

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PATRÍCIA DIAS SOARES

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA AMBIENTAL NA PARTE NOROESTE
DA CIDADE DE CURITIBA**

CURITIBA –PR

2013

PATRÍCIA DIAS SOARES

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA AMBIENTAL NA PARTE NOROESTE
DA CIDADE DE CURITIBA**

Projeto de Dissertação apresentado como requisito parcial à obtenção de grau de mestre em Engenharia Ambiental, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ing – Paulo Henrique Trombetta Zannin

CURITIBA –PR

2013

AGRADECIMENTOS

A Deus, amigo sempre presente em minha vida.

Ao professor Dr. -Ing.- Paulo Henrique Trombetta Zannin, por compartilhar seu grande conhecimento, pela orientação, dedicação, apoio, honestidade, amizade, atenção e paciência.

Aos meus pais, Augusto Renato Dias Soares e Maria Harmatiuk Soares, pela compreensão, paciência, apoio e amor.

A minha amiga Mirre Liluz Milanez pela amizade, apoio e ajuda incondicionais sem os quais essa pesquisa não teria sido realizada.

A meu amigo Paulo Eduardo Kirrian Fiedler por compartilhar seu conhecimento, incentivo, compreensão e apoio incessante.

A todos os meus queridos amigos e amigas, Karyn Lia Hamad Anjelo, Fernando Bunn, Marcus Oliveira Schunemann, Margret Engel, Melina Nagata, Samuel Ansay e todos que passaram pelo Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) e colaboraram, de forma direta ou indireta, na realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pelo apoio e confiança durante todo este período.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, em especial a Marina Plahtyn da Rosa, pela disposição e ajuda nos momentos necessários.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - AJUSTE DOS NÍVEIS BASEADOS NAS CATEGORIAS DE FONTE SONORA E PERÍODO DO DIA	22
TABELA 2 – NÍVEL DE CRITÉRIO DE VALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM dB(A)	24
TABELA 3 – LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDO (LAeq)	26
TABELA 4 – NÍVEIS MÁXIMOS DE PRESSÃO SONORA DAS ÁREAS EM ESTUDO.....	31
TABELA 5 – MODELO DA TABELA DE DADOS COLETADOS EM CAMPO.....	38
TABELA 6 – DADOS PARA SIMULAÇÕES DE MAPAS ACÚSTICOS DO PASSADO E FUTURO - EVOLUÇÃO DA FROTA VEÍCULOS MOTORIZADOS CURITIBA 2000-2010	48
TABELA 7 – PERCENTUAL DE CRESCIMENTO DO NÚMERO DE VEÍCULOS NA CIDADE DE CURITIBA -PR DE 2000 A 2010.....	49
TABELA 8 DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS MODELO CALIBRADO COM 3 (TRÊS) CATEGORIAS DE VEÍCULOS:.....	53
TABELA 9 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS MODELO CALIBRADO COM 4 (QUATRO) CATEGORIAS DE VEÍCULOS:	54
TABELA 10 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS ENTRE AS CATEGORIAS 3 E 4:	55
TABELA 11 – DIFERENÇA ENTRE O VALOR DA MEDIÇÃO DE CAMPO E OS VALOR LIMITE DA ZONA RESIDENCIAL ZR1 E ZR2 ESTABELECIDO PELA LEGISLAÇÃO MUNICIPAL nº 10.625/2002.	57
TABELA 12 - DIFERENÇA ENTRE O VALOR DA MEDIÇÃO DE CAMPO E OS VALOR LIMITE DA ZONA RESIDENCIAL SANTA FELICIDADE ESTABELECIDO PARA PELA LEGISLAÇÃO MUNICIPAL nº 10.625/2002.	58
TABELA 13 - DIFERENÇA ENTRE O VALOR DA MEDIÇÃO DE CAMPO E OS VALOR LIMITE DA ZONA ESPECIAL COMERCIAL DE SANTA FELICIDADE ESTABELECIDO PELA LEGISLAÇÃO MUNICIPAL Nº 10.625/2002.	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DOS BAIRROS DE CURITIBA. LEGENDA: 59 – ORLEANS, 60 - SÃO BRAZ, 63 – SANTA FELICIDADE, 47 – CASCATINHA, 12 – MERCÊS.....	29
FIGURA 2 - MAPA DA ÁREA ONDE O ESTUDO FOI REALIZADO.	30
FIGURA 3 - PONTOS DE MEDIÇÃO NA AVENIDA V. TOALDO TULIO, BAIRRO ORLEANS, SÃO BRAZ E SANTA FELICIDADE.	32
FIGURA 4 - PONTOS DE MEDIÇÃO NA AVENIDA MANOEL RIBAS, BAIRROS SANTA FELICIDADE E CASCATINHA.	33
FIGURA 5 - PONTOS DE MEDIÇÃO NA AVENIDA MANOEL RIBAS, BAIRROS CASCATINHA E MERCÊS.....	34
FIGURA 6 - DISTÂNCIAS QUE DEVEM SER SEGUIDAS PARA REALIZAR AS MEDIÇÕES EM CAMPO.	35
FIGURA 7 - TOPOGRAFIA DA CIDADE DE CURITIBA COM CURVAS DE NÍVEL DE 5 EM 5 METROS IMPORTADAS PARA O SOFTWARE PREDICTOR.	44
FIGURA 8 - ORTOCARTAS GEORREFERENCIAS DA CIDADE DE CURITIBA IMPORTADAS PARA O SOFTWARE PREDICTOR.....	45
FIGURA 9 - VISUAL 3-D DAS EDIFICAÇÕES DESENHADAS NO SOFTWARE PREDICTOR .	46
FIGURA 10 – EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE VEÍCULOS NA CIDADE DE CURITIBA DE 2000 A 2010.	49
FIGURA 11 - MAPA DE RUÍDO	51
FIGURA 12 - MAPA DE RUÍDO	52
FIGURA 13- NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE. A LINHA AZUL QUE CORTA O GRÁFICO REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PREVISTO NA LEGISLAÇÃO PARA OS PONTOS DE MEDIÇÃO REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM ROXO. ALINHA VERDE REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA AS BARRAS NA COR AMARELA E A LINHA VERMELHA REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA ZONAS RESIDENCIAIS REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM PRETO.	57
FIGURA 14 – LEGENDA DAS CORES DOS MAPAS DE RUÍDO.....	59
FIGURA 15 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 0 AO 7 CALCULADO NO PREDICTOR.....	60
FIGURA 16 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 7 e 8.....	61
FIGURA 17 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 9, 10 E 11,.....	62
FIGURA 18 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 11 AO 18,.....	64
FIGURA 19 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 18 AO 21,.....	65
FIGURA 20 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 00 AO 5, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 50% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	67
FIGURA 21 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 6 AO 11, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 50% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	68
FIGURA 22 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 12 AO 15, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 50% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	69
FIGURA 23 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 16 AO 18, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 50% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	70
FIGURA 24 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 19 AO 21, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 50% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	71
FIGURA 25 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 00 AO 05, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 75% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	72
FIGURA 26 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 06 AO 11, , SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 75% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	74
FIGURA 27 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 12 AO 15, , SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 75% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	75
FIGURA 28 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 16 AO 18, , SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 75% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	76

FIGURA 29 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 19 AO 21, , SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 75% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	77
FIGURA 30 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 00 AO 05, , SIMULAÇÃO DO FUTURO COM AUMENTO DE 100% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	79
FIGURA 31 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 06 AO 11, SIMULAÇÃO DO FUTURO COM AUMENTO DE 100% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	80
FIGURA 32 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 12 AO 15, SIMULAÇÃO DO FUTURO COM AUMENTO DE 100% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	81
FIGURA 33 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 16 AO 18, , SIMULAÇÃO DO FUTURO COM AUMENTO DE 100% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	82
FIGURA 34 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 19 AO 21, , SIMULAÇÃO DO FUTURO COM AUMENTO DE 100% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	83
FIGURA 35 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DO PONTOS 00 AO 05 COM 25%, 50%, 100% E 200% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	85
FIGURA 36 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DO PONTOS 06 AO 11 COM 25%, 50%, 100% E 200% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	86
FIGURA 37 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DO PONTOS 12 AO 15 COM 25%, 50%, 100% E 200% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	87
FIGURA 38 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DOS PONTOS 16 AO 18, COM 25%, 50%, 100% E 200% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	88
FIGURA 39 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DOS PONTOS 19 AO 21, COM 25%, 50%, 100% E 200% DO FLUXO DE VEÍCULOS.....	89

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo estudar o impacto sonoro ambiental causado pelo ruído de tráfego rodoviário em várias vias da parte Noroeste da Cidade de Curitiba, através de medições *in situ* e mapeamento sonoro. Para tanto foram realizadas as seguintes etapas: de definição dos locais avaliados, coleta de dados de campo; tabulação dos dados coletados; mapeamento acústico; avaliação de cenários do passado, presente e futuro; e avaliação conclusiva. O objeto deste estudo é a avaliação do ruído ambiental em vias de grande importância para o deslocamento de veículos de um extremo ao outro da cidade. As vias atravessam cinco grandes bairros comerciais e residenciais com um grande fluxo de veículos e pessoas. Para caracterizar a poluição sonora nos trechos avaliados, foram realizadas 22 medições em locais diferentes. As medições sonoras foram realizadas conforme as recomendações da norma NBR 10151/2000. Foi utilizado o software de análise Predictor 8.11 para a realização dos mapas acústicos. Foi avaliado um cenário de referência que representa o “panorama acústico” atual. Foram também criados três cenários hipotéticos e distintos entre si, para avaliar o ruído nas áreas escolhidas. No cenário 1, foi criada a hipótese de que a quantidade de veículos é reduzida em 50% em relação a atual. No cenário 2 foi criada a hipótese de que a quantidade de veículos é reduzida em 75% em relação ao atual. O cenário 3 simula o ruído nas áreas sensíveis considerando o espaço de tempo de 20 anos ou seja com o aumento da quantidade de veículos em 100%. Os resultados sugerem que a situação acústica destes trechos caracteriza a existência de poluição sonora ambiental. O cenário com redução de 50% da quantidade de veículos revela que as medidas adotadas não foram suficientes para reduzir significativamente os níveis sonoros. O cenário com redução de 75% do fluxo de veículos mostra que a medida adotada seria significativa para reduzir os níveis sonoros nos limites estabelecidos pela legislação. E no cenário futuro é possível evidenciar que o fluxo estará extremamente saturado daqui a 20 anos, que haverá um crescimento significativo dos níveis sonoros, e conseqüentemente um aumento da poluição sonora ambiental. Desta maneira, fica evidenciado que apenas uma medida de controle tomada não é suficiente para resolver este problema. É necessária a criação de um plano de médio e longo prazo, com várias medidas que atuem em conjunto para combater o ruído de forma eficiente.

Palavras chave: poluição sonora, ruído ambiental, mapeamento sonoro.

ABSTRACT

The present study aims to investigate the environmental impact caused by road traffic noise on various routes of the northwest part of the city of Curitiba, through measurements in situ and noise mapping. This involved the following stages: definition of locations to be assessed, field data collection, data tabulation; acoustic mapping, assessment past, present and future scenarios, and conclusion. The object of this study is the assessment of environmental noise in the process of great importance for the movement of vehicles from one extreme to another. The routes pass through five major business and residential districts with a large flow of people and vehicles. To characterize the noise in the sections evaluated, 22 measurements were made at different locations. Sound measurements were made according to the NBR 10151/2000 Standard. The analysis software Predictor 8:11 was used in the preparation of the acoustic maps. A baseline scenario representing the present "acoustic panorama" was evaluated. Three hypothetical scenarios and distinct from each other were created. The hypothesis created for scenario 1 was: the number of vehicles is reduced by 50 % compared to the present one. For scenario 2 it was: the number of vehicles is reduced by 75 % compared to the present one. Scenario 3 simulates noise sensitive areas considering a time span of 20 years, the number of vehicles was increased by 100%. Results suggest that the acoustic situation of these stretches characterizes noise pollution. The scenario 1 reveals that the measures adopted were not sufficient to reduce sound levels significantly. The scenario with 75% reduction in the traffic flow shows that the measure would be adopted would be to significantly reduce sound levels within the limits established by law. And the possible future scenario show that the flow is extremely saturated in 20 years there will be a significant increase in noise levels, and consequently an increase in environmental noise pollution. Thus, it becomes evident that one single control measure is not sufficient to solve the problem. It is necessary to make a medium and long term planning considering various measures acting together in order to effectively tackle noise.

Keywords: sound pollution, environmental noise, noise mapping.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	<i>13</i>
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	<i>13</i>
1.2	APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	SOM E RUÍDO	15
2.2	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....	15
2.3	NÍVEL EQUIVALENTE DE PRESSÃO SONORA.....	15
2.4	MAPAS ACÚSTICOS.....	16
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	18
3.1	RUÍDO E O INDIVÍDUO.....	18
3.2	PERFIL DO RUÍDO AMBIENTAL	18
3.3	RUÍDO GERADO PELO TRÁFEGO.....	19
3.4	TRABALHOS SOBRE RUÍDO AMBIENTAL NO BRASIL.....	20
4	ASPECTOS NORMATIVOS.....	22
4.1	ISO 1996-1.....	22
4.2	ISO 1996-2.....	23
4.3	NBR 10151	24
4.4	CONAMA 001/90	25
4.4.1	<i>Resolução No. 001 de 08/03/1990 do CONAMA</i>	<i>25</i>
4.4.2	<i>Resolução No. 252 de 01/02/1999 do CONAMA</i>	<i>26</i>
4.5	LEI MUNICIPAL NO. 10.625 DE 19 DE DEZEMBRO DE 2002	26
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
5.1	INTRODUÇÃO	28
5.2	DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
5.2.1	<i>Avenida Vereador Toaldo Tulio.....</i>	<i>28</i>
5.2.2	<i>Avenida Manoel Ribas.....</i>	<i>28</i>
5.3	COLETA DE DADOS EM CAMPO.....	31
5.3.1	<i>Locais de medição.....</i>	<i>31</i>
5.3.2	<i>Zoneamento e limites de nível de pressão sonora.....</i>	<i>31</i>
5.4	METODOLOGIA DE MEDIÇÃO	35
5.5	TABULAÇÃO DOS DADOS	38
5.6	MONTAGEM DOS MODELOS	39
5.6.1	<i>O Software Predictor 8.11 Modelo 7810.....</i>	<i>39</i>
5.6.1.1	<i>Utilização.....</i>	<i>39</i>
5.6.1.2	<i>O conceito.....</i>	<i>39</i>
5.6.1.3	<i>O cálculo</i>	<i>40</i>
5.6.1.4	<i>O Método ISO</i>	<i>40</i>
5.6.1.5	<i>Processo de cálculo</i>	<i>42</i>
5.6.1.6	<i>Road</i>	<i>42</i>
5.6.1.7	<i>Grid</i>	<i>43</i>
5.7	INSERÇÃO DE DADOS	43

5.8	CALIBRAÇÃO DO MODELO	47
5.8.1	<i>Calibração</i>	47
5.8.2	<i>Inserção de dados das medições em campo</i>	48
5.8.3	<i>Simulações de situações do Passado e Futuro</i>	48
5.9	CÁLCULO DO MAPEAMENTO (ISO 9613-1/2 ROAD)	49
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
6.1	DADOS.....	53
6.2	MAPEAMENTO SONORO	58
6.2.1	<i>Simulações do presente</i>	58
6.2.2	<i>Simulações do passado</i>	66
6.2.3	<i>Simulações do futuro</i>	78
6.2.4	<i>Comparação entre as simulações</i>	84
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	91
8	REFERENCIAS	94

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem crescido rapidamente nos últimos anos. É do conhecimento de todos que vários tipos de poluição têm aumentado indiscriminadamente. Com o aumento do uso de máquinas, energia, aumento do tráfego rodoviário e aeroviário, o ambiente acústico foi igualmente afetado (HASSAL & ZAVERI, 1979).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), a poluição sonora atinge um grande número de pessoas no mundo, depois da poluição do ar e da água (OMS, 2003). A poluição sonora é um novo agravante para a população das grandes cidades em países emergentes como o Brasil. O aumento acentuado de questões relacionadas ao conforto acústico tem sido provocado pelo crescimento desordenado dos núcleos urbanos, novas tecnologias da construção civil, etc. As reclamações em relação ao ruído urbano, proveniente do excessivo número de veículos, casas noturnas, igrejas ou templos têm aumentado a cada dia (CARVALHO, 2010).

Em muitas áreas, diariamente, o maior impacto causado pela utilização das estradas é o ruído. Os efeitos do ruído não são visíveis ou mensuráveis em um primeiro momento, por isso seus efeitos não são priorizados ou tem menos importância em relação a impactos econômicos ou outros impactos ambientais. A exposição à poluição sonora pode trazer uma série de problemas e os seres humanos que sofrem exposição crônica estão conscientes de sua presença, (SPAKE, *et. al.*, 1994). Devido ao forte crescimento industrial encorajado pelo Governo Brasileiro, a cidade de Curitiba - PR que é uma das mais antigas do Brasil, tem tido um forte crescimento econômico nos últimos 30 anos (CALIXTO *et. al.*, 2003).

Nos últimos anos houve grande expansão dos limites urbanos da cidade de Curitiba-PR e a população cresceu em grande número nas periferias. Com esta mudança gerou-se uma grave consequência: as áreas ao longo das rodovias têm sido altamente ocupadas, estradas que antes serviam apenas para o tráfego de entrada, cruzamento ou saída da cidade, hoje estão sendo utilizadas como fluxo de tráfego normal, tendo um papel importante como avenidas com tráfego intenso (CALIXTO *et. al.*, 2003). O ruído de tráfego foi apontado como a principal fonte de incômodo em Curitiba, de acordo com uma pesquisa realizada, no qual

860 questionários foram respondidos, e onde 73% dos entrevistados apontaram o tráfego como principal fonte de ruído (ZANNIN *et. al.*, 2002).

Tudo isso tem como consequência o aumento da poluição sonora, que passou a constituir um dos principais problemas ambientais, que não pode ser visto, mas que está presente diariamente, causando desconforto, doenças, estresse, degradação ambiental etc. No Brasil, instrumentos públicos de controle e gerenciamento de ruído são muito precários. Basicamente, apenas trabalhos acadêmicos utilizam o conceito de medição e mapeamento sonoro para estudar a poluição sonora e isto acontece em poucas cidades do Brasil, como Curitiba, Florianópolis e Rio de Janeiro (ZANNIN *et. al.*, 2011).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho buscou avaliar o impacto ambiental gerado pelo ruído gerado pelo tráfego, em algumas das principais vias da parte noroeste da cidade de Curitiba.

1.1.2 Objetivos específicos

Este trabalho teve como objetivos específicos: identificar e quantificar o nível de ruído urbano na parte noroeste de Curitiba gerado pelo tráfego de veículos, comparando os dados medidos com a legislação vigente municipal, verificando se há ou não poluição sonora no local;

Avaliar o melhor método de calibração do modelo no software e comparar os resultados para a escolha do mesmo;

Simular modelos matemáticos através do fluxo de veículos, identificando as principais fontes sonoras e assim gerar mapas de ruído para utilizar como um instrumento para o controle e redução da poluição sonora;

Realizar o mapeamento acústico dos trechos avaliados com o intuito de visualizar amplamente o problema do ruído, caracterizando a qualidade acústica nos setores avaliados, contribuindo assim para que a comunidade disponha de parâmetros atuais quantitativos e qualitativos, alcançados com rigor científico, sobre a poluição sonora ambiental gerada pelo tráfego nessas regiões.

Analisar a simulação do passado, presente e futuro destes locais para realizar uma comparação das mudanças ao longo de um determinado período, demonstrando as possíveis mudanças que ocorreram ou que poderão ocorrer.

1.2 Apresentação da estrutura da dissertação

O capítulo 1 apresenta uma breve introdução sobre o tema principal da pesquisa, sua área de atuação, objetivos, as atividades desenvolvidas com suas justificativas e contribuições principais e a estrutura de redação final do documento.

O capítulo 2 apresenta as fundamentações teóricas, os principais conceitos e definições em acústica. São introduzidas também as principais formulações e expressões de interesse ao estudo do ruído de tráfego, e apresentadas suas grandezas e unidades.

O capítulo 3 apresenta a revisão da literatura onde foi feito um levantamento de temas essenciais para o desenvolvimento da dissertação. No capítulo 4 são apresentadas as normas e legislações para ruído que são aplicáveis para o desenvolvimento dessa dissertação.

O capítulo 5 apresenta os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento desta dissertação.

No capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos e as discussões acerca dos mesmos.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões alcançadas neste trabalho sobre o melhor método de calibração utilizado e o problema da poluição sonora nas áreas analisadas na parte noroeste de Curitiba, principalmente em relação às simulações realizadas, o mapeamento acústico e o impacto ambiental causado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Som e Ruído

O fenômeno som pode ser descrito como uma perturbação, estímulo ou movimento de onda no ar que se propaga em um meio elástico, seja ele sólido, líquido ou gasoso, causando variação na pressão e no deslocamento das partículas das posições de equilíbrio, que resulta na percepção do som (KINSLER *et. al.*, 1982; GERGES, 2000; EVEREST, 2001; LICITRA, 2013).

2.2 Nível de pressão sonora

Por definição, o Nível de Pressão Sonora (NPS), correspondente à pressão de referência, em decibéis, é, dez vezes o logaritmo de base dez da razão entre o quadrado da pressão sonora efetiva pela pressão sonora de referência (GERGES, 2000 & SHULTZ, 1972).

Segundo GERGES (2000), o nível de pressão sonora é dado por:

$$NPS = 10 \log \left[\frac{p^2}{p_0^2} \right] \quad (2.1)$$

Onde,

NPS É o Nível de Pressão sonora [dB]

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

p₀ É a pressão sonora de referência = 2 x 10⁻⁵ [N/m²]

2.3 Nível equivalente de pressão sonora

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):

$$Leq = 10 \log \left\{ \left(\frac{1}{T} \right) \cdot \left[\int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \right\} [dB] \quad (1.2)$$

Onde,

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

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

$p_{(t)}$ É a pressão sonora instantânea

p_0 É a 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).

2.4 Mapas acústicos

Um mapeamento acústico ou sonoro é essencial para a avaliação e diagnóstico de um ambiente e sua poluição sonora. Ele permite ver o problema de uma forma ampla e não apenas pontual como em uma medição. A elaboração de mapas de ruído formados a partir de dados coletados em campo e dados calculados pela ferramenta computacional podem tornar-se um instrumento para o controle e redução da poluição sonora e melhoria da qualidade ambiental em grandes cidades. São ferramentas que podem auxiliar no desenvolvimento sustentável buscando a melhoria da qualidade de vida da população urbana.

O controle de ruído através da utilização de mapas acústicos 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).

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.

Softwares sofisticados são utilizados para a confecção dos mapas acústicos. Estes programas calculam os níveis de imissão sonora, para um número muito grande de pontos, a partir das características físicas (topográficas) e dos parâmetros do tráfego do local que está sendo avaliado.

Assim, eles são capazes de gerar um mapa dos níveis de ruído utilizando uma escala de cores relacionada aos níveis sonoros. Desta forma é possível conhecer os níveis de ruído em qualquer ponto de uma grande área de avaliação, por meio de leitura direta no mapa de ruído.

Estes programas também permitem que sejam simuladas alterações nos parâmetros que determinam tanto a emissão como a imissão do ruído, transformando-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).

Os mapas acústicos são excelentes ferramentas para o gerenciamento do ruído ambiental, pois eles podem fornecer uma visão ampla do problema, análise da situação presente e futura, identificar e quantificar as principais fontes de ruído no meio urbano e a criação e manutenção de uma base de dados sobre estudos de poluição sonora.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Ruído e o Individuo

O ouvido humano é o sensor de som muito sofisticado que responde dentro dos limites de amplitude e banda de frequência da variação da pressão atmosférica (GERGES, 2000).

O limiar de audição corresponde ao limite máximo inferior do som perceptível no ar. Por exemplo, o ouvido humano não consegue detectar sons mais suaves do que a gotas de chuva nas partículas de ar sobre o tímpano. A partir destas respostas de limiar para os estímulos mais fracos, o ouvido é também capaz de suportar altas intensidades de som, como o som de uma turbina de um avião, um tiro de um canhão, sendo assim necessário usar mecanismos de proteção, para que os ruídos mais intensos não venham a causar danos (EVEREST, 2001). De acordo com Organização Mundial da Saúde (2003), um ruído de até 50 dB(A) pode perturbar, mas o organismo se adapta a ele. A partir de 55 dB(A), pode ocorrer estresse leve, acompanhado de desconforto. O nível de 70 dB(A) é tido como o nível de desgaste do organismo, aumentando o risco de infarto, derrame cerebral, infecções, hipertensão arterial e outras patologias. A 100 dB(A), dependendo do tempo de exposição pode haver perda temporária da audição (WHO, 2003).

O ruído excessivo também é um incômodo ao sono, afetando seus principais processos orgânicos e cerebrais (WHO, 2003).

3.2 Perfil do ruído ambiental

Para sabermos o perfil do ruído ambiental, primeiro precisamos identificar todas ou pelo menos a maioria das fontes presentes no local de estudo. Depois devemos estudar as características da maior contribuição encontrada em relação ao tempo (LICITRA, 2013). Estimativas sugerem que milhões de pessoas em todo o mundo estão sendo afetadas pelo ruído ambiental ou ruído urbano em suas comunidades (WHO, 2011). A maior parte do ruído ambiental é causado por atividades humanas como o tráfego rodoviário, ferroviário e aviões. Com as áreas urbanas cada vez mais habitadas é inevitável que, a menos que o

controle de impacto do ruído seja tratado adequadamente, esta situação piore (FIEDLER, 2012).

Fontes de ruído urbano podem ser classificadas em três grupos: estacionários, fontes móveis e coletivas (MIYARA, 2008).

Fontes estacionárias são aquelas que podem ser supostas como localizadas em um ponto fixo do espaço; por exemplo, uma fábrica, uma máquina, uma casa de show. As fontes móveis em vez disso podem ser supostas como fontes pontuais que podem mover-se no espaço. É o caso dos veículos rodoviários, ferroviários e aeronaves. As fontes coletivas são o resultado da acumulação de fontes em espaços públicos, por exemplo: as pessoas na rua, uma feira na cidade, uma reunião pública, uma praça da cidade ou uma festa popular (MIYARA, 2008).

3.3 Ruído gerado pelo tráfego

De acordo com relatórios de estudos de Costabal Fagundez (2010), o tráfego é responsável por cerca de 70% do ruído urbano. A maior parte do ruído vem de automóveis e as fontes mais relevantes são os veículos pesados, incluindo o transporte público (OROZCO-MEDINA & FIGUEROA MONTAÑO, 2010).

