



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica  
Programa de Engenharia Urbana

Sérgio Portella Prange

IMPACTO ACÚSTICO CAUSADO PELA OPERAÇÃO DO TÚNEL DE  
CHARITAS, NITERÓI

Rio de Janeiro  
2017

Sérgio Portella Prange

IMPACTO ACÚSTICO CAUSADO PELA OPERAÇÃO DO TÚNEL DE  
CHARITAS, NITERÓI

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Julio Cesar B. Torres

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2017

IMPACTO ACÚSTICO CAUSADO PELA OPERAÇÃO DO TÚNEL DE  
CHARITAS, NITERÓI

Sérgio Portella Prange

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA – ESCOLA POLITÉCNICA,  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA URBANA.

Aprovada por:

---

Prof. Julio Cesar Boscher Torres, D.Sc.

---

Prof. Jules Ghislain Slama, Ph.D.

---

Prof. Maria Lygia A. de Niemeyer, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
DEZEMBRO DE 2017

Prange, Sérgio Portella

Impacto Acústico causado pela Operação do Túnel de Charitas, Niterói/Sérgio Portella Prange. – Rio de Janeiro: UFRJ/POLI, 2017.

XII, 71 p.: il.; 29, 7cm.

Orientador: Julio Cesar B. Torres

Dissertação (mestrado) – UFRJ/POLI/Programa de Engenharia Urbana, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 60 – 64.

1. Ruído Ambiental e Urbano. 2. Poluição Sonora. 3. Simulação Acústica. 4. Engenharia Urbana. I. Torres, Julio Cesar B.. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, POLI, Programa de Engenharia Urbana. III. Título.

*A minha família, presente de  
Deus.*

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer a tantos, alguns listados abaixo. Não necessariamente na ordem aqui expressa, mas certamente porque de alguma forma me incentivaram e me auxiliaram nesta árdua tarefa, executada ainda de forma concomitante com as responsabilidades de minha ocupação profissional.

À minha família, incentivo diário que Deus me deu nesta vida, ora através de um dos meus dois irmãos, ora por minha irmã e sempre por meio de minha mãe.

Ao Gabriel Perez, que me incentivou a começar de imediato esta nova etapa, em um momento que planejava postergá-la.

Ao Jones Duarte, que continuamente me incentivou a iniciá-la e também a concluí-la, sempre de forma digna.

Aos meus colegas, Marcos, Vinícius, Jaqueline, Lucy, Sérgio e Leila, amigos que Deus me deu e que me estimularam, e muito, neste esforço contínuo.

Ao Júlio, orientador sempre presente.

À Renata Rocha e Lygia Niemeyer, pela presteza em me auxiliar nesta conquista.

Ao Fernando Pinto, especialista que disponibilizou o programa e um pouco de seu conhecimento.

A cada amigo, que de alguma forma e em algum momento me ajudou e me incentivou a mais esta conquista.

A Deus sempre, que não atenta para a exiguidade de minha vida, mas me trata como único, inclusive na perseguição de meus sonhos, todos tão pequenos aos seus olhos.

## RESUMO

PRANGE, Sérgio Portella. **Impacto Acústico causado pela Operação do Túnel de Charitas, Niterói.** Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado). Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

O crescimento das cidades implica em soluções para o deslocamento, através da construção de viadutos, túneis e vias expressas. Contudo, o ruído excessivo é usualmente desprezado por causa de sua invisibilidade e do retardamento de seus efeitos nocivos. Em 2017, na cidade de Niterói, foi construído um túnel para reduzir a distância entre duas regiões. Esta pesquisa analisa o impacto da operação do túnel em uma área predominantemente residencial sob os aspectos do ruído urbano, através de medições locais e de simulação acústica. Foram gerados mapas de ruído da área antes e após a intervenção urbana. Os níveis de pressão sonora obtidos foram comparados com os limites definidos por lei e pelos organismos de saúde. Verificou-se que os valores limítrofes foram ultrapassados. As simulações permitiram, ainda, medir a amplitude e área de aplicação deste impacto acústico. A pesquisa aponta também para outras inconformidades do projeto, sob a visão da engenharia urbana, onde, no intuito de se resolver a questão da mobilidade urbana, outros problemas são criados.

Palavras-chave: Ruído Urbano, Poluição Sonora, Simulação Acústica, Engenharia Urbana.

## ABSTRACT

PRANGE, Sérgio Portella. **Acoustic Impact caused by Charitas tunnel operation, Niterói city**. Rio de Janeiro, 2017. Masters Thesis. Urban Engineering Program, Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

The city growth implies solutions for mobility through construction of viaducts, tunnels and expressways. But noise is usually forgotten for its invisibility and for the delay of its harmful effects. In 2017 in Niteroi city a tunnel was built to reduce distance between two regions. This research analyses the tunnel operation impact in an predominantly residential area in the urban noise aspect through local measurements and acoustic simulation. It was generated the area noise map before and after this urban interveticion. Noise pressure level obtained were compared then with limits required by the law and by health organizations. It was verified that the border values have been exceeded. The simulations yet allows to measure amplitude and application area of noise impact. The research also points to others nonconformities in the project through urban engineering vision where, in order to solve the urban mobility issue, others problems are created. Palavras-chave: Urban Noise, Noise Pollution, Acoustic Simulation, Urban Engineering.



# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Projeto de Mobilidade da Região Oceânica . . . . .	2
1.2 Desenvolvimento da Região Oceânica . . . . .	3
1.3 Motivação . . . . .	5
1.4 Objetivos . . . . .	6
1.4.1 Objetivos Específicos . . . . .	7
1.5 Metodologia . . . . .	7
1.6 Estrutura da Dissertação . . . . .	7
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	<b>9</b>
2.1 Avaliação do Ruído . . . . .	9
2.2 Impacto do Ruído no Ser Humano . . . . .	12
2.3 Legislação sobre Ruído . . . . .	14
2.4 Ruído Urbano . . . . .	17
2.4.1 O Ruído Rodoviário . . . . .	18
2.4.2 Influência da pavimentação no ruído . . . . .	19
2.5 Ferramentas para Avaliação do Ruído Urbano . . . . .	20
2.6 Avaliação dos Estudos Preliminares para Aprovação do Empreendi- mento . . . . .	22
<b>3 Elaboração dos Cenários Acústicos</b>	<b>23</b>
3.1 Metodologia . . . . .	23
3.2 Simulador Acústico . . . . .	23
3.3 Períodos de Avaliação . . . . .	24
3.4 Morfologia da Área . . . . .	24
3.5 Tráfego . . . . .	25
3.5.1 Intensidade e Distribuição Espacial . . . . .	25
3.5.2 Distribuição Temporal . . . . .	27

3.6	Medições do Nível de Pressão Sonora . . . . .	28
3.7	Validação do Modelo Acústico . . . . .	30
3.7.1	Pavimentação . . . . .	30
3.8	Supressão do Tráfego Ocasional . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>34</b>
4.1	Mapas de Ruído . . . . .	34
4.2	Nível de Ruído nos Receptores . . . . .	40
4.3	Avaliação do acréscimo energético . . . . .	42
<b>5</b>	<b>Análise Crítica</b>	<b>44</b>
5.1	Poluição Sonora . . . . .	45
5.2	Arborização . . . . .	45
5.3	Transporte Não Motorizado . . . . .	46
5.4	Acessibilidade . . . . .	47
5.5	Faixas de Rolamento Estreitas . . . . .	49
5.6	Influência da Velocidade . . . . .	50
5.7	Medidas de Mitigação . . . . .	52
5.7.1	Ruído . . . . .	52
5.7.2	Acessibilidade . . . . .	54
5.8	Avaliação Geral sobre a Implantação do Túnel . . . . .	54
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>56</b>
6.1	Limitações da Pesquisa . . . . .	57
6.2	Pesquisas Futuras . . . . .	58
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>60</b>
<b>A</b>	<b>Fotos dos Pontos de Medição</b>	<b>65</b>

# Lista de Figuras

1.1	Região Oceânica. FONTE: Google Earth, acesso em mai/2016. . . . .	3
1.2	Localização da Área de Estudo. FONTE: Google Earth, acesso em out/2015. . . . .	5
2.1	Curvas de Ponderação . . . . .	11
2.2	NR-15: Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente. . .	12
3.1	Curva de Distribuição do Tráfego. . . . .	27
3.2	Localização dos Pontos de Medição. FONTE: Google Earth, acessado em out/2015. .	28
3.3	Influência do período de amostragem nas medições e no NPS (ponto 9). . . . .	29
4.1	Mapas de ruído - 24h: cenários (a) atual e (b) sucessivo à intervenção. 35	
4.2	Mapas de ruído - Dia: cenários (a) atual e (b) sucessivo à intervenção. 37	
4.3	Mapas de ruído - Tarde: cenários (a) atual e (b) sucessivo à intervenção. 38	
4.4	Mapas de ruído - Noite: cenários (a) atual e (b) sucessivo à intervenção. 39	
4.5	Avenida do receptor 3 - (a) antes e (b) após as intervenções. . . . .	41
4.6	Acréscimo sonoro promovido pela intervenção: (a) 24 horas e (b) Noite. 43	
5.1	Região pacata e sem movimento. . . . .	44
5.2	Ausência de Árvores nas Vias. . . . .	45
5.3	Ciclovias Estreitas. . . . .	46
5.4	Situações de descontinuidades na ciclovia. . . . .	47
5.5	Interferências no Passeio. . . . .	48
5.6	Calçamento Descontínuo. . . . .	48
5.7	Faixas de Rolamento Estreitas. . . . .	49
5.8	Mapa de ruído para o cenário sucessivo, considerando a velocidade de 60 km/h nas vias arteriais: (a) período diurno e (b) período noturno. 51	
5.9	Mapa da diferença energética de ruído (a) com pavimentação asfáltica de melhor qualidade e (b) com asfalto tradicional local. . . . .	53
A.1	Localização dos Pontos de Medição. FONTE: Google Earth, acessado em out/2015. .	65
A.2	Ponto de medição 1 . . . . .	66

A.3	Ponto de medição 2 . . . . .	66
A.4	Ponto de medição 3 . . . . .	67
A.5	Ponto de medição 4 . . . . .	67
A.6	Ponto de medição 5 . . . . .	68
A.7	Ponto de medição 6 . . . . .	68
A.8	Ponto de medição 7 . . . . .	69
A.9	Ponto de medição 8 . . . . .	69
A.10	Ponto de medição 9 . . . . .	70
A.11	Ponto de medição 10 . . . . .	70
A.12	Ponto de medição 11 . . . . .	71

# Lista de Tabelas

2.1	Nível de Critério de Avaliação para ambientes externos, em dB(A) . . .	15
2.2	Comparação entre os limites de NPS definidos na legislação de Niterói e os definidos na legislação federal. . . . .	16
2.3	Comparativo do Custo de Pavimentação . . . . .	20
3.1	Períodos de Avaliação . . . . .	24
3.2	Avaliação da Pavimentação conforme Medição Sonora . . . . .	30
3.3	Validação do Modelo Acústico . . . . .	32
3.4	Supressão do Tráfego Pesado Ocasional da Obra . . . . .	32
4.1	NPS nos receptores. . . . .	40
5.1	NPS nos receptores no período <i>Dia</i> . . . . .	52
5.2	Mitigação- Pavimentação de Qualidade Superior. . . . .	54

# Capítulo 1

## Introdução

A partir do século XX, observa-se um crescimento exponencial da população urbana, o inchamento das cidades e a criação de conglomerados urbanos. Nesse contexto, o aumento da população urbana agrava a demanda por deslocamentos nas cidades, que, dependendo do modelo de desenvolvimento adotado, pode optar por sistemas de transportes coletivos, individualizados ou integrados, onde cada modelo possui vantagens e desvantagens em relação à eficiência energética, sustentabilidade, auto-financiamento, capacidade de pessoas, poluição, entre outros.

Diversos projetos de mobilidade surgem, então, no intuito de resolver este moderno problema urbano, reduzindo o tempo dos percursos através da construção de viadutos, pontes e túneis. Ainda neste interesse, sistemas de transporte de pessoas em massa são criados, tais quais o metrô e, mais atualmente, o sistema *Bus Rapid Transit* (BRT), além do incentivo aos sistemas de transporte não motorizados, como a bicicleta e a caminhada, através de ciclovias e calçadas fartas e arborizadas.

Todos esses projetos visam reduzir as distâncias físicas para deslocamento ou mesmo incentivar o habitante a deixar seu carro na garagem. Reduzem, assim, os engarrafamentos, e, com isso, a poluição ambiental. Promovem ainda uma maior interação social, ao se trocar o transporte motorizado individual por transporte coletivo de qualidade ou mesmo transporte individual não motorizado.

Porém, o ruído não é devidamente considerado na elaboração desses projetos. Diversos impactos negativos na acústica ambiental surgem, decorrentes da falta de um planejamento integrado na elaboração destas intervenções no ambiente urbano.

Conforme constatação da Associação Internacional Permanente de Congressos Rodoviários – PIARC (*Permanent International Association of Road Congresses*), fundada em 1909 e que reúne as administrações rodoviárias de 121 nações e com membros em mais de 140 países, a poluição sonora decorrente do tráfego rodoviário é a que tem demonstrado maior crescimento. Isto decorrente da combinação da intensificação da urbanização, aumento da demanda por transporte motorizado e planejamento ineficiente do uso do solo [39].

A Organização Mundial da Saúde (OMS) considera a poluição sonora na segunda colocação, atrás apenas da poluição atmosférica, como a maior causadora de doenças. Diferentemente do conceito ainda resistente na sociedade, a OMS considera a poluição acústica uma questão de saúde pública. Este conceito tem se alastrado em meio aos países desenvolvidos, preocupados inclusive com os elevados gastos dos seus sistemas de saúde pública nas tentativas de minimizar alguns de seus malefícios à saúde dos cidadãos. Tal apreensão é visível na contemporânea criação de leis de medição e contenção da poluição sonora e através ainda das inúmeras pesquisas científicas na área de acústica ambiental produzidas ultimamente.

Esta pesquisa foi realizada em um momento no qual se faz uso de tecnologias diversas para se reduzir as distâncias e o tempos de deslocamento, principalmente urbano, ao mesmo tempo em que o antígeno ruído é apregoado pelos organismos de saúde como grande causador de doenças e prejuízos à sociedade. Enquanto nos países desenvolvidos já é uma realidade, nas nações em desenvolvimento o combate à poluição acústica ainda é incipiente e controverso. Diante de recursos escassos, o embate ao ruído excessivo é entendido por modismo ou apenas uma preocupação com o bem estar e conforto urbano. Não é priorizado como questão de saúde pública, em que realmente consiste. Não é diferente na cidade de Niterói, onde um extenso projeto de mobilidade urbana está em andamento.

## **1.1 Projeto de Mobilidade da Região Oceânica**

Um grande projeto de mobilidade urbana está em execução na cidade de Niterói. Este promete facilitar e trazer agilidade ao transporte coletivo de todo o município. Porém, seu principal impacto será nos bairros das praias oceânicas, que são constituídos por casas residenciais de alto padrão e distantes do centro comercial, dos estaleiros e da ponte de ligação com a capital estadual.

O projeto, composto por vias exclusivas para ônibus e ciclovias, reduzirá o tempo de deslocamento do conjunto de bairros que formam a região oceânica até o bairro de Charitas, onde já opera uma estação hidroviária de interligação à cidade do Rio de Janeiro. Minimizará consideravelmente o problema de mobilidade urbana nessa região da cidade, aproximando os bairros da região oceânica à capital fluminense e ao centro da cidade de Niterói.

Para isso, o morro do Preventório, situado entre Charitas e o bairro limítrofe da região oceânica - Cafubá, será transposto pela escavação de um túnel. Esta passagem subterrânea, além de criar uma terceira via de acesso ao centro da cidade e à ponte Rio-Niterói, reduzirá de 14,0 km para 1,2 km o percurso Cafubá - Charitas, onde há conexão hidroviária ao centro do Rio de Janeiro. Sua abertura no lado da região oceânica é em Cafubá, próximo à Lagoa de Piratininga, conforme apresentado na

figura 1.1.



Figura 1.1: Região Oceânica. FONTE: Google Earth, acesso em mai/2016.

O projeto prevê o alargamento de ruas, de forma a comportar uma via exclusiva de ônibus e duas para os automóveis em geral. Este corredor exclusivo terá uma extensão de 11,2 km com 13 estações para embarque e desembarque, sendo uma delas interligada à rede hidroviária [3].

## 1.2 Desenvolvimento da Região Oceânica

Niterói é uma cidade de porte médio, antiga capital do Estado do Rio de Janeiro até o ano de 1975, e vizinha da capital federal até a inauguração de Brasília. Por estes motivos, foi alvo de investimentos urbanos pioneiros no país, como iluminação pública, abastecimento de água, bondes elétricos, barcas a vapor e estradas de ferro. Posteriormente, a implementação de esgotamento sanitário e saneamento básico, o alargamento de suas avenidas e ruas e a construção de parques e praças, mantiveram a então capital do estado entre as mais desenvolvidas do país. Com a construção da terceira maior ponte do planeta em 1974, ponte Presidente Costa e Silva, se tornou mais rápido vencer o percurso do centro do Rio de Janeiro à cidade de Niterói do que do centro da capital a muitos de seus próprios bairros.

A cidade é detentora do 7º maior Índice de Desenvolvimento Humano, entre



os 5.570 municípios de todo o país, com 0,837. É a 2ª cidade de maior renda per capita (R\$ 3.008,64 por habitante) e a 3ª cidade de maior receita domiciliar do país (R\$ 9.494,79 por domicílio). Detém a 29ª colocação entre os municípios brasileiros no quesito Produto Interno Bruto. Apesar da proximidade da capital do estado, onde boa parcela da população trabalha, Niterói possui vida própria, obtida com o desenvolvimento da construção naval e do comércio local.

A cidade está ainda na terceira posição estadual e 33ª nacional, quanto aos maiores salários e outras remunerações percebidas. Possui 43% de sua população ocupada, estando na posição 138º entre as 5.570 cidades brasileiras. No ranking de domicílios com rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa, o município se encontra na 4.782ª colocação nacional, demonstrando baixo percentual de domicílios em alta pobreza. Todos estes, dados do ano de 2015.

Sua área total é de 133.919 km<sup>2</sup>, correspondente a 0,30% da área do Estado e onde responde por 3% da população do mesmo, com densidade demográfica de 3.640,8 habitantes/km<sup>2</sup>. Abrigando uma população de 487.562 habitantes em 169.162 domicílios, a cidade tem registrados 184.031 veículos de passeio. Observa-se, então, uma média superior a um veículo por domicílio e de um veículo para cada 2,6 habitantes. Com tantos veículos, o trânsito com seus frequentes congestionamentos e aborrecimentos são inevitáveis. [24, 28, 41].

Apesar de Niterói ter sido fundada em 1573, a região oceânica teve seu primeiro loteamento importante datado de 1946, o Vale Feliz. Tratava-se do loteamento da primeira gleba da Fazenda Engenho do Mato, grande área produtora de açúcar. Porém os lotes permaneceram desocupados, em sua maior parte, até a inauguração da Ponte Presidente Costa e Silva, em 1974, interligando os municípios de Niterói e Rio de Janeiro. Houve, então, uma intensificação da produção imobiliária no município de Niterói, forçando a ocupação da região oceânica. No início da década de 1980 surgiram os “loteamentos especiais da região oceânica”, baseados na deliberação nº 2.705 de 1970 da prefeitura. Eram condomínios horizontais, com casas de elevado padrão, que justificaram a maior taxa de crescimento demográfico do município na época. [35].

Trata-se de uma região de ocupação recente, constituída basicamente de casas residenciais. O comércio existente objetiva atender aos moradores da região e está localizado no principal eixo viário (figura 1.1), o qual permite acessar a região e onde há maior fluxo de veículos e pessoas.

A região oceânica é composta por onze bairros, com população aproximada de 69.000 habitantes em cerca de 22.000 domicílios, conforme Censo 2010. Foi observado na década de 2000 a 2010 um crescimento populacional de 23% nesta região, enquanto o crescimento demográfico da cidade foi de 6%, para o mesmo período. Apesar desta elevada taxa, ainda há um alto potencial de crescimento, pois a região

é constituída basicamente de casas, com baixa relação de habitantes por  $\text{km}^2$  quando comparado ao valor médio da cidade. [15, 28].

Cercada por montanhas, são poucas as opções viárias de acesso da região oceânica à região central da cidade e à ponte Rio-Niterói. As vias de acesso são, atualmente, a estrada Francisco da Cruz Nunes e a estrada Pacheco de Carvalho. Esta última se limita a duas pistas em sentido único, devido ao seu traçado sinuoso, de alto risco, em meio ao relevo.

