



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

FABRÍCIO FIORITO DE CAMPOS FERREIRA

IMPACTO AMBIENTAL SONORO COM A IMPLANTAÇÃO DA LINHA 4 DO METRÔ
RJ

Rio de Janeiro

2017



UFRJ

FABRÍCIO FIORITO DE CAMPOS FERREIRA

IMPACTO AMBIENTAL SONORO COM A IMPLANTAÇÃO DA LINHA 4 DO METRÔ
RJ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de 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.

Orientadora: Rosane Martins Alves, D.Sc.

Coorientador: Julio Cesar Boscher Torres

Rio de Janeiro

2017

Ferreira, Fabrício Fiorito de Campos

Impacto ambiental sonoro com a implantação da Linha 4 do metrô RJ
/ Fabrício Fiorito de Campos Ferreira. – 2017.

90 f.: il; 29,7 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2017.

Orientador: Rosane Martins Alves

Coorientador: Julio Cesar Boscher Torres

1. Ruído ferroviário, 2. Ruído Urbano, 3. Simulação Acústica, 4. Transporte público, 5. Tráfego Viário. I. Alves, Rosane Martins (Orient.); Torres, Júlio César Boscher (Coorient.). II Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. III. Título.



UFRJ

IMPACTO AMBIENTAL SONORO COM A IMPLANTAÇÃO DA LINHA 4 DO METRÔ RJ

Fabício Fiorito de Campos Ferreira

Orientadora: Rosane Martins Alves
Coorientador: Julio Cesar Boscher Torres

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de 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.

Aprovada pela Banca:

Prof^ª. Rosane Martins Alves, D.Sc., PEU/UFRJ – Presidente

Prof. Julio Cesar Boscher Torres, D.Sc., PEU/UFRJ

Prof. Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto, D.Sc., PEU/UFRJ

Prof. Jules Ghislain Slama, D.Sc., PEM/COPPE/UFRJ

Prof^ª. Maria Lygia Alves de Niemeyer, D.Sc., FAU/UFRJ

Rio de Janeiro
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades confiadas a mim nesta missão.

Agradeço a minha família por todo o apoio necessário para chegar até aqui, a Rita, com seu apoio incondicional e a Alice pelo seu carinho sincero.

A minha orientadora, Rosane Martins Alves, que esteve comigo desde o princípio desta empreitada, oferecendo o melhor do seu conhecimento, apoio e dedicação, além de sua confiança neste trabalho e compreensão.

Ao coorientador Julio, pela proposta de linha de pesquisa.

Ao colega Amauri, por todo o suporte e disponibilidade para os trabalhos de campo e modelagem.

Ao Programa de Engenharia Urbana e seu corpo docente e funcionários.

Aos colegas de turma, em especial Franklin, Cícero, Fred e Zé Alfredo.

RESUMO

FERREIRA, Fabrício Fiorito de Campos. **Impacto ambiental sonoro com a implantação da Linha 4 do metrô RJ.** Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Na cidade do Rio de Janeiro, as intervenções em mobilidade urbana têm sido acompanhadas por problemas devido à falta de planejamento adequado ao longo do seu horizonte de projeto. Por outro lado, com o crescimento demográfico e expansão acelerada da cidade, novos projetos para atender a essa demanda foram implantados. A Linha 4 do metrô do Rio de Janeiro foi um desses projetos. Inaugurada para os Jogos Olímpicos de 2016, ligando a Barra da Tijuca à Zona Sul e ao centro da cidade. A linha possui um trecho elevado, próximo a áreas residenciais e comerciais, sendo uma potencial fonte de ruído urbano na região. Neste trabalho, realizou-se uma análise da influência desse trecho elevado do Metrô sobre o ruído urbano no entorno da trajetória. A análise foi realizada através da comparação entre os cenários pré e pós-operação da nova linha. Para cada cenário foram elaborados mapas de ruído, considerando os aspectos viários, tais como fluxos de veículos, características das vias, dados de operação dos trens e morfológicos da região. Os mapas de ruído foram validados através de medições de nível de pressão sonora em diversos pontos da área de estudo e possibilitaram identificar de que forma o novo trecho contribui para a elevação dos níveis observados. A análise comparativa dos mapas acústicos de cada cenário possibilitou concluir que a introdução do novo trecho não causa elevação significativa nos níveis de pressão sonora. Observa-se que tal situação não decorre de medidas mitigatórias específicas, tais como barreiras acústicas ou de operação da linha, mas sim da inserção de um trecho de linha férrea em meio a uma área onde os níveis de ruído já ultrapassam consideravelmente aqueles indicados pelas normas brasileiras.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído ferroviário, Ruído Urbano, Simulação Acústica, Transporte Público, Tráfego Viário.

ABSTRACT

FERREIRA, Fabrício Fiorito de Campos. **Environmental noise impact of metro RJ Line 4 deployment.** Rio de Janeiro, 2017. Dissertation (Master) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

In the city of Rio de Janeiro, interventions in urban mobility have been accompanied by problems due to the lack of adequate planning throughout its project lifetime. On the other hand, with the demographic growth and city's accelerated expansion, new projects to meet this demand were implemented. Line 4 of the Rio de Janeiro subway was one such project. With its start up for the 2016 Olympic Games, this line connects Barra da Tijuca to the South Side and the city downtown. This line has an open-air path, near to residential and commercial areas, with a potential urban noise increase for the region. This paper presents the analysis of the influence of this subway path on the urban noise near the track. The analysis was performed by comparing two scenarios, before and after operation of this new line. For each scenario, noise maps were developed, considering aspects such as vehicle flows, road characteristics, train operations data and morphology. Noise maps have been validated through sound pressure level measurements at various points of the study area and made it possible to identify how the new stretch contributes to the high levels observed. The comparative analysis of acoustic maps of each scenario allowed conclude that the introduction of the new stretch does not cause a significant increase in sound pressure levels. It is observed that such condition does not arise from specific mitigation measures, such as noise barriers or line operation, but from the insertion of a railway stretch in an area where noise levels already exceed considerably those indicated by Brazilian standards.

KEYWORDS: Railway Noise, Urban Noise, Acoustic Simulation, Public Transport, Vehicle Traffic.

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - População rural e urbana do mundo, 1950 - 2050..... | 15 |
| Figura 2 – Percentual de população urbana em 2014..... | 16 |
| Figura 3 – Localização da ponte estaiada da Linha 4 com área residencial da Barra da Tijuca. | 18 |
| Figura 4 – Área de planejamento do Rio de Janeiro..... | 22 |
| Figura 5 - Área de construção licenciada entre 1998 - 2005..... | 23 |
| Figura 6 - Distribuição populacional por Área de Planejamento – 2016..... | 24 |
| Figura 7 - Distribuição populacional por Área de Planejamento – 2040..... | 24 |
| Figura 8 – Planta ilustrativa do Plano Piloto para a Urbanização da Baixada Compreendida entre a Barra da Tijuca, o Pontal de Sernambetiba e Jacarepaguá..... | 25 |
| Figura 9 – Reportagem sobre reclamações com ruído de trânsito..... | 28 |
| Figura 10 – Mercado Municipal Praça XV..... | 31 |
| Figura 11 - Mercado Municipal da Praça XV com o Elevado da Perimetral..... | 31 |
| Figura 12 - Edificação restante do Mercado Municipal..... | 31 |
| Figura 13 - Estádio das Laranjeiras, com sua arquibancada original completa, e Palácio Guanabara ao fundo..... | 32 |
| Figura 14 - Estádio das Laranjeiras sem a arquibancada, demolida para o alargamento da Rua Pinheiro Machado..... | 33 |
| Figura 15 - Demolição de casas no Catumbi, para implantação da Linha Lilás..... | 33 |
| Figura 16 - Avenida Paulo de Frontin década de 1920 com Igreja de São Pedro ao Fundo.... | 34 |
| Figura 17 - Viaduto sobre a Avenida Paulo de Frontin com Igreja de São Pedro ao fundo e edificação próxima ao viaduto..... | 35 |
| Figura 18 – Imagem do viaduto Engº Freyssinet em frente a Paróquia Nossa Senhora das Dores. | 35 |
| Figura 19 - Construção da Autoestrada Lagoa Barra (1981)..... | 36 |
| Figura 20 - Demolições na Rua Bela em São Cristóvão para a Construção da Linha Vermelha | 37 |
| Figura 21 - Viaduto da Linha Vermelha sobre a Rua Figueira de Melo..... | 37 |
| Figura 22 - Linha Amarela em trecho próximo ao Colégio Estadual Olinto da Gama Botelho | 38 |
| Figura 23 - Evolução da produção acadêmica referente ao conceito DOTS..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 24 - Trem japonês ou metrô: nova polêmica no Rio. 31 de agosto de 1996..... | 42 |
| Figura 25 – Reportagem: Novos caminhos por debaixo da terra. 7 de maio de 1998..... | 43 |
| Figura 26 – Traçado vencedor da licitação da Linha 4 – Barra até Botafogo. | 43 |
| Figura 27 - Comparação entre os traçados da Linha 6 (Estado) e TransPan (Município) | 44 |
| Figura 28 - Rede sobre trilhos conforme PDTU 2005 | 45 |
| Figura 29 - DOTS conforme ilustrado pelo ITDP..... | 46 |
| Figura 30 - Zoneamento da área de influência direta da Linha 4..... | 50 |
| Figura 31 – Área de influência das estações e densidade populacional do zoneamento..... | 51 |
| Figura 32 - Traçado da Linha 4 construído. | 52 |
| Figura 33 - Ponte estaiada projetada por Santiago Calatrava..... | 53 |
| Figura 34 - Charge apresentando a reação individual distinta para o mesmo som. | 54 |
| Figura 35 - Fonte sonora - via de tráfego de veículos. | 58 |
| Figura 36 - Transmissão de ruído e vibrações por metrô. | 59 |
| Figura 37 - Mapa de ruído de Copacabana..... | 64 |
| Figura 38 - Interface gráfica do software CadnaA. | 65 |
| Figura 39 - Ponte sobre o canal da Barra da Tijuca e via metroviária realçada. | 68 |
| Figura 40 – Ponte estaiada na área de implantação da Linha 4 a céu aberto..... | 68 |
| Figura 41 – Mapa urbano básico do Jardim Oceânico – Área de estudo | 69 |
| Figura 42 - Mapa de uso do solo na região de estudo | 70 |
| Figura 43 - Delimitação da área de estudo | 71 |
| Figura 44 - Medidor de pressão sonora e câmera para filmagem de tráfego..... | 72 |
| Figura 45 – Filmagem para contagem de tráfego e verificação da distribuição de veículos em leves e pesados. | 73 |
| Figura 46 – Localização por GPS e condições meteorológicas no momento da medição nos pontos receptores. | 73 |
| Figura 47 - Altura do microfone do medidor em relação ao solo..... | 74 |
| Figura 48 - Interface gráfica do software de apresentação de dados coletados pelo medidor de pressão sonora. | 75 |
| Figura 49 – Configuração urbana da região do Jardim Oceânico antes da implantação da Linha 4 em 2/1/2010..... | 77 |
| Figura 50 – Mapa de ruído da região do Jardim Oceânico, Cenário 1, antes da implantação do metrô..... | 77 |
| Figura 51 - Avaliação isolada da metrovia..... | 78 |

| | |
|--|----|
| Figura 52 - Configuração urbana atual da região do Jardim Oceânico após a implantação da Linha 4..... | 79 |
| Figura 53 - Mapa de ruído da região do jardim Oceânico, cenário após a implantação do metrô. | 80 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Distribuição populacional por Área de Planejamento - Cenário tendencial | 23 |
| Tabela 2 - Densidade populacional (hab/ha) por Área de Planejamento - Cenário tendencial | 23 |
| Tabela 3 – População na Barra da Tijuca. | 27 |
| Tabela 4 - Oito princípios do DOTS | 47 |
| Tabela 5 – Demanda entre o Jardim Oceânico – General Osório | 48 |
| Tabela 6 - Embarques Diários por Estação, em milhares de passageiros..... | 49 |
| Tabela 7 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externo, em dB(A). | 62 |
| Tabela 8 – Pontos de medição e tomada de dados. | 72 |
| Tabela 9 – Cenários elaborados para modelagem e simulações do modelo acústico computacional..... | 76 |
| Tabela 10 – Comparação dos valores obtidos pela medição em campo e os valores obtidos pela simulação do modelo acústico para os cenários 1 e 3. | 81 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| 2D | 2 dimensões |
| 3D | 3 dimensões |
| a.a. | Ao ano |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AMV | Aparelho de mudança de via |
| AP | Área de Planejamento |
| BRT | <i>Bus Rapid Transit</i> |
| CAD | <i>Computer Aided Design</i> |
| CADNAA | <i>Computer Aided Noise Abatement</i> |
| CBD | <i>Central Business District</i> |
| CE | Comunidade Européia |
| CEDAE | Companhia Estadual de Água e Esgoto |
| CETUR | <i>Centre d'Études des Transports Urbains</i> |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CONTRAN | Conselho Nacional de Transito |
| dB | Decibel |
| dB(A) | Decibel ponderado pela curva "A" |
| DOTS | Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável |
| DXF | <i>Drawing Exchange Format</i> |
| FGV | Fundação Getúlio Vargas |
| GERJ | Governo do Estado do Rio de Janeiro |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> |
| HSST | <i>High Speed Surface Transport</i> |
| Hz | Hertz |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPP | Instituto Pereira Passos |
| IPTU | Imposto Predial e Territorial Urbano |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| ITDP | <i>Institute for Transportation and Development Policy</i> |
| km/h | Quilômetros por hora |

