

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MELINA NAGATA BELTRANE

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA NA REESTRUTURAÇÃO DE VIAS NA
CIDADE DE CURITIBA-PR

Trabalho da disciplina TT037 – Projeto Final de
Engenharia Ambiental II, do curso de Engenharia
Ambiental da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Paulo Henrique Trombetta Zannin

CURITIBA
DEZEMBRO/2014



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

MELINA NAGATA BELTRANE

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA NA REESTRUTURAÇÃO DE VIAS NA CIDADE DE CURITIBA-PR

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 8,5, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): Paulo Henrique Trombetta Zannin
Nome do(a) Professor(a) Orientador(a)
Departamento / Instituição do(a) Orientador(a)

Membro(a) 1: Sigrid Andersen
Nome do(a) Membro(a) Examinador 1
Departamento / Instituição do(a) Membro(a) 1

Membro(a) 2: Bani Szeremeta
Nome do(a) Membro(a) Examinador 2
Departamento / Instituição do(a) Membro(a) 2

Curitiba, 05 de dezembro de 2014

Aos nossos pais e familiares, que foram grandes incentivadores e que sempre acreditaram nos nossos sonhos

AGRADECIMENTOS

A Deus, o meu eterno agradecimento pela vida e proteção.

Ao Professor Dr-Ing Paulo Henrique Trombetta Zannin pela orientação, apoio, dedicação, confiança, paciência, honestidade e amizade.

Aos meus pais, José Carlos Beltrane e Mary Nagata Beltrane, e irmão, Vinícius Nagata Beltrane, pela compreensão, paciência, apoio e amor.

Ao Fernando Bunn, pelo companheirismo, amizade, confiança, apoio, paciência e incentivo.

Aos meus queridos amigos Gabriele, Rena, Patrícia, Érika, Rodrigo, Gabriel, Leon, João e Rafael, pelo companheirismo, paciência, amizade, apoio nos momentos necessários e colaboração, de forma direta ou indireta, na realização deste trabalho.

RESUMO

Como toda grande capital em desenvolvimento, o município de Curitiba se enquadra entre as cidades que mais cresceram em população nas últimas décadas, sendo que áreas antes pouco habitadas tornaram-se cada vez mais ocupadas. Com isso agrega à sua vida a poluição sonora caracterizada pelo ruído urbano. O presente estudo tem por objetivo estudar o impacto ambiental sonoro gerado pelo tráfego rodoviário, através de medições *in situ* e mapeamento acústico, em regiões que receberam alteração de infraestrutura, tais como revitalização de vias e construção de trincheiras. Além disso, esse estudo mostra a comparação entre a situação anterior e posterior as intervenções. A coleta de dados para a situação anterior à reestruturação nas regiões foi realizada pelo Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA), da UFPR, no ano de 2011. Para avaliar a situação posterior foram seguidas as seguintes etapas: 1) definição dos locais avaliados; 2) reconhecimento das fontes de ruído presentes nos locais; 3) coleta de dados em campo; 4) tabulação dos dados coletados; 5) elaboração do mapeamento acústico; 6) comparação dos resultados nas duas situações: pré-obra e pós-obra; e 7) avaliação conclusiva. As regiões avaliadas neste estudo foram nomeadas segundo o Programa Pró-Cidades, responsável pelas intervenções no município de Curitiba, e são: Avenida Fredolin Wolf, Trincheira Chile e Trincheira Gustavo Rattman. Para caracterizar a poluição sonora nas regiões foram realizadas no total 23 e 28 medições de níveis sonoros anteriores e posteriores às reestruturações, respectivamente. As medições foram realizadas conforme recomendações da norma NBR 10151/2000 e a elaboração dos mapas acústicos foi feita através do software Predictor 8.11. As medições e os mapas de ruído apresentados indicam que as regiões já estavam poluídas acusticamente na situação pré-obra, e hoje, com o aumento do número de veículos em circulação nas regiões, os impactos ambientais ocasionados pelo ruído rodoviário são ainda mais agravantes. Sendo assim, é necessário um planejamento urbano de cada região a fim de implantar medidas mitigatórias (Ex. redução de velocidade, diminuição do tráfego de veículos pesados, manutenção do pavimento, entre outros) para combater o ruído de maneira eficiente.

ABSTRACT

As any other large developing capital, the municipality of Curitiba is among the fastest-growing cities in the past decades in terms of population, and its previously sparsely populated areas have become increasingly occupied. This has been accompanied by increasing levels of urban noise pollution. This study aims at examining the environmental noise impact caused by road traffic, by means of on-site measurements and acoustic mapping, in regions which have been the object of infrastructural changes, such as the revitalization of roads and the construction of underpasses. In addition, this study draws a comparison between the situation prior and posterior to the interventions. Data collection for the situation prior to the restructuring of the regions was performed by the Laboratory of Environmental and Industrial Acoustics and Acoustic Comfort of the Federal University of Paraná, in 2011. For the evaluation of the posterior situation the following steps have been followed: 1) definition of evaluated sites; 2) identification of noise sources present at those sites; 3) collection of field data; 4) tabulation of collected data; 5) elaboration of the acoustic mapping; 6) comparison between the results from both situations, prior and posterior to the intervention; 7) conclusive evaluation. The regions evaluated in this study were named according to the Pró-Cidades Program, responsible for the interventions in the municipality of Curitiba, and are: Avenida Fredolin Wolf, Trincheira Chile and Trincheira Gustavo Rattman. In order to characterize noise pollution in the regions, a total of 23 and 28 measurements were performed of noise levels prior and posterior to the restructuring, respectively. The measurements were performed in compliance with recommendations of the NBR 10151/2000 standard and the elaboration of the acoustic maps was made by means of the Predictor 8.11 software. The measurements and the acoustic maps presented indicate that the regions had already been acoustically polluted in the situation prior to the intervention, and at present, with the growth in the number of circulating vehicles in the regions, the environmental impacts caused by road noise are even more aggravating. Thus, urban planning of each region is necessary in order to implement mitigating measures (such as speed and heavy traffic reduction, pavement maintenance, among others) to efficiently tackle noise.

Sumário

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
Lista de Tabelas	x
Lista de Gráficos.....	xi
Lista de Fotos	xii
Lista de Figuras	xiii
1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Considerações iniciais	16
2. OBJETIVO	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivo Específico	18
3. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	19
4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA	20
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
5.1. Som e ruído.....	21
5.2 Escalas para ruído – o decibel	21
5.4 Propriedades do som.....	22
5.4.2 Fonte Sonora.....	22
5.4.3 Pressão Sonora.....	23
5.5 Medição do ruído.....	23
5.5.1 Nível de Pressão Sonora	23
5.5.2 Nível de pressão sonora equivalente	27
5.6 Aspectos normativos	28
5.6.1 NBR 10151 (2000)	28
5.6.2 Lei Municipal de Curitiba Nº 10.625 (2002).....	29
5.7 Danos causados pela exposição ao ruído.....	31
5.8 Percepção e incômodo aos níveis de ruído	32
5.9 Emissão e Imissão sonora.....	33
5.9.1 Ruído Ambiental	33
5.9.2 Ruído de Tráfego	34

5.10 Impactos do Ruído no meio ambiente	35
5.10.1 Impactos e Local.....	35
5.10.2 Determinação da natureza e escala de impactos.....	35
5.10.3 Avaliação de Impactos de Ruído	39
5.10.4 Medição de Níveis Sonoros	39
5.10.5 Instrumentos de Medição	39
5.10.6 Previsão de Níveis de Ruído.....	40
5.11 Programa Pró-Cidades	40
5.12 Trincheiras	44
5.13 Mapeamento acústico	46
5.13.1 Modelo de Ruído ISO 9613-2	48
6. MATERIAIS E MÉTODOS	52
6.1 Objeto de Estudo.....	53
6.1.1 O Pré-Obra.....	53
6.1.2 Avenida Fredolin Wolf.....	57
6.1.3 Trincheira Chile	60
6.1.4 Trincheira Gustavo Rattman.....	63
6.2 Procedimentos de medição	65
6.3 Tabulação dos dados coletados	70
6.4 Mapeamento Acústico	70
6.4.1 Confecção dos modelos	72
6.4.2 Calibração do modelo.....	74
6.4.3 Cálculo do mapeamento	74
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
7.1 AVENIDA FREDOLIN WOLF	76
7.1.1 Pré-Obra	76
7.1.2 Pós-Obra	82
7.2 TRINCHEIRA CHILE	90
7.2.1 Pré-Obra	90
7.2.2 Pós-Obra	93
7.3 TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMANN	96

7.3.1 Pré Obra.....	96
7.3.2 Pós Obra	99
8. CONCLUSÕES.....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

Lista de Tabelas

Tabela 1: COMPARAÇÃO PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	22
Tabela 2: AUMENTO DE 6 dB PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA QUANDO A PRESSÃO SONORA DOBRA.....	26
Tabela 3: AUMENTO DE 20 dB PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA QUANDO A PRESSÃO SONORA É MULTIPLICADA POR 10	27
Tabela 4: NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO NCA PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM dB(A)	29
Tabela 5 – LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDO – LEI MUNICIPAL 10.625/02 (Laeq)	30
Tabela 6 – LIMITE MÁXIMO PARA CADA ZONA DA AVENIDA FREDOLIN WOLF	60
Tabela 7 – LIMITE MÁXIMO PARA CADA ZONA DA TRINCHEIRA CHILE.....	63
Tabela 8 – LIMITE MÁXIMO PARA CADA ZONA DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN	65
Tabela 9 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PRÉ-OBRA AV. FREDOLIN WOLF ...	76
Tabela 10 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PÓS-OBRA AV. FREDOLIN WOLF .	82
Tabela 11 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PRÉ-OBRA TRINCHEIRA CHILE	90
Tabela 12 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PÓS-OBRA TRINCHEIRA CHILE	93
Tabela 13 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PRÉ-OBRA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN	96
Tabela 14 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PÓS-OBRA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN	99

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – NÍVEIS MEDIDOS SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA PARA A AVENIDA FREDOLIN WOLF	75
Gráfico 2 – NÍVEIS MEDIDOS E SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA PARA A AV. FREDOLIN WOLF	82
Gráfico 3 – NÍVEIS MEDIDOS E SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA PARA A TRINCHEIRA CHILE	89
Gráfico 4 – NÍVEIS MEDIDOS E SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA PARA TRINCHEIRA CHILE	92
Gráfico 5 – NÍVEIS MEDIDOS E SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA PARA A TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN.....	95
Gráfico 6 – NÍVEIS MEDIDOS E SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA PARA A TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN.....	98

Lista de Fotos

Foto 1 – MEDIÇÃO NA AV. FREDOLIN WOLF NO PRÉ-OBRA	51
Foto 2 – MEDIÇÃO NA TRINCHEIRA CHILE NO PRÉ-OBRA	52
Foto 3 – MEDIÇÃO NA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN NO PRÉ-OBRA	54
Foto 4 – O EQUIPAMENTO COM O PROTETOR DE VENTO	65
Foto 5 – MEDIÇÃO EM CAMPO	67
Foto 6 – MEDIÇÃO EM CAMPO	67
Foto 7 – MEDIÇÃO NA AV. FREDOLIN WOLF NO PÓS-OBRA	67
Foto 8 – MEDIÇÃO NA AV. FREDOLIN WOLF NO PÓS-OBRA	67
Foto 9 – MEDIÇÃO NA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN NO PÓS-OBRA	68
Foto 10 – MEDIÇÃO NA TRINCHEIRA CHILE NO PÓS-OBRA	68
Foto 11 – MEDIÇÃO NA TRINCHEIRA CHILE NO PÓS-OBRA	68
Foto 12 – PLACA DA AVENIDA FREDOLIN WOLF	68

Lista de Figuras

Figura 1 – “QUAIS SÃO OS RUÍDOS QUE INCOMODAM?”	33
Figura 2 – EQUIVALÊNCIA ACÚSTICA ENTRE VEÍCULO PESADO E VEÍCULOS LEVES FONTE.....	36
Figura 3 – POSIÇÃO RELATIVA DA VIA E DO RECEPTOR	37
Figura 4 – DUPLICANDO A DISTÂNCIA ENTRE A VIA E O RECEPTOR, HÁ UM DECRÉSCIMO DE 3 dB NO NÍVEL SONORO	38
Figura 5 – PARTES CONSTITUINTES DE UMA PONTE	45
Figura 6 – PONTOS AVALIADOS NA REGIÃO DA TRINCHEIRA CHILE NO PRÉ-OBRA	55
Figura 7 – AVALIAÇÃO na região da trincheira GUSTAVO RATTMAN no pré-obra	56
Figura 8 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 01 A 03 NA AV. FREDOLIN WOLF.....	58
Figura 9 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 04 A 06 NA AV. FREDOLIN WOLF.....	58
Figura 10 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 07 A 09 NA AV. FREDOLIN WOLF.....	59
Figura 11 – ZONEAMENTO URBANO NAS PROXIMIDADES DA AVENIDA FREDOLIN WOLF	60
Figura 12 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 01 A 03 NA RUA CHILE.....	61
Figura 13 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 04 E 05 DA RUA CHILE E PONTOS 06 E 07 DA AVENIDA COMENDADOR FRANCO	62
Figura 14 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 08 E 09 DA AVENIDA COMENDADOR FRANCO	62
Figura 15 – Zoneamento nas proximidades da TRINCHEIRA CHILE	63
Figura 16 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 01 A 10 NA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN.....	64
Figura 17 – ZONEAMENTO NAS PROXIMIDADES DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN.....	65
Figura 18 – DISTÂNCIAS TOMADAS AO POSICIONAR O MEDIDOR EM CAMPO	66
Figura 19 – TOPOGRAFIA COM CURVAS DE 5 EM 5 METROS DA CIDADE DE CURITIBA IMPORTADAS NO SOFTWARE PREDICTOR	72
Figura 20 – EXEMPLO DE UMA ORTOFOTOCARTA DA CIDADE DE CURITIBA IMPORTADA NO SOFTWARE PREDICTOR	73
Figura 21 – ESCALA DE CORES RELACIONADA AOS NÍVEIS SONOROS	75

Figura 22 – VISÃO 3D NA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF.....	78
Figura 23 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA.....	78
Figura 24 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA – trecho 1.....	79
Figura 25 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA – trecho 2.....	80
Figura 26 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA – trecho 3.....	81
Figura 27 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA – trecho 4.....	82
Figura 28 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO Pós-OBRA.....	85
Figura 29 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO Pós-OBRA – trecho 1.....	86
Figura 30 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO Pós-OBRA – trecho 2.....	87
Figura 31 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO Pós-OBRA – trecho 3.....	88
Figura 32 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO Pós-OBRA – trecho 4.....	89
Figura 33 – VISÃO 3D NA REGIÃO DA TRINCHEIRA CHILE.....	91
Figura 34 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA TRINCHEIRA CHILE PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA.....	92
Figura 35 – VISÃO 3D NA REGIÃO DA TRINCHEIRA CHILE no pós-obra.....	95
Figura 36 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA TRINCHEIRA CHILE PARA A SITUAÇÃO Pós-OBRA.....	95
Figura 37 – VISÃO 3D NA REGIÃO DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN no pré-obra.....	98
Figura 38 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA.....	98
Figura 39 – VISÃO 3D NA REGIÃO DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN no pós-obra.....	101

Figura 40 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN
PARA A SITUAÇÃO Pós-OBRA 102

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

“É proibido perturbar o sossego e o bem estar público com sons, ruídos e vibrações que causem incômodo de qualquer natureza ou que ultrapassem os limites fixados nesta lei”. Isso é o que diz a Lei Municipal de Curitiba 10.625/2002 – que dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público. Embora exista uma legislação que aborda o ruído, pouco se sabe sobre este tema que é considerado uma das maiores poluições que atinge a população, principalmente em grandes cidades.

O ruído atinge milhões de pessoas a partir de diversas fontes. O aumento dos níveis sonoros está ligado diretamente ao crescimento demográfico da população urbana e conseqüente aumento das fontes geradoras de poluição sonora, tais como aumento das atividades de construção civil e do número de veículos em circulação.

Em grandes cidades, a grande causa do ruído urbano é caracterizada principalmente pelo tráfego de veículos (ZANNIN et.al.,2002). O controle do ruído nas cidades é um problema internacionalmente conhecido por suas dificuldades e tem sido estudado intensamente ao redor do planeta (BELOJEVIC & JAKOVLJEVIC, 1997; SCHULTZ,1978; MORILLAS et.al., 2002, SAADU et.al., 1996. ZANNIN & SANT'ANA, 2011).

Como toda grande capital em desenvolvimento, o município de Curitiba se enquadra entre as cidades que mais cresceram em população nas últimas décadas, e tem, hoje, aproximadamente um milhão e oitocentos mil habitantes. Além do intenso crescimento demográfico, a capital paranaense, segundo o DETRAN-PR (2010), apresenta uma grande quantidade de carros, em média 1,4 habitantes por veículo. Com isso, as grandes vias de circulação do município tornam-se superlotadas em determinados horários.

Esse desenvolvimento de Curitiba acarreta no aumento da emissão do ruído no meio urbano. O diagnóstico do problema do ruído urbano pode incluir a medição e monitoramento do ruído, a predição através de mapas acústicos, a resposta das

comunidades mais atingidas e a mitigação do problema que pode influenciar, inclusive, no uso e ocupação do solo na região afetada.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar comparativamente o impacto ambiental sonoro gerado pelo tráfego rodoviário em regiões com reestruturação de vias na cidade de Curitiba.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar e quantificar os níveis de ruído urbano após as reestruturações nas regiões de estudo.
- Verificar se os dados de medição estão de acordo com a Legislação Vigente Lei Municipal de Curitiba nº 10.625/02.
- Apresentar e caracterizar o problema existente de forma global pela realização de mapas acústicos.
- Comparar os mapeamentos acústicos entre a situação anterior e posterior às implantações, ano de 2011 e 2014, respectivamente.

3. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A cidade de Curitiba está em contínuo desenvolvimento e nas últimas décadas tem apresentado um elevado número de veículos por habitante (DETRAN-2010). Com isso, o tráfego rodoviário em algumas vias tornou-se intenso e necessitou de reestruturação em suas vias para melhor mobilidade nas regiões. Sendo assim, a prefeitura de Curitiba juntamente com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) decidiu implantar o Programa Pró-Cidades buscando melhorar a infraestrutura do município com a reestruturação de vias e com a implantação de trincheiras em alguns pontos da cidade para facilitar o acesso entre bairros próximos. Esse alto número de veículos circulando pela cidade acarreta no aumento da poluição sonora caracterizada pelo ruído urbano.

A problemática do ruído urbano pode ser considerada um caso de saúde pública (W.H.O., 1999, BABISCH, 2002, SCHWELA, 2005). Alguns impactos de ordem socioeconômica podem ser gerados devido ao ruído, tais como a perda auditiva, prejuízo das atividades produtivas motivadas por licença-saúde, redução da capacidade de trabalho e de aprendizado e desvalorização imobiliária (W.H.O., 2011).

Para que se adotem medidas que busquem limitar ou reduzir o ruído rodoviário é necessário, primeiramente, fazer uma avaliação na fonte geradora desta poluição. Com isso pode-se estudar como a poluição sonora se comporta, por exemplo, quando vias antigas são reestruturadas e quais as suas consequências à população.

Nesse sentido, a criação de um banco de dados é imprescindível para dar continuidade e ampliar a abrangência de estudos sobre a poluição sonora no meio ambiente.

4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O tema proposto neste estudo é bastante amplo uma vez que o Programa Pró-Cidades nomeou a intervenção em cinco regiões da cidade de Curitiba, sendo elas a Avenida Fredolin Wolf, Binário Chile Guabirota, Rua Desembargador Antônio de Paula, Rua Eduardo Pinto da Rocha e Trincheira Gustavo Rattman. Desta forma, foram selecionados três destas regiões, nas quais em duas foram implantadas trincheiras, o Binário Chile Guabirota e a Trincheira Gustavo Rattman, e uma com a reestruturação do trecho, Avenida Fredolin Wolf.

O direcionamento tomado por este estudo levou em consideração regiões que abordassem tanto a implantação de trincheira como a revitalização de via. Além disso, foi considerado que as regiões escolhidas são trechos importantes da cidade, isto é, que envolvem vias de grande fluxo da capital.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. SOM E RUÍDO

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (ABNT, 2000), a definição de som é: “a forma de energia proveniente de um corpo emitindo em uma ou mais direções certos movimentos vibratórios, que se propagam em meios elásticos e que se podem ouvir”.

O som se caracteriza por flutuações de pressão em um meio compressível (GERGES, S. N. Y. 2000). Segundo Kinsler et al. (1982), o som necessita de um meio elástico para se propagar, como o ar, água, concreto ou qualquer outro meio sólido, líquido ou gasoso. Esse meio sofre repetidas compressões e expansões moleculares que se propagam então em forma de ondas, a partir da fonte sonora.

É importante compreender que não há deslocamento permanente de moléculas, ou seja, não há a transferência de matéria, apenas energia (exceto, por exemplo, nas proximidades de uma explosão) (GERGES, S. N. Y. 2000).

O ruído pode ser definido como a propagação sonora de forma não harmoniosa, ou seja, os diversos movimentos oscilatórios se combinam e produzem um movimento resultante, cujas oscilações são desarmônicas (KINSLER et. al., 1982). Segundo HASSAL & ZAVERI (1979), ruído é definido como um som indesejável, sendo normalmente o resultado de atividades humanas do dia-a-dia. Portanto, a diferença entre som e ruído reside apenas na percepção subjetiva das pessoas, pois constituem o mesmo fenômeno físico (GOELZER et. al., 2001).

5.2 ESCALAS PARA RUÍDO – O DECIBEL

O método normalmente utilizado para medir pressão numa escala linear pode não ser a melhor opção quando se trata do ouvido humano. Para se ter ideia, a menor pressão sonora captada na frequência de 1000 Hz que pode ser ouvida, em média, é de 20 μ Pascals, e este valor ficou padronizado com o menor limiar da audição. Já para pressões de aproximadamente 100 Pascals, se encontra o limiar máximo, ou limiar da dor. Desta forma, percebe-se que há uma escala de mais de 1

milhão para 1. Por isto a aplicação da escala linear não é a mais adequada para medições de pressão sonora (HASSAL & ZAVERI, 1979).

Assim, foi escolhida uma escala mais prática para expressar parâmetros acústicos. Essa escala reduz os números para proporções mais adequadas de se trabalhar, essa escala é chamada de Bel, que foi feita em homenagem a Alexandre Graham Bell, que é definida como o logaritmo, na base dez, de uma razão de duas potências ou intensidades acústicas. Mas, como essa unidade é muita ampla, optou-se por trabalhar com a décima parte de uma unidade Bel, o decibel.

Dessa forma, o uso do decibel reduz a faixa dinâmica de pressões sonoras da escala de 1 milhão para 1, para uma escala de 0 a 120 decibéis, onde zero indica o limiar mínimo e 120 como o limiar máximo.

A Tabela 1 apresenta valores de comparação de pressão sonora com o nível de pressão sonora.

TABELA 1: COMPARAÇÃO PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

PRESSÃO SONORA (μPa)	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (dB, referência de μPa)
20	0
65	10
200	20
640	30
2000	40
6400	50
20000	60
60400	70
200000	80
600400	90
2000000	100
6400000	110
20000000	120

FONTE: Harris (1998)

5.4 PROPRIEDADES DO SOM

5.4.2 Fonte Sonora

A fonte sonora é um corpo, objeto ou sistema de onde se origina o som (HASSAL & ZAVERI, 1979). Os tipos de fonte mais usuais seriam:

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

5.4.3 Pressão Sonora

O movimento das partículas em um meio elástico, em torno do seu ponto de equilíbrio, provoca a geração de variações de pressão. Sendo essa variação função da propagação do som, esta recebe a denominação de pressão sonora. (GERGES, S. N. Y. 2000). A unidade usual para a pressão sonora é o Pascal (Pa), Newton por metro quadrado (N/m²).

5.5 MEDIÇÃO DO RUÍDO

5.5.1 Nível de Pressão Sonora

O menor valor da pressão sonora para audibilidade é de aproximadamente 2×10^{-5} N/m², ou 20 µPa (vinte micro-Pascal). Na outra extremidade, o limiar da dor ocorre a uma pressão sonora de aproximadamente 200 N/m², ou 200×10^6 µPa (duzentos milhões micro- Pascal) (GERGES, 2000; SCHULTZ T. J., 1972; ROSSING et al., 1990).

Para exprimir os valores das pressões sonoras na faixa da audibilidade humana de forma linear, como por exemplo, em N/m², seria necessária uma escala considerável, inviabilizando a utilização da escala linear.

Devido a grande variação sofrida pela pressão sonora, intensidade, potência, entre outros, foi utilizada a escala logarítmica. Como a escala em logaritmo

exige uma base de referência, adotou-se o limiar da audição humana, 1 Bel, para essa base (BISTAFA S. R., 2006).

A expressão matemática geral que define o nível de uma potência qualquer, em Bel, é a seguinte (ROSSING 1990, SCHULTZ T. J., 1972):

$$N = \log \frac{W_1}{W_0}$$

Onde:

N = Nível de potência (B),

W1 = Valor da potência a ser comparada,

W0 = Valor de referência da potência.

Como a potência sonora é proporcional ao quadrado da pressão sonora, é possível então, a utilização da escala Bel para medição dos níveis de pressão sonora, como sendo o logaritmo da relação existente entre um determinado valor de pressão sonora e a pressão sonora mínima de referência. Assim:

$$NPS = \log \frac{p_1^2}{p_0^2} \quad \text{ou} \quad NPS = 2 \log \frac{p_1}{p_0}$$

Onde:

NPS = Nível de pressão sonora em Bel (B),

p1 = valor da pressão sonora a ser comparada,

p0 = valor de referência da pressão sonora.

Para níveis de pressões sonoras, foi definido o uso de um submúltiplo do Bel, o decibel [dB], devido a faixa dos valores de pressões sonoras estudadas em acústica.

Assim, a expressão que define um nível de pressão sonora em decibel é (GERGES, S. N.Y., 2000; SCHULTZ T. J., 1972):

$$NPS = 10 \log \frac{p_1^2}{p_0^2} \quad \text{ou} \quad NPS = 20 \log \frac{p_1}{p_0}$$

onde:

NPS = Nível de pressão sonora referente ao nível de referência em decibel [dB],

p_1 = pressão sonora medida [N/m²],

p_0 = pressão sonora de referência igual a $2 \cdot 10^{-5}$ N/m².

