerciais; das 11h30min às 12h30min em ambas as áreas; e das 17h às 18h30min com comportamento semelhante nestas áreas.

Ao considerar as características da área experimental, isto é, o uso e ocupação do solo do tipo misto (residencial e comercial) de acordo com Plano Diretor Municipal, com predomínio de estabelecimentos comerciais e de serviços às margens das vias

e avenidas principais, bem como áreas residenciais nas extremidades, os níveis de emissão sonora observados estão acima dos limites aceitáveis pela NBR 10151 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000) para o período diurno.

A legislação ambiental de Botucatu, possui apenas uma normativa que dispõe sobre sons urbanos, a qual fixa níveis e horários em que será permitida a sua emissão nas diferentes zonas e atividades, Lei Nº 4.127, de 22 de dezembro de 2000 (BOTUCATU, 2000).

Ressalta-se que esta Lei é um dispositivo legal pertinente à poluição sonora, porém não contempla especificamente o ruído do tráfego veicular e não contempla as zonas do atual Plano Diretor, Lei Complementar nº 1224 (BOTUCATU, 2017) além de seus valores serem menos restritivos que o previsto em normativa federal. Diante disso, optou-se a construção de uma tabela de equivalência, por similaridade, do nível de ruído entre a Lei de zoneamento urbano, Plano Diretor, e a NBR 10.151, vigente em todo território nacional (Tabela 15).

Tabela 15 - Equivalência, por similaridade, do nível de ruído entre a Lei de Zoneamento Urbano e a NBR 10.151.

NBR 10151		PREFEITURA MUNICIPAL DE BOTUCATU	
Tipos de áreas	Diurno dB(A)	Noturno dB(A)	Zoneamento por Similaridade
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45	ZR 1,2,3 – Zona residencial (permite ensino em edificação exclusiva)
Área mista, predominantemente residencial	55	50	ZR 4, 5 – Zona residencial (permite comércio em edificação mista e pequena indústria)
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55	ZCS – Zona de comércio e serviço ZUM – Zona de uso misto ZT – Zona turística ZC – Zona comercial AC – Área central
Área predominantemente industrial	70	60	ZI – Zona industrial ZPI – Zona predominantemente industrial ZIC – Zona industrial e de comércio

Também foi obtida as fontes sonoras presentes na área estudada que, segundo a Secretaria de Mobilidade Urbana (SEMUTRAN, 2015), tem-se como frota em Botucatu q quantidade de 91.286 veículos, divididos em: 57.528 automóveis; 18.202

motocicletas e motonetas; 9.666 caminhonetes e camionetas; 2.120 caminhões; 893 ônibus e microônibus e 2.877 reboques, semi-reboques, tratores, triciclos e utilitários.

Analisou-se ainda a configuração do relevo, logo, elaborada as cartas hipsométricas (Figura 16) e de declividade (Figura 17) com o propósito de verificar se estas condições influenciariam nos resultados obtidos. Como a área não possuía cursos d'água e nem áreas expressivas com declividades superiores a 40°, o fluxo de veículos na via foi o grande fator de aumento da intensidade do nível sonoro medido.

Assim sendo, optou-se por utilizar como métodos de interpolação dos dados levantados em campo e a utilização da krigagem ordinária para comparação dos dados (JAKOB e YOUNG, 2006). Além disto, foi realizada estatística descritiva para os níveis de ruído contínuo equivalentes (L_{Aeq}) obtidos e interpolados (Tabela 16).

Tabela 16 – Estatística Descritiva dos Valores de L_{Aeq} (dB(A)) mapeados

Nº de pontos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Variância (VAR)	Nível de Confiança (95%)
96	64,61	52,47	72,50	4,38	19,19	0,89

Apenas a análise descritiva dos dados não permite aferir em quais localidades o nível de dB(A) está de acordo ou não com a normativa ambiental, também não permite conhecer como esse se distribuiria ao longo de toda área amostrada (Zona Central). Dessa forma, a geoestatística foi uma ferramenta eficiente na observação dessa distribuição espacial.

Baseando-se na geoestatística, foi possível quantificar a magnitude e o grau de dependência espacial dos níveis de ruído produzido pelo tráfego urbano. Os semivariogramas correspondentes ao cenário real mapeado (antes da simulação) e após a simulação apresentaram como melhor ajuste com o modelo esférico, com um alcance de 350,58m e o Índice de Dependência Espacial (IDE) foi de 95,4% para ambos os cenários, sendo classificado como forte dependência espacial, segundo Zimback (2001). O valor absoluto observado diminuiu quando as amostras se distanciavam das principais vias, até um valor no qual a localidade não mais exercia influência, o que culminou na estabilidade do semivariograma experimental.

A validação cruzada realizada também permitiu aferir que o modelo esférico era o melhor a ser escolhido, haja vista que apresentou o Erro Médio (EM), mais próximo de zero. Vale salientar que, de acordo com Webster e Oliver (2001), o modelo

matemático esférico de ajuste de semivariograma é o mais frequentemente utilizado em geoestatística.

Figura 16 – Carta Hipsométrica da Zona Central de Botucatu

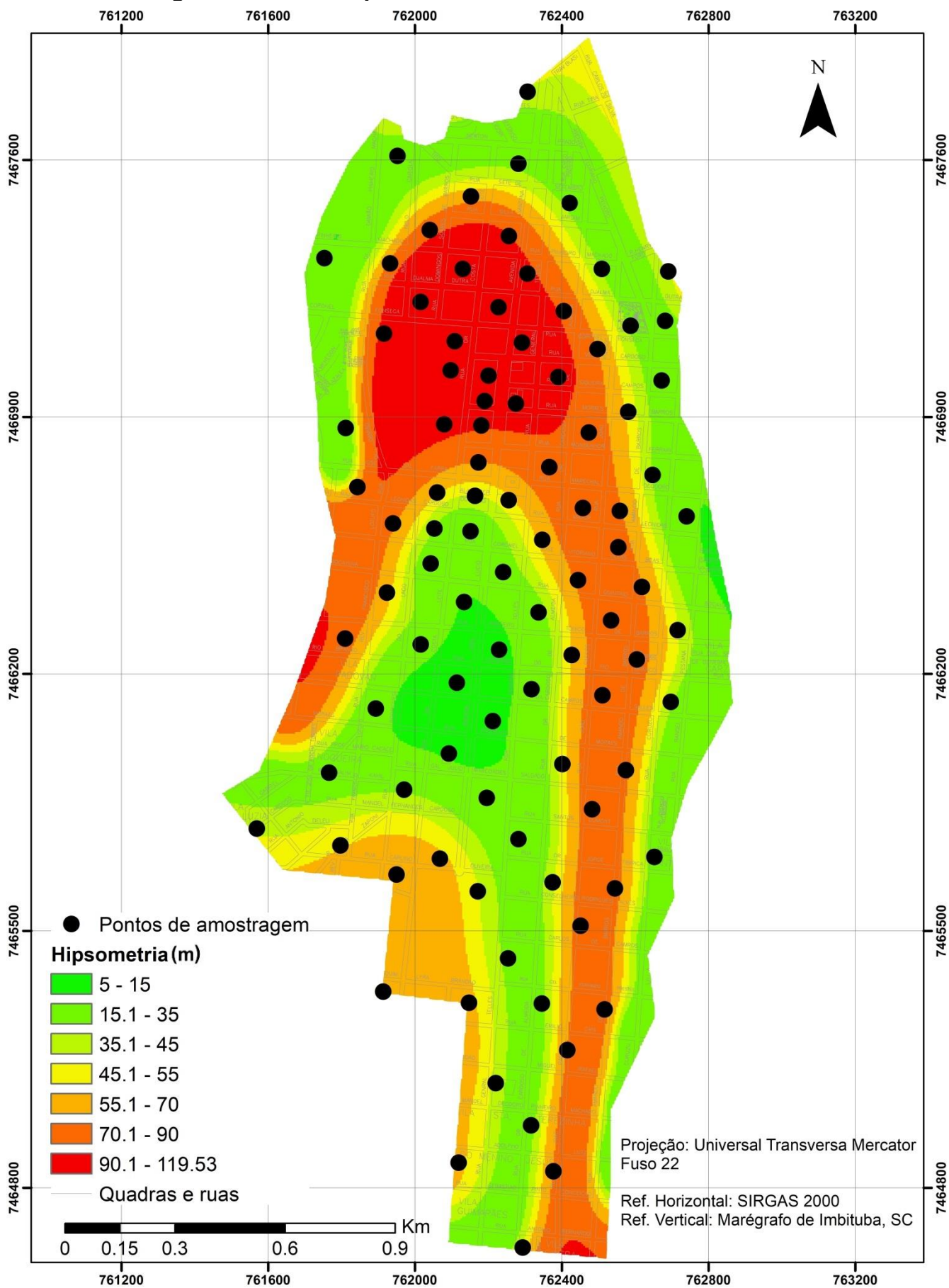
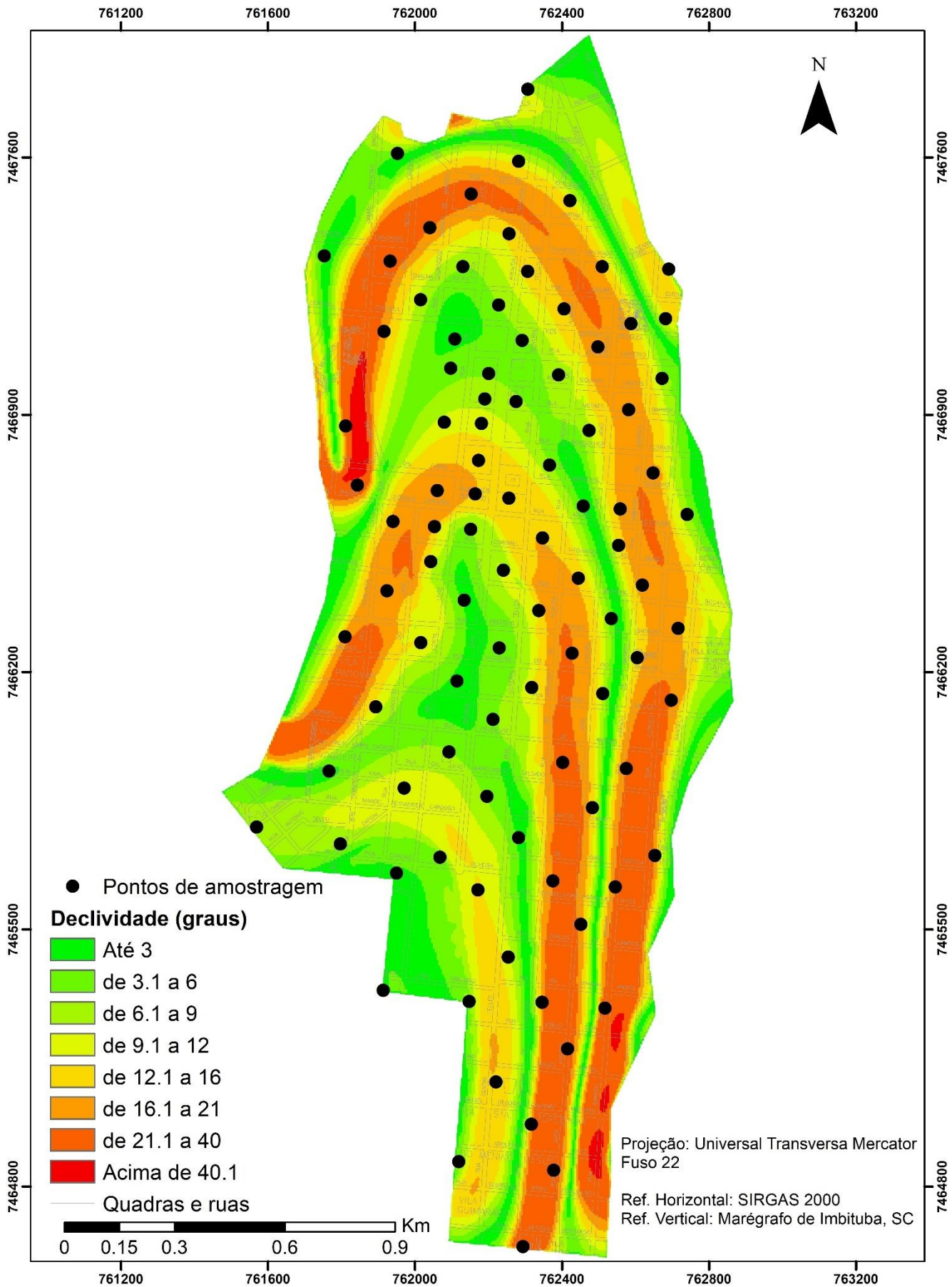