Veículos pesados como ônibus e caminhões, além de motocicletas contribuem muito para a emissão de ruído. O ruído produzido por veículos depende de vários fatores como motor, sistema de escapamento, sistema de exaustão, sistema de refrigeração, modo como o motorista dirige (velocidade, constante aceleração ou desaceleração e tipo de câmbio); tipo de pneu utilizado pelos veículos e meios de propagação do ruído (ALI & TAMURA, 2002).

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

Quando falamos em medir o ruído de tráfego alguns parâmetros devem ser registrados. Um destes consiste em registrar o fluxo de veículos passando nas vias durante a medição. Nas estatísticas oficiais de tráfego consideramos duas

categorias de veículos os leves (carros pequenos, caminhonetes e vans) e veículos pesados (micro-ônibus, ônibus e caminhões). Durante as medições podemos incrementar estas categorias com veículos classificados de acordo com suas características acústicas, como um exemplo: as motocicletas (LICITRA, 2013).

3.4 Trabalhos sobre ruído ambiental no Brasil

No Brasil ainda são escassos trabalhos acadêmicos mais aprofundados na área de ruído emitido pelo tráfego rodoviário.

Em 2000, uma equipe de pesquisadores de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, realizou um mapeamento da região central de Belo Horizonte que relacionava ruído com as características do tráfego urbano as conclusões revelaram que os níveis sonoros estão bem acima dos limites recomendados pela legislação local e a OMS – Organização mundial da Saúde.

Calixto, (2002) analisou dois trechos de rodovia em Curitiba através de aspectos objetivos e concluiu que o ruído de tráfego produzia um impacto considerado grande, isto é, a população que vive ou trabalha ao longo destas rodovias, estava submetida a uma condição insalubre. Em adição, ele propôs um modelo matemático para predição dos níveis de emissão sonora para estes trechos quando em função de rodovias, considerando a situação de tráfego misto.

Paz (2004) avaliou o ambiente acústico gerado por um trecho urbano de uma rodovia (BR-476), situado em Curitiba-PR, que sofreu um processo construtivo de readequação. Além disso, propôs uma rotina de avaliação e predição acústica em laboratório para o estudo do ruído de tráfego, com dedicação direta a estudos de impactos ambientais devidos a emissões sonoras.

Pinto e Mardones (2008) avaliaram a poluição sonora algumas áreas do bairro de Copacabana no Rio de Janeiro, quantificaram os níveis de para o qual a população está exposta, e também para quantificar a influência da arquitetura local.

Nardi (2008) avaliou os níveis de pressão sonora na área central de Florianópolis através de mapeamentos sonoros dos níveis diurnos, entardecer e noturno, um diagnóstico da situação acústica da região.

Em 2012 Engel caracterizou a poluição sonora em uma grande avenida de Curitiba-PR através de medições, simulações computacionais utilizando o software Predictor e através de uma análise subjetiva utilizando questionários.

Em 2013 Fiedler avaliou o impacto ambiental sonoro gerado pelo tráfego rodoviário, através de medições *in situ* e mapeamento sonoro, os principais eixos de transporte urbano da cidade de Curitiba-PR.

4 ASPECTOS NORMATIVOS

Este capítulo apresenta normas e legislações sobre o ruído ambiental, apresentando regulamentações, limites, métodos de medição etc.

4.1 ISO 1996-1

Com base nos princípios descritos nessa norma, normas nacionais, regulamentações e limites aceitáveis para o ruído podem ser desenvolvidos.

Esta parte da norma define os itens básicos a serem utilizados para descrever o ruído em ambientes comunitários e descreve procedimentos básicos de avaliação. Também especifica métodos para avaliar exposição a vários tipos de ruídos ambientais. As fontes sonoras podem ser separadas ou combinadas. A aplicação do método de predição de resposta ao incômodo ao ruído é limitada a áreas onde as pessoas residem e para relacionar o uso do solo em longo prazo.

Esta parte da norma ISO não especifica limites de ruído ambiental. A norma fornece as informações que devem conter em um relatório de ensaios. Ajustes para avaliação de níveis de diferentes fontes sonoras.

A resposta da comunidade ao ruído pode variar entre diferentes fontes sonoras que possuem o mesmo nível de ruído. Essa parte da norma descreve ajustes para sons que tenham diferentes características. Também indica ajustes para horário noturno, fins de semana e feriados, a fim de proporcionar possibilidade de descanso.

Esses ajustes podem ser adicionados às medições ou à predição do nível de exposição ao ruído ou ao nível de pressão sonora contínuo equivalente.

A Tabela a seguir indica alguns ajustes recomendados:

TABELA 1 - AJUSTE DOS NÍVEIS BASEADOS NAS CATEGORIAS DE FONTE SONORA E PERÍODO DO DIA

Tipo	Especificação	Nível de Ajuste
Fonte Sonora	Tráfego Rodoviário	0
	Aeronáutico	3 a 6
	Ferrovário	-3 a-6
	Industrial	0
Característica da Fonte	Impulsivo Regular	5

	Fortemente Impulsivo	12
	Sons Tonais	3 a 6
Período do tempo	Tarde	5
	Noite	10
	Finais de Semana- diurno (7:00h às 22:00h)	5

FONTE: ISO 1996-1

4.2 ISO 1996-2

O propósito desta parte da norma é fornecer métodos para a aquisição de dados para descrever o ruído ambiental. Utilizando esses dados como base, autoridades podem estabelecer um sistema para selecionar o apropriado uso do solo conforme os níveis de ruído existentes em determinada área, ou planejar locais que tenham níveis de ruído apropriados ao uso do solo já existente.

Para aquisição dos dados, deve ser considerado:

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

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

Sobre o mapeamento acústico, a norma prescreve que o mapa de ruído poderá ser estabelecido como mapa oficial, em uma dada escala, descrevendo detalhes relevantes das edificações, instalações de tráfego, áreas industriais, áreas agrícolas, vegetação e curvas de nível. O mapa pode ter áreas caracterizadas por mesmo ruído, ou apenas ter o contorno de diferença de ruído, ou ter uma combinação de contornos de áreas.

4.3 NBR 10151

A NBR 10151/00 “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade” tem como base fixar as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independente da existência de reclamações, especifica 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 (L_{Aeq}), expressos em dB(A).

Aborda também 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 do ruído é baseado em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido L_c e o nível de critério de avaliação NCA. O nível corrigido L_c é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente L_{Aeq} 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 10.151 para o nível de critério de avaliação estão representados na tabela a seguir.

TABELA 2 – NÍVEL DE CRITÉRIO DE VALIAÇÃO (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

4.4 Conama 001/90

4.4.1 Resolução No. 001 de 08/03/1990 do CONAMA

Considera que os problemas dos níveis excessivos de ruído estão incluídos entre os sujeitos ao Controle da Poluição de Meio Ambiente, e que a deterioração da qualidade de vida causada pela poluição sonora está sendo continuamente agravada nos grandes centros urbanos (CONAMA, 1990).

Esta resolução dispõe sobre a emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política, obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta resolução.

São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior, os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela Norma NBR 10151 Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

A emissão de ruídos produzidos por veículos automotores e os produzidos no interior dos ambientes de trabalho obedecerão às normas expedidas, respectivamente, pelo Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN e pelo órgão competente do Ministério do Trabalho.

As entidades e órgãos públicos (federais, estaduais e municipais) competentes, no uso do respectivo poder de polícia, disporão de acordo com o estabelecido nesta resolução, sobre a emissão ou proibição da emissão de ruídos produzidos por qualquer meio ou de qualquer espécie, considerando sempre os locais, horários e a natureza das atividades emissoras, com vistas a compatibilizar o exercício das atividades com a preservação da saúde e do sossego público.

Para os efeitos desta resolução, as medições deverão ser efetuadas de acordo com a NBR 10151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da ABNT, todas as normas regulamentadoras da poluição sonora, emitidas a partir da data em que esta resolução foi publicada, deverão apresentar conteúdo compatível com o da presente resolução.

4.4.2 Resolução No. 252 de 01/02/1999 do CONAMA

Considera que o ruído excessivo, principalmente o ruído proveniente do tráfego dos veículos rodoviários automotores, causa prejuízo à saúde física e mental, afetando particularmente a audição, sendo necessário reduzir estes altos índices de poluição sonora nos principais centros urbanos do Brasil.

4.5 Lei municipal No. 10.625 de 19 de dezembro de 2002

Em Curitiba a lei municipal 10.625/02 (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2002) 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 definidos em:

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

A cidade de Curitiba está dividida em diversas zonas de uso: como Setor Especial Comercial, Setor Histórico, Zona Especial Educacional, Zona Industrial, Zona Residencial, Zona de Uso Misto, entre outras.

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 3 – LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDO (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,	60 dB (A)	55 dB (A)	50 dB (A)

APA-ST			
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)

FONTE: LEI MUNICIPAL 10.625/02

Comparando a lei municipal de Curitiba 10.625/02 com NBR 10151/00, os valores em muitos casos mais exigentes concordam, sendo a lei municipal muitas vezes mais restritiva.

Na lei municipal de Curitiba 10.625/00 também está detalhada a classificação das infrações, os valores das penalizações e as sanções caso haja o descumprimento de qualquer dispositivo.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Introdução

A presente pesquisa visa avaliar através de medições e a partir da utilização de simulações computacionais de predição acústica o ambiente acústico da parte noroeste de Curitiba, onde serão avaliadas duas vias principais que cruzam cinco bairros. Estas vias foram escolhidas por possuírem grande extensão, cruzarem cinco bairros, serem entrada de acesso vindas de grandes rodovias para cidade de Curitiba, possuírem em sua extensão tanto residências como centros comerciais e pela grande fluxo de veículos e pessoas. Tanto quanto seja do conhecimento da autora, até o momento não há trabalhos sobre poluição sonora nesta parte da cidade de Curitiba - PR.

As medições acústicas servem para avaliar e analisar principalmente a influência do tráfego de veículos nas vias escolhidas. As localizações e números de pontos avaliados em cada via foram escolhidos com base na análise das fotografias aéreas de satélite (GOOGLE EARTH, 2012) e em visitas técnicas realizadas de agosto a dezembro de 2012.

5.2 Definição da área de estudo

5.2.1 Avenida Vereador Toaldo Tulio

A avenida Toldo Tulio é uma importante avenida que dá acesso a Curitiba aos veículos que vem do interior do Paraná pela BR 277. Ela liga a região de Santa Felicidade ao Campo Comprido/CIC e corta os bairros Butiatuvinha, São Braz e Orleans. Esta avenida é mista entre imóveis residenciais e comerciais, com grande circulação de pessoas e fluxo de veículos. O tráfego desta avenida é intenso e com filas de carros e ônibus (sete linhas usam a avenida) que se formam nos horários de pico.

5.2.2 Avenida Manoel Ribas

Esta avenida liga o contorno norte ao bairro Mercês e Centro de Curitiba. Predominantemente comercial a avenida Manoel Ribas é um dos principais pontos turísticos da cidade, com importante reduto gastronômico, vinícolas e

lojas de artesanatos que foi construída uma parte com manta asfáltica e uma parte, em frente aos principais restaurantes foi construída com paralelepípedos.

Estas avenidas, Vereador Toaldo Túlio e Manoel Ribas atravessam cinco bairros (Figura 2) que são tanto residenciais quanto comerciais e com um grande fluxo de veículos.

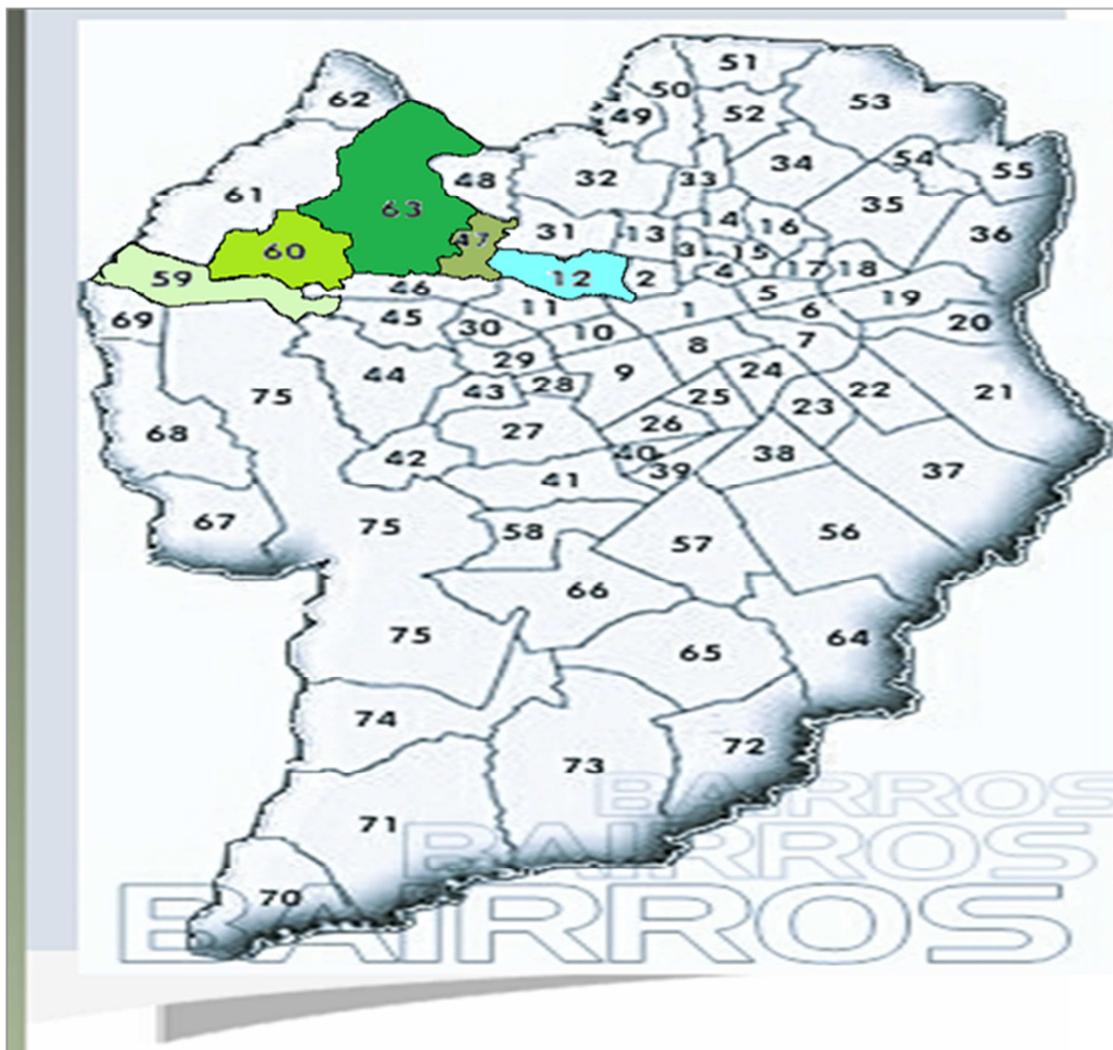


FIGURA 1 - MAPA DOS BAIRROS DE CURITIBA. LEGENDA: 59 – ORLEANS, 60 - SÃO BRAZ, 63 – SANTA FELICIDADE, 47 – CASCATINHA, 12 – MERCÊS. FONTE: IPPUC, (2010).

Os pontos analisados serão distribuídos em 10 Km conforme Figura 3:



FIGURA 2 - MAPA DA ÁREA ONDE O ESTUDO FOI REALIZADO.
FONTE: GOOGLE EARTH, (2013)

5.3 Coleta de dados em campo

5.3.1 Locais de medição

Para caracterizar a poluição sonora das vias selecionadas, foram realizadas 22 medições em locais diferentes.

Os pontos foram distribuídos de forma a obter o maior número de dados para a elaboração dos mapas de ruído. Também foram escolhidos de modo que facilitasse a realização das medições sem muitas interferências de pedestres ou de veículos que pudessem estacionar em frente aos referidos locais. Nas figuras 04,05 e 06, é possível visualizar a localização exata dos pontos de medição em cada via avaliada.

5.3.2 Zoneamento e limites de nível de pressão sonora

Segundo a Lei Municipal nº 10.625/2002, os valores estabelecidos para as áreas em estudo são conforme a tabela abaixo:

TABELA 4 – NÍVEIS MÁXIMOS DE PRESSÃO SONORA DAS ÁREAS EM ESTUDO

Bairros	Vias	Zoneamento	Pontos	Valor máximo em dB(A)
Orleans	Av. Ver. Toaldo Tulio	ZR 2	00, 01, 02,	55
São Braz	Av. Ver.r Toaldo Tulio	ZR 2	03,04,05,06	55, 55
Santa Felicidade	Av. Ver. Toaldo Tulio Av. Manoel Ribas	ZR SF	07, 08, 09, 10 11, 16 ,17	60
Santa Felicidade	Av. Ver. Toaldo Tulio Av. Manoel Ribas	SC SF	12, 13, 14, 15	65
Cascatinha	Av. Manoel Ribas	ZR 1	18	55
Mercês	Av. Manoel Ribas	ZR 2	19, 20, 21	55

Legenda: ZR-1 - Zona Residencial 1, ZR-2 - Zona Residencial 2, SC-SF - Zona comercial especial de Santa Felicidade, ZR-SF - Zona Residencial Santa Felicidade

FONTE: LEI MUNICIPAL 10.625/02

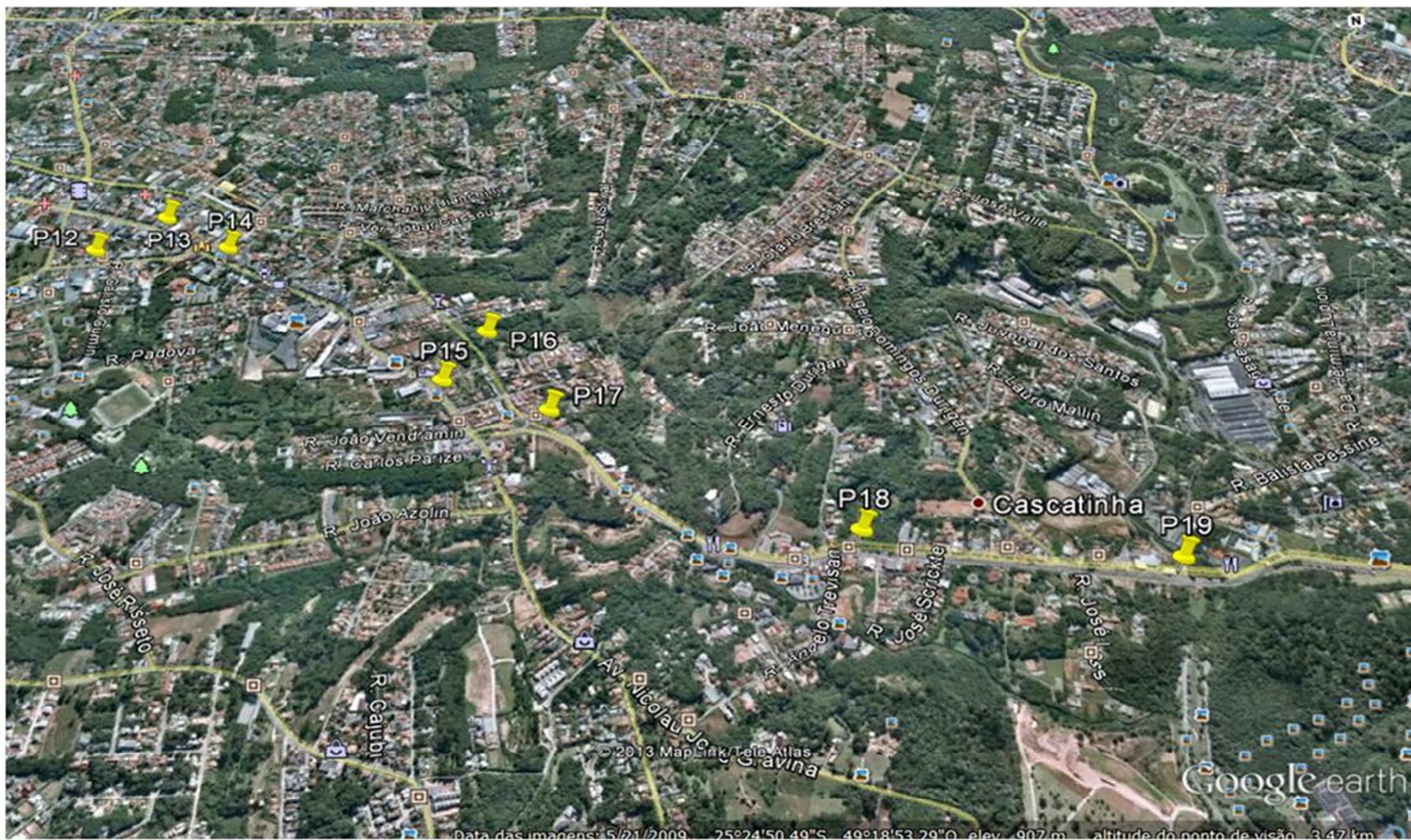


FIGURA 4 - PONTOS DE MEDIÇÃO NA AVENIDA MANOEL RIBAS, BAIROS SANTA FELICIDADE E CASCATINHA.
FONTE: GOOGLE EARTH (2013).

5.4 Metodologia de medição

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

A NBR 10151/2000 orienta que em medições externas, deve-se, quando possível, efetuar a medição a pelo menos 2m de qualquer superfície reflexiva como muros e edificações com exceção do solo, conforme Figura 07. Desta forma, as medições foram feitas ao lado das vias, nas calçadas sempre em pontos afastados aproximadamente 1,2 m do piso e pelo menos 2 m do limite da propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras, como muros, paredes e afastados em torno de 200 metros de sinaleiros , desta forma foi possível padronizar e controlar os dados e garantir a confiabilidade dos mesmos.

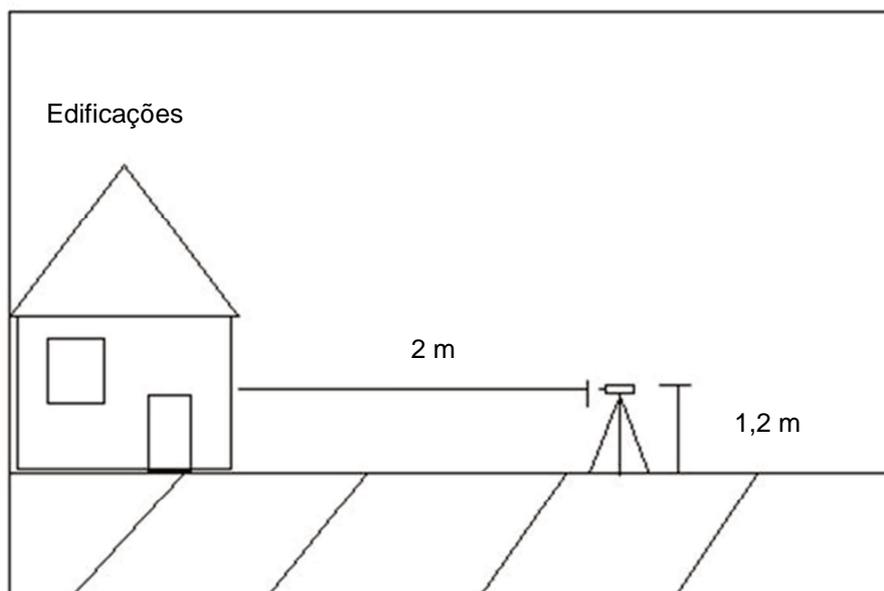


FIGURA 6 - DISTÂNCIAS QUE DEVEM SER SEGUIDAS PARA REALIZAR AS MEDIÇÕES EM CAMPO.
FONTE: A AUTORA, 2013.

Antes do início das medições, foram aferidos todos os analisadores utilizados na pesquisa com um o calibrador modelo BK 4231. O objetivo da calibração é verificar a sensibilidade do aparelho ajustando-o, se necessário, para garantir a precisão dos resultados (BRUEL e 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:

- I. Analisadores sonoros (Brüel & Kjær 2237, Brüel & Kjær 2238, Brüel & Kjær 2250 e Brüel & Kjær 2270) com capacidade de realizar análise em frequências, (classe 1 segundo IEC 60651). Obedece a Norma Brasileira 10.151 (2000) – Avaliação do Ruído em Comunidades;
- II. Um calibrador modelo BK 4231;
- III. Software Noise Explorer modelo 7815 para o descarregamento de dados;
- IV. Software de análise PREDICTOR 8.11 modelo 7810 para a realização dos mapas acústicos.

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

As configurações dos analisadores foram realizadas no modo de resposta rápido *fast* e avaliação na curva de ponderação A, em uma faixa dinâmica de 40 a 120 dB, deste modo, os analisadores medem ruídos com o mínimo de 40 dB e ruídos com o máximo de 120 dB .Durante o período de medição foram registrados em planilhas específicas 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 tais como um freio desregulado, 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 entre os meses de Dezembro de 2012 e Fevereiro de 2013, com contagens de tráfego simultâneas feito por duas pessoas, em diferentes horários e dias úteis da semana, para que se pudesse englobar o maior número de situações possíveis de composição do tráfego. Cabe ressaltar que a quantidade de contagens de veículos foi equivalente à quantidade de medições realizadas. O número de veículos foi registrado de acordo com cada categoria, por exemplo, motocicletas, veículos leves (carros e vans), caminhões leves e caminhões pesados.

As medições em campo foram realizadas no período diurno, na parte da manhã nos horários das 09h às 11h e na parte da tarde nos horários das 14h às 16h, sempre excluindo os horários de pico, ou seja, horário onde há um aumento considerável do fluxo de veículos.

A norma brasileira NBR 10151, que especifica a medição procedimentos para o ruído ambiental no Brasil, não define uma duração mínima para as medições, mas afirma o seguinte: "Tempo de medição deve ser ajustado de forma a permitir a caracterização do ruído em estudo".

Na literatura, percebeu-se que 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. Desta forma, a escolha do tempo de medição foi de 15 minutos. A metodologia aqui empregada tem sido utilizada em outros estudos (ZANNIN *et. al.*, 2012, LI *et. al.*, 2003, ROMEU, *et. al.*, 2010).

Os dados coletados foram:

1. Quantidade de veículos

As quantidades de veículos foram registradas por 15 minutos de 2 formas, sendo possível demonstrar a melhor forma de calibração do modelo, como veremos nos capítulos 6 e 7.

O número de veículos foi registrado considerando apenas 3 categorias:

- Motocicletas, veículos leves e pesados e;

O número de veículos foi registrado considerando 4 categorias:

- Motocicletas, veículos leves, caminhões leves, caminhões pesados.
2. Nível sonoro equivalente na curva de ponderação A (L_{eq});
 3. Níveis de pressão sonora nos limites máximo e mínimo

Na norma ISO 1996 a parte 1 coloca o L_{eq} como o melhor descritor de ruído ambiental e para o mapeamento sonoro, o índice L_{eq} serve como base aos indicadores L_{den} estipulados na diretiva europeia 2002/49/EC.