Sendo a pressão efetiva a pressão representativa da ocorrência de várias pressões no período de medição, é comum em algumas literaturas encontrar a sua denominação como pressão global, conseqüentemente, tem-se o nível global de pressão sonora. Logo:

$$NPS = 10 \log \left[\frac{p^2}{p_0^2} \right] \rightarrow \frac{NPS}{10} = \log \left[\frac{p^2}{p_0^2} \right]$$

Com uma simples manipulação algébrica, obtemos:

$$p^2 = 10^{\left(\frac{NPS}{10}\right)} \cdot p_0^2 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Onde:

p = pressão sonora devida a uma fonte para uma determinada medição [N/m²]

NPS = nível de pressão sonora [dB]

p_0 = pressão sonora de referência = 2×10^{-5} N/m²

No caso de várias fontes sonoras:

$$\text{Fonte 1} \rightarrow p_{(1)}^2 = 10^{\left(\frac{NPS_{(1)}}{10}\right)} \cdot p_0^2$$

$$\text{Fonte 2} \rightarrow p_{(2)}^2 = 10^{\left(\frac{NPS_{(2)}}{10}\right)} \cdot p_0^2$$

∴ ∴

$$\text{Fonte n} \rightarrow p_{(n)}^2 = 10^{\left(\frac{NPS_{(n)}}{10}\right)} \cdot p_0^2$$

Assim:

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

Logo:

$$\text{NPS}_{(\text{global})} = 10 \log \left[\frac{p_{(\text{global})}^2}{p_0^2} \right]$$

ou,

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

Onde:

NPS(global)= nível global de pressão sonora [dB]

$p(i)$ = pressão sonora medida [N/m²]

p_0 = pressão sonora de referência = 2×10^{-5} N/m²

Segundo CALIXTO (2002) apud BERANEK (1960), quando se dobra a pressão sonora, o seu nível, dado em escala logarítmica, aumenta 6,0 dB (Tabela 2), e a cada vez que a pressão sonora é multiplicada por 10, o nível de pressão sonora aumenta 20 dB [Tabela 3]. As tabelas a seguir demonstram esta comparação:

TABELA 2: AUMENTO DE 6 DB PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA QUANDO A PRESSÃO SONORA DOBRA

Pressão sonora (μPa)	Nível de pressão sonora (dB)
20	0
40	6
80	12
160	18
320	24

Fonte: CALIXTO, A., 2002

TABELA 3: AUMENTO DE 20 DB PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA QUANDO A PRESSÃO SONORA É MULTIPLICADA POR 10

Pressão sonora (μPa)	Nível de pressão sonora (dB)
20	0
200	20
2000	40
20000	60
200000	80

Fonte: CALIXTO, A., 2002

5.5.2 Nível de pressão sonora equivalente

O nível de pressão sonora equivalente é um nível constante médio que equivale, em termos de energia acústica, aos níveis variáveis do ruído durante o período de medição, expresso em decibel (dB) e dado por (SHULTZ, 1972):

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \left(\frac{1}{t} \right) \left[\int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \right\} \text{ [dB]}$$

Onde:

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

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

$p(t)$ = pressão sonora instantânea

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

A expressão mostra que o nível equivalente é representado então por um valor constante que durante o mesmo tempo (T) resultaria na mesma energia acústica produzida pelos valores instantâneos variáveis de pressão sonora (SHULTZ, 1972).

Quando os níveis de ruído são processados pelo filtro de ponderação "A", o L_{eq} torna-se L_{Aeq} .

5.6 ASPECTOS NORMATIVOS

Uma boa maneira de se combater o poluente – ruído – é através de leis, normas, e em especial do desenvolvimento da consciência dos envolvidos – população, governo, políticos, juristas, trabalhadores – na solução do problema (BUNN, F. et al., 2010). Sem estas leis e normas são ineficazes.

A maior dificuldade é que a própria população afetada tem dificuldade na avaliação deste poluente, por desconhecimento sobre o assunto e por sua passividade frente a poluição sonora, dizendo-se “acostumada ao barulho” (BUNN, F. et al., 2010).

Segundo BUNN et al. (2010), deve-se destacar que quando um município ou estado não possui norma ou lei própria, sobre a questão da avaliação do ruído ambiental, faz-se uso então da NBR 10151 - “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade”. Atualmente as grandes cidades brasileiras, em sua maioria, possuem leis quanto ao ruído que visam regulamentar a questão da poluição sonora urbana. Algumas dessas leis apresentam diferentes valores para os níveis de ruídos admissíveis, diferentes métodos para a análise, assim como diferem na maneira de punir os infratores (BUNN, F. et al., 2010).

5.6.1 NBR 10151 (2000)

A NBR 10151(2000) dispõe sobre a “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade” tem como base os seguintes objetivos:

Fixar as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independentemente da existência de reclamações.

Especificar um método para a medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos se o ruído apresentar características especiais e uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta vários fatores.

O método de avaliação envolve as medições do nível de pressão sonora equivalente (LAeq), em decibels ponderados na curva A, comumente chamado dB(A).

A norma aborda algumas definições (nível de pressão sonora equivalente, ruído com caráter impulsivo, ruído com componentes tonais, nível de ruído

ambiental), equipamentos de medição (classificação do equipamento e calibração) e os procedimentos de medição.

O método de avaliação de ruído é baseado em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido (Lc) e o nível de critério de avaliação NCA. O nível corrigido (Lc) é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente (LAeq) para ruídos sem caráter impulsivo ou tonal. Para casos em que o ruído possua outras características, a norma indica alguns procedimentos específicos.

Os valores adotados pela NBR 10151(2000) para o nível de critério de avaliação estão representados na Tabela 4.

TABELA 4: NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO NCA PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM DB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Áreas 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 mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10151:00

5.6.2 Lei Municipal de Curitiba Nº 10.625 (2002)

Em Curitiba a lei municipal 10.625/02 dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público. A lei determina os níveis sonoros máximos permitidos em função do período do dia, sendo os períodos definidos em:

- Diurno – entre as 07h01min às 19h00min;
- Vespertino – entre 19h01min às 22h00min;
- Noturno – entre 22h01min às 07h00min.

A lei 10.625:02, para medição do nível de pressão sonora, é efetuada de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

A cidade de Curitiba está dividida em diversas zonas de uso do solo, segundo a lei nº 9.800 de 2000. Que dispõe sobre Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências (PREFEITURA MUNICIPAL

DE CURITIBA, 2000). A emissão de sons e ruídos por quaisquer atividades industriais, comerciais, prestação de serviços, religiosas, sociais, recreativas e de carga e descarga não podem exceder os níveis de pressão sonora contidos em sua respectiva zona de uso, conforme descrito na lei 10.625/02 e demonstrada na Tabela 5.

TABELA 5 – LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDO – LEI MUNICIPAL 10.625/02 (LAEQ)

ZONAS DE USO*	DIURNO	VESPERTINO	NOTURNO
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	55 dB (A)	50 dB (A)	45 dB (A)
ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZUC-II, ZT-MF, ZT-NC, ZE-E, ZE-M, ZOO, SE-CC, SE-PS, SE-OI, APA-ST	60 dB (A)	55 dB (A)	50 dB (A)
ZR-4, ZC, ZT-BR-116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF, SE-WB, SE-AC, SE-CB, CONEC, SE-PE, SC-SF, SC-UM, SE-NC, SEI, SEHIS, SE-LE, SEVC-PASSAÚNA, SEVS-PASSAÚNA, APA-SS, Vias prioritárias 1 e 2, Vias setoriais, Vias coletoras 1,2 e 3	65 dB (A)	60 dB (A)	55 dB (A)
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, ZEI-I (CIC), APA-SUE	70 dB (A)	60 dB (A)	60 dB (A)

* APA-SARU -	Setor de Alta Restrição de Uso
APA-SMRU -	Setor de Média Restrição de Uso
APA-ST -	Setor de Transição
APA-SUE -	Setor de Uso Esportivo
APA-SS -	Setor de Serviço
CONEC -	Setor Especial Conector – Conectora 1,2,3,4
SC-SF -	Setor Especial Comercial Santa Felicidade
SC-UM -	Setor Especial Comercial Umbará
SE -	Setor Especial Estrutural
SE-AC -	Setor Especial da Av. Affonso Camargo
SE-BR-116 -	Setor Especial da BR-116
SE-CB -	Setor Especial da Rua Engenheiro Costa Barros
SE-CC -	Setor Especial Centro Cívico
SE-CF -	Setor Especial da Av. Comendador Franco
SEHIS -	Setor Especial Habitação de Interesse Social
SEI -	Setor Especial Institucional
SE-LE -	Setor Especial Linhão do Emprego
SE-MF -	Setor Especial da Av. Mal. Floriano Peixoto
SE-NC -	Setor Especial Nova Curitiba
SE-OI -	Setor Especial de Ocupação Integrada
SE-PE -	Setor Especial Preferencial de Pedestres
SE-PS -	Setor Especial do Pólo de Software
SEVC-PASSAÚNA-	Setor Especial de Vias Coletoras
SEVS-PASSAÚNA-	Setor Especial de Vias Setoriais
SE-WB -	Setor Especial da Av. Pres. Wenceslau Braz

SH -	Setor Histórico
ZC -	Zona Central
ZOO -	Zona de Ocupação Orientada
ZE-D -	Zona Especial Desportiva
ZE-E -	Zona Especial Educacional
ZEI-I (CIC) -	Zona Especial de Indústria
ZE-M -	Zona Especial Militar
ZES -	Zona Especial de Serviços
ZI -	Zona Industrial
ZR-1 -	Zona Residencial 1
ZR-2 -	Zona Residencial 2
ZR-3 -	Zona Residencial 3
ZR-4 -	Zona Residencial 4
ZR-AV -	Zona Residencial Alto da Glória
ZR-B -	Zona Residencial Batel
ZR-M -	Zona Residencial Mercês
ZR-OC -	Zona Residencial de Ocupação Controlada
ZUC-II -	Zona de Urbanização Consolidada
ZR-SF -	Zona Residencial Santa Felicidade
ZR-U -	Zona Residencial Umbará
ZS-1 -	Zona de Serviço 1
ZS-2 -	Zona de Serviço 2
ZT-BR-116 -	Zona de Transição BR - 116
ZT-MF -	Zona de Transição Av. Mal. Floriano Peixoto
ZT-NC -	Zona de Transição Nova Curitiba
Z-UM -	Zona de Uso Misto

FONTE: Prefeitura Municipal de Curitiba (2002)

Percebe-se que a lei 10.625:02 concorda com os valores da NBR 10151/00, sendo em muitos casos mais exigente. Na referente lei também está detalhado de forma ampla a classificação das infrações, os valores das penalizações e as sanções caso haja o descumprimento de qualquer dispositivo.

5.7 DANOS CAUSADOS PELA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO

Os efeitos negativos relacionados ao ruído incluem perda da audição, estresse, irritabilidade, hipertensão, perda do sono, fadiga, falta de concentração, distúrbios digestivos, baixa produtividade, deterioração da qualidade de vida e redução de oportunidades de repouso (BISTAFA, S. R., 2006; Belojevic & Jakovlevic, 1997; Maschke, C., 1999).

Segundo a Organização Mundial de Saúde, um ruído de até 50 dB(A) pode perturbar, mas o organismo se adapta facilmente a ele. A partir de 55 dB(A) pode haver a ocorrência de estresse leve acompanhado de desconforto. O nível de 70 dB(A) é tido como o nível inicial do desgaste do organismo, aumentando o risco de infarto, derrame cerebral, infecções, hipertensão arterial e outras patologias. A 80 dB(A) ocorre a liberação de endorfinas, causando uma sensação de prazer momentâneo. Já a 100 dB(A) pode haver perda de audição (WHO, 2003)

É importante salientar que o nível do ruído não é o único parâmetro que causa problemas a saúde, mas também o tempo ao qual a pessoa fica exposta a esse ruído.

5.8 PERCEPÇÃO E INCÔMODO AOS NÍVEIS DE RUÍDO

O ruído permeia as atividades humanas 24 horas por dia, e vem sendo apontado como uma das principais causas da deterioração da qualidade de vida, principalmente nas grandes cidades (BISTAFA, S. R., 2006). Com o aumento desordenado das grandes cidades esse problema tende a aumentar e com isso mais pessoas serão afetadas pela exposição ao ruído. Como exemplo, na Dinamarca o preço das casas diminui a medida em que o ruído de tráfego aumenta (BISTAFA, S.R., 2006), ou seja, a percepção e o incômodo causados pelos níveis de ruído são evidentes (GRIFFITHS & LANGDON, 1968; ZANNIN et al., 2002).

No Brasil, em estudos realizados por Zannin et. al. (2002), além da percepção e incômodo causados pelos níveis de ruído, classificou-se os tipos de ruídos que mais incomodam e suas respectivas porcentagens [Figura 1].

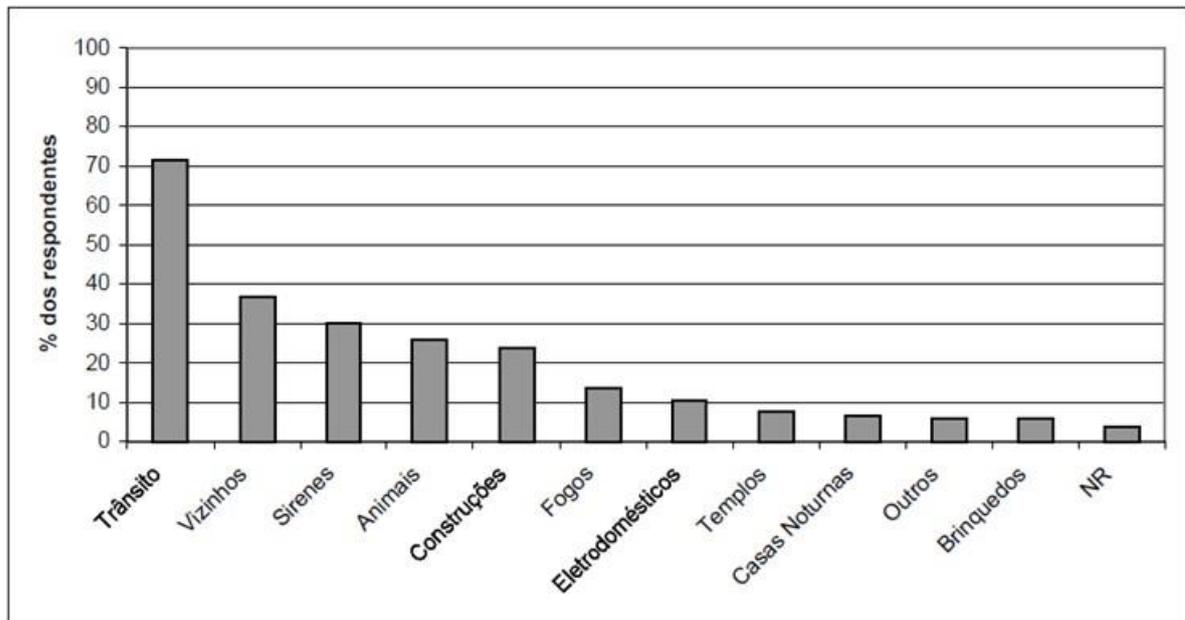


FIGURA 1 – “QUAIS SÃO OS RUÍDOS QUE INCOMODAM?”

FONTE: ZANNIN et. al, 2002

Através da Figura 1, observa-se que o ruído de tráfego é o que mais causa desconforto em relação aos outros na população da cidade de Curitiba.

Deve-se salientar que o ruído de tráfego em termos de duração é considerado permanente e não pontual, ou seja, não se limita a uma única área (BROWN, 1994).

5.9 EMISSÃO E IMISSÃO SONORA

Emissão sonora é a pressão sonora que efetivamente é emitida pela fonte geradora do som (V. D. A., 1978; BIES & HANSEN, 2002).

Imissão sonora é a pressão sonora que efetivamente é recebida pelo sistema auditivo do receptor ou pelo ponto de recepção, sendo então uma variação entre o nível de pressão sonora emitido por uma fonte menos as perdas na transmissão entre a fonte e o receptor (V. D. A., 1978; BIES & HANSEN, 2002).

5.9.1 Ruído Ambiental

Ruído ambiental é o ruído causado por diferentes fontes, também podendo ser chamado de ruído em comunidade, ruído doméstico e ruído residencial. O ruído

no ambiente de trabalho ou ruído ocupacional é excetuado nesse caso (RIBAS, 2007).

As estimativas atuais sugerem que milhões de pessoas em todo mundo tem sido atingidas pelo ruído ambiental ou ruído urbano em suas comunidades (WHO, 2011). Devido ao seu grande potencial, o ruído urbano pode causar efeitos fisiológicos prejudiciais à saúde (EILLEN, 2007). Com a sociedade cada vez mais urbanizada é inevitável que, a menos que o controle do impacto do ruído seja tratado adequadamente, esta situação só tende a piorar.

As fontes de ruído urbano podem ser classificadas em três grupos: estacionários, fontes móveis e coletivas (MIYARA, 2008). As fontes estacionárias podem ser assumidas como localizadas em um ponto fixo do espaço, como por exemplo, uma fábrica. As fontes móveis, pelo contrário, podem ser consideradas como fontes pontuais que podem mover-se no espaço. É o caso dos veículos rodoviários, ferroviários, entre outros. As fontes coletivas são resultados de fontes em espaços públicos, por exemplo, as pessoas na rua, reuniões públicas ou uma festa popular.

5.9.2 Ruído de Tráfego

O ruído de tráfego é uma parcela do ruído ambiental sendo uma resultante do somatório de diversos tipos de ruído provenientes de fontes de trânsito. Uma pesquisa feita com 160 pessoas aponta para o fato de que o tráfego de veículos seja a grande causa do ruído urbano em Curitiba (ZANNIN et.al., 2002).

Pelos dados de junho de 2010 do DETRAN-PR há um elevado número de veículos em circulação em Curitiba, chegando a quase 900 mil. Logo, assim como nas grandes cidades, os automóveis em Curitiba contribuem em grande parte para a emissão do ruído.

O ruído produzido pelos veículos motores rodoviários depende de vários fatores como motor, sistema de escapamento, sistema de exaustão, sistema de refrigeração e até mesmo a forma como se dirige o veículo (velocidade, tipo de câmbio, aceleração), tipo de pneu utilizado (ALI & TAMURA, 2002).

O ruído de tráfego rodoviário é composto de duas parcelas básicas: o ruído proveniente da força de tração unitária do veículo e da interação pneu/pavimento (SANDBERG, 1987). A segunda parcela é considerada a mais significativa em relação ao ruído total gerado. Há estudos que comprovam a redução significativa de ruído apenas com a diminuição dos limites de velocidade. (ANNECKE & ZIMMERMAN, 2008; DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1996).

Medidas de tráfego convencionais através de sinais de controle de tráfego e aplicação de limite de velocidade podem ser as melhores opções em grandes centros urbanos e estradas com alto fluxo de tráfego e altas proporções de veículos pesados (ELLEBJERG, 2007).

5.10 IMPACTOS DO RUÍDO NO MEIO AMBIENTE

5.10.1 Impactos e Local

Em muitas áreas urbanas, o ruído é um dos mais óbvios impactos na utilização diária de vias de circulação viária. Os seus efeitos, porém, não são priorizados quando comparado ao impacto econômico ou outros impactos ambientais, principalmente porque não são visíveis e são difíceis de quantificar monetariamente. Contudo, a maioria dos seres humanos que sofrem exposição crônica a poluição sonora não estão conscientes de sua presença, e isso pode gerar uma série de problemas como resultado dessa exposição. (KO et.al., 2011; W.H.O., 2011; W.H.O., 1999, ZEYNEP & NEŞE, 2012).

Sendo assim torna-se importante entender como o ruído das vias excedem os níveis aceitáveis, e o que pode ser feito para prevenir, mitigar ou compensar os seus efeitos. (ALI & TAMURA, 2002; HOBAN & TSUNOKAWA, 1997).

5.10.2 Determinação da natureza e escala de impactos

a) Fatores veiculares

Devido aos diferentes tipos de veículos que existem hoje no mercado, diferentes níveis de ruído são produzidos no meio urbano. Em geral, os veículos

pesados, tais como os caminhões de transporte produzem mais barulho do que os carros, pois tendem a ter mais rodas em contato com a estrada (Figura 2), e muitas vezes usam freios motor em desaceleração.

Outro fator que produz níveis maiores de ruídos é a falta de manutenção destes veículos, tais como aqueles com incompletos sistemas de exaustão ou freios muito gastos.

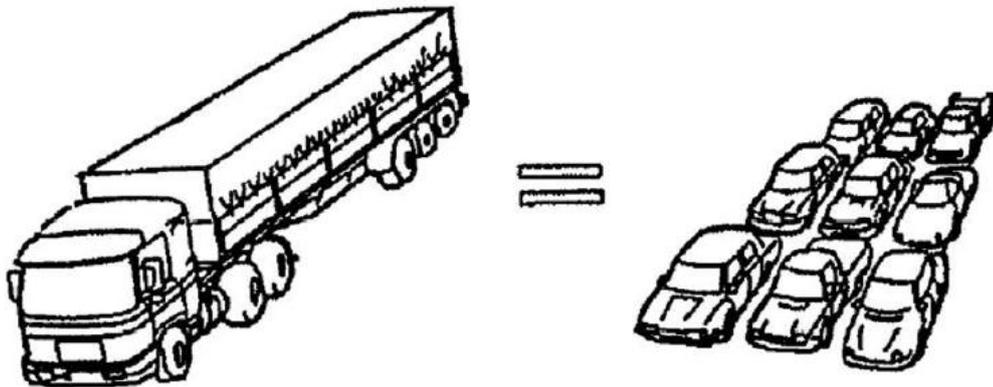


FIGURA 2 – EQUIVALÊNCIA ACÚSTICA ENTRE VEÍCULO PESADO E VEÍCULOS LEVES FONTE. FONTE: HOBAN & TSUNOKAWA (1997)

b) Tipos de pavimentos

As características físicas da superfície da via e seus arredores desempenham um grande papel na produção do ruído. Bem conservadas, as estradas de superfície lisa são menos ruidosas do que as rachadas, danificadas, e com superfícies remendadas. (ZANNIN & SANT'ANA, 2011; HOBAN & TSUNOKAWA, 1997; PINTO & MARDONES, 2008; MEIARASHI & ISHIDA, 1996.). As juntas de dilatação em pontes são especialmente barulhentas. Superfícies como solo vegetado tendem a absorver e moderar o ruído, enquanto superfícies reflexivas como concreto ou asfalto não tem função benéfica alguma.

c) Geometria da via

O alinhamento vertical da estrada pode afetar a facilidade com que o ruído pode ser transmitido aos receptores de beira de estrada. Por exemplo, a implantação de uma estrada em um corte abaixo do nível do solo ou sobre uma plataforma elevada pode servir para manter os receptores fora da zona de impacto, conforme é

ilustrado na Figura 3. Além disso, a presença de barreiras ao longo da via, se especialmente instaladas para controle de ruído ou natural, podem diminuir o impacto do ruído rodoviário. Veículos tendem a produzir mais barulho enquanto estão subindo e descendo encostas íngremes, o que significa que as vias que incorporam essas funções tendem a ser mais ruidosas nesses pontos.

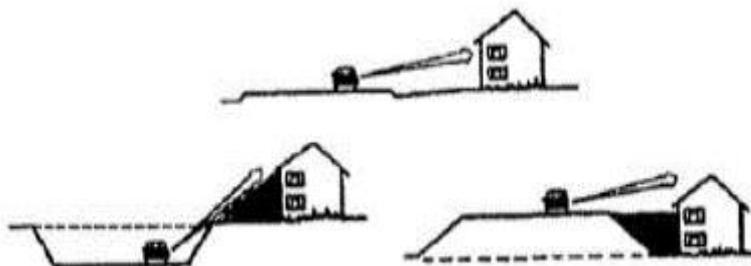


FIGURA 3 – POSIÇÃO RELATIVA DA VIA E DO RECEPTOR

FONTE: HOBAN & TSUNOKAWA (1997)

d) Fatores ambientais

Condições climáticas como temperatura, umidade, velocidade do vento, e direção do vento podem desempenhar um papel importante na determinação de como locais individuais são afetados por ruído rodoviário (NARDI, 2008). Temperatura e umidade determinam a densidade do ar, que por sua vez afeta a propagação de ondas sonoras. Locais a jusante da direção do vento são geralmente expostos a maiores níveis de ruído do que os locais a montante. A topografia também pode ajudar a determinar o impacto do ruído. Por exemplo, o ruído das estradas ocorrendo em vales montanhosos ou canyons tende a ser mais notável do que o de uma estrada em uma planície, pois o ruído é refletido nas paredes do vale. Da mesma forma, colinas e morros agem como barreiras naturais ao ruído se ocorrerem entre a estrada e os receptores. Estradas acima dos receptores, que muitas vezes são propensas a inundações, tendem a transmitir ruído em distâncias maiores.

e) Relações de espaço

Talvez o maior determinante de impactos de ruído seja a relação espacial da via para receptores de ruído em potencial. Quanto mais próximo o caminho para os receptores, maior será o impacto (Figura 4). Quanto maior a densidade da população em áreas na beira da via, maior o número de pessoas e receptores, e, conseqüentemente, maior será o impacto.

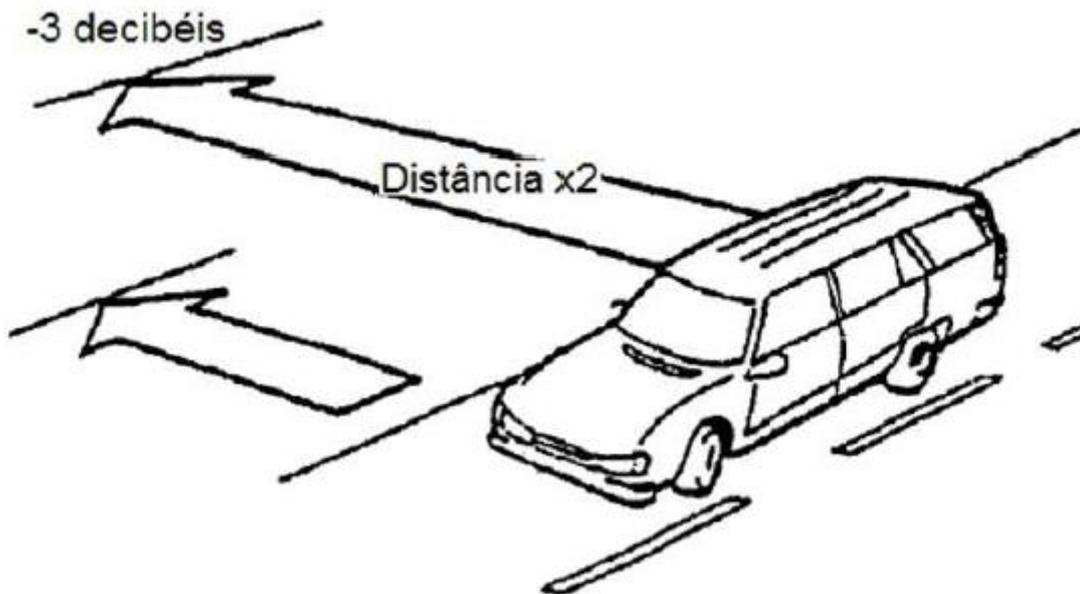


FIGURA 4 – DUPLICANDO A DISTÂNCIA ENTRE A VIA E O RECEPTOR, HÁ UM DECRÉSCIMO DE 3 dB NO NÍVEL SONORO

FONTE: HOBAN & TSUNOKAWA (1997)

f) Fluxo de tráfego

A produção de ruído de um particular fluxo de tráfego é determinada por uma série de fatores: o tipo de veículo e seu nível de manutenção, o número de veículos passando por unidade de tempo, a constância do fluxo de veículos- que tendem a ser mais ruidosos em tráfego stop-and-go, e da velocidade de tráfego que é mais ruidoso em altas velocidades (ANNECKE & ZIMMERMAN, 2008; DEPARTMENT OF TRANSPORT 1996). A relação entre os ciclos de fluxo de tráfego e ruído ambiente também é importante; os níveis de ruído são geralmente mais baixos durante a noite, e se houver picos de tráfego à noite, o impacto percebido será maior. (TSAI et.al., 2009). Por outro lado, se os picos de tráfego forem ao mesmo tempo em que os níveis de ruído ambientais, os efeitos serão menos perceptíveis (TSAI et.al., 2009).