No centro da cidade, além do comércio, hospitais e estaleiros, há a principal estação hidroviária, responsável pela travessia diária de cerca de 100.000 pessoas em ambos os sentidos Rio-Niterói. Cabe ressaltar que um terço da população niteroiense trabalha em outro município, sendo o Rio de Janeiro o principal polo atrativo [3].

### 1.3 Motivação



Figura 1.2: Localização da Área de Estudo. FONTE: Google Earth, acesso em out/2015.

A área de estudo situa-se no bairro de Cafubá, entre a Lagoa de Piratininga e o Morro do Preventório, conforme pode ser visto na figura 1.2. É uma área predominantemente residencial e, além de não ser uma área de passagem para as praias, encontra-se relativamente afastada do principal eixo viário: a estrada Francisco da Cruz Nunes. No início desta pesquisa, no ano de 2015, apenas as ruas principais eram pavimentadas. Ainda assim eram estreitas e não comportavam três faixas de tráfego.

O tráfego da área é composto de reduzido volume de veículos de passeio particulares. A inexistência de comércio, e mesmo de linha de ônibus municipal, justificam esta calmaria, aferida nas medições realizadas para esta pesquisa.

O silêncio é predominante. Percebe-se uma viva fauna, mesmo nas árvores das ruas, através do canto de pássaros e presença de macacos mico. Corrobora para a presença desta fauna a proximidade da mata do Morro do Preventório (figura 1.2).

Esta alteração urbana trocará o atual pacato tráfego local de carros de passeio em ruas de terra pelo tráfego de ônibus, inclusive do sistema BRT, e carros de todos os onze bairros da região oceânica (figura 1.1).

Uma área inteiramente residencial, com 3.583 habitantes em 1,7 km<sup>2</sup>, receberá o fluxo diário de toda a região oceânica, onde moram 68.746 habitantes, impactando na vida de famílias que lá se instalaram à procura de bem estar e afastamento do ruído urbano [28].

A principal hipótese, motivadora deste estudo, é que o nível de ruído atual seja elevado a valores superiores aos indicados pelos organismos de saúde e pelas normas vigentes. Muito além de desconforto ao bem estar, a exposição excessiva à pressão sonora traz sérios problemas à saúde humana.

## 1.4 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é analisar os cenários acústicos atual e de sucessão à realização da intervenção urbana proposta pela prefeitura, na área de estudo delimitada na figura 1.2.

Dessa forma, pretende-se abordar diversos aspectos do ruído pela ótica da engenharia urbana. Dentre os quais incluem-se:

- Discussões sobre a importância da existência de leis regulamentadoras e de efetivo e contínuo esforço da administração municipal para o controle do ruído urbano;
- Apresentação do impacto da exposição ao ruído à saúde humana;
- Mostrar a incipiência em controle de ruído urbano no contexto nacional;
- Mostrar a necessidade da visão holística da engenharia urbana na execução de projetos urbanos para se alcançar as metas propostas pelos mesmos e se minimizar a execução de inconformidades;
- Mostrar a necessidade da preocupação acústica na realização de projetos de intervenção urbana.

### 1.4.1 Objetivos Específicos

- Elaborar mapa de ruído da área de estudo;
- Identificar a região mais crítica do impacto acústico;
- Analisar criticamente o empreendimento na visão holística da engenharia urbana;
- Propor medidas de mitigação na área da engenharia urbana.

## 1.5 Metodologia

A análise dos cenários será realizada através da elaboração e comparação de mapas de ruído.

Primeiramente será realizada a caracterização física da área de estudo, com a digitalização das informações da mesma. Tanto a morfologia como o tráfego de veículos nos diversos períodos horários, serão lançados em um simulador acústico, o *Cadna-A*, que, através de um modelo acústico virtual da área, gerará os mapas de ruído necessários. Comparações dos valores gerados com medições pontuais, estrategicamente localizadas e efetuadas em campo, servirão para calibrar e validar a modelagem. Os valores expostos no mapa de ruído gerado serão, então, comparados com os valores de referência regulamentados.

Após validado o modelo do cenário acústico atual, suas características serão alteradas conforme o projeto de intervenção viária e de urbanização da prefeitura. Para esta sua nova condição, sucessiva à intervenção urbana, serão elaborados mapas de ruído de cenários “futuros” ou prováveis.

## 1.6 Estrutura da Dissertação

No capítulo 1 é descrita a importância da região no contexto nacional, sua contextualização histórica e geográfica. A área de estudo é apresentada. Descreve-se a motivação e o objetivo desta pesquisa. A metodologia adotada é explicada de forma resumida e é apresentada a estrutura da dissertação.

No capítulo 2 define-se de forma resumida o ruído, sua mensuração e impacto na saúde humana. Abordam-se as legislações e seu impacto na sociedade nas esferas mundial, nacional, estadual e municipal. Analisa-se brevemente o ruído urbano e sua composição. Apresentam-se as ferramentas para avaliar o ruído urbano e analisam-se os estudos realizados para o projeto em foco.

No capítulo 3 são realizadas as modelagens do cenário acústico atual, antes das intervenções urbanas projetadas, e do cenário de sucessão às intervenções. Explica-se, de forma detalhada, todo o procedimento realizado para obtenção, calibração e validação do modelo acústico digital da área de estudo e obtenção dos mapas de ruído. Todas as considerações realizadas no procedimento são descritas, de forma a permitir sua repetição.

No capítulo 4 faz-se, então, uma análise dos mapas de ruído e dos mapas com o acréscimo de energia sonora gerada pela intervenção. Também se analisa a diferença de ruído percebida nos pontos receptores, alocados na modelagem computacional da área de estudo.

No capítulo 5 é apresentada uma análise crítica das alterações urbanas efetuadas pelo empreendimento, sob a ótica da engenharia urbana, mostrando as inconformidades observadas na pesquisa. São sugeridas, ainda, medidas de mitigação, bem como a melhoria trazida pelo projeto, estimando-se a quantidade de beneficiados e os prejudicados pela operação do túnel.

No capítulo 6 é apresentada a conclusão, mediante os resultados expostos no capítulo anterior. São apresentadas também as limitações deste estudo e sugestões para pesquisas futuras.

# Capítulo 2

## Fundamentação Teórica

### 2.1 Avaliação do Ruído

Ruído ou barulho é comumente definido como um som indesejável ou desagradável. Trata-se de uma definição subjetiva, onde um som agradável a uma pessoa pode ser um barulho para outra, na medida que lhe seja desagradável ou que não lhe traga informação. Agradável ou não, o som pode ser danoso à saúde humana, conforme suas características físicas. Tem-se, então, por ruído qualquer som que estimule o sistema auditivo humano.

O som é uma onda mecânica que, em meio compressível, transporta energia sem transportar matéria. Tem como características físicas a amplitude, a frequência, a velocidade de propagação e a velocidade da partícula.

A intensidade do som percebida pelo ouvido humano, ou volume, é dada pela pressão exercida pela onda sonora no sistema de audição humano. Esta pressão é proporcional à amplitude da onda sonora e varia com a distância entre a fonte e o receptor.

As características físicas do meio de propagação, espaço físico percorrido da fonte emissora ao receptor acústico, determinam a forma como será amortizada a amplitude da onda sonora.

As ondas sonoras também são bastante influenciadas por fenômenos de difração e reflexão. As superfícies circunvizinhas influenciam no nível de ruído percebido no receptor. Não apenas o material constituinte das superfícies, mas também sua localização, seu posicionamento e o espaçamento entre as mesmas determinam tal interferência.

A pressão  $p$  exercida por uma onda sonora no sistema auditivo do homem é medida em Pascal ( $Pa = N/m^2$ ), sendo a energia sonora proporcional ao quadrado desta pressão. A relação logarítmica entre a energia da onda incidente e a menor energia sonora percebida pelo ser humano é denominada Nível de Pressão Sonora

(NPS ou  $L_p$ ), conforme apresentado na Eq.2.1, onde  $p_0$  é a menor pressão capaz de sensibilizar o ouvido humano.

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

Dessa forma, qualquer valor de pressão acima do limiar inferior da audição produzirá um valor positivo de nível de pressão sonora.

O NPS é medido em escala logarítmica, visto que a faixa dos valores de pressão capazes de estimular o sistema auditivo humano é extremamente ampla, variando de 0,00002 Pa a 60 Pa.

Por se tratar de uma escala logarítmica, uma variação de 3 dB no nível de pressão sonora indica que houve duplicação ou redução a metade da potência sonora. Um acréscimo de 10 dB indica que a grandeza aumentou para dez vezes o seu primeiro valor.

Para avaliar o ruído durante um intervalo de tempo  $T$  utiliza-se o nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ), definido na equação 2.2.

$$L_{eq} = 20 \log \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)}{p_0} dt \right) [dB] \quad (2.2)$$

Para se obter o  $L_{eq}$  a partir de  $n$  medições discretas de níveis de pressão sonora  $L_i$ , realizadas num período de tempo  $T$ , pode-se utilizar a equação 2.3 [1].

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) [dB] \quad (2.3)$$

No estudo de acústica ambiental, em especial nas pesquisas do ruído urbano, é necessário a utilização do nível de pressão sonora calculado para um período de tempo maior, em geral durante as 24 horas diárias. Esse nível é denominado nível equivalente Dia-Tarde-Noite (*day-evening-night*),  $L_{den}$ , e é dado pela equação 2.4, conforme proposto pela diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia [17]. Esta proposição tem por objetivo padronizar os indicadores de ruído, de forma a permitir a comparação do resultado de diferentes pesquisas científicas ao longo do tempo e referente a diferentes áreas de estudo.

$$L_{den} = 10 \log \left[ \frac{1}{24} \left( 12 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right] \quad (2.4)$$

onde  $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$  são indicadores dados pelo nível de pressão sonora equivalente para cada período de avaliação, respectivamente: dia, tarde e noite.

Na equação 2.4 são somados os níveis de pressão equivalentes dos três períodos de avaliação distintos: dia ( $L_d$ ) com 12 horas de duração, tarde ( $L_e$ ) com 4 horas de duração e noite ( $L_n$ ) com 8 horas. Percebe-se na equação 2.4 que são somados

aos níveis de pressão equivalentes da tarde e da noite, 5 e 10 dB, respectivamente, de forma a penalizar os períodos onde se faz necessário uma redução do NPS, para benefício da saúde humana. [29]

A equação 2.4 representa uma soma ponderada dos níveis de pressão sonora equivalente para três períodos. Contudo, geralmente cada período possui valores médios distintos, que podem variar conforme o local de estudo. Além da aplicação de penalidades de 5 e 10 dB para os períodos da tarde e da noite, que elevam os valores de  $L_{den}$ , esse tipo de indicador mascara ou “dilui” ruídos de curta duração e elevado nível por períodos de tempo longos. Dessa forma, ruídos em tempos curtos de avaliação, tais como passagens de veículos, aviões ou operações de obras, não são devidamente avaliados. Nesta pesquisa serão utilizados os indicadores  $L_d$  e  $L_n$  para avaliar individualmente o impacto sonoro em cada período.

O ouvido humano percebe apenas as ondas sonoras na faixa de frequências entre 20 Hz e 20.000 Hz. As ondas com frequências fora destes limites não sensibilizam o sistema auditivo humano, sendo inaudíveis ao homem.

As ondas sonoras audíveis não são percebidas de mesma forma pelo ouvido humano, dependendo da frequência da mesma. Duas ondas sonoras com um mesmo nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) podem sensibilizar o sistema auditivo de forma diferente, se possuírem frequências distintas.

No intuito de representar, de forma mais apropriada, a percepção do sistema auditivo humano aos estímulos sonoros, são adotadas as curvas de ponderação (A, B, C e D), conforme apresentado na figura 2.1. Estas ponderam, de forma diferenciada, as frequências medidas, simulando a percepção auditiva humana.

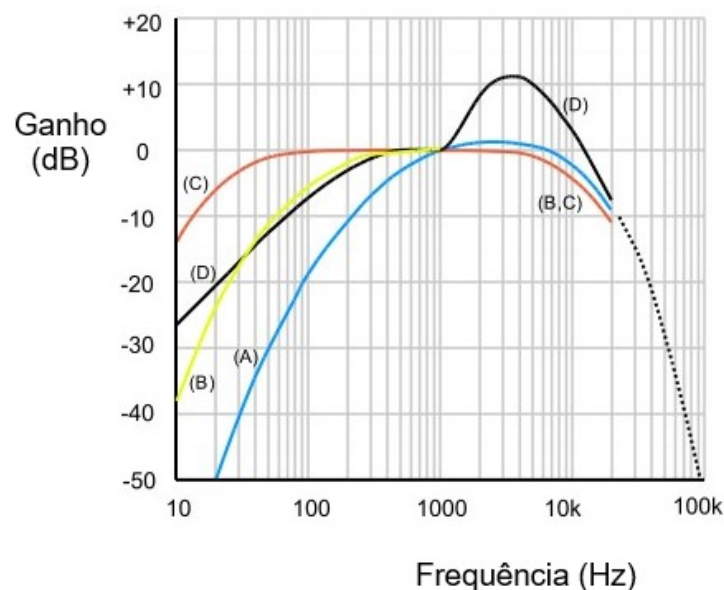


Figura 2.1: Curvas de Ponderação



Para esta pesquisa os valores de  $L_{eq}$ , calculados conforme a equação 2.2, serão sempre apresentados em ponderação A [dB(A)], devido às características do ruído urbano sob análise e conforme exigência das normas brasileiras.

## 2.2 Impacto do Ruído no Ser Humano

São muitos os impactos que a exposição excessiva ao ruído, seja este barulho, música ou som, causa na saúde humana: perda de memória, irritabilidade, disfunção cognitiva, hipertensão e perda temporária ou definitiva da audição [20].

O nível sonoro equivalente de 65 dB(A) é considerado, pela medicina preventiva, como o nível máximo ao qual um indivíduo pode se expor de forma continuada sem causar danos à sua saúde [8].

No Brasil, a Norma Regulamentadora NR-15 do Ministério do Trabalho, lei 3.214 de 1978 [12], define o período de tempo durante o qual o trabalhador pode ser exposto a ruído contínuo ou intermitente sem dano físico. São limites à exposição em ambiente de trabalho, visando a saúde do trabalhador. Não se trata aqui de conforto ou incômodo. Os valores devem ser medidos em decibéis, na curva de ponderação A e no circuito de resposta lenta. As leituras devem ser efetuadas com o medidor próximo ao ouvido do trabalhador. A figura 2.2 apresenta os limites determinados nesta norma.

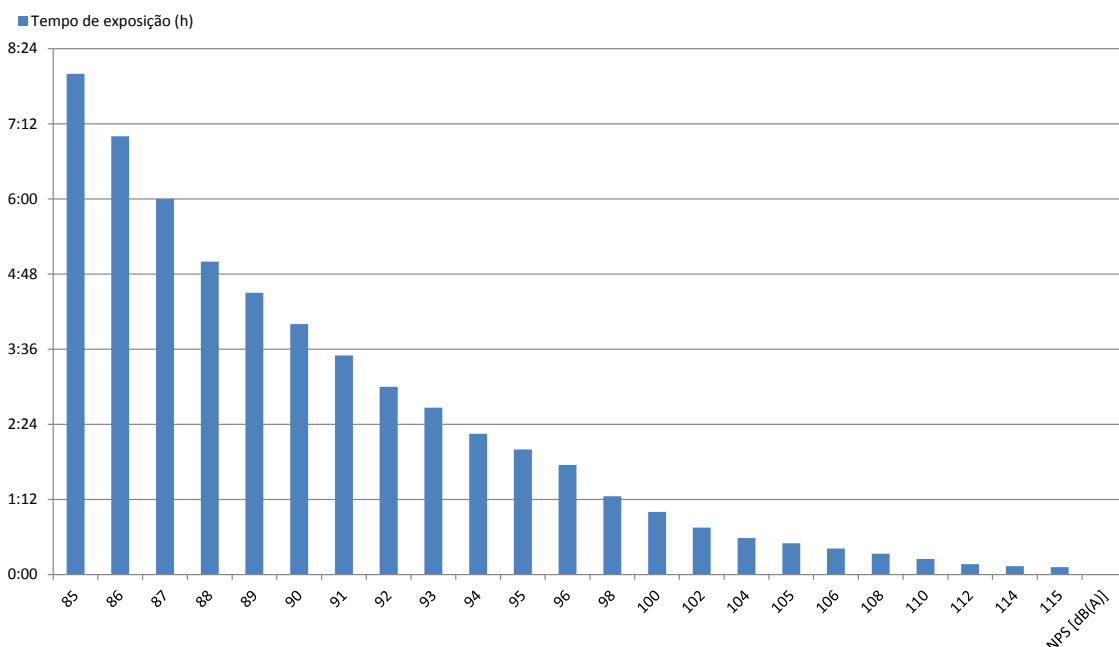


Figura 2.2: NR-15: Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.

Observa-se através da figura 2.2 que o ouvido humano pode ser submetido a um ruído de 85 dB(A) pelo período de 8 horas diárias, mesmo que não contínuas. Se

esta energia sonora for dobrada, este limite cairá para 5 horas diárias a 88 dB(A).

O impacto das ondas sonoras na saúde humana ocorre de forma integralizada. O sistema auditivo, apesar de ser capaz de perceber desde valores muito diminutos de pressão sonora ( $p_0 = 0,00008Pa$ ) e ser capaz de suportar valores extremamente elevados ( $60Pa$ ), ele se estressa de forma contínua. A figura 2.2 ilustra esta característica integralizadora, visto demonstrar que determinada energia sonora é inofensiva ao sistema auditivo por várias horas. Porém, a partir de determinado tempo decorrido, esta mesma pressão se torna prejudicial à saúde humana.

A Organização Mundial de Saúde (OMS), respaldada em análise de levantamento estatístico realizado na Europa, considera a poluição ambiental uma ameaça a saúde pública, e não apenas uma perturbação ambiental. No cálculo do indicador de anos de vida perdidos por morte prematura, incapacidade ou perda de saúde devido ao ruído ambiental (DALY's- "Disability-Adjusted Life Years"), chegou-se a um valor entre 1 e 1,6 milhão de anos de vida saudável perdidos anualmente na Europa Ocidental [36].

Em 2009, a OMS divulgou um documento com diretrizes sobre ruído noturno na Europa [37]. Nele especifica os efeitos na saúde humana do ruído devido aos voos noturnos e expõe critérios para a exposição ao ruído. Declara ainda o valor de 40 dB como o limite ideal para ruído noturno, de forma a não afetar a saúde humana. Inclusive dos mais vulneráveis, como crianças, idosos e doentes crônicos.

Os gastos com saúde, para se mitigar os efeitos maléficos originados pela elevada exposição a ruídos, são altos. Segundo pesquisa realizada por Schwela [45], a União Europeia gastou neste intuito em 2008 entre 0,3% e 0,4% do PIB, o que equivale a cerca de 12,5 trilhões de euros. Já no Japão o gasto alcançou entre 0,2% e 1,7% do PIB. Apesar da carência de dados confiáveis para estudos nesta área nos países em desenvolvimento, estima-se que percentuais bem mais elevados são dispendidos na tentativa de corrigir ou reduzir os efeitos causados pela exposição excessiva a ruídos. Nestes países há carência de indicadores e mesmo de políticas públicas que visem mitigação aos efeitos danosos do ruído.

Outros prejuízos decorrentes da poluição sonora são conhecidos, mesmo que não possam ser facilmente mensurados. São eles a desvalorização de imóveis, perdas na produtividade, custos decorrentes de morte prematura, dificuldade na aprendizagem infantil, em especial, mas também na aprendizagem adulta.

Para minimizar estes danos, e conseqüentemente, os custos reparatórios, é necessário haver uma legislação adequada e uma política governamental atuante.

Existem diversas pesquisas científicas avaliando o impacto acústico na Europa e no mundo. Em especial nos países desenvolvidos, onde os recursos são menos escassos e a resposta às demandas são mais rápidas. Porém utilizam distintos critérios avaliativos, o que torna impossível uma comparação temporal ou espacial através

dos mesmos. Arana [5] demonstra em seu estudo que o nível de ruído tem se reduzido na Europa. Isto decorrente de uma política de combate à poluição acústica, que envolve leis, normas e fiscalização comprometidos com os resultados.

## 2.3 Legislação sobre Ruído

A existência de uma legislação clara, objetiva e adequada para a redução da poluição sonora mostra-se, portanto, de suma importância.