5.5 Tabulação dos Dados

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}), os níveis sonoros estatísticos e os valores limites de máximo e mínimo, de cada ponto.

Os dados de contagem de tráfego foram registrados em cada local de medição utilizando uma planilha para anotação para posterior transferência dos dados em planilha eletrônica com todas as informações da medição coletadas em campo conforme modelo na Tabela 5.

TABELA 5 – MODELO DA TABELA DE DADOS COLETADOS EM CAMPO

Ponto	Medidor	Local	Tempo medição minutos	Nº Veículos motocicletas	Nº Veículos leves	Nº Veículos pesados	LAeq	LAFmax	LAFmin
P02	2237		15:03	22	289	29	71,1	90,5	50,4
P03	2238		15:08	15	300	24	72,2	96,7	47,4
P04	2238	Av Vereador Toaldo Tulio	15:03	14	290	22	70,3	91,7	50,0
P05	2237		15:05	14	290	22	71,1	93,7	49,0
P06	2238		15:02	25	310	35	73,3	97,2	53,2
P07	2237		15:02	25	310	35	71,8	88,0	49,0

P08	2237	15:05	44	320	22	67,9	85,0	51,4
P09	2237	15:02	23	270	27	68,2	83,6	51,6
P10	2237	15:02	23	292	24	69,6	88,9	50,0
P11	2237	15:02	11	133	4	64,4	79,7	50,0

5.6 MONTAGEM DOS MODELOS

5.6.1 O Software Predictor 8.11 Modelo 7810

5.6.1.1 Utilização

O *software* Predictor® 7810 pode ser usado para:

- Mapeamento do ruído sobre grandes áreas;
- Previsão dos níveis de pressão sonora durante o desenvolvimento de novos projetos;
- Predição de planos alternativos e medidas para redução do ruído;
- Quando a fonte sonora não pode ser medida a uma distância preferencial
- Pode-se acessar atualizar e organizar os dados medidos.

Os resultados do *software* Predictor® podem ser mostrados através de contornos de nível sonoro em um mapa, com rótulos e em forma de tabelas. Ele é capaz de organizar e combinar diversos modelos e agrupá-los. Isto é de grande importância principalmente para pesquisas.

5.6.1.2 O conceito

Os dados no *software* Predictor® são organizados em “áreas”, “versões” e “modelos”.

As áreas são no geral a descrição da localidade que precisa ser modelada. Versões são descrições de estudos específicos para cada modelo que foi criado. Modelos são os modelos reais usados, ou seja, cenários da área. Para criação de um modelo é necessário a inclusão dos seguintes itens:

Fontes: Algo que produz ruído em certo nível e certa frequência, em certa direção, durante certo tempo.

Receptores: Os locais onde você quer que as medições sejam feitas, pode ser apenas um ponto, grids horizontais ou verticais de pontos receptores em

espaços iguais, ou grids irregulares de pontos receptores, geralmente em linhas paralelas a fonte.

Objetos: Qualquer objeto, incluído fontes e receptores que está próximo e que pode ter influência na transmissão do ruído.

Definição do terreno: Curvas de nível que definem o nível do terreno na superfície.

5.6.1.3 O cálculo

Após o modelo ter sido estruturado, ele precisa ser calculado, que consiste em:

Cálculo do modelo do terreno: cálculo da superfície do terreno, baseado em curvas de nível e a altura do terreno e determinação da redução da transmissão entre cada fonte de ruído e cada ponto receptor. Então, quanto maior o número de itens, maior o tempo de cálculo.

5.6.1.4 O Método ISO

As opções de ISO para *software* Predictor® consiste em 3 módulos: ISO Indústria (Oitavas), ISO Indústria (1/3 Oitavas) e ISO Tráfego rodoviário. Todos os módulos tem o mesmo núcleo de cálculo, com os mesmo objetos e receptores, porém com itens de fontes diferentes.

Neste trabalho usaremos a ISO Road Traffic (Tráfego rodoviário) e os padrões usados nos módulos ISO são:

ISO9613-1 – Atenuação do som durante a propagação ao ar livre, Parte 1 : Cálculo do som pela atmosfera. (1ª edição 01-06-1993)

ISO9613-2 - Atenuação do som durante a propagação ao ar livre, Parte 2: Método geral de cálculo. (1ª edição 15-12-1996)

RMV-SRM2 - Cálculo padrão 2 do cálculo e regras de medição de ruído de tráfego.

Publication 133 of the CROW – Efeitos da superfície da rodovia sobre a emissão de ruído.

Fórmula de cálculo:

Baseado na ISO9613-1/2, *software* Predictor® calcula o nível sonoro como a seguir:

$$L_{lt,per} = L_{dw} - C_m - C_{t,per} \quad (5.1)$$

$$L_{dw} = L_w - R - A \quad (5.2)$$

Onde:

$L_{lt,per}$: É a média de oitava em longo prazo (ou 1/3 de oitava) NPS (nível de pressão sonora) em dB(A) durante um período de avaliação;

C_m É a correção meteorológica em dB;

$C_{t,per}$ É a correção para o tempo ativo da fonte durante o período de avaliação em dB;

L_{dw} É a equivalente contínua de oitava a favor do vento (ou 1/3 de oitava) NPS (nível de pressão sonora) em dB(A);

L_w É o NPS (nível de pressão sonora) em dB(A) por oitava (ou 1/3 de oitava);

R É a Redução na fonte definida pelo usuário em dB por oitava (ou 1/3 de oitava);

A É a atenuação (banda de oitava) em dB por oitava (ou 1/3 de oitava).

A atenuação A é calculada a seguir:

$$A = D_c + A_{div} + A_{atm} + A_{agr} + A_{bar} + A_{fol} + A_{site} + A_{hous} \quad (2.3)$$

Onde:

D_c É a correção de diretividade em dB;

A_{div} É a divergência geométrica em dB;

A_{atm} É a absorção atmosférica em dB/oitavas (ou 1/3 de oitavas);

A_{agr} É o efeito do solo em dB/oitavas (ou 1/3 de oitavas);

A_{bar} É o *screening* em dB/oitavas (ou 1/3 de oitavas);

A_{fol} É a atenuação devido à folhagem em dB/oitavas (ou 1/3 de oitavas);

A_{site} É a atenuação devido a instalações ou local industrial em dB/oitavas (ou 1/3 de oitavas);

A_{hous} É a atenuação devido à habitação em dB.

5.6.1.5 Processo de cálculo

Antes do cálculo começar os parâmetros devem ser estabelecidos. Estes parâmetros são opções para o cálculo da correção meteorológica, atenuação do solo, absorção do ar, e o ângulo de visão usado para dividir as fontes de linha e estradas até em diversas fontes pontuais.

O programa faz para cada combinação de ponto-fonte e receptor faz cruzamentos para o caminho de som direto, bem como todos os possíveis caminhos sonoros de reflexão em objetos refletoras, tais como edifícios ou barreiras. Apenas reflexões de primeira ordem são levadas em conta. Todas as distâncias e alturas dos itens em interseções são determinadas, bem como desvios verticais e horizontais para itens de triagem. Com base nas interseções e nos desvios, a atenuação e as correções são determinadas.

5.6.1.6 Road

O item Road é usado para modelar o NPS emitido pelo tráfego rodoviário. A emissão sonora pode ser dada por potência sonora por metro, mas também por número de veículos por hora, velocidade e tipo de superfície. Se o número de veículos é usado na emissão sonora, é calculado automaticamente de acordo com a norma RMV-SRM2.

A potência sonora por categoria de veículo é calculada como a seguir:

$$L_w = 10 \lg\left(\frac{Q}{V}\right) + a + bV + C_{wh} \quad (5.4)$$

$$C_{wh} = \text{Max}(C_{w1}, C_h) \text{ se } C_h < 0, C_w \text{ se } C_h = 0 \quad (5.5)$$

$$C_h = 5 \lg(ph) - 1,5 \quad (5.6)$$

Onde:

L_w é a potência sonora por categoria de veículo.

Q é a média do fluxo de tráfego em número de veículos por hora.

V é a média da velocidade em Km/hora.

a é a parte não-dependente da velocidade da potência sonora para um veículo em dB(A).

b é a parte dependente da velocidade da potência sonora para um veículo em dB(A)*hora/km.

C_{wh} é a correção combinada para o tipo de superfície e declive em dB.

C_w é a correção da superfície em dB.

C_h é a correção do declive em dB.

ph é o declive em %.

A atenuação entre as vias e os receptores será calculada, pela divisão das vias em fontes pontuais. A atenuação total calculada, combinada para todas as fontes de pontos da via, é subtraída da emissão total da via, para determinar o nível de pressão do som esperado para os pontos receptores.

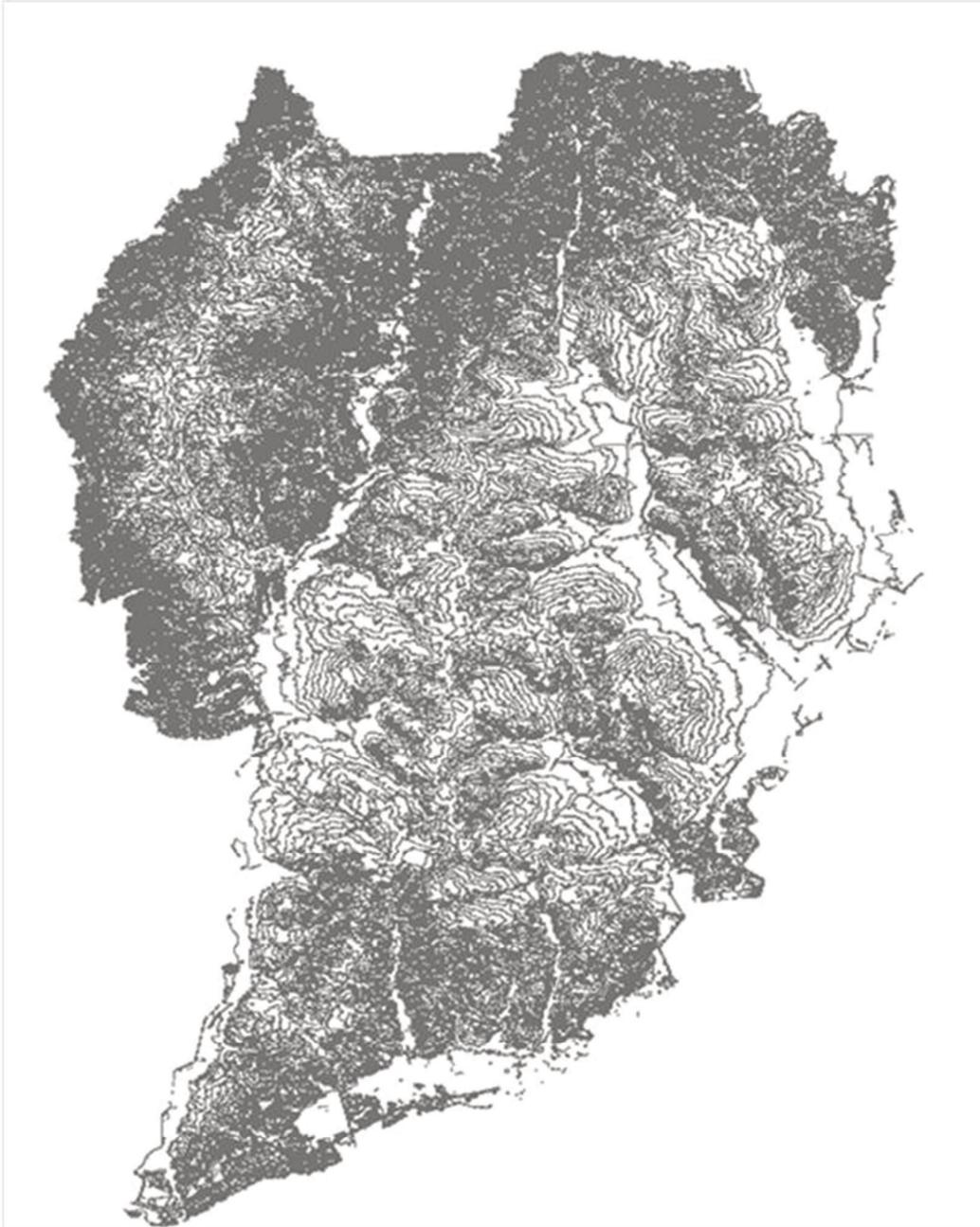
5.6.1.7 Grid

É uma região usada como base para apresentação dos contornos dos níveis de pressão sonora. Um grid consiste de um conjunto de pontos receptores calculados. Os contornos dos níveis de pressão sonora não podem ser dispostos a não ser que o grid já esteja definido e os cálculos feitos. Todos os pontos no grid devem ser preditos como pontos receptores individuais e podem ser interpolados para criar um mapa de contorno. Grids podem ser definidos com alturas constantes relativas à altura do solo. Um grande grid com receptores com pequenos espaços entre eles requer muito mais tempo de cálculo. Para este trabalho foi utilizado um grid de 10x10, ou seja, um ponto receptor a cada 10 metros.

5.7 Inserção de dados

Para montar um mapa de ruído de uma área é necessário 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), as ortofotocartas da região foram adquiridos através da base de dados denominada Curitiba Digital – Edição 2006/CD-ROM, do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC. As Figuras 09 e 10 mostram a topografia e as ortofotocartas importadas no *software* Predictor®.



**FIGURA 7 - TOPOGRAFIA DA CIDADE DE CURITIBA COM CURVAS DE NÍVEL DE 5 EM 5 METROS IMPORTADAS PARA O SOFTWARE PREDICTOR.
FONTE:IPPUC (2006)**



**FIGURA 8 - ORTOCARTAS GEORREFERENCIAS DA CIDADE DE CURITIBA IMPORTADAS PARA O SOFTWARE PREDICTOR.
FONTE:IPPUC (2006)**

As edificações com suas características altimétricas que também devem ser inseridas no programa, não são disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC, sendo necessária a digitalização manual de cada uma utilizando as ortofotos como plano de fundo, realizado no próprio *software* Predictor®, num processo longo e demorado já que o número desenhado chegou a cerca de 4000 edificações. Para as características altimétricas de cada edificação foi observado o número de pavimentos em cada edificação e foi adotado um valor de 3 metros para cada pavimento. A Figura 11 mostra as edificações digitalizadas no *software* Predictor®.

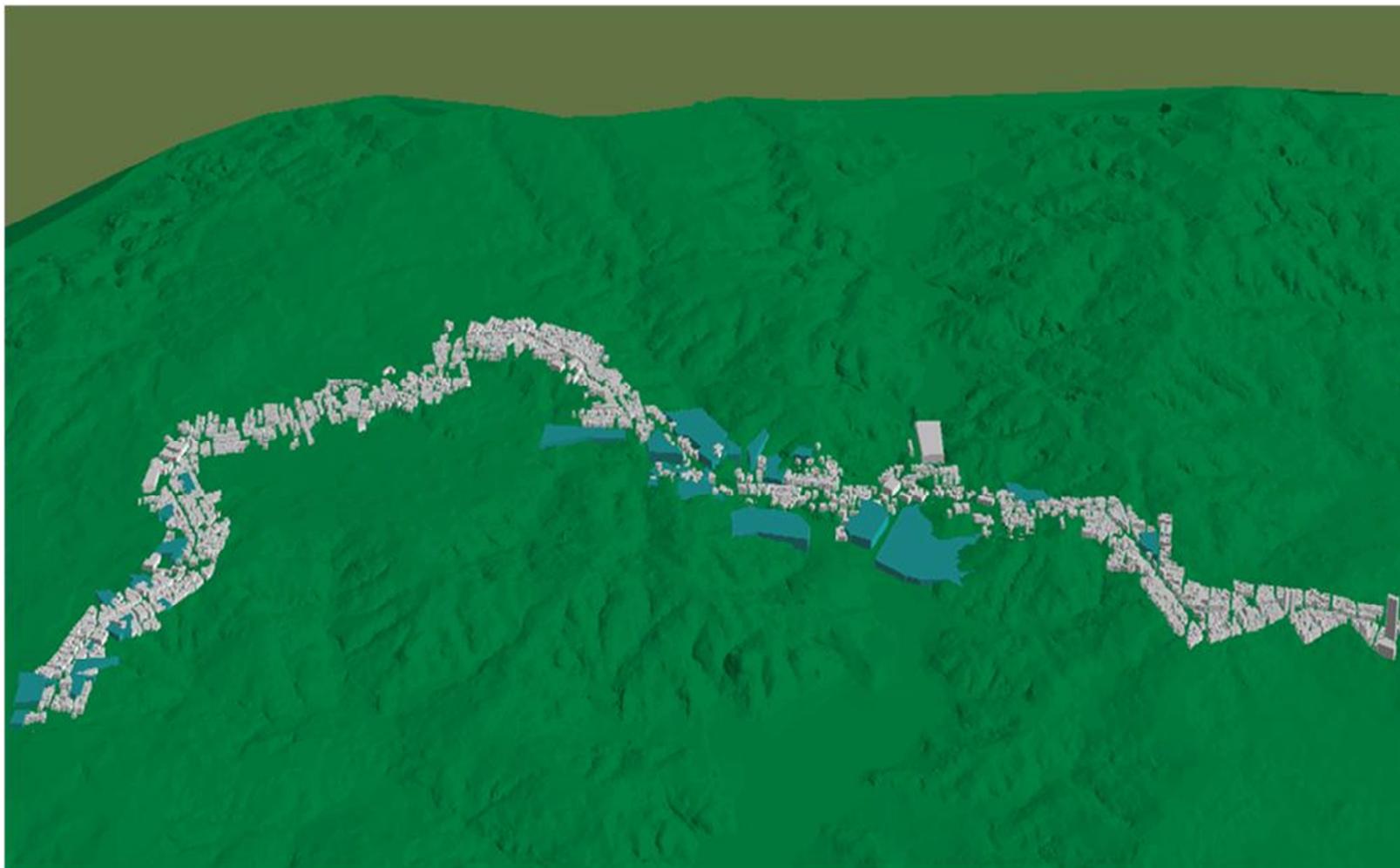


FIGURA 9 - VISUAL 3-D DAS EDIFICAÇÕES DESENHADAS
FONTE: A AUTORA, (2013)

O número de pistas de cada via foi conferido no local para se definir exatamente o eixo das vias. Desta forma, em vias com duas pistas ou mais onde há veículos trafegando nos dois sentidos ou em apenas um sentido, a caracterização se dá por apenas uma linha de emissão. Já em vias separadas por canteiros centrais, 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 50 a 60 km para vias principais e 30 a 40 km para vias secundárias. 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 programa.

5.8 Calibração do modelo

5.8.1 Calibração

A calibração do modelo é uma etapa extremamente importante e deve ser realizada sempre antes da simulação do mapa acústico, que leva muitas horas.

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 se há linhas de emissão (representadas pelas vias) que não contenham informações ou que contenham informações falhas.

Depois de checado o modelo, vem a segunda parte da calibração que 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. Quanto maior a área, mais receptores, portanto mais medições, devem ser posicionadas para verificar o modelo.

5.8.2 Inserção de dados das medições em campo

Após esta etapa inserem-se os dados coletados em campo, os valores sonoros medidos e o número de veículos. Nesta parte foram criados 2 modelos, um com 3 categorias de veículos e outro com 4 categorias de veículos.

Para 3 categorias foi utilizado o seguinte critério de contagem:

- Motocicletas;
- Veículos leves: carros, vans, micro ônibus, ônibus,
- Veículos pesados: Caminhões e Biarticulados

Para 4 categorias foi utilizado o seguinte critério de contagem:

- Motocicletas;
- Veículos leves: carros, vans com um único eixo traseiro com no máximo duas rodas;
- Caminhões leves: ônibus, micro ônibus, caminhões não articulados com um único eixo traseiro;
- Caminhões pesados: veículos articulados, veículos com mais de um eixo traseiro, excluindo ônibus e micro ônibus.

Desta forma serão gerados dois perfis de calibração onde será analisado qual se enquadra melhor, conforme a WG-AEN em 2002, que recomenda que a diferença entre o L_{eq} medido e o simulado seja menor do que 4,6 dB(A).

A Tabela que demonstra todos os dados das medições em campo está no apêndice 1.

5.8.3 Simulações de situações do Passado e Futuro

Para simular situações que possam representar o passado o futuro, consideramos os dados na tabela abaixo:

TABELA 6 – DADOS PARA SIMULAÇÕES DE MAPAS ACÚSTICOS DO PASSADO E FUTURO - EVOLUÇÃO DA FROTA VEÍCULOS MOTORIZADOS CURITIBA 2000-2010

2000	2001	2002	2003	2004	
674.683	722.997	761.582	791.286	843.300	
2005	2006	2007	2008	2009	2010
907.154	963.464	1.035.819	1.097.830	1.149.456	1.188.961

FONTE: DETRAN PR - COORDENADORIA DE VEÍCULOS
ELABORAÇÃO: A AUTORA, (2013)

TABELA 7 – PERCENTUAL DE CRESCIMENTO DO NÚMERO DE VEÍCULOS NA CIDADE DE CURITIBA -PR DE 2000 A 2010

Frota 2000	Frota 2010	% crescimento de 2000 a 2010%	% crescimento médio ao ano	% crescimento projeção 2020 %
674,78	1.889,00	56,75	5,84	55,84

FONTE: DETRAN PR - COORDENADORIA DE VEÍCULOS
ELABORAÇÃO: A AUTORA, (2013)

Para o cálculo dos modelos para situação passada foi considerada uma redução do fluxo de veículos de 50% (em torno de 10 anos) e 75% (em torno de 15 anos) e para a simulação da situação futura, o fluxo de veículos foi aumentado em 100%(em torno de 20 anos)

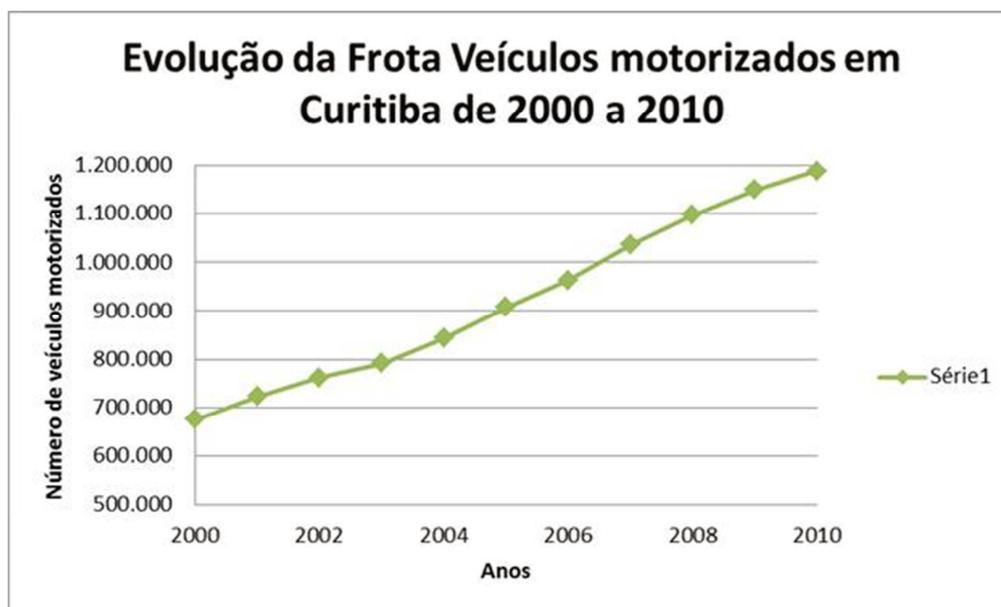


FIGURA 10 – EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE VEÍCULOS NA CIDADE DE CURITIBA DE 2000 A 2010.

FONTE: DETRAN PR - COORDENADORIA DE VEÍCULOS

Os mapas foram gerados considerando também a organização urbana e ocupação do solo no passado e no futuro, ou seja, com maior ou menor número de construções, isto influencia no cálculo dos mapas, pela maior ou menor propagação do ruído entre as construções.

5.9 Cálculo do mapeamento (ISO 9613-1/2 Road)

Após a realização de todas as etapas anteriores, realiza-se o cálculo do modelo ou o mapeamento acústico. Para a realização dos cálculos e obtenção

dos mapas acústicos deve-se delimitar uma área de cálculo. Desta forma, o *software* 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.

Para 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 (GUEDES e LEITE, 2007). A escolha da malha também pode depender do tempo de cálculo e do tamanho dos arquivos desejados. Valores de 15x15m ou de 20x20m levam a 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 a realização de todas estas etapas, o resultado é um mapa dos níveis de ruído utilizando uma escala de cores relacionada aos níveis sonoros. Com este mapa acústico, é possível conhecer os níveis de ruído em qualquer ponto de uma área delimitada, por meio de leitura direta no mapa como mostram as Figuras 12 e 13.