Figura 17 – Carta de Declividade da Zona Central de Botucatu



Ao considerar os valores de L_{Aeq} (dB(A)) para cada um dos pontos amostrais (Apêndice A), estes apresentaram o seguinte comportamento: a área de maior nível de ruído (L_{Aeq} (dB(A)) de tráfego foi observado entre os pontos, 1, 47, 56, 58, 63, 68, 69, 74, 81 e 84, com faixas acima de 70 dB(A), onde localiza-se grande concentração de comércio e serviços. Já, os níveis mais baixos foram observados na região entre os pontos 14, 17, 23, 25, 28, 29, 31, 32, 36, 37, 41, 52, 54, 60, 61, 62, 93, locais onde há concentração de área residencial com menor fluxo de veículos e na área em que há espaço livre particular que abriga área vegetada.

Tais resultados, também demonstram que a maioria das quadras da Zona Central da cidade de Botucatu encontram-se com valores acima dos níveis sonoros permitidos pela legislação vigente (Tabela 17), haja visto que as áreas mais preservadas da poluição sonora, aquelas que não ultrapassam o limite de 60 dB(A), tiveram uma representatividade pouco expressiva (0,04%) em relação ao total estudado e as áreas em desacordo, o intervalo da classificação entre 60 e 66 dB(A) esteve representado em 79% e a classificação acima de 66,1 dB(A) representa 20,9%.

Tabela 17 - Valores de L_{Aeq} (dB(A)) obtidos para cada classe de ruído mapeada

Intervalo em dB(A)	Área (km ²)	Percentual correspondente (%)
$L_{Aeq} \leq 60,0$	1,05 m ²	0,04
60,1-62,0	240,1 km ²	8,8
62,1-64,0	966,8 km ²	35,5
64,1-66,0	945,8 km ²	34,7
$L_{Aeq} > 66,1$	568,8 km ²	20,9
TOTAL	2.722,5 km ²	100

Os níveis sonoros observados foram em média 64,6dB(A), ou seja, 17% superiores aos estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017) como ideal para uma qualidade de vida adequada, 55dB(A). Tais vibrações irregulares a partir de 70 dB podem gerar danos ao aparelho auditivo e funções orgânicas, levando a desequilíbrios psíquico, insônia, falta de concentração, aumento da irritabilidade, aumento do ritmo respiratório e cardíaco, bem como prejudicar o desempenho no trabalho, aumentar a fadiga e causar irritabilidade (MELAMED, BRUHIS, 1996; ANDRADE et al., 1998; SIU et al., 2010; COWAN, 2016).

Sob este prisma, nos pontos amostrais na via em frente às áreas de hospitais (pontos 21, 22 e 37) e de escolas, nenhum ponto amostral atendeu a normativa ambiental (Tabela 18), com valores superiores, ao valor estabelecido de 50dB(A), de 19,5 a 7,7dB(A).

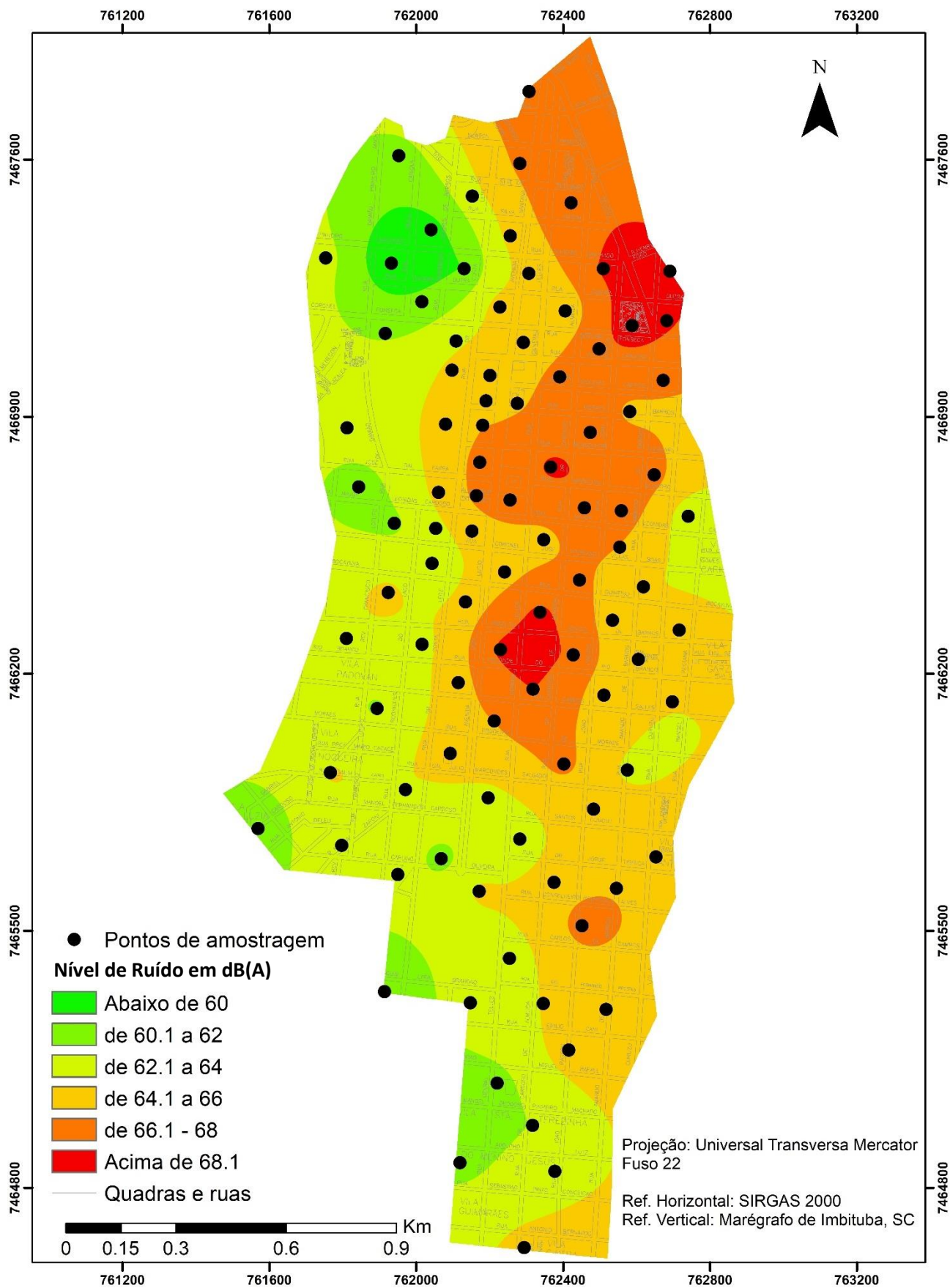
Tabela 18 - Valores de L_{Aeq} (dB(A)) obtidos áreas de hospitais ou de escolas

Pontos Amostrais	Nível de ruído máximo permitido (dB(A))	L_{Aeq} Médio (dB(A))
Ponto 3	50	66,0
Ponto 4	50	69,5
Ponto 18	50	64,2
Ponto 19	50	65,5
Ponto 20	50	64,7
Ponto 21	50	65,5
Ponto 22	50	63,6
Ponto 33	50	61,6
Ponto 34	50	65,8
Ponto 35	50	64,0
Ponto 36	50	57,7
Ponto 37	50	59,2

Ao considerar os demais 84 pontos amostrais pertencentes a área central (áreas mistas, com vocação comercial e administrativa), constatou-se que 17 pontos amostrais estão de acordo com a normativa. Os demais pontos amostrais, não estão em conformidade com a legislação vigente. Vale salientar que níveis de pressão sonora acima dos 65(A) dB, observados em 47 pontos (48,9% das medições), podem contribuir para aumentar os casos de insônia, estresse, comportamento agressivo e irritabilidade, entre outros (DANI e GARAVELLI, 2001; GORDON-SALANT, 2005).

De acordo com o estudo realizado por Suriano, Souza e Silva (2015), a maior concentração da população coincide com as quadras de maiores valores de níveis sonoros, o que se torna preocupante quanto à fragilidade acústica das regiões mais adensadas e que leva a conflitos de uso das vias com os pedestres e os moradores das áreas afetadas. Desta forma, a visualização dos valores de dB(A) em uma carta acústica permite visualizar as áreas prioritárias para atuação (Figura 18).

Figura 18 – Carta acústica da Zona Central de Botucatu com a krigagem ordinária



Estudos realizados por Brito e Sinder (2009) para a cidade de Taubaté-SP, Lima e Carvalho (2010) para Mossoró-RN, Costa e Lourenço (2011) para Sorocaba-SP e Souza e Giunta (2011) para Bauru-SP, Suriano, Souza e Silva (2015) para São Carlos-SP e outros estudos realizados nas capitais de Curitiba e Rio de Janeiro também apontaram valores médios muito acima do permitido pela legislação em diversas vias (CANTIERI et al., 2010, PINTO e MARDONES, 2009).

Considerando que o Anexo I, Carta 1ª do Macro Zoneamento, do Plano Diretor de Botucatu e o Artigo 16 da Lei Complementar nº 1224/2017, que dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município de Botucatu e dá outras providências, a área de estudo está inserida na Macrozona de Consolidação Urbana 1 é um das prioritárias para investimentos públicos para aproveitar e otimizar ao máximo a infraestrutura já instalada e promover o adensamento prioritário dessas áreas, o que permite e incentiva o adensamento e o crescimento da área comercial e residencial na área estudando.

Assim, poderá haver um aumento no fluxo de veículos e, conseqüentemente, a intensificação do ruído na região estudada. Diante disso, foi realizada a simulação de barreiras de atenuação utilizando o $T_{\text{Mata Nativa}}$ como alternativa para atenuação do nível de ruído.