| | |
|-------|---|
| LAeq | Nível de Ruído Equivalente, em dB(A) |
| Leq | Nível de Ruído Equivalente |
| m | Metro |
| NBR | Norma Brasileira |
| NCA | Nível de critério de avaliação |
| NPS | Nível de Pressão Sonora |
| OD | Origem-destino |
| ODEPA | Organização Desportiva Panamericana |
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PDTU | Plano Diretor de Transporte Urbano |
| PIT | Plano Integrado de Transportes |
| PNMU | Plano Nacional de Mobilidade Urbana |
| PTM | Plano de Transporte de Massa |
| RA | Região Administrativa |
| RMRJ | Região Metropolitana do Rio de Janeiro |
| TCRP | <i>Transit Cooperative Research Program</i> |
| TNM | Transporte não motorizado |
| TOD | <i>Transit Oriented Development</i> |
| VLT | Veículo Leve Sobre Trilhos |
| ZE5 | Zona Especial 5 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 15 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA | 19 |
| 1.3 | OBJETIVOS | 20 |
| 1.4 | METODOLOGIA | 20 |
| 1.5 | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO..... | 21 |
| 2 | IMPACTOS DO CRESCIMENTO URBANO | 22 |
| 2.1 | PERFIL DE CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO DA CIDADE | 22 |
| 2.2 | DESENVOLVIMENTO URBANO DA BARRA DA TIJUCA | 25 |
| 2.2.1 | O Plano Lúcio Costa | 25 |
| 2.2.2 | Projetos de infraestrutura e ocupação imobiliária | 27 |
| 2.3 | EFEITOS DE SOLUÇÕES URBANAS NÃO-INTEGRADAS..... | 28 |
| 2.3.1 | Intervenções relevantes no Rio de Janeiro | 30 |
| 3 | A IMPLANTAÇÃO DA LINHA 4 DO METRÔ RJ | 41 |
| 3.1 | DEMANDA HISTÓRICA POR TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE | 41 |
| 3.2 | DESENVOLVIMENTO ORIENTADO AO TRANSPORTE SUSTENTÁVEL (DOTS) | 45 |
| 3.3 | ESTUDO DE DEMANDA DA LINHA 4..... | 48 |
| 3.3.1 | Área de influência da Linha 4 | 49 |
| 4 | SOM E RUÍDO URBANO | 54 |
| 4.1 | EFEITOS DO RUÍDO | 55 |
| 4.2 | FONTES DE RUÍDO NAS CIDADES | 56 |
| 4.2.1 | Ruído de tráfego | 57 |
| 4.2.2 | Ruído ferroviário | 58 |
| 4.3 | LEGISLAÇÃO SOBRE RUÍDO URBANO | 60 |
| 4.3.1 | Recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) | 60 |
| 4.3.2 | Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA | 61 |
| 4.3.3 | Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 10151 | 61 |
| 4.3.4 | Lei ordinária n° 3.268 de 29 de agosto de 2001 do município do Rio de Janeiro | 62 |
| 4.4 | SIMULAÇÃO ACÚSTICA E MAPAS DE RUÍDO | 62 |
| 5 | AVALIAÇÃO DO RUÍDO EM TORNO DA LINHA 4 DO METRO | 67 |
| 5.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E USO DO SOLO..... | 67 |
| 5.2 | LEVANTAMENTO DE CAMPO E MEDIÇÕES | 71 |

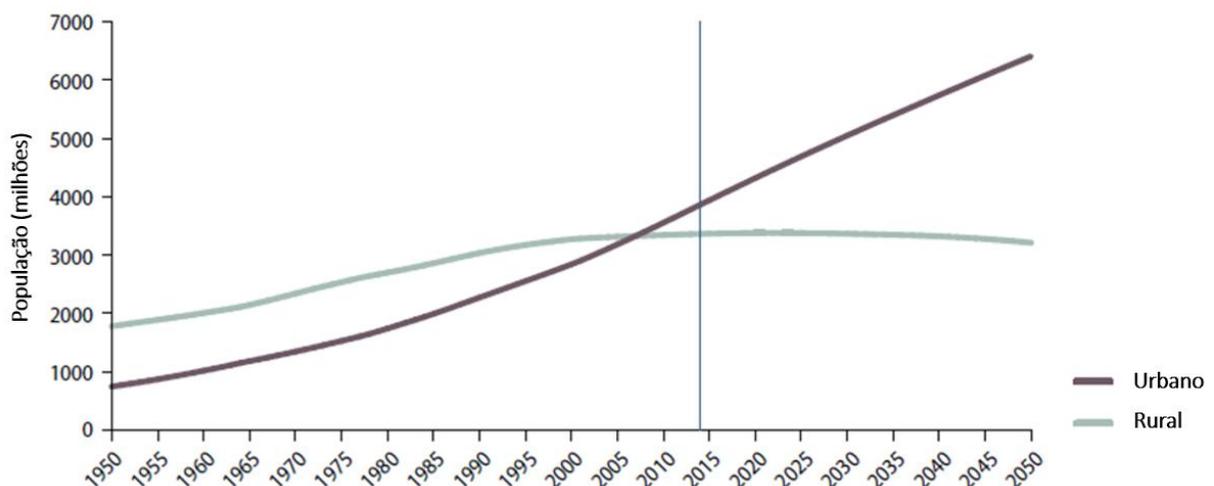
| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.3 | CENÁRIOS UTILIZADOS NA MODELAGEM ACÚSTICA E NA GERAÇÃO DOS MAPAS DE RUÍDO | 75 |
| 5.3.1 | Cenário 1 - Área de estudo antes da implantação do metrô | 76 |
| 5.3.2 | Cenário 2 - Influência isolada do metrô..... | 78 |
| 5.3.3 | Cenário 3 - Área de estudo posterior à implantação metrô | 79 |
| 5.4 | RESULTADOS – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE | 80 |
| 5.5 | ALTERNATIVAS PARA REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO URBANO | 82 |
| 6 | CONCLUSÕES | 84 |
| 6.1 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 84 |
| 6.2 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 86 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 87 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Numa análise global, verifica-se que mais pessoas vivem em áreas urbanas que em áreas rurais. Segundo a ONU (2014), em 1950, 70% da população mundial ainda estavam localizados em áreas rurais, tendo sido constatado pela primeira vez em 2007 que a população urbana superou a rural. Segundo este mesmo relatório, em 2014, os centros urbanos eram o local de moradia de 54% da população global, e estima-se que, em 2050, serão 66% da população residente nas cidades, conforme projeção apresentada na Figura 1.

Figura 1 - População rural e urbana do mundo, 1950 - 2050.

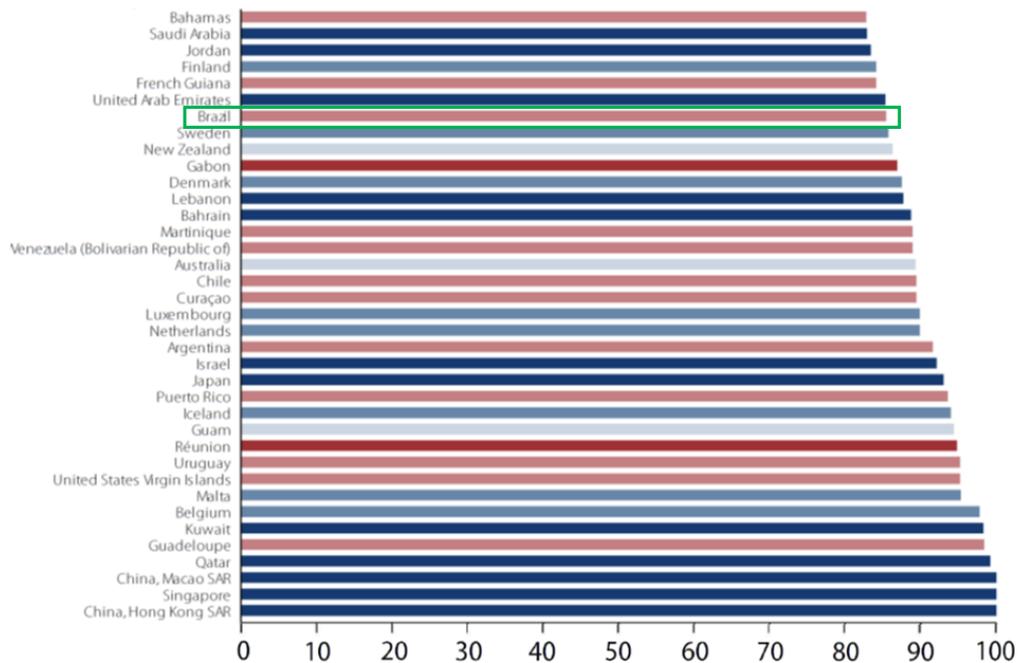


Fonte: Organização das Nações Unidas, 2014.

Na América Latina, o percentual de pessoas vivendo nas grandes cidades é maior do que a média mundial, atingindo 80% em todo o continente, sendo no Brasil 85% de sua população (Figura 2). Segundo projeção da ONU (2014), o nosso país terá 91% de sua população morando nas grandes cidades. Das 28 megacidades do planeta, ou seja, conglomerados urbanos com mais de 10 milhões de habitantes, duas localizam-se no Brasil, e até 2030, esse número chegará a 41 em todo o mundo.

A ONU (2014) cita que, como o mundo continua a se urbanizar, aumentarão os desafios para o desenvolvimento sustentável nas cidades, principalmente em países em desenvolvimento, onde o crescimento populacional é mais acelerado.

Figura 2 – Percentual de população urbana em 2014.



Fonte: Organização das Nações Unidas, 2014.

Devido a esse fenômeno populacional e à urbanização nas grandes cidades, tem-se um aumento na demanda por serviços, como habitação, saúde, educação e transportes. Advém daí a expansão demasiada das cidades, implicando na ampliação de sistemas de rodovias, instalações aeroportuárias e redes ferroviárias, além de instalações industriais.

Segundo Cervero (2013), as cidades de países em desenvolvimento, como o Brasil, apresentam desafios na área do transporte, distintos das nações desenvolvidas. A coordenação entre a mobilidade urbana e o uso do solo é uma forma de aumentar e potencializar os benefícios naturais das regiões para a sociedade e possibilitar a prosperidade econômica de longo prazo. Estes países estão em progressiva industrialização e remuneração *per capita*. Isto acaba por influenciar uma combinação de rápida motorização e espraiamento urbano, sem infraestrutura suficiente ou compatível com a demanda, o que contribui para o aumento do congestionamento nas cidades.

Estudos comprovam o impacto do setor de transportes sobre a poluição sonora e atmosférica, bem como o elevado consumo de combustível fóssil, configurando-se como um dos principais setores que afetam as mudanças climáticas (CARVALHO, 2011; COLVILE et al., 2001; KRZYŻANOWSKI; KUNA-DIBBERT; SCHNEIDER, 2005). Com a reconhecida importância do setor de transportes sobre o desenvolvimento sustentável das cidades, em 2012, foi estabelecida a Lei No 12.587, denominada Política Nacional de Mobilidade Urbana

(PNMU). A lei busca aproximar o planejamento dos transportes ao do uso do solo para haver a priorização ao transporte coletivo público e o estímulo ao uso de transporte ativo, como caminhada ou bicicleta, em distâncias apropriadas, ampliando-se as alternativas à utilização do automóvel. Tais princípios estão alinhados ao conceito do Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS), com experiências de sucesso em vários locais do mundo.

Desta forma, o modelo do DOTS é uma alternativa para promover o desenvolvimento urbano integrado mais sustentável. Por ter a intenção de reduzir a dependência do automóvel, este modelo urbanístico reduz a necessidade de longos deslocamentos por meio do uso misto do solo, estimula o uso de Transporte Não Motorizado (TNM), buscando garantir maior conforto e segurança para pedestres e ciclistas, de forma a ampliar a acessibilidade do sistema de transporte coletivo. Este último fator está ligado às intervenções realizadas ao redor de estações de transporte de média-alta capacidade, como metrô, trem, VLT, ou mesmo o *Bus Rapid Transit* (BRT).

O crescimento das cidades e suas redes de serviços, se feitos sem o planejamento adequado, podem colaborar para o aumento dos problemas urbanos, tais como, ineficiência dos serviços, congestionamentos viários e poluições ambientais, que englobam a atmosférica, visual e também o ruído urbano. Segundo a OMS (1999) as principais fontes de ruído urbano são as rodovias, ferrovias, tráfego aéreo, construções, além do barulho causado pela vizinhança.