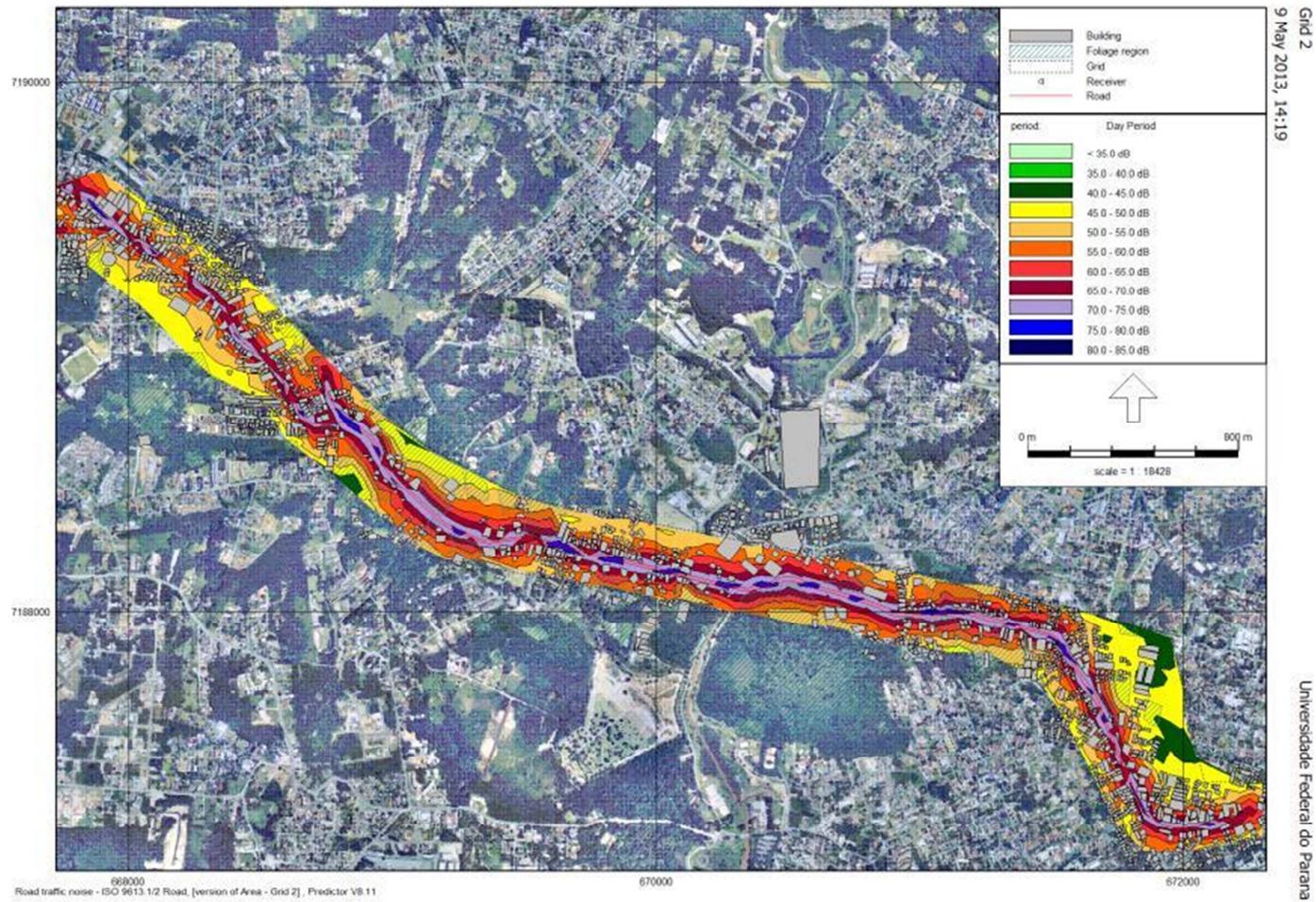


FIGURA 11 - MAPA DE RUÍDO
FONTE: A AUTORA, (2013)

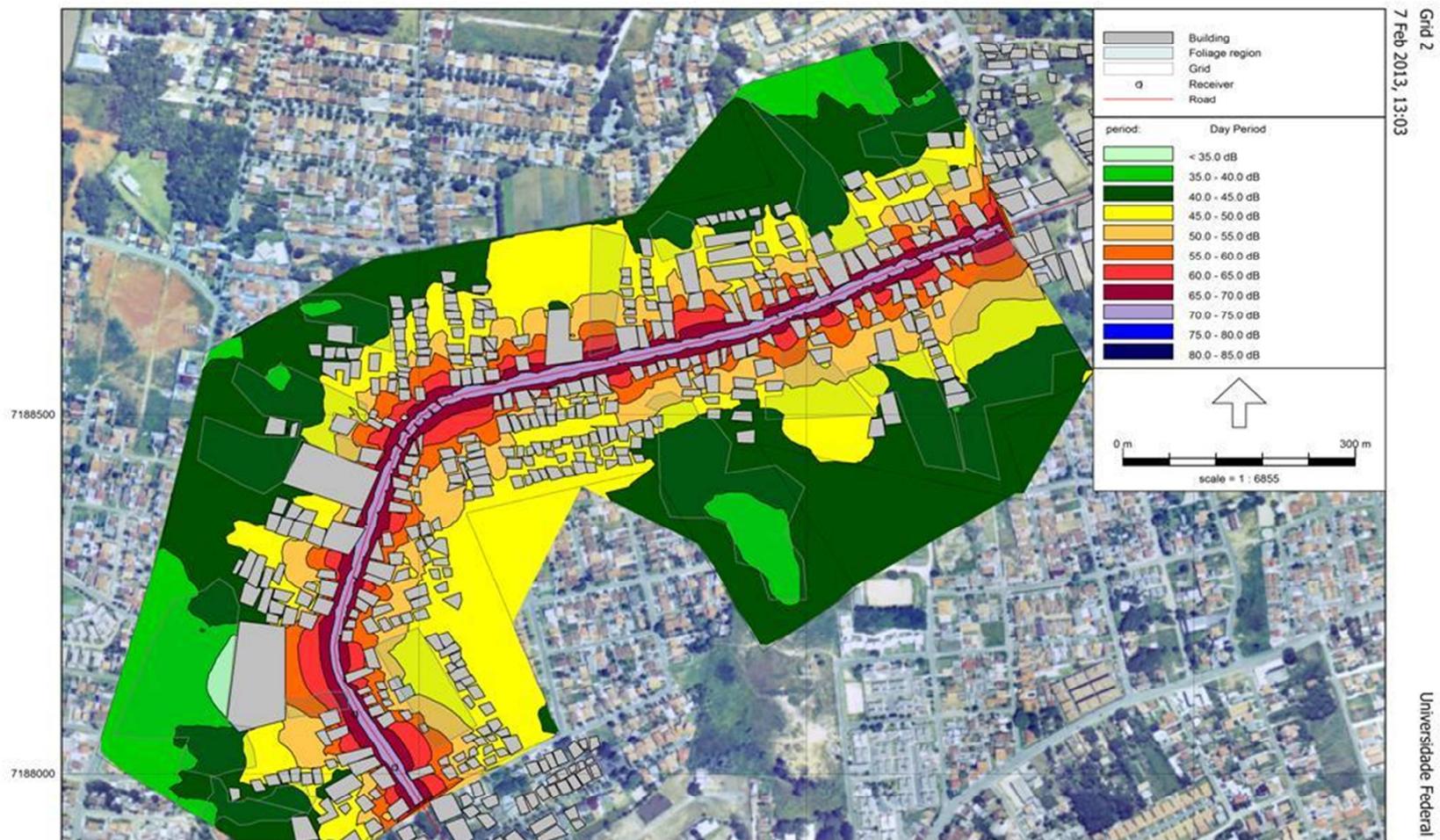


FIGURA 12 - MAPA DE RUÍDO
FONTE: A AUTORA, (2013)

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Dados

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

A comparação dos dados medidos e simulados foi realizada para os 22 pontos avaliados, sendo que o modelo foi calibrado com três e quatro categorias de veículos conforme explicado no item 5.9.2 e os resultados são apresentados nas tabelas abaixo:

TABELA 8 DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS MODELO CALIBRADO COM 3 (TRÊS) CATEGORIAS DE VEÍCULOS:

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE LEQ EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A) 3 CATEGORIAS DE VEÍCULOS
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
0	73,9	69,5	4,4
1	75,2	72	3,2
2	73,7	71,1	2,6
3	74,9	72,2	2,7
4	74,1	70,3	3,8
5	73,6	71,1	2,5
6	76,7	73,3	3,4
7	74,7	71,8	2,9
8	73,4	69,5	3,9
9	72,1	68,2	3,9
10	72,1	69,6	2,5
11	68,2	64,4	3,8

12	74,3	67,9	6,4
13	69,8	65,8	4,0
14	72	68,2	3,8
15	71,7	69,2	2,5
16	74,6	71,7	2,9
17	75,1	71,6	3,5
18	73,8	70	3,8
19	75,5	71,2	4,3
20	71,6	66,3	5,3
21	71,4	67,6	3,8

TABELA 9 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS MODELO CALIBRADO COM 4 (QUATRO) CATEGORIAS DE VEÍCULOS:

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE LEQ EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A) 4 CATEGORIAS DE VEÍCULOS
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
0	69,5	72,8	3,3
1	72	74,7	2,7
2	71,1	73	1,9
3	72,2	74,4	2,2
4	70,3	72,6	2,3
5	71,1	73,9	2,8
6	73,3	75,2	1,9
7	71,8	74,2	2,4
8	69,5	72	2,5
9	68,2	71,5	3,3
10	69,6	71,9	2,3
11	64,4	68,4	4
12	67,9	71,6	3,7
13	65,8	69,7	3,9
14	68,2	71,5	3,3
15	69,2	70,5	1,3

16	71,7	73,5	1,8
17	71,6	74,1	2,5
18	70	73,3	3,3
19	71,2	74,6	3,4
20	66,3	69,1	2,8
21	67,6	70,5	2,9

TABELA 10 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS ENTRE AS CATEGORIAS 3 E 4:

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE LEQ EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A) 3 CATEGORIAS DE VEÍCULOS	DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A) 4 CATEGORIAS DE VEÍCULOS	DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A) ENTRE A CATEGORIA 3 E 4
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO			
0	69,5	73,9	4,4	3,3	1,1
1	72	75,2	3,20	2,70	0,5
2	71,1	73,7	2,60	1,90	0,7
3	72,2	74,9	2,70	2,20	0,5
4	70,3	74,1	3,80	2,30	1,5
5	71,1	73,6	2,50	2,80	-0,3
6	73,3	76,7	3,40	1,90	1,5
7	71,8	74,7	2,90	2,40	0,5
8	69,5	73,4	3,90	2,50	1,4
9	68,2	72,1	3,90	3,30	0,6
10	69,6	72,1	2,50	2,30	0,2
11	64,4	68,2	3,80	4,00	-0,2
12	67,9	74,3	6,40	3,70	2,7
13	65,8	69,8	4,00	3,90	0,1
14	68,2	72	3,80	3,30	0,5
15	69,2	71,7	2,50	1,30	1,2

16	71,7	74,6	2,90	1,80	1,1
17	71,6	75,1	3,50	2,50	1
18	70	73,8	3,80	3,30	0,5
19	71,2	75,5	4,30	3,40	0,9
20	66,3	71,6	5,30	2,80	2,5
21	67,6	71,4	3,80	2,90	0,9

Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre os níveis medidos e os simulados devem ser menores que 4,6 dB(A) conforme recomendado pela WG-AEN em 2002. Pode-se observar que na tabela 7, onde o modelo foi calibrado com 3(três) categorias de veículos podemos notar resultados acima do valor recomendado, sendo assim necessário ajustar o modelo de calibração, nos pontos no mapa, na velocidade etc. Se os valores recalculados permanecessem acima do valor recomendado seria necessário realizar novas medições em campo.

Na tabela 8 pode-se observar que todos os pontos tiveram diferença menor do que 4,6 dB(A), acentuando dessa forma, uma aproximação aceitável entre os pontos medidos e os simulados.

Desta forma o modelo foi calibrado com quadro categorias de veículos, modelo que demonstrou estar mais próximo dos requisitos recomendados.

A seguir, na Figura 14, o gráfico ilustra os pontos de medição obtidos em campo. As três linhas que cortam o gráfico significam que nas regiões avaliadas há diferentes limites máximos a serem respeitados, determinados pela legislação vigente, a Lei Municipal nº 10.625/2002. A linha azul que corta o gráfico em 65 dB(A) mostra o limite máximo para zona especial comercial de Santa felicidade, área onde estão instalados a maioria dos restaurantes no bairro sendo o mesmo um ponto turístico conhecido. A linha verde que corta o gráfico em 60 dB(A), é o máximo permitido para o período diurno no Zona Residencial Santa Felicidade, que é o zoneamento da região avaliada. A linha vermelha que corta o gráfico em 55 dB(A) mostra os limites dos níveis sonoros do período diurno para os pontos localizados nas zonas residenciais ZR 1 e ZR 2.

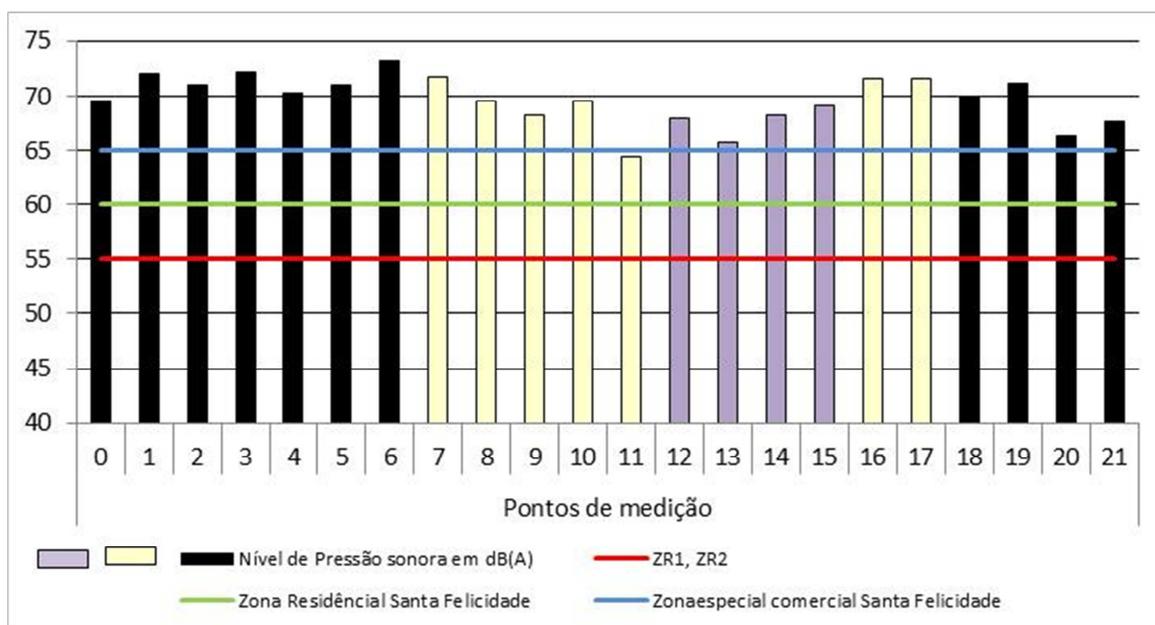


FIGURA 13- NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE. A LINHA AZUL QUE CORTA O GRÁFICO REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PREVISTO NA LEGISLAÇÃO PARA OS PONTOS DE MEDIÇÃO REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM ROXO. ALINHA VERDE REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA AS BARRAS NA COR AMARELA E A LINHA VERMELHA REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA ZONAS RESIDENCIAIS REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM PRETO.

FONTE: A AUTORA, (2013)

O gráfico mostra que todos os 22 pontos medidos na região, estão acima dos 55 dB(A), 60 dB(A) e 65 dB(A) estipulados pela legislação. Isso demonstra uma clara situação de poluição sonora nas regiões avaliadas.

Na Europa, 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 apenas 5 pontos estão abaixo desta faixa de 5 dB(A), dos quais 14 estão acima de 10 dB(A) do limite permitido, o que dificulta as medidas mitigatórias.

TABELA 11 – DIFERENÇA ENTRE O VALOR DA MEDIÇÃO DE CAMPO E OS VALOR LIMITE DA ZONA RESIDENCIAL ZR1 E ZR2 ESTABELECIDO PELA LEGISLAÇÃO MUNICIPAL nº 10.625/2002.

	0	1	2	3	4	5	6	18	19	20	21
Nível de Pressão sonora em dB(A)	69,5	72	71,1	72,2	70,3	71,1	73,3	70	71,2	66,3	67,6
Limite ZR1 ZR2	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Diferença entre medido e o máximo permitido	14,5	17	16,1	17,2	15,3	16,1	18,3	15	16,2	11,3	12,6

FONTE: A AUTORA, (2013).

TABELA 12 - DIFERENÇA ENTRE O VALOR DA MEDIÇÃO DE CAMPO E OS VALOR LIMITE DA ZONA RESIDENCIAL SANTA FELICIDADE ESTABELECIDO PARA PELA LEGISLAÇÃO MUNICIPAL nº 10.625/2002.

	7	8	9	10	11	16	17
Nível de Pressão sonora em dB(A)	71,8	69,5	68,2	69,6	64,4	71,7	71,6
Limite ZR SF	60	60	60	60	60	60	60
Diferença entre medido e o máximo permitido	11,8	9,5	8,2	9,6	4,4	11,7	11,6

FONTE: A AUTORA, (2013)

TABELA 13 - DIFERENÇA ENTRE O VALOR DA MEDIÇÃO DE CAMPO E OS VALOR LIMITE DA ZONA ESPECIAL COMERCIAL DE SANTA FELICIDADE ESTABELECIDO PELA LEGISLAÇÃO MUNICIPAL Nº 10.625/2002.

	12	13	14	15
Nível de Pressão sonora em dB(A)	67,9	65,8	68,2	69,2
Limite SC SF	65	65	65	65
Diferença entre medido e o máximo permitido	2,9	0,8	3,2	4,2

FONTE: A AUTORA, (2013)

6.2 Mapeamento sonoro

O mapeamento de cada via foi desenvolvido para a avaliação do impacto ambiental gerado pelo ruído do tráfego.

6.2.1 Simulações do presente

As simulações do presente foram calculadas com o fluxo de veículos registrados nos dias das medições em campo. Para uma melhor compreensão dos mapas de ruído a Figura 14 apresenta a legenda de cores por faixa de ruído em dB.

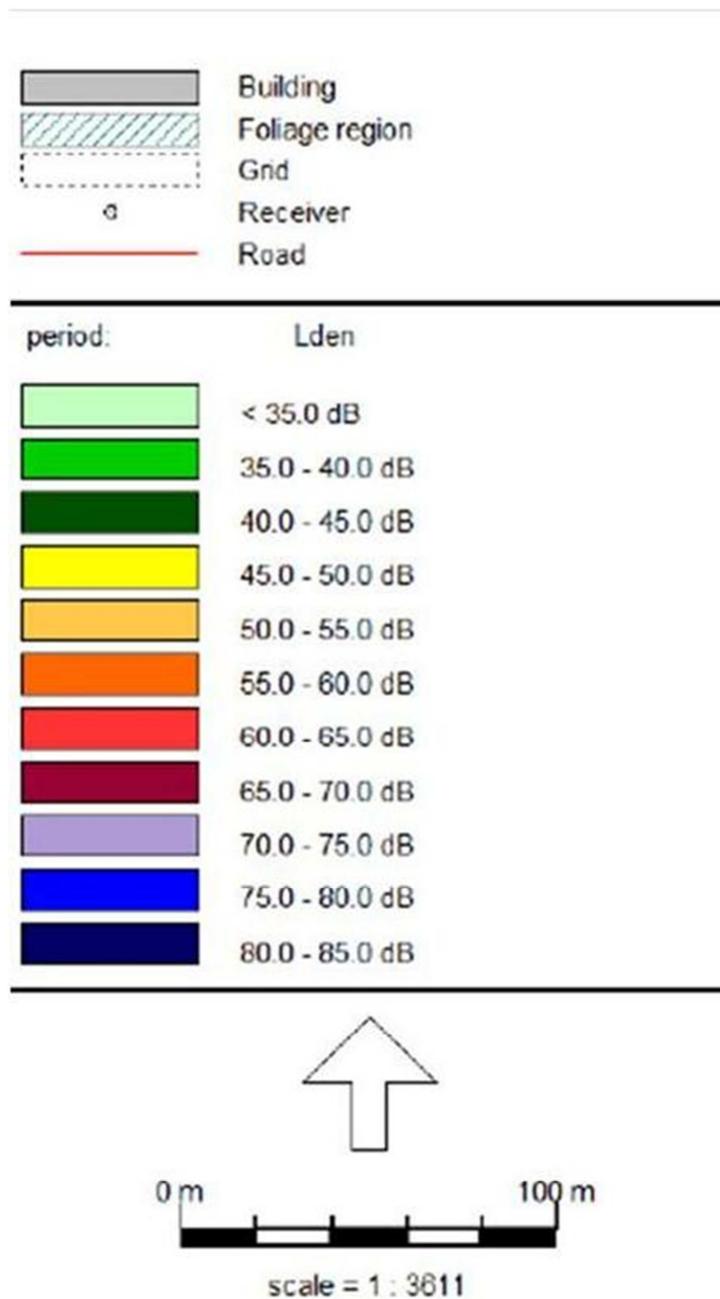


FIGURA 14 – LEGENDA DAS CORES DOS MAPAS DE RUÍDO
FONTE: A AUTORA, (2013)

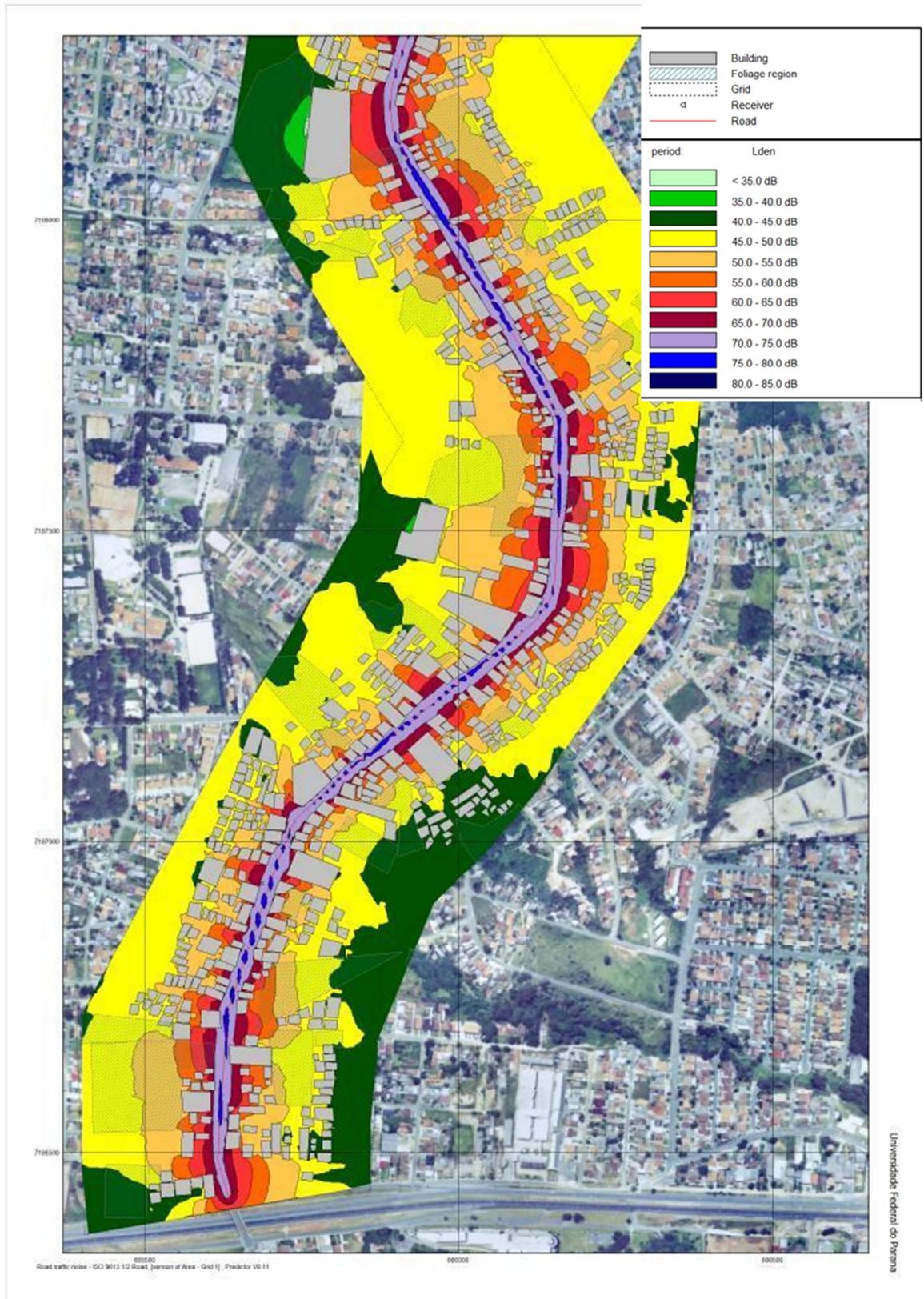


FIGURA 15 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 0 AO 7
FONTE: A AUTORA, (2013).

O mapa apresentado na Figura 15 mostra a Avenida Toaldo Tulio no bairro Orleans, podemos notar níveis sonoros na faixa de 65-75 dB(A), esta área não atende as prerrogativas normativas e legislativas para o período diurno, por existir neste local um centro comercial com grande número de pessoas e um fluxo intenso de veículos em circulação diariamente.

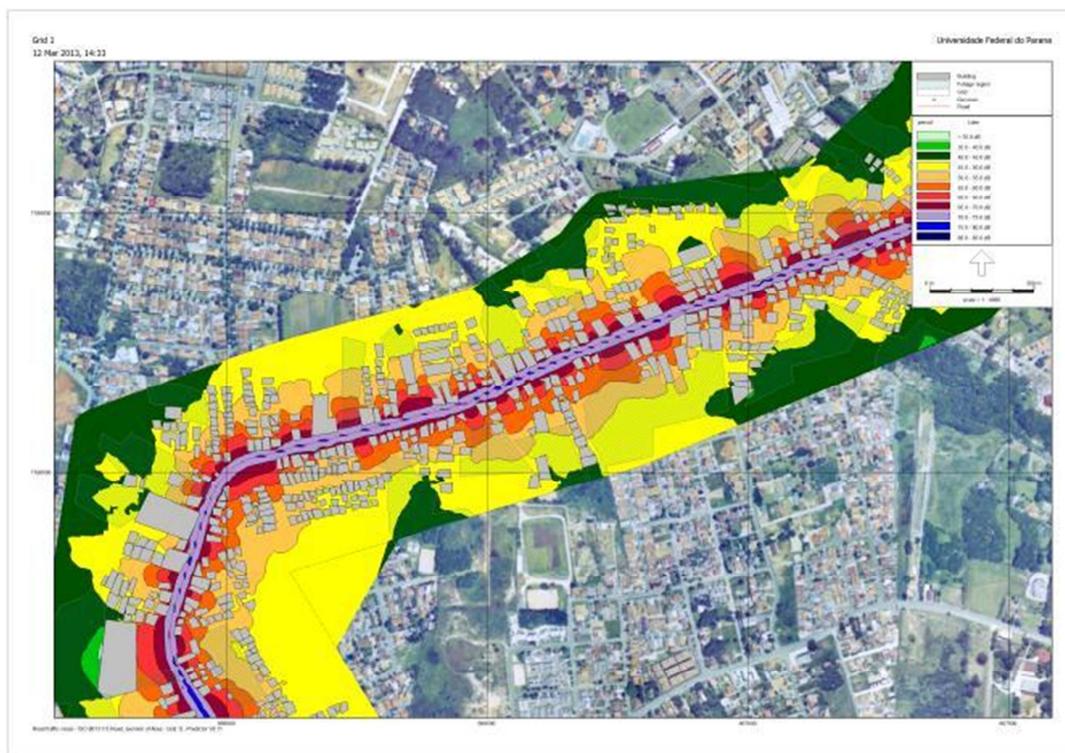


FIGURA 16 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 7 e 8
FONTE: A AUTORA, (2013)

O mapa mostrado na Figura 16, nos mostra a continuação da Avenida Vereador Toaldo Tulio, mas agora situada no bairro São Braz, os pontos medidos mostram níveis sonoros na faixa de 65-75 dB(A). Os níveis sonoros deste trecho não atendem os níveis máximos estabelecidos pela legislação, por ser uma área comercial, onde circulam um grande número de pessoas e veículos leves e pesados a qualquer hora do dia.