Vale ressaltar que, segundo o mesmo Artigo. 16, para áreas inseridas dentro da Macrozona de Consolidação Urbana 1 deve-se promover

“a conservação e a recuperação de todas as áreas de preservação permanente ao longo dos córregos e fundos de vale, localizadas nesta Macrozona, priorizando os corredores ecológicos e os mananciais, vinculando seu uso com atividades urbanas e ambientalmente sustentáveis como parques lineares, educação ambiental, recreação, cultura e lazer, melhorando, também as condições de drenagem urbana, com implantação e ou substituição de técnicas de drenagem urbana sustentáveis.”

O que reforça a preservação, conservação e implantação de áreas com tipo de cobertura do solo do $T_{\text{Mata Nativa}}$ como alternativa para atenuação do nível de ruído, haja visto que a população que transita ou reside na Zona Central está exposta a níveis de ruído prejudiciais em 89,9% da área estudada, o que pode causar, a longo prazo, problemas relacionados à saúde como como insônia, estresse, comportamento agressivo e irritabilidade, entre outros, devido a níveis de pressão acima do permitido.

6.2.1 Simulação de cenário utilizando o T_{Mata Nativa} como barreira vegetativa para atenuação de ruído na área mapeado

Neste sentido, foi realizada a simulação para atenuação dos níveis de ruído, pautada nos resultados obtidos na Etapa I – cobertura do solo. Assim, foi considerada uma das principais vias da zona central da cidade, denominada avenida Dom Lúcio, compreendida entre os pontos amostrais 08 e 14. Ressalta-se, que esta via já possui um canteiro central, porém utilizado apenas para função paisagística, composto por espécies ornamentais e áreas cimentadas.

Para os valores de atenuação utilizou-se como base os valores obtidos na Etapa I - cobertura do solo para o T_{Mata Nativa} a uma distância de 1m da fonte em baixa rotação, 4,6dB(A), e para alta rotação, 2,65 dB(A), respectivamente. Os percentuais de veículos ponderados foram obtidas a partir dos dados referentes da frota de veículos automotores de Botucatu, disponibilizados pela Semutran (BOTUCATU, 2015), isto é, 82,96% correspondem aos veículos do tipo leve e 7,04% de veículos do tipo pesado.

Na Tabela 19 são apresentados os valores de L_{Aeq} antes da simulação, o valor de atenuação atribuído e o valor simulado em ambiente SIG para cartas acústicas simuladas. A partir destes, pelo método da krigagem ordinária (Figura 19) obteve-se o mapa acústico com a cobertura de solo recomendada como barreira vegetativa no canteiro central descrito no item 4.2.2.1, a fim de reduzir os níveis de ruído.

Tabela 19 - Valores de L_{Aeq} (dB(A)) simulados

N°	L _{Aeq} Médio (dB(A))	Atenuação (dB(A))	Atenuação (dB(A))	Valor Simulado (dB(A))
Ponto	Z	1m	2,90m	Z
8	67,4	2,52	5,04	62,33
9	68,0	2,52	5,04	62,99
10	66,5	2,52	5,04	61,46
11	64,2	2,52	5,04	59,16
12	64,6	2,52	5,04	59,53
13	67,4	2,52	5,04	62,33
14	56,3	2,52	5,04	51,23

Segundo Carvalho e Rocha (2008), a atenuação significativa do ruído pela vegetação só ocorre após 10m de vegetação densa, porém como podemos observar na Etapa I e na simulação realizada, para o tipo de vegetação Floresta latifoliada

tropical fechada pode-se obter a atenuação de aproximadamente 50% do NPS com apenas 2,90m de vegetação.

Gerges (2000) concluiu que para uma atenuação de 4 dB é necessária uma área de árvores densas a 10m de distância da fonte e com uma largura de 20m, quando a grama for densa e houver folhagens no solo. Porém, o tipo de vegetação utilizada é floresta temperada. Com características muito diferentes do T_{Mata Nativa}.

O melhor ajuste dos dados foi obtido pelo modelo esférico, com alcance de 350.58m e IDE de 95,4%, variância de 13,89 dB(A) e valor médio 64,05 dB(A), conforme descrito na Tabela 20.

Tabela 20 – Estatística Descritiva dos Valores de L_{Aeq} (dB(A)) simulados

Nº de pontos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Variância (VAR)	Nível de Confiança (95%)
96	64,05	59,52	68,19	1,79	13,89	0,91

A estratégia utilizada de adoção de barreira vegetativa na simulação pode ser considerada como uma solução eficaz para atenuação de ruído ambiental urbano, haja vista que aumentou em 7% a área com L_{Aeq} abaixo de 60 dB(A), o que representa o aumento de 13,4 km², mesmo ocupando apenas 0,008% da área experimental total (2,32km² de 2.722,5km²). As áreas circunvizinhas à simulação foram as mais atenuadas, dos sete pontos atenuados, cinco encontram-se dentro da normativa ambiental.

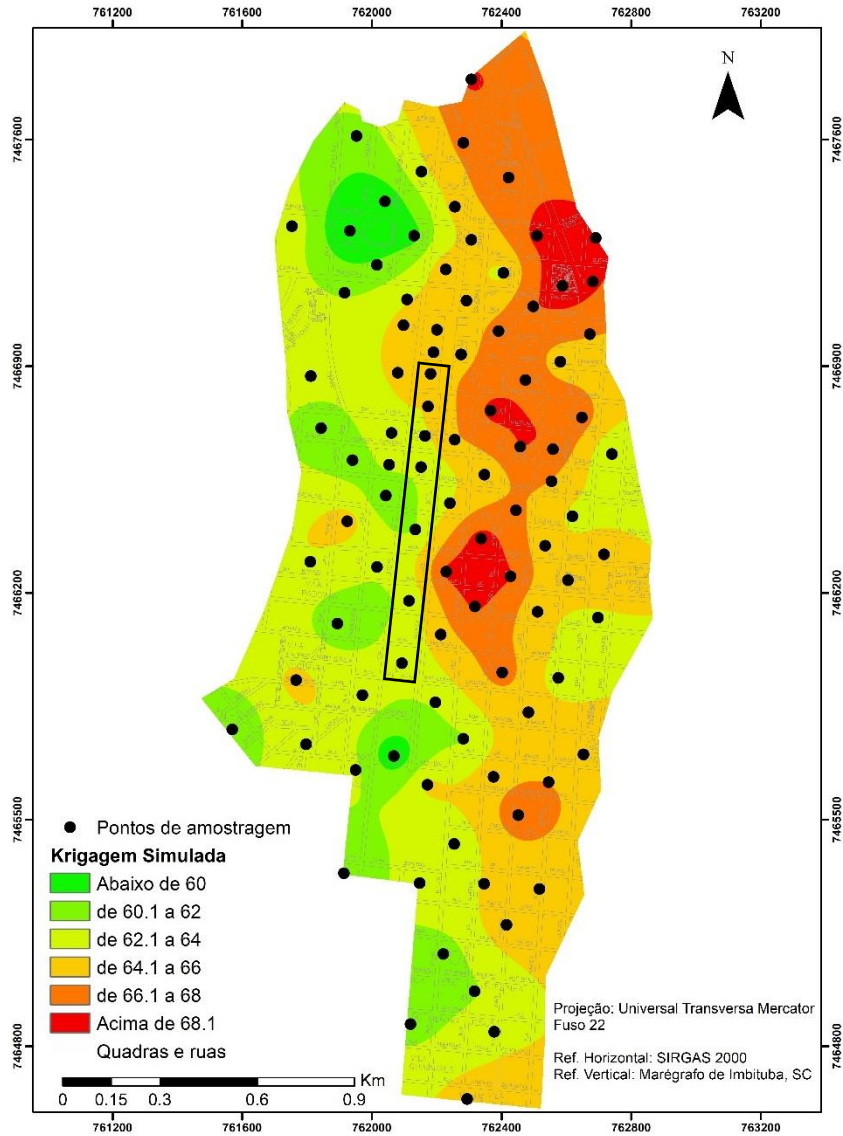
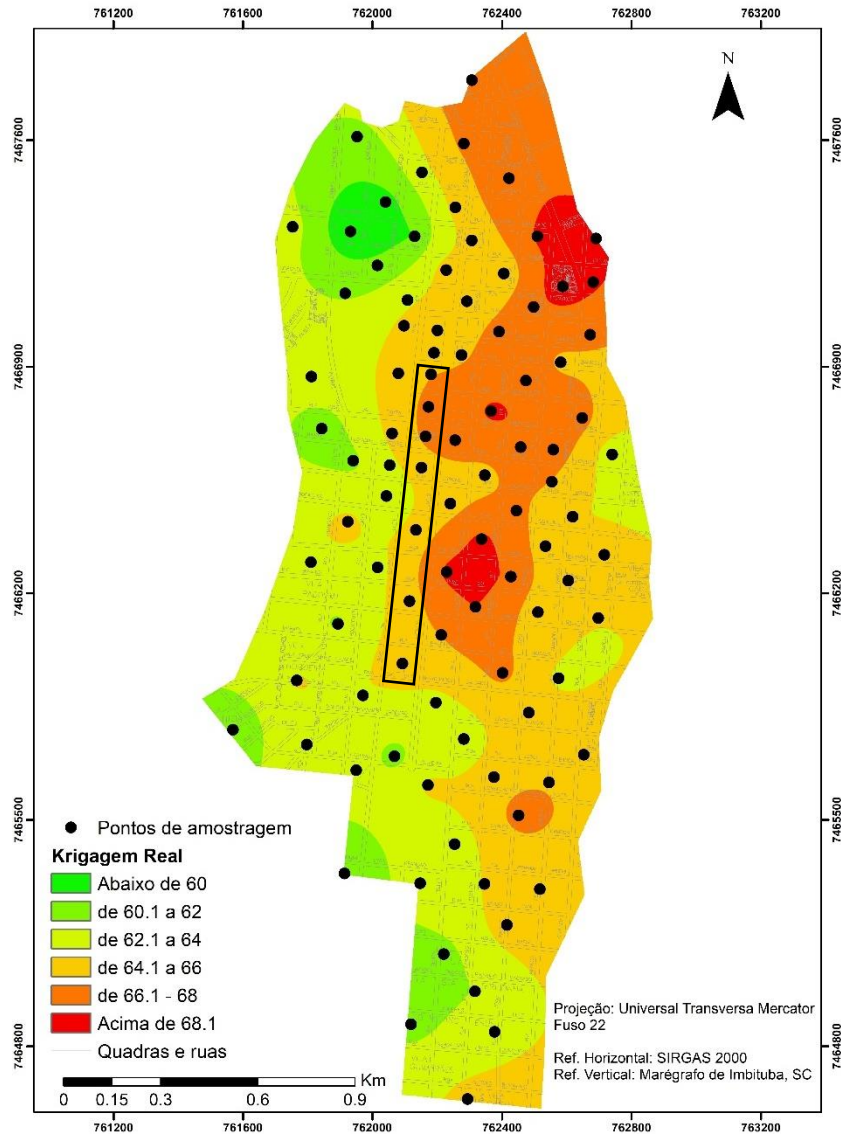
Apesar da solução apresentar possibilidades de redução dos níveis de ruído, os resultados demonstram que após a simulação, a maioria das quadras da Zona Central da cidade de Botucatu resultaram em valores acima dos níveis sonoros permitidos (Tabela 21).