Em meio a outros problemas ambientais, a poluição sonora continua a crescer, onde se observa uma reação por parte da população exposta ao ruído (OMS, 1999). O aumento da poluição sonora no ambiente urbano é grave, não apenas porque envolve efeitos diretos e acumulativos na saúde, mas também por afetar as gerações futuras, degradando os diferentes espaços sociais, locais de moradia e as escolas, resultando em expressivas perdas econômicas e em visível decréscimo da qualidade de vida das pessoas. (ONU, 2014 *apud* Berglund 1998).

A adaptabilidade do ser humano ao ruído favorece a acomodação das pessoas, evitando reclamações ou mesmo a mobilização para cessá-lo, faltando iniciativa dos cidadãos na cobrança de medidas do poder público. Uma possível mobilização contribuiria para evitar os males que a grande exposição ao ruído pode provocar à saúde (FERNANDES, 2013).

Segundo Rodrigues (2006), nos centros urbanos, o tráfego de veículos é um forte contribuinte na geração de ruídos e de outros dois tipos específicos de poluição: atmosférica e visual. Além destes impactos, os automóveis contribuem para efeitos negativos, tais como acidentes de trânsito, alto consumo de energia não renovável, desumanização do espaço urbano, espalhamento das cidades e vultuosos investimentos no sistema viário.

Com a escolha da cidade do Rio de Janeiro como sede das Olimpíadas de 2016, o Governo de Estado promoveu a implantação de uma nova ligação de transporte coletivo de alta capacidade entre a Barra da Tijuca e a Zona Sul. Esta ampliação da rede metroviária e a integração entre as Linhas 1 e 4 procuram contribuir com soluções de mobilidade urbana na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Esta é uma forma de aumentar a oferta de transporte público de alta capacidade na região que mais se expande na cidade, a Barra da Tijuca. Neste bairro, há décadas, se incentivou o transporte individual motorizado, resultando em congestionamentos diários, uma vez que seu sistema viário atingiu o ponto de saturação, não mais oferecendo condições de tráfego adequadas.

Com a implantação da Linha 4 do metrô do Rio de Janeiro, espera-se que sejam retirados por volta de 2.000 automóveis das ruas da região no horário de pico, havendo assim uma redução de quase 40% nas viagens individuais. Além disso, espera-se reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera e a geração de ruído na região, gerada por transportes movidos com combustível fóssil (GERJ, AGRAR, 2011).

Figura 3 – Localização da ponte estaiada da Linha 4 com área residencial da Barra da Tijuca.



Fonte: <http://www.kaptimagem.com.br>: acesso em 31/10/2016.

A Linha 4 é a maior expansão do metrô desde a inauguração das operações metroviárias do Rio de Janeiro, interligando a Zona Sul à Zona Oeste, a partir do eixo Barra – Zona Sul. Esta Linha compõe-se de seis novas estações, uma rede de túneis para as vias subterrâneas e um pequeno segmento de via de aproximadamente 415 metros, sobre uma ponte estaiada, conforme ilustrado na

Figura 3. Esta ponte faz a ligação entre o emboque do túnel, no Morro do Focinho do Cavalo até a rampa de acesso à estação Jardim Oceânico (subterrânea), onde os trens trafegam ao ar livre. Desta forma, a ponte ferroviária na Barra da Tijuca foi implantada em área com urbanização já consolidada.

Apesar de se apresentar como uma solução de transportes, o trecho ferroviário pode constituir uma nova fonte de ruído para o bairro. O ruído causado por operações ferroviárias em áreas urbanas é um problema ambiental crescente. Knall (1996) adverte que a necessidade de se transferir o tráfego das rodovias para as ferrovias, como forma de melhorar o deslocamento das pessoas, tem provocado a elevação dos níveis de ruído como um efeito adverso, tanto pelo ruído ferroviário quanto pelo aumento da velocidade nas vias mais livres.

Os ruídos causados por qualquer atividade relacionada à mobilidade urbana, como ruídos de rodovias, ferrovias e tráfego aéreo, são consideradas pela OMS como a terceira fonte de poluição mais perigosa do planeta.

No que concerne aos efeitos prejudiciais da exposição ao ruído, o *Guidelines for Community Noise*, (OMS, 1999) entende que a exposição inadequada ou exagerada ao ruído pode causar danos de maior ou menor proporção à saúde humana. Estes efeitos prejudiciais podem ser apenas um incômodo, como também distúrbios no bem-estar físico, mental e social. Assim, a população, quando exposta a um nível excessivo de ruído, poderá ter reações fisiológicas, tal como dano na capacidade auditiva, além de efeitos acumulativos dessa exposição, como problemas cardiológicos.

Em países da Comunidade Europeia, a diretiva 2002/49/CE determina que sejam feitas avaliações e o gerenciamento do ruído ambiental. Tais avaliações são realizadas através dos mapas de ruído que auxiliam na tomada de decisão de implantação de projetos ou medidas que promovam a redução de ruído.

A legislação brasileira, segundo Pinto e Mardones (2007), não solicita este tipo de avaliação, embora São Paulo já aponte como obrigatória a elaboração de mapas de ruído através da Lei 16.499/16. No município do Rio de Janeiro apenas se delimitam os níveis aceitáveis de ruído de acordo com o uso do solo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Nesta dissertação, buscou-se desenvolver um tema atual no contexto da engenharia urbana, tendo em vista o bem-estar da comunidade ao se projetar e executar uma intervenção

relevante na área de transportes. Trata-se, portanto de um estudo da acústica ambiental relacionado ao desenvolvimento de rede de transportes de alta capacidade.

Historicamente, a consolidação de modos de transporte em vias segregadas, como trens, metrô, bondes e BRT, tem sido vetores de desenvolvimento urbano, ordenado ou desordenado. O entorno de estações pode ter o potencial de moldar cidades e regiões com instalação de comércio local, sendo um chamariz para o desenvolvimento, ou significar o incentivo ao comércio informal, com a presença de camelôs ou outras atividades ilícitas, que, de forma negativa, impedem uma ocupação benéfica do solo (CERVERO, 2009).

A implantação da Linha 4 do metrô poderá modificar o padrão das viagens realizadas pela população daquela região, já que se pretende incentivar a transferência do modo de transporte individual para o coletivo público, aliviando o tráfego saturado e impactando positivamente a região. Por outro lado, a inserção do metrô com um trecho específico em vias expostas poderá, ou não, influir na acústica ambiental da região, de forma a degradar o meio ambiente urbano nesta área residencial e comercial.

Desta forma, uma vez realizadas essas verificações, podem ser de grande contribuição e valor científico para outros planos de implantação de metrô inserido nas cidades.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar a relação entre o crescimento das cidades e sua influência no ruído urbano, considerando as principais intervenções nos sistemas de transportes da cidade do Rio de Janeiro.

Pretende-se demonstrar que a falta de planejamento e de projetos integrados de transportes interferem nos níveis de ruído urbano e conforto acústico.

Apresenta-se um estudo sobre a implantação da Linha 4 do metrô RJ e a análise do impacto do trecho a céu aberto em relação ao ruído ambiental.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para realizar este trabalho consistiu, primeiramente, em apresentar um histórico referente ao crescimento urbano e ao impacto das ações não-integradas de transportes e mobilidade, além de apresentar as projeções de demanda e de crescimento da cidade do Rio de Janeiro.

O método para a demonstração dos impactos do metrô na Barra da Tijuca foi realizado através da coleta de dados em campo, como contagem de tráfego e caracterização de sua distribuição, número de faixas e velocidade das vias, além de medições locais em determinados pontos. Estes dados foram adicionados ao modelo computacional, junto ao modelo geométrico da região, para simular e representar as características acústicas da região e gerar os mapas de ruído.

Foi utilizado *software* de simulação acústica na modelagem e geração de mapas de ruído, para obtenção dos Nível de Pressão Sonora (NPS), na área de estudo.

Foram realizadas simulações acústicas para três cenários: antes da operação do metrô, após, e considerando a operação do metrô de forma isolada.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Além deste capítulo introdutório, contendo as considerações iniciais, objetivos, justificativa e estrutura da dissertação, o capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o crescimento demográfico do Rio de Janeiro, considerações sobre a urbanização e a tendência de aumento populacional da Barra da Tijuca, além dos efeitos de soluções urbanas não-integradas.

Os aspectos referentes aos planos de implantação do metrô na Barra da Tijuca são descritos no capítulo 3. Também se descreve os princípios relativos a mobilidade sustentável e aborda-se o estudo de demanda da Linha 4 e a sua área de influência.

No capítulo 4 são conceituados os efeitos do ruído nas cidades e aspectos importantes da legislação brasileira em vigor. Também apresenta-se conceitos relativos à simulação acústica e mapas de ruído.

O capítulo 5 detalha a avaliação do ruído em torno da Linha 4, onde são apresentadas as análises, os resultados para os cenários propostos e a avaliação dos resultados obtidos pela simulação do modelo. Este capítulo também apresenta algumas medidas para que se obtenha a diminuição da geração de ruído, de forma a se alcançar os valores dentro dos limites de pressão sonora permitidos pela legislação.

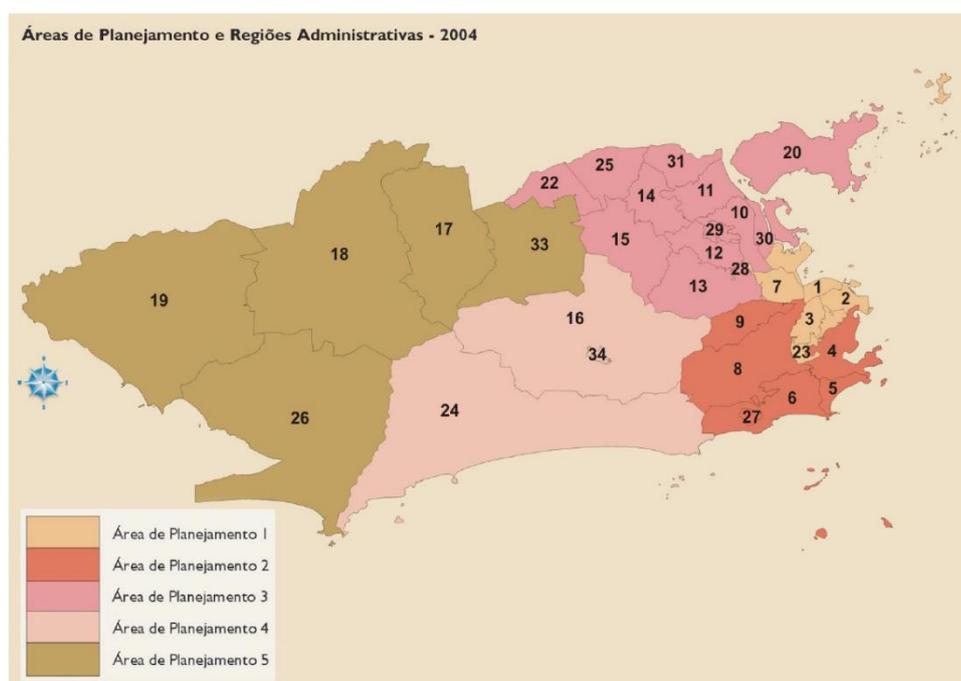
O último capítulo apresenta as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 IMPACTOS DO CRESCIMENTO URBANO

2.1 PERFIL DE CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO DA CIDADE

A cidade do Rio de Janeiro tem índices de crescimento populacional pequenos. Todavia, a transferência de população entre as Áreas de Planejamento (AP) é intensa. Estudo da FGV (2011) aponta que houve incremento populacional de 20% na AP 5 entre 1991 e 2000. Já a AP 1 teve decréscimo populacional de 10%, demonstrando uma tendência de crescimento da cidade em direção à zona oeste, onde está localizado a área de estudo deste trabalho, a AP 4 (Figura 4).

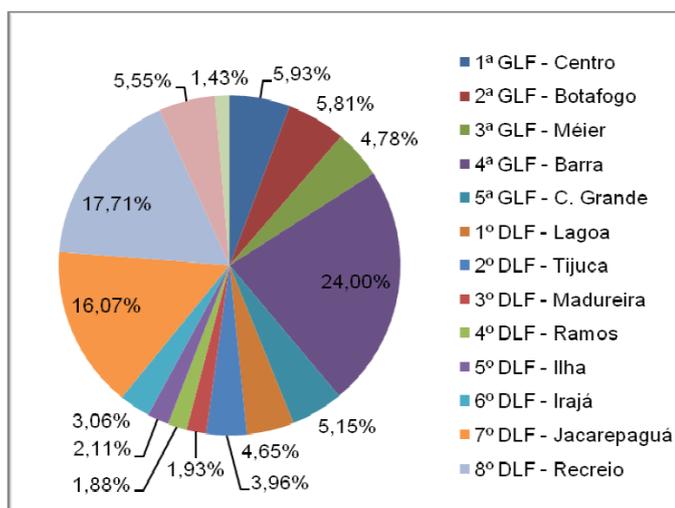
Figura 4 – Área de planejamento do Rio de Janeiro



Fonte: GERJ e AGRAR, 2011

Outra forma de se avaliar o crescimento da região da Barra da Tijuca é observar o mercado imobiliário e o número de licenciamentos realizados pela prefeitura. Entre 1998 e 2005, 57% do licenciamento de áreas da cidade para o mercado imobiliário ocorreram na região que compreende a Barra da Tijuca, Recreio e Jacarepaguá, sendo 24% apenas na Barra da Tijuca, conforme apresentado na Figura 5 (FGV, 2011).