5.10.3 Avaliação de Impactos de Ruído

Uma avaliação dos impactos de ruído causados pela circulação rodoviária se baseia em uma análise precisa da base de dados obtida através de medições, em um conhecimento aprofundado das características das vias propostas, e em uma boa compreensão de como a via irá evoluir em um médio e longo prazo. Ao avaliar o potencial impacto do ruído de uma estrada em desenvolvimento, pode ser considerado o seguinte: 1) Os impactos de ruído rodoviário serão maiores onde ruas movimentadas passam por áreas densamente povoadas; 2) Se, no início, há indícios de complexos impactos de ruído, a consulta com engenheiro especialista pode ser útil. 3) Alguns receptores são mais sensíveis ao ruído do que outros. O ruído da estrada em zonas industriais e áreas não muito habitadas não são particularmente problemáticas, enquanto subúrbios residenciais e localidades específicas, como escolas ou hospitais podem sofrer impactos significativos (ZANNIN et.al.,2002; RAMIS et. al., 2003; PAZ E.C, 2004; RIBAS, 2007; PINTO & MARDONES, 2008; NARDI 2008; TSAI et.al., 2009; GUEDES et.al., 2011; ZANNIN & SANT'ANA, 2011; FIEDLER et.al.,2012).

5.10.4 Medição de Níveis Sonoros

As especificações de medição de ruído requerem definição do período de medição muito bem detalhada (parâmetros de ruído a serem gravados, e a posição do instrumento de medição em relação a via e demais objetos adjacentes (muros, edificações, etc) (HOBAN & TSUNOKAWA, 1997; ROMEU et.al.,2011; GOLMOHAMMADI et.al., 2009; K. IZUMI & YANO, 1991).

5.10.5 Instrumentos de Medição

Os níveis de ruído existentes podem ser medidos usando dispositivos chamados medidores de níveis sonoros, que convertem a energia das ondas de som em um sinal elétrico, dispondo em tempo real a magnitude do que é apresentado ou gravado (BRUEL & KJAER 2000). As medições obtidas utilizando estes instrumentos

podem formar uma base de dados valiosa, entretanto a sua utilidade adicional é limitada, tanto em termos de período de amostragem como de sua capacidade de distinguir separadas fontes de ruído, requerendo para isso os dispositivos mais caros e de difícil acesso a grande parte dos profissionais (engenheiros, arquitetos e técnicos).

5.10.6 Previsão de Níveis de Ruído

Os métodos de previsão incluem equações, modelos de computador, e modelos físicos.

O mais simples são as equações, que estimam o ruído das informações sobre o fluxo de tráfego, composição e velocidade. Os modelos de computador são mais amplamente empregados e podem ser utilizados para prever o futuro com mudanças nas condições atuais e os prováveis impactos de um projeto e várias opções de mitigação.

5.11 PROGRAMA PRÓ-CIDADES

O PRÓ-CIDADES é um programa destinado a promover a melhoria da qualidade de vida da população dos municípios do Brasil financiando ações de investimentos em desenvolvimento urbano integrado incluindo infraestrutura básica e social, transporte, sistema viário, saneamento, desenvolvimento social, gestão ambiental e fortalecimento institucional.

O programa foi implantado em Curitiba no segundo semestre de 2009 em um contrato com a Prefeitura e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o seu objetivo é melhorar a qualidade de vida da população do município e contribuir para a sua maior competitividade econômica, mediante o financiamento de investimentos em infraestrutura básica e social que permitam aumentar a qualidade e cobertura dos serviços para a população em geral, bem como financiar ações para a melhoria da gestão municipal.

O investimento total é estimado em quantia equivalente a US\$ 100.000.000,00 (cem milhões de dólares, sendo 50% do financiamento BID e 50% de contrapartida local. O PROCIDADES está previsto para uma duração de 05 anos

(2010 a 2013) e tem como seus executores no Município de Curitiba: COHAB, SMOP, IPPUC e FAS.

Entre as obras que integram o Programa no município de Curitiba estão a trincheira da Gustavo Rattmann, a revitalização da rua Eduardo Pinto da Rocha; a alça do viaduto da Rua Alberico Flores Bueno, que se integrará à Linha Verde; a modernização da Fredolin Wolf, a revitalização da rua Desembargador Antônio de Paula e o binário Chile-Guabirota, que integra o Corredor da Avenida Comendador Franco.

5.11.1 Trincheira Gustavo Rattman

A Prefeitura de Curitiba construiu a Trincheira Gustavo Rattman sob a nova Linha Verde Norte com o objetivo de garantir um trânsito melhor e mais seguro na ligação entre os bairros Bacacheri e Bairro Alto.

Antes da construção da trincheira, os veículos que vinham pela rua Fagundes Varela eram obrigados a usar um contorno e esperar o semáforo antes de cruzar a rodovia. Agora, os veículos poderão virar na rua Gustavo Rattman, uma quadra antes de chegar na rodovia e cruzá-la sob a trincheira.

A nova trincheira fará a interligação entre as ruas Gustavo Rattman, no Bacacheri, e a José Zgoda, no Bairro Alto e terá 10 metros de largura, o que permitirá a passagem de um carro em cada sentido, além das calçadas para a passagem de pedestres.

Outras mudanças previstas na região foram a pavimentação e o novo projeto urbanístico nas ruas Xaverianos e Deputado Antônio Lopes Junior, que são, hoje, alças de acesso em direção ao bairro Atuba ou Pinheirinho, desviando da trincheira.

A obra também prevê a construção de nova rede de drenagem, o que melhorará a captação de águas da chuva nos bairros Jardim Social e Bacacheri. O desvio das águas será feito para o rio Bacacheri, no Bairro Alto.

Haverá melhorias para os usuários do transporte coletivo. Será implantada uma nova linha Interbairros, com sentido horário e anti-horário, interligando os terminais do Capão da Imbuia (setor leste) e do Cabral (setor norte) (IPPUC, 2011)

5.11.2 Rua Eduardo Pinto Rocha

A Eduardo Pinto da Rocha, uma das mais importantes vias de ligação de bairros da região Sul, especialmente entre Bairro Novo, Umbará, Sítio Cercado, Ganchinho e Alto Boqueirão, foi totalmente revitalizada.

Foram 5,5 quilômetros que receberam drenagem, calçadas, pavimentação, iluminação, paisagismo, ciclovia, sinalização e uma rede subterrânea de transmissão de dados (infovia).

As obras da Eduardo Pinto da Rocha melhoraram a ligação entre os bairros e a integração entre comunidades separadas pela BR 277 e pela ferrovia, facilitando também os deslocamentos para o município vizinho de Fazenda Rio Grande.

5.11.3 Linha Verde

A Linha Verde é o mais novo eixo de desenvolvimento de Curitiba e já funciona como o sexto corredor de transporte de Rede Integrada de Transporte. Quando estiver totalmente implantada, será a maior avenida da cidade e permitirá a ligação de 20 bairros que estavam separados pela antiga rodovia, a BR-116.

Numa extensão de 9,4km, uniu dez bairros. Possui canaleta para transporte coletivo, vias marginais para ligações entre os bairros e vias locais para acesso ao comércio. Os binários criaram ligações que antes não existiam e melhoraram o acesso para os veículos em geral e também para o transporte coletivo.

A primeira linha, das três da Linha Verde, liga o Pinheirinho ao centro com ônibus movidos a biocombustível. Os usuários podem fazer integrações nas estações para embarque e desembarque com muito conforto. A Linha Verde reduziu o tempo nos deslocamentos.

A iluminação forte e renovada trouxe segurança. Com ciclovia, um parque linear na Linha Verde Sul, calçadas dentro das normas de acessibilidade, a nova avenida passa a ser ocupada pela população. Cinco mil árvores nativas completam o projeto. A Prefeitura também mudou a lei de zoneamento e hoje são permitidos, por exemplo, prédios altos ao longo da Linha Verde.

A Linha Verde Norte dá continuidade ao projeto de transformação. E a primeira etapa de obras vai começar. Além da ampliação do viaduto da Avenida Affonso Camargo, construção da Estação Jardim Botânico e das Trincheiras do Binário Agamenon Magalhães – Roberto Cichon, na nova avenida serão feitas

também obras de drenagem, canaletas para ônibus, pistas marginais, nova sinalização, nova iluminação e ciclovia.

5.11.4 Avenida Fredolin Wolf

O projeto visou transformar a avenida em uma moderna ligação viária e contou com a melhoria dos sistemas de drenagem, novo asfalto, ciclovias compartilhadas, rampas de acesso e novos abrigos para pontos de ônibus.

A via tornou-se uma alternativa viária da Avenida Manoel Ribas e dos acessos aos Parques Tingui e Tanguá, localizados ao longo do seu percurso.

A reestruturação aumentou a qualidade de vida dos cidadãos do município através da melhoria do tráfego da região e do incentivo ao esporte e lazer.

A Avenida Fredolin Wolf tem uma extensão aproximada de 7,8 km e mais de 65 mil habitantes serão beneficiados.

5.11.5 Rua Desembargador Antonio de Paula

As obras de revitalização da Rua Desembargador Antônio de Paula foram ao longo de 2,2 quilômetros desde o cruzamento com a Rua Francisco Derosso, na divisa entre os bairros Xaxim e Alto Boqueirão até a Avenida Marechal Floriano Peixoto.

Também receberam melhorias no asfalto, sistema de drenagem, calçadas com acessibilidade, paisagismo, iluminação e uma rede de dados subterrânea (infovia), oferecendo mais qualidade de vida e segurança no trânsito e transporte na área que integra os bairros Alto Boqueirão, Boqueirão e Xaxim, onde vivem 193 mil pessoas.

5.11.6 Binário Chile Guabirutoba

Binários são sistemas de trânsito formados por ruas paralelas, de mão única, em sentidos opostos, uma rua que vai e outra que vem.

Os bairros Água Verde e Rebouças cresceram bastante e precisam de uma nova solução de trânsito, que facilite a ligação entre eles.

Com o projeto do Binário Chile-Guabirota, a Rua Chile ficará com o sentido único do Jardim Botânico ao Prado Velho. A Rua Guabirota terá sentido único do Prado Velho ao Jardim Botânico.

O novo Binário é composto, principalmente, pelas ruas Chile, Guabirota e Paulina T.R. Camargo que atravessa a Avenida das Torres (Av. Comendador Franco), possibilitando deslocamentos mais rápidos e seguros entre os bairros Jardim Botânico, Prado Velho e Rebouças.

A obra ainda conta com melhorias no sistema de drenagem, pavimentação, passeio, paisagismo, iluminação e sinalização, além de uma ponte e uma galeria.

5.12 TRINCHEIRAS

Pfeil (1980, p. 1) define ponte como:

[...] a obra destinada a transposição de obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, tais como rios, braços de mar, vales profundos, outras vias etc. Quando a ponte tem por objetivo a transposição de vales, outras vias ou obstáculos em geral não constituídos por água é, comumente, denominada viaduto.

Quando o obstáculo terrestre que tal viaduto deve vencer é uma via rebaixada, este é parte de um sistema comumente conhecido por trincheira, que engloba, além do viaduto, também as estruturas que servem de contenção para o solo remanescente após a escavação da vala por onde passará a via inferior.

As pontes podem ser construídas com os mais diversos materiais, como esclarece Leonhardt (1979, p. 9-10), ressaltando que vêm sendo construídas, desde os primórdios da humanidade, nessa ordem cronológica, pontes de madeira, de pedra e de ferro fundido. Como materiais mais modernos, passaram a ser empregados o ferro forjado, o aço e, por último, os concretos armado e protendido.

Os principais elementos que constituem a estrutura de uma ponte são infra, meso e superestrutura.

Pfeil (1980, p. 1) esclarece que “As pontes, em sua maioria, sob o ponto de vista funcional, podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura,

mesoestrutura e superestrutura”. O autor explica que a infraestrutura é a fundação da ponte. Pode ser composta por blocos, sapatas, estacas ou tubulões, e caracteriza-se como a parte da estrutura da ponte que recebe todos os esforços advindos da mesoestrutura, transmitindo-os para o solo ou rocha com os quais se encontram em contato.

A mesoestrutura é constituída basicamente pelos pilares da ponte, ou quaisquer outros tipos de elementos que se encarregam da ligação da superestrutura com a infraestrutura. Estes, além de poderem receber esforços diretos, como a ação do vento ou da corrente da água, também são responsáveis pela transmissão dos esforços originários da superestrutura para a infraestrutura (PFEIL, 1980, p. 1).

Por fim, a superestrutura é a parte que recebe as cargas de tráfego. É constituída essencialmente de lajes e vigas que se encarregam de suportar estes esforços e transferi-los à mesoestrutura (PFEIL, 1980, p. 2).

Vale ressaltar que “[...] determinados tipos de pontes não apresentam separação nítida entre os elementos, o que torna a aplicação da nomenclatura para ambas as subdivisões apresentadas, não muito clara.” (EL DEBS; TAKEYA, 2009, p. 4). Esta situação, por exemplo, de trincheiras, que podem não apresentar uma divisão clara entre mesoestrutura do viaduto funciona tanto como apoio quanto como fundação.

A figura abaixo exhibe a visualização das principais partes da estrutura de uma ponte.

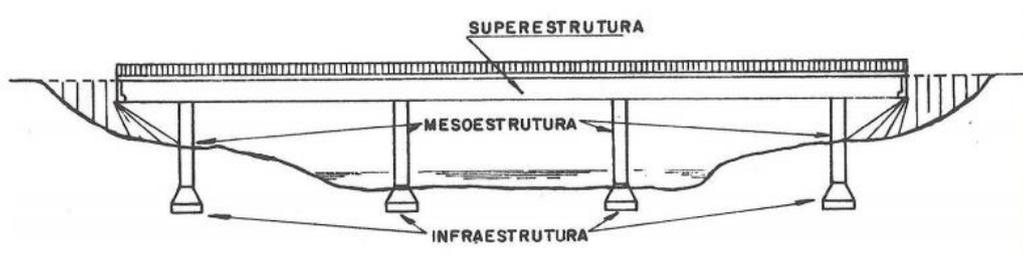


FIGURA 5 – PARTES CONSTITUINTES DE UMA PONTE

FONTE: PFEIL, 1980

5.13 MAPEAMENTO ACÚSTICO

Um mapeamento acústico é um instrumento fundamental para o diagnóstico e avaliação de um ambiente. A confecção desses mapeamentos é importante para o controle e redução da poluição sonora e melhoria da qualidade do ambiente sonoro na cidade de Curitiba. Os Mapas de Ruído são utilizados como ferramenta auxiliar para o desenvolvimento sustentável buscando a garantia e a melhoria da qualidade de vida da população urbana.

O controle de ruído através da realização de Mapas Acústicos já vem sendo utilizado com sucesso em diversos países (ANNECKE & ZIMMERMAN, 2008; LEE et.al.,2008; KO et.al., 2011; TSAY et.al., 2009; MURPHY & KING, 2010). Como exemplo, podem-se citar os países membros da União Europeia, a qual em sua Diretiva EU END 2002/49/EC indicou que todos os Estados Membros deveriam apresentar até 30/06/2007 os mapas estratégicos de ruído para aglomerações populacionais com número maior a 250000 habitantes e até 30/06/2012 os mapas estratégicos de ruído para aglomerações populacionais com número maior a 100000 habitantes.

Os Mapas de Ruído permitem a identificação das principais fontes sonoras no meio urbano, assim como a sua quantificação, ou seja, o levantamento dos níveis sonoros emitidos por estas fontes de uma ou mais regiões.

Para a confecção dos mapas acústicos são utilizados softwares de mapeamento acústico sofisticados. Estes softwares calculam, para um número muito grande de pontos, os níveis de imissão sonora, a partir dos parâmetros do tráfego e das características físicas (topográficas) do local que se está estudando. Assim, eles são capazes de gerar um mapa dos níveis de ruído utilizando uma escala de cores relacionada aos níveis sonoros. Com este recurso, é possível conhecer os níveis de ruído em qualquer ponto de uma área delimitada, por meio de leitura direta no mapa de ruído.

Além disso, estes programas permitem que sejam simuladas alterações nos parâmetros que determinam tanto a emissão como a imissão do ruído, constituindo-se assim numa poderosa ferramenta, não só para a avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego, mas também para a avaliação prévia da eficácia de

alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas. (MANVELL & BANDA, 2006).

Em adição, os mapas acústicos são excelentes ferramentas para o gerenciamento do ruído ambiental, pois eles podem fornecer:

- 1) Uma visão ampla do problema de poluição sonora;
- 2) Análises temporais dos níveis sonoros;
- 3) Através dos mapas de ruído, pode-se identificar as principais fontes de ruído no meio urbano, assim como quantificar seus níveis sonoros;
- 4) Manutenção permanente de uma base de dados sobre estudos de poluição sonora, o que vem a minimizar as medições de campo, as quais são extremamente onerosas (tempo e dinheiro), e dependentes de condições ambientais propícias para sua realização (por exemplo: ausência de chuvas e tempo úmido);
- 5) Predição de situações futuras, contribuindo para o planejamento urbano:
 - a) Abertura e fechamento de ruas,
 - b) Construção ou desativação de linhas férreas,
 - c) Implantação de novas unidades habitacionais,
 - d) Implantação de novos estabelecimentos comerciais,

Através destas análises pode-se então construir uma base de dados que serão de grande valia para:

- 1) Elaboração de políticas públicas,
- 2) Elaboração do Zoneamento Urbano,
- 3) Planejamento de Uso do Solo,
- 4) Discussão de legislação pertinente ao controle de emissões (fontes sonoras) e imissões sonoras (níveis sonoros recebidos pela população).

Em um enfoque ambiental, a importância prática que um estudo de ruído urbano traz para a comunidade se dá quando ele é feito de maneira que integre os aspectos da emissão (fonte sonora) com os da imissão sonora (recepção). O cruzamento de dados sonoros emitido pelas fontes com a decorrente avaliação dos níveis efetivamente recebidos pelas pessoas expostas ao ruído em estudo é fundamental para qualquer estudo que pretenda avaliar o impacto ambiental

causado pela poluição sonora. (MURPHY & KING 2010; TSAI et.al., 2009; PINTO & MARDONES 2008; FIEDLER et.al., 2012; ZANNIN & SANT'ANA, 2011; PAZ 2004; KO et.al., 2011; ZEYNEP & NEŞE, 2012).

5.13.1 Modelo de Ruído ISO 9613-2

A exposição da população de interesse para a fonte de ruído pode ser obtida por medições ou através de modelos que calculam a exposição ao ruído com base nas informações sobre a origem e sobre as condições de propagação do som da fonte para o receptor. Tais modelos de cálculo podem também ser utilizados para prever níveis de ruído no futuro com base nas alterações estimados em fontes de ruído. Com o avanço dos recursos computacionais, uma série de pacotes de software de mapeamento de ruído foram desenvolvidos, como CADNA, ENM, IMMI, Mitra, Predictor-Lima, Noisemap, e SoundPLAN. O software Predictor® é um software desenvolvido por profissionais de engenharia especialistas em ruído para profissionais que trabalham com ruído. É um software especializado em simulações de ruídos. A modelagem de ruído engloba o ruído do tráfego, ruído ocupacional, ruído industrial geral e ruído das aeronaves. Muitos padrões de cálculo são implementados para satisfazer as necessidades dos engenheiros de controle de ruído em todo o mundo. Ao realizar uma predição em qualquer um dos softwares supracitados, deve-se selecionar algum modelo de predição acústica, dentre os modelos rodoviários mais populares estão: o ISO 9613 -1/2 Road, o Richtlinien für den Lärmchutz an Straßen (RLS- 90) da Alemanha, o método francês NMPB-2008, o Calculation of Road Traffic Noise (CRTN) utilizado no Reino Unido, o Federal Highway Administration (FHWA) dos Estados Unidos dentre outros. Optou-se pela escolha do modelo ISO 9613-1/2 Road porque vem sendo amplamente utilizado em diversos trabalhos encontrados na literatura (ZANNIN & SANT'ANA, 2011, LEE et.al., 2008, CHO et.al., 2004; CHO & MUN, 2007, FIEDLER et.al., 2012). Segundo Bies & Hansen (2009), O método ISO é moderadamente complexo e produz resultados de boa precisão. O módulo de ruído rodoviário ISO 9613-2 presente no software Predictor permite o cálculo e o mapeamento dos níveis de pressão sonora em ambientes externos. A configuração e os cálculos são baseados na norma ISO 9613-2: 1996 intitulada "Acoustics- Attenuation of sound during propagation

outdoors- Part 2". Essa norma especifica um método de engenharia que calcula a atenuação do som durante a sua propagação em ambientes externos para prever os níveis sonoros ambientais em qualquer distância devido a inúmeras fontes sonoras. Além do mais, é demonstrado na norma como a propagação do som é atenuada ao longo do caminho e como são estimadas as correções para a absorção atmosférica (umidade relativa e temperatura), reflexões, efeitos da topografia do solo, efeitos dos obstáculos (barreiras, edificações e vegetação) além de efeitos de vento e absorção do solo.

As fórmulas de cálculo baseadas na ISO 9613 -1/2 do Predictor são as seguintes:

$$L_{It,per} = L_{dw} - C_m - C_{t,per}$$

$$L_{dw} = L_w - R - A$$

Onde:

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

C_m : Correção meteorológica em dB;

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

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

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

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

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

A atenuação A é calculada da seguinte forma:

$$A = D_c + A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{fol} + A_{site} + A_{hous}$$

D_c : Correção da diretividade em dB;

A_{div} : é a atenuação provocada pela divergência entre a fonte e o receptor em dB;

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

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

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

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

A_{site} : Atenuação devido a instalações de uma indústria em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{hous} : Atenuação devido a residências em dB.

Antes de o cálculo ser iniciado, os parâmetros de cálculo devem ser definidos. Estes parâmetros são opcionais para o cálculo da correção meteorológica, da atenuação do solo, da absorção de ar e do ângulo de visão usado para dividir as fontes em linha e as estradas em várias fontes pontuais.

Segundo o manual do software Predictor, a parte mais demorada do cálculo é a atenuação A . Para cada combinação de pontos fonte-receptor, o software faz combinações para todos os caminhos do som de forma direta, assim como todos os caminhos possíveis de reflexão de som em objetos refletoras, tais como edifícios ou barreiras. Somente as reflexões de primeira ordem são levadas em consideração. Todas as distâncias e alturas dos itens (edificações, vegetações, etc.) são determinados, bem como desvios verticais e horizontais. A atenuação e as correções são determinadas com base nos caminhos e desvios do som (BRUEL & KJAER, 2010). Uma via é um item usado para modelar a emissão do nível de pressão sonora de estradas e vias. Essa emissão pode ser obtida através da potência sonora por metro ou pelo número de veículos por hora, velocidade do tráfego e tipo de pavimento. Os veículos são subdivididos em três categorias: motocicletas, veículos leves e veículos pesados. A potência sonora por categoria de veículos é calculada pelas seguintes equações:

$$L_w = 10 * \log\left(\frac{Q}{V}\right) + a + b * V + C_{wh}$$

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

$$C_h = 5 * \log(ph) - 1,5$$

Onde:

Q= Número médio de veículos por hora;

V= Velocidade média do tráfego em km/h;

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

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

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

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

C_h : Correção da declividade em dB;

ph: Declividade em %;

6. MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Curitiba, devido ao seu contínuo desenvolvimento, agrega à sua vida urbana a poluição sonora caracterizada pelo ruído urbano. Como pontos principais de geração de ruído estão as vias de grande tráfego.

O presente trabalho propõe uma rotina de avaliação *in situ* e predição acústica em laboratório para o estudo do ruído de tráfego em situação posterior às intervenções de construção civil, comparando esta situação com a anterior às mesmas, dedicando-se diretamente a estudos de impactos ambientais devido às emissões sonoras. As situações anteriores e posteriores a estas intervenções serão chamadas de pré-obra e pós-obra, respectivamente.

As avaliações e dados coletados em cada região na situação pré-obra foram feitas no ano de 2011. Estes dados foram usados para a elaboração dos mapas da situação pré-obra. Logo, este estudo teve como intuito:

- Elaborar mapas de ruído da situação pré-obra a partir dos dados já existentes no Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA);
- Coletar dados na situação pós-obra;
- Elaborar mapas de ruído da situação pós-obra;
- Comparar ambas as situações com a Lei Municipal de Curitiba 10.625/02 que dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público.

Para tanto foram realizadas as seguintes etapas:

- Definição dos locais a serem avaliados;
- Reconhecimento das fontes de ruído presentes nos locais;
- Coleta de dados em campo;
- Tabulação dos dados coletados;
- Elaboração do mapeamento acústico;
- Comparação dos níveis sonoros nas duas situações: pré-obra e pós-obra; e
- Avaliação conclusiva.

6.1 OBJETO DE ESTUDO

O objeto deste estudo é a avaliação do ruído ambiental em três regiões importantes da cidade. As avaliações ocorreram na situação posterior às intervenções construtivas, sendo que em duas das regiões avaliadas foram construídas trincheiras que permitiram a ligação de duas vias formando uma nova rua, e também, uma outra região com reestruturação de via transformando-a em uma nova avenida do município.

É importante ressaltar que a metodologia adotada para a avaliação do pré-obra nas regiões do estudo foram as mesmas. A seguir será apresentado um tópico relatando os pontos das medições e valores dos níveis sonoros medidos no ano de 2011 em cada uma das regiões, pelo Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, LAAICA.

6.1.1 O Pré-Obra

✓ Avenida Fredolin Wolf

Os critérios metodológicos e os equipamentos de medição utilizados foram os mesmos da avaliação da situação pós-obra.



FOTO 1 – MEDIÇÃO NA AV. FREDOLIN WOLF NO PRÉ-OBRA

FONTE: LAAICA, 2011

As localizações dos pontos de medição para a Avenida Fredolin Wolf foram as mesmas da proposta para a situação pós-obra e são apresentadas no ítem 6.1.2.

✓ Trincheira Chile

O procedimento utilizado para a obtenção dos dados de campo é o mesmo da situação pós-obra.



FOTO 2 – MEDIÇÃO NA TRINCHEIRA CHILE NO PRÉ-OBRA

FONTE: LAAICA, 2011

Os pontos de medição realizados são apresentados na Figura 6. Os nove pontos foram distribuídos pela região da trincheira, sendo 6 (seis) pontos na Avenida Comendador Franco e 3 (três) pontos na Rua José Ananias Mauad.



FIGURA 6 – PONTOS AVALIADOS NA REGIÃO DA TRINCHEIRA CHILE NO PRÉ-OBRA
FONTE: LAAICA, 2011

✓ *Trincheira Gustavo Rattman*

O procedimento utilizado para a obtenção dos dados de campo é o mesmo da situação pós-obra.



FOTO 3 – MEDIÇÃO NA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN NO PRÉ-OBRA
FONTE: LAAICA, 2011

Os pontos de medição realizados são apresentados na Figura 7. Todos os 6 (seis) pontos foram distribuídos na Rodovia Régis Bittencourt.



FIGURA 7 – AVALIAÇÃO NA REGIÃO DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN NO PRÉ-OBRA
FONTE: LAAICA, 2011

6.1.2 Avenida Fredolin Wolf

A Avenida Fredolin Wolf está localizada na região noroeste da cidade de Curitiba, tem aproximadamente 5500 m de comprimento e passa por três bairros, sendo Santa Felicidade, São João e Boa Vista.

A Fredolin Wolf é uma via com poucas unidades habitacionais quando observada por um todo. Possui grande parte de sua extensão margeada por áreas com florestas e também com a presença do parque Tingüí.

A ideia desta via estar integrada no Programa Pró-Cidades em Curitiba é transformá-la em uma moderna ligação viária. A região contava com um grande fluxo de veículos e sua via era bastante prejudicada devido à passagem de um número alto de veículos pesados. Essa reestruturação contou com o aumento da largura da rua e a melhoria do pavimento permitindo benefícios ao tráfego da região, além de aumentar a qualidade de vida dos cidadãos e incentivá-los ao esporte e lazer, uma vez que, esta obra conta com uma nova rede de drenagem, novo asfalto, ciclovias compartilhadas, rampas de acesso e novos abrigos para pontos de ônibus.