Tabela 21 - Valores de L_{Aeq} (dB(A)) obtidos para cada classe de ruído mapeada

Intervalo em dB(A)	Antes da simulação		Após a simulação – método krigagem	
	Área (km ²)	Percentual correspondente (%)	Área (km ²)	Percentual correspondente (%)
$L_{Aeq} \leq 60,0$	1,05	0,04	14,9	0,5
60,1-62,0	240,1	8,8	284,7	10,5
62,1-64,0	966,8	35,5	1106,7	40,7
64,1-66,0	945,8	34,7	850,1	31,2
$L_{Aeq} > 66,1$	568,8	20,9	466,1	17,1
TOTAL	2722,5	100	2.722,5	100

Ainda com relação à solução apontada, salienta-se que foi considerado como barreira vegetativa os valores referentes às espécies nativas do T_{Mata Nativa}, com presença de sub-bosque e estrato arbustivo e que, de acordo com Pais (2008), o efeito barreira vegetal não é imediato e pode não ser constante durante a vida útil da barreira e que necessita de manutenção e conservação.

Figura 19 – Mapa Acústico simulado para a redução dos níveis de ruído



Países desenvolvidos, como por exemplo a Alemanha, França e Itália, têm aplicado barreiras como importantes medidas de proteção ambiental ao longo de vias e rodovias com altos níveis de dB(A). Estas barreiras são compostas por diferentes materiais, tais como, concreto, vegetação, madeira, materiais plásticos e metálicos (FERREIRA NETO, 2002) e o tipo de cobertura do solo circunvizinho à via também interfere diretamente na propagação do som, atenuando o ruído ambiental quando revestido com materiais absorventes, por exemplo, vegetação (KOTZEN e ENGLISH, 1999).

Estudos também demonstram que o tipo de uso e ocupação do solo urbano e a configuração da malha viária influencia na propagação dos níveis de ruído ao ar livre pois as características físicas e interrelações, como densidade construtiva, disposição e forma das edificações, perfis das vias e presença ou ausência de áreas verdes, contribuem para a qualidade acústica urbana (NIEMEYER, 1998; NIEMEYER e SLAMA, 1998; NIEMEYER e SANTOS, 2001).

Estudos realizados por Bistafa (2011) e Mestre e Wooten (1980), indicam que a atenuação sonora por vegetação natural é muito reduzida, da ordem de 5dB para os primeiros 30m de vegetação densa com 5m de altura, porém tais estudos baseiam-se em vegetações do clima temperado. O presente estudo obteve a atenuação de 5,04 dB(A) para um canteiro de 2,90m de largura.

Estudo realizado por Brito, Carvalho Junior e Toledo (2018) aponta que praças, jardins, parques lineares, taludes naturais, entre outros equipamentos urbanos, podem ser utilizados como meios de controle para a redução e dispersão da poluição sonora.

Outras soluções para atenuação de ruídos urbanos oriundos do tráfego de veículos, cujas quais podem ser utilizadas concomitantes às barreiras vegetais são apontadas no estudo realizado por Alesheikh e Omidvari (2010) que sugeriram como alternativa o incremento do transporte público com veículos de melhor qualidade e averiguação das emissões sonoras dos veículos mais antigos, com posterior realização de manutenção e instalação de abafadores.

O Instituto do Meio Ambiente Português (2004) também apontou como solução concomitante ao uso de barreiras a criação de passagens desniveladas, adoção de características geométricas homogêneas e utilização de pisos com características de absorção acústica.

Para a elaboração de um futuro Plano Municipal de Redução de Ruído, faz-se necessário a ampliação do estudo realizado para as demais zonas integrantes da zona urbana da cidade e a existência de uma Carta de Ruído que contemple toda a Área urbana de Botucatu, extrapolada para outros tipos de zonas e usos. Além disso, o mapa de Zona de Conflito permitirá identificar quais áreas possuem uma exposição sonora acima dos limites das normas ambientais vigente para aquele uso e quais as áreas prioritárias para inserção de barreiras acústicas e demais soluções apontadas.

6 CONCLUSÕES

A análise dos pontos amostrais por meio da técnica de geoestatística, krigagem ordinária, possibilitou caracterizar a magnitude da distribuição espacial do ruído produzido pelo tráfego urbano por meio de faixas isofônicas da área estudada.

A região em que está inserida um hospital e escolas apresentaram níveis de ruído que excederam o valor máximo de 50dB(a) na faixa de 7,7 a 19,5dB(A) acima do permitido pela legislação vigente.

A estratégia utilizada de adoção de barreira vegetativa na simulação pode ser considerada como uma solução eficaz para atenuação de ruído ambiental urbano pois diminui em 50% o Nível de Pressão Sonora – NPS, atenuando 5,04 dB(A) para um canteiro de 2,90m de largura, com 7% de melhoria no incremento à classe de LAeq abaixo de 60 dB(A).

Os tipos de cobertura do solo influenciam no nível de ruído propagado no ambiente, sendo que o tipo de cobertura $T_{\text{Mata Nativa}}$ comprovou apresentar maior eficácia.

Desta forma, observa-se que os dados obtidos na Etapa I - cobertura do solo indicam uma redução de 25,85 dB(A) para $T_{\text{Mata Nativa}}$ para o nível de ruído a 15m de distância da fonte sonora e uma redução de 21,85 dB(A) para 15m de distância para a cobertura do solo $T_{\text{Solo Nu}}$, em alta rotação. Para a baixa rotação, os resultados foram obtidos para o $T_{\text{Reflorestamento}}$, com redução de 26,30 dB(A) e com redução de 29,40 dB(A) para o $T_{\text{Mata Nativa}}$ à 15m de distância da fonte sonora.

Os mapas, obtidos pelo método geoestatístico krigagem ordinária, contribuíram para a definição de novas diretrizes de uso e ocupação do solo da área estudada, assim, pode ser considerada como uma ferramenta complementar de suporte à decisão na avaliação de risco ambiental, pois permite identificação de áreas prioritárias para ações de mitigação e minimização dos impactos à qualidade de vida e saúde da população exposta.

REFERÊNCIAS

ALDRED, J. **Manual of Sound Recording**. 2nd ed. London: Fountain Press, 1971. 270 p.

ALESHEIKH, A. A.; OMIDVARI, M. **International Journal of Occupational Hygiene**, Tehran, Iran, v. 2, n. 2, p. 79-84, July 2010.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE ANSI. **Specification for Personal Noise Dosimeters**. New York: ANSI, 1997. (ANSI S1.25–1991).

AMORIM, A. E. B.; DURANTE, L. C.; VILELA, J. C.; CALLEJAS, I. J. A. Previsão do ruído ambiental urbano devido à implantação do Modal Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) por meio de simulação computacional. **Interações**, Campo Grande, v. 18, n. 4, p. 81-97, 2017.

ANDRADE, D. R.; MARINI, A. L.; FINKLER, C.; CAPP, E.; CLOSS, M. Efeitos do ruído industrial no organismo. **Pró-Fono**, Carapícuiba, SP, v. 10, n. 1, p. 17-20, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10151**: avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10152**: níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1990.

ALESHEIKH, A. A.; OMIDVARI, M. Application of GIS in Urban Traffic Noise Pollution. **International Journal of Occupational Hygiene**, Tehran, v. 2, p. 79-84, 2010.

AZKORRA, Z.; PÉREZ, G.; COMA, J.; CABEZA, L. F.; BURES, S.; ÁLVARO, J. E.; ERKOREKA, A.; URRESTARAZU, M. Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. **Applied Acoustics**, Amsterdam, NL, n. 89 p. 46-56, 2015.

BARBOSA, A. S. M. **Ruído urbano e perda auditiva**: o caso da exposição ocupacional em atividades ligadas à coordenação do tráfego de veículos no município de São Paulo. 2001. 346 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BENADE, A. H. **Fundamentals of musical acoustics**. New York: Dover Publications, 1990. 608 p.

BERG, R. E.; STORK, D. G. **The Physics of Sound**. 2nd ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1995. 383 p.

BERG, R. E.; STORK, D. G. **The Physics of Sound**. 3rd ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 2004. 398 p.

BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D. H. **Guidelines for Community Noise**. London: World Health Organization, 1999. 141 p.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering noise control: theory and practice**. 4th ed. London: Taylor & Francis, 2009. 733 p.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2011. 380 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Norma DNIT Nº 076/2006 – ES. Tratamento ambiental acústico das áreas lindeiras da faixa de domínio – Especificação de serviço. Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Pesquisa, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 1, de 11 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre os limites máximos de ruídos, com o veículo em aceleração e na condição parado, para veículos automotores nacionais e importados, excetuando-se motocicletas, motonetas, triciclos, ciclomotores e bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 fev. 1993.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 2, de 8 de março de 1990. Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – SILENCIO. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 mar. 1990.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 8, de 31 de agosto de 1993. Complementa a Resolução nº 018/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 ago. 1993.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 017/1995. Ratifica os limites máximos de emissão de ruído por veículos automotores e o cronograma para seu atendimento previsto na Resolução CONAMA nº 008/93 (art. 20), que complementa a Resolução nº 018/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 dez. 1995.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 252, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre os limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento para veículos rodoviários automotores, inclusive veículos encaroçados, complementados e modificados, nacionais e importados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 jan. 1999.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 ago. 1981.

BRASIL. Lei 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade: Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 jul. 2001.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana. **Política Nacional de Mobilidade Urbana** - Cartilha da Lei nº 12.587/12. Brasília: Ministério das Cidades, 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. Departamento Nacional de Tráfego. Frota por cidades. Cidade: Editora, 2016. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php?codmun=350750&lang=_ES>. Acesso: 20 Jan. 18.

BRASIL. Resolução Conselho Nacional de Trânsito Contran nº 396, de 13 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores, reboques e semirreboques**: conforme o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 dez. 2011. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_396_11.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2017.

BOTUCATU. Lei nº 1224, de 06 de out. de 2017. Plano Diretor de Botucatu. Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município de Botucatu e dá outras providências. **Leis Municipais**, [S.l.] out. 2017. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-botucatu-sp>>. Acesso em: 05 ago. 2017.

BOTUCATU. Lei nº 4.127, de 22 de dezembro de 2000. **Dispõe sobre sons urbanos - fixa níveis e horários em que será permitida a sua emissão nas diferentes zonas e atividades. Impõe penalidades e dá outras providências**, Botucatu, 22 dez. 2000.

BOTUCATU. Secretaria de Mobilidade Urbana. **Semana Nacional de Trânsito busca estimular mudança de comportamento**. Botucatu: Prefeitura Municipal de Botucatu, 2015. Disponível em: <<http://www.botucatu.sp.gov.br/links/18343.htm>>. Acesso em: 07 set. 2017.

BRITO, L. A. P. F.; SINDER, V. Determinação do nível de pressão sonora das principais vias públicas da região central de Taubaté. In: ENCONTRO NACIONAL E DO V ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2009, Natal. **Anais eletrônicos...** Natal: Editora, 2009. p. 27-28.

BRITO, L. A. P. F.; CARVALHO JUNIOR, J. B.; TOLEDO, V. D. A eficiência de algoritmos matemáticos para avaliação do ruído urbano. **Urbe**: Revista Brasileira de Gestão Urbana, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 22-35, 2018.