Figura 5 - Área de construção licenciada entre 1998 - 2005



Fonte: FGV, 2011

Até o ano de 2040, a tendência é que AP 4 e AP 5 tenham 58% da população da cidade (Tabela 1), sendo que, na primeira, a densidade populacional passará de 34 hab/ha, em 2016, para 49 hab/ha, em 2040 (Tabela 2).

Tabela 1 - Distribuição populacional por Área de Planejamento - Cenário tendencial

| Área de Planejamento | Ano | | | | | | |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 | 2031 | 2036 | 2040 |
| 1 | 218.220 | 188.125 | 158.135 | 127.913 | 102.686 | 83.852 | 73.034 |
| 2 | 892.398 | 824.846 | 752.175 | 675.182 | 594.336 | 516.734 | 477.077 |
| 3 | 2.428.091 | 2.408.787 | 2.381.398 | 2.347.477 | 2.306.718 | 2.258.615 | 2.209.451 |
| 4 | 911.129 | 1.006.317 | 1.102.107 | 1.198.352 | 1.293.664 | 1.385.642 | 1.452.023 |
| 5 | 1.935.389 | 2.084.347 | 2.232.696 | 2.380.431 | 2.525.082 | 2.662.337 | 2.757.996 |
| TOTAL | 6.385.227 | 6.512.422 | 6.626.511 | 6.729.355 | 6.822.486 | 6.907.180 | 6.969.581 |

Fonte: FGV, 2011

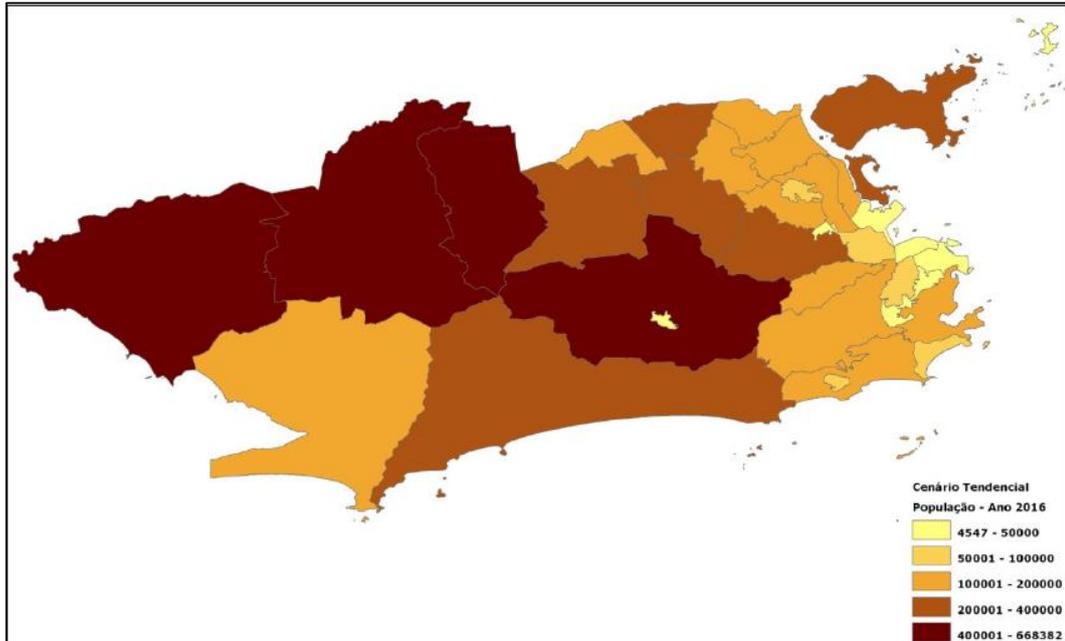
Tabela 2 - Densidade populacional (hab/ha) por Área de Planejamento - Cenário tendencial

| Área de Planejamento | Ano | | | | | | |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 | 2031 | 2036 | 2040 |
| 1 | 63 | 55 | 46 | 37 | 30 | 24 | 21 |
| 2 | 89 | 82 | 75 | 67 | 59 | 51 | 48 |
| 3 | 119 | 118 | 117 | 115 | 113 | 111 | 109 |
| 4 | 31 | 34 | 38 | 41 | 44 | 47 | 49 |
| 5 | 33 | 35 | 38 | 40 | 43 | 45 | 47 |
| TOTAL | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 56 | 57 |

Fonte: FGV, 2011

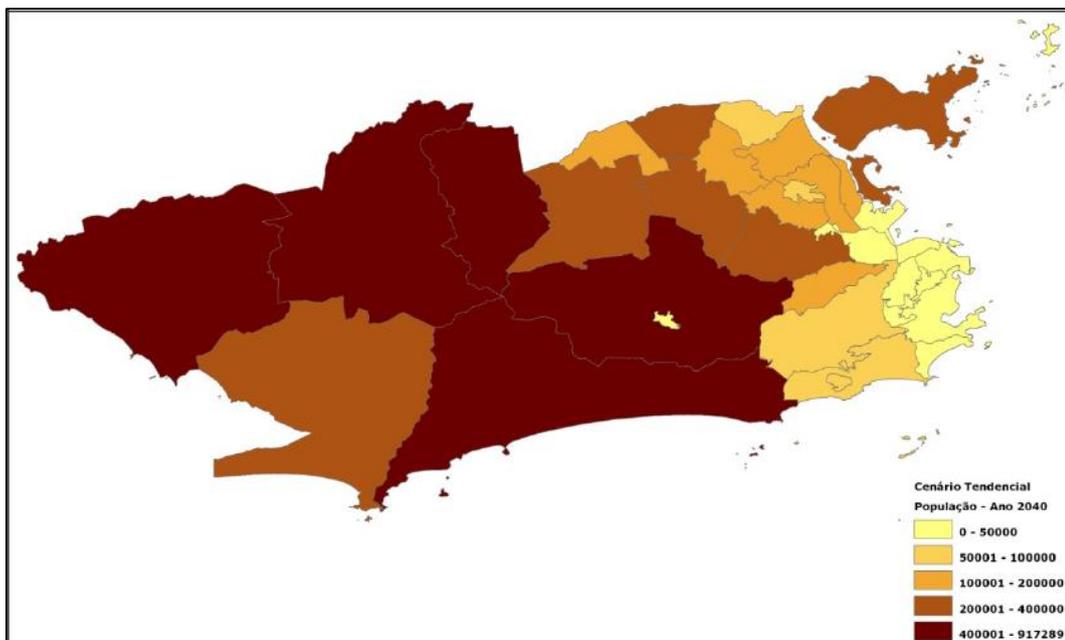
A Barra da Tijuca terá então uma população estimada maior que 400.000 habitantes. As Figura 6 e Figura 7 ilustram a distribuição populacional por AP em 2016 e a projeção em 2040, onde pode-se verificar o adensamento demográfico na AP 4 e na AP 5.

Figura 6 - Distribuição populacional por Área de Planejamento – 2016



Fonte: FGV, 2011

Figura 7 - Distribuição populacional por Área de Planejamento – 2040



Fonte: FGV, 2011

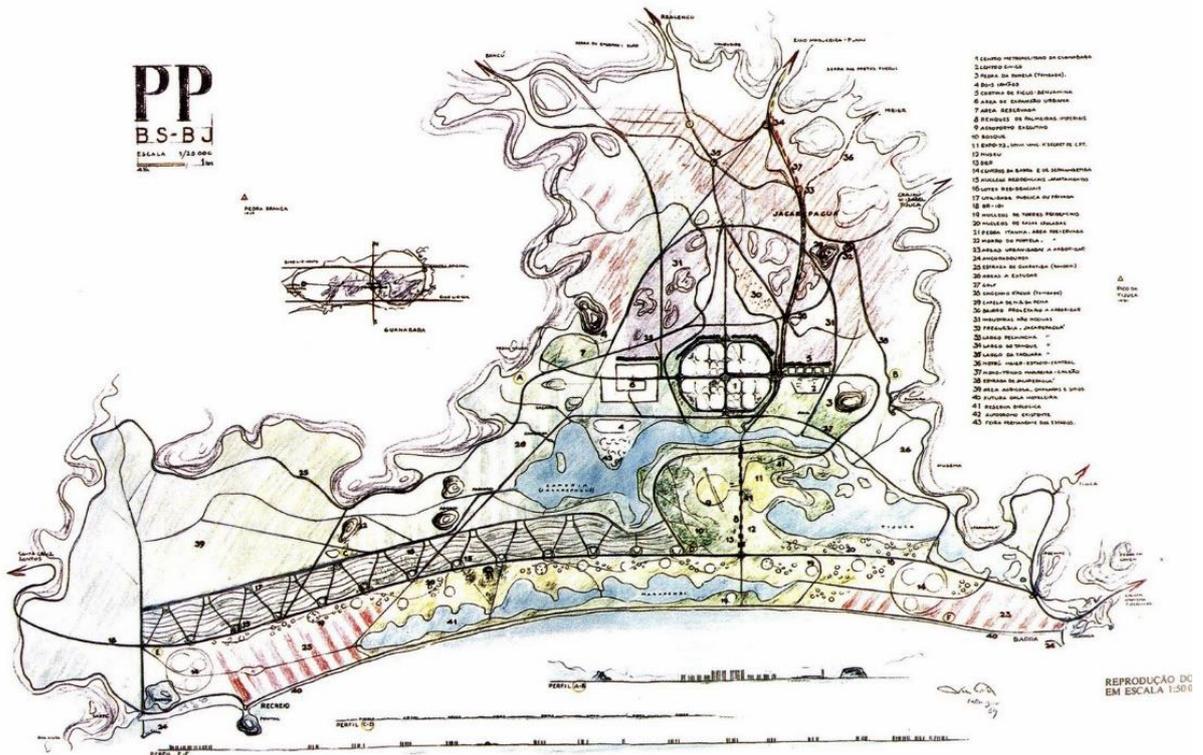
2.2 DESENVOLVIMENTO URBANO DA BARRA DA TIJUCA

A ideia modernista estava espalhada em vários países do mundo e, apesar de existirem correntes contra estas linhas de pensamento, os grandes urbanistas acreditavam estar fazendo o melhor para as suas cidades. As consequências só seriam vistas com o tempo. As largas avenidas projetadas se tornaram estreitas pela quantidade de automóveis e grandes congestionamentos passaram a ser frequentes. (MARTINS, 2015).

2.2.1 O Plano Lúcio Costa

O crescimento da região da Barra da Tijuca, localizado na XXIV Região Administrativa da cidade do Rio de Janeiro, deu-se com a elaboração do Plano Piloto para a urbanização da baixada compreendida entre a Barra da Tijuca, o Pontal de Sernambetiba e Jacarepaguá, conforme planta ilustrativa do plano diretor da Figura 8. Ela apresenta a distribuição espacial do Plano, com suas vias de deslocamento e suas centralidades.

Figura 8 – Planta ilustrativa do Plano Piloto para a Urbanização da Baixada Compreendida entre a Barra da Tijuca, o Pontal de Sernambetiba e Jacarepaguá



Fonte: COSTA, 2010

Através deste plano - idealizado pelo urbanista Lúcio Costa a convite do governador Negrão de Lima - todo o desenvolvimento urbano começou a se aquecer na região,

contemplando um projeto de grandes avenidas e espaços abertos, o que difere muito da urbanização ocorrida em bairros mais antigos da cidade.

O bairro teve uma rápida expansão, tendo em 1970 o primeiro grande impulso de ocupação. O plano contemplava a criação de um novo Centro Metropolitano e um novo distrito financeiro central (CBD – *Central Business District*) alternativo ao centro da cidade, por se tratar de uma localidade natural de encontro dos eixos Norte/Sul, Leste/Oeste da cidade do Rio de Janeiro (SILVA, 2004). O plano também definia a criação de outras centralidades urbanas (COSTA, 2010), sendo uma delas o Jardim Oceânico.

Já existente na região, a rodovia BR-101 foi considerada a principal via de deslocamento por Lúcio Costa, além de outras vias paralelas, para circulação interna no bairro. Também foi idealizado um eixo metroviário, conectando a região à Cidade Universitária, de forma que, segundo Silva (2004), “a oferta de meios de transporte fosse aumentando gradativamente, de acordo com as necessidades, para que não ocorresse um *boom*, e a ocupação saísse do planejado”. A interpretação de se aumentar gradativamente a oferta de transportes pode ter sido equivocada, pois não houve investimento em transportes na região, apenas a ampliação das vias previamente estabelecidas para o modo rodoviário.