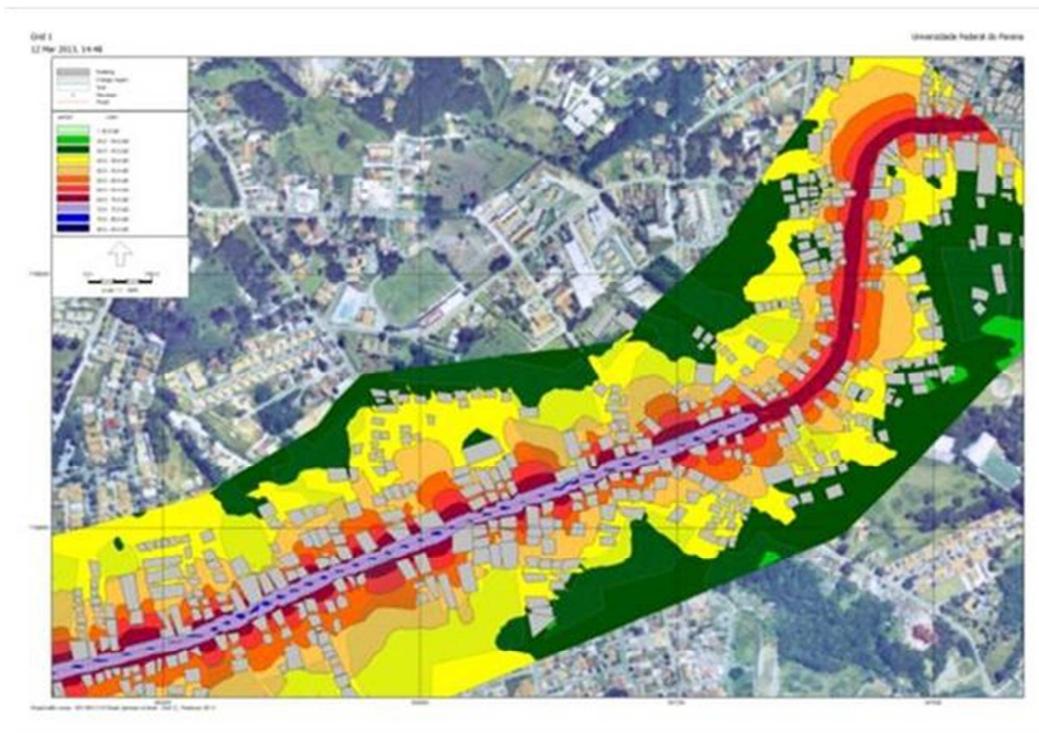


FIGURA 17 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 9, 10 E 11, FONTE: A AUTORA, (2013).

O mapa de ruído da Figura 17 mostra a parte final da Avenida Vereador Toaldo Tulio localizada no bairro Mercês, onde podemos notar um nível sonoro elevado principalmente nos pontos 9 e 10 onde podemos notar uma faixa 65 – 75 dB(A). No ponto 11 mostra níveis sonoros na faixa de 60-65 dB(A) níveis menores do os valores apresentados anteriormente, isto devido ao menor fluxo de veículos neste ponto, mesmo assim estes níveis não atendem os limites especificados na legislação municipal.

Basta uma visualização geral nos mapas gerado para os pontos 0 a 7 na Figura 18, nos pontos 7 e 8 na figura 16 e 9, 10 e 11 na figura 17 e uma comparação com a legenda da figura 18 que é possível perceber a predominância de cores escuras. Ou seja, mesmo sem um comparativo com as legislações ou uma análise aprofundada, é notável a presença de níveis de pressão sonora elevados. Com as medições em campo notamos que os locais estudados se tornaram um grande centro comercial que aumentou consideravelmente o fluxo de veículos nestas áreas, ao mesmo tempo estas avenidas se transformaram em corredores para passagem de veículos pesados

interligando rodovias a avenidas e ruas a vários pontos da cidade de Curitiba – PR.

Grid 2
21 Oct 2013, 13:50

Universidade Federal do Paraná

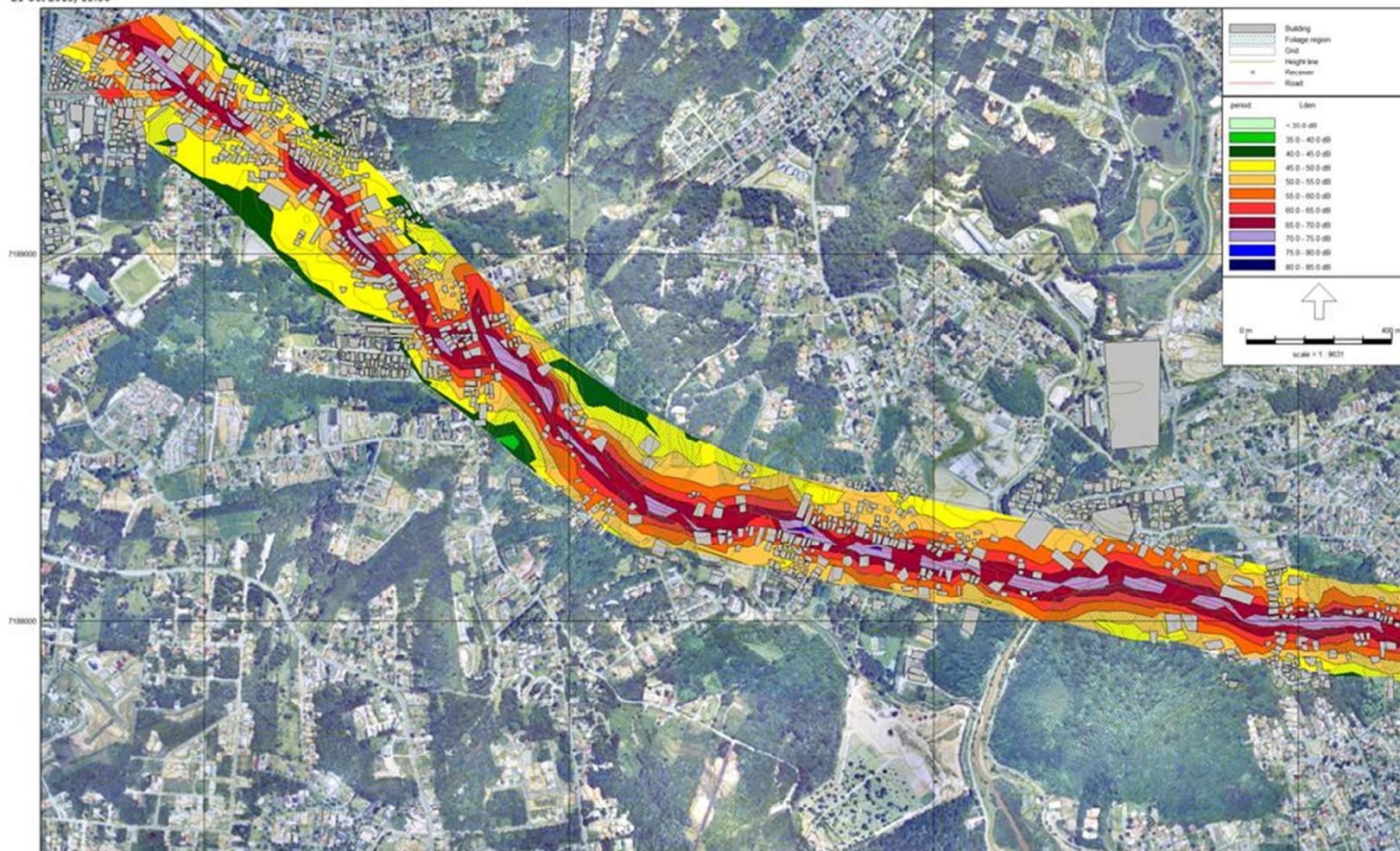


FIGURA 18 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 11 AO 18,
FONTE: A AUTORA, (2013)

Grid 2
21 Oct 2013, 13:55

Universidade Federal do Paraná

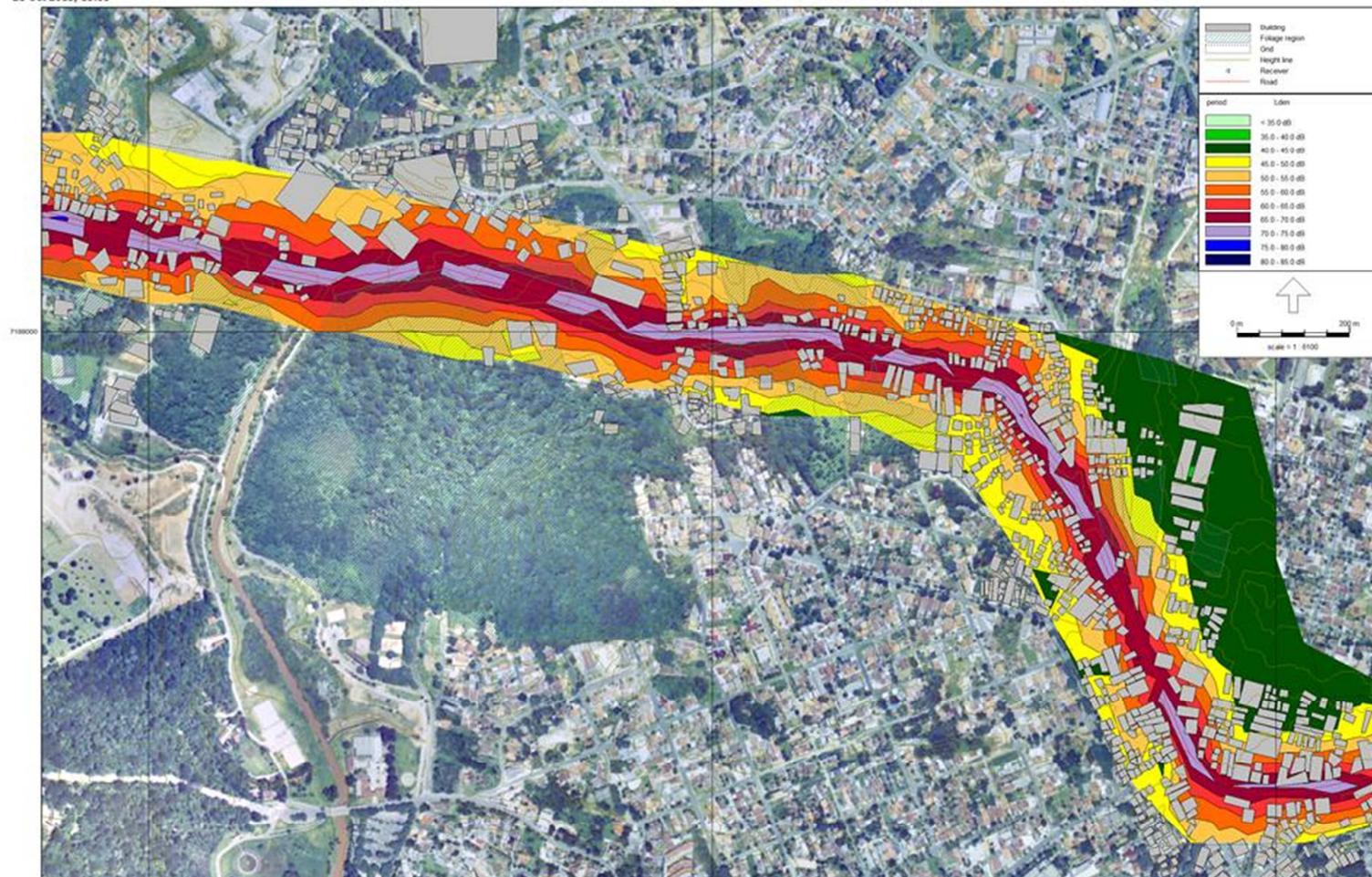


FIGURA 19 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 18 AO 21,
FONTE: A AUTORA, (2013)

Podemos notar pela figura 19 e 20 que a Avenida Manoel Ribas que passa pelo bairro Santa Felicidade, Cascatinha e Mercês apresentam altos níveis de pressão sonora, que de acordo com a legislação municipal estão fora dos limites estabelecidos, podemos supor que os níveis de ruído não atem os limites mínimos estabelecidos por esta área ser comercial, onde se localiza um grande núcleo turístico, onde passam diariamente um grande número de pessoas e veículos.

6.2.2 Simulações do passado

Cenário 1 - Simulações feitas com uma previsão da característica do fluxo de veículos para 10 anos atrás, ou seja, redução de 50% do fluxo de veículos.

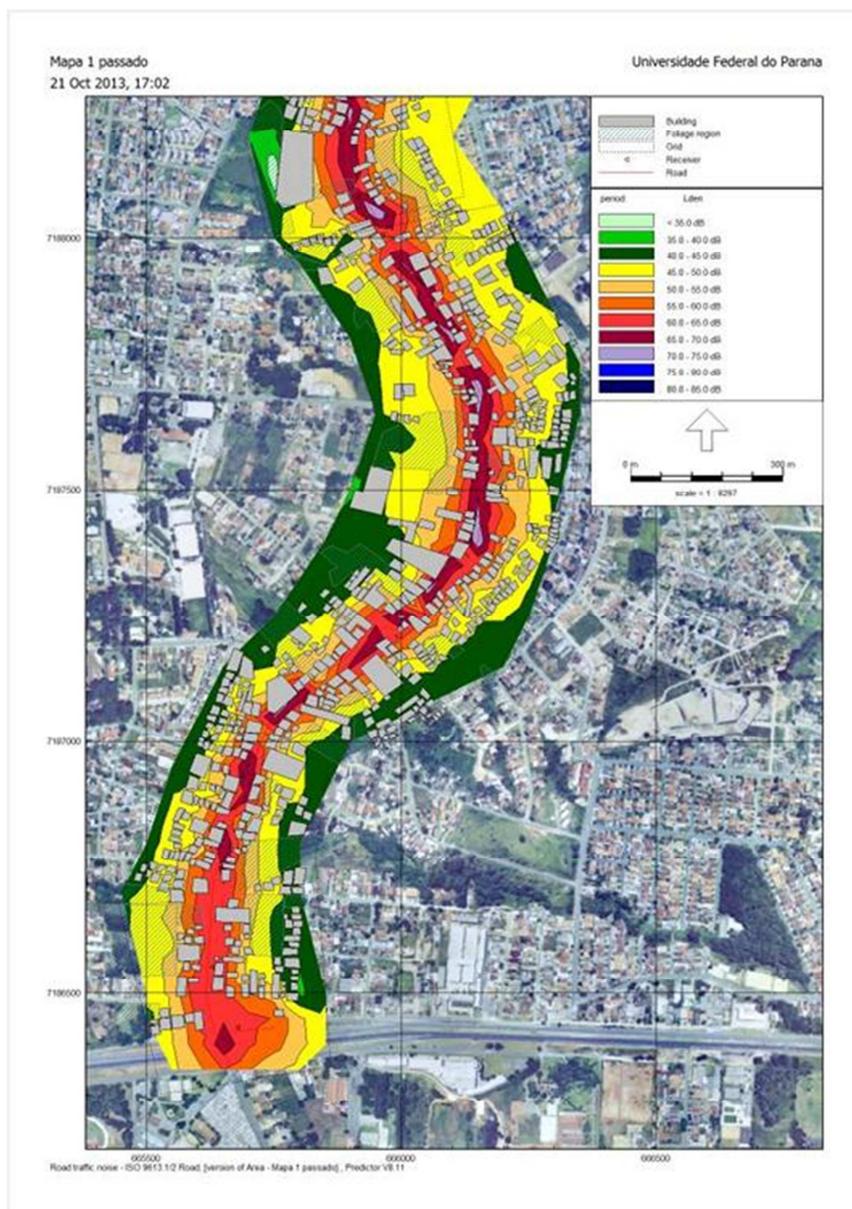


FIGURA 20 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 00 AO 5, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 50% DO FLUXO DE VEÍCULOS
FONTE: A AUTORA, (2013).

Nos mesmos pontos calculado no presente (2013), temos a predominância do nível sonoro na faixa de 70-75 dB(A) na via principal, podemos notar na Figura 21, que temos a predominância na cor vermelho claro, o que nos indica uma faixa de 60-65 dB(A), uma diferença em torno de 10 dB(A) e na cor vermelho escuro com 65-70 dB(A), uma diferença de 5dB(A).

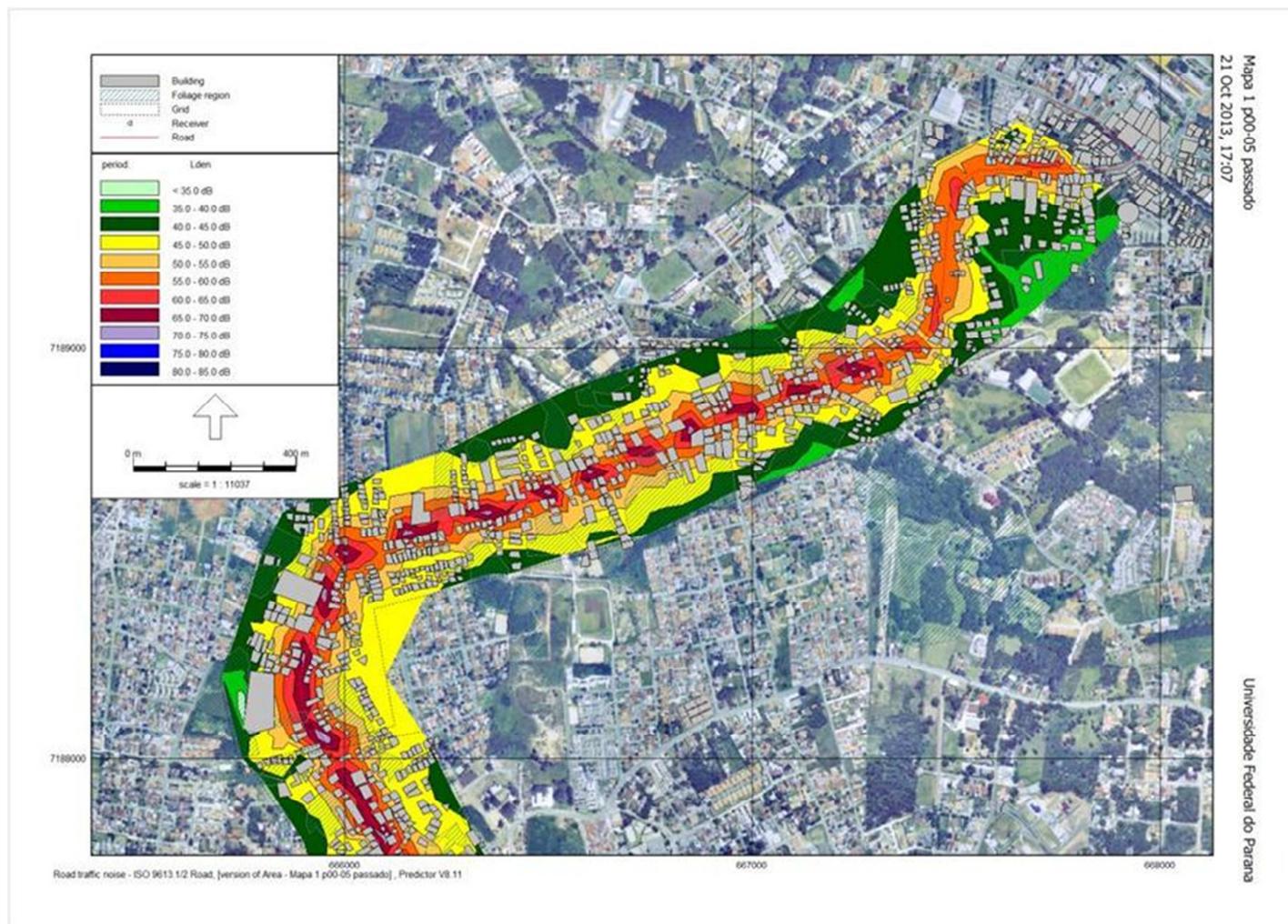


FIGURA 21 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 6 AO 11, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 50% DO FLUXO DE VEÍCULOS. FONTE: A AUTORA, (2013).

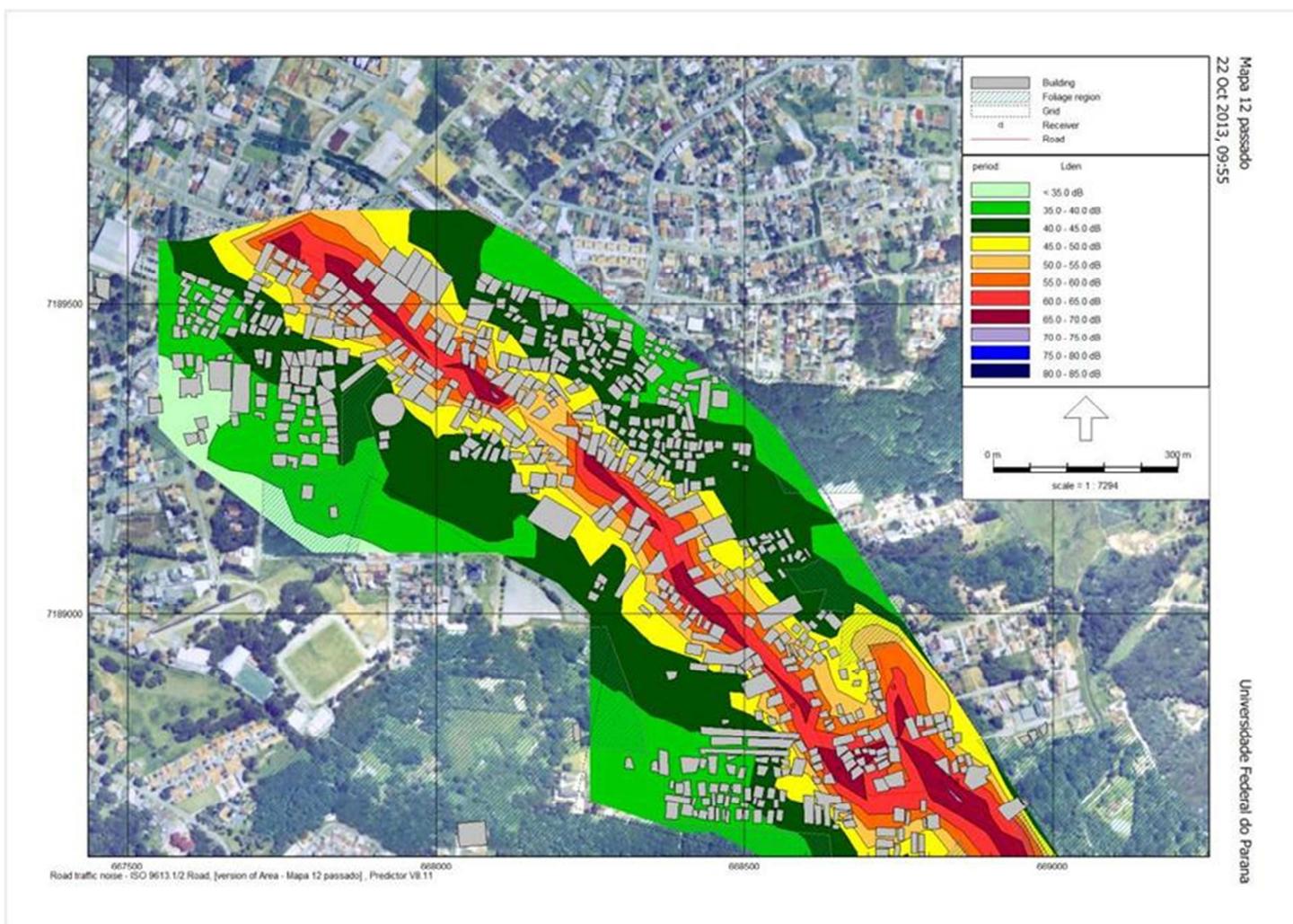


FIGURA 22 - MAPA DE RÚIDO DOS PONTOS 12 AO 15, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 50% DO FLUXO DE VEÍCULOS. FONTE: A AUTORA, (2013).

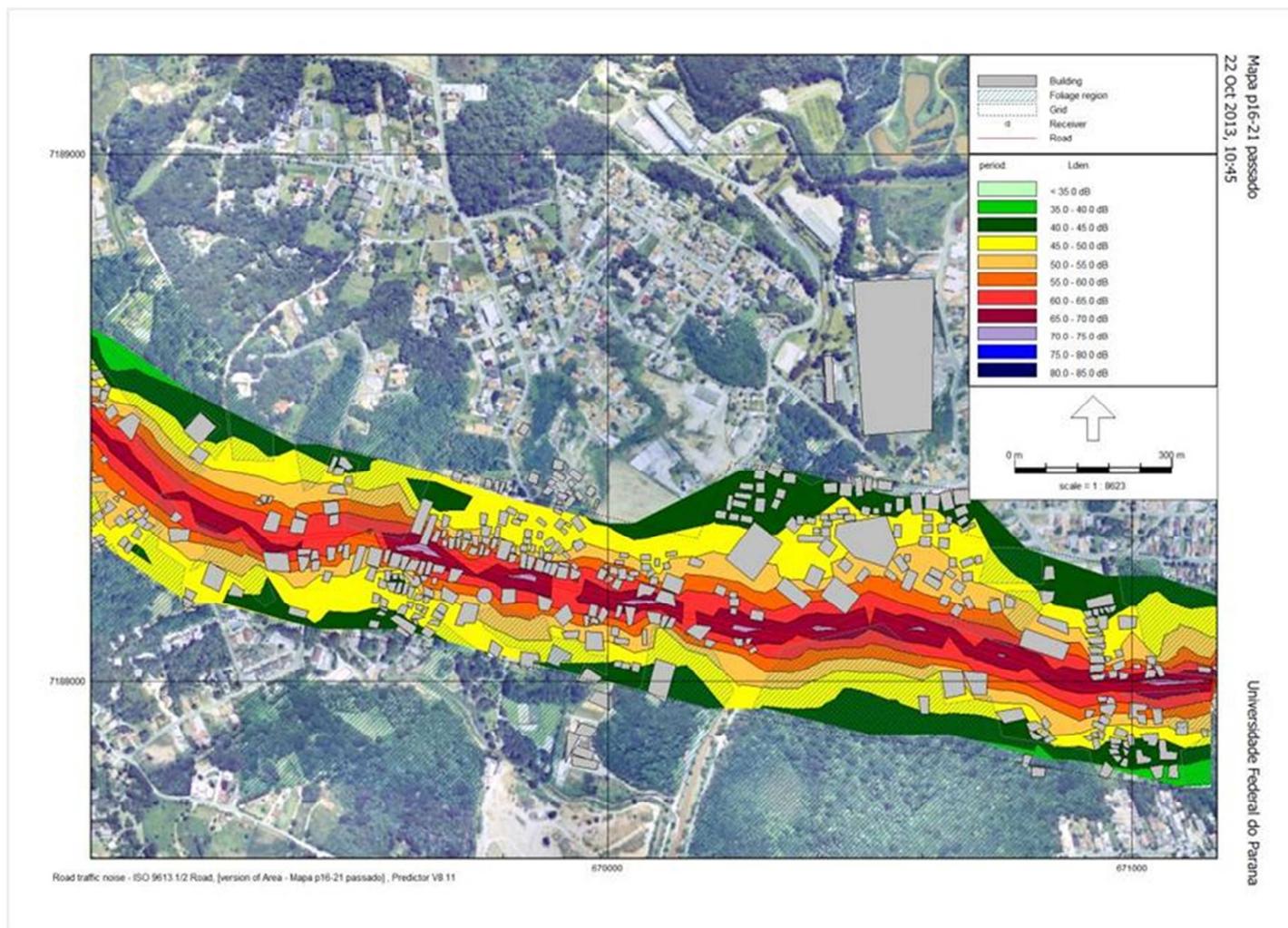


FIGURA 23 - MAPA DE RÚIDO DOS PONTOS 16 AO 18, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 50% DO FLUXO DE VEÍCULOS.
FONTE: A AUTORA, (2013).