Segundo dados da Prefeitura Municipal de Curitiba até a conclusão do projeto, que estava previsto para o início de 2012 e que reestruturaria 5545 metros da Rua Fredolin Wolf e 1955 metros da Rua Domingos Antônio Mõro, mais de 65 mil habitantes seriam beneficiados.

Na realização das medições em campo adotou-se apenas o trecho que aborda a Avenida Fredolin Wolf, o que significa um trecho de 5,545 quilômetros de extensão, com monitoramento em 9 (nove) pontos da via distanciados em uma média de 600 metros entre si. A distribuição dos pontos começa na região de Santa Felicidade e vai até a região do Pilarzinho, como apresentado na sequência.

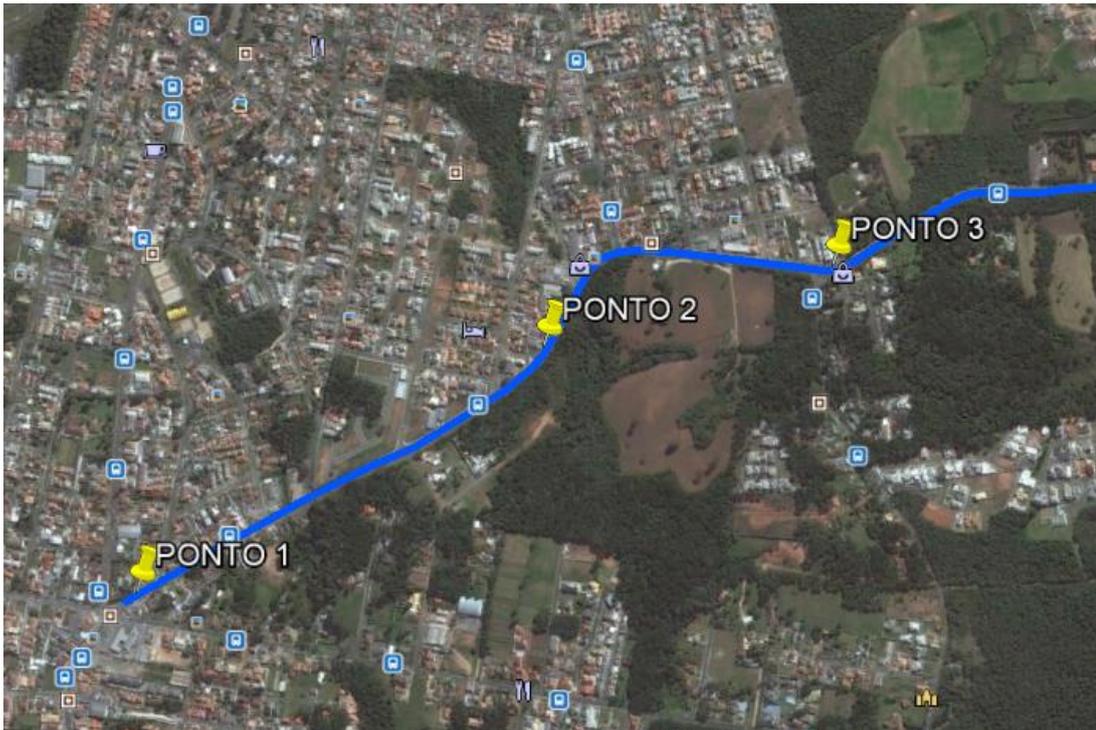


FIGURA 8 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 01 A 03 NA AV. FREDOLIN WOLF
FONTE: GOOGLE EARTH, 2014

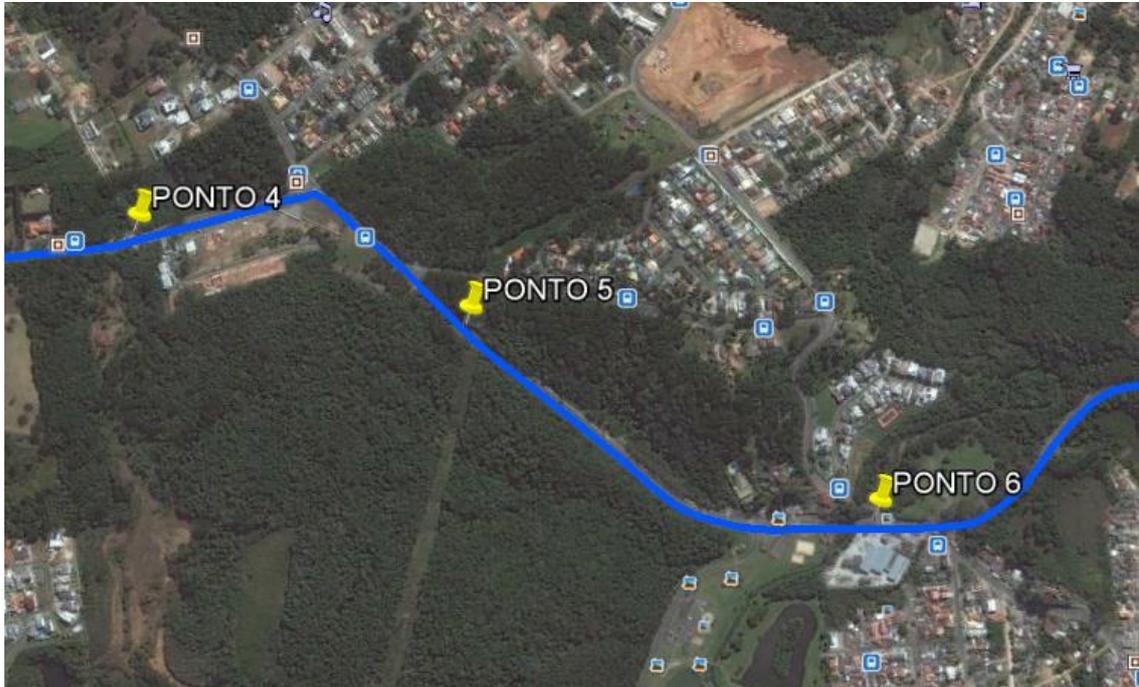


FIGURA 9 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 04 A 06 NA AV. FREDOLIN WOLF
FONTE: GOOGLE EARTH, 2014

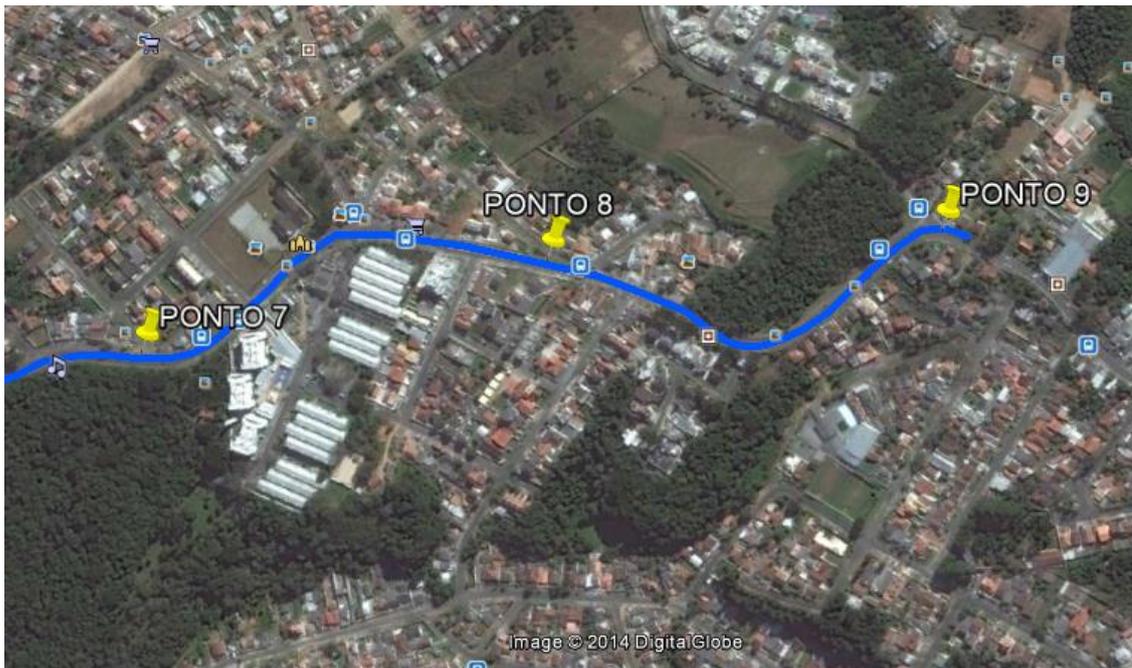


FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 07 A 09 NA AV. FREDOLIN WOLF
FONTE: GOOGLE EARTH, 2014

O zoneamento de uso do solo do município de Curitiba para a região analisada segundo a Lei nº 9.800 de 2000, que dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2000), compreende as seguintes zonas:

- Zona Residencial 2 (ZR-2)
- Zona Residencial de Ocupação Controlada (ZR-OC)

A Figura 11 mostra o zoneamento da região de estudo na Avenida Fredolin Wolf.

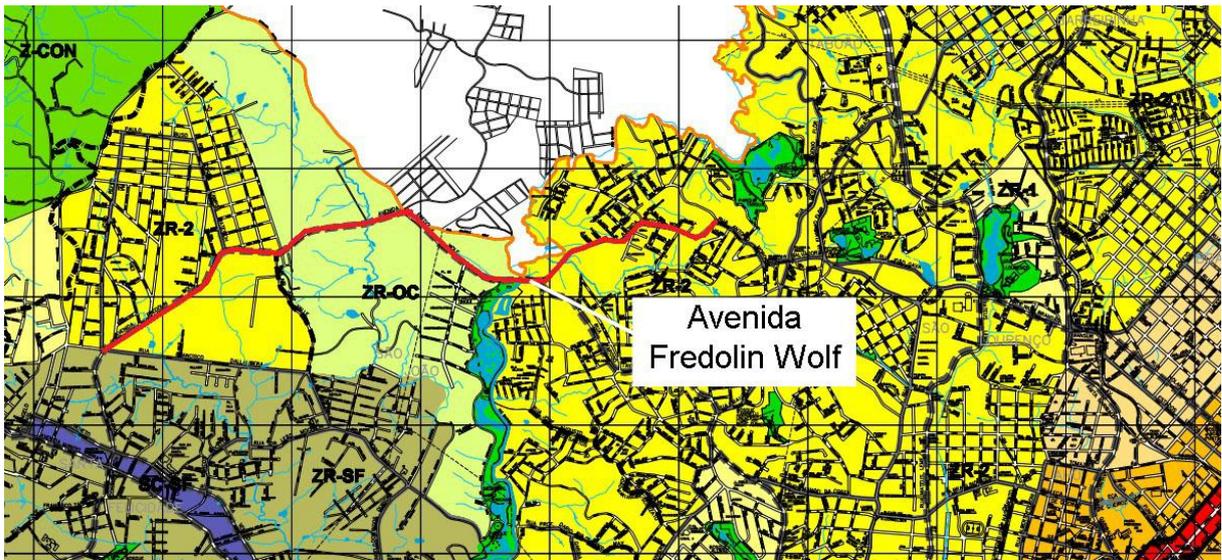


FIGURA 11 – ZONEAMENTO URBANO NAS PROXIMIDADES DA AVENIDA FREDOLIN WOLF

FONTE: ADAPTADO DO IPPUC, 2014

O zoneamento é de extrema importância para o estudo, pois segundo a legislação municipal 10.625/02 cada zoneamento possui um limite máximo de pressão sonora. Para o zoneamento da região, os níveis máximos permitidos são descritos na Tabela 6.

TABELA 6 – LIMITE MÁXIMO PARA CADA ZONA DA AVENIDA FREDOLIN WOLF

ZONA	SIGLA	LIMITE MÁXIMO EM dB(A)
Zona Residencial-2	ZR-2	55,0
Zona Residencial de Ocupação Controlada	ZR-OC	60,0

6.1.3 Trincheira Chile

O projeto Binário Chile-Guabirota recebe este nome primeiramente porque os binários são sistemas de trânsito formados por ruas paralelas, de mão única, em sentidos opostos e abordam tanto a Rua Chile e a Rua Guabirota, ambas situadas no bairro Rebouças do município de Curitiba. A Rua Chile ficará com sentido único do Jardim Botânico ao Prado Velho e a Rua Guabirota terá sentido único do Prado Velho ao Jardim Botânico.

O objetivo do Programa Pró-Cidades para esta região é facilitar uma ligação entre os bairros Água Verde e Rebouças, já que nos últimos anos cresceram populacionalmente e o trânsito na região tornou-se intenso. Nessa região serão

implantadas trincheiras que ligarão estes bairros deixando o trânsito mais organizado e mais cômodo e seguro ao transporte coletivo, motoristas e pedestres.

Este estudo abordará somente a trincheira da Rua Chile uma vez que a trincheira da Rua Guabirota não estava finalizada no momento das medições em campo.

As medições foram realizadas na Rua Chile, na Rua Pergentina Silva Soares e na Avenida Comendador Franco totalizando 9 (nove) pontos de medição em toda a região, sendo 4 (quatro) pontos na Avenida Comendador Franco e 5 (cinco) pontos na nova via sob a trincheira. Os pontos foram distanciados em aproximadamente 200 metros entre si e sua localização exata é apresentada nas figuras abaixo.

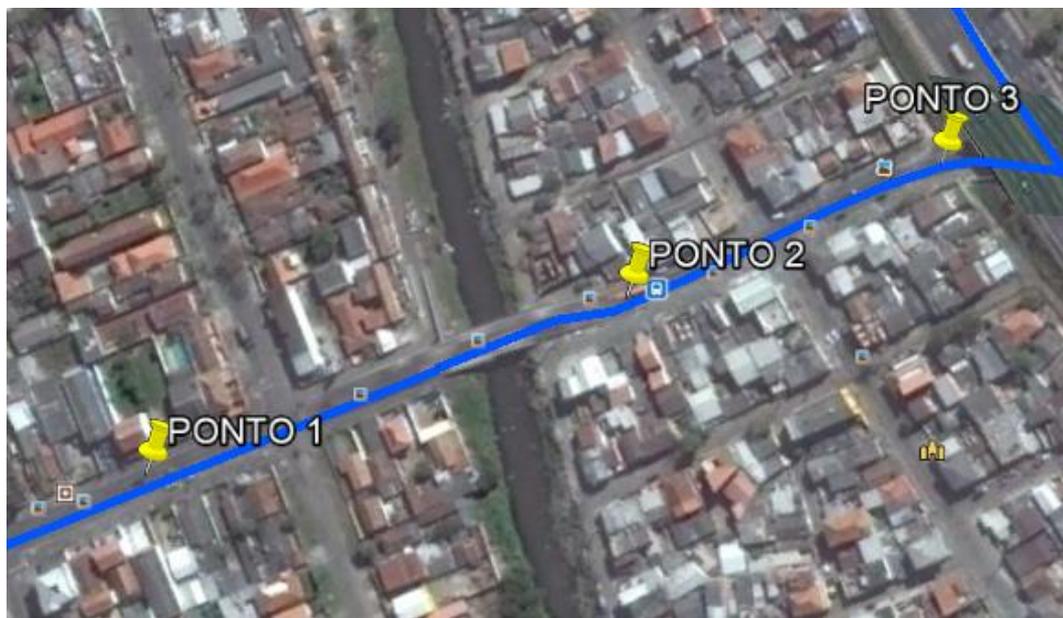


FIGURA 12 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 01 A 03 NA RUA CHILE

FONTE: GOOGLE EARTH, 2014



FIGURA 13 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 04 E 05 DA RUA CHILE E PONTOS 06 E 07 DA AVENIDA COMENDADOR FRANCO

FONTE: GOOGLE EARTH, 2014



FIGURA 14 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 08 E 09 DA AVENIDA COMENDADOR FRANCO

FONTE: GOOGLE EARTH, 2014

O zoneamento de uso do solo do município de Curitiba para a região analisada segundo a Lei nº 9.800 de 2000, que dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2000), compreende as seguintes zonas:

- Zona Residencial 1 (ZR-1)
- Zona Residencial 3 (ZR-3)

A Figura 15 mostra o zoneamento na região da Trincheira Chile.

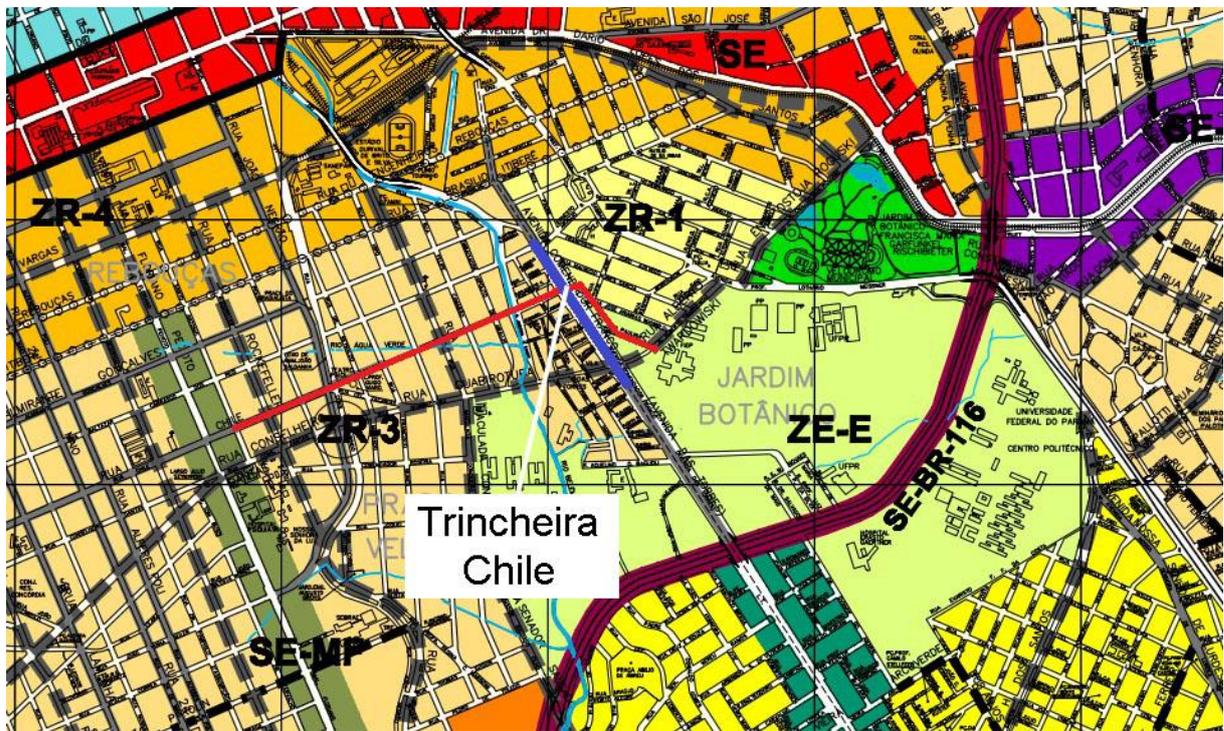


FIGURA 15 – ZONEAMENTO NAS PROXIMIDADES DA TRINCHEIRA CHILE

FONTE: ADAPTADO DO IPPUC, 2014

Para o zoneamento da região, os níveis máximos permitidos estão descritos na Tabela 7.

TABELA 7 – LIMITE MÁXIMO PARA CADA ZONA DA TRINCHEIRA CHILE

ZONA	SIGLA	LIMITE MÁXIMO EM dB(A)
Zona Residencial-1	ZR-1	55,0
Zona Residencial-3	ZR-3	55,0

6.1.4 Trincheira Gustavo Rattman

A obra Trincheira Gustavo Rattman é chamada assim porque o seu objetivo foi construir uma trincheira sob a Linha Verde Norte, a fim de garantir um trânsito mais seguro na ligação entre os bairros Bacacheri, pela Rua Gustavo Rattman, e Bairro Alto, pela Rua José Zgoda. Com a obra concluída a região passou a ter um fluxo de veículos maior, uma vez que anterior à implantação da trincheira não era possível o acesso entre os bairros acima citados.

Para esta região foram realizadas no total 10 (dez) pontos de medição, sendo 3 (três) pontos na Rodovia Régis Bittencourt ou BR-116, 4 (quatro) pontos na nova via sob a trincheira e mais 3 (três) pontos em ruas próximas à trincheira.

A localização dos pontos avaliados está apresentada na Figura 16.

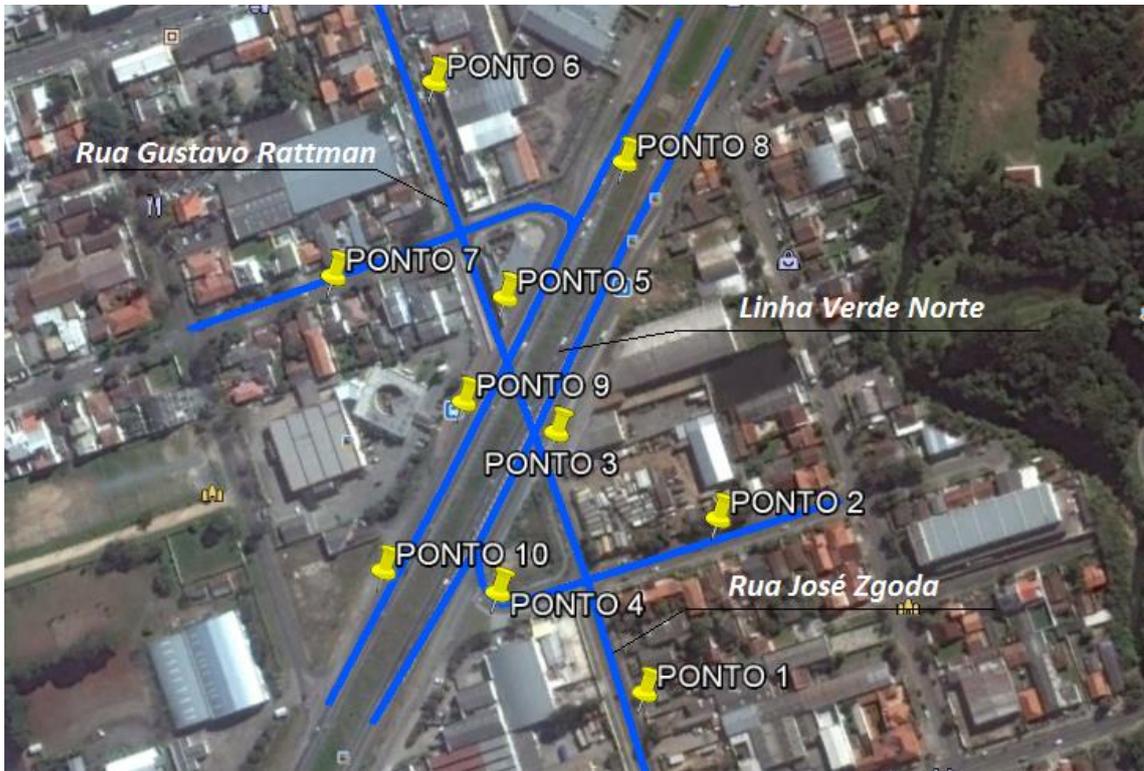


FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS 01 A 10 NA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN
FONTE: LAAICA, 2011

A distribuição dos pontos foi determinada para a melhor análise possível do ruído na região.

O zoneamento de uso do solo do município de Curitiba para a região da Trincheira Gustavo Rattman, segundo a Lei nº 9.800 de 2000, compreende apenas uma zona: a Zona de Transição BR-116 (ZT-BR-116).

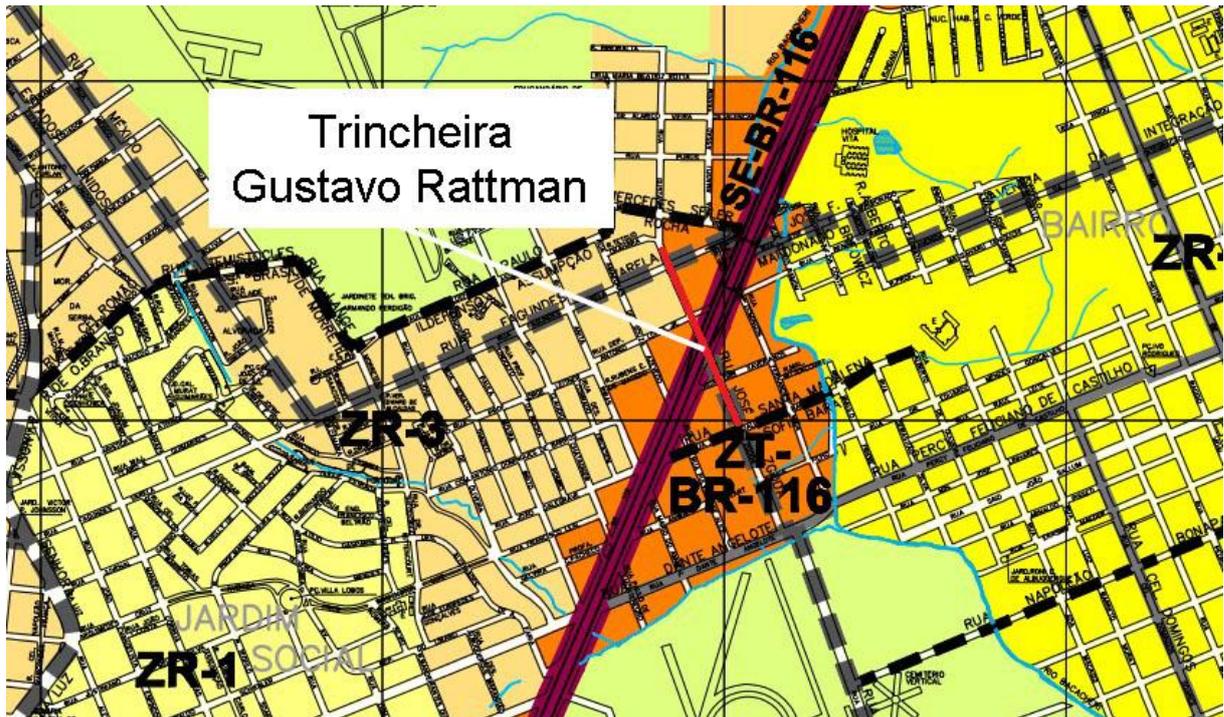


FIGURA 17 – ZONEAMENTO NAS PROXIMIDADES DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN

FONTE: ADAPTADO DO IPPUC, 2014

Segundo a legislação municipal 10.625/02 cada zoneamento possui um limite máximo de pressão sonora permitido. Para o zoneamento da região, o nível máximo permitido está descrito na Tabela 8.

TABELA 8 – LIMITE MÁXIMO PARA CADA ZONA DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN

ZONA	SIGLA	LIMITE MÁXIMO EM dB(A)
Zona de Transição BR-116	ZT-BR-116	65,0

6.2 PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

As medições sonoras foram realizadas conforme as recomendações da norma NBR 10151/2000 e seguindo as recomendações das normas ISO 1996 parte 1 e 2.

A NBR 10151/2000 orienta que em medições externas, deve-se, quando possível, efetuar a medição a pelo menos 2 m de qualquer superfície reflexiva como muros e edificações com exceção do solo. Desta forma, as medições foram feitas a uma altura de 1,20 m, perpendicular ao eixo de emissão (pista) como demonstrada na Figura 18 a seguir.