Com o estabelecimento das vias de acesso ao bairro, somado ao Plano Piloto, a Barra da Tijuca começou a ter uma ocupação rápida e desenvolver sua urbanização, sendo considerada a grande área de expansão e especulação imobiliária do Rio de Janeiro.

A partir da segunda metade da década de 1970, as construtoras passaram a investir intensamente na construção de condomínios fechados de apartamentos, com infraestrutura e áreas de lazer comuns aos habitantes, incluindo comércio próprio e escolas. Esses condomínios são considerados os núcleos urbanos idealizados no Plano Piloto. Todavia, em paralelo, outros assentamentos também se estabeleceram, desrespeitando as diretrizes do Plano, como espaçamento entre condomínios, gabaritos permitidos e locais de comércio e serviços (SILVA, 2004).

Na contramão do desenvolvimento imobiliário acelerado da região, a infraestrutura de saneamento, arruamento e transportes sempre vieram a posteriori, não acompanhando a escalada dos empreendimentos. Em reportagem de 28 de julho de 1991, o jornal O Globo publica que, naquele ano, a Barra da Tijuca já era responsável por 10% da arrecadação de IPTU da cidade, mesmo com metade de suas vias sem pavimentação, problemas de saneamento (rede de esgoto atendendo cerca de 30% do bairro) e a crescente favelização. A reportagem também cita que “a prefeitura investe pesadamente na região tentando diminuir os problemas de infraestrutura”. A mesma edição apresenta matérias secundárias: “Região cresceu sem

infraestrutura” e “Risco no trânsito e expansão de favelas”, o que evidencia a importância do bairro para a cidade e a preocupação com as características da sua urbanização.

Silva (2004) menciona que a principal via do bairro, a Avenida das Américas, teve modificações já no primeiro mandato do prefeito César Maia (1993 - 1997), sendo duplicada e recebendo pistas auxiliares com aparência de grande autoestrada. Parte desta intervenção estava de acordo com o Plano Lúcio Costa, porém, ao invés da implantação de passagens de nível para cruzamento de pessoas e de retornos para os veículos, foi implementada sinalização viária em toda a sua extensão.

Este padrão de desenvolvimento urbano continuou até o bairro começar a apresentar problemas. Um exemplo foi a poluição das lagoas da região, oriunda da falta de infraestrutura, de investimentos em saneamento e de planos de despoluição (SILVA, 2004). Congestionamentos diários surgiram, devido à alta demanda por viagens entre a Barra e outros bairros do Rio de Janeiro, principalmente na ligação com a Zona Sul e o Centro da cidade. Ao longo do tempo, o tráfego de veículos, individuais e coletivos, começou a atingir o seu ponto de saturação, fazendo com que Município e Governo do Estado do Rio de Janeiro estudassem alternativas para o deslocamento de pessoas.

2.2.2 Projetos de infraestrutura e ocupação imobiliária

Na década de 1970, foi construída a autoestrada Lagoa-Barra, impulsionando o crescimento da região e diminuindo o tempo de deslocamento da Zona Sul para a Barra. Essa ligação rodoviária foi o embrião do modelo de desenvolvimento urbano do bairro, que se constitui de grandes condomínios fechados, com múltiplas torres e pequenos comércios locais, tendo como única opção o transporte rodoviário.

De acordo com o Censo IBGE, a Região Administrativa da Barra da Tijuca teve um crescimento populacional quase exponencial, dobrando, praticamente, a quantidade de pessoas a cada 10 anos, a partir de 1991, conforme apresentado na Tabela 3.

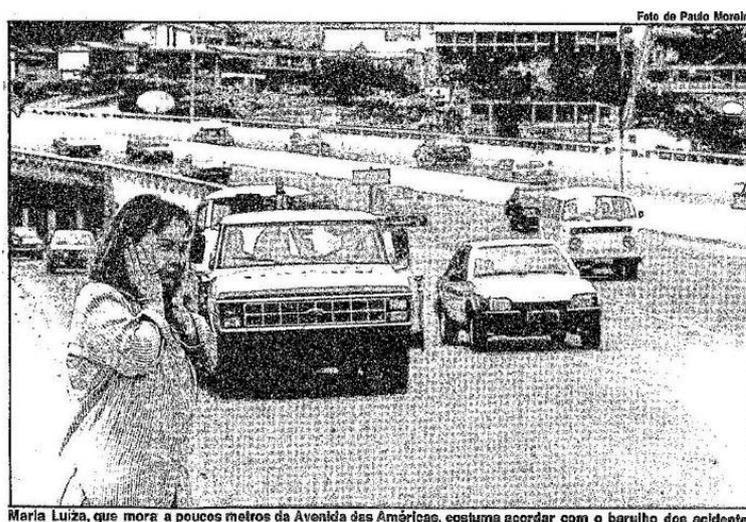
Tabela 3 – População na Barra da Tijuca.

| Ano | População |
|-------------|------------------|
| 1980 | 43.945 |
| 1991 | 98.851 |
| 2000 | 174.353 |
| 2010 | 300.823 |

Fonte: IBGE, 2010

Uma publicação no jornal O Globo, de 28 de julho de 1991, publicou um artigo relatando a construção de casas luxuosas sem conexão com saneamento e ruas não pavimentadas, reforçando a ideia de que a infraestrutura não acompanhou o crescimento da região. Os moradores tiveram que conviver com esgoto a céu aberto, com a precariedade do sistema de transportes e com o barulho causado pela proximidade de residências as ruas da região (Figura 9).

Figura 9 – Reportagem sobre reclamações com ruído de trânsito.



Fonte: Acervo Jornal O Globo, 1991

O considerável crescimento populacional da região esteve relacionado à agilidade da indústria da construção imobiliária, que muito se expandiu na região na década de 1990, contrastando com a falta de saneamento e pavimentação. Desta forma, observa-se que os problemas urbanos, tais como ruído, ineficiência de saneamento e de mobilidade foram se agravando nas últimas 3 décadas, principalmente pela ausência de políticas públicas de planejamento, ocupação do solo urbano e equipamentos de infraestrutura urbana.

2.3 EFEITOS DE SOLUÇÕES URBANAS NÃO-INTEGRADAS

Nesta seção são apresentados alguns exemplos de intervenções em transportes que trouxeram problemas nos locais próximos a sua trajetória, além de ter modificado de forma intensa o ambiente urbano, considerando-se o alto impacto econômico para sua remediação.

Problemas de mobilidade urbana no Brasil e no Rio de Janeiro têm sido preferencialmente solucionados por construção de viadutos, túneis e vias expressas para veículos, implantadas em tecido urbano consolidado, sem a prévia análise do impacto ambiental

que a intervenção pode gerar (NIEMEYER, 2010). Os impactos gerados por estas intervenções podem ser de natureza acústica, visual e de poluição atmosférica, sem mencionar o dano que se instala na cidade, tendo repercussões urbanísticas de longo prazo.

Para Stramandinoli (2008) *apud* Pechman (1996), o modelo de urbanização aplicado no Brasil, desde a década de 1920, foi implantado de forma autoritária, sem consideração com questões sociais. De fato, esta afirmação se aplicou às intervenções de transportes ocorridas na cidade, de forma a criar consequências que foram se agravando, apesar da política de reurbanização implementada nas décadas seguintes, desconsiderando-se as questões socioculturais e históricas.

Niemeyer e Cortês (2012) citam que as intervenções de transportes envolvem prioritariamente os aspectos técnicos, as questões econômicas e políticas, quase sempre sem avaliação prévia do impacto ambiental ou de suas mitigações. Segundo Martins (2015), pode-se perceber que a cultura do automóvel tem influência decisiva no desenho das cidades, de forma que o acesso ao modo individual motorizado e a precariedade do transporte público norteiam as cidades a se desenvolverem privilegiando os automóveis.

Martins (2015) também cita que a implantação de viadutos provoca impactos nos locais onde são inseridos, nos aspectos ambiental, visual, na depreciação dos imóveis próximos e na qualidade do espaço. Todavia, a mesma autora conclui que o fato de existir um viaduto não é um fator determinante para a degradação de um bairro, mas pode ser um agravante para sua depreciação.

Um dos responsáveis por algumas intervenções urbanísticas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro foi o Plano das Linhas Policromáticas, desenvolvido pelo urbanista grego Constantino Doxiádis, por encomenda do governador do Estado da Guanabara, Carlos Lacerda. Segundo Braga (2003), o Plano Doxiádis foi definido com horizonte de implantação de longo prazo (de 1967 a 2000), buscando solucionar três problemas: o desenvolvimento equânime da área metropolitana, o déficit habitacional e a falência da rede de transportes infraestrutural. O plano admite a utilização do automóvel como transporte individual e o ônibus como transporte de massa, propondo um conjunto de ligações viárias em configurações de anéis, possibilitando a ligação entre as regiões da cidade sem necessariamente passar pelo seu centro (PDTU, 2005). Desta forma, a remodelação urbana embasou-se em diagnósticos que restringiam o desenvolvimento urbano do estado, sugerindo as vias rodoviárias. Algumas foram construídas, como as linhas Lilás, Vermelha, Amarela e Azul. O estudo das Linhas Policromáticas foi apresentado no Plano Rodoviário Estadual de 1967 no Governo Negrão de Lima. Atualmente os traçados do plano são de elevada importância para racionalização dos fluxos de transportes

da cidade, mesmo que algumas das linhas tenham sido parcialmente modificadas do plano original, tanto pela rota como pela tecnologia de transporte, quanto no atual estágio de desenvolvimento urbano do Rio de Janeiro (PDTU, 2005).

Para França e Rezende (2010), resta a seguinte questão: até que ponto as ações, intervenções e planos que ocorrem sobre o espaço urbano são os únicos determinantes do desaparecimento e da permanência dos seus lugares constitutivos?

O subitem a seguir apresenta alguns exemplos nos quais as intervenções implantadas determinaram a extinção de construções históricas da cidade do Rio de Janeiro, além de trazerem aspectos negativos ao ambiente urbano.

2.3.1 Intervenções relevantes no Rio de Janeiro

O Elevado da Perimetral, foi construído para facilitar o acesso entre a Zona Sul e a Zona Norte do Rio de Janeiro (MARTINS, 2015). Esta estrutura foi erguida considerando a demolição de edificações, sendo uma delas o Mercado Central da Praça XV (Figura 10 e Figura 11), local que centralizava o comércio de frutas, verduras e pescados. Após a construção desse viaduto, restou apenas uma edificação do antigo Mercado Central, que hoje abriga um restaurante (Figura 12).

Martins (2015) reproduz em sua dissertação a declaração da pesquisadora da história do Rio de Janeiro, Vera Rezende. Ela afirma que na década de 1950 não existia a preocupação em se preservar a história da cidade, tendo-se a convicção de que o antigo tinha que ser descartado. Essa afirmação foi dada para ilustrar a desnecessária demolição do Mercado Central para dar passagem ao viaduto da Perimetral.

O Elevado da Perimetral, passava próximo a edificações históricas e igrejas, como o Paço Imperial e a Igreja da Candelária, além das docas do porto do Rio de Janeiro. Ele escondia toda a vista destes prédios erguidos na época do Brasil Colônia. Sua estrutura foi parcialmente demolida como parte do projeto de requalificação urbana do Porto Maravilha,

Figura 10 – Mercado Municipal Praça XV



Fonte: <http://oglobo.globo.com/rio/sem-elevado-novo-visual-da-praca-quinze-agrada-frequentadores-13135415> : acesso em 14/12/2016.

Figura 11 - Mercado Municipal da Praça XV com o Elevado da Perimetral



Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=751306&page=1497> : acesso em 14/12/2016

Figura 12 - Edificação restante do Mercado Municipal

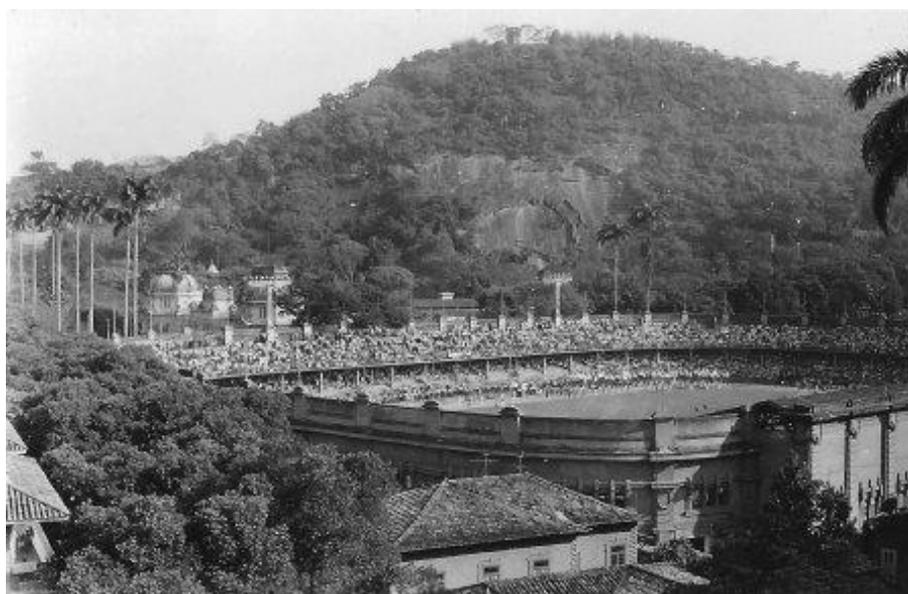


Fonte: <http://wikimapia.org/15355506/pt/Restaurante-Ancoramar-antigo-Albamar> : acesso em 14/12/2016

Outra interligação entre as Zonas Norte e Sul da cidade foi proposta pelo Plano Doxiádis, através da Linha Lilás. Inicialmente essa linha interligava o bairro de Botafogo até a zona portuária do Rio de Janeiro. Esta via expressa foi implantada desde Botafogo até o Santo Cristo, modificando de forma profunda os bairros por onde passou.