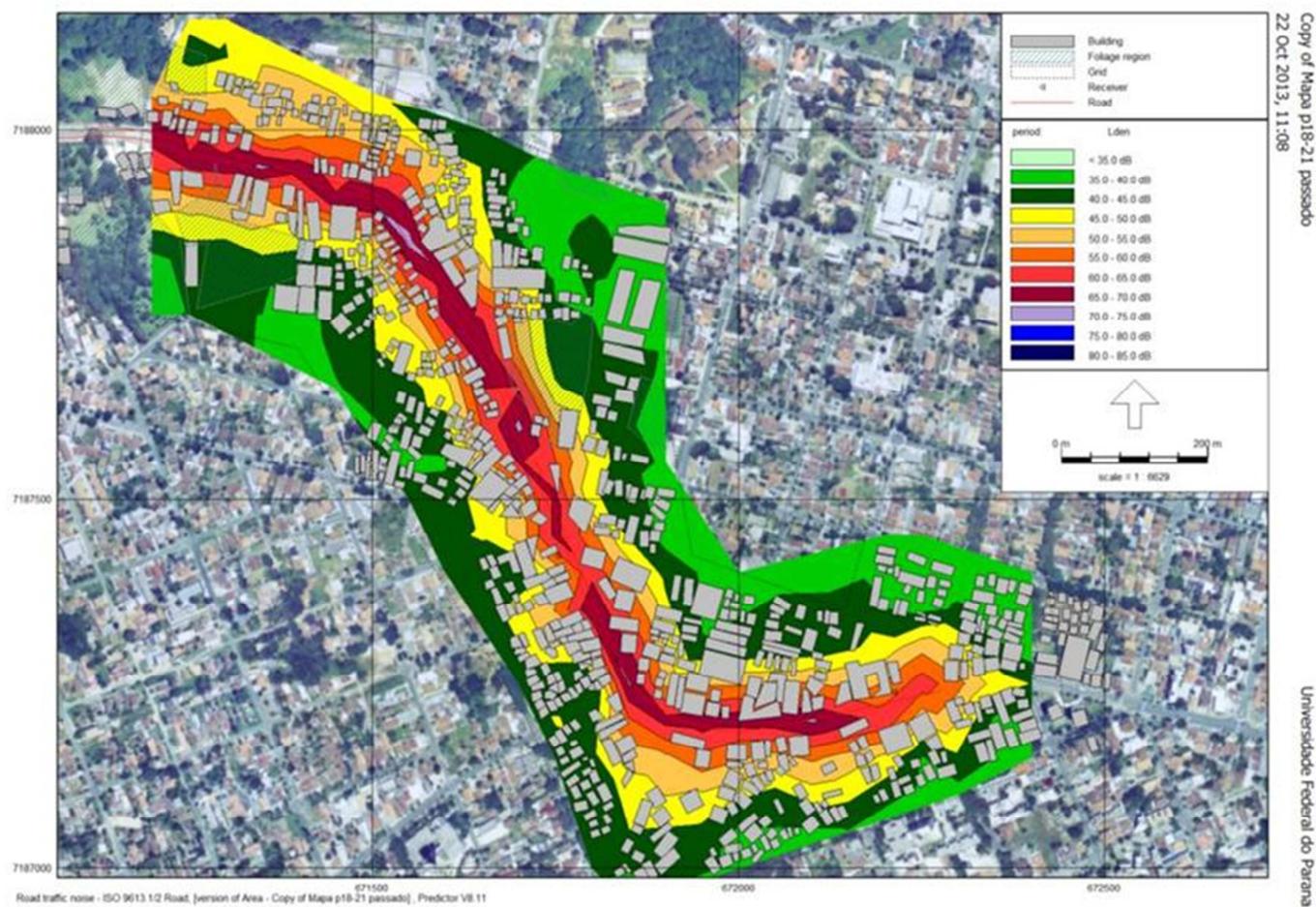


FIGURA 24 - MAPA DE RÚIDO DOS PONTOS 19 AO 21, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 50% DO FLUXO DE VEÍCULOS. FONTE: A AUTORA, (2013)

Nas Figuras 22, 23, 24 e 25 temos as simulações para os demais pontos medidos onde podemos notar a predominância das cores em vermelho claro e escuro na via principal, o que nos indica uma faixa de 60-70 dB(A), enquanto que nas simulações do presente tínhamos uma predominância da cor roxa que nos indicava entre 70-75 dB(A), uma diferença em torno de 10 a 15 dB(A).

Cenário 2 - Simulações foram feitas, com uma previsão da característica do fluxo de veículos para 15 anos atrás, ou seja, redução de 75% do fluxo de veículos.

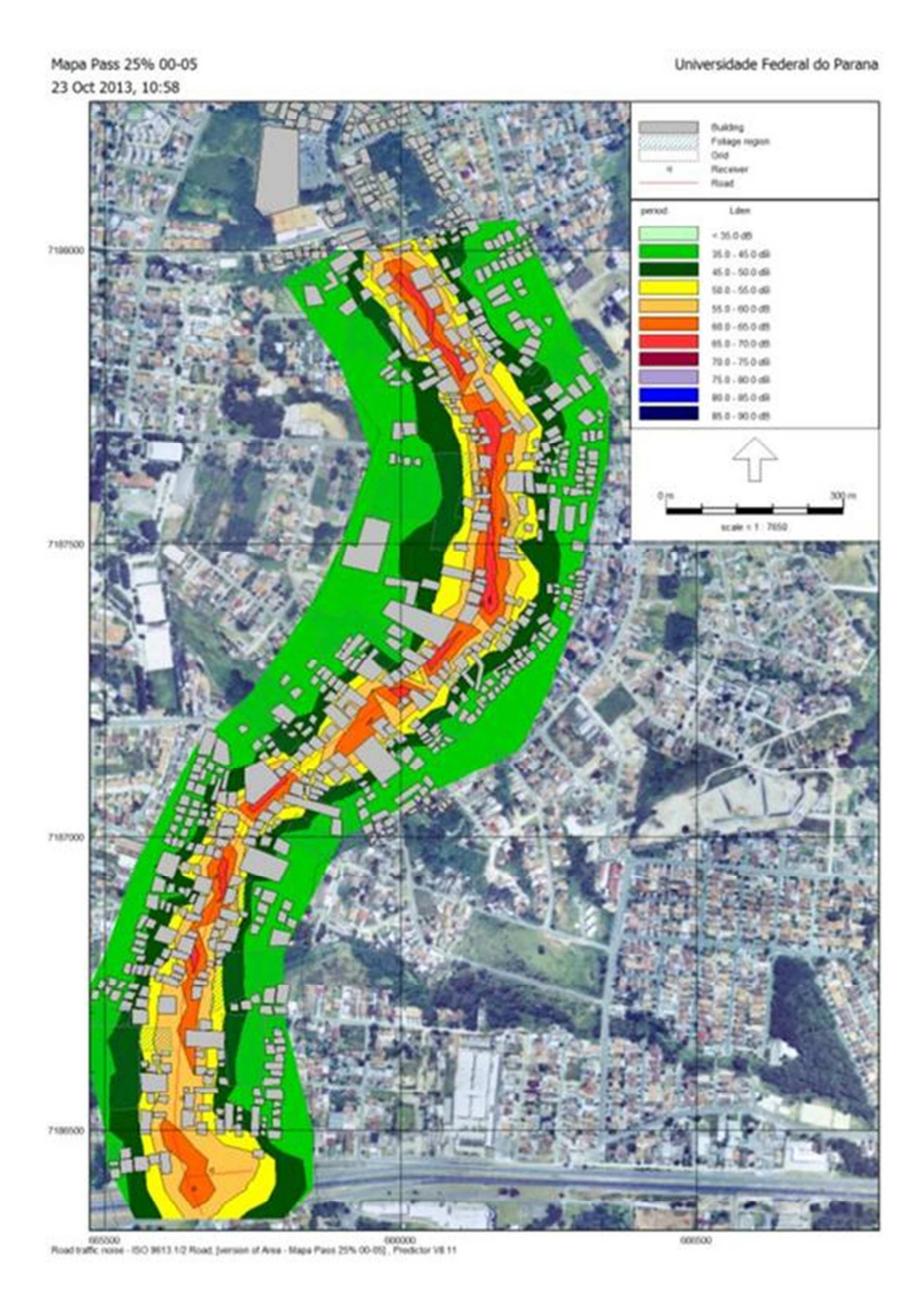


FIGURA 25 - MAPA DE RÚIDO DOS PONTOS 00 AO 05, SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 75% DO FLUXO DE VEÍCULOS. FONTE: A AUTORA, (2013).

Apenas com uma visualização geral no mapa acima, Figura 26 é possível perceber a predominância de cores claras. Ou seja, houve uma grande redução dos níveis de pressão sonora, comparado com as simulações anteriores. Podemos considerar que a 15 anos atrás conforme simulamos, teríamos um fluxo menos intenso de veículos leves e pesados transitando neste local.

A seguir temos os mapas de ruído dos demais pontos medidos, simulados com 25% do fluxo de veículos em relação ao fluxo do presente.

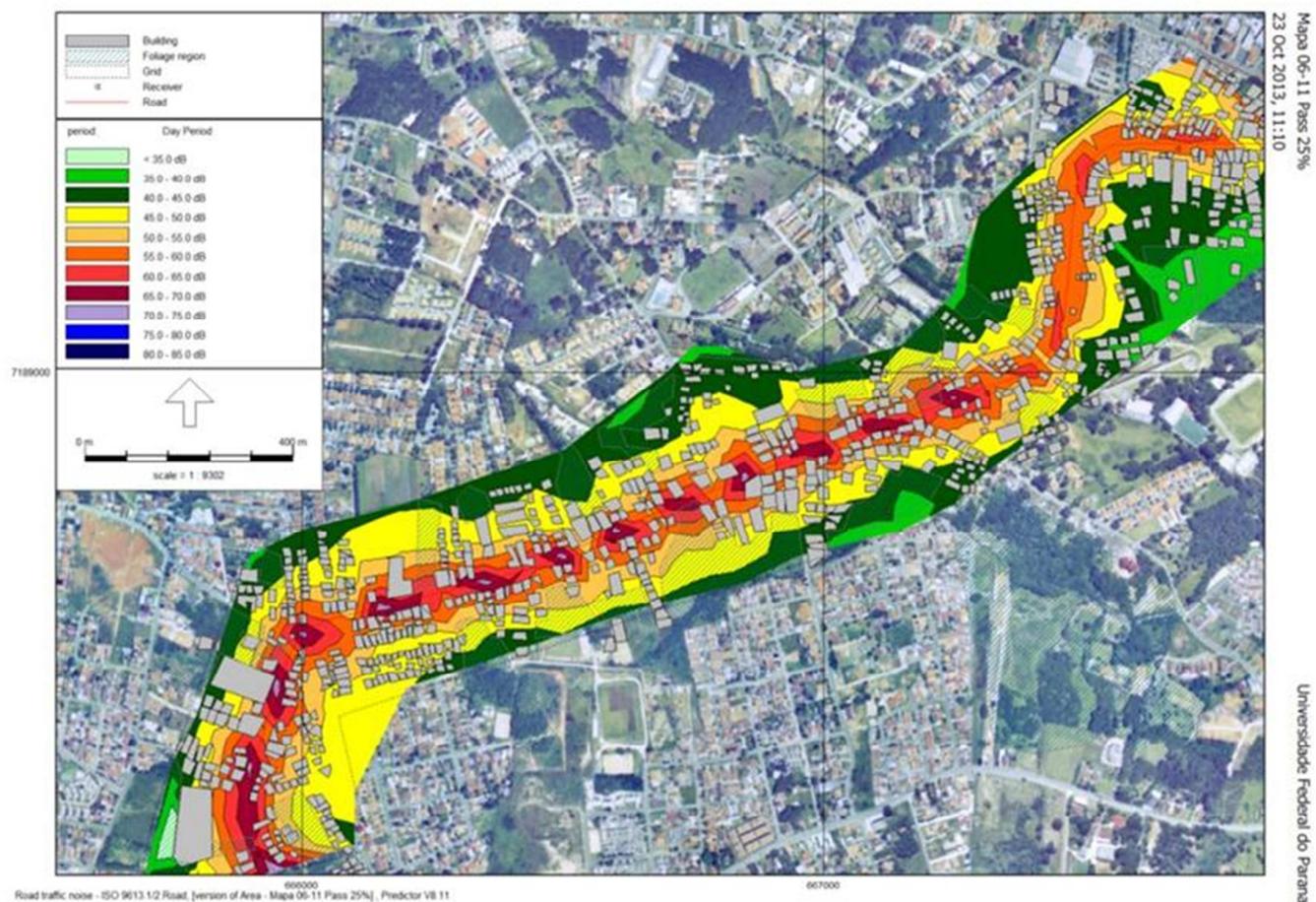


FIGURA 26 - MAPA DE RÚIDO DOS PONTOS 06 AO 11, , SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 75% DO FLUXO DE VEÍCULOS.
FONTE: A AUTORA, (2013).

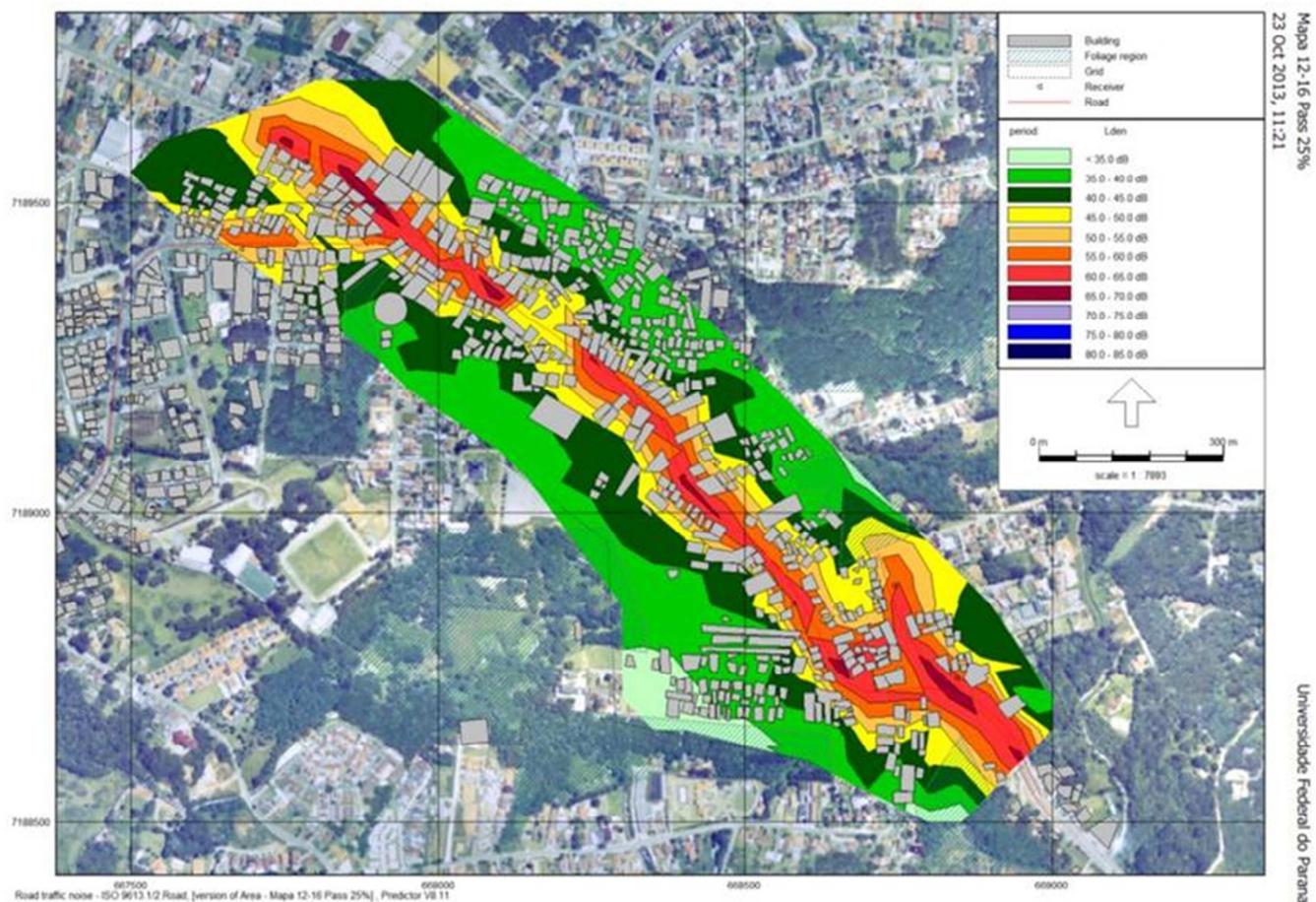


FIGURA 27 - MAPA DE RÚIDO DOS PONTOS 12 AO 15, , SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 75% DO FLUXO DE VEÍCULOS. FONTE: A AUTORA, (2013).

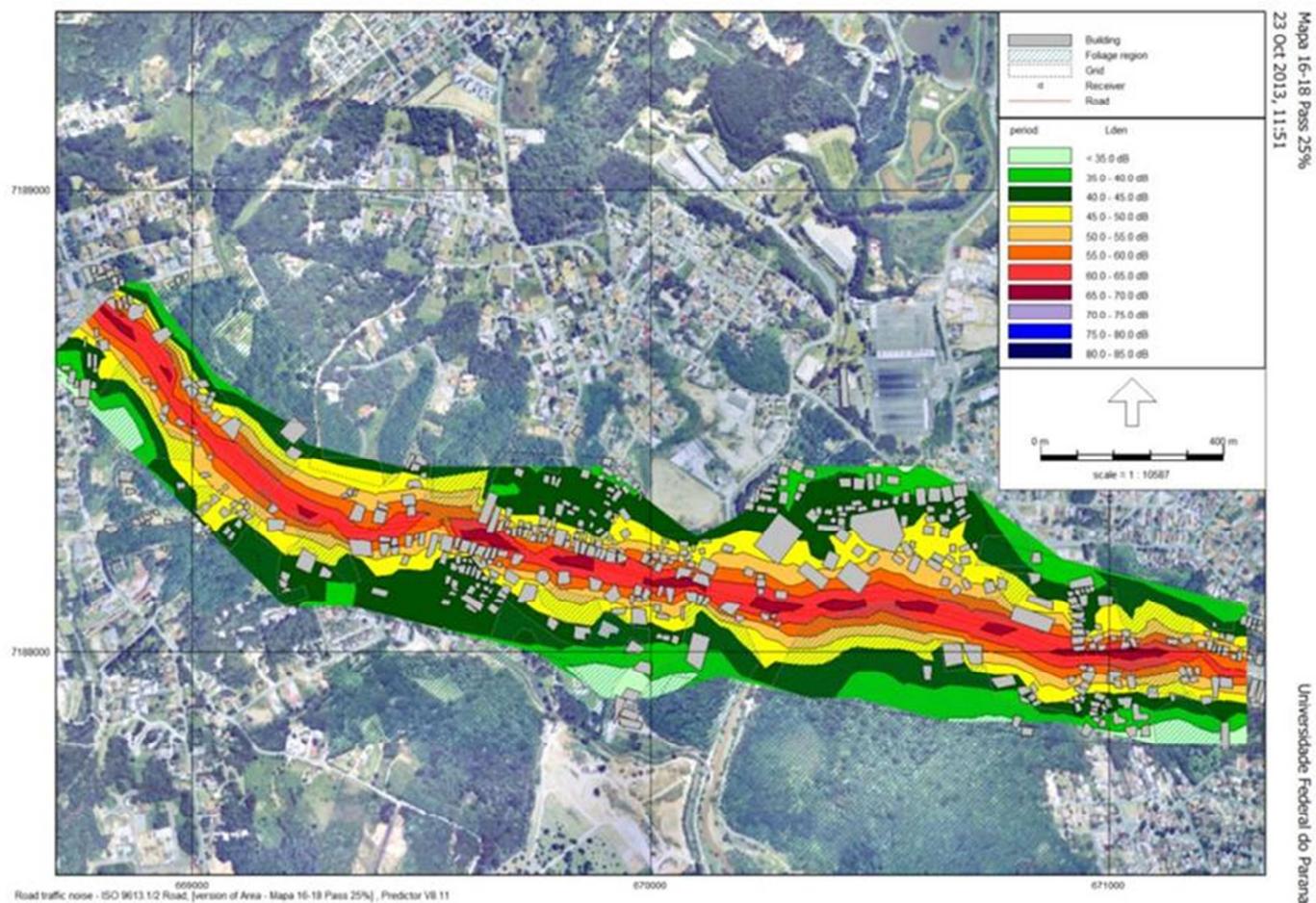


FIGURA 28 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 16 AO 18, , SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 75% DO FLUXO DE VEÍCULOS.
FONTE: A AUTORA, (2013).

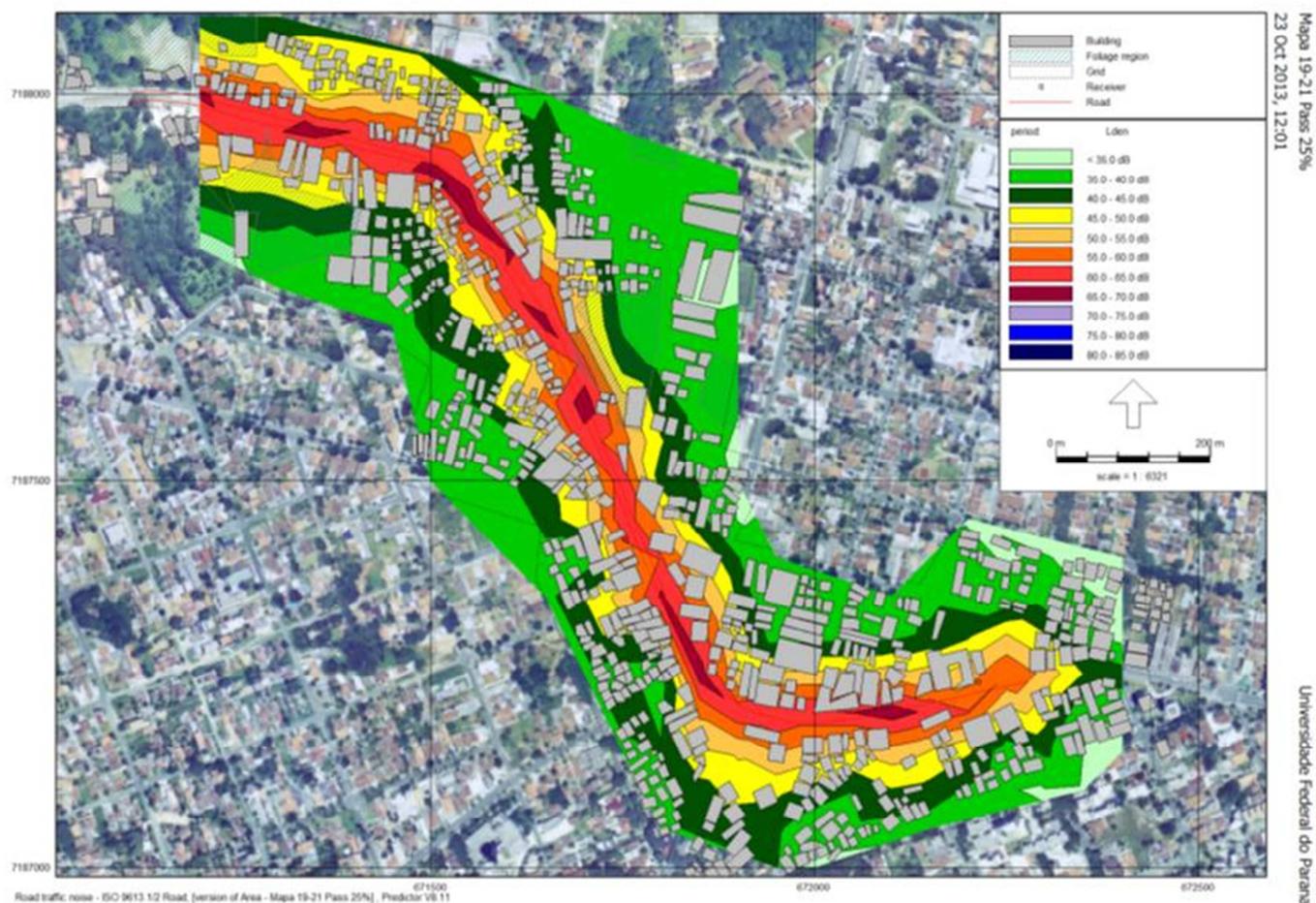


FIGURA 29 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 19 AO 21, , SIMULAÇÃO DO PASSADO COM REDUÇÃO DE 75% DO FLUXO DE VEÍCULOS.
FONTE: A AUTORA, (2013).

Nos mapas com redução de 75% do fluxo de veículos temos a simulação do fluxo de 15 anos atrás. É possível observar que há a predominância das cores claras e em grande parte dos mapas os níveis sonoros atingem até 65 dB(A), apenas alguns pontos isolados este limite sobe para 70 dB(A). Pressupomos que há 15 anos havia menos veículos em circulação e o percentual de veículos pesados trafegando em avenidas como estas eram menores, o que geraria menos poluição sonora nestes locais.

6.2.3 Simulações do futuro

Cenário 3 - Simulações feitas com uma previsão da característica do fluxo de veículos para 20 anos no futuro, ou seja, aumento de 100% do fluxo de veículos. Observa-se nas Figuras 31 a 35 que os níveis sonoros se alteram consideravelmente em relação às simulações do presente, ou seja, no presente, nestas os níveis não excedem 75 dB(A), enquanto que na simulação com o fluxo de 200 %, podemos notar que o mapas mostram pontos com 85 dB(A) ou mais. Isto se dá devido ao aumento do número de veículos tanto leves quanto pesados circulando nas vias (simulação) e ao aumento de edificações nos locais.