BLOKLAND, G. J. Van; DE GRAAFF, D. F.; REININK, F. Effect of tire noise limits on traffic noise. In: International Congress on Noise Control Engineering: Liverpool, UK 30 July 1996. **Proceedings...** St Albans: Institute of Acoustics, 1996. v. 6, p. 3315-3320.

BRÜEL; K. **Environmental noise**. Denmark: Sound & Vibration Measurement A/S, 2000. 65 p.

BOLIN, K.; BLUHM, G. E.; NILSSON, M. E. Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 6, n. 3, p. 035103, 2011.

BUCCHERI FILHO, A. T. **O planejamento dos espaços de uso público, livres de edificação e com vegetação (EUPLEVs) no município de Curitiba, PR: planejamento sistemático ou planejamento baseado em um modelo oportunista**. 2010. 226 f. Tese (Doutorado em Ciências da Terra), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

BUCCHERI FILHO, A. T.; NUCCI, J. C. Espaços livres, áreas verdes e cobertura vegetal no bairro Alto da XV, Curitiba/PR. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, São Paulo, v. 18, p. 48-59, 2006.

BÜCHLER, M.; KOMPIS, M.; HOTZ, M. A. Extended frequency range hearing thresholds and otoacoustic emissions in acute acoustic trauma. **American journal of otology e neurotology**, Hagerstown, MD: Lippincott Williams & Wilkins, v. 33, p. 1335-1322, 2012.

CARVALHO, A. P. O.; ROCHA, C. **Manual técnico para elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído**. [S.l.]: Agência Portuguesa do Ambiente, 2008. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/6639/2/4777.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

CARVALHO, J. A árvore no espaço urbano. In: IV Jornadas do ambiente, Vila Pouca de Aguiar: C. M., 2009, **Natal. Anais eletrônicos...** Portugal: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2009. 10 pp. Disponível em: <<https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/2804/1/JC-AArvoreEspacoUrbano.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2017.

CANEVACCI, M. **A cidade polifônica**. São Paulo: Nobel, 1993. 262 p.

CANTIERI, E.; CATAI, R. E.; AGNOLETTI, R. A.; ZANQUETA, H. F. B.; CORDEIRO, A. D.; ROMANO, C. A. Elaboração de um mapa de ruído para a região central da cidade de Curitiba - PR. **Revista Produção on-line**, Rio de Janeiro, v. 10, p. 71-95, 2010.

CATAÑO, G. R.; BONIVENTO, M. J. **Eficiencia de una cobertura arbórea como barrera atenuadora del ruido vehicular**. 2005. 246 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2005.

COLLINS, J. J.; IMHOFF, T.T.; GRIGG, P. Noise-mediated enhancements and decrements in human tactile sensation. **Physical Review E**, New York, US: American Physical Society, v. 56, p. 923–926, July 1997.

COLLINS, C. **Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst**. Cidade: ESRI Education Services, 2004. Disponível em: <<https://www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Norma Técnica L11.032**: Ruído - determinação do nível de ruído em ambientes internos e externos de áreas habitadas. São Paulo, 1992.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Norma Técnica L11.033**. Ruído, processo prático para calcular o nível de ruído equivalente contínuo: procedimento. São Paulo, 1992.

COSTA, S. B.; LOURENÇO, R. W. Geoprocessing applied to the assessment of environmental noise: a case study in the city of Sorocaba. São Paulo, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, Dordrecht, Holanda, NL: Kluwer Academic Publishers, v. 172, n. 1-4, p. 329-337, 2011.

COWAN, J. P. **The effects of sound on people**. Chichester: Wiley, 2016. 208 p.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

CYSNE, L. F. O. **A Bíblia do som**: áudio, energia e sistemas. São Paulo: Cysne Sound Engineering, 2006.

DANI, A.; GARAVELLI, S.L. Principais Impactos da Poluição Sonora em Seres Humanos. **Revista Universa**. Brasília, v. 9, n. 4, p.659-678, 2001.

DAVIS, A.; SMITH, P.; FERGUSON, M.; STEPHENS, D.; GIANOPOULOS, I. Acceptability, benefit and costs of early screening for hearing disability: a study of potential screening tests and models. **Health Technology Assessment**, Southampton, v. 11, n. 42, p. 1-294, 2007.

DATAKUSTIK GMBH. **CADNA**. Versão 3.4. Greifenberg: Datakustik GMBH, 2013.

DE MARCO, C. S. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982, 129 p.

DINIZ, F. B. **Impacto ambiental das emissões sonoras de subestações de energia elétrica na cidade de Curitiba**. 2003. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) -Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

DIRECTIVE 2002/49/EC. Environmental Noise Directive - diretiva do Parlamento Europeu do Conselho da União Europeia relativa à avaliação e gestão de ruído

ambiente. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**, n. L189, p. 12-26, July 2002.

DMPED. Office of the Deputy Mayor for Economic Development. Kings theatre – draft environmental impact statement. New York, 2010. Disponível em: <http://www.nyc.gov/html/eoc/downloads/pdf/dme_projects/11DME003K/11DME003K_deis/11DME00K_DEIS_05_Noise.pdf. Acesso em: 03 mar. 2018.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: John Wiley, 1998.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **Using ArcGIS Geostatistical Analyst**. Redlands: ESRI, 2017.

EUROPEAN COMMISSION WORKING GROUP. Assessment of Exposure to Noise (WGAEN). **Good practice guide for strategic noise mapping and the prediction of associated data on noise exposure**. Brussels: European Commission, 2006.

EVEREST, F. A.; POHLMANN, K. C. **Master handbook of acoustics**. 6th. ed. [S. l.: s. n.], McGraw Hill Professional, 2014. 510 p.

FELICIO, J. **Avaliação da Exposição ocupacional ao Ruído em Atividades que utilizam Fones de Ouvido (Headsets e Headphones)**. 2008. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FERNANDES, J. C. Poluição Sonora: Possíveis Soluções. **MIG: Revista Científica de Design**, São Paulo, n. 3, p. 87-96, 2009.

FERREIRA NETO, M. F. **Estudo de barreiras acústicas ao ar livre, sob a perspectiva de eficiência e qualidade sonora**. 2002. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. Feynman Lectures on Physics. **Addison-Wesley**, Reading, v. 46, p. 1-9, 1963.

GARCIA, A.; FAUS, L. J. Statistical analysis of noise levels in urban areas. **Applied Acoustics**, Amsterdam, NL: Elsevier Science, v. 34, p. 227-47, 1991.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000. 670 p.

GÉRON, M. **Influence des espaces verts urbains sur les pollutions et les nuisances**. Rennes: ENSA, 1988. 23 p.

GORDON-SALANT, S. Hearing loss and aging: new research findings and clinical implications. **Journal of Rehabilitation Research and Development**, Baltimore, Md., US: Rehatilitation Research and Development Service, v. 4, n. 42, p. 9-24, 2005.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 483 p.

GUEDES, M.; LEITE, M. J. **Projecto-piloto de Demonstração de Mapas de Ruídos: escalas municipal e urbana**. Lisboa: Instituto do Ambiente, 2005.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R.; ZANNIN, P.H. T. Influence of urban shapes on environmental noise: a case study in Aracaju — Brazil. **Science of the total Environment**, Amsterdam, NL: Elsevier Publishing, v. 412, p. 66–76, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentals of physics**. 3rd ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988. 533 p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996. v. 2, 293 p.

HOLTZ, M. C. B. **Avaliação qualitativa da paisagem sonora de parques urbanos: estudo de caso: Parque Villa Lobos, São Paulo**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

HOPKIN, B.; SCOVILLE, J. **Musical instrument design: practical information for instrument making**. Tucson: See Sharp Press, 1996. 181 p.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/>>. Acesso em: 10 maio 2017.

ICHISATO, S. M. T. **Ruído em unidade de cuidado intensivo neonatal de um hospital universitário de Ribeirão Preto – SP**. 2004. 170 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2004.

INAGAKI, T.; LI, Y.; NISHI, Y. Analysis of Aerodynamic Sound Noise Generated by a Large-Scaled Wind Turbine and Its Physiological Evaluation. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Tehran, Iran, v. 12, p. 1933-1944, 2015.

INTERNATIONAL STANDARD. **IEC 60651** - Sound level meters. Suíça: International Standard, 1979. 53 p.

INTERNATIONAL STANDARD. **IEC 60804** - Integrating-averaging sound level meters. Suíça: International Standard, 1985.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61252**: electroacoustics: specifications for personal sound exposure meters. Suíça: International Standard, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996/1**: Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 1: Basic quantities and procedures. Suíça, 2016. 47 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996/2**: acoustics: description and measurements of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use Suíça, 2017. 60 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2204**: acoustic guide to International Standards on the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on human being. Genève, 1979. 70 p.

IRVINE, L. K.; RICHARDS, R. L. **Acoustics and noise control handbook for architects and builders**. Cidade: Krieger Publishing Company, 1998. 194 p.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 2006, Caxambu, MG, ABEP, **Anais...** Caxambu, MG: 22 de setembro de 2006, p. 1-22.

JERONIMO, C. E.; SILVA, J. A.; DA SILVA, R. R. T. Modelagem matemática dos impactos extramuros do ruído produzido por uma universidade em Mossoró-RN. **HOLOS Environment**, Rio Claro, SP: UNESP, Centro de Estudos Ambientais, v. 2, p. 142-154, abr. 2015.

JOHNSON, D. R.; SAUNDERS, E. G. The evaluation of noise from freely flowing road traffic. **Journal of Sound and Vibration**, London, GB: Academic Press, v. 7, n. 2, p. 287-309, 1968.

KALAND, M.; SALVATORE, K. The psychology of hearing loss. **The ASHA Leader**, Rockville, Md., US: American Speech-Language-Hearing Association, v. 5, n.7, p. 14-15, 2002.

KLUIJVER, H. D.; STOTER, J. Noise mapping and GIS:n optimising quality and efficiency of noise effect studies. **Computers, Environment and Urban Systems**, New York, US: Pergamon Press, v. 27, p. 85-102, 2003.

KNOBEL, K. A. B. Efeitos (silenciosos) da exposição a sons intensos. **Com Ciência**, São Paulo, v. 91, n. 151, p.11-24, set. 2013.

KNOBEL K. A. B. Intolerância a sons. In: FIGUEIREDO, R. R., AZEVEDO, A. A. (Org.). **Zumbido**. Rio de Janeiro: Revinter, 2013. p. 111-124.

KOTZEN, B.; ENGLISH C. **Environmental noise barriers**: a guide to their acoustic and visual design. London: New York: Spon, 1999. 165p.

LACERDA, A. B. M.; MAGNI, C.; MORATA, T. C.; MARQUES, J. M.; ZANNIN, P. H. T. Ambiente urbano e percepção da poluição sonora. **Ambiente e Sociedade**. Campinas, SP: Unicamp, Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais, v. 8, n. 2, jul./dez. 2005.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, Campinas, SP, v. 1, n. 2, p. 19-33, 2006.

LEVEY, S.; FLIGOR, B. J.; GINOCCHI, C.; KAGIMBI, L. The Effects of Noise-Induced Hearing Loss on Children and Young Adults. **Contemporary Issues in Communication Science and Disorders – ASHA**, Rockville, v. 39, 76-83, 2012.