Ocorreram também muitas desapropriações no bairro das Laranjeiras, situada no trecho zona sul da linha. Diversas casas foram desapropriadas e parte das arquibancadas do estádio do Fluminense Football Club foi demolida (Figura 13 e Figura 14) para o alargamento da Rua Pinheiro Machado.

Figura 13 - Estádio das Laranjeiras, com sua arquibancada original completa, e Palácio Guanabara ao fundo.



Fonte: <https://cariocadorio.wordpress.com/2010/02/> : acesso em 14/12/2016

A fachada do estádio das laranjeiras, antes de ser demolida, possuía as mesmas características da entrada social do clube, que hoje é tombada pelo patrimônio histórico. Na rua Pinheiro Machado permaneceram somente as construções com grande recuo, que hoje ficam próximas às pistas de rolamento da movimentada rua. Até mesmo o Palácio Guanabara perdeu parte de seu jardim frontal para abrigar uma das pistas, movimentando também o seu gradil perimetral, havendo também a retirada de árvores antigas.

Figura 14 - Estádio das Laranjeiras sem a arquibancada, demolida para o alargamento da Rua Pinheiro Machado.



Fonte: <https://cariocadorio.wordpress.com/2010/02/> : acesso em 14/12/2016

No bairro do Catumbi, tramo norte desta via, foram desapropriadas para demolição casas antigas e com valor histórico (Figura 15). Contudo, após manifestações contrárias dos moradores, conseguiu-se preservar parte dos edifícios.

Figura 15 - Demolição de casas no Catumbi, para implantação da Linha Lilás



Fonte: Acervo do Jornal O Globo - <http://acervo.oglobo.globo.com/fotogalerias/as-obras-do-plano-doxiadis-10573192> : acesso em 14/12/2016.

Popularmente conhecido como Elevado Paulo de Frontin, por passar longitudinalmente acima da avenida com mesmo nome, o viaduto Engenheiro Freyssinet causou grande impacto urbanístico na região do Rio Comprido.

O Bairro do Rio Comprido teve sua evolução acompanhada da expansão dos transportes públicos, em 1875. As chácaras da região foram loteadas e urbanizadas, aumentando a população residente do bairro, que tinha como atrativo boas escolas, comércio, indústrias, festividades religiosas e facilidade ao acesso aos bondes para os deslocamentos (MARTINS, 2015).

Martins (2015) também cita que, durante a administração do prefeito Paulo de Frontin, melhoras significativas ocorreram no bairro, passando por um período de valorização e melhorias urbanísticas, tornando-se uma área nobre da cidade. A Figura 16 apresenta a urbanização do Rio Comprido antes da construção do viaduto.

Figura 16 - Avenida Paulo de Frontin década de 1920 com Igreja de São Pedro ao Fundo



Fonte: MARTINS, 2015

Com construção iniciada na década de 1960 e inauguração em 1974, este eixo viário conecta a Zona Sul, pelo bairro da Lagoa Rodrigo de Freitas, onde foi construído o emboque da primeira galeria do túnel Rebouças com a Zona Norte, com saída do túnel no elevado, alcançando a Praça da Bandeira.

Este elevado é considerado o principal fator de desvalorização imobiliária do bairro do Rio Comprido e de sua degradação. A Figura 17 e a Figura 18 apresentam trechos do viaduto sobre a Avenida Paulo de Frontin com seu percurso passando em frente a duas igrejas do bairro, modificando a paisagem urbana e escondendo as edificações.

Figura 17 - Viaduto sobre a Avenida Paulo de Frontin com Igreja de São Pedro ao fundo e edificação próxima ao viaduto.



Fonte: Google Earth: acesso em 17/01/2017

Figura 18 – Imagem do viaduto Engº Freyssinet em frente a Paróquia Nossa Senhora das Dores.



Fonte: Google Earth: acesso em 16/12/2016

Outro exemplo de intervenção com impacto negativo ocorreu no bairro da Gávea, que teve sua ocupação estimulada pelas fábricas têxteis e o acesso, anteriormente feito por bondes com tração animal, substituído por bondes elétricos.

Os operários ocupavam as vilas operárias próximas às fábricas, que em pouco tempo tiveram problemas de saneamento e infraestrutura em geral. De acordo com Gonçalves e Requena (2012), o Parque Proletário da Gávea foi construído em 1942 e em apenas 10 anos já estava em péssimas condições, quase totalmente deteriorado.

Para remover essas moradias, foi projetado pelo arquiteto Affonso Eduardo Reidy o Conjunto Habitacional Marquês de São Vicente, construído no ano de 1952, com o objetivo de alugar as unidades habitacionais para funcionários públicos.

Conforme menciona Gonçalves e Requena (2012), no ano de 1979, o projeto, que já sofrera modificações em sua concepção original, foi desconfigurado para a implantação do túnel de ligação entre a Gávea e São Conrado, passando abaixo do conjunto habitacional, sendo necessária a retirada de 20 apartamentos para a construção da obra de arte (Figura 19).

A alteração executada para a implantação do túnel é alvo de muitas reclamações dos moradores do Minhocão, como é popularmente conhecido, devido ao ruído causado pelo intenso tráfego viário, circulando sob os apartamentos do conjunto habitacional.

Figura 19 - Construção da Autoestrada Lagoa Barra (1981)



Fonte: Acervo do Núcleo de Memória da PUC-Rio - Fotógrafo Antônio Albuquerque, 1980

A Linha Vermelha liga o centro do Rio de Janeiro à Baixada Fluminense, passando pelo Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro.

A implantação desta via impactou de forma significativa a urbanização do bairro de São Cristóvão, com níveis do ruído de tráfego extremamente elevados, além das desapropriações para construção do viaduto (Figura 20). Muitas das edificações próximas ao viaduto, que tinham seu segundo pavimento utilizados para habitação, acabaram por se tornar apenas o depósito do comércio local.

Figura 20 - Demolições na Rua Bela em São Cristóvão para a Construção da Linha Vermelha



Fonte: https://www.flickr.com/photos/sandra_de_souza/5817997924 : acesso em 14/12/2016

No bairro de São Cristóvão, este viaduto traspassa o bairro ao longo das ruas Bela e Figueira de Melo (Figura 21), com um fluxo diário de 150.000 veículos por dia.

Niemeyer e Cortês (2012) concluíram que, sendo a intervenção classificada como irreversível devido ao investimento público, e sendo considerado um dos principais eixos viários da cidade, é inegável que a implantação da Linha Vermelha é responsável não apenas pelo alto nível de poluição sonora causado na região de São Cristóvão, como também pela deterioração de outros indicadores de qualidade ambiental como temperatura, poluição atmosférica e visual.

Figura 21 - Viaduto da Linha Vermelha sobre a Rua Figueira de Melo



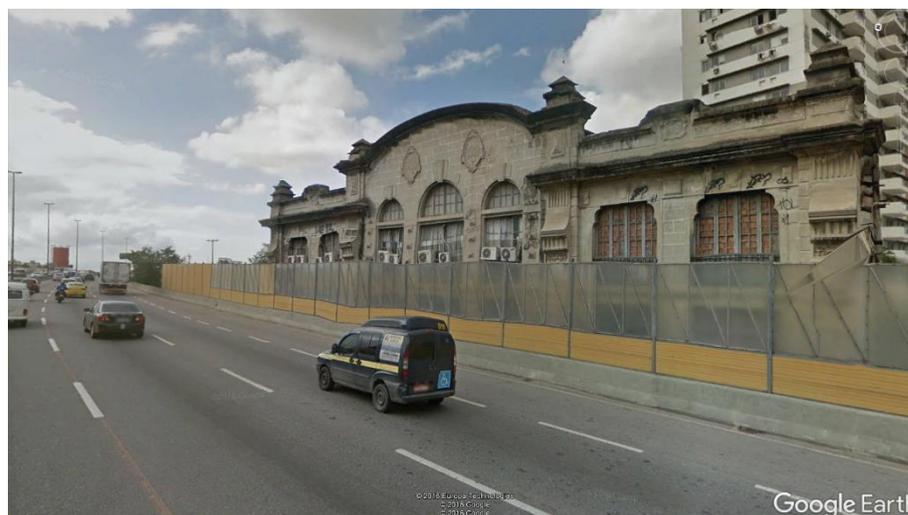
Fonte: NIEMEYER, 2010.

A Avenida Governador Carlos Lacerda, popularmente conhecida como Linha Amarela, conforme definida no Plano Doxiádis, foi um eixo viário implantado, com o início de sua operação no ano de 1997.

Segundo Stramandinoli (2008), esta via é considerada uma das intervenções mais polêmicas, ligando o bairro da Barra da Tijuca até o Aeroporto Internacional do Galeão. Sua implantação trouxe diversos pontos negativos na região cruzada por seu traçado, sendo destaque o desmatamento de áreas verdes e criação de um corredor gerador de poluição atmosférica e sonora ao longo da via, devido à brusca alteração do perfil de tráfego, que antes era pouco significativo e passa a ser modificado pela movimentação intensa do fluxo de automóveis.

Edificações próximas à via não consideradas no plano de desapropriações foram intensamente afetadas pelos fatores ambientais, sofrendo perda de privacidade e desconforto com a luminosidade dos faróis dos automóveis durante a noite. Residências, escolas e principalmente comunidades tiveram suas áreas reduzidas pelo seu traçado. Na Figura 22 observa-se a Linha Amarela muito próxima ao Colégio Estadual Olinto da Gama Botelho que, de acordo com Niemeyer e Cortês (2012), sofre com o ruído gerado pela via e tem sua fachada obstruída. O acesso ao colégio foi modificado após a implantação do viaduto, sendo feito pelo posto de gasolina adjacente.

Figura 22 - Linha Amarela em trecho próximo ao Colégio Estadual Olinto da Gama Botelho



Fonte: Google Earth: acesso em 16/12/2016

A concessionária que administra a via instalou barreiras acústicas de forma a atenuar o ruído do tráfego em alguns pontos. Stramandinoli (2008) cita que a instalação dessas estruturas verticais ampliou a segregação que a via já causa às residências próximas, impedindo a integração visual à paisagem urbana.

O incômodo gerado pelo ruído causa o fechamento das janelas de casas, impedindo a circulação do ar. Reclamações do ruído com a concessionária foram resolvidas com a instalação de esquadrias reforçadas e aparelhos de ar condicionado para combater o problema acústico em uma escola.

De forma geral, percebe-se que as intervenções citadas buscaram a implantação de vias rodoviárias para solucionar problemas de deslocamento na cidade do Rio de Janeiro, priorizando-se a utilização dos automóveis para o deslocamento individual e do ônibus para transporte público de massa. Ao que parece, pouco foi considerado no que diz respeito ao desenvolvimento local das regiões onde as vias foram construídas. No momento de sua concepção, não foram previstas as consequências futuras em termos ambientais e da extrapolção total do trânsito.

De fato, não foi feito um planejamento adequado de forma a prever o crescimento populacional acelerado, considerando estimativas de demanda de tráfego tão altas. Tampouco se ofertou o transporte público adequado, sendo o transporte individual motorizado a opção de deslocamento para grande parte da população residente e circulante. Tal cenário teve como impacto direto os congestionamentos diários, com horários de pico variáveis.

Além disso, com a centralização da solução do problema no automóvel, outros aspectos da vida urbana foram depreciados, podendo ser citados a degradação na área de influência das vias, aumento da poluição atmosférica, sonora e visual dos locais e o prejuízo ao patrimônio material devido a remoção de elementos históricos da urbanização da cidade do Rio de Janeiro. Acrescenta-se a tudo isso a redução da qualidade de vida da população residente, a deterioração do comércio, e a perda indescritível de edificações históricas remanescentes e de equipamentos urbanos destes locais.

Uma perspectiva de mudança se inicia com o aumento da oferta de transporte público na Barra da Tijuca. A expectativa é atrair o usuário individual do automóvel para o transporte público e o transporte ativo (caminhada e bicicleta) de forma integrada para acessar a estação do sistema de transporte. Como consequência, espera-se diminuir os níveis de congestionamento e minimizar os impactos ambientais através da diminuição do número de veículos nas vias.

As razões para esta falta de preocupação, ou de visão, pode ser devido à pouca produção científica sobre assuntos referentes ao Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS), Desenvolvimento Urbano Sustentável ou temas similares, na época.