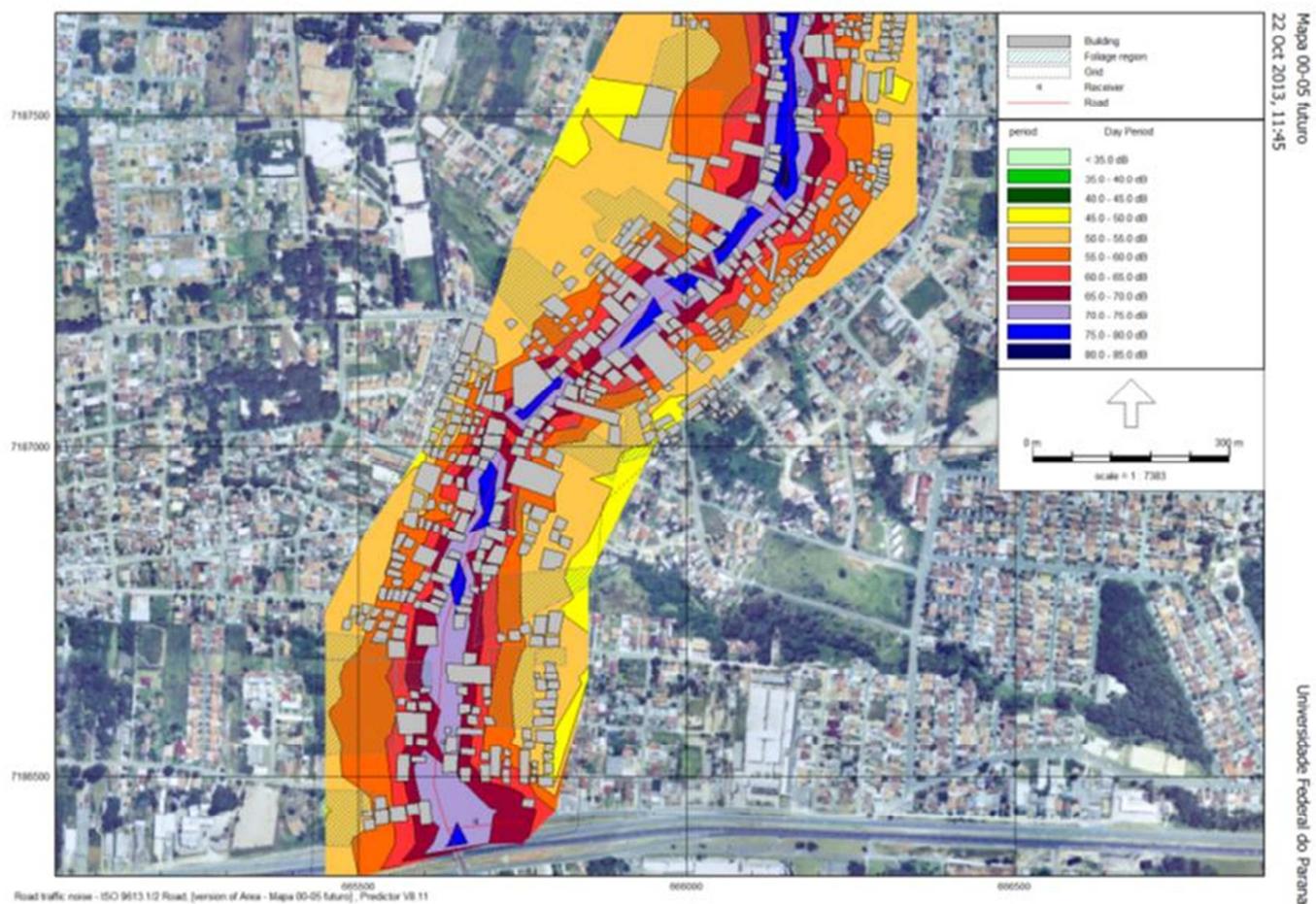


FIGURA 30 - MAPA DE RÚIDO DOS PONTOS 00 AO 05, SIMULAÇÃO DO FUTURO COM AUMENTO DE 100% DO FLUXO DE VEÍCULOS.
FONTE: A AUTORA, (2013).

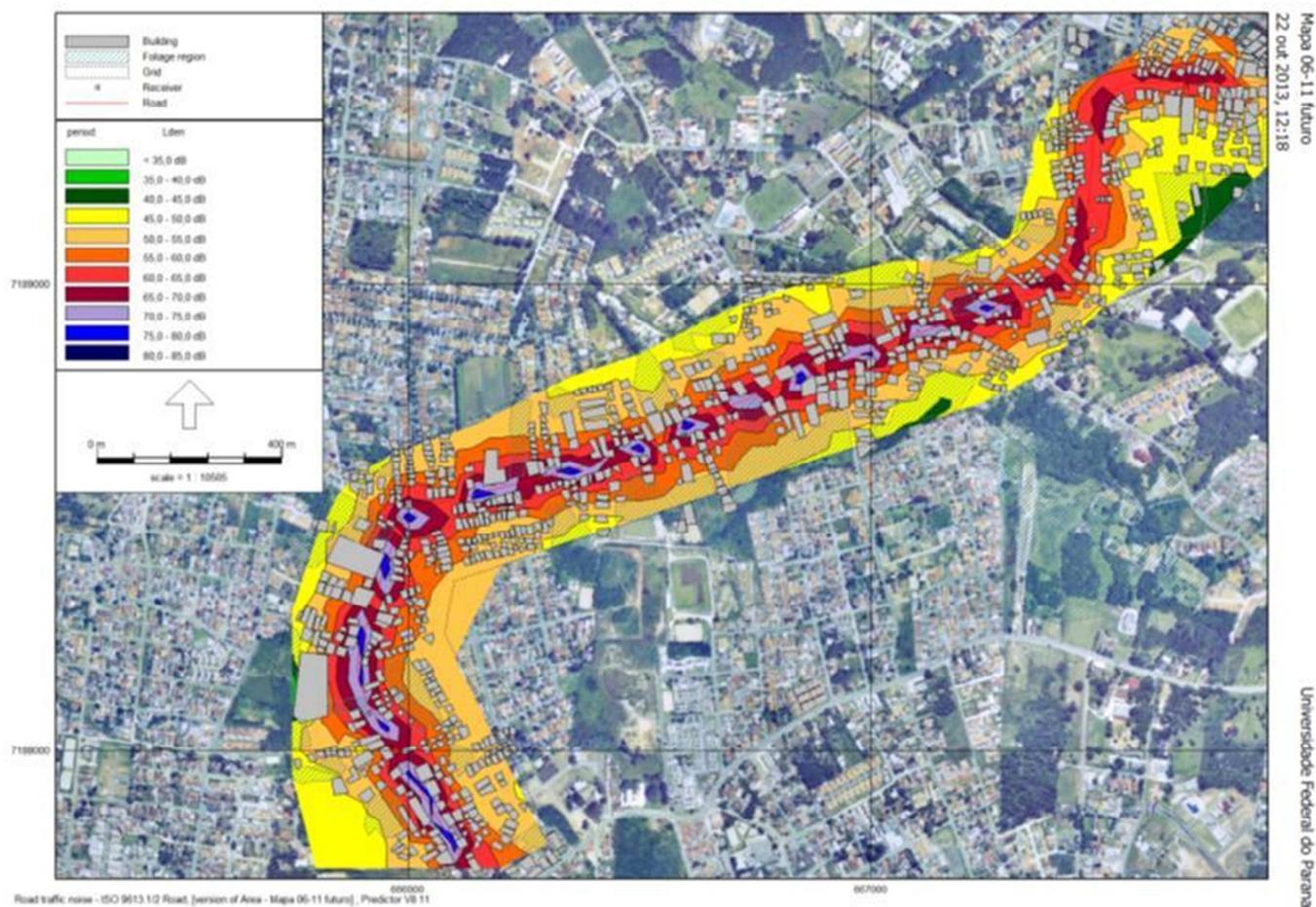


FIGURA 31 - MAPA DE RÚÍDO DOS PONTOS 06 AO 11, SIMULAÇÃO DO FUTURO COM AUMENTO DE 100% DO FLUXO DE VEÍCULOS.
FONTE: A AUTORA, (2013).

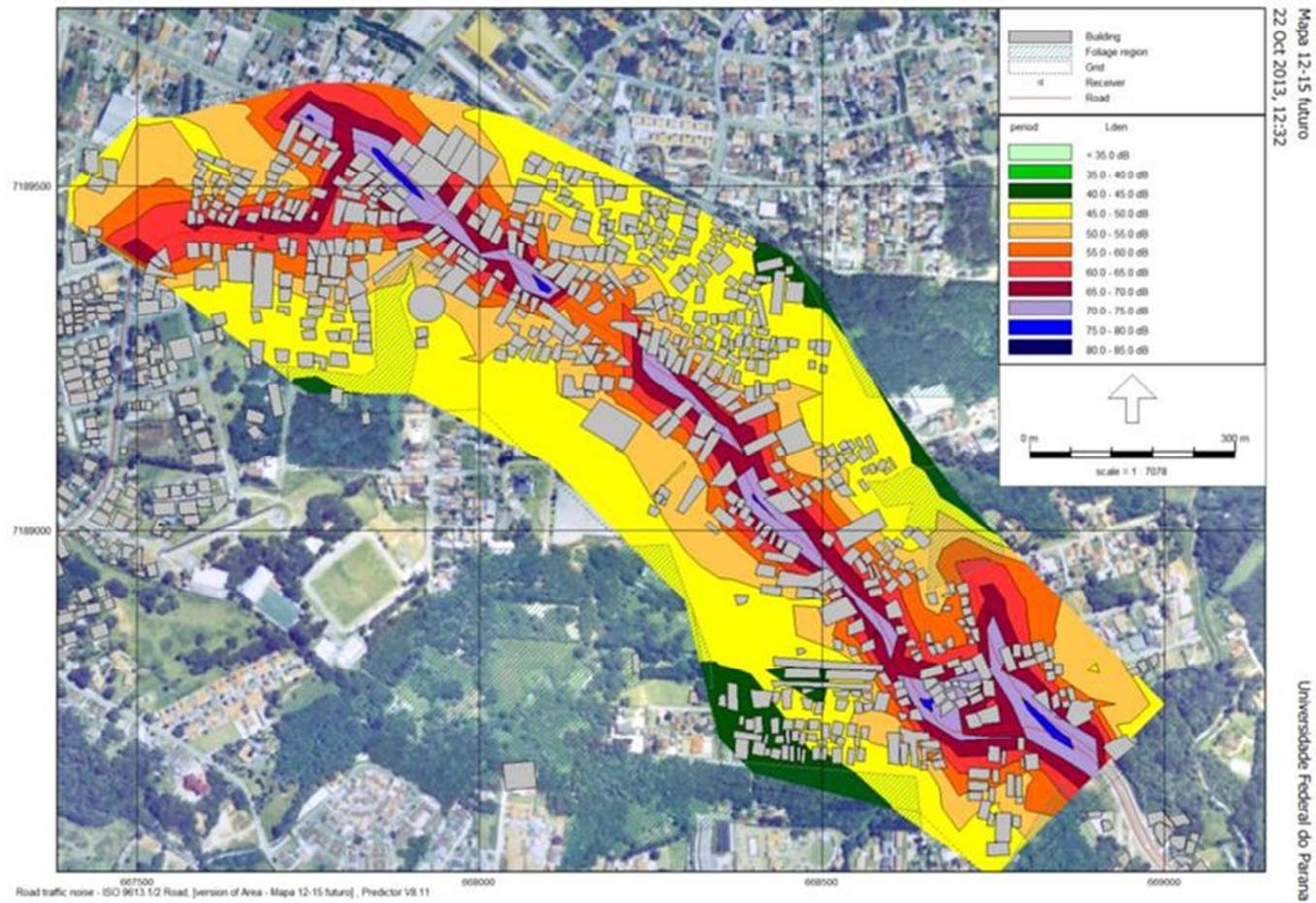


FIGURA 32 - MAPA DE RÚIDO DOS PONTOS 12 AO 15, SIMULAÇÃO DO FUTURO COM AUMENTO DE 100% DO FLUXO DE VEÍCULOS. FONTE: A AUTORA, (2013).

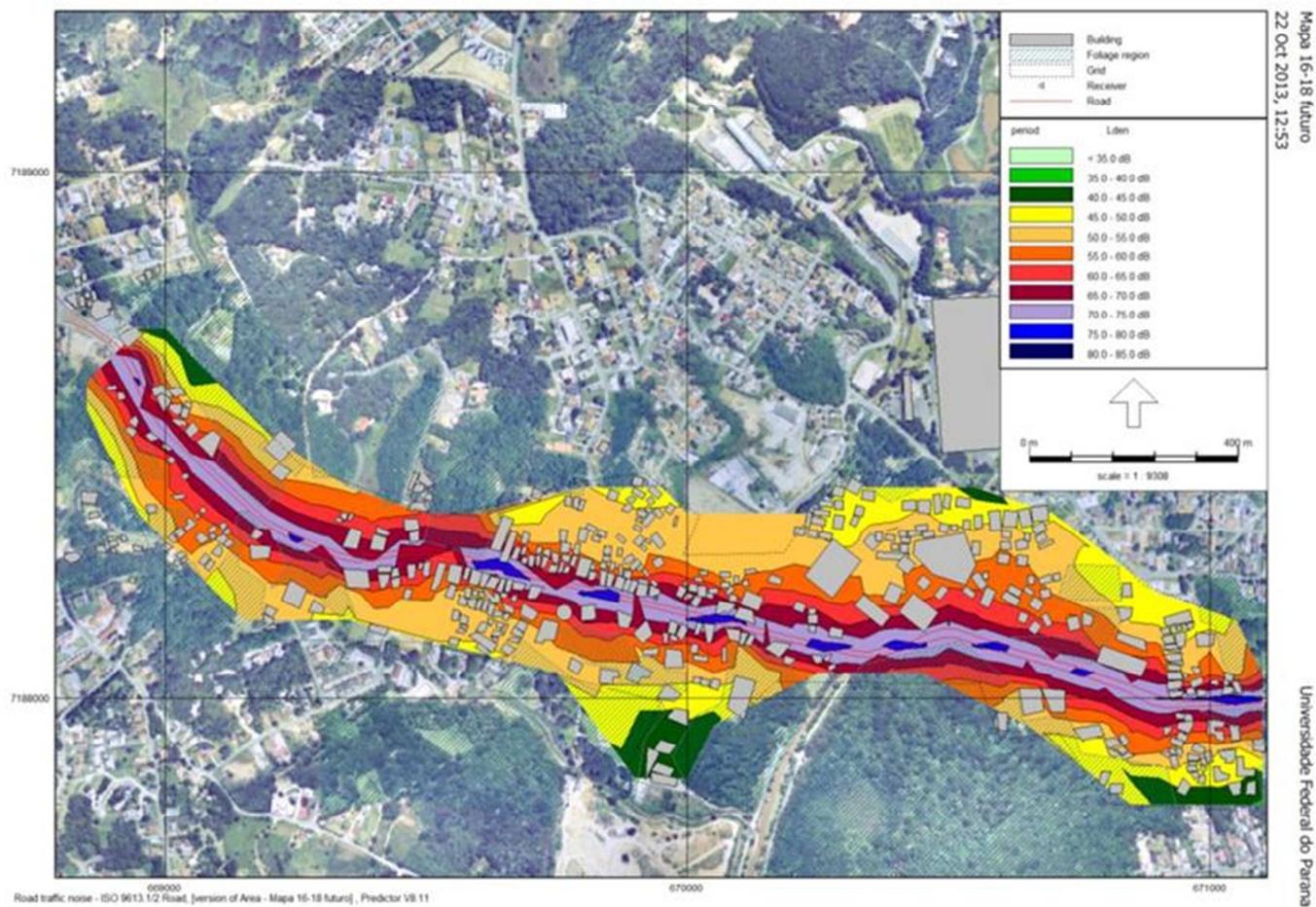


FIGURA 33 - MAPA DE RÚIDO DOS PONTOS 16 AO 18, SIMULAÇÃO DO FUTURO COM AUMENTO DE 100% DO FLUXO DE VEÍCULOS. FONTE: A AUTORA, (2013).

Mapa 18-21 futuro
22 Oct 2013, 13:21

Universidade Federal do Parana

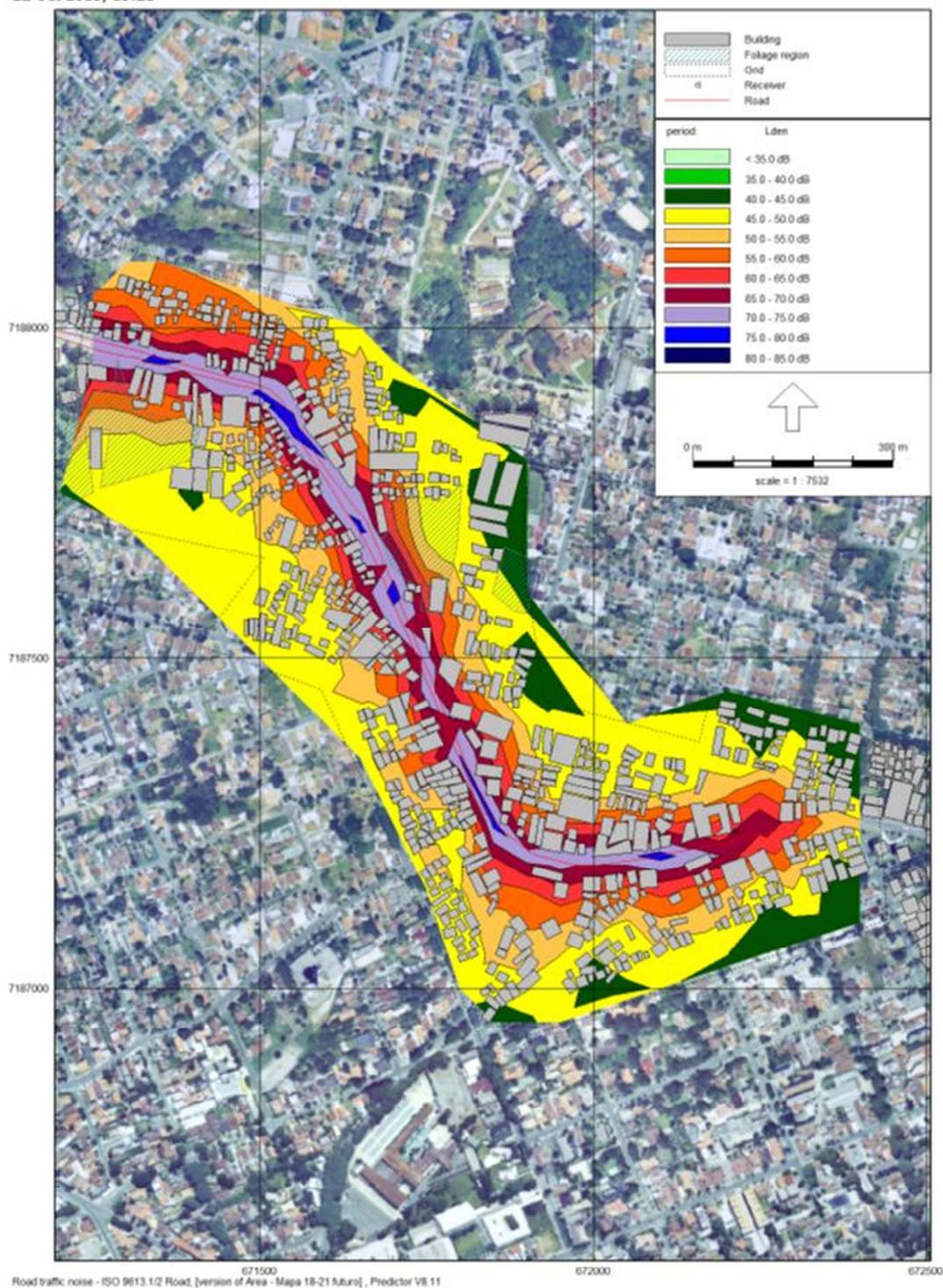
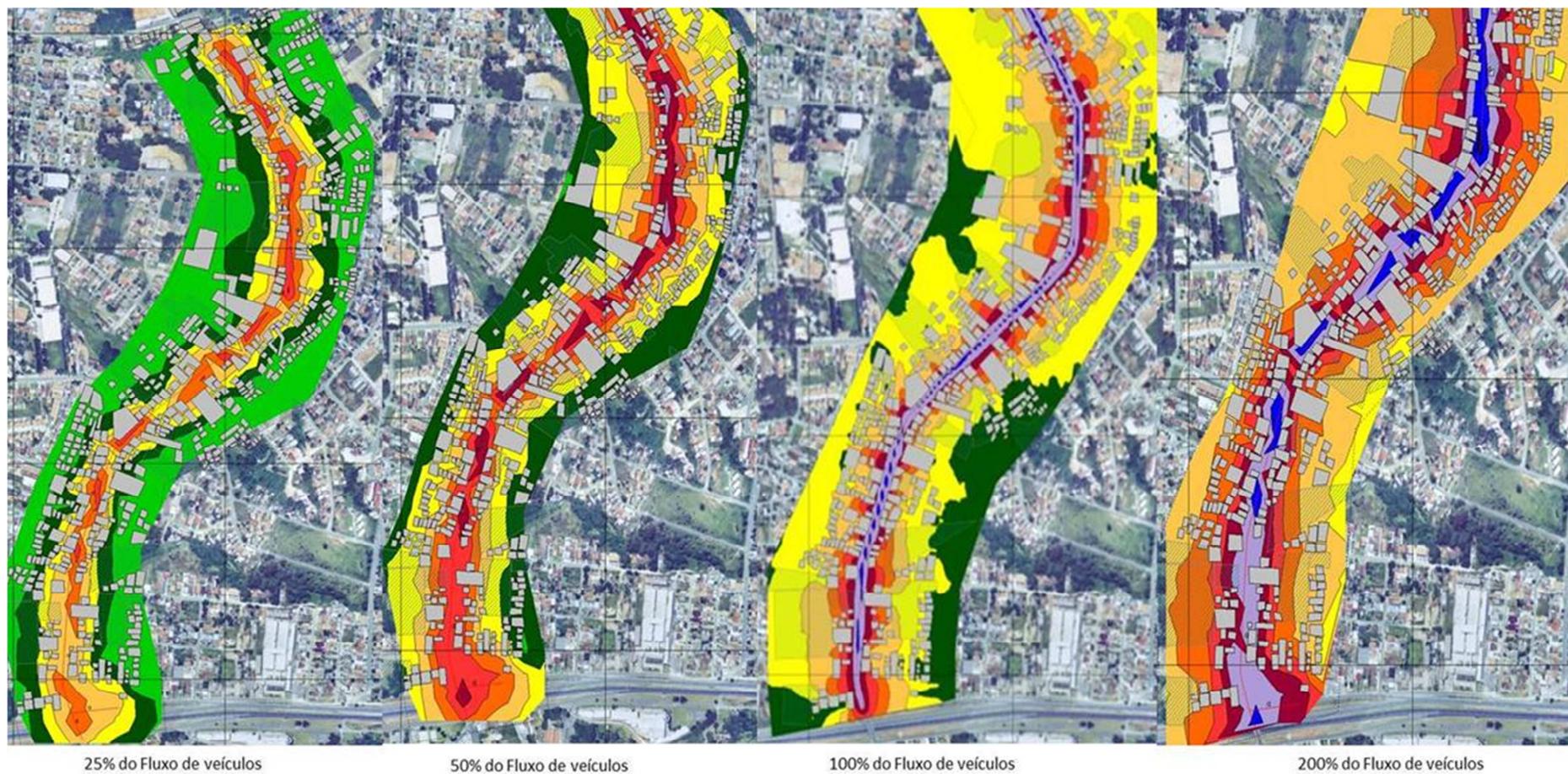


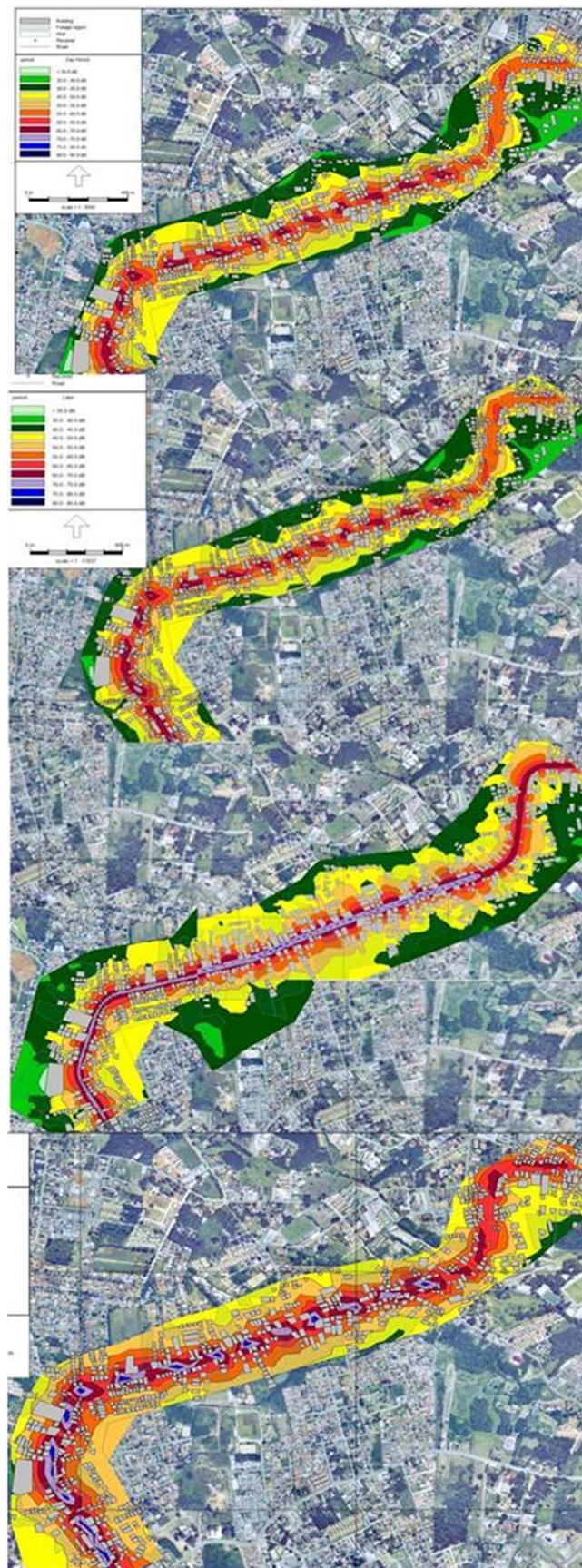
FIGURA 34 - MAPA DE RUÍDO DOS PONTOS 19 AO 21, SIMULAÇÃO DO FUTURO COM AUMENTO DE 100% DO FLUXO DE VEÍCULOS. FONTE: A AUTORA, (2013).