Trata-se de um problema interdisciplinar, que abrange desde a adoção de tecnologias mais silenciosas para motores e revestimentos da construção civil, até mesmo o cuidado no desenho urbano. A altura, formato, localização das edificações, existência e posicionamento de vazios urbanos e de barreiras acústicas, a localização das rodovias - todos estes são fatores que podem amplificar ou atenuar o ruído urbano [26].

Na Europa, a partir de junho de 2002, através da Diretiva Europeia 2002/49/EC [17], a elaboração de mapas de ruído tornou-se obrigatória para conglomerados urbanos com mais de 250.000 habitantes [27].

A legislação brasileira sobre o tema ruído em comunidades tem como principal referência a NBR 10151, adotada como legislação federal brasileira em março de 1990, através da resolução CONAMA n° 001 (Conselho Nacional do Meio Ambiente) [9]. Esta definiu a poluição sonora como poluição do meio ambiente e tornou obrigatória, em todo o território nacional, a aplicação dos padrões de medição sonora e dos critérios de avaliação definidos na NBR 10151 como instrumentos de controle da poluição sonora:

“I - A emissão de ruídos, em decorrência de qualquer 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.

II - 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 10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.”

As normas NBR10151 [1] e 10152 [2] impõem limites aceitáveis de exposição ao ruído. A NBR 10151 define nível de ruído ambiente ( $L_{rA}$ ), nível de ruído corrigido ( $L_c$ ), ruídos com componentes tonais, ruído com caráter impulsivo e Nível Critério de Avaliação (NCA). Este último delimita o nível de ruído de acordo com o uso do solo e com o horário, determinando um NCA diurno e outro noturno para cada tipo de área, conforme apresentado na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Nível de Critério de Avaliação para ambientes externos, em dB(A)

<b>Tipos de áreas</b>	<b>Diurno</b>	<b>Noturno</b>
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

FONTE: ABNT, NBR 10151

No município de Curitiba, a lei 10.625, publicada em dezembro de 2002 [16], define o limite máximo permitido por zoneamento da cidade e a forma de punição aos infratores. Indica a forma de medição do ruído e segrega o dia em três períodos avaliatórios: dia, tarde e noite. Porém o faz de forma diversa ao indicado pela norma ISO 1996-1 [29], ao deixar os períodos vespertino e noturno com 3 e 9 horas de duração, respectivamente. Esta discordância com a norma dificulta comparações dos indicadores.

Na cidade de Belo Horizonte, o decreto 16.529 [7] regulamenta a legislação federal, determinando a punição e a forma de medição do ruído. Divide o dia em três períodos de avaliação. Promulga os limites permitidos em cada um dos três turnos diários para qualquer ponto do município, excetuando áreas com atividades mais sensíveis, como hospitais e escolas, e sendo mais permissível a atividades ruidosas, como a construção civil, desde que realizada em horário definido neste decreto. Determina ainda como limite máximo o acréscimo de 10 dB(A) ao nível de ruído de fundo existente no local, para qualquer fonte poluidora sonora cujo valor medido seja inferior aos limites estipulados para o período sob análise.

Em São Paulo, a lei 16.499 [52], aprovada em 20 de junho de 2016, obriga o governo municipal a elaborar o mapa de ruído da cidade, para os períodos diurno e noturno, com o objetivo de auxiliar o poder público na conscientização da população e na tomada de decisão para reduzir o ruído na cidade. Anteriormente a essa lei e já em vigor desde 1994, o Programa Silêncio Urbano (PSIU) [46], também paulistano, efetua a fiscalização para manutenção dos limites definidos através de leis municipais [47–51]. Estas últimas impõem limite de nível de ruído para os períodos diurno e noturno em estabelecimentos comerciais, industriais e, inclusive, obras e templos religiosos. Também são definidas a metodologia para medição e as devidas punições aos infratores.

Além de reduzir o nível de ruído, a atuação do governo executivo no cumprimento de uma legislação acústica adequada torna mais pacífica a convivência entre os cidadãos. Estudo realizado na cidade de Recife [4] demonstra que houve redução nas reclamações por incômodo sonoro, após atuação do governo executivo

para aplicação da lei regulamentadora CONAMA 001, através de efetiva fiscalização, principalmente nos horários não comerciais.

Em Pernambuco, a lei municipal 16.289/1997 [42] da capital e a lei estadual 12.789/2005 [38] determinam valores limítrofes para nível de pressão sonora conforme horário e local de ocorrência, além da punição aos infratores. Esta regulamentação é fundamental para o cumprimento da legislação federal CONAMA 001 e redução da poluição sonora.

Em Fortaleza, as leis municipais 8097/1997 [22] e 10644/2017 [21] registram os limites, a forma de medição e as punições aos infratores da norma de inibição à poluição sonora. Dividem o dia em dois períodos avaliativos com limites sonoros distintos: diurno e noturno. Para efeito de ruídos laborativos, de máquinas e geradores, o período diurno é das 6 às 18 horas. Para ruídos provindo de alto-falantes, bandas e demais fontes sonoras, o período diurno se encerra às 22 horas. Observa-se ainda que a lei municipal considera valores limítrofes superiores aos estipulados pela legislação federal, elevando os limites indicados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

No município de Niterói, as leis municipais nº 1968/2002 [32] e nº 2602/2008 [33] estabelecem os valores limites para emissão de ruído por qualquer atividade na região oceânica, segundo o seu zoneamento e segregando o dia em dois períodos avaliativos, dia e noite. Determinam ainda a forma de medição do ruído e a penalidade aos infratores. A tabela 2.2 compara os limites impostos pela legislação federal e pela lei municipal de niteroiense.

Tabela 2.2: Comparação entre os limites de NPS definidos na legislação de Niterói e os definidos na legislação federal.

zoneamento	Lei Municipal 1968/2002		Lei Federal CONAMA 001	
	diurno	noturno	diurno	noturno
residencial	55	50	50	45
mista- comércio local	65	60	55	50
mista- comércio maior porte	70	65	55	50

Percebe-se que a legislação municipal é menos conservadora que a lei federal, o que colocaria os seus cidadãos a uma sujeição a níveis de pressão sonora superiores aos indicados na lei federal. Tendo em vista que toda lei deve ser aplicada, a legislação mais permissiva se torna sem sentido.

Por se tratar de um problema multidisciplinar, faz-se necessário a existência de leis bem definidas quanto aos valores limites para cada região, a forma de medição do ruído e a punição aos infratores. Ainda assim, será inócua a lei se não houver uma forte vontade do poder executivo de criar e manter uma fiscalização efetiva, inclusive e em especial nos horários não comerciais.

## 2.4 Ruído Urbano

Segundo a PIARC (*Permanent International Association of Road Congresses*), o ruído proveniente do tráfego rodoviário é a principal fonte de ruído ambiental. Mapeamento realizado na Europa demonstrou que quase 67 milhões de pessoas, 55% da população residente em conglomerados urbanos com mais de 250.000 habitantes, são expostas diariamente a valores maiores que 55 dB  $L_{den}$  de ruído rodoviário. Este é um valor médio diário, que inclui a noite. Ainda este estudo revela que aproximadamente 48 milhões de pessoas são expostas a NPS superior a 50 dB  $L_n$  (apenas noturno) [39]. Segundo relatório emitido pela OMS [37], a partir de 40 dB  $L_n$  há efeitos maléficos na saúde, por perturbação no descanso noturno.

A OMS recomenda as seguintes medidas para controle da poluição sonora [39]:

- Monitoramento da exposição humana ao ruído;
- Redução, não apenas da quantidade de fontes emissoras sonoras, mas da emissão de cada fonte sonora;
- Consideração dos efeitos do ruído no planejamento da rede de transporte urbano e no uso do solo;
- Introdução de sistemas de monitoramento dos efeitos nocivos do ruído;
- Medição da efetividade das políticas de combate ao ruído na redução de seus efeitos nocivos e na exposição ao mesmo, bem como aprimoramento do ambiente sonoro;
- Adaptação das diretrizes da OMS às comunidades locais, para criar objetivos intermediários na melhoria da saúde humana;
- Adaptação das medidas de precaução para desenvolvimento sustentável do ambiente sonoro.

Conforme pesquisa realizada de forma distribuída ao longo de diversos bairros na cidade do Recife - Pernambuco, os maiores responsáveis por um aumento significativo do nível de pressão sonora em áreas urbanas são o fluxo de aeronaves na proximidade do aeroporto, o fluxo de veículos sobre pavimentação de concreto, o tráfego de ambulâncias, ônibus, motos, carros de som e os aparelhos sonoros de estabelecimentos comerciais [23].

Excluído o fluxo de aeronaves, que se trata de um problema localizado e sem aplicação na área de estudo, e desconsiderando-se ainda os aparelhos sonoros de estabelecimentos comerciais, que foge ao escopo desta pesquisa, todas as demais fontes geradoras de ruído são oriundas do tráfego rodoviário urbano. É perceptível

a importância da análise e discussão deste assunto para a redução do ruído nas cidades.

Analisando-se as fontes geradoras de ruído provenientes do tráfego e indicadas pela pesquisa acima, percebe-se que os ruídos provenientes dos carros de som e ambulâncias não estão diretamente ligados ao tráfego. Somente através da normatização e fiscalização poderão ser minimizados.

### **2.4.1 O Ruído Rodoviário**

Analisando-se a real fonte emissora de ruído de cada uma destas apresentadas acima, conclui-se que são duas as categorias relevantes de fonte do ruído rodoviário: o ruído decorrente dos motores dos veículos e o ruído proveniente do rolamento dos pneus sobre a pavimentação.

O ruído dos motores à explosão é inerente ao processo de transformação de energia utilizado. Automóveis com sistema de propulsão elétrico, silencioso, começam a chegar no mercado, mas ainda são novidade tecnológica. Graças à tecnologia aplicada e às exigências de mercado, os automóveis particulares modernos em geral possuem baixa emissão sonora, mesmo ainda utilizando motores à explosão. Também o governo federal, através das resoluções CONAMA 252 e 272 [10, 11], regulamenta a emissão sonora dos veículos fabricados para o tráfego urbano. Segundo pesquisa realizada por Pinto [40], apesar do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PRONCOVE) ter sido instituído em 1986 pelo CONAMA em âmbito nacional, o estado do Rio de Janeiro é o único a realizar programa de inspeção e manutenção dos veículos em uso, tendo iniciado em 1997. Embora o controle do ruído rodoviário faça parte do PRONCOVE, o programa de inspeção veicular fluminense não o contempla. Pinto propõe em seu estudo a execução da vistoria do ruído veicular nos já existentes postos de vistoria fluminenses.

As fontes geradoras de ruído indicadas pela pesquisa do Freitas [23] foram os ônibus e as motocicletas. Estas últimas pela falta de uma fiscalização em campo, visto ser comum a retirada ou troca do silencioso original de fábrica do veículo, para melhor visibilidade ou mesmo por modismo. Os ônibus, na sua maior parte, já são objetos de gestão pública indireta municipal ou estadual. Cabe efetiva vontade do governo na obrigação e fiscalização de troca dos ônibus em circulação por veículos mais modernos e silenciosos.

Quanto ao ruído proveniente do rolamento dos pneus sobre a pavimentação, é resultante das características geométricas da superfície do pavimento e do pneu. Contudo, no intuito de reduzir esta emissão sonora, a diversidade de superfícies de pavimento é sensivelmente superior à diversidade de superfícies possíveis de pneu [25]. Por isso os estudos são direcionados para se alterar as características geométricas

da pavimentação.

Observa-se que a pesquisa do Freitas [23] ressaltou o ruído decorrente da pavimentação em concreto. Esta é preferida onde há maior fluxo pesado, por menor necessidade de manutenção. O projeto municipal da cidade de Niterói, analisado neste trabalho, fez esta opção para as vias exclusivas do sistema BRT. Porém, já existem outros tipos de pavimentação mais resistentes que a pavimentação asfáltica tradicional e, portanto, mais adequadas ao tráfego pesado e que reduzem a emissão de ruído. Podem, inclusive, ser aplicadas sobre a pavimentação em concreto, através de fina camada [25, 31, 39, 44, 54].

## 2.4.2 Influência da pavimentação no ruído

Segundo Greer [25], as principais características que determinam o ruído gerado pelo rolamento dos pneus sobre o piso são as características do pavimento: a granulometria dos agregados da massa pavimentadora, a existência de vazios, entre outros. Pesquisa realizada por Brito [13] demonstrou a forte influência do tipo de pavimento na geração de ruído pelo tráfego urbano.

A pavimentação asfáltica tradicional, preferida nas ruas e estradas em geral por seu baixo custo e rapidez na aplicação, possui baixa qualidade acústica, além de possuir baixa resistência aos esforços a que é submetida e vida útil inferior às demais opções existentes e explanadas a seguir. Devido a sua pequena resistência, exige maior manutenção [44].

Criado em 1968 na Alemanha, a matriz asfáltica pétreia (SMA - *Stone Matrix Asphalt*) é um tipo de revestimento asfáltico usinado a quente de alta performance. É indicado para vias de alto tráfego, tendo a manutenção de suas excelentes características comprovada através de estudo realizado nos Estados Unidos da América em 105 projetos executados em SMA [14]. Reduz aproximadamente de 3 a 5 dB o ruído de rolamento dos pneus no piso, conforme pesquisas realizadas no Brasil, nos Estados Unidos da América e na Europa. [13, 25, 31]

Além de sua vantagem acústica, pode-se listar outras qualidades, comparadas às características da pavimentação asfáltica tradicional [14, 25, 31]:

- maior aderência aos pneus;
- maior resistência à deformação sob altas temperaturas;
- maior resistência a rachamento e efeitos de fadiga sob baixas temperaturas;
- maior vida útil;
- elevada resistência à deformação oriunda de tráfego pesado, lento e em alto volume.



O asfalto-borracha (ou asfalto-ecológico) foi criado nos Estados Unidos da América em 1960. É amplamente empregado em alguns de seus estados, como Flórida e Arizona. Possui melhor performance, quando comparado ao asfalto tradicional, e menor custo a longo prazo. Consiste na adição de borracha, oriunda de pneus descartados, à mistura asfáltica. O produto se torna 40% mais resistente, mais aderente aos pneus e reduz a emissão de ruído por rolamento dos pneus de 65% a 85% (entre 5 e 8 dB). Sua vida de fadiga pode dobrar ou mesmo triplicar, o que compensa seu custo inicial superior [44, 54]. Devido às suas excepcionais características, seu custo de manutenção é extremamente reduzido, conforme apresentado na tabela 2.3.

Tabela 2.3: Comparativo do Custo de Pavimentação

<b>Grandezas</b>	<b>Unidade</b>	<b>Asfalto CAP 50/70</b>	<b>Asfalto Borracha</b>
(A) Execução do pavimento com preparo de base em extensão.	<i>m</i>	200	200
(B) Custo de execução do pavimento com preparo de base.	<i>R\$/m<sup>2</sup></i>	46,66	77,22
(C) Manutenção do pavimento no período de 7 anos.	<i>%m<sup>2</sup></i>	70%	10%
(D) Custo geral de manutenção do pavimento.	<i>R\$/m<sup>2</sup></i>	67,30	67,30
(E) Percentual de custo de manutenção do pavimento (CxD).	<i>R\$/m<sup>3</sup></i>	47,11	6,73
(F) Custo de execução e manutenção do pavimento (B+E).	<i>R\$/m<sup>2</sup></i>	93,77	83,95

FONTE: SANCHES et al. 2012

Pode-se observar na linha (B) da tabela 2.3 que o custo de execução do asfalto CAP 50/70 (tradicional) é bem inferior ao do asfalto-borracha. Porém, após somado o custo de manutenção (E), tem-se na linha (F) como custo total um valor 9% inferior para o asfalto-borracha.

Para cálculo da manutenção foi considerado o período de sete anos na tabela 2.3. Esta diferença de custo, favorável ao asfalto-borracha, se avulta para períodos superiores. O asfalto-ecológico se beneficia de reduzido custo de manutenção e de maior vida útil.

## 2.5 Ferramentas para Avaliação do Ruído Urbano

O mapa de ruído se constitui em uma excelente ferramenta para análise e tomada de decisões em planejamento urbano. É composto do mapa da área de estudo, onde as regiões são coloridas de acordo com o nível de pressão sonora a que estão submetidas. Os valores de NPS considerados no mapa são valores médios temporais

para um determinado período do dia. Uma legenda relaciona cada cor à faixa de NPS correspondente. Dessa forma, tem-se visualmente a distribuição da poluição sonora na região estudada.

Pode-se elaborar o mapa de ruído a partir de medições pontuais realizadas em campo, através de programas simuladores computacionais ou mesmo numa forma mista, fazendo uso de ambos os métodos. Esta última foi a forma adotada para esta pesquisa.

As medições em campo são obtidas através de leituras em um sonômetro. Já os programas computacionais simuladores necessitam das informações da região para cálculo do nível de pressão sonora ponto a ponto. Os dados de entrada do programa são: o mapa da área de estudo, sua morfologia (construções, vegetações, vias e vazios urbanos), a pavimentação das vias, o fluxo de veículos de cada via e as velocidades destes fluxos. Também devem ser informadas a existência de outras fontes geradoras de ruído. Para cálculo do NPS em cada ponto discretizado, o simulador adotado para esta pesquisa, *Cadna-A*, utiliza a metodologia francesa *NMPB-Routes-1996*.

O método francês *NMPB-Routes-1996* não se restringe à França, onde se tornou regulamentação obrigatória. Na implementação da Diretriz Europeia para Ruído Ambiental (*European Directive on Environmental Noise END 2002/49/EC*) [17], END, é o método oficial para predição de ruído rodoviário.

Além da implementação da END, ela também foi utilizada por diversos países como simulador para estudo de impacto acústico de obras de infraestrutura durante muitos anos. Em testes para validação do programa, em locais com topografia complexa, os resultados comparativos entre simulação e real foram bons. No entanto são dois os seus pontos fracos. O primeiro consiste em superestimar os níveis de ruído em condições de refração para baixo, onerando o projeto, apesar de favorável à segurança dos moradores. O segundo é que a fórmula utilizada para difração não é aplicável às barreiras de baixa altura. Este é um ponto neuvrágico, tendo em vista que barreiras até inferiores a dois metros se mostram muito eficientes em algumas configurações [18].

Em um levantamento do panorama internacional dos trabalhos científicos dos últimos dez anos sobre o tema ruído de tráfego veicular em áreas urbanas, Guedes e Bertoli [27] constataram que há uma predominância de trabalhos sobre mapeamento acústico e sobre modelagem e simulação acústica. A maior parte deles provém da Europa e da Ásia.

O Estudo de Impacto Ambiental e o Estudo de Impacto de Vizinhança, exigências recentes na legislação brasileira, podem ser elaborados sem o uso desta ferramenta. Apesar de não exigido pela legislação, diversos estudos e pesquisas realizados a partir de universidades utilizam esta importante ferramenta.

Pode-se citar entre estes os estudos de caso do aeroporto de Congonhas e seu

entorno [43], da cidade de Aracaju [26] e da cidade de Recife [23].

## 2.6 Avaliação dos Estudos Preliminares para Aprovação do Empreendimento

A atual legislação brasileira exige a realização de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), entre outros estudos, para aprovação de empreendimentos de maior porte, de forma a minimizar os impactos ambientais no município.

Para o empreendimento objeto deste estudo, não foi encontrado o Estudo de Impacto de Vizinhança [53].

Apesar do Estudo de Impacto Ambiental enaltecer a utilização do transporte coletivo e de modais não motorizados, as preditas calçadas generosas não possuem continuidade, o que sacrifica o conforto e a segurança dos moradores.

O Estudo de Impacto Ambiental apresenta uma única medição de tráfego em campo, para cada ponto escolhido. A partir da leitura destas foi realizado todo o dimensionamento do sistema de transportes BRT e das vias. Cabe ressaltar que a ISO 1996 recomenda a execução de um número mínimo de medições independentes, de forma a garantir a veracidade e expurgar incertezas [29, 30].

No Estudo de Impacto Ambiental, a Avaliação de Ruído Ambiental mediu o nível de pressão sonora em dez pontos da área do empreendimento, três destes localizados na área de estudo desta pesquisa. Na maior parte destes pontos, o nível de pressão sonora medido foi superior aos limites impostos pela legislação. Apesar de observar e registrar esta ocorrência, o EIA não fez previsão de qualquer medida de mitigação no projeto de mobilidade proposto [3].

As medições sonoras em cada ponto foram realizadas uma única vez, o que traz dúvida quanto a sua representatividade ao longo do tempo. Também causou perplexidade os valores 39 dB(A)  $L_d$  e 52 dB(A)  $L_n$ , medidos no início da trilha do morro do Cafubá. Uma região sem movimento, constatado inclusive no quadro de resumo das medições sonoras do próprio EIA.