LIMA, A. G. M.; CARVALHO, E. G. Poluição sonora no meio ambiente urbano – Caso Centro de Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. REDE – **Revista Eletrônica PRODEMA**, Fortaleza, CE, v. 2, n. 5, p. 69-87, 2010.

MAIA, P. A. **O Ruído nas Obras da Construção Civil e o Risco de Surdez Ocupacional**. São Paulo: FUNDACENTRO, 2008, 145 p.

MAIA, A. P. **Estimativa de exposições não contínuas a ruídos**. São Paulo: FUNDACENTRO, 2002. 223 p.

MALCHAIRE, J. Sound Measuring Instruments. **Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control**, Dortmund, v. 1, n. 1, p. 336. 2011.

MALCHAIRE, J. **Programmes de conservation de l'audition**. Paris: Organisation en milieu industriel. 1994. 162 p.

MELAMED, S.; BRUHIS, S. The effects of chronic industrial noise exposure on urinary cortisol, fatigue and irritability: a controlled field experiment. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, Baltimore, Md., US: Williams & Wilkins, v. 3, n.38, p. 252-256, mar. 1996.

MENDONÇA, A. B. D.; SURIANO, M. T.; LUCAS DE SOUZA, L. C.; VIVIANI, E. Classes de quadras urbanas determinadas pelos níveis de ruídos urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, v. 5, n. 2, p. 63-77, jul./dez. 2013.

MESTRE, V. E.; WOOTEN, D. C. Noise impact analysis. In: RAU, J. G.; WOOTEN, D. C. **Environmental impact analysis handbook**. Berkeley, Califórnia: McGraw-Hill, 1980. Chap. 4, p. 70.

MILARÉ, E. **Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco, doutrina, jurisprudência, glossário**. 7. ed. São Paulo: Revista dos tribunais, 2013. 1546 p.

MIRANDA, F. A.; FREITAS, S. R. C.; FAGGION, P. L. Integration and interpolation free air anomalies with basis in an ann and kriging. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, n. 3, p. 428-443, jul./set. 2009.

MORAES, D. A. C.; ZIMBACK, C. R.; SPADOTTO, C. A. Espacialização das estimativas de contaminação de águas subterrâneas por Tebuthiuron. **Irriga**. Botucatu, v. 17, n. 3, p.299-312, jul-set, 2012.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH - NIOSH. **Health Hazards Evaluations: Noise and Hearing Loss: 1986-1997**. Cidade: Editora, 1999. DHHS Publication n. 99-106.

NIDCD. Working Group on Accessible and Affordable Hearing Health Care for Adults with Mild to Moderate Hearing Loss. Bethesda, Maryland, 2009. Disponível em: <<https://www.nidcd.nih.gov/workshops/accessible-and-affordable-hearing-health-care/2009>>. Acesso: 06 nov. 2017.

NIEMEYER, M. L. A. **Conforto Acústico em Ruas do Bairro de São Cristóvão**. Rio de Janeiro: Ed. Pluris, 2010.

NIEMEYER, M. L. A.; SLAMA, J. G. O Ruído e a cidade: elementos de euído Urbano. **Arquitetura: Pesquisa & Projeto**. Vicente del Rio. Rio de Janeiro: PROARQ/FAU/BARROSO-KRAUSE, p. 76-89, 1998.

NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL – NHO. **NHO 01**: Procedimento Técnico. Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído. São Paulo: Fundacentro, 2001. 40 p.

NOGUEIRA, J. D. L.; AMARAL, R. F. do. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...**, Natal, Brasil: INPE, p. 4117-4123, 2009.

OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harper & Row do Brasil. 1982. 490 p.

OLSON, H. F. **Music, physics and engineering**. New York: Dover Publications, 1967. 460 p.

OYLER, A. The American hearing loss epidemic: few of 46 million with hearing loss seek treatment. **The ASHA Leader**, Rockville, MD, v. 17, p. 5–7, 2012.

PEREIRA FILHO, A. Árvores ajudam a reduzir impacto da poluição sonora em SP. São Paulo: G1, 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/verdejando/noticia/2013/09/arvores-ajudam-reduzir-impacto-da-poluicao-sonora-em-sp.html>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

PINTO, D. N.; ARAÚJO, V. M. D.; ARAÚJO, B. C. D.; GOMES, R. N. Impacto do ruído de tráfego: estudo de caso no bairro de Lagoa Nova, Natal-RN. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, GO, v. 6, n. 2, p. 28-37, dez. 2013.

PINTO, F. A. N. C.; MARDONES, M. D. M. Noise mapping of densely populated neighborhoods – example of Copacabana, Rio de Janeiro – Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, Holanda, NL: Kluwer Academic Publishers, v. 155, n.1-4, p. 309-318, 2009.

PRADO, R. C. Estação Meteorológica: dados climáticos da Estação Meteorológica de Botucatu, SP. Botucatu, 2017. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/#!/instituicao/departamentos/solos-recursos-ambientais/sra/estacao-meteorologica/dados-diaricos/>>. Acesso em 10 dez 17.

POSADA, M. I.; ARROYAVE, M. P.; FERNANDEZ, C. Influencia de la vegetación en los niveles de ruido urbano. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín, Colombia, **Revista EIA**, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Antioquia, v. 12, p. 79-89, dez. 2009.

PHILLIPS, S. L.; HENRICH, V. C.; MACE, S. T. Prevalence of noise-induced hearing loss in student musicians. **International Journal of Audiology**, Hamilton, Canada, v. 49, n. 4, p. 309-316, mar. 2010.

SÃO PAULO. Lei Nº 16.499, de 20 de julho de 2016. Dispõe sobre a elaboração do Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo e dá outras providências. **Diário Oficial**, São Paulo, 20 jul. 2016.

RAICHEL, D. R. **The Science and applications of acoustics**. 2 ed. Springer, 2006. 660 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

RODRIGUES, A. J. C. **Barreiras acústicas, uma solução para controlar o ruído em meio urbano**. 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2013.

ROSSI, M. M. **O impacto do ruído urbano na audição**: estudo comparativo entre operadores de tráfego da CET e guardas florestais. 2002. 109 f. Tese (Doutorado em Ciências – Programa de Patologia) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

ROSSI, M.M.; FERREIRA, J. R. O impacto do ruído urbano sobre a audição dos operadores de tráfego. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, Rio de Janeiro, RJ: Associação Nacional de Medicina do Trabalho, v. 2, n. 2, p. 126-132, 2004.

ROSSI, M. M. **Influência da perda auditiva na qualidade de vida de motoristas de ônibus aposentados**. 2011. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ROSSING, T. D. **The Science of Sound**. 2nd ed. Singapura: Addison-Wesley 1990. 660 p.

SANCHO, V. M.; SENCHERMES, A. G. **Curso de acustica en arquitectura**. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1982. 215 p.

SANTOS, L. C.; VALADO, F. The municipal noise map as planning tool. In: **ACÚSTICA**, 2004, Guimarães. **Proceedings...** Guimarães: Universidade do Minho, 2004.

SANTOS, J. B. Geoprocessamento na delimitação de áreas de conflito em áreas de preservação permanente da sub bacia do Córrego Pinheirinho. In: JORNADA LATINOAMERICANA E DO CARIBE DO gvSIG, 3., 2012, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Compartilhando um projeto comum: [anais eletrônicos]. Valencia: Asociación gvSIG, 2011. p. 1-8.

SCARIOT, E. M.; PARANHOS FILHO, A. C.; TORRES, T. G.; VICTORIO, A. C. B. O uso de geotecnologias na elaboração de mapas de ruído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.17, p. 51-60, jan. /mar. 2012.

SEWELL, E. C. Transmission of sound transmission through a single-leaf partition surrounded by an infinite rigid baffle. **Journal of Sound and Vibration**, London, GB: Academic Press, v. 12, n. 1, p. 21–32, 1970.

SILVA, L. F.; CORREIA, F. N. Avaliação da Exposição de Passageiros ao Ruído no Interior de Ônibus do Transporte Público do Município de Itajubá. **CEFAC: Speech, Language, Hearing Sciences and Education Journal**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 57-64, fev. 2012.

SILVA, A. F.; BARBOSA, A. P.; ZIMBACK, C. R. L.; LANDIM, P. M. B. Geoestatística e sensoriamento remoto na classificação de imagens em áreas cultivadas com citros. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 33, n. 6, p. 1245-1256, 2013.

SIU, K.; SUH, I. H.; MUKHERJEE, M.; OLEYNIKOV, D.; HIDE, N.S. The impact of environmental noise on robot-assisted laparoscopic surgical performance. **Surgery**, East Norwalk, Conn., US: Appleton & Lange, v. 147, p. 107-113, 2010.

STEPHENSON, R. J.; VULKAN, G. H. Traffic noise. **Journal of Sound and Vibration**, London, GB: Academic Press, v. 7, n. 2, p. 247-262, 1968.

SLIWINSKA-KOWALSKA, M. Contribution of genetic factors to noise-induced hearing loss. 10th International Congress on Noise as a Public Health Problem, **Anais...** London: ICBE, Institute of Acoustics, London, UK, p.24 – 28, July, 2011.

SLIWINSKA-KOWALSKA, M.; DAVIS, A. Noise-induced hearing loss. **Noise & Health**: Wolters Kluwer Health, Philadelphia, PA, v. 14, p. 274-280, 2012.

SOUZA, J. J. L.; PAUL, S. Ferramentas para uma padronização dos termos utilizados em acústica e vibrações. **Acústica & Vibrações**, Florianópolis, SC: Sociedade Brasileira de Acústica, v. 42, n. 42, p. 6-9, 2010.

SOUZA, L. C. L.; GIUNTA, M. B. Urban indices as environmental noise indicators. computers, **Environment and Urban Systems**, New York, US: Pergamon Press, v. 35, n.5, p. 421-430, 2011.

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. S. D. Ordinary kriging and inverse-square-distance in espacialization in the chemical attributes of the ultisol. **Ciência Agrária**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 73-81, fev. 2010.

SURIANO, M. T.; SOUZA, L. C. L.; SILVA, A. N. R. Ferramenta de apoio à decisão para o controle da poluição sonora urbana. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 7, p. 2201-2210, jul. 2015.

SZABO, T. L. **Diagnostic Ultrasound Imaging**: inside out. Burlington: Academic Press, 2004. 571 p.

TAYLOR, B. N.; THOMPSON, A. **The International System of Units (SI)** - NIST Special Publication. National Inst. Stand. Technol. Spec. Pub., Gaithersburg, v. 330, Ed. 2008, 96 pages, Mar. 2008.

TUCKER, D.; GAGE, S.; WILLIAMSON, I.; FULLER, S. Linking ecological condition and the soundscape in fragmented Australian forests. **Landscape Ecology**, Dordrecht, Holanda, NL: Kluwer Academic Publishers, v. 29, p. 745–758, 2014.

TYAGI, V.; KUMAR, K.; JAIN, V. K. A study of the spectral characteristics of traffic noise attenuation by vegetation belts in Delhi. **Applied Acoustics**, Amsterdam, NL, v. 67, n. 9, p. 926-935, 2006.

UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Federal Highway Administration. Fundamentals and Abatement of Highway Traffic Noise. Washington, DC: Editora, 1973. (FHWA Report).

VENTURA, J. **Implementação e comparação de dois métodos para elaboração de mapas de ruído: observação e cálculo**. In: III Congresso Íbero-Americano de Acústica, Évora, Portugal, 2012. **Anais...**, p. 1-10, 2012.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists: Statistics in Practice**. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 265 p.

WHITE, H. E.; WHITE D. H. **Physics and music**: the science of musical sound. New York: Dover Books on Physics, 2014. 422 p.

WOJCIECHOWSKI, J. C.; VALDIR SCHUMACHER, M.; FONSECA PIRES, C. A. da; MADRUGA, P. R. de A.; KILCA, R. de V.; BRUN, E. J.; SILVA, C. R. S. da; VACCARO, S.; RONDON NETO, R. M. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de Floresta Estacional Decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, Brasil, v. 19, n. 4, p.383-391, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Community noise**. Stockholm: Center for Sensory Research, 2011. 12 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION- WHO. **Multi-country assessment of national capacity to provide hearing care**. Stockholm: Center for Sensory Research, 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Health and sustainable development – noise**. Stockholm: Center for Sensory Research, [2017?]. Disponível em:

<<http://www.who.int/sustainable-development/transport/health-risks/noise/en/>>.
Acesso em: 05 nov. 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **International Society of Hypertension Guidelines for the Management of Hypertension**. Stockholm: Guidelines Subcommittee, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guide Lines for Communitie Noise**. London: Stockholm University and Karolinska Institute, 1980.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for comunity noise**. London, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. **Burden of disease from environmental noise**: quantification of healthy life years lost in Europe. Stockholm: Center for Sensory Research, 2011.

ZAJARKIEWICCH, D. F. B. **Poluição sonora urbana**: principais fontes - aspectos jurídicos e técnicos. 2010. 235 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2010.

ZANNIN, P. H. T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F. B. D.; FERREIRA, J. A. C.; SCHULLER, R. Incômodo causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 521-524, 2002.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

APÊNDICE A – Valores de L_{Aeq} obtidos para cada um dos 96 pontos da Zona Central de Botucatu, SP

Ponto	Coordenadas		$L_{Aeq\ 1}$	$L_{Aeq\ 2}$	$L_{Aeq\ 3}$	L_{Aeq}	$V_{Máximo}$
	X	Y	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	Médio [dB(A)]	de dB(A)
1	48°26'36.05"O	22°52'38.32"S	71,6	69,5	73,2	71,4	87,1
2	48°26'36.80"O	22°52'44.70"S	65,8	66,7	68,9	67,1	89,3
3	48°26'37.60"O	22°52'51.11"S	66,2	63,8	67,9	66,0	84,3
4	48°26'38.47"O	22°52'57.42"S	70,3	66,7	71,4	69,5	89,3
5	48°26'39.32"O	22°53'3.49"S	66,4	64,6	68,9	66,6	84,7
6	48°26'39.65"O	22°53'5.75"S	67,2	56,2	65,0	62,8	90,8
7	48°26'39.93"O	22°53'7.92"S	67,9	65,7	68,5	67,4	83,2
8	48°26'40.14"O	22°53'11.19"S	67,9	65,7	68,5	67,4	88,3
9	48°26'40.40"O	22°53'14.16"S	71,0	65,0	68,1	68,0	87,2
10	48°26'40.78"O	22°53'17.29"S	66,2	65,5	67,8	66,5	88,1
11	48°26'41.28"O	22°53'23.57"S	64,5	63,9	64,2	64,2	79,8
12	48°26'41.83"O	22°53'30.72"S	65,4	63,7	64,6	64,6	80,5
13	48°26'42.47"O	22°53'37.00"S	71,0	63,7	67,4	67,4	80,5
14	48°26'43.16"O	22°53'46.31"S	60,7	48,1	60,0	56,3	80,6
15	48°26'47.28"O	22°53'47.78"S	64,9	61,9	65,0	63,9	88,3
16	48°26'41.30"O	22°52'47.66"S	69,5	59,8	64,7	64,7	78,3
17	48°26'41.96"O	22°52'54.08"S	60,6	49,5	55,1	55,1	72,3
18	48°26'42.61"O	22°53'0.50"S	63,2	59,3	70,2	64,2	77,3
19	48°26'42.95"O	22°53'3.09"S	64,9	60,7	70,9	65,5	80,8
20	48°26'43.46"O	22°53'7.87"S	64,9	58,9	70,4	64,7	77,4
21	48°26'44.04"O	22°53'13.92"S	63,5	65,5	67,6	65,5	92,1
22	48°26'44.24"O	22°53'17.11"S	65,0	62,1	63,8	63,6	80,1
23	48°26'44.53"O	22°53'20.21"S	59,8	56,4	55,5	57,2	79,3
24	48°26'45.34"O	22°53'27.39"S	60,6	62,2	61,4	61,4	79,8
25	48°26'49.54"O	22°53'33.12"S	61,8	47,6	62,1	57,2	81,5
26	48°26'46.69"O	22°53'40.26"S	66,8	62,6	65,2	64,9	85,8
27	48°26'52.69"O	22°53'45.29"S	63,9	66,0	67,0	65,6	86,6
28	48°26'48.36"O	22°53'58.17"S	57,2	57,3	56,7	57,1	76,8
29	48°26'45.18"O	22°52'50.70"S	63	49,2	57,3	56,5	74,2
30	48°26'45.93"O	22°52'57.07"S	64,1	56,8	60,7	60,5	81,6
31	48°26'48.39"O	22°52'44.19"S	57,8	57,5	61,6	59,0	80,2
32	48°26'48.90"O	22°52'53.72"S	57,3	40,6	59,5	52,5	70,8
33	48°26'49.38"O	22°52'59.93"S	65	56,4	63,4	61,6	84,2
34	48°26'55.19"O	22°52'53.35"S	68,3	60,4	68,8	65,8	76,3
35	48°26'52.88"O	22°53'8.34"S	67	59,4	65,7	64,0	71,1
36	48°26'51.65"O	22°53'13.55"S	55,5	57,7	60	57,7	83,2
37	48°26'48.21"O	22°53'16.71"S	62,2	53,2	62,3	59,2	81,6
38	48°26'48.66"O	22°53'22.85"S	73,2	69,0	65,0	69,1	81,6
39	48°26'52.59"O	22°53'26.99"S	60,6	61,8	71,6	64,7	81,5

Valores de LAeq obtidos para cada um dos 96 pontos da Zona Central de Botucatu, SP (continuação)

Ponto	Coordenadas		L _{Aeq} 1 [dB(A)]	L _{Aeq} 2 [dB(A)]	L _{Aeq} 3 [dB(A)]	L _{Aeq} Médio [dB(A)]	V _{Máximo} de dB(A)
	X	Y	Z	Z	Z	Z	
40	48°26'53.90"O	22°53'38.87"S	61,9	69,2	69,9	67,0	86,6
41	48°27'0.72"O	22°53'43.94"S	54,9	54,1	59,1	56,0	75,3
42	48°26'35.78"O	22°52'54.41"S	63,4	63,4	65,8	64,2	87,3
43	48°26'36.18"O	22°53'0.51"S	63,4	57,3	66,3	62,3	82,8
44	48°26'36.66"O	22°53'5.93"S	67,1	59,6	65,8	64,2	84,2
45	48°26'37.18"O	22°53'14.48"S	68,8	66,1	67,2	67,4	89,5
46	48°26'37.59"O	22°53'20.85"S	70,0	60,6	59,4	63,3	79,7
47	48°26'37.85"O	22°53'27.74"S	68,3	78,6	70,6	72,5	88,9
48	48°26'38.34"O	22°53'34.06"S	65,6	71	59,9	65,5	80,5
49	48°26'38.78"O	22°53'40.86"S	59,2	68,8	57,4	61,8	80,6
50	48°26'39.49"O	22°53'49.15"S	68,4	67,9	69,9	68,7	87,9
51	48°26'40.15"O	22°53'59.03"S	63,4	62,7	68,7	64,9	81,4
52	48°26'40.87"O	22°54'13.19"S	54,7	56,7	66,5	59,3	76,4
53	48°26'31.84"O	22°52'48.09"S	70,2	65,3	70,5	68,7	86,1
54	48°26'32.23"O	22°52'57.67"S	56,6	56,6	63,3	58,8	78,0
55	48°26'32.65"O	22°53'3.50"S	66,6	68,0	70,0	68,2	85,1
56	48°26'33.36"O	22°53'11.49"S	71,2	69,9	71,9	71,0	94,9
57	48°26'33.91"O	22°53'17.94"S	64,2	56,3	64,0	61,5	84,3
58	48°26'34.15"O	22°53'24.36"S	67,2	78,3	71,2	72,2	94,9
59	48°26'34.69"O	22°53'31.17"S	70,6	67,9	71,2	69,9	88,9
60	48°26'35.70"O	22°53'44.47"S	64,3	51,6	62,0	59,3	69,3
61	48°26'36.48"O	22°53'55.03"S	67,7	50,6	60,5	59,6	82,2
62	48°26'37.44"O	22°54'6.08"S	60,8	52,5	63,4	58,9	74,2
63	48°26'28.65"O	22°52'53.87"S	70,6	69,8	71,9	70,8	93,7
64	48°26'28.94"O	22°53'0.97"S	67,2	70,4	71,3	69,6	92,5
65	48°26'29.65"O	22°53'8.37"S	72,2	63,3	68,8	68,1	87,0
66	48°26'30.07"O	22°53'15.05"S	69,1	68,6	71,0	69,6	89,9
67	48°26'30.43"O	22°53'21.45"S	66,9	70,1	63,5	66,8	88,3
68	48°26'30.90"O	22°53'28.08"S	77,3	66,2	67,2	70,2	92,5
69	48°26'31.61"O	22°53'37.76"S	72,2	68,2	70	70,1	87,0
70	48°26'32.35"O	22°53'48.23"S	65,5	62,7	67,4	65,2	86,0
71	48°26'33.17"O	22°53'58.98"S	65,5	60,3	66,6	64,1	82,3
72	48°26'33.99"O	22°54'9.77"S	65,4	51,1	65,2	60,6	80,7
73	48°26'34.60"O	22°54'20.61"S	66,6	64,4	67,8	66,3	84,8
74	48°26'25.82"O	22°52'58.86"S	69,9	76,4	70,6	72,3	93,4
75	48°26'25.91"O	22°53'6.48"S	66,8	57,6	62,2	62,2	74,9
76	48°26'26.55"O	22°53'15.26"S	69,6	68,3	70,2	69,4	87,9
77	48°26'26.64"O	22°53'18.48"S	68,4	61,1	69,5	66,3	84,0
78	48°26'27.20"O	22°53'24.95"S	65,2	60,0	64,3	63,2	83,1

Valores de L_{Aeq} obtidos para cada um dos 96 pontos da Zona Central de Botucatu, SP (continuação)