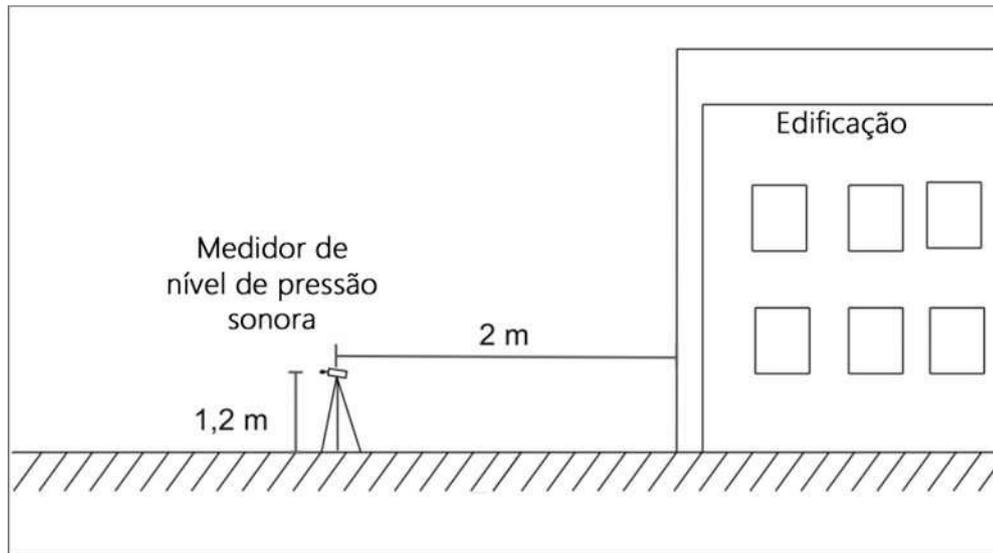


FIGURA 18 – DISTÂNCIAS TOMADAS AO POSICIONAR O MEDIDOR EM CAMPO
 FONTE: FIEDLER, P. E. (2012)

Antes do início das medições, foram calibrados todos os analisadores utilizados na pesquisa. O objetivo da calibração é verificar a sensibilidade do aparelho ajustando-o, se necessário, para garantir a precisão dos resultados. (BRUEL & KJAER 2000).

As medições dos níveis sonoros foram realizadas com a utilização de analisadores sonoros classe I, fabricados pela empresa dinamarquesa Brüel & Kjaer. Os equipamentos utilizados foram:

- analisador sonoro Brüel & Kjær 2238 com capacidade de realizar análise em frequências, (classe 1 segundo IEC 60651). Obedecem a Norma Brasileira 10.151 (2000) – Avaliação do Ruído em Comunidades;
- um calibrador modelo BK 4231;
- software Noise Explorer modelo 7815 para o descarregamento de dados;
- software de análise Predictor 8.11 modelo 7810 para a realização dos mapas acústicos.

No momento da realização das medições podem ocorrer alguns erros tais como, efeitos de vento, reflexões por superfícies muito próximas e erros do equipamento. Sendo assim, buscou-se realizar as medições em condições

meteorológicas boas, ou seja, na ausência de chuva e ventos fortes. Para garantir a qualidade das medições foi inserido no equipamento medidor um protetor de vento (windscreen) como exemplificado na Foto 4.

Todas as medições foram realizadas em boas condições meteorológicas (sem chuva e vento forte), com o aparelho portando um protetor de vento (windscreen). O protetor de vento adaptado ao microfone do equipamento minimiza as possíveis interferências causadas pelo vento.



FOTO 4 – O EQUIPAMENTO COM O PROTETOR DE VENTO

FOTO: PAULO E. K. FIEDLER (2013)

As configurações dos analisadores foram realizadas no modo de resposta fast e avaliação na curva de ponderação A, em uma faixa dinâmica de 30 a 110 dB, sendo apropriadas para medição externa de ruído ambiental.

Durante o período de medição foram registrados todos os acontecimentos e informações importantes que pudessem de alguma forma interferir na análise de dados e no mapeamento sonoro. Isso foi realizado porque o aparecimento de fontes indesejadas como um trem passando, a sirene de uma ambulância, ruído de obras ou cães latindo obrigavam uma pausa, ou um reinício na medição, porque as características específicas destes ruídos poderiam alterar significativamente os resultados obtidos.

Quanto aos dias de medição, a escolha pode variar de acordo com o objetivo da pesquisa e do tipo de ruído ambiental avaliado. O ideal é que sempre sejam realizadas nos mesmos dias e nos mesmos horários, porém a disponibilidade de tempo, pessoas, equipamentos e do clima limitam, e muito, essa escolha.

As medições do presente trabalho foram realizadas no período diurno (07h01min às 12:00h), entre os meses de março e maio de 2014, com contagens de tráfego simultâneas, em diferentes horários e dias úteis da semana, para que se pudessem englobar o maior número de situações possíveis de composição do tráfego. Como todas as regiões em estudo possuem os dois sentidos de tráfego, as medições foram consideradas para ambos os sentidos.

O tempo de medição, segundo a NBR10151/2000, deve permitir a caracterização do ruído em estudo, podendo envolver uma única medição ou uma sequência delas. Na literatura, em estudos semelhantes de ruído de tráfego rodoviário, encontraram-se tempos de medição que variavam entre segundos e horas. (GUEDES et.al., 2011; MIODUSZEWSKI et.al., 2011; RAMIS et.al., 2003; ZANNIN & SANT'ANA, 2011). São relatados que em medições de curta duração podem acelerar a coleta de dados com o risco de não gerar informações suficientes, porém medições longas são muito cansativas e a disponibilidade de tempo, pessoas, e equipamentos limitam uma empreitada como esta, correndo o risco de, inclusive, gerar resultados iguais obtidos em intervalos menores. Desta forma, a escolha do tempo de medição foi de 15 minutos seguindo a tendência de vários estudos publicados na literatura mundial. (GOLMOHAMMADI et.al., 2009; IZUMI & YANO, 1991; CHO et.al., 2004; LAWRENCE & BURGESS, 1980; BURGESS, 1977; UTLEY, 1982).

Os dados foram coletados por uma equipe de três pessoas do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) e são:

- Quantidade de motocicletas, veículos leves e pesados;
- Nível sonoro equivalente na curva de ponderação A (L_{eq}).

Para o mapeamento sonoro, o índice L_{eq} é utilizado como base aos indicadores L_{den} estipulados na diretiva europeia 2002/49/EC. Vale lembrar que a norma ISO 1996 parte 1 determina o L_{eq} como o melhor descritor de ruído ambiental.

A seguir são apresentadas algumas fotos tiradas em medições deste estudo.



FOTO 5 – MEDIÇÃO EM CAMPO
FONTE: A AUTORA, 2014



FOTO 6 – MEDIÇÃO EM CAMPO
FONTE: A AUTORA, 2014



FOTO 7 – MEDIÇÃO NA AV. FREDOLIN WOLF
NO PÓS-OBRA
FONTE: A AUTORA, 2014



FOTO 8 – MEDIÇÃO NA AV. FREDOLIN WOLF
NO PÓS-OBRA
FONTE: A AUTORA, 2014



FOTO 9 – MEDIÇÃO NA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN NO PÓS-OBRA

FONTE: A AUTORA, 2014



FOTO 10 – MEDIÇÃO NA TRINCHEIRA CHILE NO PÓS-OBRA

FONTE: A AUTORA, 2014



FOTO 11 – MEDIÇÃO NA TRINCHEIRA CHILE NO PÓS-OBRA

FONTE: A AUTORA, 2014



FOTO 12 – PLACA DA AVENIDA FREDOLIN WOLF

FONTE: A AUTORA, 2014

6.3 TABULAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

Após a realização das medições, os resultados foram transferidos dos analisadores para o computador através do software Noise Explorer modelo 7815. Neste programa foram processados os cálculos dos valores médios para os níveis sonoros equivalentes (L_{eq}). Já os dados de contagem de tráfego foram submetidos a uma planilha de cálculo para determinação da demanda média de tráfego.

6.4 MAPEAMENTO ACÚSTICO

Um mapeamento acústico ou sonoro é fundamental para o diagnóstico e avaliação de um ambiente sonoro. A confecção de mapas de ruído pode tornar-se um instrumento para o controle e redução da poluição sonora e melhoria da

qualidade do ambiente sonoro da cidade de Curitiba. Os Mapas de Ruído são utilizados como ferramenta para auxiliar o desenvolvimento sustentável buscando a garantia e a melhoria da qualidade de vida da população urbana.

Para a confecção dos mapas acústicos são utilizados softwares de mapeamento acústico sofisticados. Estes softwares calculam automaticamente, para um número muito grande de pontos, os níveis de imissão sonora, a partir dos parâmetros do tráfego e das características físicas (topográficas) do local que se está estudando. Assim, eles são capazes de gerar um mapa dos níveis de ruído utilizando uma escala de cores relacionada aos níveis sonoros. Com este recurso, é possível conhecer os níveis de ruído em qualquer ponto de uma área delimitada, por meio de leitura direta no mapa de ruído.

Além disso, estes programas permitem que sejam simuladas alterações nos parâmetros que determinam tanto a emissão como a imissão do ruído, constituindo-se assim numa poderosa ferramenta, não só para a avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego, mas também para a avaliação prévia da eficácia de alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas.

Com o avanço dos recursos computacionais, uma série de pacotes de software de mapeamento de ruído foi desenvolvida, sendo um destes o Predictor 8.11. Este programa calcula os níveis sonoros em função de sua propagação desde a fonte geradora até uma distância pré-determinada, representados por um mapa em escala de cores relacionada aos níveis de ruído. Sua entrada de dados permite a simulação de um grande número de variáveis, como por exemplo: 1) cálculo de fenômenos de propagação (difração, etc.); 2) adoção de fatores de correção (efeitos do solo e áreas de atenuação); 3) tipo de fonte e; 4) características de tráfego de uma via.

Optou-se pela escolha do modelo ISO 9613-1/2 *Road* porque vem sendo amplamente utilizado em diversos trabalhos encontrados na literatura (ZANNIN & SANT'ANA, 2011, LEE et.al., 2008, CHO et.al., 2004; CHO & MUN, 2008, FIEDLER et.al., 2012). Segundo Bies & Hansen (2009), O método ISO é moderadamente complexo e produz resultados de boa precisão.

O programa tem potencial para: elaboração de mapas de ruído e planos de controle de ruído de acordo com o regime legal sobre a poluição sonora; estudos de

impacto sonoro do ambiente, avaliações acústicas de predição, consultoria sobre a elaboração de mapas de ruído, implementação das medidas necessárias ao cumprimento da lei, além de conhecimento dos conceitos fundamentais da análise e controle de ruído no âmbito das disciplinas de Acústica.

6.4.1 Confeção dos modelos

Para criar um mapa de ruído de uma área é necessário reunir uma série de parâmetros geométricos, físicos, de tráfego e acústicos. Os dados cartográficos georreferenciados como a topografia (curvas de nível de 5 em 5 metros), o arruamento e as ortofotocartas da região foram obtidos através da base de dados denominada Curitiba Digital – Edição 2006/CD-ROM, do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC. A Figura 19 e a Figura 20 mostram a topografia e uma ortofotocarta importada no software Predictor.

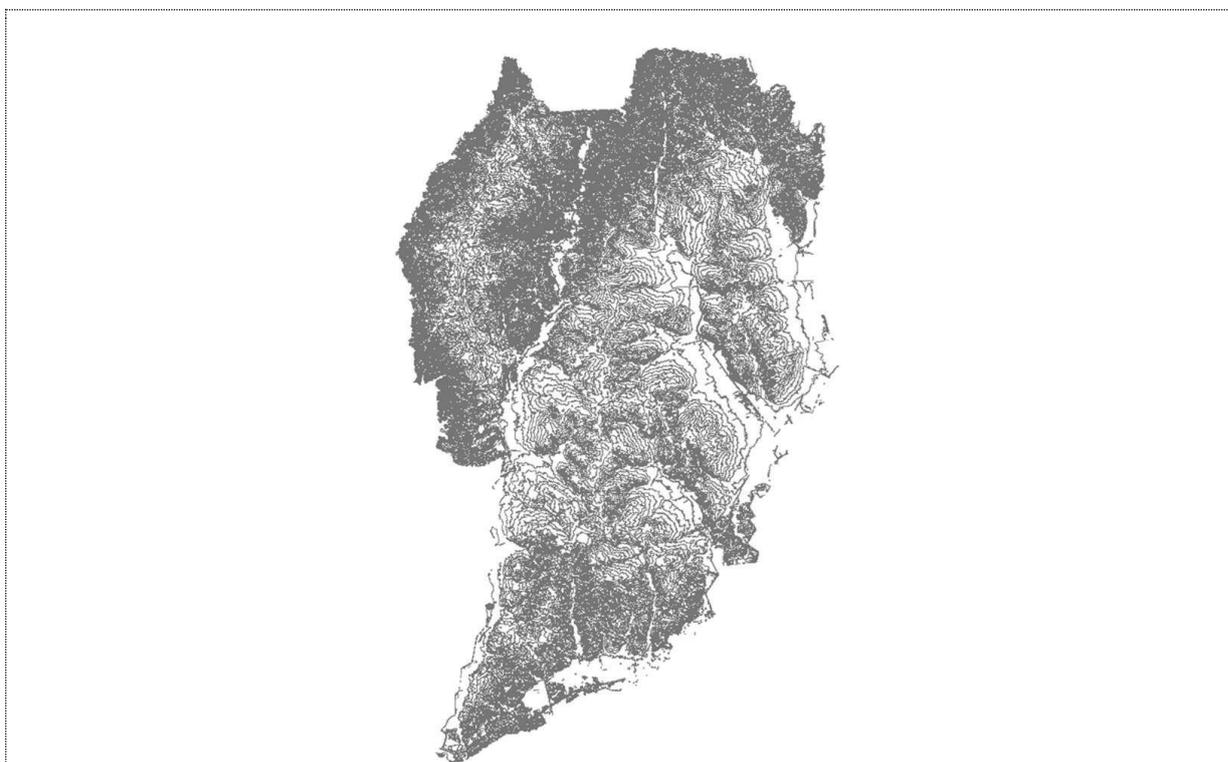


FIGURA 19 – TOPOGRAFIA COM CURVAS DE 5 EM 5 METROS DA CIDADE DE CURITIBA IMPORTADAS NO SOFTWARE PREDICTOR

FONTE: A AUTORA (2014)

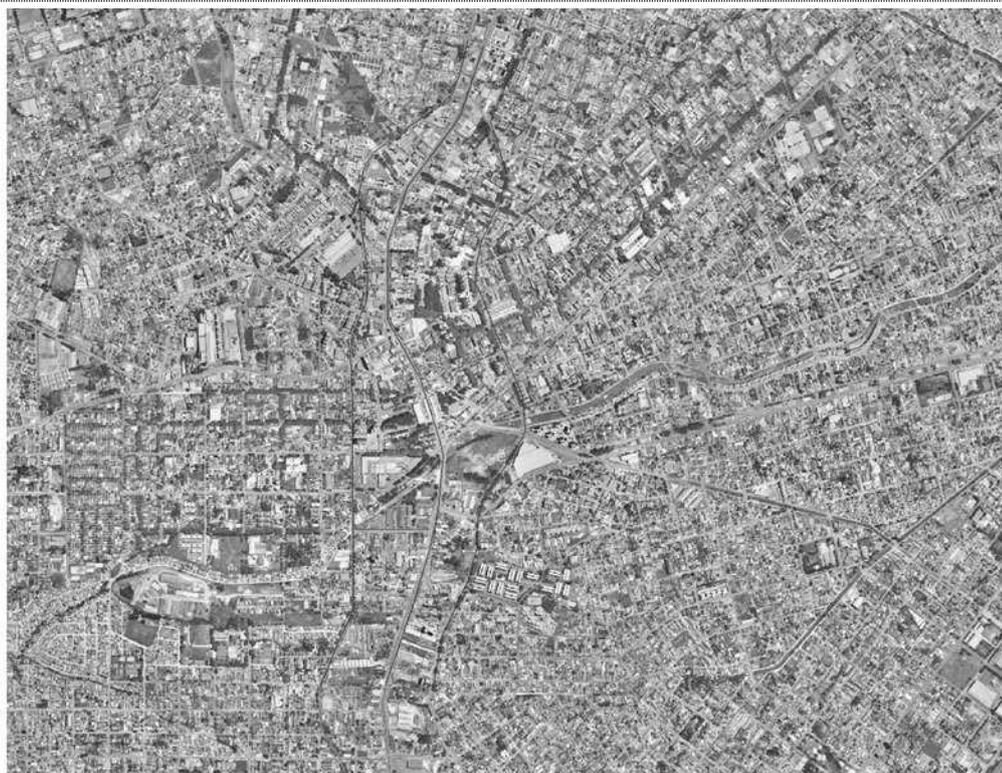


FIGURA 20 – EXEMPLO DE UMA ORTOFOTOCARTA DA CIDADE DE CURITIBA IMPORTADA NO SOFTWARE PREDICTOR

FONTE: A AUTORA (2014)

As características altimétricas das edificações que também devem ser inseridas no software Predictor para realizar a confecção dos mapas acústicos não são disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC, fazendo-se necessário então a digitalização manual de cada uma delas, utilizando as ortofotos como plano de fundo. Cabe ressaltar que as características altimétricas de cada edificação foi observado o número de pavimentos e foi adotado um valor de 3 metros para cada pavimento.

Os fatores de correção para a atenuação atmosférica não foram utilizados porque as medições ocorreram em boas condições meteorológicas (sem chuva e vento forte).

O número de pistas de cada via foi conferido no local para se definir exatamente o eixo das vias. Desta forma, na Avenida Fredolin Wolf que é considerada uma via com duas pistas, a caracterização se dá por apenas uma linha de emissão. Já em vias separadas por canteiros centrais, como a Rodovia Régis Bittencourt e a Avenida Comendador Franco, foi adotada uma linha de emissão para

cada via. Para cada linha de emissão são inseridos: o fluxo de tráfego horário de cada categoria de veículos, o tipo de pavimento (asfalto) adotado e a velocidade que trafega cada categoria de veículos.

A definição da velocidade média dos veículos nas vias analisadas foi considerada a velocidade máxima permitida nas vias de tráfego, variando de 30 a 60 km para a situação pré-obra e 40 a 70 km para a situação pós-obra. Sendo que para veículos pesados a velocidade considerada foi de 10 km/h abaixo das velocidades de motocicletas e veículos leves. Também foram observadas as condições de cada pista para que pudesse ser feita a escolha correta do pavimento no software.

6.4.2 Calibração do modelo

A calibração do modelo é uma etapa muito importante e deve ser realizada sempre antes da simulação do mapa acústico, a qual leva muitas horas para ser realizado.

Esta calibração é feita primeiramente fazendo a checagem do modelo, onde o software acusa se há falhas ou incorreções nos níveis de cota (topografia), nas características altimétricas das edificações, ou ainda se há linhas de emissão (representadas pelas vias) que não contenham informações ou que contenham informações falhas.

Após a checagem do modelo, a segunda parte da calibração consiste em verificar se os níveis sonoros gerados pelo modelo são compatíveis com os níveis sonoros medidos em campo. Esta comparação é feita, adicionando receptores no modelo, no exato local onde foram feitas as medições. Assim, os mapas foram calibrados sendo que a diferença entre o L_{eq} medido e o simulado deve ser menor do que os 4,6 dB(A) recomendados pela WG-AEN em 2002.

6.4.3 Cálculo do mapeamento

Após a realização de todas as etapas anteriores descritas, realiza-se então o cálculo do modelo propriamente dito. Para a realização dos cálculos e obtenção dos mapas acústicos deve-se delimitar uma área de cálculo. Desta forma, o Predictor gera uma malha de pontos receptores (*grid noise map*) cuja distância entre os pontos é definida pelo usuário e depende do objetivo de cada usuário.

Segundo Guedes e Leite (2007) para os mapas estratégicos em áreas pouco urbanizadas, recomenda-se a adoção de uma malha média superior a 20x20 metros; no caso dos mapas estratégicos de aglomerações urbanas, a malha não deve ser superior a 10x10 metro. A escolha da malha também pode depender do tempo de cálculo e do tamanho dos arquivos desejados. Valores de 15x15m ou de 20x20m geram aproximações aceitáveis em alguns casos, com a vantagem de maior rapidez de processamento, no entanto, sacrifica-se o detalhe dos resultados em algumas zonas mais densamente ocupadas. Desta forma, o tamanho da malha adotada neste trabalho foi de 10 x 10 metros.

Para a realização de um mapa acústico, devem ser empregados alguns parâmetros, como o grid e a altura de cálculo. A altura do grid utilizada foi de 4m, com objetivo de seguir a recomendação da *Environmental Noise Directive* (2002/49/EC).

Após realizadas todas estas etapas, o resultado é um mapa dos níveis de ruído utilizando uma escala de cores relacionada aos níveis sonoros. Com este recurso, é possível conhecer os níveis de ruído em qualquer ponto de uma área delimitada, por meio de leitura direta no mapa. A escala de cores pode ser observada na Figura 21.

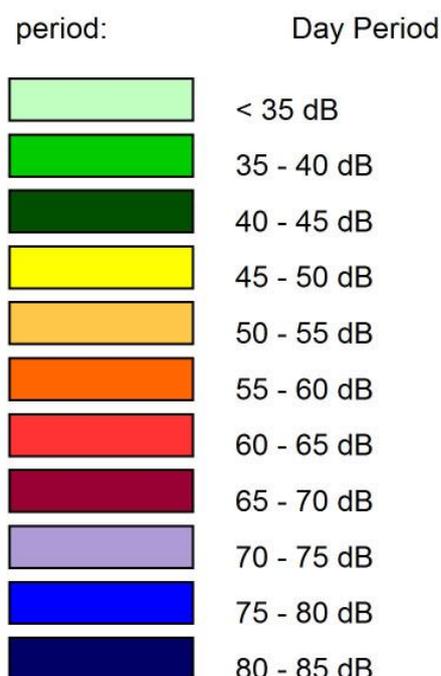


FIGURA 21 – ESCALA DE CORES RELACIONADA AOS NÍVEIS SONOROS
FONTE: A AUTORA (2014)

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos a partir das medições realizadas em campo e do cálculo obtido pelo software na forma de mapas de ruído para cada trecho em ambas as situações avaliadas, o pré-obra e o pós-obra, bem como o comparativo dos níveis sonoros com a legislação vigente.

7.1 AVENIDA FREDOLIN WOLF

7.1.1 Pré-Obra

7.1.1.1 Tabulação dos Dados

Cada medição foi submetida à análise no software Noise Explorer BK 7815, sendo os níveis de pressão sonora tabulados. Em adição, foram calculados, em uma planilha Excel as composições de tráfego para cada ponto para o período diurno.

O valor dos dados medidos e simulados anteriormente a reestruturação da via foi realizada para 9 (nove) pontos e são apresentados na Tabela 9.

TABELA 9 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PRÉ-OBRA AV. FREDOLIN WOLF

Pontos de Medição	Níveis sonoros medidos em dB(A)	Níveis sonoros simulados em dB(A)	Delta da diferença entre os níveis medidos e simulados
1	72,2	72,6	0,4
2	69,0	69,3	0,3
3	70,8	71,2	0,4
4	69,1	69,5	0,4
5	70,2	70,4	0,2
6	69,5	69,9	0,4
7	66,9	67,2	0,3
8	71,0	71,3	0,3
9	69,5	69,8	0,3

Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre os níveis medidos e os simulados foi menor que 4,6 dB(A) recomendados pela WG-AEN em 2002. Pode-se observar que a grande maioria dos pontos teve diferença menor do que 1 dB(A), acentuando dessa forma que o modelo está bem calibrado.

A seguir é apresentado o gráfico que ilustra a comparação de níveis medidos e simulados comparados com a Legislação Municipal 10.625/02 para a região.



GRÁFICO 1 – NÍVEIS MEDIDOS SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA PARA A AVENIDA FREDOLIN WOLF

FONTE: A AUTORA (2014)

7.1.1.2 Mapeamento Sonoro

Uma análise prévia de um mapa de ruído permite identificar as fontes de ruído mais importantes e observar quais locais estão expostos a níveis elevados.

Na Figura 22 pode-se observar o modelo 3D para a região da Avenida Fredolin Wolf (linha em vermelho). Com essa imagem observa-se as curvas de nível na região, as quais são fundamentais para o cálculo do mapeamento.



FIGURA 22 – VISÃO 3D NA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF

FONTE: A AUTORA (2014)

O mapeamento acústico anteriormente a reestruturação da via é apresentado abaixo.

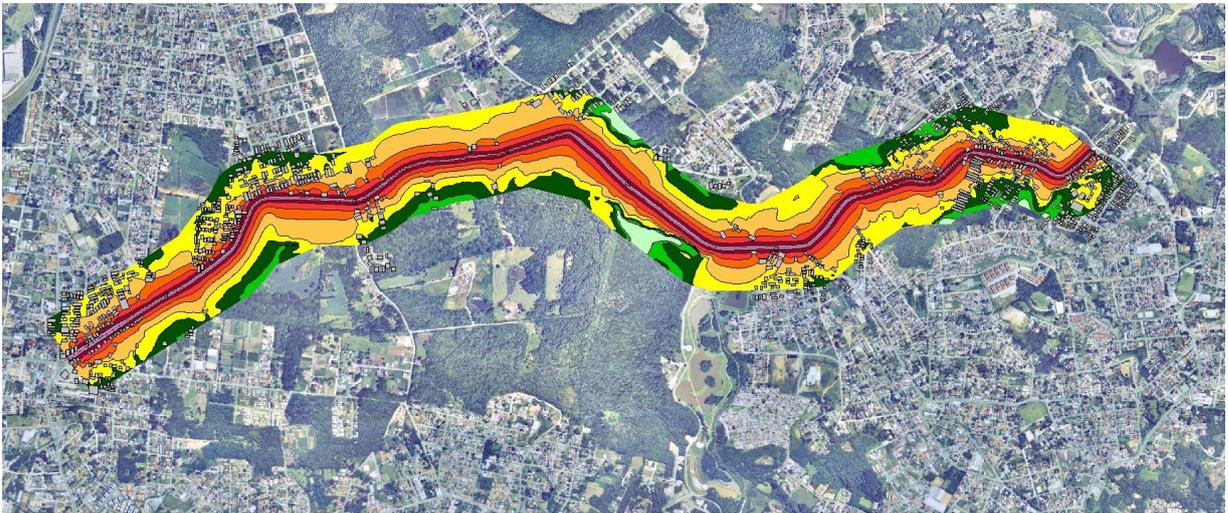


FIGURA 23 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA

FONTE: A AUTORA (2014)

A Figura 23 mostra a predominância das cores lilás, violeta e magenta próximas à via avaliada, o que significa que os níveis sonoros variam entre 60 a 75dB(A). As fachadas das residências mais próximas da via recebiam níveis de ruído entre 70 a 75 dB(A), enquanto que nas residências mais afastadas o nível sonoro é abaixo de 60 dB(A).

Considerando que este estudo avalia a poluição sonora na região da Avenida Fredolin Wolf causada pelo tráfego intenso e que a Lei Municipal determina que os níveis máximos para o período diurno devem ser no máximo de 65 decibéis, pode-se dizer que mesmo antes da revitalização, os níveis sonoros já encontravam-se elevados.

A seguir é apresentado o mapa da região em trechos para um melhor detalhamento.