O Estudo de Impacto Ambiental não considerou ainda analisar o cenário acústico de sucessão da área objeto de tamanha alteração urbanística. Não se fala aqui apenas da área de estudo, mas de toda a região oceânica, alvo das intervenções urbanísticas que muito afetarão a vida de cerca de 70.000 habitantes, mais os transeuntes e trabalhadores diversos.

# Capítulo 3

## Elaboração dos Cenários Acústicos

### 3.1 Metodologia

Para avaliação do ruído ambiental foram construídos, por meio de um programa de computador, modelos acústicos digitais da área de estudo para dois cenários distintos: o cenário atual e o cenário de sucessão à realização das intervenções urbanas. Através destes modelos digitais foram gerados os mapas de ruído. Com estes foi possível comparar a evolução do nível de pressão sonora na região, antes e após o projeto de mobilidade urbana em foco.

Para validação do modelo digital elaborado, medições em campo foram realizadas e comparadas com valores obtidos por simulação. Com base no modelo validado, as informações do cenário de sucessão, com novo desenho geométrico e larguras das vias, fornecidas pelo Estudo de Impacto Ambiental, foram incluídas no simulador. Criou-se, então, o modelo digital do cenário de sucessão às intervenções urbanas. Neste também foram lançadas as informações do tráfego do cenário projetado, igualmente apresentadas no EIA, como as previsões dos fluxos diário e no horário de pico de BRT, as estimativas dos fluxos diário e de pico no túnel, bem como a relação de passageiros por carro.

### 3.2 Simulador Acústico

O simulador acústico utilizado para esta pesquisa foi o *Cadna-A, Computer Aided Noise Abatement*, ou Assistente Computacional para Redução de Ruído. Utilizou-se o método francês *NMPB-Routes-1996* para cálculo do nível de pressão sonora em cada ponto do mapa, considerando inclusive as reflexões em superfícies diversas e as atenuações devido às barreiras acústicas existentes.

O cálculo é efetuado através da discretização do espaço em um malha de pontos (receptores), onde é calculado o nível de pressão sonora, sendo a distância entre

pontos definida na configuração do programa. Para esta pesquisa considerou-se a distância de 10 m entre pontos discretizados.

A altura em relação ao solo do plano formado por esta malha de receptores discretizados é definida inicialmente. Para este trabalho considerou-se 1,20 m, coincidindo com a altura das medições locais efetuadas.

Foram definidos três períodos de tempo para calcular o nível equivalente nas 24 horas diárias: Dia ( $L_d$ ), Tarde ( $L_e$ ) e Noite ( $L_n$ ) e as penalidades para os períodos *Tarde* e *Noite*. Após criado o modelo, o programa gera o mapa de ruído para qualquer dos turnos horários ou para o dia todo ( $L_{den}$ ), quando acrescenta as penalidades previstas na configuração para os respectivos períodos, conforme a equação 2.4.

O programa foi alimentado com o mapa da região de estudo, contendo as características físicas da área, com os dados de tráfego das diversas vias e com as alterações físicas oriundas do projeto municipal de mobilidade urbana, para o caso do cenário acústico de sucessão às intervenções urbanas.

### 3.3 Períodos de Avaliação

Conforme recomendado pela norma internacional ISO 1996-1:2003, procurou-se classificar o tráfego por faixas horárias homogêneas em relação ao fluxo local. A norma brasileira indica o horário noturno a partir das 22 horas ou anterior, porém não faz menção do período vespertino [1]. Através de medições de tráfego no local, em variados horários e datas, foi possível perceber um intenso tráfego na região até às 23 horas. Assim, a segmentação foi realizada para três períodos: Dia, Tarde e Noite, conforme apresentado na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Períodos de Avaliação

Período	Horário
Dia	7 às 19 h
Tarde	19 às 23 h
Noite	23 às 7 h

É imposta uma penalidade nas faixas Tarde e Noite, de 5 e 10 dB, respectivamente, de acordo com a equação 2.4 e com o recomendado pela ISO 1996-1. Tais penalidades são utilizadas apenas no cálculo do NPS médio diário ( $L_{den}$ ) [29, 30].

### 3.4 Morfologia da Área

O mapa geográfico para inserção no programa foi obtido a partir de foto de satélite da área objeto deste estudo, através de recorte no aplicativo *Google Earth Pro*.

Neste foram delimitadas e identificadas as estradas, ruas, áreas verdes e edificações através do aplicativo de desenho *AutoCAD*. A fim de simplificar o modelo e generalizar as construções na área, todas as edificações foram consideradas com dois pavimentos, visto ser assim em sua maior parte no local. Este arquivo gerado da área foi importado pelo programa simulador acústico.

Para o cenário de sucessão à realização das intervenções urbanas, foi alterada a morfologia da área no modelo do cenário atual, lançando-se no mesmo os dados do projeto da prefeitura. As principais alterações foram o alargamento de algumas vias e o estreitamento de outras. Não foram consideradas alterações nos imóveis, como inserção de prédios ou alteração da altura das edificações.

## **3.5 Tráfego**

### **3.5.1 Intensidade e Distribuição Espacial**

A medição do tráfego de veículos leves, pesados e motocicletas, realizada simultaneamente à medição acústica, foi executada através de contagem manual e/ou filmagem, conforme a densidade de fluxo exigisse, e pelo período mínimo de 10 minutos. O fluxo de motocicletas foi somado ao de veículos leves. Observou-se um elevado fluxo de motocicletas nas medições realizadas, a maior parte delas perceptivelmente mais ruidosas que os demais veículos leves.

Durante as medições já havia intervenções (obras) na área e para não descaracterizar o modelo por uma obra temporária, foram evitadas as ruas com tráfego intenso de veículos de construção. Mesmo assim, foi observada uma quantidade elevada destes caminhões nos pontos de medição números 3 e 11. Cabe registrar ainda que algumas vias foram fechadas, devido às obras em andamento, com desvios para ruas próximas, o que pode ter implicado em alteração do fluxo habitual de veículos nas ruas medidas. Ao mesmo tempo, foi percebido um tráfego considerável de veículos envolvidos na obra da prefeitura, tanto leves como pesados. Não foram realizadas medições em ruas fechadas ao tráfego.

O tráfego medido em campo pelo autor no ano de 2015 mostrou-se 128% maior que o tráfego medido para o Estudo de Impacto Acústico no ano de 2013, na Estrada Francisco da Cruz Nunes, principal via de acesso à região oceânica.

Esta defasagem, superior ao dobro do fluxo medido pelo EIA, pode ser creditada a alguns fatores, listados abaixo:

- Há uma defasagem de dois anos entre as tais medições.
- As medições efetuadas pelo autor foram em pontos diferentes dos escolhidas para o EIA, apesar de se localizarem na mesma avenida e entre ambos há

poucos e desprezíveis pontos de fuga de fluxo.

- A medição para o EIA foi realizada uma única vez. Pode ter havido erro de amostragem. Conforme abordado na seção 2.6, as normas recomendam a execução de um número mínimo de medições independentes que garantam a veracidade e expurguem incertezas. Para a presente pesquisa foram realizadas cinco contagens de fluxo de veículos em dois pontos e em dias e horários distintos nesta referida via de tráfego, com leituras semelhantes e compatíveis entre si.
- Recentes investimentos em infraestrutura, realizados nos últimos anos, com implementação de rede de distribuição de água e coleta de esgoto domiciliar em praticamente toda a região oceânica, justificam um grande crescimento da ocupação da área.

Para criação do modelo computacional do cenário de sucessão, os tráfegos das atuais e também das novas vias arteriais foram alterados para os seus novos volumes previstos. Nas vias locais foram mantidos os tráfegos do cenário atual. Isto porque o iminente aumento da densidade demográfica não faz parte do escopo deste trabalho, não sendo possível quantificar essa alteração no tráfego. Foi considerada a velocidade de projeto, de 30 km/h.

No túnel e em sua avenida de acesso foram utilizados os fluxos previstos no EIA. As informações fornecidas pelo EIA foram utilizadas para determinação do volume de tráfego do novo sistema BRT, do tráfego de veículos leves e pesados, para a quantidade de pessoas por veículo (1,4 passageiro por automóvel e 1,2 passageiro por motocicleta) e para as proporções entre veículos leves e pesados.

O tráfego oriundo do túnel se divide na rotatória situada entre os pontos 3 e 11, optando pela região de Camboinhas ou região de Itaipu. Para esta repartição foi utilizada a mesma proporção em que o tráfego é dividido no cenário atual, quando chega à região oceânica por sua única via de acesso, a estrada onde se localiza o receptor 2. Naquela bifurcação próxima ao ponto 2 é preciso se optar entre as regiões de Camboinhas ou de Itaipu, no cenário atual.

A diferença entre o tráfego atual, da única estrada de acesso a região e onde se situa o ponto 2, e o tráfego previsto para o túnel foi mantida nesta mesma estrada, onde se situa o ponto 2. Desta forma, não foi considerado qualquer aumento na demanda de veículos existente atualmente. Como o sistema BRT é capaz de transportar um volume superior de passageiros, está implícito um crescimento no volume de pessoas transportadas. É esperado que a facilidade e a proximidade da zona sul, do centro da cidade e da capital do estado, trazidas pela construção do túnel, aumentem este volume antes mesmo do crescimento do mercado imobiliário local.

A proporção entre o fluxo de entrada e o de saída de veículos na região oceânica no horário de pico varia entre 53% e 63%, segundo o EIA. Para separar o volume do tráfego do túnel entre entrada e saída foi utilizada a proporção de 50%, por se perceber sua pouca influência para os resultados desta pesquisa.

### 3.5.2 Distribuição Temporal

O tráfego foi fracionado entre os períodos de avaliação definidos de forma compatível às diversas medições realizadas em campo para esta pesquisa e também aos valores de tráfego previstos no Estudo de Impacto Ambiental. Para tanto, adaptou-se às condições específicas da área de estudo um gráfico de distribuição temporal de tráfego em vias urbanas locais [6, 19]. O fluxo medido nas vias arteriais foi distribuído ao longo do dia conforme a figura 3.1.

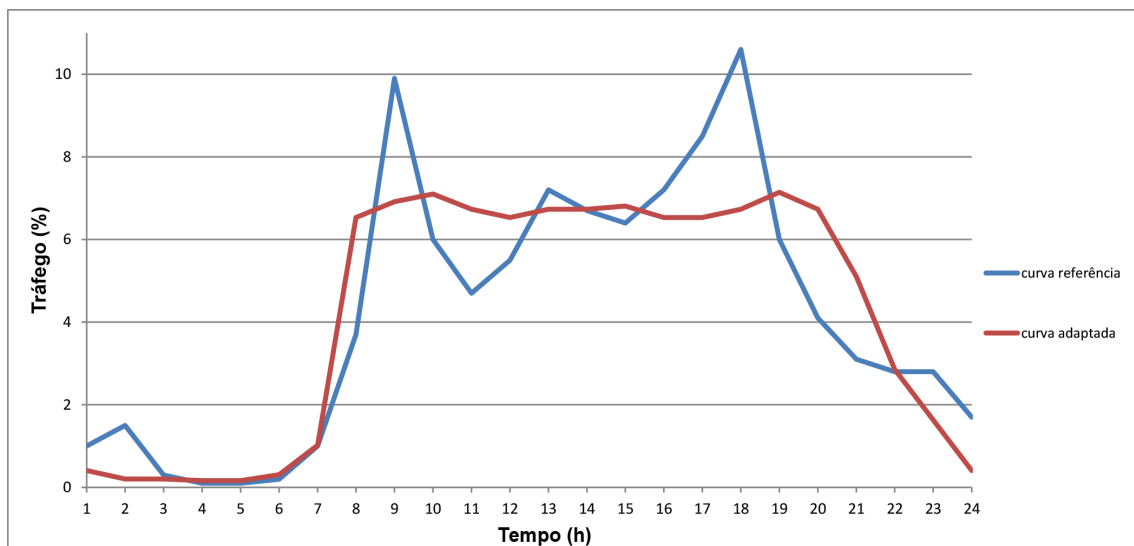


Figura 3.1: Curva de Distribuição do Tráfego.

Foi medido um intenso tráfego de veículos entre os horários de pico definidos no EIA. Somados os tráfegos dos dois sentidos da pista, manteve-se os valores de fluxo rodoviário percebidos no horário de pico. Percebeu-se que a área demanda alto fluxo nos dois sentidos da via de acesso à região nos horários intermediários aos de maior demanda em sentido único. Estas medições suprimiram o vale existente entre os horários de pico da curva tomada por referência (figura 3.1).

A explicação para este intenso fluxo em ambos os sentidos é devido à região não possuir comércio e serviços que atendam à demanda local, sendo muito utilizados os serviços existentes na zona sul e no centro da cidade diariamente. Ao mesmo tempo, a região possui um elevado grau de atratividade, por abrigar as praias banhadas pelo oceano, as quais despertam maior interesse quando comparadas às existentes no entorno da Baía de Guanabara.



Nas vias locais foi considerado um fluxo horário constante, tendo por base as contagens de fluxo realizadas em campo.

### 3.6 Medições do Nível de Pressão Sonora

Para validar os modelos, foram efetuadas medições em campo do nível de pressão sonora em onze pontos distintos. Os pontos foram escolhidos de forma estratégica e estão localizados conforme apresentado na figura 3.2. No Apêndice "A" encontram-se fotos de cada ponto de medição, a fim de exemplificar e explicitar as características de cada local. As medições foram realizadas nos dias 8/09/2015, 18/09/2015, 31/03/2016, 04/04/2016 e 02/05/2017.

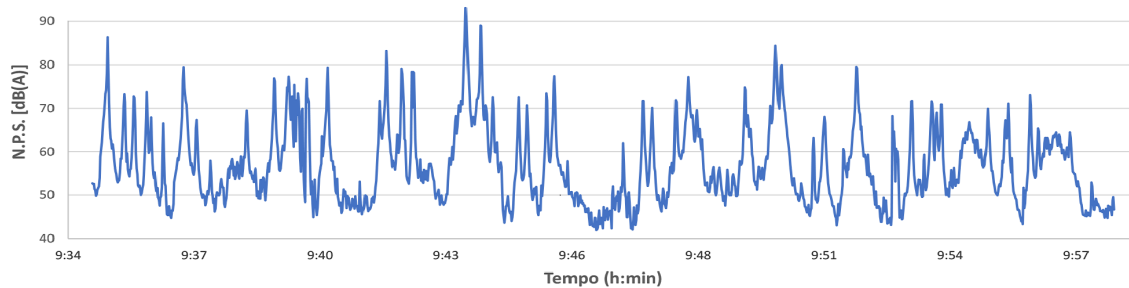


Figura 3.2: Localização dos Pontos de Medição. FONTE: Google Earth, acessado em out/2015.

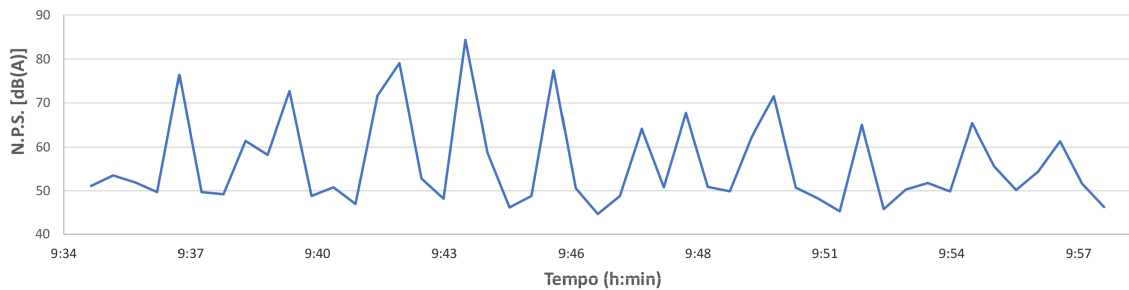
As medições foram realizadas conforme a norma NBR10151 [1]. Foi utilizado um tripé, para atendimento à altura prevista em norma, de 1,20 metro. Utilizou-se um protetor dos efeitos do vento e não se efetuou medição em local com vento intenso. Não foi realizada medição em dia chuvoso nem em aclives ou declives. Apesar de existir alguma topografia na área, a maior parte das vias, especialmente as de maior fluxo, se encontram praticamente ao nível do mar e planas.

Um medidor tipo 2 foi utilizado na curva de ponderação A, leitura em modo *lento*, durante um período mínimo de 20 minutos em cada ponto de medição. O intervalo de tempo para gravação da leitura foi ajustado conforme o tráfego exigisse e de forma a se obter uma leitura fiel do ruído ambiental local, observando-se um período adequado de amostragem. A figura 3.3 ilustra valores de  $L_i$  (leituras individuais de

nível de pressão) adquiridos com diferentes periodicidades. A curva superior da figura 3.3 foi obtida com uma taxa de 60 amostras (leituras) por minuto, enquanto na curva inferior foi empregada a taxa de apenas 2 amostras por minuto. Ambas as amostragens foram realizadas no mesmo período de tempo, no mesmo local e com o mesmo medidor.



(a) 60 amostras por minuto



(b) 2 amostras por minuto

Figura 3.3: Influência do período de amostragem nas medições e no NPS (ponto 9).

Apesar da semelhança das curvas obtidas, observa-se que vários picos da curva superior não encontram correspondência na curva inferior. O nível de pressão sonora equivalente de ambas as curvas difere em 13 dB (69 e 56 dB, respectivamente). Dessa forma, verifica-se a importância de calcular o  $L_{eq}$  com uma amostragem que seja representativa da curva amostrada.

Ao efetuar cada medição, foi evitada a proximidade de fontes de ruído pontuais, como escolas, residências com cachorros ou em obras. Este cuidado foi tomado pois o modelo acústico considera apenas os ruídos oriundos do tráfego, provenientes dos seus motores e do rolamento na pavimentação. Pode-se inserir outras fontes de ruído no modelo acústico, mas para isso é preciso especificá-las e lançá-las no programa computacional. Além de fugir do objetivo deste trabalho, isto geraria novas fontes de erro no modelo acústico produzido.

Apesar do cuidado de se evitar a medição de ruídos outros que não os do tráfego, devido à região estar sofrendo obras de pavimentação e drenagem em toda a sua extensão, foi observado um nível de ruído provindo do maquinário das obras nos pontos de n° 1, 2 e 6.

Em ruas de baixo tráfego, ou com fluxo descontínuo, é esperado um erro entre o nível de ruído medido e o simulado. Isto devido a não se perceber uma taxa de fluxo contínua para o período de leitura proposto.

## 3.7 Validação do Modelo Acústico

Validou-se o modelo acústico construído a partir da comparação dos níveis de pressão sonora equivalentes resultantes das medições com os fornecidos pelo simulador, para cada ponto de interesse.

### 3.7.1 Pavimentação

As ruas da área de estudo não eram pavimentadas em sua maior parte. Apenas as vias principais eram asfaltadas, por época do início desta pesquisa.

Observou-se que as medições do nível de pressão sonora realizadas em campo em muitas ruas asfaltadas diferiam dos valores obtidos por meio da simulação, quando utilizava-se no *Cadna-A* a configuração de pavimentação asfalto “macio” (“*smooth asphalt*”). Porém em algumas ruas, a maior parte recém asfaltadas e sem tráfego pesado, onde o pavimento se encontrava com textura lisa e uniforme, os valores do simulador foram semelhantes aos medidos em campo. A tabela 3.2 apresenta esta divergência.

Tabela 3.2: Avaliação da Pavimentação conforme Medição Sonora

Ponto de Medição	Estado da Pavimentação	Medição de Campo dB(A)	Simulação Asfalto Macio dB(A)	Simulação Pavimento Liso dB(A)
1	adequado	<b>56</b>	57	–
2	inadequado	<b>78</b>	74	77
4	adequado	<b>63</b>	64	–
5	inadequado	<b>74</b>	72	75
6	adequado	<b>74</b>	74	–
7	inadequado	<b>65</b>	63	66
9	adequado	<b>69</b>	69	–
10	inadequado	<b>59</b>	57	59
11	inadequado	<b>74</b>	71	74

Comparando-se a coluna “*simulação asfalto macio*” com a coluna “*medição em campo*” na tabela 3.2, nota-se que os receptores localizados em vias com o estado da pavimentação *inadequado*, com aparentes avarias em sua textura, apresentam divergências entre o nível de pressão sonora medido e o simulado. Divergência esta igual ou superior a 2 dB(A). Também é importante se observar que das quatro vias

em que o estado da pavimentação se mostrou *adequado*, duas haviam sido asfaltadas recentemente, há menos de quatro meses. São elas as detentoras dos pontos de medição 1 e 4. Não foram considerados nesta tabela os receptores localizados em ruas não pavimentadas.