6.2.4 Comparação entre as simulações

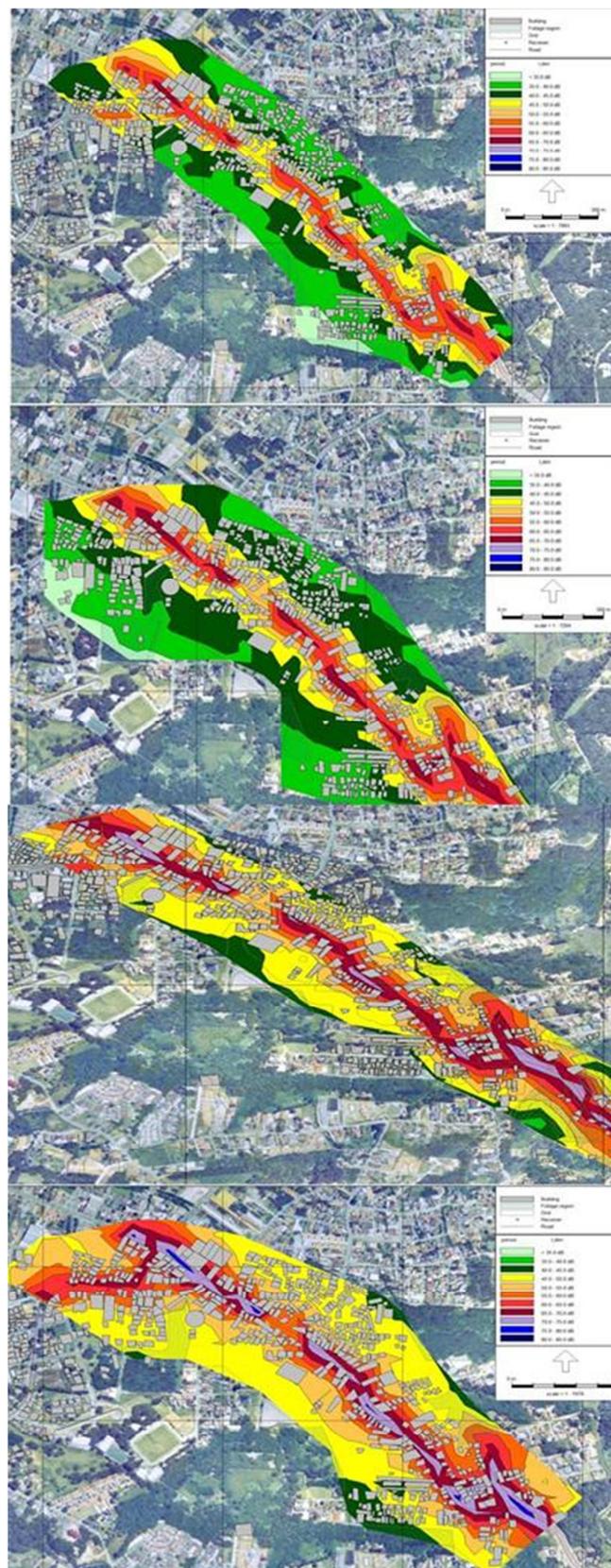
As Figuras a seguir Figuras 36, 37, 38, 39 e 40 faz uma comparação entre as quatro situações simuladas, com o fluxo de veículos de 25%, 50%, 100% e 200%.



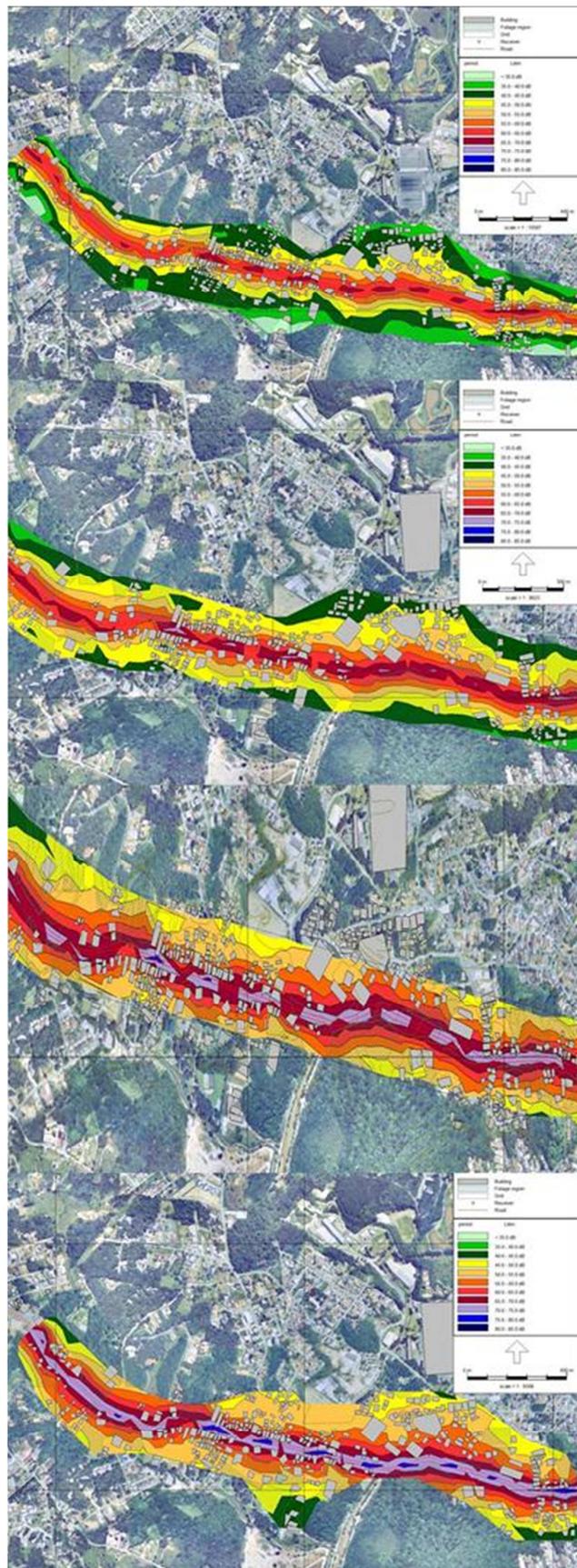
**FIGURA 35 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DO PONTOS 00 AO 05 COM 25%, 50%, 100% E 200% DO FLUXO DE VEÍCULOS.
FONTE: A AUTORA, (2013).**



**FIGURA 36 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DO PONTOS 06 AO 11 COM 25%, 50%, 100% E 200% DO FLUXO DE VEÍCULOS.
FONTE: A AUTORA, (2013).**



**FIGURA 37 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DO PONTOS 12 AO 15 COM 25%, 50%, 100% E 200% DO FLUXO DE VEÍCULOS.
FONTE: A AUTORA, (2013).**



**FIGURA 38 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DOS PONTOS 16 AO 18, COM 25%, 50%, 100% E 200% DO FLUXO DE VEÍCULOS.
FONTE: A AUTORA, (2013).**

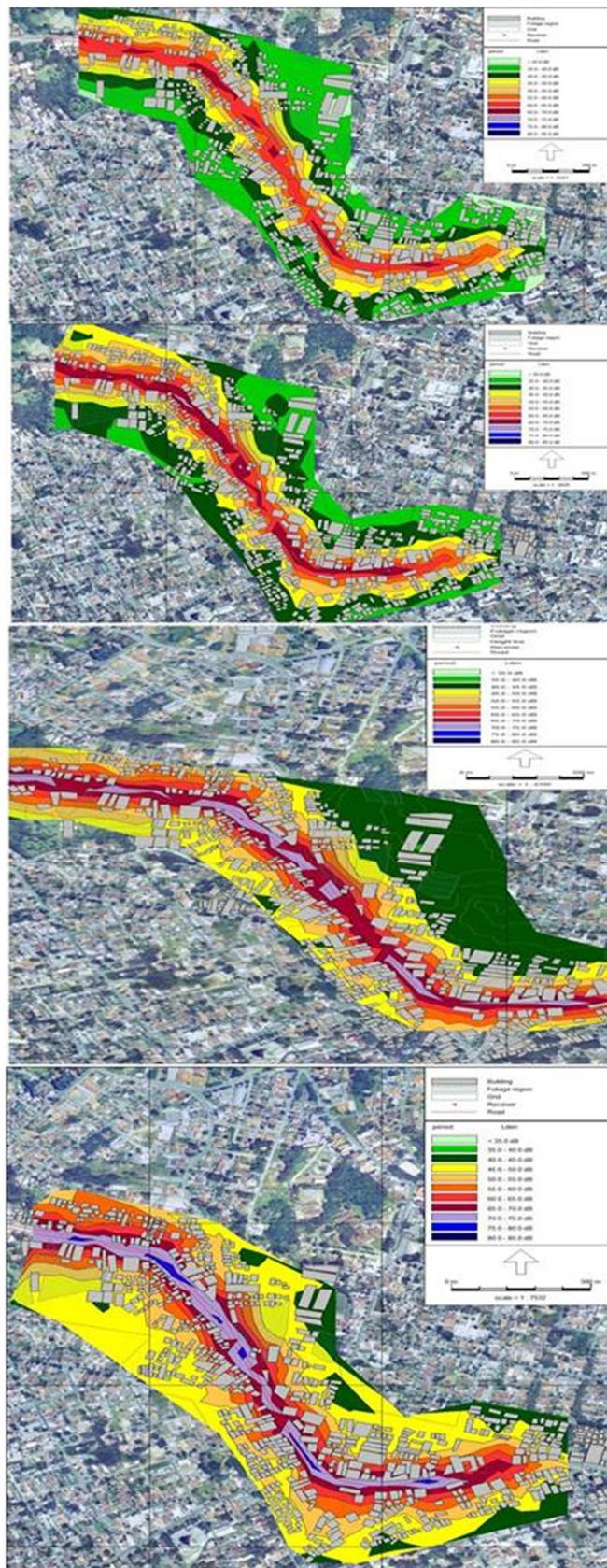


FIGURA 39 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DOS PONTOS 19 AO 21, COM 25%, 50%, 100% E 200% DO FLUXO DE VEÍCULOS. FONTE: A AUTORA, (2013).

Nas comparações podemos observar que há uma mudança nas cores, as cores claras vão se tornando cores mais escuras, isto significa que há um aumento dos níveis sonoros ou um aumento da poluição sonora . Apenas visualmente já é possível notar algumas modificações nos mapas de ruído. Nas simulações com apenas 25% do fluxo de veículos temos níveis sonoros de até 65 dB(A) na via principal, nas simulações com 50% temos uma predominância nas cores vermelho escuro que indica uma faixa de 65 a 70 dB(A), nas simulações com o fluxo de veículos a 100% ou seja o fluxo atual coletado nas medições, mostra uma predominância maior da cor roxa, com níveis sonoros até 75 dB(A) e nas simulações com 200% do fluxo de veículos em relação ao atual, temos a cor roxa que indica uma faixa entre 70 a 75 dB(A) e vários pontos em azul e alguns em preto, estando os níveis sonoros entre 75 a 80 dB(A) e 80 a 85 dB(A) respectivamente. Estes resultados nos mostram a grande influência que o fluxo de veículos tem na geração da poluição sonora, com as simulações podemos verificar o crescimento dos níveis de ruído ao longo de um período e analisar o quanto isto pode influenciar na vidas dos seres humanos e no meio ambiente.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados apresentados nos trechos analisados nas simulações realizadas com o fluxo atual, ou seja, no presente sugerem que a situação acústica destes trechos caracteriza a existência de poluição sonora. No ponto de vista ambiental, o impacto tem natureza negativa, pois pode causar efeitos prejudiciais ao meio ambiente e a saúde da população.

De acordo com a Resolução 1, de 8 de março de 1990, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), a emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive a de propaganda política, não deve ser superior aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10.151 ou as legislações municipais se as mesmas forem mais restritivas. Nos 22 pontos medidos ao longo dos trechos, todos apresentaram valores maiores do que os limites estabelecidos pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625/2002 que regula os níveis sonoros da cidade. Assim, é possível verificar que apesar do incômodo causado pelo ruído diariamente, a poluição sonora, ainda não é percebida como um problema nas cidades.

As medições são importantes e insubstituíveis porque fornecem dados quantitativos indispensáveis para avaliações de acústica. Por outro lado, requerem pessoal treinado, vários equipamentos e condições atmosféricas adequadas – sem chuvas e ou ventos fortes. Alternativamente, tem-se na simulação sonora a geração de mapas acústicos que fornecem uma visão global do problema de poluição sonora e uma análise da situação passada, presente e futura dos níveis sonoros.

Nas simulações da situação passada, mesmo com uma redução significativa da quantidade de veículos (50%) percebemos que não é suficiente para reduzir os níveis sonoros para os limites aceitáveis ou seja, limites estabelecidos pela legislação.

Nas simulações com a redução de 75% do fluxo de veículos houve uma queda de 5 a 10 dB(A) nos níveis sonoros, podemos supor que a poluição sonora era menor em alguns locais e os valores atendiam os limites estabelecidos pela legislação. 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 acima de 5 dB(A) em cada cenário.

O cenário que simula a situação acústica dos pontos sensíveis nos próximos 20 anos, indica um agravamento significativo no panorama acústico. Houve um aumento de 5 a 15 dB(A) nos níveis sonoros dos locais, causado justamente pelo aumento de veículos em circulação, se fizéssemos uma comparação, estes valores estariam muito acima do permitido para áreas estritamente industriais com limites de até 70 dB(A) conforme a NBR 10.151.

Conclui-se que hoje já estamos vivendo em um ambiente sonoramente poluído, com um sistema de transporte urbano saturado e de acordo com as simulações futuras para os próximos 10 a 15 anos o impacto ambiental será significativo se nenhuma medida mitigatória for tomada. O problema do ruído se tornará cada vez mais evidente, os níveis sonoros nestas e outras áreas devem aumentar consideravelmente justamente pelo aumento do número de veículos. As políticas públicas adotadas atualmente estão caminhando na direção contrária à diminuição do fluxo de veículos. Incentivos fiscais, e condições facilitadas de financiamento, levam ao consumo maior de automóvel e conseqüente aumento da frota de veículos. Desta forma fica evidenciado que apenas uma medida não é suficiente para resolver o problema, é necessário formular um plano com um conjunto de medidas com ações nas fontes e receptores e assim haja a probabilidade de redução dos níveis de ruído. Para tentar reduzir os impactos ambientais gerados algumas recomendações podem ser implementadas nos locais, como controlar o número de veículos pesados e médios que circulam pelas vias, pois estes são os principais emissores de ruído ao meio ambiente, a velocidade dos veículos deve ser controlada, a partir de 60 Km/h os pneus dos automóveis são os principais geradores de ruído do veículo, suplantado o ruído gerado pelo motor, o asfalto utilizado nas novas vias deve ser de boa qualidade e baixa rugosidade diminuindo o atrito dos pneus no solo e assim controlando o nível de pressão sonora emitido ao meio ambiente, a manutenção dos abafadores de ruído dos veículos que circulam na região deve ser periódica, evitando a emissão de ruído desnecessariamente ao meio ambiente, aumentar a vegetação e as barreiras acústicas urbanas podem diminuir o ruído em alguns locais das áreas diretamente afetadas e aumentar o recuo entre as vias e os empreendimentos imobiliários, propiciando condições

para uma boa dispersão da energia sonora, podendo ser estes recuos arborizados para maior absorção do ruído.

Tudo isto reforça a importância deste trabalho que mostra resultados anteriormente desconhecidos, todos os dados poderão ser utilizados como ferramentas para elaboração de planos municipais de redução de ruído, gestão de planejamento urbano, gestão de tráfego uma vez que o crescimento da frota automotiva ocasionará necessárias medidas de combate ao ruído para que o impacto ambiental seja minimizado e a qualidade de vida das populações não se agrave ainda mais.

8 REFERENCIAS

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-10.151: **Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade**. Rio de Janeiro, 2000.

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)

BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D. H. **Guidelines for Community Noise**. World Health Organization – WHO. Geneva, p. 1-21, 1999.

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

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

BERGLUND, B.; SCHWELA, L. D.H.– WHO World health organization (UK). **Guidelines for Community noise** 161 pages, 1999.

BENDTSEN, H., HABERL, J., SANDBERG, U., WATTS, G., PUCHER, E. (2005) **Traffic Management and Noise Reducing Pavements - Recommendations on Additional Noise Reducing Measures SILVIA** (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control) Project Report, Roskilde, Denmark: Danish Road Institute/Road Directorate

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

CALIXTO. A. **O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias-grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**. Tese de mestrado Universidade Federal do Paraná, 2002

CALIXTO,A.,DINIZ,F.B.,ZANNIN,P.H.T. **The statistic modeling of road traffic noise in an urban setting**. Pergamon, 2003.

CARVALHO, R.P. **Acústica Arquitetônica**. 2. ed. – Brasília : Thesaurus, p.01, 2010.

CURITIBA DIDITAL, Edição 2006/CD-ROM, do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC

DENATRAN , Ministério das Cidades, Departamento Nacional de Trânsito, 2010.

DETRAN – Divisão de estatística do departamento de trânsito do Governo do Estado do Paraná – **Frota de veículos por tipo e município em dezembro de 2012**. Disponível em <http://www.detran.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=328>> acesso em 14 de fevereiro de 2013 às 12:07.

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.

ENGEL, M. S. **Caracterização da poluição sonora, através de medições e mapeamento sonoros e entrevistas de percepção sonora na Linha Verde em Curitiba** – Paraná. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2012.

European Union. Directive 2002/49/EC relating to the **Assessment and Management of Environmental Noise**. Official Journal of the European Communities; 2002. No. L 189.

EVEREST. F.A. **Máster Handbook of acoustics**, four edition, 2001.

EXPOSURE TO NOISE (WG-AEN): **“Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure ”**– version 2, page 1-129, 13th January 2006.

FABIO CAMPANA BLOG -<http://www.fabiocampana.com.br/2012/07/luciano-ducci-anuncia-revitalizacao-da-avenida-manoel-ribas/> pesquisa feita 19/12/2012 as 09:16

FIEDLER, P.E. **Avaliação Da Poluição Sonora Ambiental Gerada Pelo Ruído Rodoviário Na Cidade De Curitiba.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2013.

GAZETA DO POVO, <http://www.toaldotulio.com.br/2011/02/16/luciano-ducci-entrega-obra-da-toaldo-tulio-e-comunidade-aprova-a-revitalizacao/> pesquisa feita 19 de dezembro de 2012 às 09:00.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle.** 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 676 p., 2000.

HARRIS, C. M. **Handbook of noise control.** Londres: McGraw-Hill Book Company, 1979.

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

HASSAL. J.R. and ZAVERI.K. **Acoustic noise measurements, Bruel & Kjaer,** four edition, 1979.

IBGE - **Censo Demográfico 2000 e 2010 (Sinopse versão preliminar),** IPARDES, IPPUC/Banco de Dados (Ana Amélia Camarano - Demógrafa)

IPPUC - **Curitiba Digital – Edição 2006/CD-ROM,** do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC.

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SNADERS, J. V.

Fundamentals of Acoustics. 3 ed. New York: Wiley Interscience Publication, 560p., 1982.

LEIS MUNICIPAIS — Lei Municipal 10625 (2002), disponível em <http://www.leismunicipais.com.br/legislacao-de-curitiba/883176/lei-10625-2002-curitiba-pr.html> , acesso em 14 de fevereiro de 2013 às 10:12.

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,

LI, B., TAO, S. **Influence of expanding ring roads on traffic noise in Beijing City**. Applied Acoustics, 2003.

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

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

MURPHY E., KING E.A. **Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications**. Environment International 36 (2010) 290–298.

NARDI A, S.L.V, **Mapeamento sonoro em ambiente urbano, estudo de caso: área central de Florianópolis**. Dissertação (Prós graduação em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

OROZCO-MEDINA, M.G., FIGUEROA-MONTAÑO, A. **Urban noise and transport as a strategy of environmental quality**, 2nd Pan-American and Iberian Meeting on Acoustics, 160th ASA meeting, 7º Congress FIA, 17º Congress IMA, ISSN: 0001-4966, Cancún, México, November 2010.

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.

PINTO F.A.N.C, MARDONES M.D.M, **Noise mapping of densely populated neighborhoods - example of Copacabana, Rio de Janeiro—Brazil**. Environmental Monitoring and AssessmentT, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA ,Lei nº9.800 - **Sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba** de 03 de janeiro de 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Plano Municipal de regularização fundiária em áreas de preservação permanente**, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba**, disponível em: <http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/legislacao-zoneamento-smu-secretaria-municipal-do-urbanismo/220>> acesso em 14 de fevereiro de 2013 às 12: 56.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA – **História de Curitiba**, disponível em <http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/historia-fundacao-e-nome-da-cidade/207> acesso em 04 de fevereiro de 2013 às 10:39.

NORMA REGULADORA NR-15, **Anexo 1** – Limites de Tolerância para ruído contínuo ou Intermitente n.3.214, 1978.

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, 2010.

SPAKE, A, PAGES, J-M, GRELOT, J, PARADINE, P, HOBAN, C, APPLEBY, G TABOROFF, J. **Roads and the environment: a handbook**, 1994.

SCHULTZ, T. J. **Community Noise Rating**. 2 ed. New York: Elsevier Applied Science, 415 p., 1972.

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

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). **Résumé d’Orientation des Directives de l’OMS Relatives au Bruit dans l’Environmental**. 2003

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). (BERGLUND B.; LINDVALL, T.SCHWELA D.) **Guidelines for community noise..** Disponível em: < <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf> /> acesso em 14 de fevereiro de 2013 às 11:18.

ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B.; FERREIRA, J. A. C. **Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. Applied Acoustics**, v. 63, p. 351-358, 2002.

ZANNIN, P.H.T.,SANT´ANA, D.Q.**Noise Mapping at different stages of a freeway redevelopment projet – A case study in Brazil.** Applied Acoustics, 2011.

ZANNIN, P. H. T. ENGEL, M. S., FIEDLER, P.E.K., BUNN, F. **Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil.** Applied Acoustics, 2012

APENDICE 1 - TABELA DE DADOS MEDIDOS EM CAMPO

Ponto	Medidor	Local	Data	Hora inicial	Hora final	Tempo de medição em minutos	Nº Veículos motocicletas	Nº Veículos leves	Caminhões leves	Nº Veículos pesados	LAeq	LAFmax	LAFmim
0	2237	Av Toaldo Tulio próx. Viaduto da BR 277	13/03/2013	09:30:46	09:45:56	15:10	44	2160	68	36	69,5	84,8	57,4
1	2250	Av V. Toaldo Tulio - próx. Ao posto BR/ Viaduto	23/01/2013	09:45:13	10:00:13	15:00	132	1728	48	12	72	91,3	50,1
2	2237	Av V. Toaldo Tulio - próx. Ao Bs Colway	24/01/2013	14:25:52	14:40:55	15:03	48	1620	168	36	71,1	90,5	50,4
3	2238	Av V. Toaldo Tulio - próx. A Xiquita	24/01/2013	14:26:15	14:41:23	15:08	48	1620	168	36	72,2	96,7	47,4
4	2238	Av V. Toaldo Tulio - próx. Sionek	24/01/2013	14:51:18	15:06:21	15:03	108	1680	132	36	70,3	91,7	50,0
5	2237	Av V. Toaldo Tulio - próx. Casa de rodas	24/01/2013	15:00:03	15:15:08	15:05	108	1680	132	36	71,1	93,7	49,0
6	2238	Av V. Toaldo Tulio - próx. Trav. Elevada Locadora	24/01/2013	15:23:00	15:38:02	15:02	84	960	108	48	73,3	97,2	53,2

7	2237	Av V. Toaldo Tulio - próx. Wizard	24/01/2013	15:24:37	15:39:39	15:02	84	960	108	48	71,8	88,0	49,0
8	2237	Av V. Toaldo Tulio - próx. Posto policial	13/03/2013	09:55:55	10:10:57	15:02	92	1192	148	32	67,9	85,0	51,4
9	2237	Av V. Toaldo Tulio - próx. Colégio Acesso	29/01/2013	10:30:50	10:45:52	15:02	92	1192	148	33	68,2	83,6	51,6
10	2237	Av V. Toaldo Tulio - Panitutti/ veterinária	29/01/2013	10:53:55	11:08:57	15:02	84	1212	108	36	69,6	88,9	50,0
11	2237	Av V. Toaldo Tulio - próx Vinhos Santa Felicidade	29/01/2013	11:13:21	11:28:23	15:02	44	532	16	4	64,4	79,7	50,0
12	2237	Av. Manoel Ribas n:5263 prox. Clinica fraturas	13/03/2013	10:26:44	10:41:45	15:01	96	680	92	12	67,9	86,8	54,6
13	2237	Av. Manoel Ribas n:5263 prox. Ao Paraíso dos Passaros	31/01/2013	12:21:10	12:36:14	15:04	84	984	24	12	65,8	82,4	49,0
14	2237	Av. Veneto prox Hotel Tulip In	31/01/2013	11:32:28	11:47:31	15:03	92	1080	40	10	68,2	91,7	49,0
15	2237	Av. Manoel Ribas n:5039 prox. Antes da Rotatória sentido centro - bairro	31/01/2013	11:13:20	11:28:23	15:03	132	1176	132	24	69,2	87,8	49,0

16	2237	Av. Manoel Ribas n:4111 prox. Moveis Gramado, Castelo Trevizzo	31/01/2013	10:50:03	11:05:04	15:01	132	1176	132	24	71,7	87,0	49,0
17	2237	Av. Manoel Ribas prox. My Gardem Floricultura, entrada do parque barigui	31/01/2013	10:29:33	10:44:37	15:04	184	1716	124	31	71,6	87,9	51,4
18	2237	Av. Manoel Ribas n: 2548 prox. Hidroart Piscinas	31/01/2013	10:08:50	10:23:51	15:01	204	1700	92	23	70,0	86,8	51,8
19	2237	Av. Manoel Ribas prox. Verde Batel	13/03/2013	10:53:04	11:08:09	15:05	192	1520	92	32	71,2	92,1	49,0
20	2237	Av Manoel Ribas TNG	13/03/2013	11:14:44	11:29:42	07:58	80	840	62	14	66,3	80,5	55,0
21	2237	Av Manoel Ribas n: 750, prox Edificio Torres gemeas	31/01/2013	09:27:25	09:42:27	15:02	100	856	68	17	67,6	93,2	49,0

FONTE: A AUTORA, (2013)