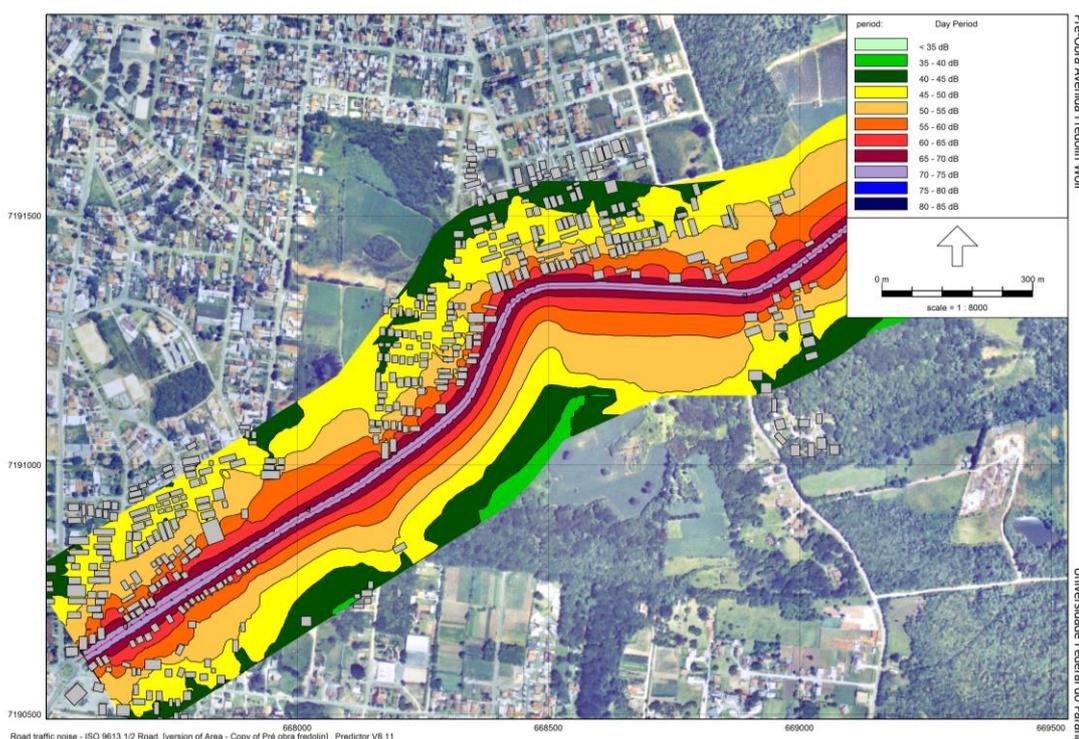


FIGURA 24 – MAPA DE RÚIDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA – TRECHO 1

FONTE: A AUTORA (2014)

Na figura acima com o trecho 1 pode-se observar que a predominância de residências está do lado esquerdo da avenida. O lado direito da via é composto de áreas concentradas de árvores, pequenas florestas e poucas residências. Essas características são consideradas no momento do cálculo do mapa pelo software.

Neste mapa de ruído também é possível observar que do lado direito da avenida as regiões mais distantes da via recebem níveis sonoros mais elevados quando comparados com o lado esquerdo. A fachada das residências próximas a via estavam expostas a níveis de ruído entre 60 a 65 dB(A), e podem ser consideradas como obstáculos para os níveis sonoros até atingirem as residências mais

afastadas. Por este motivo as faixas de cores na região das residências mostram-se mais estreitas.

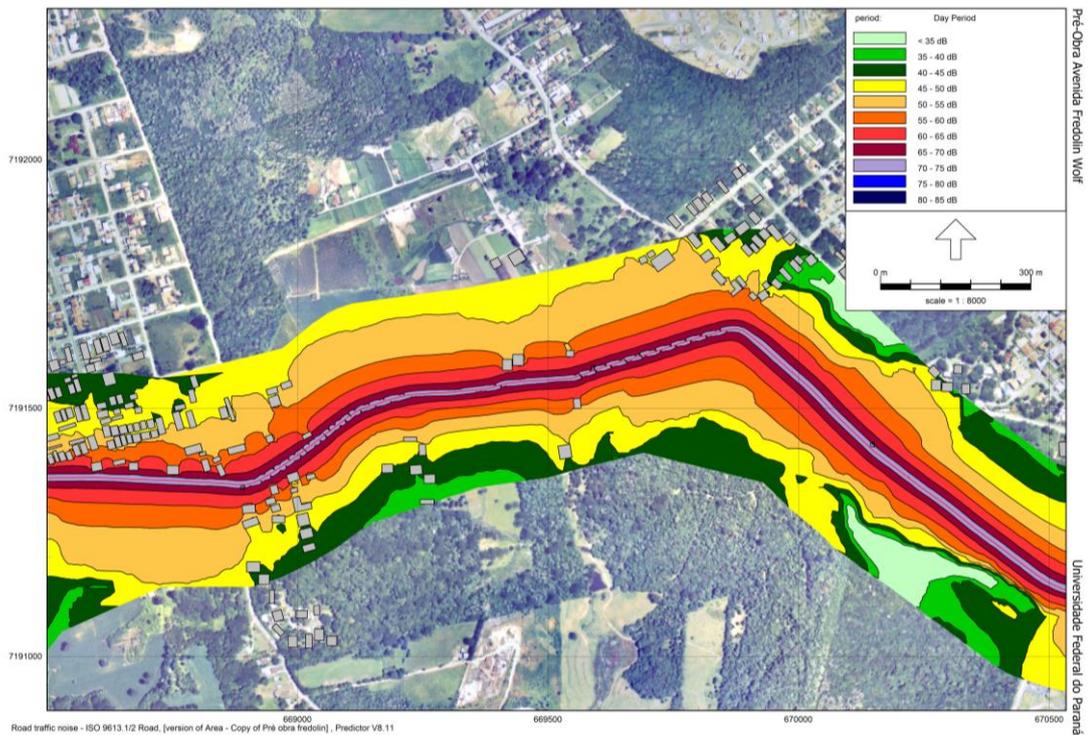


FIGURA 25 – MAPA DE RÚIDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA – TRECHO 2
 FONTE: A AUTORA (2014)

Para o trecho 2, conforme a figura acima, nota-se poucas residências no entorno da avenida. Nessa região a avenida é praticamente toda margeada por árvores ou pequenas florestas. Os primeiros 30 a 40 metros afastados da via chegavam a receber níveis entre 55 a 75 dB(A), enquanto os locais com níveis de ruído menores estão a aproximadamente 50 metros distanciados da Avenida Fredolin Wolf.

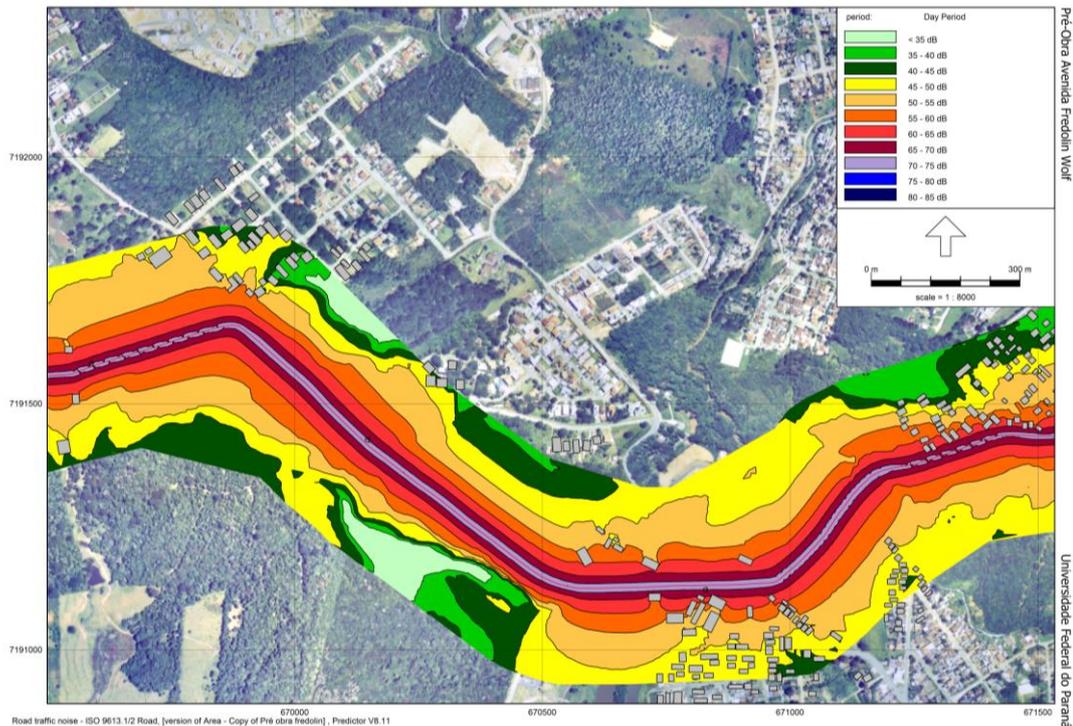


FIGURA 26 – MAPA DE RÚIDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA – TRECHO 3
 FONTE: A AUTORA (2014)

O mapa de ruído para o trecho 3 aproxima-se do mapa apresentado anteriormente para o trecho 2, uma vez que também possui grandes concentrações de árvores e florestas na região. Ao longo da avenida, este trecho é o que apresentou os menores níveis de ruído da região, entre 35 a 50 dB(A).

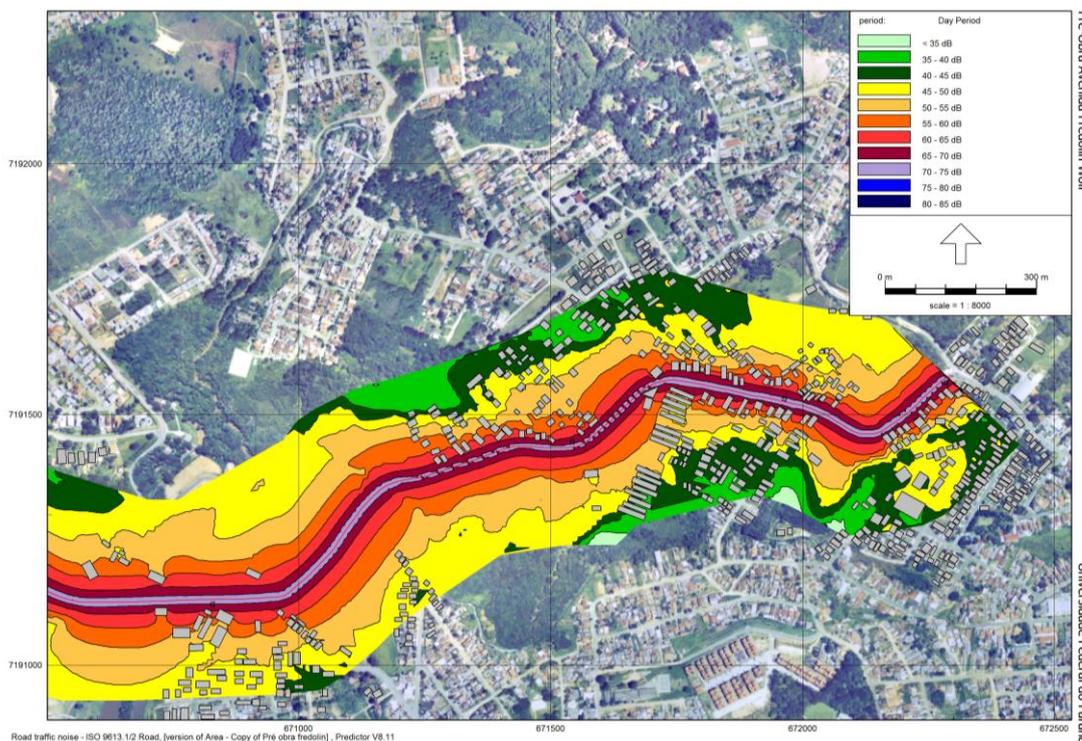


FIGURA 27 – MAPA DE RÚIDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA – TRECHO 4

FONTE: A AUTORA (2014)

O trecho 4 aproxima-se do trecho 1 pelo fato da presença de residências no entorno da avenida. Como já dito anteriormente as fachadas das residências mais próximas à avenida estavam expostas a níveis altos, entre 65 a 75 dB(A). Além disso, nos locais com residências os níveis sonoros eram de certa forma barrados pelas fachadas, fazendo com que as residências mais afastadas não recebessem níveis muito elevados, mas sim menores do que 55 dB(A) (cor amarelo claro).

7.1.2 Pós-Obra

7.1.2.1 Tabulação dos Dados

Do mesmo modo como apresentado para a situação pré-obra, está a situação pós-obra. O valor dos níveis sonoros medidos e simulados, bem como a diferença entre eles, para os mesmos 9 (nove) pontos são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PÓS-OBRA AV. FREDOLIN WOLF

Pontos de Medição	Níveis sonoros medidos em dB(A)	Níveis sonoros simulados em dB(A)	Delta da diferença entre os níveis medidos e simulados
1	73,9	74,0	0,1
2	73,1	73,0	0,1
3	70,4	70,5	0,1
4	72,5	72,0	0,5
5	72,1	71,8	0,3
6	68,2	69,9	1,7
7	70,4	70,0	0,4
8	70,8	71,1	0,3
9	67,9	67,7	0,2

Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre os níveis medidos e os simulados foi menor que 4,6 dB(A) recomendados pela WG-AEN em 2002. Pode-se observar que a grande maioria dos pontos teve diferença menor do que 2 dB(A), acentuando dessa forma, uma aproximação aceitável entre os pontos medidos e os simulados.

A seguir é apresentado o gráfico que ilustra a comparação de níveis medidos e simulados para o pós-obra comparados com a Legislação Municipal 10.625/02 para a região.

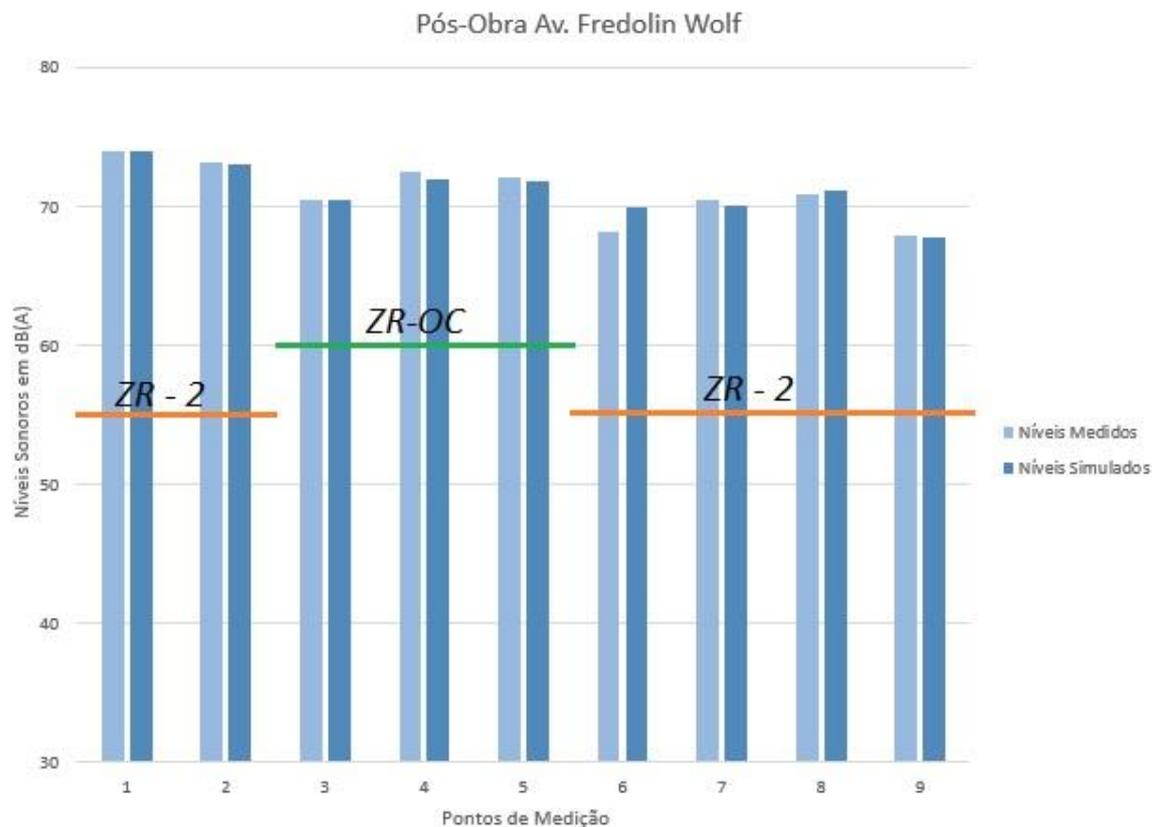


GRÁFICO 2 – NÍVEIS MEDIDOS E SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA PARA A AV. FREDOLIN WOLF

FONTE: A AUTORA (2014)

As duas linhas que cortam o Gráfico 2 indicam que a região possui dois limites máximos a serem respeitados. A linha que corta o gráfico em 55 dB(A), representa o nível sonoro máximo permitido pela legislação vigente a Lei Municipal nº 10.625/2002 para o período diurno na Zona Residencial-2 e entre os zoneamentos da avenida é o menor limite a ser respeitado. A outra linha que corta o gráfico (cor verde) é demarcada pela Zona Residencial de Ocupação Controlada com um nível máximo de 60 dB(A).

O gráfico acima elaborado teve como objetivo demonstrar de uma forma clara e didática a situação de poluição sonora na região, uma vez que em todos os pontos medidos, os limites já tinham sido atingidos mesmo antes da reestruturação da avenida.

Cabe destacar que, na Comunidade Europeia, níveis sonoros acima de 5 dB(A) dos limites permitido, são indicados para que sejam ponderadas medidas de redução do ruído. O que se destaca nestes dados, é que dos 9 (nove) pontos

medidos, 7 (sete) pontos estão acima desta faixa de 5 dB(A), dificultando, assim, a aplicação de medidas mitigatórias.

7.1.2.2 Mapeamento Sonoro

Na Figura 28 Figura **23** apresenta a visualização geral do mapeamento acústico da Av. Fredolin Wolf para a situação pós-obra. O mapa mostra a predominância das cores azul, lilás e violeta próximas à via avaliada o que significa que os níveis sonoros variam entre 65 a 80 dB(A). As fachadas das residências mais próximas da via recebem níveis de ruído entre 70 a 80 dB(A), enquanto que nas residências mais afastadas o nível sonoro está abaixo de 65 dB(A).

Considerando que a Lei Municipal determina que os níveis máximos para o período diurno devem ser no máximo de 55 e 65 decibéis dependendo da região, e que na situação pré-obra os níveis sonoros já encontravam-se elevados, pode-se dizer que a poluição sonora ao longo de toda a avenida se agravou.

O mapeamento acústico posteriormente à reestruturação da via é apresentado na sequência.

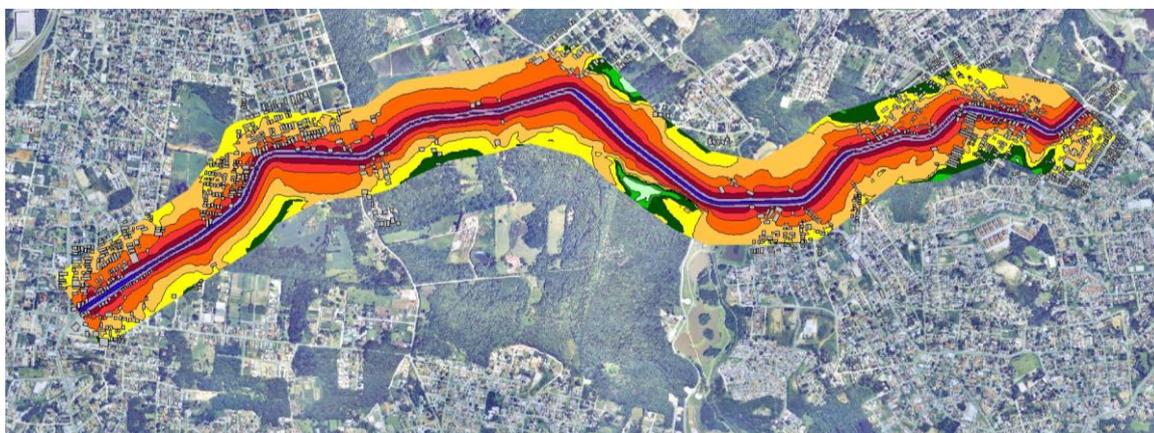


FIGURA 28 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA

FONTE: A AUTORA (2014)

A seguir é apresentado o mapa da região em trechos para um melhor detalhamento.

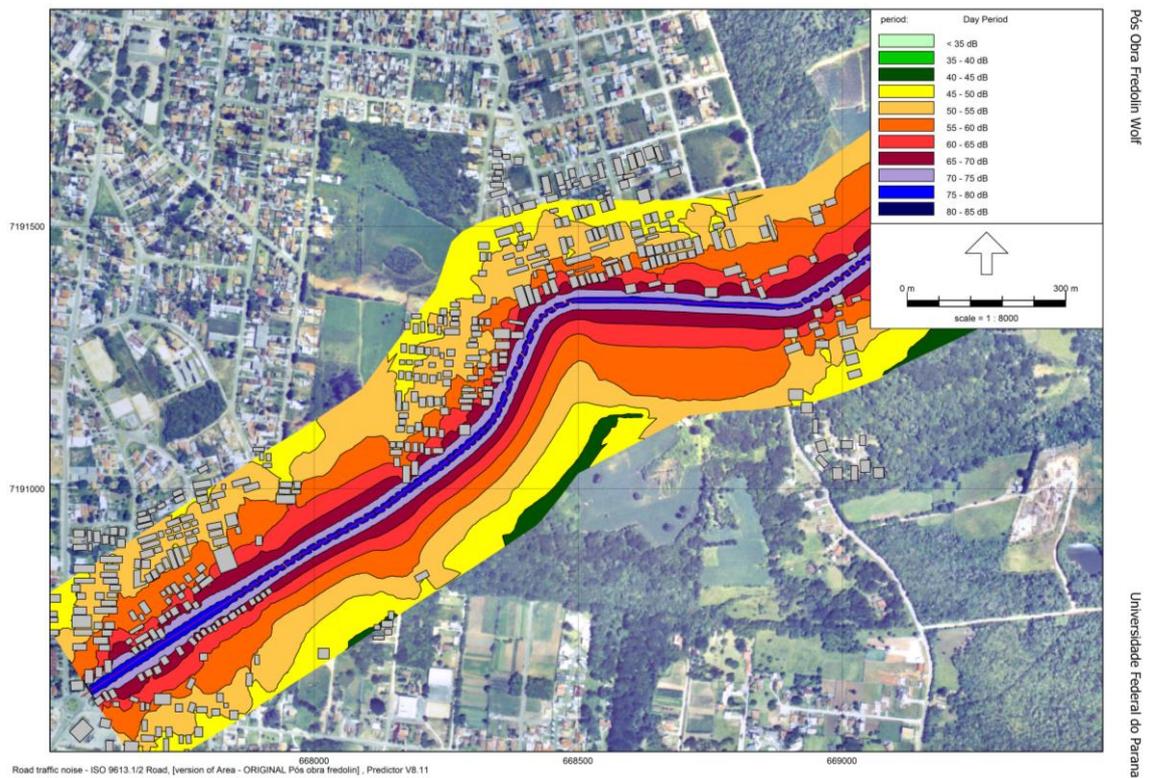


FIGURA 29 – MAPA DE RÚIDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA – TRECHO 1

FONTE: A AUTORA (2014)

Na figura acima do trecho 1 na situação pós-obra é observada a predominância de cores como o lilás, violeta e magenta nas proximidades da avenida, caracterizando uma variação de níveis de ruído entre 60 a 75 dB(A). A predominância dessas cores quando comparadas com a figura do trecho 1 na situação pré-obra aumentou. Isso significa que as residências mais próximas à via tornaram-se expostas a níveis sonoros mais elevados, entre 65 a 70 dB(A).

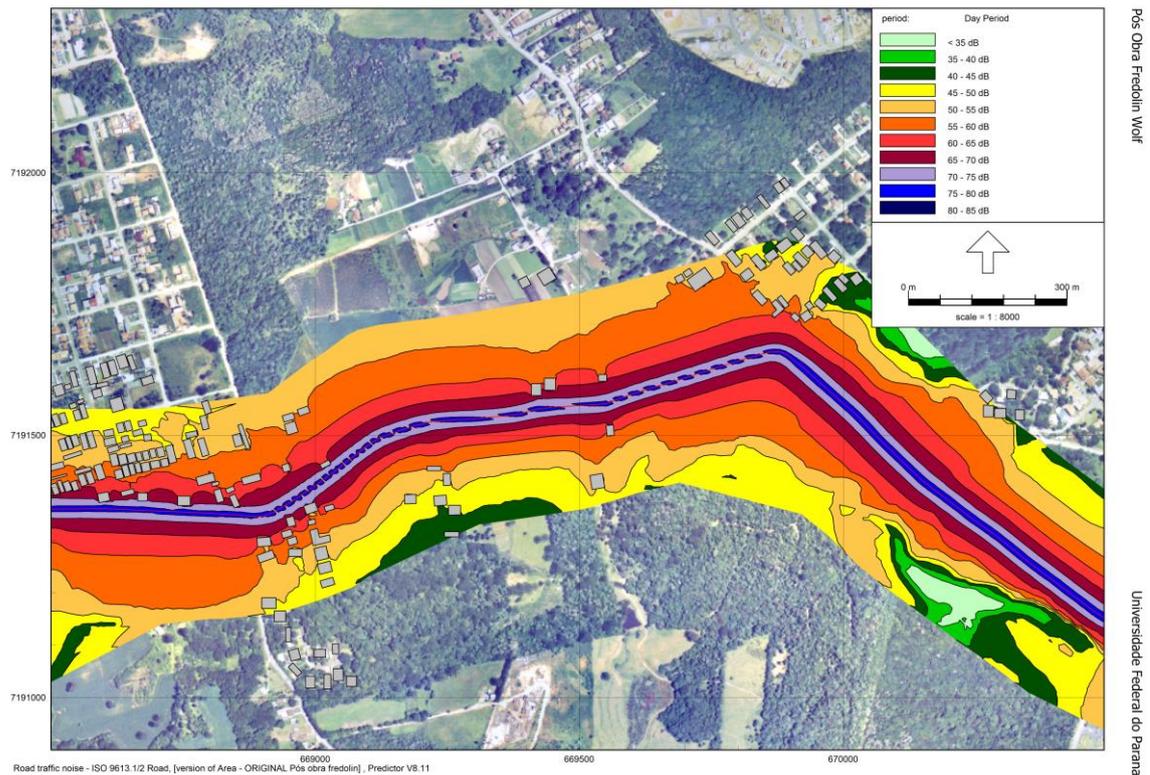


FIGURA 30 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA – TRECHO 2
FONTE: A AUTORA (2014)

Para o trecho 2, os primeiros 30 a 40 metros afastados da via estão expostos a níveis entre 60 a 80 dB(A), enquanto os locais com níveis de ruído menos elevados estão a aproximadamente 50 metros distanciados da Avenida Fredolin Wolf.