Para se mitigar esta divergência, resultante da má qualidade da pavimentação, utilizou-se a configuração *pavimentação de textura lisa* (“*smooth text, paving*”) no simulador *Cadna-A* para estas vias cujo estado de pavimentação se encontrava inadequado.

No cenário de sucessão às intervenções urbanas, para as vias projetadas com pavimentação asfáltica utilizou-se a configuração *pavimentação de textura lisa* no simulador. Este procedimento visa simular o ambiente acústico da região em toda a sua vida útil, e não apenas logo após a sua pavimentação. Conforme percebido nas medições realizadas para esta pesquisa e indicado na tabela 3.2, a maior parte das vias com pavimentação não recente se mostrou desuniforme, com ondulações, fissuras, buracos e remendos. O asfalto nestas condições emitiu maior ruído, conforme registrado também na tabela 3.2.

Algumas vias locais obtiveram índice maior de emissão de ruído no cenário de sucessão às intervenções urbanas, mesmo sem alteração do tráfego de veículos nas mesmas. São as ruas que na configuração atual se encontravam recém pavimentadas, com o asfalto novo, liso e uniforme ainda. Após as intervenções urbanas o simulador as apresenta com a configuração *pavimentação de textura lisa*, mais ruidoso conforme previsto para o asfalto mais antigo.

Os níveis equivalentes de pressão sonora  $L_{eq}$  foram calculados sobre o conjunto de medições do nível de pressão sonora ( $L_i$ ) em cada ponto de interesse (figura 3.2), conforme equação 2.2. A tabela 3.3 apresenta esta comparação.

A localização dos receptores no modelo digital produzido coincide com a localização das medições efetuadas em campo, inclusive a altura de 1,20 m em relação ao solo.

Conforme observado na tabela 3.3, verifica-se que há uma diferença média de 1 dB, máxima de 3 dB, o que é considerado aceitável mediante as muitas variáveis envolvidas. Entre elas, a existência de fluxo de motocicletas entre os veículos e não prevista no simulador, a não padronização da pavimentação encontrada em campo e a existência de fontes de ruído em campo, também não previstas no simulador.

### 3.8 Supressão do Tráfego Ocasional

Conforme exposto anteriormente, os serviços de urbanização da área e de escavação do túnel já haviam sido iniciados quando da realização desta pesquisa. Para não comprometer os resultados deste trabalho, o tráfego pesado referente a estes serviços,

Tabela 3.3: Validação do Modelo Acústico

Ponto de Medição	Medição de Campo dB(A)	Medida do Simulador dB(A)	Diferença dB(A)
1	56	57	+1
2	78	77	-1
3	65	65	0
4	63	64	+1
5	74	75	+1
6	74	77	+3
7	65	66	+1
8	52	52	0
9	69	72	+3
10	59	59	0
11	74	74	0

principalmente armazenamento temporário e descarte de material de escavação, foi suprimido do modelo acústico validado, para posterior comparação com o cenário de sucessão às intervenções urbanas.

Nas vias arteriais, onde o fluxo dos veículos pesados da obra se misturava com o fluxo pesado usual local, foi considerado e repetido o percentual de tráfego pesado da via de acesso à região oceânica, onde está localizado o receptor 2 (figura 3.2).

Já nas vias locais de intenso tráfego da obra, foi repetido o percentual de uma via local próxima e compatível, onde tenha sido realizada medição de fluxo de tráfego.

Não foi percebido tráfego intenso de veículos pesados da obra de intervenção em andamento nas vias onde se localizam os pontos 1, 2, 6, 8 e 10, durante as medições.

A tabela 3.4 ilustra este efeito, juntamente com a figura 3.2, que localiza os receptores e as vias no mapa.

Tabela 3.4: Supressão do Tráfego Pesado Ocasional da Obra

Localização da Via	Tráfego Pesado Medido (%)	Tráfego Pesado Considerado (%)
ponto 1	0	0
ponto 2	6	6
ponto 3	70	0
ponto 4	4	0
ponto 5	13	6
ponto 7	13	0
ponto 9	27	0
ponto 10	0	0
ponto 11	10	6

Desta forma, excluiu-se do cenário acústico o grande fluxo de maquinário da prefeitura, responsável pela urbanização e escavação do túnel e que logo estarão ausentes da região. Percebe-se estar incluindo um possível, porém reduzido, erro neste procedimento, visto que o tráfego pesado da estrada de acesso à região pode não se distribuir da mesma forma que o tráfego leve entre as vias arteriais, como realizado na modelagem através desta técnica.

Não foi possível fazer o mesmo para os veículos leves envolvidos na obra, pois os mesmos se confundem com o tráfego cotidiano. Em algumas vias locais observou-se um volume elevado dos mesmos, por época da medição de fluxo de veículos e do ruído. Em especial nas ruas internas, onde o tráfego local é quase inexistente, mas ruas estas que permitiam o acesso aos locais em obra.

A partir do modelo construído e validado, onde o tráfego pesado da obra foi suprimido, tem-se a simulação do cenário acústico atual, ou seja, o modelo do cenário acústico anterior ao início das obras de intervenção urbana.

# Capítulo 4

## Resultados

### 4.1 Mapas de Ruído

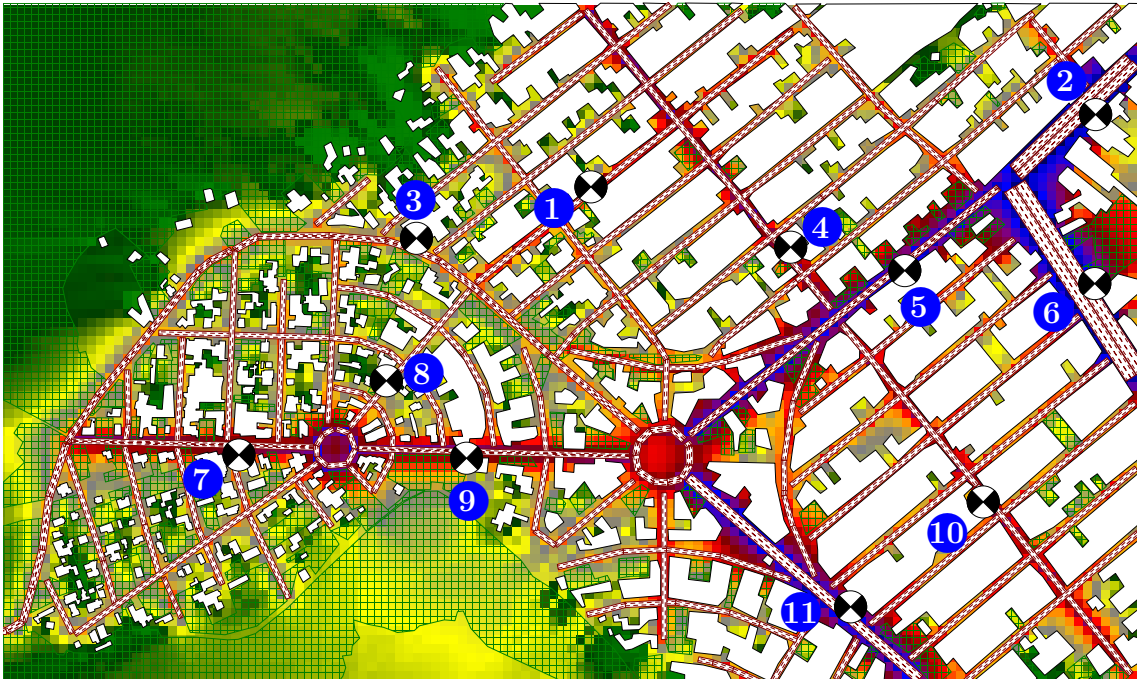
Os mapas de ruído para as duas situações sob análise, atual e sucessiva à realização das intervenções urbanas previstas, foram gerados para os três períodos de avaliação da tabela 3.1, Dia, Tarde e Noite. Foi produzido ainda outro mapa de ruído, para o período de 24 horas do dia, onde se utiliza o indicador  $L_{den}$ . Neste último, foram aplicadas as penalidades previstas aos níveis de ruído dos horários vespertino e noturno.

Na figura 4.1 podem ser comparados os mapas de ruído das 24 horas diárias, do cenário atual e do cenário sucessivo à implementação do projeto de mobilidade.

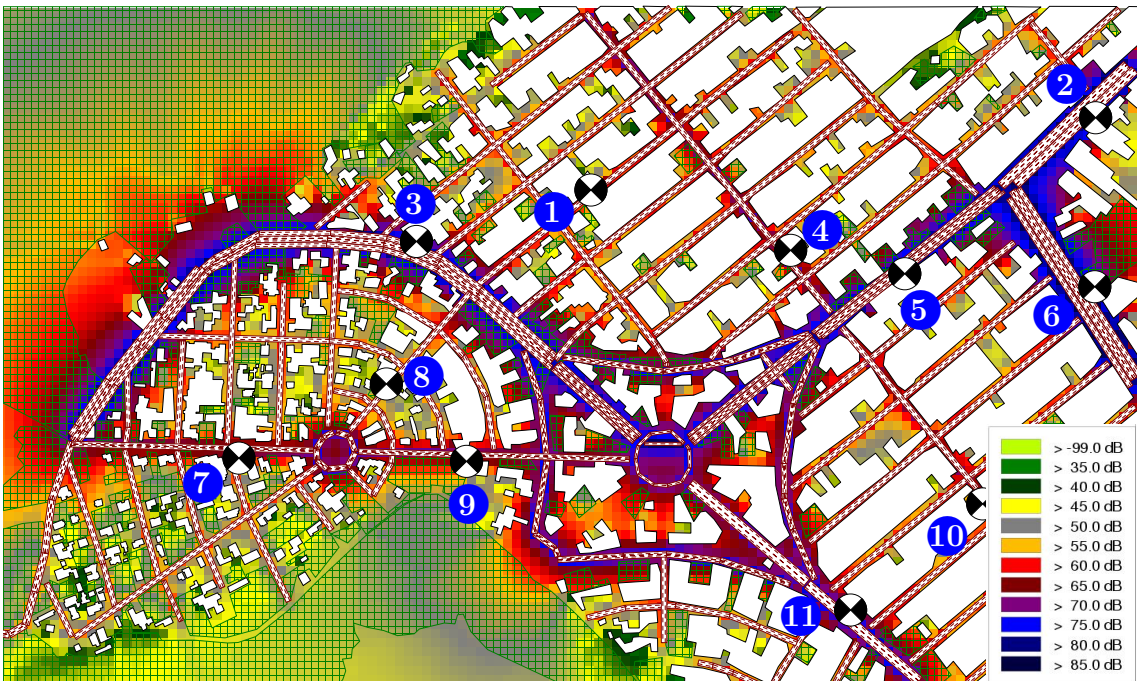
No mapa do cenário atual, mapa superior da figura 4.1, percebe-se a presença de ruído elevado na estrada de acesso à região oceânica (pontos dos receptores 2 e 6) e nas avenidas onde estão os pontos 5 e 11, que distribuem o fluxo para os bairros de Piratininga e Cambinhas.

A área superior do mapa, onde é escavado o túnel, encontra-se livre de poluição sonora. Apenas em uma de suas vias radiais, onde estão localizados os pontos 7 e 9, é detectada a presença de um elevado nível de pressão sonora para a região. Este é creditado ao grande fluxo de veículos leves envolvidos no projeto em execução. Esta rua é a principal via para acesso de veículos leves ao canteiro de obras do empreendimento e ao local de escavação do túnel. Apesar de se ter suprimido da modelagem acústica os veículos pesados da obra, os veículos leves do empreendimento não puderam ser segregados, por se confundirem com o tráfego local.

É possível observar também que vários imóveis situados às margens das três vias; onde se localizam os pontos 2, 5, 6 e 11; estão excessivamente próximos da via, de forma que adentram à área de maior intensidade do ruído gerado pelo fluxo. Tal observação foi verificada também em campo, com a existência de passeios extremamente estreitos, onde não é possível duas pessoas caminharem lado a lado. Isto foi



(a) Atual



(b) Sucessivo

Figura 4.1: Mapas de ruído - 24h: cenários (a) atual e (b) sucessivo à intervenção.

observado apenas nas vias arteriais, sendo creditado ao alargamento da avenida para atendimento ao aumento de fluxo com o decorrer dos anos.

Implementadas as intervenções, percebe-se no mapa inferior da figura 4.1 o alargamento da poluição sonora na área esquerda do mapa. Houve aumento no nível de pressão sonora na avenida detentora do ponto 3, anteriormente uma rua pacata. O mesmo se observa em suas ruas transversais, até a primeira ou segunda quadra.



Na avenida onde se encontra o ponto 5, o ruído se elevou em intensidade e abrangência. Os moradores se tornam, então, mais suscetíveis aos vis efeitos da alta exposição ao ruído, agravado ainda pela proximidade das construções à via e por se tratar de uma área com muitas residências, escola e com comércio quase inexistente.

Apesar da redução do tráfego em 25% na via onde se localiza o ponto 2, desviado para o túnel, o nível de pressão sonora na estrada não se reduziu de forma perceptível.

No trecho onde se encontra o ponto 6, o nível de pressão sonora se viu reduzido, apesar do aumento do tráfego em 9%. Este decréscimo no nível de pressão sonora é creditado ao alargamento da pista e ao deslocamento de 33% do tráfego pesado para as pistas seletivas do BRT, localizadas ao centro.

Na figura 4.2 são comparados os mapas do período Dia, de 7h às 19h, respectivamente dos cenários atual e de sucessão à realização das intervenções urbanas.

Neste período diurno, antes das intervenções urbanas, observam-se as mesmas características do período médio diário (figura 4.1). Os valores limítrofes indicados pelos órgãos de saúde e exigidos pela legislação são extrapolados nas avenidas onde estão os pontos 2, 5, 6 e 11. Estas são vias arteriais, que encaminham o tráfego aos onze bairros da região oceânica. Pode-se acrescentar ainda a rua com os pontos 7 e 9, onde níveis mais altos de ruído são vistos, em especial na rótula. Tal ruído é creditado à elevada quantidade de veículos leves envolvidos na obra e não existentes nas demais ruas da região.

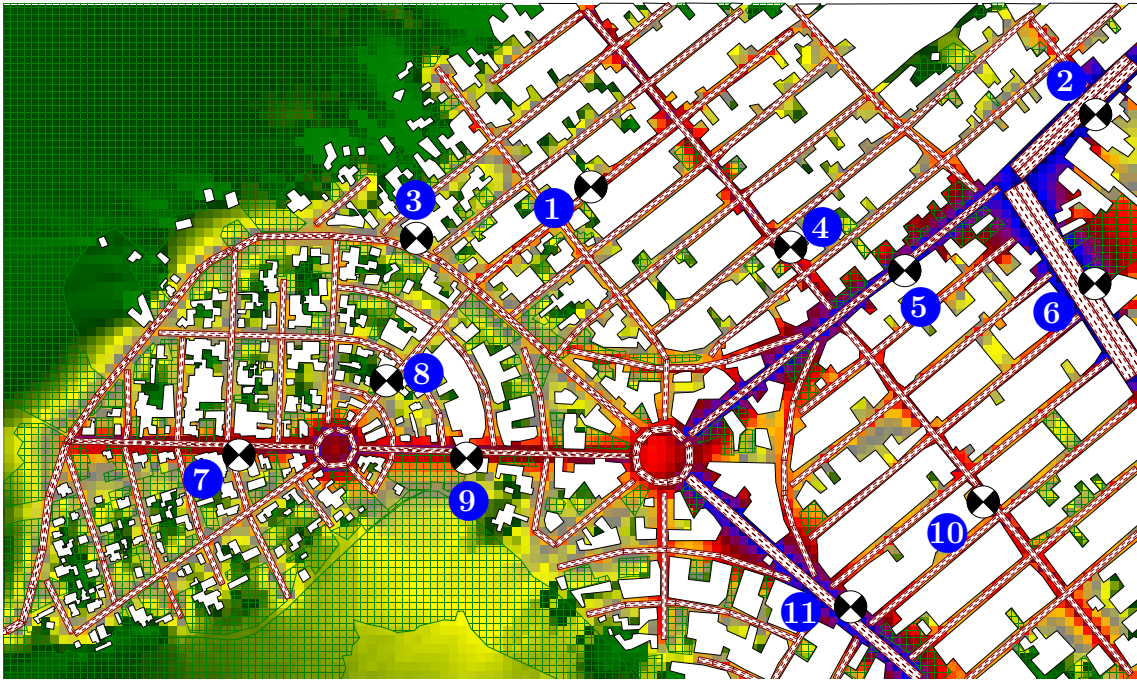
Na figura 4.3 são apresentados os mapas do período da tarde dos cenários atual e de sucessão à realização das intervenções urbanas, respectivamente. Apresentam a configuração para o período de 19h às 23h.

De forma semelhante nos períodos Dia e Tarde, após realizadas as intervenções, diversas ruas extrapolam os limites impostos pela legislação. Não apenas a estrada de acesso à região e com imóveis comerciais (pontos 2 e 6), mas também a avenida que abarca o ponto 5, onde há a presença de residências e escolas e onde o nível sonoro já era demasiado, são alvo da elevação do nível de ruído.

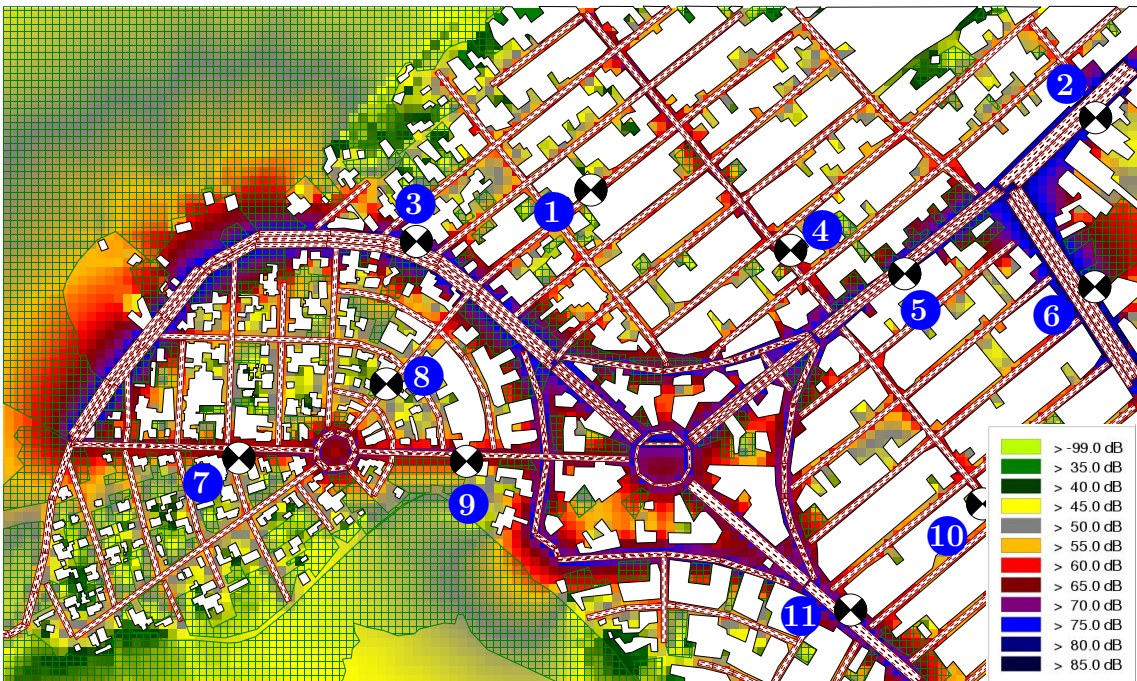
O pior se percebe nas vias que abrangem os pontos 3 e 5. Em especial na via do receptor 3. Esta é uma rua predominantemente residencial e que, repentinamente e sem qualquer preparo, será submetida a um nível de pressão sonora muito superior aos recomendados pelas normas e organismos de saúde.

Inclusive suas ruas transversais estarão submetidas a tal ruído. O elevado ruído na avenida principal necessita da distância de uma ou duas quadras para se atenuar, conforme se visualiza nos mapas de ruído gerados.