De acordo com Souza (2016), estudos referentes ao DOTS ocorrem desde a década de 1980, geralmente nos países desenvolvidos, inicialmente com baixa produção científica mas

porém com ganho de popularidade a partir de 2008. Conforme apresentado na Figura 23, a produção científica sobre o assunto em países em desenvolvimento (como o Brasil, com características de desenvolvimento urbano distintas dos países desenvolvidos), tem registros somente a partir do início do século XXI.

Figura 23 - Evolução da produção acadêmica referente ao conceito DOTS.



Fonte: SOUZA, 2016.

3 A IMPLANTAÇÃO DA LINHA 4 DO METRÔ RJ

3.1 DEMANDA HISTÓRICA POR TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE

Diversos estudos foram anunciados desde a década de 1990 para solucionar o problema de transportes da Barra da Tijuca, porém, somente em 2010, iniciou-se a construção da Linha 4 do metrô, que alcançaria o bairro a partir de uma via elevada sobre uma ponte, em uma área urbana já consolidada.

Há diversas evidências de que o ponto de saturação das vias, que interligam a Barra da Tijuca aos outros bairros da cidade, já tinham sido atingidos na década de 1990, através da análise de acervo de jornais da época, que publicaram os engarrafamentos diários e o transtorno no deslocamento da cidade.

O *High Speed Surface Transport* (HSST - trem por levitação) e Veículo Leve Sobre Trilhos (VLT) já eram apontados como opções interessantes, além do metrô tradicional, já implantado nas zonas norte, sul e central da cidade.

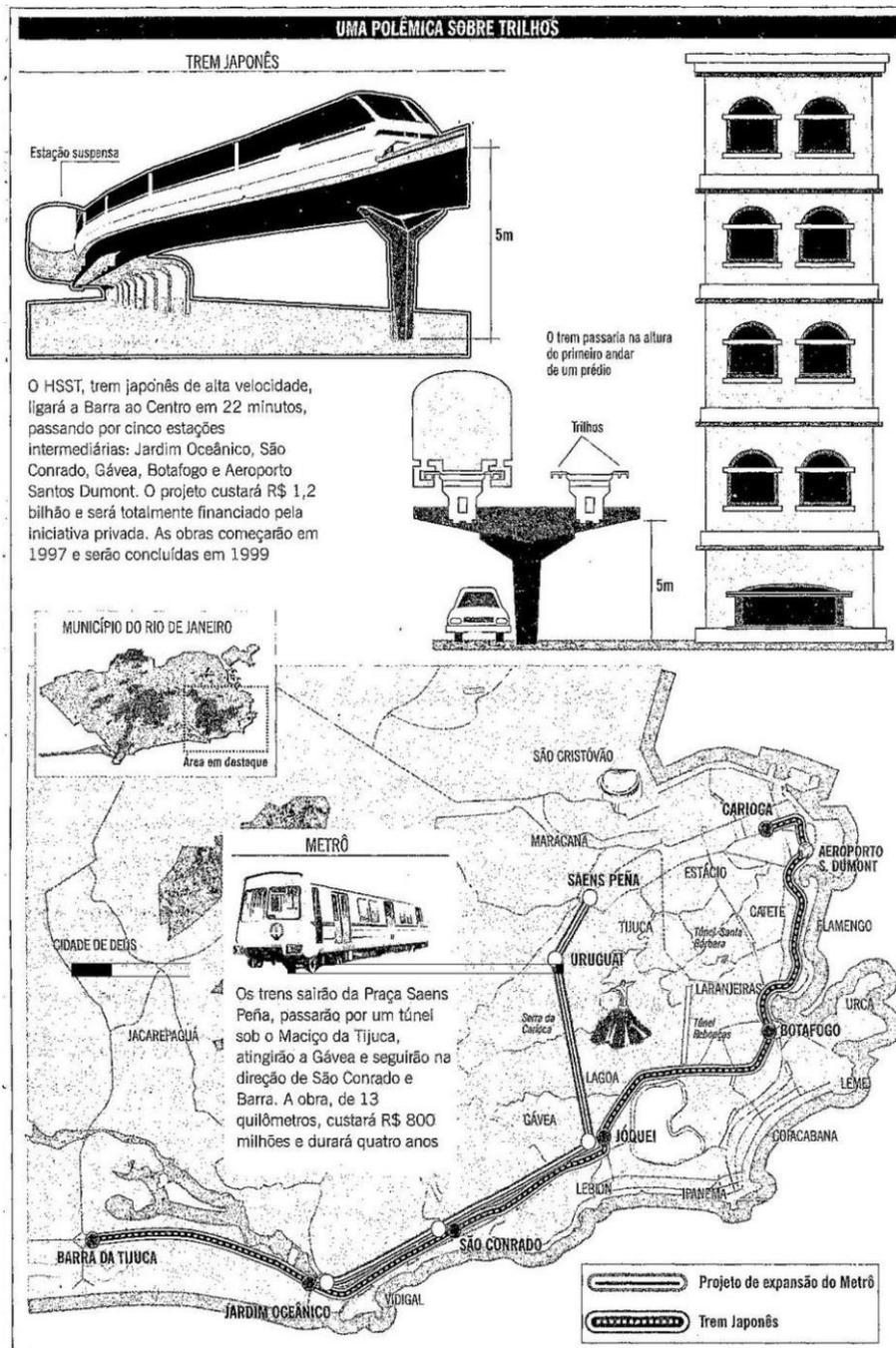
Em 1995, a prefeitura realizou estudos preliminares de viabilidade para a implantação de uma linha de trem de levitação magnética, conhecido como HSST. Com tecnologia japonesa, este trem ligaria a Barra da Tijuca ao centro do Rio, através de 36 km de extensão e capacidade de transportar 200 mil passageiros por dia.

Em 1996, a prefeitura autorizou uma consultoria japonesa a construir o trem de levitação magnética e a sua exploração em regime de concessão no período de 20 anos. O anteprojeto deste trem previu um investimento de 1 bilhão de reais na construção das vias e das suas sete estações (Alvorada, Jardim Oceânico, Fashion Mall, Praça Santos Dumont, Metrô Botafogo, Aeroporto Santos Dumont e Metrô Carioca). O tempo total de percurso entre os terminais era de 22 minutos, com capacidade de 800 passageiros por composição.

As soluções dos governos municipal e estadual para desafogar o trânsito da Barra da Tijuca acabaram entrando em conflito. O secretário municipal de transportes à época alegava que o HSST não impactaria no perfil acústico na região. Já a subsecretária estadual de infraestrutura alegou que o HSST seria tecnologia mais adequada para longas distâncias e portanto, o metrô seria o modo de transporte mais apropriado para esta interligação, com traçado saindo da Barra para a Tijuca.

A Figura 24 apresenta a comparação dos traçados do HSST e desta linha de metrô. Além disso, a imagem apresenta como ficaria a implantação do HSST, em estrutura elevada, em relação as vias e às edificações.

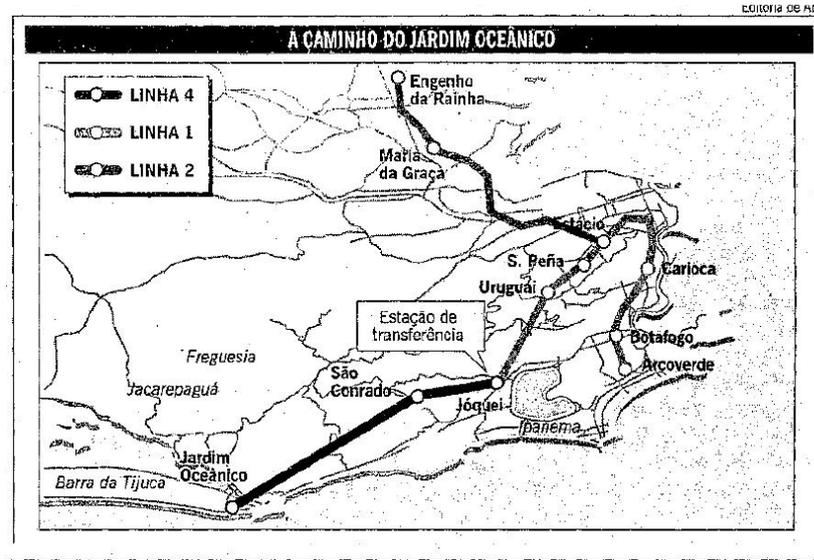
Figura 24 - Trem japonês ou metrô: nova polêmica no Rio. 31 de agosto de 1996.



Fonte: Acervo Jornal O Globo, 1996: acesso em 20/12/2016.

Em matérias de 7 de maio e de 13 de agosto de 1998, foi publicada uma nova possibilidade para a ligação metroviária no bairro, porém com o traçado Jardim Oceânico – Jóquei – Uruguai, fazendo a ligação da Barra ao centro da cidade, via Tijuca (Figura 25).

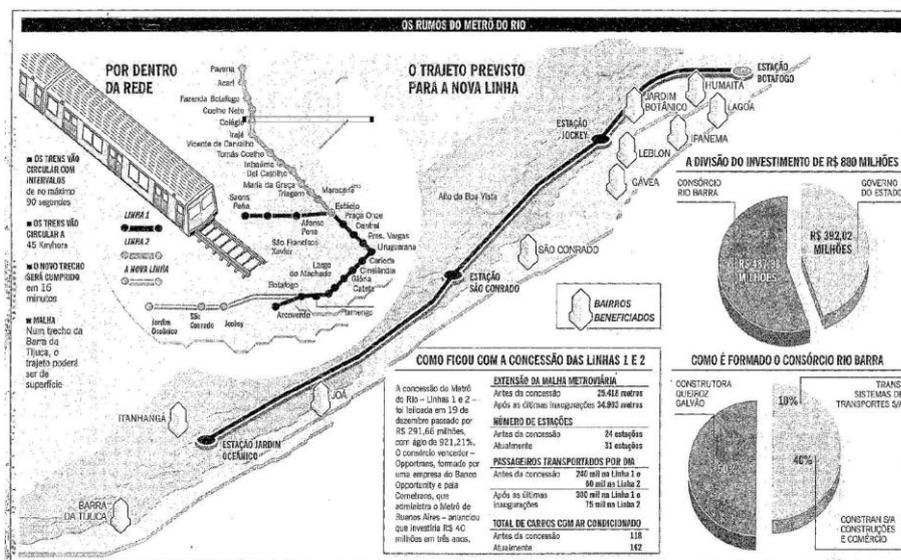
Figura 25 – Reportagem: Novos caminhos por debaixo da terra. 7 de maio de 1998.



Fonte: Acervo do jornal O Globo, 1998: acesso em 20/12/2016.

Finalmente, em novembro de 1998, o traçado da Linha 4 do metrô foi proposto, licitado e vencido por um único consórcio de empresas, responsável pela construção e com direito de explorar a linha por um período de 25 anos em regime de concessão (Figura 26).

Figura 26 – Traçado vencedor da licitação da Linha 4 – Barra até Botafogo.



Fonte: Acervo do Jornal o Globo, 1998: acesso em 20/12/2016.

O trecho em questão tinha 16 km de extensão, com 5 estações entre o Jardim Oceânico e o Morro de São João, em Botafogo. Seria a primeira linha de metrô da América Latina, concedida à iniciativa privada através de processo de construção, operação e transferência.

Logo no governo seguinte, em 1999, a nova gestão apresentou mais um novo traçado para o metrô que chegaria à Barra, completamente distinto do traçado licitado: o traçado Barra da Tijuca – Inhaúma, onde a ligação da Barra à rede de metrô viria pela Zona Norte.

De acordo com o Plano de Diretor de Transportes Urbanos (PDTU) de 2005, o traçado da Linha 6 estava incluído tanto no Plano Integrado de Transportes (PIT – década de 1970) quanto no Plano de Transporte de Massa (PTM - Década de 1990). No plano de longo prazo já estava incluída uma ligação sobre trilhos entre a Avenida das Américas e a Pavuna, contendo oito estações. Este era o início do desenvolvimento do traçado da Linha 6.

Já o traçado do TransPan foi proposto pela prefeitura e viria a ser anunciado duas décadas depois. Este traçado viria a competir com a proposta da Linha 6, anunciada pelo Governo do Estado, devido a sua área de influência similar, contudo, existiam diferenças de traçado, majoritariamente na região norte. A Figura 27 apresenta a comparação dos traçados propostos na época da candidatura da cidade, mesmo sendo o sistema metroviário contido na jurisdição do Estado.

Figura 27 - Comparação entre os traçados da Linha 6 (Estado) e TransPan (Município)



Fonte: Acervo jornal O Globo, 2003; acesso em 20/12/2016

Quando o Rio de Janeiro se candidatou à cidade sede dos Jogos Pan-Americanos de 2007, a prefeitura se comprometeu com a Organização Desportiva Panamericana (ODEPA) em

construir o Trans-Pan. Em outubro de 2003, a Secretaria Municipal de Transportes foi autorizada a licitar, em caráter prioritário, o projeto de edital de concessão do metrô TransPan, com traçado ligando a Barra da Tijuca aos aeroportos Internacional Tom Jobim, na Ilha do Governador, e Santos Dumont, no centro.