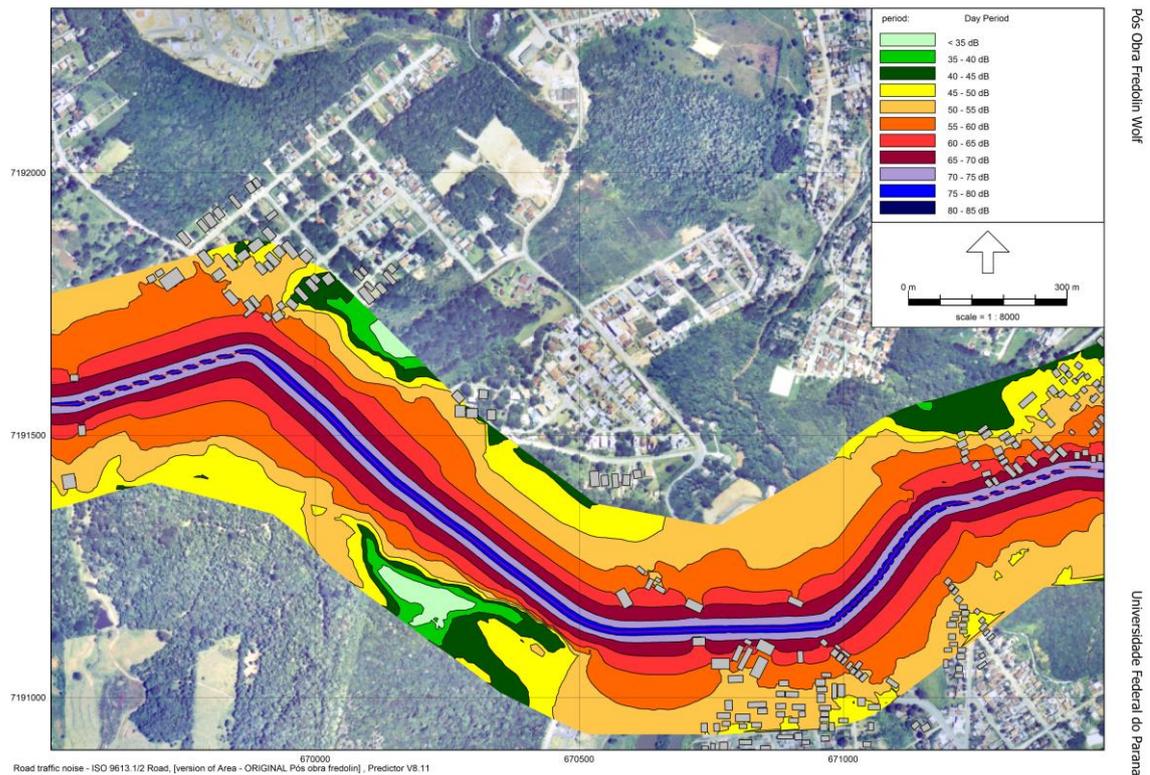


FIGURA 31 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA – TRECHO 3
FONTE: A AUTORA (2014)

O mapa de ruído na situação pós-obra para o trecho 3 é parecido com o mapa apresentado anteriormente para o trecho 2, uma vez que também possui grandes concentrações de árvores e florestas na região. Ao longo da avenida, este é o trecho em que os menores níveis de ruído, entre 35 a 50 dB(A) caracterizados pelas cores amareladas e verdes, ainda são vistos nas áreas próximas à avenida. Vale ressaltar que o Parque Tingui está localizado neste trecho da Avenida Fredolin Wolf, na margem direita próximo à região caracterizada pelos tons verde claro e verde escuro do mapa de ruído.

Embora esse trecho não apresente muitas residências nas proximidades da via, as fachadas estão expostas a níveis elevados que variam entre 60 a 70 dB(A).

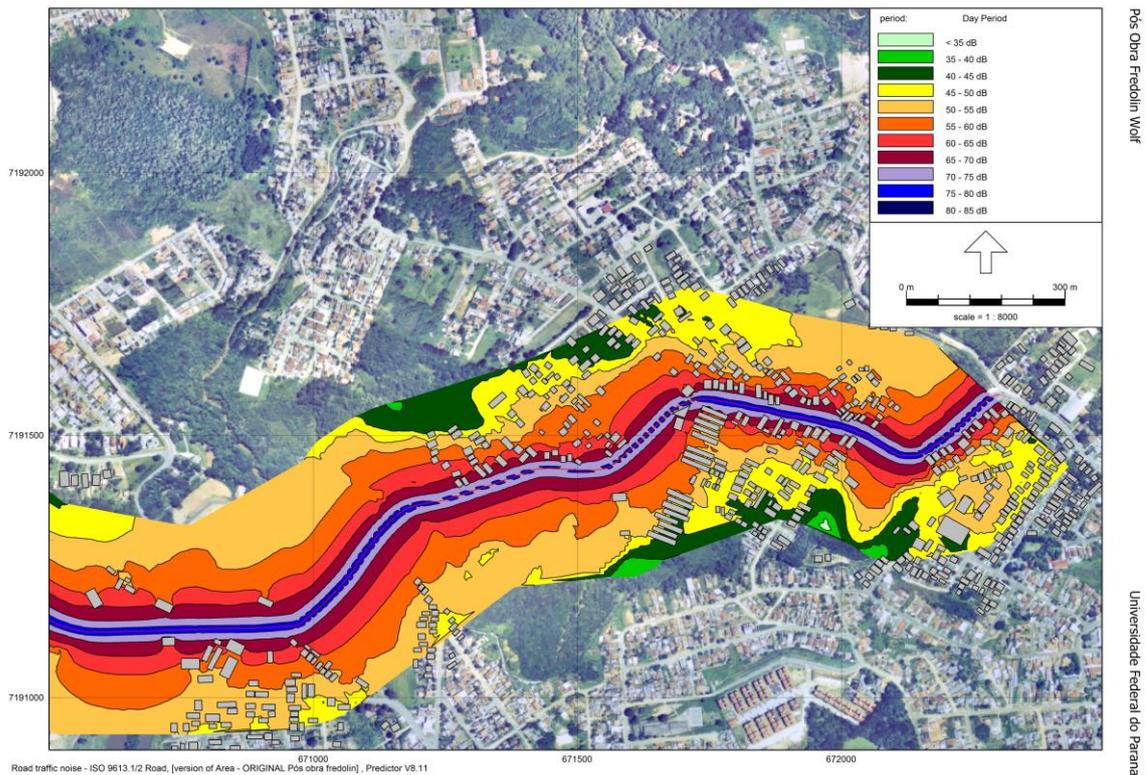


FIGURA 32 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA AVENIDA FREDOLIN WOLF PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA – TRECHO 4
FONTE: A AUTORA (2014)

As fachadas das residências mais próximas à avenida estavam expostas a níveis entre 65 a 75 dB(A) no pré-obra, caracterizada pelas cores lilás e violeta, enquanto no pós-obra essa variação passou a ser entre 70 e 80 dB(A), das cores lilás e azul mais claro.

É importante ressaltar que em todos os 4 (quatro) trechos da situação pós-obra, os níveis de ruído caracterizados pelas cores verde claro e verde escuro, entre 35 a 45 dB(A), praticamente não aparecem com intensidade nos mapas elaborados. O aumento da predominância das cores lilás, violeta, magenta e laranja relatam, segundo a legenda de cores, a presença de níveis sonoros mais elevados e por consequência uma região mais poluída acusticamente.

7.2 TRINCHEIRA CHILE

7.2.1 Pré-Obra

7.2.1.1 Tabulação dos Dados

Cada medição foi submetida à análise no software Noise Explorer BK 7815, sendo os níveis de pressão sonora tabulados. O valor dos dados medidos e simulados anteriormente a construção da trincheira foi realizada para 8 (oito) pontos e são apresentados na sequência.

TABELA 11 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PRÉ-OBRA TRINCHEIRA CHILE

Pontos de Medição	Níveis sonoros medidos em dB(A)	Níveis sonoros simulados em dB(A)	Delta da diferença entre os níveis medidos e simulados
1	69,0	68,8	0,2
2	69,2	69,0	0,2
3	70,0	71,0	1,0
4	66,0	66,5	0,5
5	66,0	65,7	0,3
6	70,0	70,1	0,1
7	70,1	69,7	0,4
8	71,2	70,2	1,0

Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre os níveis medidos e os simulados foi menor que 4,6 dB(A) recomendados pela WG-AEN em 2002. Pode-se observar que a grande maioria dos pontos teve diferença menor do que 2 dB(A), acentuando dessa forma, que o modelo está bem calibrado.

A seguir é apresentado o gráfico que ilustra a comparação de níveis medidos e simulados comparados com a Legislação Municipal 10.625/02 para a região.

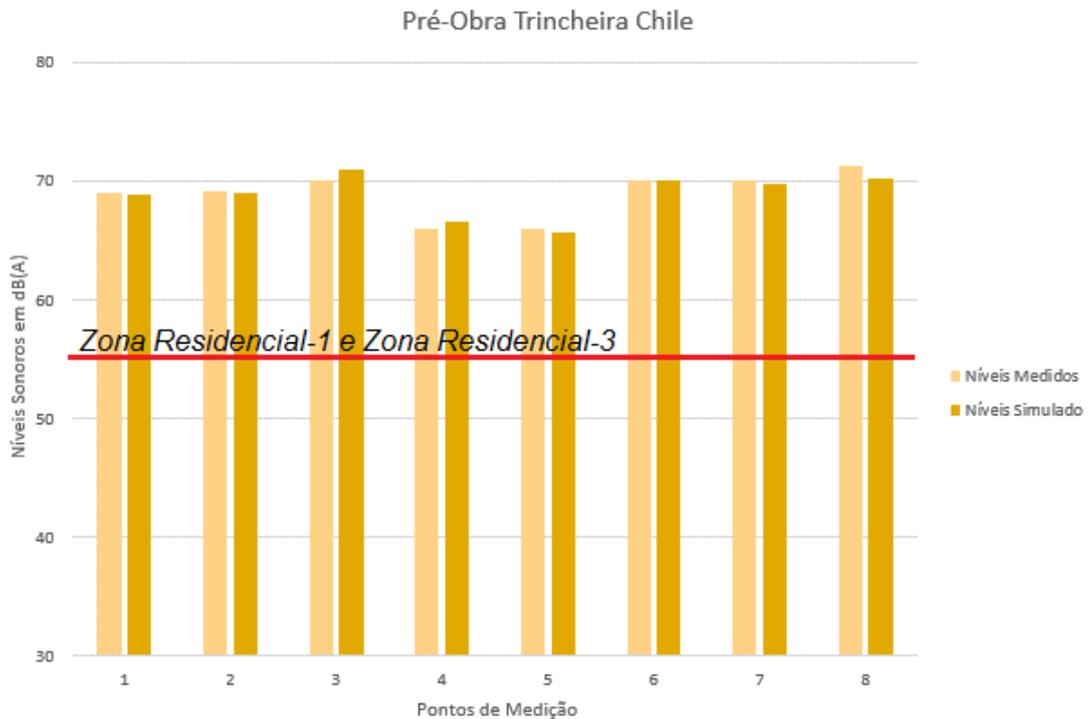


GRÁFICO 3 – NÍVEIS MEDIDOS E SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA PARA A TRINCHEIRA CHILE

FONTE: A AUTORA (2014)

7.2.1.2 Mapeamento sonoro

Na Figura 33 pode-se observar o modelo 3D para a região da Trincheira Chile obtida pelo software Predictor. Com essa imagem observa-se as curvas de nível na região, as quais são fundamentais para o cálculo do mapeamento.



FIGURA 33 – VISÃO 3D NA REGIÃO DA TRINCHEIRA CHILE

FONTE: A AUTORA (2014)

O mapeamento acústico anteriormente a construção da trincheira é apresentado na sequência.

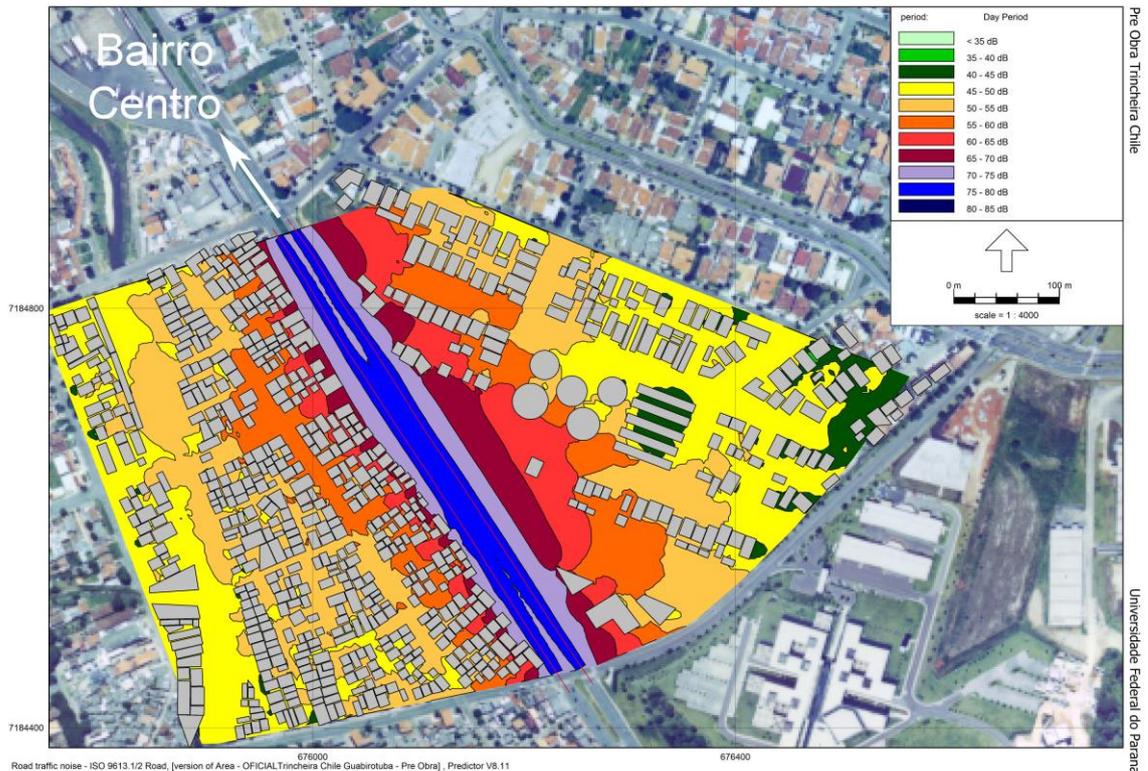


FIGURA 34 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA TRINCHEIRA CHILE PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA

FONTE: A AUTORA (2014)

O mapeamento acústico na região da Trincheira Chile anteriormente à construção da nova via mostrou que os níveis de ruído ao longo da Avenida Comendador Franco ou Avenida das Torres e suas margens alcançaram níveis entre 70 a 80 dB(A). Considerando o sentido para o centro, do lado esquerdo da Avenida das Torres há residências e um rio que passa nessa região paralelamente à avenida, o Rio Belém. Os níveis sonoros que chegavam nas residências próximas variavam entre 50 a 70 dB(A). Já o lado direito da avenida, também com residências nas proximidades, os níveis variavam entre 40 a 70 dB(A). Os níveis caracterizados pelas cores violeta, magenta e laranja alcançaram regiões mais afastadas da avenida definindo um lado mais poluído acusticamente quando comparada com o lado esquerdo.

Considerando que este estudo avalia a poluição sonora na região da Trincheira Chile causada pelo tráfego intenso e que a Lei Municipal determina que os níveis máximos para o período diurno devem ser no máximo de 55 decibéis, pode-se dizer que mesmo antes da construção da trincheira, os níveis sonoros já encontravam-se elevados e acima dos limites permitidos.

7.2.2 Pós-Obra

7.2.2.1 Tabulação dos Dados

Do mesmo modo como apresentado para a situação pré-obra, os dados do pós-obra são mostrados a seguir.

TABELA 12 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PÓS-OBRA TRINCHEIRA CHILE

Pontos de Medição	Níveis sonoros medidos em dB(A)	Níveis sonoros simulados em dB(A)	Delta da diferença entre os níveis medidos e simulados
1	69,8	69,5	0,3
2	72,0	72,3	0,3
3	73,9	74,2	0,3
4	68,8	68,6	0,2
5	66,9	66,4	0,5
6	73,9	74,1	0,2
7	73,8	73,1	0,7
8	73,5	74,0	0,5
9	73,3	73,8	0,5

Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre os níveis medidos e os simulados foi menor que 4,6 dB(A) recomendados pela WG-AEN em 2002. Pode-se observar que a grande maioria dos pontos teve diferença menor do que 1 dB(A), acentuando dessa forma, uma aproximação aceitável entre os pontos medidos e os simulados.

A seguir é apresentado o gráfico que ilustra a comparação de níveis medidos e simulados comparados com a Legislação Municipal 10.625/02 para a região.

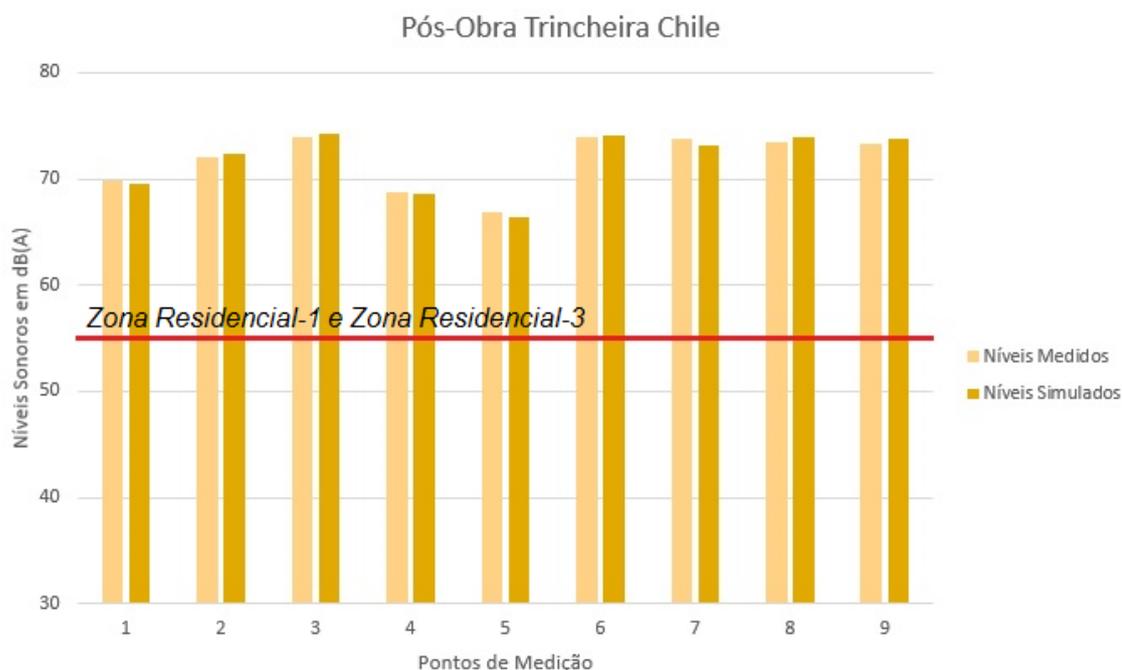


GRÁFICO 4 – NÍVEIS MEDIDOS E SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA PARA TRINCHEIRA CHILE

FONTE: A AUTORA (2014)

A linha que corta o gráfico na Gráfico 4 indica que a região possui um limite a ser respeitado em dois zoneamentos diferentes. O limite da Lei Municipal para a região no período diurno para os zoneamentos Zona Residencial-2 e Zona Residencial-3 é de 55 dB(A).

A partir deste gráfico é possível perceber que os níveis medidos em todos os pontos estão acima do permitido e isto significa que a região está poluída acusticamente.

7.2.2.2 Mapeamento sonoro

Na Figura 35 pode-se observar o modelo 3D para a região da Trincheira Chile na situação pós-obra obtida pelo software. Com essa imagem observa-se as curvas de nível na região, as quais são fundamentais para o cálculo do mapeamento.



FIGURA 35 – VISÃO 3D NA REGIÃO DA TRINCHEIRA CHILE NO PÓS-OBRA
 FONTE: A AUTORA (2014)

O mapeamento acústico posteriormente à reestruturação da via é apresentado na sequência.

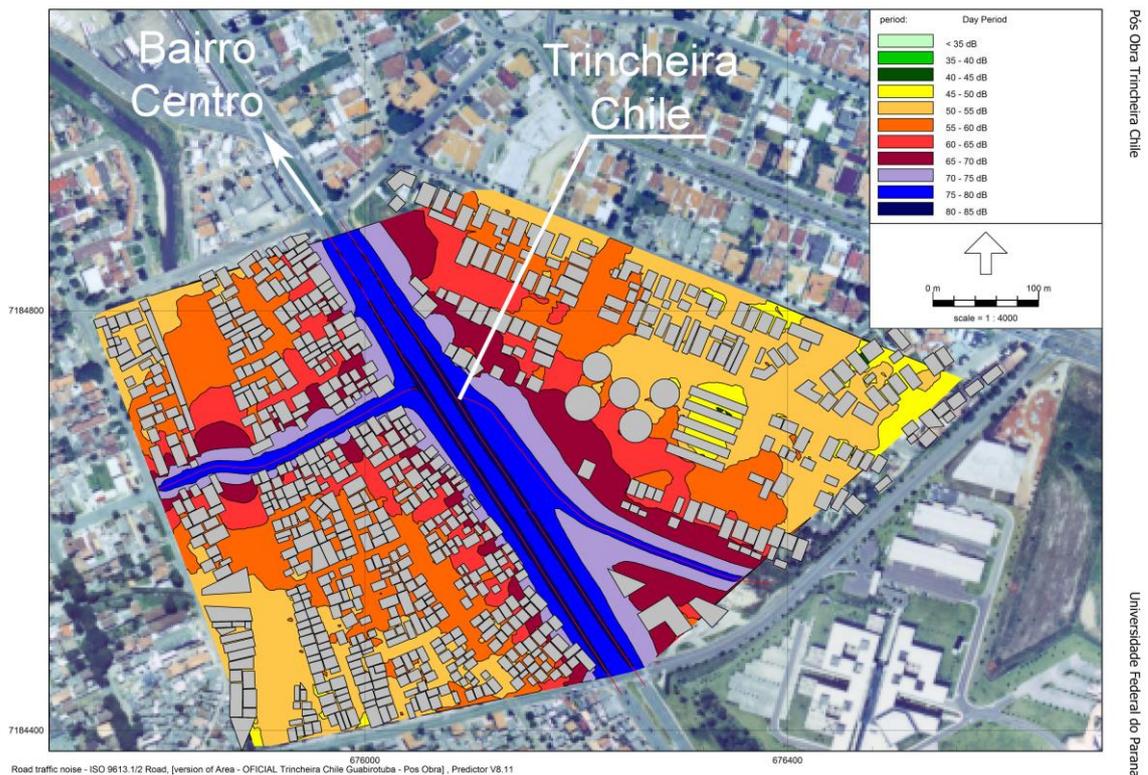


FIGURA 36 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA TRINCHEIRA CHILE PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA
 FONTE: A AUTORA (2014)

A Figura 36 mostra a região da Trincadeira Chile para a situação pós-obra, onde foram avaliadas a Avenida Comendador Franco e também a nova via

interligada pela trincheira. Nesse mapeamento é possível notar que a Avenida das Torres passou a ter níveis de ruído entre 80 a 85 dB(A), definida pela cor azul escuro. Além disso, as vias avaliadas também estão caracterizadas pela cor azul que define níveis entre 75 a 80 dB(A).

Com a implantação da nova via pode-se perceber que as residências próximas das vias avaliadas estão expostas a níveis mais altos. As fachadas das residências que antes recebiam níveis entre 45 a 55 dB(A) passaram a estar expostos a níveis entre 55 a 70 dB(A), o que significa um aumento de até 15 dB(A) nas fachadas das casas.

Considerando que a Lei Municipal determina que os níveis máximos para o período diurno devem ser no máximo de 55 decibéis, a região após a construção da trincheira apresentou níveis acima do permitido, podendo variar em até 20 dB(A).

7.3 TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMANN

7.3.1 Pré Obra

7.3.1.1 Tabulação dos Dados

Cada medição foi submetida à análise no software Noise Explorer BK 7815, sendo os níveis de pressão sonora tabulados. O valor dos dados medidos anteriormente a construção da trincheira foi realizada para 6 (seis) pontos e são apresentados na sequência.

TABELA 13 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PRÉ-OBRA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN

Pontos de Medição	Níveis sonoros medidos em dB(A)	Níveis sonoros simulados em dB(A)	Delta da diferença entre os níveis medidos e simulados
1	73,3	73,5	0,2
2	73,8	73,7	0,1
3	74,0	75,1	1,1
4	69,8	70,1	0,3
5	71,2	70,3	0,9
6	65,8	65,0	0,8

Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre os níveis medidos e os simulados foi menor que 4,6 dB(A) recomendados pela WG-AEN em 2002. Pode-se observar que a grande maioria dos pontos teve diferença menor do que 2 dB(A), acentuando dessa forma, uma aproximação aceitável entre os pontos medidos e os simulados.

A seguir é apresentado o gráfico que ilustra a comparação de níveis medidos e simulados comparados com a Legislação Municipal 10.625/02 para a região.

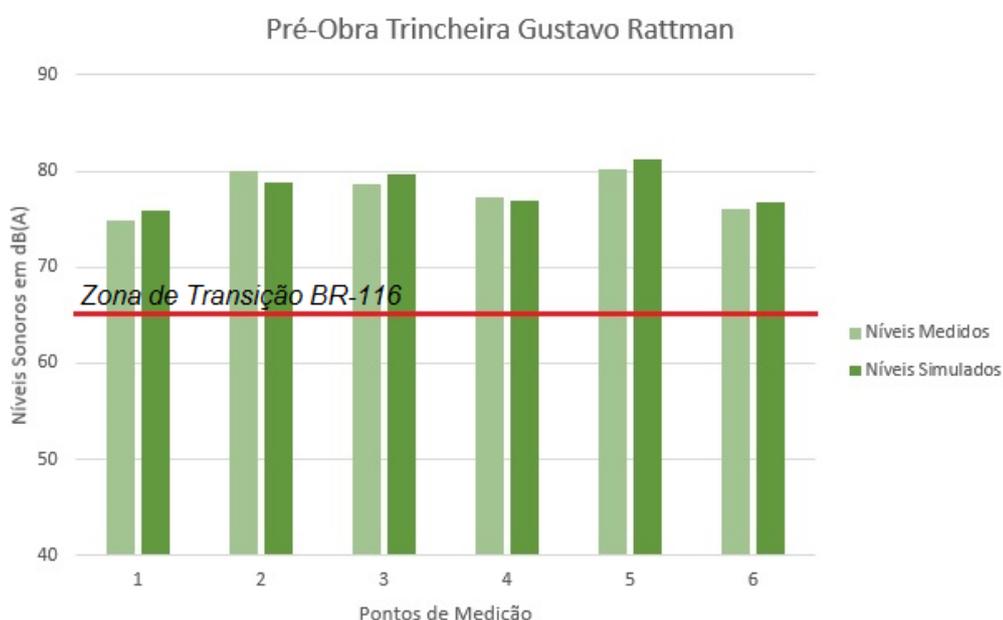


GRÁFICO 5 – NÍVEIS MEDIDOS E SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA PARA A TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN

FONTE: A AUTORA (2014)

7.3.1.2 Mapeamento sonoro

Na Figura 37 pode-se observar o modelo 3D para a região da Trincheira Chile obtida pelo software. Com essa imagem observa-se as curvas de nível na região, as quais são fundamentais para o cálculo do mapeamento.

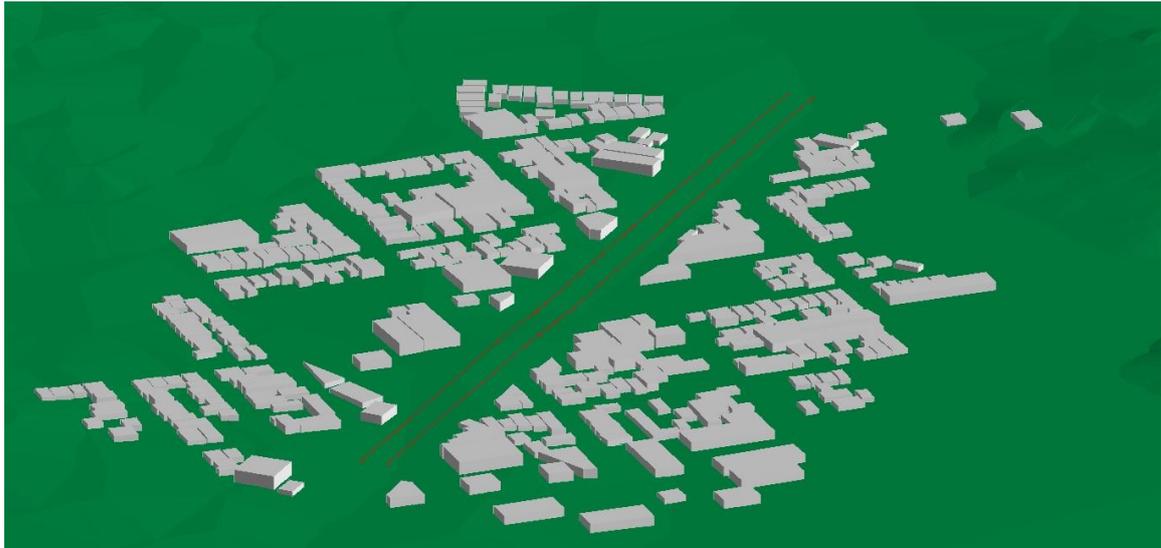


FIGURA 37 – VISÃO 3D NA REGIÃO DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN NO PRÉ-OBRA
 FONTE: A AUTORA (2014)

O mapeamento acústico anteriormente a construção da trincheira é apresentado na sequência.