Outra informação importante pode-se obter dos mapas de ruído. O nível de ruído do período Dia sofre pouca redução comparado ao período da Tarde. Isto acontece no cenário atual e no sucessivo às intervenções urbanas. Deve-se ao deslocamento do horário de pico, que termina somente às 20:30h. Além disso, há um elevado fluxo



(a) Atual



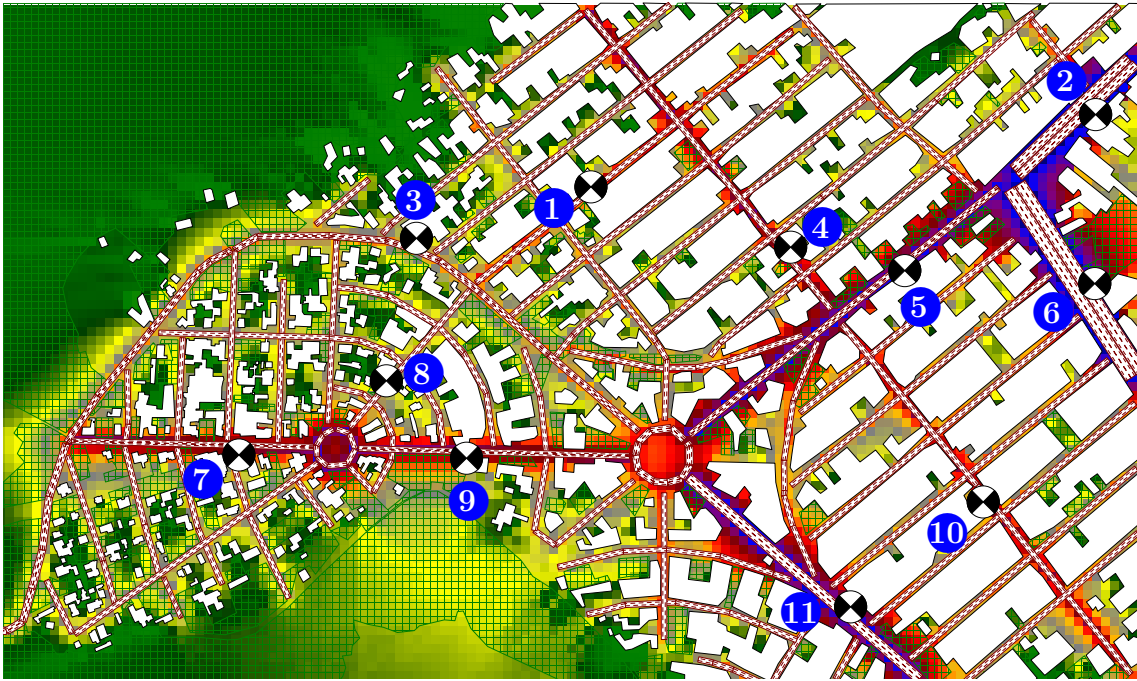
(b) Sucessivo

Figura 4.2: Mapas de ruído - Dia: cenários (a) atual e (b) sucessivo à intervenção.

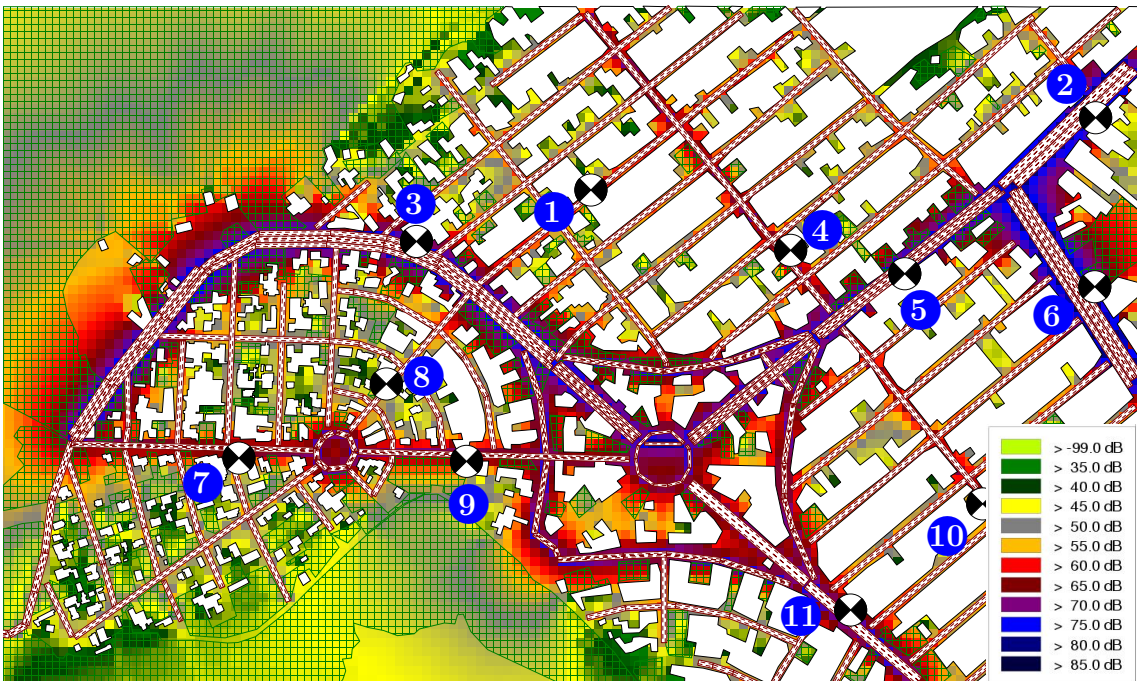
noturno, por se tratar de uma região de alto poder aquisitivo, situada em uma área com pouca infraestrutura, como faculdade, shopping e restaurantes.

O cenário noturno pode ser avaliado pela figura 4.4, onde tem-se, respectivamente, o mapa de ruído do cenário atual e o mapa de ruído do cenário de sucessão à realização das intervenções urbanas.

Apesar dos níveis apresentarem bastante redução, se comparados aos diurnos,



(a) Atual



(b) Sucessivo

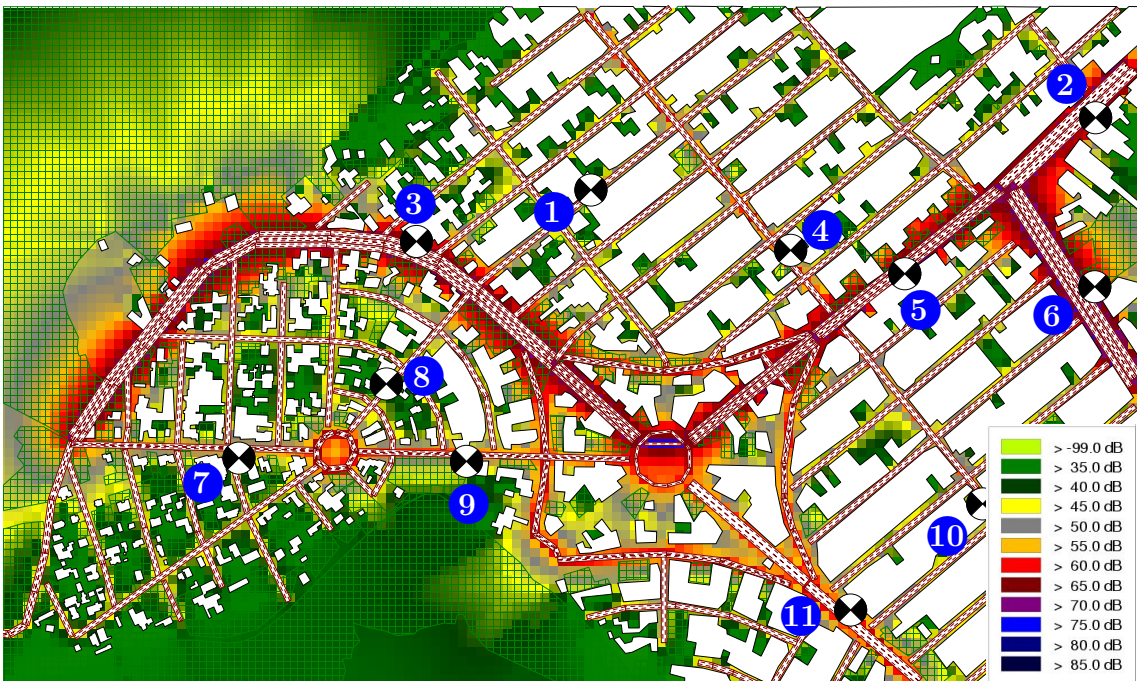
Figura 4.3: Mapas de ruído - Tarde: cenários (a) atual e (b) sucessivo à intervenção.

seus limites também são reduzidos em norma, no intuito de garantir o descanso noturno.

Anteriormente às intervenções, as três vias arteriais que envolvem os pontos 2, 5, 6 e 11 eram as responsáveis pela inserção de poluição sonora na região. Pela legislação nacional, CONAMA 001 [9], todas as três estariam irregulares. No entanto, as mesmas três vias atendem às exigências da legislação municipal 1968/2002 [32],



(a) Atual



(b) Sucessivo

Figura 4.4: Mapas de ruído - Noite: cenários (a) atual e (b) sucessivo à intervenção.

que apresenta limites mais brandos. Este é um problema recorrente em municípios brasileiros, conforme relatado anteriormente e demonstrado na tabela 2.2.

Após executadas as intervenções urbanas, as avenidas onde constam os receptores 3, 5 e 6 têm seus níveis de pressão sonora bem elevados. Em especial, novamente a detentora do receptor 3.

## 4.2 Nível de Ruído nos Receptores

A tabela 4.1 apresenta o nível de ruído equivalente para o período Dia nos onze pontos receptores e de forma comparativa, para o cenário atual e para o sucessivo à implementação das obras urbanísticas.

Tabela 4.1: NPS nos receptores.

número do receptor	NPS antes da intervenção, em dB(A)	NPS depois da intervenção, em dB(A)
1	57	57
2	78	78
<b>3</b>	<b>48</b>	<b>74</b>
4	61	61
5	72	76
6	78	76
7	60	60
8	50	51
9	63	63
10	60	60
11	72	70

Nos receptores 1, 4, 7, 8, 9 e 10 não houve alteração perceptível do nível de ruído. Tratam-se de vias locais de baixo fluxo de veículos, onde não houve alterações de tráfego nem estruturais. A intervenção urbana trouxe pavimentação a todas as vias e também aos passeios para pedestres, mas não trouxe alteração acústica significativa nas vias locais. Apenas a via onde se localiza o receptor 8 se encontrava sem pavimento por época desta pesquisa. As demais vias onde foram localizados receptores já se encontravam pavimentadas, tendo em vista o decurso das obras.

No receptor 2 não houve redução significativa do ruído, apesar da redução do tráfego nesta via de acesso à região oceânica, desviado para o túnel.

No receptor 3 é verificado um elevado aumento do nível de pressão sonora. Com NPS de 48 dB(A) anterior às obras, passa a perceber 78 dB(A) com o advento do tráfego à região. Na figura 4.5 pode-se perceber a diferença física sofrida pela via com a implementação do projeto de mobilidade. Ambas as fotos foram tiradas do mesmo ponto físico, com diferença apenas temporal.

Uma avenida larga, antes sem tráfego e sem pavimento, agora recebe todo o fluxo veicular do túnel. Foram 26 dB(A) de acréscimo ao nível de ruído usual da área. Este acréscimo de ruído será percebido em toda uma avenida com mais de 1.000 metros de extensão, cercada apenas por residências e um pequeno clube desportivo. A mesma é contornada ao norte pela mata atlântica da reserva do Parque da Cidade, declarada



(a) Antes



(b) Após

Figura 4.5: Avenida do receptor 3 - (a) antes e (b) após as intervenções.

área de preservação permanente pelo artigo 323 da Lei Orgânica do Município de Niterói, de 2005 [34].

O receptor 5 percebeu um acréscimo de 4 dB(A) devido ao aumento de fluxo no acesso ao novo túnel. Um aumento considerável, se lembrarmos que, por se tratar de uma escala logarítmica, um incremento de 3 dB(A) equivale ao dobro de energia sonora.

No receptor 6 houve redução do nível de ruído, apesar do pequeno aumento do tráfego na via. Este fato observado na simulação é creditado às alterações físicas realizadas nas pistas. Os ônibus estão circulando ao centro, nas vias seletivas, de forma a afastar 33% do tráfego pesado do receptor acústico. Os canteiros existentes

anteriormente entre as pistas de rolamento de veículos foram extintos e o calçamento para pedestres foi alargado, afastando o fluxo de veículos do receptor.

No receptor 11 houve uma atenuação de 2 dB(A), creditada à redução do tráfego na avenida. Na via onde se localiza o receptor nº 5 houve um grande estreitamento das pistas de uso misto, para carros e caminhões. Passaram a contar com apenas uma estreita pista, sem alternativa de ultrapassagem. Este fato dificulta o acesso à via do receptor 11.

### 4.3 Avaliação do acréscimo energético

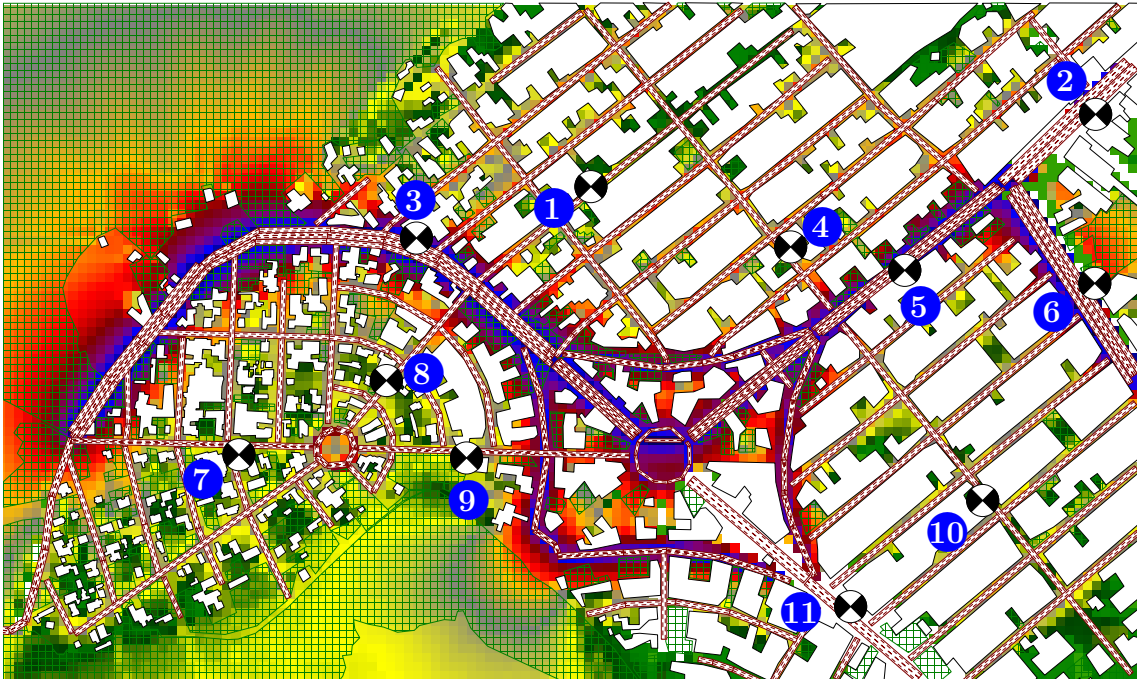
A figura 4.6 mostra, de forma espacial, a elevação do nível de pressão sonora que houve na região de estudo com a implementação do projeto de mobilidade. No mapa superior tem-se o acréscimo médio das 24 horas e no mapa inferior vê-se o incremento no período noturno. Em ambos percebe-se a área realmente prejudicada pelo projeto executado, em toda a sua extensão.

A região do entorno da avenida onde se localiza o ponto 3 é onde houve maior acréscimo de energia sonora, em ambos os períodos. Conforme apresentado na tabela da figura 4.1, o nível de pressão sonora nesta região se elevou de 48 para 74 dB(A). Foram 26 dB(A) de acréscimo, o que corresponde a uma elevação de aproximadamente 400 vezes a potência sonora inicial.

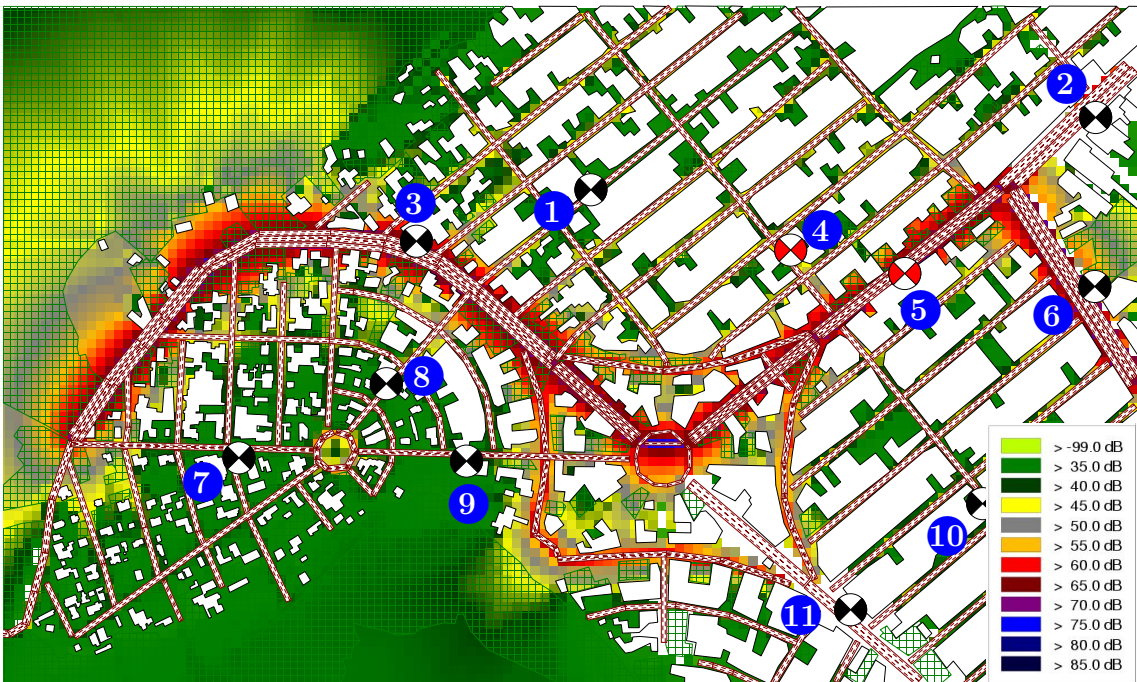
De forma semelhante à avenida do ponto 3, a região do entorno da rotatória percebe elevado aumento do nível de pressão sonora. Até porque se trata da continuação da mesma avenida, onde não havia fluxo contínuo de veículos. Porém, aqui o tráfego oriundo do túnel é repartido em três vias. Dessa forma, no período noturno o acréscimo sonoro foi bem inferior, cerca de 55 dB(A).

A avenida onde consta o ponto 5 também apresenta acréscimo de ruído. A mancha acústica se assemelha àquela vista no mapa superior da figura 4.1. Isto é confirmado pela tabela da figura 4.1, onde nota-se que no receptor 5 houve um acréscimo de 4 dB, demonstrando que a potência sonora se elevou em pouco mais que 100%, o que corresponderia a 3 dB.

Através dos mapas da figura 4.6, é visível a área de efetivo impacto promovido pela elevação do nível de pressão sonora decorrente das intervenções urbanas. Os moradores e trabalhadores do entorno das vias ali coloridas em azul/vermelho/laranja serão os mais impactados.



(a) 24 horas



(b) Noite

Figura 4.6: Acréscimo sonoro promovido pela intervenção: (a) 24 horas e (b) Noite.



## Capítulo 5

### Análise Crítica

Os mapas obtidos mostram de forma clara e incontestável o alto nível de pressão sonora a que são submetidos os trabalhadores e habitantes do entorno das avenidas arteriais da área. Mesmo antes da intervenção urbana proposta ser efetivada. Isto acontece de forma semelhante nos períodos Dia, Tarde e Noite. Porém as vias locais, distantes destas vias coletoras, conservam-se todas abrigadas desta poluição sonora.

Ao se realizar as medições no interior do bairro, distante das vias arteriais, encontrou-se uma região muito pacata, como ilustra a figura 5.1.



Figura 5.1: Região pacata e sem movimento.

Ruas de terra, sem movimentação significativa de carros. Ouvia-se o canto dos pássaros, o som emitido pelos macacos mico, que atravessavam as quadras através da rede elétrica e árvores. Por vezes, escutava-se o cacarejar de galos, não muito distante. Não fosse pelo ruído das máquinas ao fundo, já atuantes da prefeitura, seria um cenário bucólico de cidade do interior.