Ponto	Coordenadas		$L_{Aeq\ 1}$	$L_{Aeq\ 2}$	$L_{Aeq\ 3}$	$L_{Aeq\ Médio}$	$V_{Máximo\ de}$
	X	Y	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	dB(A)
79	48°26'27.90"O	22°53'31.60"S	59,7	60,8	66,6	62,4	78,0
80	48°26'28.70"O	22°53'41.71"S	66,5	62,9	67,6	65,7	83,0
81	48°26'29.61"O	22°53'52.03"S	71,1	68,7	72,1	70,6	93,0
82	48°26'30.68"O	22°54'3.05"S	68,1	66,9	68,9	68,0	88,2
83	48°26'31.79"O	22°54'13.81"S	66,5	60,8	64,9	64,1	85,5
84	48°26'22.32"O	22°52'53.99"S	72,0	67,9	72,1	70,7	86,9
85	48°26'22.53"O	22°52'58.38"S	65,8	69,7	70,4	68,6	89,3
86	48°26'22.77"O	22°53'3.65"S	66,2	65,4	65,6	65,7	84,2
87	48°26'23.46"O	22°53'12.03"S	71,8	68,2	69,2	69,7	87,9
88	48°26'24.31"O	22°53'21.96"S	59,8	70,4	55,5	61,9	79,3
89	48°26'24.67"O	22°53'28.39"S	64,9	70,4	56,9	64,1	77,4
90	48°26'25.53"O	22°53'38.20"S	51,1	65,2	65,4	60,6	80,7
91	48°26'26.39"O	22°53'48.67"S	62,9	67,6	67,3	65,9	83,0
92	48°26'27.17"O	22°53'59.40"S	60,3	64,0	66,6	63,6	82,3
93	48°26'20.14"O	22°53'15.64"S	60,2	53,1	60,4	57,9	81,2
94	48°26'20.81"O	22°53'25.73"S	62,7	64,1	73,1	66,6	86,0
95	48°26'21.35"O	22°53'32.09"S	60,0	61,3	70,2	63,8	83,1
96	48°26'22.67"O	22°53'45.83"S	68,3	61,1	69,5	66,3	87,9

APÊNDICE B – Quadro síntese das medições realizadas na Etapa II – mapeamento

Quadro 1 – Síntese das medições realizadas.

<ul style="list-style-type: none"> • 1 ponto apenas obteve L_{Aeq} médio abaixo de 55 dB(A): <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <tr> <td>32</td> <td>52,5</td> </tr> </table> 	32	52,5	<ul style="list-style-type: none"> • 37 pontos obtiveram L_{Aeq} médio entre 65 e 70 dB(A): <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <tr><td>59</td><td>69,9</td><td>40</td><td>67,0</td></tr> <tr><td>87</td><td>69,7</td><td>67</td><td>66,8</td></tr> <tr><td>64</td><td>69,6</td><td>5</td><td>66,6</td></tr> <tr><td>66</td><td>69,6</td><td>94</td><td>66,6</td></tr> <tr><td>4</td><td>69,5</td><td>10</td><td>66,5</td></tr> <tr><td>76</td><td>69,4</td><td>77</td><td>66,3</td></tr> <tr><td>38</td><td>69,1</td><td>96</td><td>66,3</td></tr> <tr><td>50</td><td>68,7</td><td>73</td><td>66,3</td></tr> <tr><td>53</td><td>68,7</td><td>3</td><td>66,0</td></tr> <tr><td>85</td><td>68,6</td><td>91</td><td>65,9</td></tr> <tr><td>55</td><td>68,2</td><td>34</td><td>65,8</td></tr> <tr><td>65</td><td>68,1</td><td>86</td><td>65,7</td></tr> <tr><td>9</td><td>68,0</td><td>80</td><td>65,7</td></tr> <tr><td>82</td><td>68,0</td><td>27</td><td>65,6</td></tr> <tr><td>7</td><td>67,4</td><td>21</td><td>65,5</td></tr> <tr><td>8</td><td>67,4</td><td>19</td><td>65,5</td></tr> <tr><td>13</td><td>67,4</td><td>48</td><td>65,5</td></tr> <tr><td>45</td><td>67,4</td><td>70</td><td>65,2</td></tr> <tr><td>2</td><td>67,1</td><td></td><td></td></tr> </table> 	59	69,9	40	67,0	87	69,7	67	66,8	64	69,6	5	66,6	66	69,6	94	66,6	4	69,5	10	66,5	76	69,4	77	66,3	38	69,1	96	66,3	50	68,7	73	66,3	53	68,7	3	66,0	85	68,6	91	65,9	55	68,2	34	65,8	65	68,1	86	65,7	9	68,0	80	65,7	82	68,0	27	65,6	7	67,4	21	65,5	8	67,4	19	65,5	13	67,4	48	65,5	45	67,4	70	65,2	2	67,1								
32	52,5																																																																																				
59	69,9	40	67,0																																																																																		
87	69,7	67	66,8																																																																																		
64	69,6	5	66,6																																																																																		
66	69,6	94	66,6																																																																																		
4	69,5	10	66,5																																																																																		
76	69,4	77	66,3																																																																																		
38	69,1	96	66,3																																																																																		
50	68,7	73	66,3																																																																																		
53	68,7	3	66,0																																																																																		
85	68,6	91	65,9																																																																																		
55	68,2	34	65,8																																																																																		
65	68,1	86	65,7																																																																																		
9	68,0	80	65,7																																																																																		
82	68,0	27	65,6																																																																																		
7	67,4	21	65,5																																																																																		
8	67,4	19	65,5																																																																																		
13	67,4	48	65,5																																																																																		
45	67,4	70	65,2																																																																																		
2	67,1																																																																																				
<ul style="list-style-type: none"> • 16 pontos obtiveram L_{Aeq} médio entre 55 e 60 dB(A): <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <tr><td>61</td><td>59,6</td><td>36</td><td>57,7</td></tr> <tr><td>52</td><td>59,3</td><td>23</td><td>57,2</td></tr> <tr><td>60</td><td>59,1</td><td>25</td><td>57,2</td></tr> <tr><td>37</td><td>59,2</td><td>28</td><td>57,1</td></tr> <tr><td>31</td><td>59,0</td><td>29</td><td>56,5</td></tr> <tr><td>62</td><td>58,9</td><td>14</td><td>56,3</td></tr> <tr><td>54</td><td>58,8</td><td>41</td><td>56,0</td></tr> <tr><td>93</td><td>57,9</td><td>17</td><td>55,1</td></tr> </table> 	61	59,6	36	57,7	52	59,3	23	57,2	60	59,1	25	57,2	37	59,2	28	57,1	31	59,0	29	56,5	62	58,9	14	56,3	54	58,8	41	56,0	93	57,9	17	55,1																																																					
61	59,6	36	57,7																																																																																		
52	59,3	23	57,2																																																																																		
60	59,1	25	57,2																																																																																		
37	59,2	28	57,1																																																																																		
31	59,0	29	56,5																																																																																		
62	58,9	14	56,3																																																																																		
54	58,8	41	56,0																																																																																		
93	57,9	17	55,1																																																																																		
<ul style="list-style-type: none"> • 32 pontos obtiveram L_{Aeq} médio entre 60 e 65 dB(A): <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <tr><td>51</td><td>64,9</td><td>22</td><td>63,6</td></tr> <tr><td>26</td><td>64,9</td><td>92</td><td>63,6</td></tr> <tr><td>20</td><td>64,7</td><td>46</td><td>63,3</td></tr> <tr><td>16</td><td>64,7</td><td>78</td><td>63,2</td></tr> <tr><td>39</td><td>64,7</td><td>6</td><td>62,8</td></tr> <tr><td>12</td><td>64,6</td><td>79</td><td>62,4</td></tr> <tr><td>18</td><td>64,2</td><td>43</td><td>62,3</td></tr> <tr><td>11</td><td>64,2</td><td>75</td><td>62,2</td></tr> <tr><td>42</td><td>64,2</td><td>88</td><td>61,9</td></tr> <tr><td>44</td><td>64,2</td><td>49</td><td>61,8</td></tr> <tr><td>71</td><td>64,1</td><td>33</td><td>61,6</td></tr> <tr><td>89</td><td>64,1</td><td>57</td><td>61,5</td></tr> <tr><td>83</td><td>64,1</td><td>24</td><td>61,4</td></tr> <tr><td>35</td><td>64,0</td><td>90</td><td>60,6</td></tr> <tr><td>15</td><td>63,9</td><td>72</td><td>60,6</td></tr> <tr><td>95</td><td>63,8</td><td>30</td><td>60,5</td></tr> </table> 	51	64,9	22	63,6	26	64,9	92	63,6	20	64,7	46	63,3	16	64,7	78	63,2	39	64,7	6	62,8	12	64,6	79	62,4	18	64,2	43	62,3	11	64,2	75	62,2	42	64,2	88	61,9	44	64,2	49	61,8	71	64,1	33	61,6	89	64,1	57	61,5	83	64,1	24	61,4	35	64,0	90	60,6	15	63,9	72	60,6	95	63,8	30	60,5	<ul style="list-style-type: none"> • 10 pontos obtiveram L_{Aeq} médio acima de 70dB(A): <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <tr><td>47</td><td>72,5</td></tr> <tr><td>74</td><td>72,3</td></tr> <tr><td>58</td><td>72,2</td></tr> <tr><td>1</td><td>71,4</td></tr> <tr><td>56</td><td>71,0</td></tr> <tr><td>63</td><td>70,8</td></tr> <tr><td>84</td><td>70,7</td></tr> <tr><td>81</td><td>70,6</td></tr> <tr><td>68</td><td>70,2</td></tr> <tr><td>69</td><td>70,1</td></tr> </table> 	47	72,5	74	72,3	58	72,2	1	71,4	56	71,0	63	70,8	84	70,7	81	70,6	68	70,2	69	70,1
51	64,9	22	63,6																																																																																		
26	64,9	92	63,6																																																																																		
20	64,7	46	63,3																																																																																		
16	64,7	78	63,2																																																																																		
39	64,7	6	62,8																																																																																		
12	64,6	79	62,4																																																																																		
18	64,2	43	62,3																																																																																		
11	64,2	75	62,2																																																																																		
42	64,2	88	61,9																																																																																		
44	64,2	49	61,8																																																																																		
71	64,1	33	61,6																																																																																		
89	64,1	57	61,5																																																																																		
83	64,1	24	61,4																																																																																		
35	64,0	90	60,6																																																																																		
15	63,9	72	60,6																																																																																		
95	63,8	30	60,5																																																																																		
47	72,5																																																																																				
74	72,3																																																																																				
58	72,2																																																																																				
1	71,4																																																																																				
56	71,0																																																																																				
63	70,8																																																																																				
84	70,7																																																																																				
81	70,6																																																																																				
68	70,2																																																																																				
69	70,1																																																																																				

**APÊNDICE C – Condições Climáticas dos dias de levantamento de campo da
Etapa II – mapeamento**

	Temperatura Média (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Velocidade do Vento (m/s)
09/10/2017	26,2	57,3	1,4
07/11/2017	18,4	72,7	2,6
09/11/2017	20,5	76,7	0,8
10/11/2017	22,7	76,9	1,3
17/11/2017	21,7	74,8	1,2
20/11/2017	20,8	77,5	1,8
21/11/2017	20,9	76,1	0,4
22/11/2017	20,1	78,0	1,9
23/11/2017	19,5	73,4	1,6
Média	20,8	76	1,4
Desvio Padrão	1,56	3,93	0,47