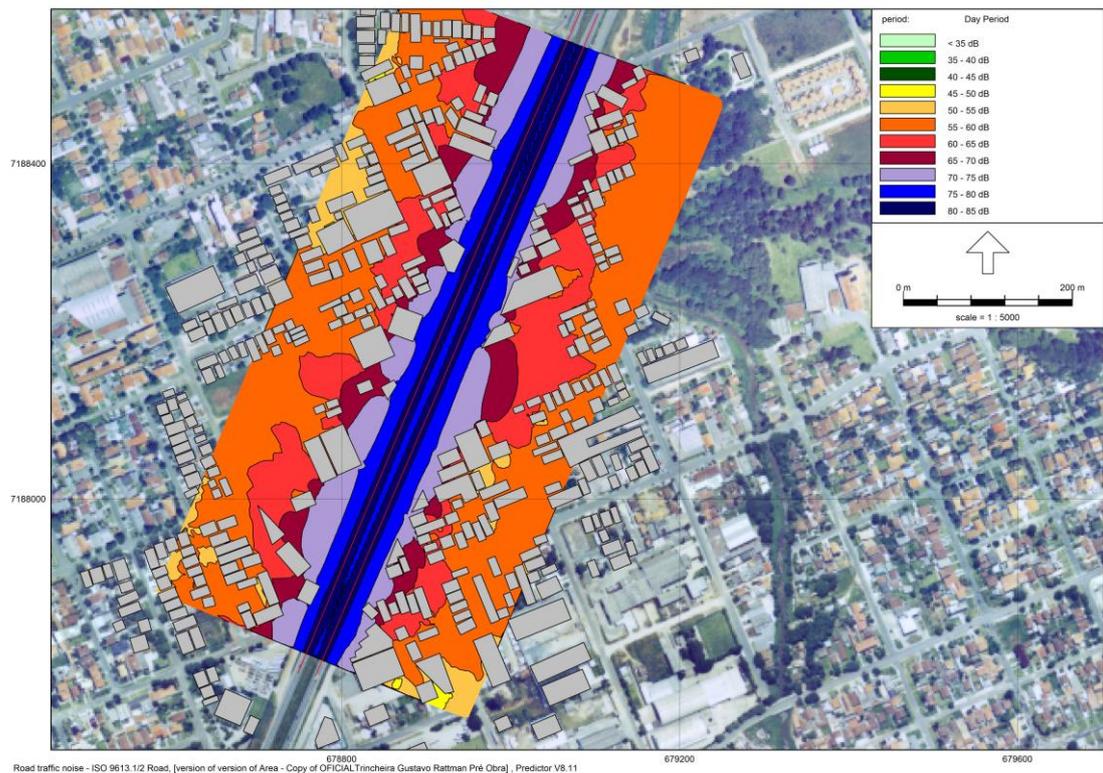


FIGURA 38 – MAPA DE RÚIDO DAREGIÃO DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN PARA A SITUAÇÃO PRÉ-OBRA
 FONTE: A AUTORA (2014)

O mapeamento acústico na região da Trincheira Gustavo Rattman anteriormente à construção da nova via mostrou que os níveis de ruído ao longo da BR-116 e suas margens alcançaram níveis entre 75 a 85 dB(A), caracterizados pelas cores azul escuro e azul claro. O mapa apresentado mostra que as fachadas das residências mais próximas estavam expostas a níveis sonoros entre 65 e 75 dB(A), definidos pelas cores lilás e violeta, enquanto as residências mais afastadas recebiam níveis de ruído entre 55 a 65 dB(A).

Sabendo que este estudo avalia a poluição sonora na região da Trincheira Gustavo Rattman causada pelo tráfego intenso e que a Lei Municipal determina que os níveis máximos para o período diurno devem ser no máximo de 65 decibéis, pode-se dizer que mesmo antes da construção da trincheira, os níveis sonoros já encontravam-se elevados e acima dos limites permitidos.

7.3.2 Pós Obra

7.3.2.1 Tabulação dos Dados

Do mesmo modo como apresentado para a situação pré-obra, os dados do pós-obra são mostrados a seguir.

TABELA 14 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PÓS-OBRA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN

Pontos de Medição	Níveis sonoros medidos em dB(A)	Níveis sonoros simulados em dB(A)	Delta da diferença entre os níveis medidos e simulados
1	74,8	75,4	0,6
2	76,1	76,2	0,1
3	74,9	75,1	0,2
4	65,3	67,0	1,7
5	77,1	77,1	0
6	68,5	68,9	0,4
7	69,3	72,1	2,8
8	73,0	74,2	1,2
9	63,4	66,0	2,6
10	72,4	72,5	0,1

Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre os níveis medidos e os simulados foi menor que 4,6 dB(A) recomendados pela WG-

AEN em 2002. Pode-se observar que a grande maioria dos pontos teve diferença menor do que 3 dB(A), acentuando dessa forma, uma aproximação aceitável entre os pontos medidos e os simulados.

A seguir é apresentado o gráfico que ilustra a comparação de níveis medidos e simulados comparados com a Legislação Municipal 10.625/02 para a região.

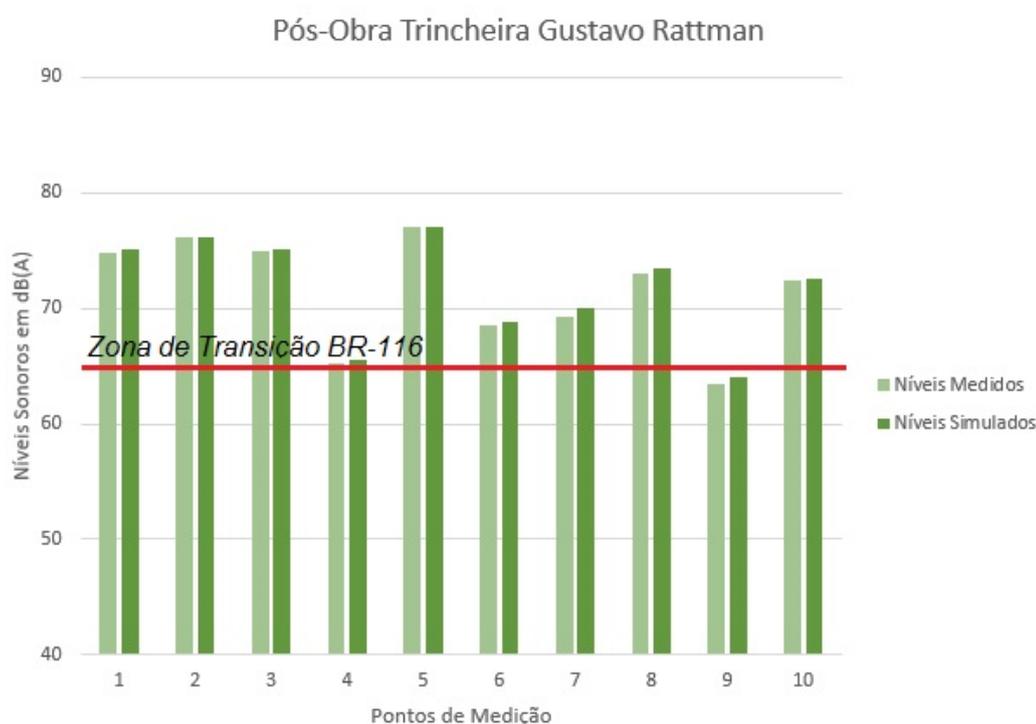


GRÁFICO 6 – NÍVEIS MEDIDOS E SIMULADOS PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA PARA A TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN

FONTE: A AUTORA (2014)

A linha que corta o Gráfico 6 indica que a região possui um limite a ser respeitado. A Lei Municipal determina para essa região que os níveis sonoros devem ser de, no máximo, 65 dB(A) no período diurno.

O gráfico mostra que entre os 10 (dez) pontos medidos, 6 (seis) estão com mais de 5 dB(A) do limite máximo, e somente um ponto, o 9 (nove), se enquadra dentro da legislação. Este ponto está localizado na Rodovia Régis Bittencourt. Uma explicação para este acontecimento é o fluxo mínimo de veículos no momento da medição ou a passagem reduzida de veículos pesados, os quais geram níveis de ruído mais elevados quando comparados com os veículos leves.

7.3.2.2 Mapeamento sonoro

Na Figura 39 pode-se observar o modelo 3D para a região da Trincheira Gustavo Rattman na situação pós-obra obtida pelo software. Com essa imagem observa-se as curvas de nível na região, as quais são fundamentais para o cálculo do mapeamento.



FIGURA 39 – VISÃO 3D NA REGIÃO DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN NO PÓS-OBRA
FONTE: A AUTORA (2014)

O mapeamento acústico posteriormente à construção da trincheira é apresentado na sequência.

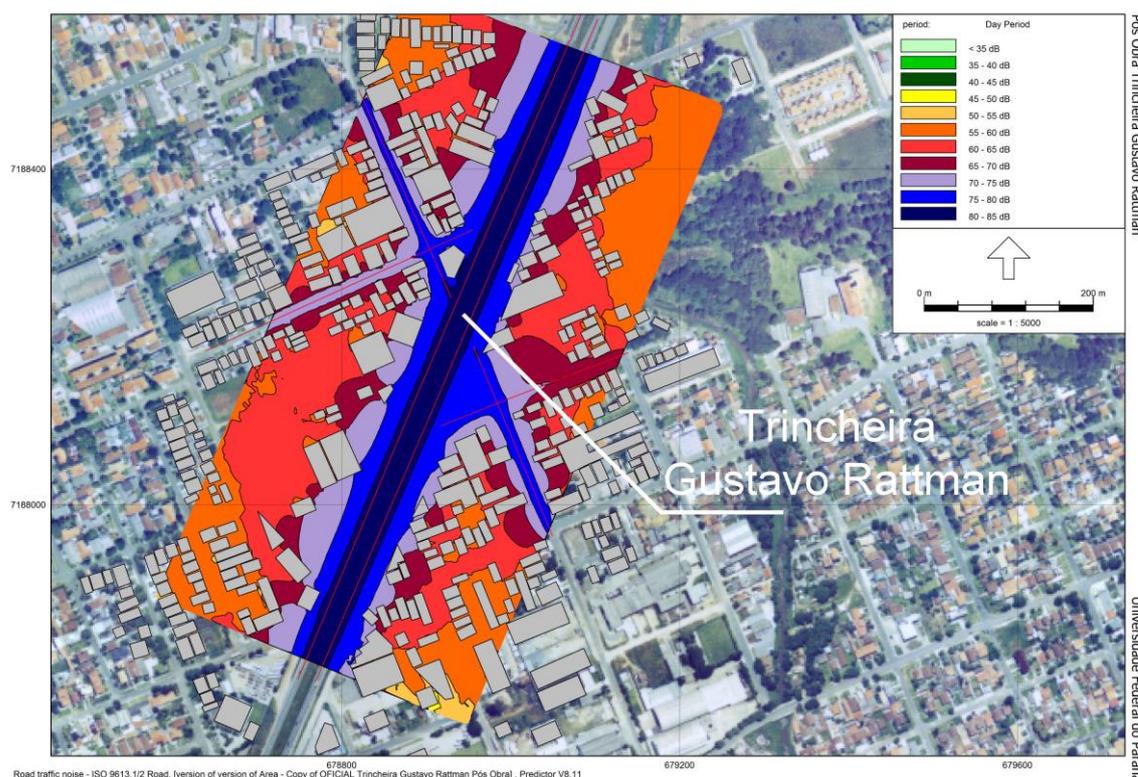


FIGURA 40 – MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO DA TRINCHEIRA GUSTAVO RATTMAN PARA A SITUAÇÃO PÓS-OBRA
 FONTE: A AUTORA (2014)

A Figura 40 mostra a região da Trincheira Gustavo Rattman para a situação pós-obra, onde foram avaliadas a BR-116 ou Rodovia Régis Bittencourt e também a nova via interligada pela trincheira. Nesse mapeamento é possível notar que a BR-116 passou a expor níveis de ruído entre 75 a 85 dB(A), definida pela cor azul escuro e azul claro, porém a predominância dessas cores na região aumentou uma vez que a nova via interligada contribui para o aumento do ruído através do tráfego de veículos. É importante notar que a via interligada pela trincheira já está apresentando níveis elevados de ruído, definido no mapa pela cor azul claro. As vias que antes da construção da trincheira estava exposta a níveis entre 55 a 70 dB(A) (cores laranja à lilás), passaram a apresentar níveis sonoros entre 70 e 80 dB(A) (cores azul claro e lilás).

Além disso, as fachadas das residências próximas às vias avaliadas no pós-obra passaram a estar expostas a níveis de ruído entre 70 a 80 dB(A), isso significa um aumento aproximado de 5 dB(A) na região.

Considerando que a Lei Municipal determina que os níveis máximos para o período diurno devem ser no máximo de 65 decibéis, a região após a construção da trincheira apresentou níveis acima do permitido, podendo variar em até 15 dB(A).

8. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados em cada uma das regiões e situações analisadas sugerem que a situação acústica destes trechos caracteriza a existência de poluição sonora.

Considerando a situação pré-obra para as três regiões, dos 23 pontos medidos nenhum apresentou-se dentro da Lei Municipal 10.625/02, que define os limites de níveis sonoros na cidade de Curitiba. Na situação pós-obra, das 28 medições realizadas nas regiões em estudo, apenas uma enquadrou-se na legislação.

Considerando que as medições do pós-obra são os níveis sonoros atuais em cada região, dos 28 pontos medidos, 19 estão acima de 70,0 dB(A) que segundo a Organização Mundial da Saúde (W.H.O., 1999) podem causar danos a audição. Destes mesmos 28 pontos, 27 estão acima de 65 dB(A) e conforme Maschke (1999) 65 dB(A) é o limiar de comprometimento da saúde.

A metodologia de medições *in situ* e predição sonora se mostrou satisfatória. As medições realizadas em campo fornecem dados indispensáveis para as avaliações de acústica e requerem, por outro lado, pessoas treinadas, diversos equipamentos e condições climatológicas adequadas – sem chuva ou ventos fortes. Simultaneamente às medições tem-se as simulações que geram os mapas de ruído pelo software e permite uma análise global dos níveis sonoros. As duas técnicas são complementares e permitem um maior planejamento da cidade para a minimização do impacto ambiental ocasionado pelo ruído. Além disso, essas ferramentas são de grande utilidade para a discussão de legislação pertinente ao controle de emissões e imissões sonoras.

Os cenários apresentados para cada região mostraram que mesmo antes das revitalizações e construções de trincheiras, os níveis sonoros já eram elevados e acima do permitido pela legislação. Isso significa que mesmo com um menor número de fontes sonoras (veículos), as regiões já estavam poluídas acusticamente. Entende-se que a ideia do Programa Pró-Cidades para o município de Curitiba é melhorar a mobilidade e permitir a ligação entre regiões da cidade antes não existentes. Em contrapartida, os mapeamentos sonoros mostram que as regiões

tornaram-se mais ruidosas e mais pessoas ficaram expostas a níveis elevados de ruído.

Desta maneira, pode-se dizer que o sistema de transporte urbano de Curitiba está saturado. Há tantos veículos em circulação (1 milhão e 300 mil veículos segundo a divisão de estatísticas do DETRAN-PR (2012)) que mesmo uma redução significativa da quantidade de veículos não é suficiente para reduzir os níveis sonoros, conforme mostrado nos mapeamentos acústicos da situação pré-obra. Segundo Hassal & Zaveri (1979) uma diminuição de 3 dB(A) produz uma sensação classificada como “meramente perceptível”. Para que a sensação seja considerada “claramente perceptível” é necessária uma diferença de 5 dB(A) em cada cenário.

O número de veículos em Curitiba cresce a cada ano. A cidade de Curitiba dobrou a frota de veículos nos últimos dez anos e nos próximos 25 anos poderá atingir 2,85 milhões de veículos em circulação (SALGADO, 2013). Isto reforça a importância deste trabalho como instrumento de gestão de planejamento urbano, uma vez que o crescimento na frota de veículos acarretará em buscas de medidas de combate e controle de ruído a fim de que a população não se agrave com este problema.

Algumas medidas mitigadoras para este problema de ruído podem ser citadas, tais como, barreiras acústicas, redução nos limites de velocidade, implantação de lombadas eletrônicas, entre outros. Contudo, para que a percepção seja “claramente perceptível” e a redução seja de mais de 5 dB(A) (HASSAL & ZAVERI, 1979), não basta uma medida mitigadora isolada, é necessário um plano de ações que combata o ruído na fonte, no caminho e até no receptor da melhor maneira possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, S.A., TAMURA, A. **Road traffic noise mitigation strategies in Greater Cairo, Egypt.** Applied Acoustics 63 (2002) 1257-1265

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. **NBR-10.151: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade.** Rio de Janeiro; 2000.

BABISCH W. **The noise/stress concept, risk assessment and research needs.** Noise Health 2002; 4:1-11.

BELOJEVIC, G.; JACOVLEVIC, B.; ALESKSC, O. **Subjective Reaction for Traffic Noise with Regard to some Personality Traits.** Environmental International, Yugoslavia, v. 23, n. 2, p. 221-226, 1997.

BERANEK, L. L. **Noise Reduction**, 1ª. ed. USA, 1960.

BIES, D. A.; HANSEN C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice.** 2 ed. New York: Spon Press – Taylor & Francis Group 2002.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído.** 1. Ed. 2006.

BROWN A. L. **Exposure of the Australian Population to Road Traffic Noise.** Applied Acoustic, Australia, v.43, p. 169-176, 1994.

BRUEL & KJAER. **Environmental Noise Booklet.** Bruel & Kjaer Sound and Vibration A/S, 2000.

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

BUNN, F.; FIEDLER, P.E.K.; ZANNIN, P.H.T. **Avaliação da poluição sonora ambiental – normas e leis usadas no Brasil**. Revista da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Rio de Janeiro, n.41, p. 47-54, 2010.

BURGESS M. **Noise prediction for urban traffic conditions--related to measurements in the Sydney metropolitan area**. Applied Acoustics (10) (1977)Applied Science Publishers Ltd, England, 1977

CALIXTO, A. **O Ruído gerado pelo Tráfego de Veículos em “Rodovias-Grandes Avenidas”, situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisados sobre parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**, Curitiba: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, 2002.

CHO,D.S; KIM,J.H ; CHOI,T.M; B KIM,B.H; MANVELL D. **Highway traffic noise prediction using method fully compliant with ISO 9613: comparison with measurements**, Applied Acoustics, Volume 65, Issue 9, September 2004, Pages 883-892

CHO,D.S; MUN,S. **Development of a highway traffic noise prediction model that considers various road surface types**, Applied Acoustics, Volume 69, Issue 11, November 2008, Pages 1120-1128.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT (1996) **Traffic Calming: traffic and vehicle noise**, Traffic Advisory Leaflet 6/96

DETRAN - Divisão de Estatística do Departamento de Trânsito do Governo do Estado do Paraná – Frota de veículos por tipo e Município 2007 – Disponível em <<http://www.detran.pr.gov.br/arquivos/File/estatisticasdetransito/frotadeveiculoscadastradospr/2007/frotaveiculostipomunicipiooabril2007.pdf>> Acesso em 12 de junho de 2010.

DETRAN - Divisão de Estatística do Departamento de Trânsito do Governo do Estado do Paraná – Frota de veículos por tipo e Município 2010. Disponível em <<http://www.detran.pr.gov.br/arquivos/File/estatisticasdetransito/frotadeveiculoscadastradospr/2010/frotaVeiculoMunicipioAbril2010.pdf>> Acesso em 12 de junho de 2010.

DINIZ, F. B. **Impacto Ambiental Sonoro Gerado por Subestações de Energia Elétrica na Cidade de Curitiba**, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná.

EILEEN D. **Noise and Hearing Loss: A Review**. Journal of School Health d May 2007, Vol. 77, No. 5.

EL DEBS, M. K.; AKEYA, T. **Introdução às pontes de concreto**. São Paulo: EESC/USP, 2009. Notas de aula da disciplina SET – 412 da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFNNQAJ/apostila-pontes-sao-carlos>. Acesso em 01 de setembro de 2014.

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

FIEDLER P. E. K., BUNN F., ZANNIN P.H.T. **Pre-environmental study for the implementation of a new road system - a case study in Curitiba, Brazil**. DAGA 2012 – Darmstadt.

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

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

GOLMOHAMMADI, R.; ABBASPOUR, M.; NASSIRI, P. & MAHJUB, H. **Compact Model For Predicting Road Traffic Noise**. Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering, Vol. 6, No. 3, 2009, pp. 181-186

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

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

HASSAL J. R, ZAVERI, K. **Acoustic Noise Measurement**. 4. ed. Dinamarca: Bruel & Kjaer Magazine, 1979.

HOBAN C., TSUNOKAWA K. **Roads and the environment: a handbook/edited by Christopher Hoban and Koji Tsunokawa**. (World Bank technical paper; no. 376) (1997).

Incômodo Causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba, PR. Revista de Saúde Pública, São Paulo, v.36, n. 4, p. 521-524, 2002.

K. IZUMI, T. YANO .**Community response to road traffic noise: social surveys in three cities in Hokkaido.** Journal of Sound and Vibration (1991) 151(3), 505-512.

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

KO J. H., CHANG I. S.; LEE P B. **Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS: A case study in the city of Chungju, Republic of Korea.** Applied Acoustic 72 (2011) 544 – 550.

LABORATÓRIO DE ACÚSTICA AMBIENTAL INDUSTRIAL E CONFORTO ACÚSTICO – LAAICA. **Programa de Monitoramento Sonoro – Avenida Fredolin Wolf**, 2011.

LABORATÓRIO DE ACÚSTICA AMBIENTAL INDUSTRIAL E CONFORTO ACÚSTICO – LAAICA. **Programa de Monitoramento Sonoro – Binário Chile Guabirotuba**, 2011.

LABORATÓRIO DE ACÚSTICA AMBIENTAL INDUSTRIAL E CONFORTO ACÚSTICO – LAAICA. **Programa de Monitoramento Sonoro – Trincheira Gustavo Rattman**, 2011.

LAWRENCE A. and BURGESS M. **Measurement of traffic noise shielding provided by buildings.** Applied Acoustics, 13 (1980) 211-225

LEE,S.W; CHANG, S.I; PARK, Y.M. **Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea**, Applied Acoustics, Volume 69, Issue 8, August 2008, Pages 704-714

MANVELL D., BANDA E.H. **Good practice in the use of noise mapping software.** Applied Acoustics 72 (2011) 527–533

MASCHKE, C. **Preventive Medical Limits for Chronic Traffic Noise Exposure.** **Acoustic**,Berlim, v. 85, 448p., 1999.

MEIARASHI, S. M. ISHIDA. **“Noise Reduction Characteristics of Porous Elastic Road Surface”**. 1996. Applied Acoustics, 47:3:239-250.

MIODUSZEWSKI, P., EJSBONT J. A., GRABOWSKI J., KARPIŃSKI D., **Noise map validation by continuous noise monitoring**, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 582-589

MOSER, M. **Engineering Acoustics – Introduction to Noise Control**, 289p. 2004.

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

NEPOMUCENO, L. X. **Acústica técnica**. 1 ed. São Paulo: Editora Técnico Científica Industrial Ltda. – ETEGIL, 1968.

PAZ, E. C. **Estudo de um Modelo de Avaliação e Predição Acústica para o Ruído de Tráfego**. 2004. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, 458p.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**: elementos de projeto, solicitações, dimensionamento. 2. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980.

PINTO, F.A.N.C. **Urban Noise Pollution Assessment Techniques**. In **(Methods and Techniques in Urban Engineering**, Edited by Armando Carlos de Pina Filho & Aloísio Carlos de Pina). Published by In-Tech, May 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA E COMPANHIA DE URBANIZAÇÃO DE CURITIBA (URBS). **Estudo de Impacto Ambiental – Projeto do Eixo Metropolitano da Rede Integrada de Transportes – Trecho BR 476, entre o Trevo do Atuba e Pinheirinho**. Paraná, p.9 2003.

RAMIS J., ALBA J., GARCIA D., HERNÁNDEZ F., **Noise effects of reducing traffic flow through a Spanish city**, Applied Acoustics, Volume 64, Issue 3, March 2003, Pages 343-364

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

ROMEU J., GENESCÀ M., PÀMIES T., JIMÉNEZ S.. **Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements**. Applied Acoustics 72 (2011) 569–577.

ROSSING T. D.; MOORE F. R.; WHEELER P. A. **The Science of Sound**. 2 ed. Los Angeles: Pearson Addison Wesley, 1990.

SALGADO, D. **Com 30 mil novos carros por mês, Curitiba dobra frota em dez anos** – NOTÍCIAS – PORTAL 2014, CURITIBA, 22 de Agosto de 2013. Disponível em:
<http://www.portal2014.org.br/noticias/12199/COM+30+MIL+NOVOS+CARROS+POR+MES+CURITIBA+DOBRA+FROTA+EM+DEZ+ANOS.html>. Acessado em Outubro de 2014.

SANDBERG, U. Road Traffic Noise – **The Influence of the Road Surface and its Characterization**. Applied Acoustics, Sweden, v. 21, p. 97-118, 1987.

SANTOS DE SOUZA, R. **Entendendo a questão ambiental**. Edunisc – Santa Cruz do Sul, 2000.

SCHULTZ T. J. **Community Noise Rating**. 2 ed. New York: Elsevier Applied Science, 1972.

SCHWELA D, KEPHALOPOULOS S, PRASHER D. **Confounding or aggravating factors in noise-induced health effects: Air pollutants and other stressors**. Noise Health 2005; 7:41-50

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – CURITIBA (SMMA). **Lei No. 10.625, de 19 de fevereiro de 2002**. Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Paraná, 9 p., 2002.

TSAI K.T., LIN M.D., CHEN Y.H. **Noise mapping in urban environments: A Taiwan study**. Applied Acoustics 70 (2009) 964–972

UTLEY W. A. **Temporal sampling techniques for the measurement of environmental noise**. Applied Acoustics 15 (1982) 191-203.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). Guidelines for Community noise. Edited by Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela. 161 pages, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). Regional Office for Europe. Environmental noise 326 pages, 2011.

ZANNIN P.H.T. et. Al. **Environmental Noise Pollution in the city of Curitiba, Brazil**. Applied Acoustics, Brazil, v. 63, p. 351-358, 2002b.

ZANIN, P.H.T., SANT'ANA, D.Q., **Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project – A case study in Brazil**, Applied Acoustic, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 479-486.

ZEYNEP D., NESE A. **Noise disturbance caused by outdoor activities – a simulated-environment study for Ali Sami Yen Stadium, Istanbul**. Environmental monitoring and assessment. Volume 174, Numbers 1-4 (2011), 347-360.