Durante as medições encontrou-se moradores já apreensivos com a obra em andamento, por trazer um movimento não comum à área. Também foi perceptível o desconhecimento da população sobre a grandeza do projeto que já estava em an-

damento. Mas era notória a apreensão dos moradores de que o fim dos dias de tranquilidade estava próximo.

## 5.1 Poluição Sonora

Implementadas no modelo acústico as intervenções urbanas previstas, percebe-se, pelos mapas, o acréscimo de ruído em áreas predominantemente residenciais, onde não foi prevista qualquer medida de mitigação. Este efeito não apenas trará desconforto aos moradores e demais usuários da área, mas prejudicará a saúde dos mesmos, visto ter elevado o ruído a valores muito superiores aos indicados pelos organismos de saúde. Uma área residencial, repentinamente, perceberá o ruído do tráfego de toda uma região, sem qualquer preparo. Pessoas e famílias, que se fixaram naquela região em busca de qualidade de vida e saúde, estarão transtornadas por ruído urbano acima do recomendado pelas normas.

Ficou ainda bem caracterizado que a legislação municipal, menos restritiva quando comparada à federal, conforme demonstra a tabela 2.2, deixa a população exposta a valores não recomendados pelos organismos de saúde. É o que ocorre de forma clara no período noturno da região analisada, ainda no cenário atual.

## 5.2 Arborização

Conforme demonstra a figura 4.5, a avenida onde se localiza o ponto 3 era intensamente arborizada. Toda esta vegetação foi suplantada pelo calçamento. Deixou-se apenas pequenos canteiros com mudas de árvore de cerca de 1 m. A figura 5.2 ilustra a situação.



Figura 5.2: Ausência de Árvores nas Vias.

A ausência de árvores traz influência direta no microclima da região, deixando as ruas mais quentes e secas. Afetará ainda a mobilidade, visto que transforma a caminhada pelo passeio em uma tarefa desagradável, debaixo do sol intenso, usual em região tropical e litorânea como a área de estudo.

Não apenas a caminhada, mas também o tráfego de bicicletas. Sem a sombra das árvores este novo modal se torna uma tarefa árdua. Por vezes causticante, de acordo com a temperatura ambiente sob sol constante.

### 5.3 Transporte Não Motorizado

A bicicleta, transporte não motorizado valorizado no EIA, teve o seu espaço comprometido na execução do projeto.

A ciclovia consiste em uma pintura sobre o passeio, com a largura de 90 cm para cada sentido, perfazendo o total de 180 cm. No trecho que antecede o túnel em cerca de 250 metros, ela se torna mão única em ambas as laterais da avenida. A figura 5.3 ilustra a situação.



Figura 5.3: Ciclovias Estreitas.

Esta largura de 90 cm em mão única impossibilita a ultrapassagem entre ciclistas. Impedido o trânsito concomitante de duas bicicletas lado a lado, o tráfego terá de ser feito em fila indiana ou pelo asfalto, concorrendo com os veículos automotores em uma via estreita. Ambos são incompatíveis para um transporte o qual se deseja que substitua em parte o transporte motorizado.

Nos trechos de mão dupla da ciclovia, a ultrapassagem pode ser realizada na mão oposta. Porém há trechos em que não há espaço suficiente para os pedestres no passeio. Não restou muito espaço entre a ciclovia e o limite das residências. Os pedestres terão, então, que disputar espaço com as bicicletas. Tal situação compromete

o funcionamento da ciclovia e a segurança de pedestres e ciclistas.

Existem ainda interferências interrompendo a ciclovia, como visto na figura 5.4, que perde a continuidade devido à existência de postes da rede elétrica, de sinalização ou canteiros verdes. São diversos problemas pontuais que aparentam descomprometimento com o incentivo a este novo modal.



Figura 5.4: Situações de descontinuidades na ciclovia.

O projeto de mobilidade prevê uma ciclovia em direção à estação hidroviária, atravessando o túnel. Prevê ainda um estacionamento de bicicletas no terminal intermodal de Charitas. Registra, inclusive, a importância de tal transporte no contexto urbano. Porém, para efetiva utilização, a ciclovia precisa ser segura, confiável, contínua e agradável.

## 5.4 Acessibilidade

Durante as medições percebeu-se o estreitamento extremo em alguns passeios das avenidas arteriais, impedindo o tráfego de duas pessoas lado a lado. Posteriormente

foi observado estreitamento de passeios também após a execução das obras de urbanização, previstas no projeto de mobilidade. E não apenas nas vias arteriais, mas também nas locais, conforme ilustra a figura 5.5. Isto foi realizado apesar da informação veiculada no Estudo de Impacto Ambiental, em defesa de passeios amplos e incentivos ao uso de meios de transporte não motorizados.



Figura 5.5: Interferências no Passeio.

Também observou-se a existência de degraus bem elevados, transversais ao sentido dos passeios de pedestres, como se vê na figura 5.6.



Figura 5.6: Calçamento Descontínuo.

Para vencer a diferença de cota entre a rua e a soleira dos portões das casas, foram construídas rampas transversais à calçada. Não foi realizado nenhum trabalho para

suavizar esta diferença de cota nas rampas, o que originou degraus transversais ao sentido do fluxo no passeio. Além de impedir o tráfego de cadeirantes e carrinhos de bebê, dificultam ou impedem o andar de alguém com mais dificuldade, como um idoso ou criança. O calçamento para pedestre perdeu, assim, a sua continuidade e a acessibilidade.

As pessoas caminham, então, pela rua, evitando o sobe e desce destes degraus e os obstáculos no passeio. Colocam em risco a sua integridade física, justamente numa área foco de um projeto de mobilidade urbana.

## 5.5 Faixas de Rolamento Estreitas

Conforme registrado no Estudo de Impacto Ambiental, as faixas de rolamento de veículos previstas no projeto são estreitas. A figura 5.7 apresenta dois veículos de passeio em um trecho da via.



Figura 5.7: Faixas de Rolamento Estreitas.

Apesar de serem apenas dois veículos de passeio, percebe-se que não há espaço para uma pessoa ou bicicleta ao lado dos mesmos. Agrava-se a situação quando um dos veículos é um caminhão.

O estreitamento das pistas de rolamento para veículos particulares e caminhões obriga os mesmos a trafegarem bem próximos ao meio-fio. Isto torna o estreitamento súbito ou interrupção do passeio (seção 5.4) ainda mais perigoso. Um transeunte que desça rapidamente do passeio, ou mesmo seja empurrado, corre grande risco de atropelamento, sem que o motorista tenha para onde desviar o veículo.

As inconformidades e descontinuidades observadas na ciclovia e registradas na seção 5.3 desta pesquisa estimulam ou obrigam os ciclistas a trafegar pela avenida.

Já são registradas bicicletas trafegando pelo asfalto. Neste caso o tráfego de veículos passa a ser interrompido em uma faixa e uma colisão é iminente.

## 5.6 Influência da Velocidade

A velocidade influencia diretamente no ruído gerado pelo tráfego. Em baixa velocidade, o ruído do motor é predominante sobre o ruído do rolamento dos pneus na pavimentação. A partir de aproximadamente 50 km/h, o ruído do rolamento dos pneus se eleva a tal ordem que se torna o maior contribuinte no ruído de tráfego, sobrepondo-se ao ruído do motor.

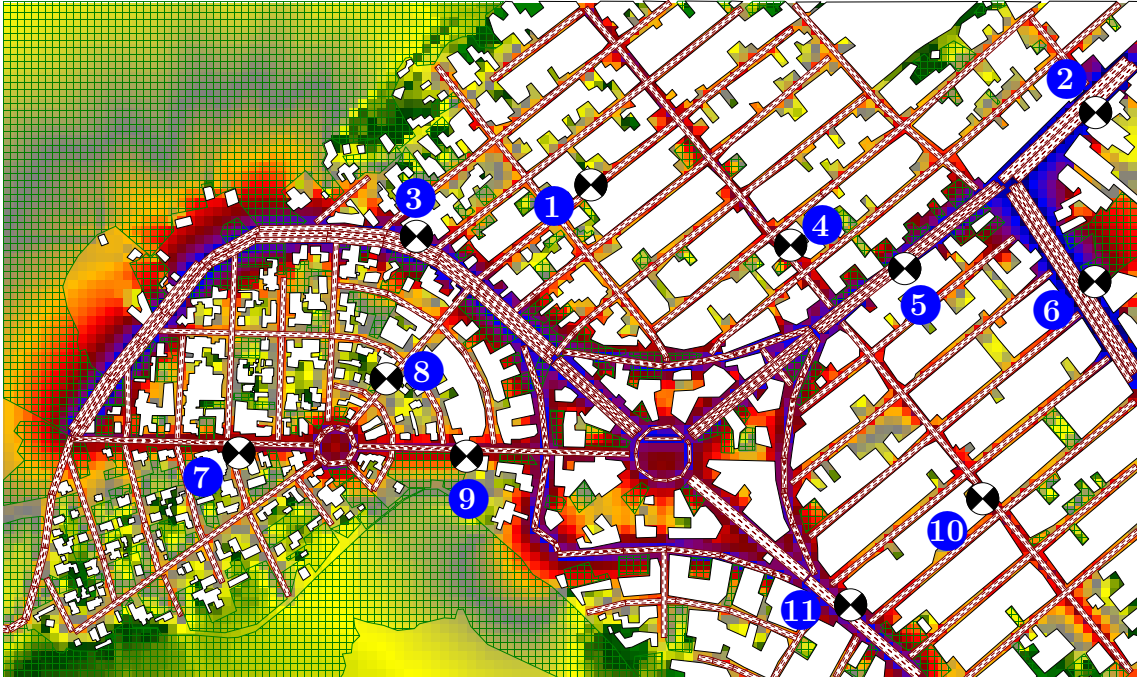
Até o encerramento deste estudo, com o túnel operando parcialmente, verificou-se que a velocidade média de veículos nas vias arteriais é superior aos 30 km/h, propostos no projeto do empreendimento (página 5-7, Estudo de Impacto Ambiental [3]).

Com o objetivo de avaliar o impacto acústico caso a velocidade seja efetivamente superior aos 30 km/h propostos, construiu-se um novo modelo acústico digital, alterando-se a velocidade das vias arteriais para 60 km/h. A figura 5.8 mostra o mapa de ruído dos períodos Dia ( $L_d$ ) e Noite ( $L_n$ ) deste modelo.

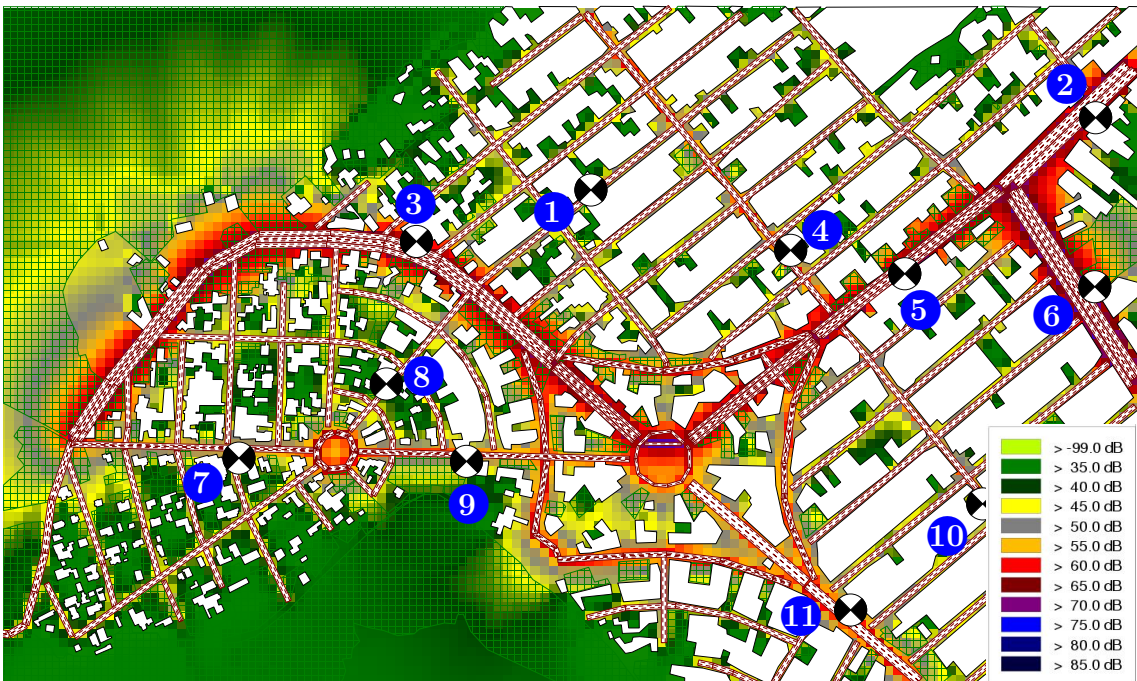
Nas vias detentoras dos pontos 3, 5, 6 e 11, a velocidade de tráfego foi alterada de 30 km/h para 60 km/h. Apesar do ponto 2 estar localizado em via arterial, sua velocidade de tráfego já era de 60 km/h, visto não estar contemplada alteração para aquele trecho da via no projeto de mobilidade em execução pela prefeitura.

Optou-se pela alteração da velocidade de tráfego para 60 km/h apenas nas vias arteriais por dois motivos. Primeiramente porque tal alteração nas vias locais não influenciaria o impacto acústico na região, devido ao baixo fluxo de veículos nas mesmas. A outra razão para esta escolha é que a velocidade de tráfego observada em campo nas vias locais é, de fato, de aproximadamente 30 km/h.

Comparando-se os mapas de ruído da figura 5.8 com os seus respectivos, gerados para a velocidade de projeto de 30 km/h, que são os mapas inferiores das figuras 4.2 e 4.4, percebe-se que são muito semelhantes. A tabela 5.1 explica esta similaridade, ao apresentar a diferença de apenas 1 dB(A) entre ambas as modelagens em todos os receptores localizados em vias com a velocidade alterada para 60 km/h. Percebe-se, então, que a alteração de velocidade não resultará em alteração sensível no impacto acústico desta intervenção urbana.



(a) Período Diurno.



(b) Período Noturno.

Figura 5.8: Mapa de ruído para o cenário sucessivo, considerando a velocidade de 60 km/h nas vias arteriais: (a) período diurno e (b) período noturno.



Tabela 5.1: NPS nos receptores no período *Dia*

número do receptor	NPS, em dB(A) (velocidade de 30 km/h)	NPS, em dB(A) (velocidade de 60 km/h)
3	74	73
5	76	75
6	76	75
11	70	69

## 5.7 Medidas de Mitigação

### 5.7.1 Ruído

Conforme observado em campo, a qualidade da pavimentação na área de estudo não é adequada. Caso se optasse por pavimento de melhor qualidade e sobre uma base sedimentada que suportasse o tráfego previsto sem avarias, o nível de ruído poderia ser reduzido. Esta medida de mitigação é avaliada, na figura 5.9, comparando mapas de acréscimo energético sonoro para duas situações do cenário de sucessão à construção do túnel: asfalto fornecido pela prefeitura local (modelo *smooth texture pavement* no *Cadna-A*) e asfalto “macio” do simulador (modelo *smooth asphalt*).

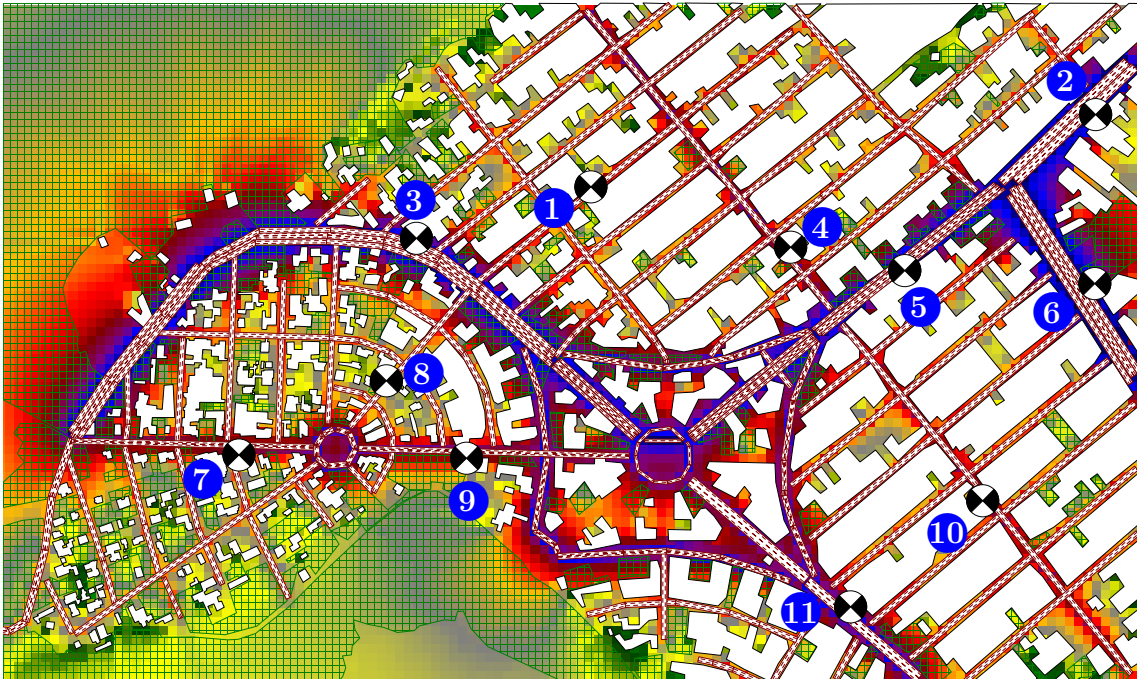
No mapa superior, figura 5.9 (a), todas as vias estão com a pavimentação tradicional local. No mapa inferior, figura 5.9 (b), a pavimentação das vias arteriais; e apenas destas, onde se situam os pontos 2, 3, 5, 6 e 11; foi alterada para a configuração *asfalto “macio”* no *Cadna-A*. Percebe-se, então, que o impacto acústico do cenário de sucessão às intervenções urbanas é sensivelmente inferior ao se optar por asfalto de melhor qualidade (figura 5.9 (b) ).

Trata-se de um pavimento amplamente utilizado e validado na Europa, continente onde foi criado o programa *Cadna-A*. Esta pavimentação foi validada em algumas vias na área de estudo, através de medições realizadas em campo por esta pesquisa.

A tabela 5.2 apresenta a diferença numérica do nível de pressão sonora nos receptores localizados nas avenidas que tiveram sua pavimentação substituída por uma de melhor qualidade. Verifica-se nestas uma diferença aproximada de 3 dB.

Observa-se que bastaria que a aplicação do pavimento asfáltico fosse de melhor qualidade nas vias arteriais, de maior fluxo, para se obter melhores resultados acústicos.

É viável, ainda, a aplicação de uma pavimentação asfáltica de alta performance (SMA, asfalto-borracha ou similar), apresentados na seção 2.4.2. Caso se faça opção por SMA ou o asfalto-borracha haveria uma redução de 3 a 8 dB, sobre os resultados do asfalto “macio”. Além desta menor emissão sonora, tais pavimentações possuem



(a) Pavimento asfáltico tradicional local.



(b) Pavimento asfáltico de melhor qualidade.

Figura 5.9: Mapa da diferença energética de ruído (a) com pavimentação asfáltica de melhor qualidade e (b) com asfalto tradicional local.

outras qualidades, como maior aderência aos pneus, evitando-se derrapagens dos veículos, maior resistência a deformação e maior vida útil.

O SMA também poderia ser aplicado sobre, ou substituindo, o concreto nas vias seletivas do BRT. Então a emissão sonora se reduziria ainda mais. Todos os mapas gerados por esta pesquisa consideraram tais vias em concreto, conforme previsto no

Tabela 5.2: Mitigação- Pavimentação de Qualidade Superior.

Ponto do Receptor	Modelagem em Asfalto de Qualidade NPS - dB(A)	Modelagem em Asfalto Tradicional NPS - dB(A)
2	75	78
3	71	74
5	74	76
6	73	76
11	67	70

projeto municipal.

Já a opção pelo asfalto ecológico, ainda geraria economia aos cofres públicos. Além disso, trata-se de uma solução ecológica, visto dar destino final aos inúmeros pneus descartados pela indústria automobilística anualmente (vide seção 2.4.2).

### 5.7.2 Acessibilidade

Nota-se que faltou uma atenção dos administradores à acessibilidade no projeto de mobilidade, o que é essencial.

Para solução dos diversos obstáculos existentes no passeio, faz-se necessária uma análise caso a caso, como por exemplo realocação de postes de energia elétrica, remoção de “fradinhos”, colocados para impedir o acesso de carros ao passeio e que dificultam o deslocamento das pessoas. Além disso, os canteiros verdes, essenciais à urbanização, não deveriam interromper o passeio.

No que se refere às rampas criadas para vencer a diferença de nível da rua à soleira de portão, é preciso usar outras soluções da engenharia que levem em consideração também a acessibilidade. Uma alternativa seria o rebaixamento do passeio ou a elevação da cota da rua. Ambos reduziriam a altura do meio-fio, deixando as rampas existentes sobre o passeio sem finalidade. A análise de cada caso, com suas peculiaridades locais, é essencial para otimização da solução a ser aplicada.

## 5.8 Avaliação Geral sobre a Implantação do Túnel

São muitos os benefícios provenientes da construção do túnel. Uma população de aproximadamente 69.000 habitantes será beneficiada diretamente. Também os trabalhadores da região oceânica, domésticos e do comércio, os turistas e usuários das diversas praias oceânicas perderão menos tempo em deslocamentos na região.

O percurso de 14 km do percurso de Cafubá à Charitas será executado em apenas 1.200 metros, sem desnível geográfico. Esse percurso, agora, poderá ser feito com a utilização de bicicleta. Sem o túnel, tratava-se de uma tarefa árdua e destinada somente a atletas.

A população prejudicada pela implementação do túnel é inferior aos 3.583 habitantes da área de estudo, sendo basicamente constituída pelos moradores do entorno das vias de acesso ao túnel.

Esses moradores vivem em uma área com disponibilidade de hospitais, comércio e faculdades, que tinha a qualidade de vida de uma cidade do interior: ruas de terra e sem trânsito, som da fauna e odor da flora circundante. Tudo sob baixíssimo nível de ruído, somente visto em regiões mais distantes dos centros urbanos.

Através da figura 4.6 pode-se estimar que a área afetada pela poluição sonora devido ao empreendimento é de 25% da área de estudo. Considerando-se um adensamento populacional homogêneo e sabendo que lá residem 3.583 pessoas, pode-se estimar que a população realmente afetada pela elevação do nível sonoro é de aproximadamente 900 habitantes.

Há de se considerar que terão seus imóveis valorizados. Oportunidade, então, de se mudar para uma área mais tranquila, longe do tumulto da cidade. Ao menos até que o desenvolvimento urbano os alcance novamente.

Alternativamente, poderia se identificar os imóveis e a população sujeitos à elevação do ruído para calcular indenizações por parte da prefeitura.

# Capítulo 6

## Conclusões

Através da elaboração de modelos do cenário acústico atual, pôde-se constatar que já há extrapolação dos valores de nível de pressão sonora indicados pela legislação, tanto federal como municipal.

Por meio da modelagem do cenário acústico esperado para após a realização das intervenções urbanas, percebe-se que vias anteriormente de baixo ruído estarão sujeitas a valores de nível de pressão sonora ainda superiores aos verificados nas vias arteriais atuais. Assim, o ruído estará adentrando em áreas que são hoje estritamente residenciais. Além de intervir no dia-a-dia e na saúde da população, colocará em risco a vida dos pássaros e macacos mico, sem falar das outras espécies da viva fauna hoje lá presente.

A população afetada é pequena, em relação à população beneficiada. Mesmo esta população prejudicada terá seu patrimônio imóvel valorizado em pouco tempo. Viabilizará, então, a sua mudança a uma área mais silenciosa. Poderão se transferir para uma área mais parecida com a que buscavam quando se instalaram na área de estudo desta pesquisa.

No entanto, até quando a urbanização precisa avançar desta forma? Por quanto tempo o desenvolvimento precisará avançar empurrando o homem desenvolvedor para áreas ainda não alcançadas pelo próprio desenvolvimento?

Percebe-se que a aplicação da engenharia urbana, antecipando-se de forma multidisciplinar às consequências deste projeto, possibilitaria a mitigação, ou mesmo a aniquilação de consequências maléficas ao ser humano. Em especial aos moradores, mas, de forma abrangente, a todos os usuários desta área de estudo: comerciantes, trabalhadores em geral, turistas e transeuntes.

Visto que este projeto de mobilidade urbana facilitará o acesso à região nobre de Niterói, além do acesso à região central e à capital fluminense, é esperado um crescimento imobiliário elevado na região. Não foi previsto qualquer crescimento do fluxo de veículos, tanto pelo Estudo de Impacto Acústico como pela presente pesquisa. Tal crescimento elevará ainda mais os já elevados níveis de pressão sonora,

previstos neste trabalho. Agravará ainda as consequências já observadas por esta pesquisa.

Apesar das exigências legais de efetiva execução de estudos preliminares ante a execução de um projeto desta magnitude, percebeu-se muitas falhas neste sentido. Não foi realizado o Estudo de Impacto de Vizinhança, exigido por lei e essencial para evitar danos à população e ao meio ambiente. Não houve qualquer preocupação com a poluição acústica existente nem com a que será gerada a partir do novo tráfego em novas vias.

Também a calçada adequada e confortável, prevista pelo descritivo do Estudo de Impacto Acústico, não foi transcrita ao projeto. Qualquer entrave físico existente foi entendido como suficiente motivo para estreitamento do passeio. Cria-se, dessa forma, calçadas sem continuidade, colocando em risco o conforto e até a integridade física da população que o utiliza.

Apesar da envergadura do projeto de mobilidade em andamento, com perspectiva de aumento da população habitante, não foram previstos investimentos na ampliação da rede de água potável, coleta de esgoto e distribuição de energia elétrica. Todos estes de responsabilidade da iniciativa privada, o que não geraria custo ao Estado. Mas quando executados após a urbanização implicam em remendos na pavimentação e transtornos no funcionamento das já estreitas vias de acesso.

A confecção de mapa de ruído de áreas sob projetos de intervenção urbanísticas apresenta de forma de fácil compreensão ao administrador público a situação atual e até futura da região. Dessa forma, o capacita à tomada de decisões da melhor forma e para o bem comum. Apesar de se tratar de uma tarefa que demanda algum tempo e custo, tais são desprezíveis ao se comparar com as perdas oriundas da tomada de decisões realizadas sem qualquer compreensão da situação existente e, menos ainda, do novo cenário projetado.

A simulação acústica permite prever problemas e inconformidades antes do projeto ser executado. Além de evitar impactos desnecessários, diminui os custos das medidas de mitigação, pois poderão ser definidas ainda na fase de projeto.

## **6.1 Limitações da Pesquisa**

Visto que as obras do projeto de mobilidade em análise já estavam em andamento no início desta pesquisa, o tráfego de veículos usual da área já estava alterado, com ruas fechadas e a presença de veículos da obra. Estes fatores podem ter influenciado os resultados da pesquisa.

De forma a minimizar esta interferência, o fluxo de tráfego pesado considerado nas simulações para as vias arteriais foi limitado ao mesmo percentual de fluxo de tráfego pesado medido em campo na avenida de acesso à mesma. Este cálculo

considera uma distribuição equilibrada do tráfego pesado em relação aos veículos leves nas vias arteriais da área de estudo. Isto pode não condizer com a realidade local.

O simulador acústico *Cadna-A* é de origem europeia, de forma que os valores ensaiados naquele continente diferem dos valores encontrados no Brasil. O desenho e a constituição dos pneus, a constituição da pavimentação asfáltica e o ruído dos motores são alguns dos fatores que divergem e podem ter trazido diferenças no resultado da pesquisa.

Uma constatação observada nesta pesquisa a este respeito foi a configuração *pavimentação asfáltica lisa* do programa, que não condiz acusticamente à pavimentação asfáltica encontrada em campo.

Ainda por se tratar de um programa de origem europeia, o elevado tráfego de motocicletas, extremamente ruidosas quase sempre, e em meio ao trânsito de veículos, circulando inclusive entre as faixas de rolamento, não é previsto pelo programa. Nas ruas locais, as motocicletas chegaram a ultrapassar o percentual de 30% dos veículos leves. Nas medições realizadas no receptor 2, principal via de acesso à região, este percentual chegou a mais de 10%. Por não haver previsão no programa, as motocicletas foram lançadas no simulador como veículos leves. Tal procedimento pode ter provocado diferenças nos resultados.

## 6.2 Pesquisas Futuras

Nesta pesquisa observou-se a existência de leis regulamentadoras em diversos municípios, trazendo aplicabilidade à legislação federal. Porém, a contenção da poluição sonora é um assunto multidisciplinar e exige atuação efetiva do poder executivo, principalmente fora do horário comercial. Propõe-se como pesquisa futura um levantamento mais detalhado sobre os municípios brasileiros com efetivo controle da poluição sonora e uma análise da efetividade da legislação na redução do ruído urbano pela comparação dos níveis antes e após a vigência das leis. A análise destas iniciativas servirão para que outros municípios possam evitar a repetição de erros e se aproveitem dos bons procedimentos e boas práticas já constatados.

Conforme observado nas medições de tráfego realizadas pelo autor, houve um crescimento acentuado do fluxo de veículos para a região de estudo em dois anos, desde a medição efetuada pelo EIA até a medição realizada para esta pesquisa. A motivação para tal crescimento é incerta. A área recebeu saneamento básico recentemente. Também a retomada deste projeto de mobilidade faz parte dos principais motivadores de acirrada ocupação. Sugere-se que seja realizada pesquisa para mensurar se a capacidade de crescimento da região é compatível com o adensamento demográfico previsto em seu plano diretor. Se as vias existentes e as previstas, além

de toda infraestrutura necessária, serão suficientes para comportar a população permitida através dos gabaritos e ocupação de áreas previstos no plano diretor.



# Referências Bibliográficas

- [1] ABNT, 2000, “Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento”, *NBR10151*, (jun.), pp. 1–4.
- [2] ABNT, 1987, “Níveis de ruído para conforto acústico - Procedimento”, *NBR10152*, (dez.), pp. 1–4.
- [3] ANDRADE, P. L. A. L., 2014, “Estudo de Impacto Ambiental - EIA - Corredor Viário Transoceânica”, *INEA*, (mar.). processo 07/002.3752/2013.
- [4] ARAÚJO, K. C., 2013, *Diagnóstico da poluição sonora na cidade do Recife-PE*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Centro Acadêmico de Vitória, Programa de pós-graduação em saúde humana e meio ambiente.
- [5] ARANA, M., 2010, “Are urban noise pollution levels decreasing?” *The Journal of Acoustical Society of America*, v. 127, n. 4 (abr.).
- [6] BAERWALD, J. E., 1965, *Traffic engineering handbook*. 3<sup>a</sup> ed. Washington D.C., U.S.A., Institute of Transportation Engineers.
- [7] BELO HORIZONTE, 2017, “Lei Municipal nº 16.529/2016”, *Diário Oficial do Município de Belo Horizonte*. Publicado em janeiro de 2017.
- [8] BELOJEVIC, G., JAKOVLEVIC, B., ALEKSIC, O., 1997, “Subjective reactions for traffic noise with regard to some personality traits”, *Environment International*, v. 2, n. 23 (dezembro), pp. 221–226. ISSN: 0160-4120.
- [9] BRASIL, 1990, “CONAMA Nº 001/1990”, *Diário Oficial da União*, p. 6408. Publicado em 2 de abril de 1990. Retificado em 16 de agosto de 1990 p.15520.
- [10] BRASIL, 1999, “CONAMA Nº 252/1999”, *Diário Oficial da União*. Publicado em 1 de fevereiro de 1999.
- [11] BRASIL, 2000, “CONAMA Nº 272”, *Diário Oficial da União*. Publicado em 10 de janeiro de 2001.

- [12] BRASIL, 2015. “Norma Regulamentadora NR-15, Atividades e Operações Insalubres”. Ministério do Trabalho.
- [13] BRITO, L. A. P. F., 2015, “Influência na qualidade e tipo de pavimento na geração de ruído pelo tráfego de veículos”. In: *XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído*.
- [14] BROWN, E. R., MALLICK, R. B., HADDOCK, J. E., et al., 1997, “Performance of stone matrix asphalt (SMA) mixtures in the United States”, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, v. 66, n. NCAT Report No. 97-1 (janeiro).
- [15] COUTO, M., 2014, “Audiência Pública do Corredor Viário TransOceânica”, INEA, (jun.). Processo 07/002.3752/2013.
- [16] CURITIBA, 2002, “Lei Municipal Nº 10.625”, *Diário Oficial do Município de Curitiba*. Publicado em 19 de dezembro de 2002.
- [17] Directive 2002/49/EC, 2002, *Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise*. Directive, European Parliament and Council of the European Union, Luxembourg, jul.
- [18] DUTILLEUX, G., DEFRANCE, J., ECOTIÈRE, D., et al., 2010, “NMPB-Routes-2008: The Revision of the French Method for Road Traffic Noise Prediction”, *Acta Acustica united with Acustica*, v. 96 (maio), pp. 452–462. ISSN: 1610-1928.
- [19] EDWARDS JR, J. D., 1999, *Transportation planning handbook*. 2<sup>a</sup> ed. Washington, D.C., U.S.A., Institute of Transportation Engineers. ISBN: 0935403337.
- [20] FIOCRUZ, 2015. “Biossegurança- Riscos Físicos”. Disponível em: <[http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab\\_virtual/riscos\\_fisicos.html](http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/riscos_fisicos.html)>.
- [21] FORTALEZA, 2017, “Lei Municipal nº 10644”, *Diário Oficial do Município de Fortaleza*, (novembro). Publicado em 28 de novembro de 2017.
- [22] FORTALEZA, 1997, “Lei Municipal nº 8097”, *Diário Oficial do Município de Fortaleza*. Publicado em 2 de dezembro de 1997.
- [23] FREITAS, R., AZEREDO, J., SOUZA, B. S., 2015, “Mapeamento acústico como recurso de avaliação da qualidade ambiental urbana, em Recife/PE”.

In: *XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído*.

- [24] GEOFUSION, 2016. “Veja quais são as cidades com maior renda do Brasil e de cada região”. Disponível em: <<https://blog.geofusion.com.br/estudo-20-cidades-maior-renda-brasil>>.
- [25] GREER, G., 2006, “Stone Mastic Asphalt - A review of its noise reducing and early life skid resistance properties”. In: *Proceedings of Acoustics*, pp. 319–323, Christchurch, New Zealand, november.
- [26] GUEDES, I., BERTOLI, S., ZANNIN, P., 2011, “Influence of urban shapes on environmental noise: a case study in Aracaju - Brazil.” *Science of the Total Environment*, v. 412-413 (December), pp. 66–76. ISSN: 0048-9697.
- [27] GUEDES, I. C. M., BERTOLI, S. R., 2015, “Ruído de tráfego veicular em áreas urbanas: mapeamento sistemático de literatura”. In: *XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído*.
- [28] IBGE, 2010. “Censo Demográfico”. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>.
- [29] ISO 1996-1:2003(E), 2003, “Acoustics - description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: basic quantities and assessment procedures”, *International Organization for Standardization*, v. 2003 (ago.).
- [30] ISO 1996-2:2007(E), 2007, “Acoustics- description, measurement and assessment of environmental noise- Part 2, determination of environmental noise levels”, *International Organization for Standardization*, v. 2007 (mar.).
- [31] KREIDE, M., BUDIJA, M., CARSWELL, J., 2003, “THE ‘Original’ stone mastic asphalt: The german experience”. In: *21th ARRB Transport Research Conference and 11th Road Engineering Association of Asia and Australasia (REAAA) Conference*, Cairns, Queensland, Australia.
- [32] NITERÓI, 2002, “Lei Municipal 1.968”, *Diário Oficial do Município de Niterói*. Publicado em 4 de abril de 2002.
- [33] NITERÓI, 2008, “Lei Municipal 2.602”, *A Tribuna*. Publicado em 15 de outubro de 2008.
- [34] NITERÓI, 1990, “Lei Orgânica do Município de Niterói-RJ”, *Diário Oficial do Município de Niterói*. Publicado em 4 de abril de 1990.

- [35] NITERÓITV, 2013. “Niterói e Sua História”. Disponível em: <<http://www.niteroitv.com.br/guia>>.
- [36] OMS, 2011, *Burden of disease from environmental noise*. Relatório técnico, Organização Mundial da Saúde.
- [37] OMS, 2009, *Night Noise Guidelines for Europe*. Relatório técnico, Organização Mundial da Saúde.
- [38] PERNAMBUCO, 2005, “Lei Estadual N° 12.789”, *Diário Oficial do Estado de Pernambuco*. Publicado em 28 de abril de 2005.
- [39] PIARC, 2013, *Quiet Pavement Technologies*. França. ISBN: 978-2-84060-327-6.
- [40] PINTO, R., 2006, *Uma proposta para viabilizar as medições necessárias à vistoria do ruído veicular, na condição parado, nos postos do Detran, no Estado do Rio de Janeiro*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, junho. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica, COPPE.
- [41] PRATE, M., 2013, “As 30 cidades onde as famílias têm mais dinheiro no Brasil”, *Revista EXAME*, (fev.). ISSN: 0102-2881. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/brasil/as-30-cidades-onde-as-familias-tem-mais-dinheiro-no-brasil/>>.
- [42] RECIFE, 1997, “Lei Municipal N° 16.289/1997”, *Diário Oficial do Município do Recife*. Publicado em 29 de janeiro de 1997.
- [43] ROCHA, R. B., 2009, *Um método para adequação do zoneamento urbano à influência sonora dos aeroportos com auxílio de sistemas de informação geográfica: o caso do aeroporto de Congonhas e seu entorno*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica, COPPE.
- [44] SANCHES, F. G., GRANDINI, F. H. B., JUNIOR, O. B., 2012, *Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com utilização do Asfalto-Borracha em relação ao Asfalto Tradicional*. Tese de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, junho. Departamento Acadêmico de Construção Civil.
- [45] SCHWELA, D. H., FINEGOLD, L. S., GJESTLAND, T., 2014, “Progress on environment noise policies from 2008-2013 in Asia and the world”. In: *Internoise*, Melbourne, Australia, nov.

- [46] SÃO PAULO, 1994, “Decreto Municipal N° 34.569”, *Diário Oficial do Município de São Paulo*. Publicado em 6 de outubro de 1994.
- [47] SÃO PAULO, 1995, “Lei Municipal N° 11.804”, *Diário Oficial do Município de São Paulo*. Publicado em 19 de junho de 1995.
- [48] SÃO PAULO, 1996, “Lei Municipal N° 11.986”, *Diário Oficial do Município de São Paulo*. Publicado em 17 de janeiro de 1996.
- [49] SÃO PAULO, 2001, “Lei Municipal N° 13.190”, *Diário Oficial do Município de São Paulo*. Publicado em 19 de outubro de 2001.
- [50] SÃO PAULO, 2002, “Lei Municipal N° 13.287”, *Diário Oficial do Município de São Paulo*. Publicado em 9 de janeiro de 2002.
- [51] SÃO PAULO, 2010, “Lei Municipal N° 15.133”, *Diário Oficial do Município de São Paulo*. Publicado em 16 de março de 2010.
- [52] SÃO PAULO, 2016, “Lei Municipal N° 16.499”, *Diário Oficial do Município de São Paulo*. Publicado em 20 de julho de 2016.
- [53] TEIXEIRA, F., MELLO, I., 2016, “Promotor recomenda paralização da Transoceânica por falta de Estudo de Impacto de Vizinhança”, *O Globo*, v. Bairros (21 de agosto).
- [54] ZATARIN, A. P. M., DA SILVA, A. L. F., DOS SANTOS ANEMAM, L., et al., 2016, “Viabilidade da Pavimentação com asfalto-borracha”, *Revista gestão sustentável ambiental*, v. 5, n. 2 (outubro), pp. 649–674.

# Apêndice A

## Fotos dos Pontos de Medição

Seguem anexadas fotos de todos os pontos onde foram realizadas as medições acústicas e de tráfego. A figura A.1, repetida da seção 3.6, mostra a localização dos pontos.



Figura A.1: Localização dos Pontos de Medição. FONTE: Google Earth, acessado em out/2015.



Figura A.2: Ponto de medição 1



Figura A.3: Ponto de medição 2



Figura A.4: Ponto de medição 3



Figura A.5: Ponto de medição 4





Figura A.6: Ponto de medição 5



Figura A.7: Ponto de medição 6



Figura A.8: Ponto de medição 7



Figura A.9: Ponto de medição 8



Figura A.10: Ponto de medição 9



Figura A.11: Ponto de medição 10



Figura A.12: Ponto de medição 11