Diversos planos de transportes foram apresentados, até que no último plano de transporte urbano abrangente do Estado em 2005, a ligação metroviária para a Barra foi definida.

Figura 28 - Rede sobre trilhos conforme PDTU 2005



Fonte: PDTU, 2005.

A Linha 4 teve seu traçado definido entre as estações Jardim Oceânico e Botafogo (Figura 28). Ainda assim, não foi o traçado da Linha 4 implantado.

3.2 DESENVOLVIMENTO ORIENTADO AO TRANSPORTE SUSTENTÁVEL (DOTS)

O DOTS pode ser definido como o desenvolvimento urbano em torno de estações de transporte público de alta capacidade, caracterizado por uso do solo misto e de altas densidades. Além disso, visa promover a mobilidade sustentável, estimular o uso dos modos não motorizados, para produzir alta demanda de passageiros no sistema de transporte, bem como bairros seguros e agradáveis (NASRI e ZHANG, 2014).

O *Transit Oriented Development Institute* e o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP, 2014) define o DOTS como uma tendência na busca da construção de comunidades vibrantes e sustentáveis através dos transportes. Procura-se compactar as

distâncias para alcance do pedestre e utilização do solo centrado nas estações de transporte, para diminuir a dependência do automóvel e reduzir assim os impactos ambientais.

Esta forma de urbanização busca integrar a região com modos ativos, sendo desejáveis que os deslocamentos curtos sejam realizados a pé ou de bicicleta. Dessa forma pode-se promover a acessibilidade e priorizar o pedestre, proporcionando formas seguras de caminhar, pedalar e estimular o transporte público em detrimento do individual.

A maioria dos autores definem DOTS considerando os seguintes elementos em comum (TRANSIT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM, 2002):

- Desenvolvimento de uso misto;
- Desenvolvimento próximo e bem servido por transporte público (acessibilidade);
- Desenvolvimento que conduza ao transporte público.

Conceitos menos universalizados também podem ser encontrados na definição de DOTS, como:

- Compacidade;
- Redondezas propícias aos pedestres e ciclistas;
- Espaços cívicos e públicos próximos a estações;
- Estações como centros comunitários.

Na Figura 29 o ITDP apresenta uma vista sob a ótica do DOTS.

Figura 29 - DOTS conforme ilustrado pelo ITDP



Fonte: <http://itdpbrasil.org.br/o-que-fazemos/desenvolvimento-orientado-ao-transporte/> : acesso em 19/12/2016.

O eixo central de transportes está próximo a estabelecimentos de negócios e comerciais, com maior adensamento. Já os para quarteirões periféricos busca-se uma menor densidade ocupacional, podendo utilizar o solo para uso prioritariamente para residências.

Desta forma, o ITDP estabeleceu oito princípios essenciais para orientar o DOTS nas cidades, correlacionando conceitos e objetivos, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Oito princípios do DOTS

| Conceito | Objetivo |
|-------------------------|--|
| Compactar | - Reorganizar regiões para encurtar viagens; |
| Adensar | - Aumentar a densidade de ocupação no entorno das estações de transporte de alta capacidade; |
| Conectar | - Criar redes densas e conectadas de vias e caminhos; |
| Usar transporte público | - Oferecer sistemas de transporte rápidos, frequentes, confiáveis, integrados e de alta capacidade; |
| Misturar | - Estimular o uso misto do solo, para reduzir o número de viagens e estimular um cenário de rua mais vibrante; |
| Pedalar | - Viabilizar o uso da bicicleta; |
| Mudar | - Promover mudanças para incentivar o uso de transporte público, a pé ou bicicleta; |
| Caminhar | - Criar ambientes que estimulem as pessoas a andar a pé. |

Fonte: ITDP, 2014.

Para o *Transit Cooperative Research Program* (TCRP, 2002), o DOTS vem ganhando grande popularidade como uma forma de remediar sérios problemas dos centros urbanos, como congestionamento, poluição ambiental e o espraiamento descontrolado das cidades.

O DOTS, de maneira geral, influencia no desenho urbano, com combinações de intensificação do desenvolvimento comercial nas cercanias das estações, misturando o uso do solo com equipamentos públicos urbanos e espaços cívicos, aprimorando a qualidade do deslocamento ativo, como de pedestres e ciclistas. O TCRP (2002) ainda alerta sobre a atenção não somente aos aspectos físicos do DOTS, mas também sobre as questões de segurança, desenvolvimento econômico, comunitário e cultural, para se construir um capital social humano e reforçar o vínculo entre transporte e as comunidades a que ele atende. Neste sentido, o DOTS é uma ferramenta de avaliação, com políticas públicas focadas em integrar transporte público com o planejamento urbano e uso do solo (ITDP, 2014).

3.3 ESTUDO DE DEMANDA DA LINHA 4

Os estudos e estimativas de viagens utilizadas nos relatórios da FGV (2011) foram baseados no PDTU de 2005, cujas matrizes de viagens origem-destino (OD) foram tomadas como base para a obtenção das estimativas de demanda no horizonte entre 2011 -2040.

Segundo a FGV (2011), a projeção de demanda diária por deslocamento, no eixo entre o Jardim Oceânico e a Praça General Osório, seria distribuída em 35% para automóveis e 65% para ônibus, conforme apresentada na Tabela 5, ao longo do horizonte estimado.

Tabela 5 – Demanda entre o Jardim Oceânico – General Osório

| Ano | Demanda diária | | |
|-------------|----------------|---------|---------|
| | Total | Auto | Ônibus |
| 2011 | 343.000 | 120.050 | 222.950 |
| 2016 | 425.000 | 148.750 | 276.250 |
| 2026 | 536.000 | 187.600 | 348.400 |
| 2036 | 627.000 | 219.450 | 407.550 |
| 2040 | 670.000 | 234.500 | 435.500 |

Fonte: GERJ e AGRAR, 2011

O estudo de demanda ainda cita que, ao atingir um alto volume de demanda, deve-se rever o sistema de transportes, sendo o transporte sobre trilhos reconhecido como uma solução mais adequada.

A modelagem baseada nas pesquisas e nos estudos do referido relatório indicou que 40% dos usuários de automóveis e que 48% dos passageiros do transporte público passariam a utilizar o metrô. Desta forma a demanda do metrô seria composta de 28% de pessoas que utilizam transporte privado e 72% oriundas do transporte público.

A Tabela 6 apresenta a expectativa de demanda de embarques por estação em dias úteis na Linha 4, em milhares de passageiros, estimadas para 2011, 2016, 2026, 2036 e 2040.

Tabela 6 - Embarques Diários por Estação, em milhares de passageiros.

| Estações | 2011 | 2016 | 2026 | 2036 | 2040 |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Jardim Oceânico | 72 | 91 | 128 | 165 | 182 |
| São Conrado | 45 | 61 | 81 | 85 | 86 |
| Leblon | 30 | 35 | 41 | 45 | 47 |
| Jardim de Alah | 15 | 20 | 22 | 23 | 23 |
| N. S. da Paz | 35 | 47 | 55 | 57 | 58 |
| Gen. Osório | 18 | 25 | 31 | 32 | 32 |
| Gávea | 18 | 19 | 21 | 22 | 23 |
| L1/L2 | 109 | 127 | 158 | 199 | 218 |
| Total | 343 | 425 | 536 | 627 | 670 |

Fonte: FGV, 2011

O número de embarques adicionais no sistema metroviário com a implantação da Linha 4 foi estimado em 343.000 passageiros. A quantidade de desembarques diários por estação é estimada sendo a mesma de embarques. Conforme previsão da Tabela 6, a taxa média de crescimento da demanda prevista nos períodos apresentados decai, podendo caracterizar a procura por outros modos de transportes.

Isso reflete a visão atual do planejamento dos transportes que vem se expandindo no sentido de implantar uma rede estruturante apoiada nas modalidades metroviária, trens urbanos e sistemas de ônibus de alta capacidade BRT (*Bus Rapid Transit*), todos integrados.

3.3.1 Área de influência da Linha 4

O estudo da área de influência da Linha 4 utilizou o instrumento do zoneamento, muito aplicado em planos diretores, dividindo-se a cidade em áreas onde incidem diretrizes diferenciadas para o uso e ocupação do solo e índices urbanísticos. Os principais objetivos do zoneamento, de acordo com (FGV, 2011) são:

- Controle do crescimento urbano;
- Proteção de áreas inadequadas à ocupação urbana;
- Minimização dos conflitos entre usos e atividades;
- Controle de tráfego.

Logo, como o metrô é um sistema de transportes de alta capacidade, utilizou-se o zoneamento para verificar a compatibilidade da densidade demográfica urbana ao longo do traçado básico de estudo e a sua viabilidade (Figura 30).

Figura 30 - Zoneamento da área de influência direta da Linha 4



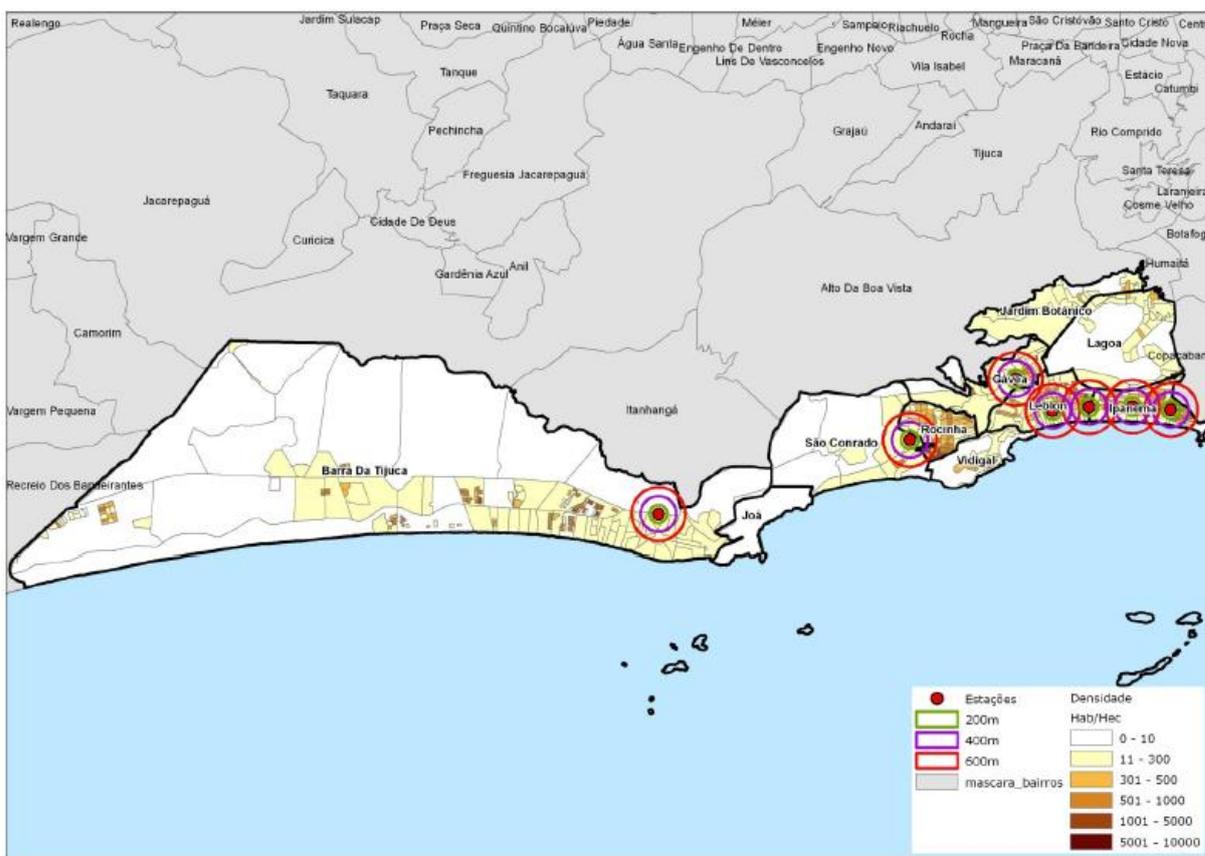
Fonte: FGV, 2011

Para a demanda, a distância média entre estações é de fundamental importância, justificando a profunda interrelação do modo metrô com a densidade urbana para maximizar os altos investimentos em redes urbanas de transportes.

Para a caracterização da área de influência com acesso a pé foram realizadas pesquisas específicas pela FGV (2011). O resultado das pesquisas apontou que mais de 80% dos usuários se deslocam a pé para uma estação, realizando um percurso inferior a 600 m (considerado dentro dos limites de sustentabilidade proposto pelo IDTP, 2014). Ainda há um percentual significativo que se desloca a pé num percurso entre 600 e 800m. Em relação ao ônibus de integração para a Barra, a pesquisa mostrou que cerca de 12% dos usuários caminham distâncias superiores a 800 m.

A área de influência ao acesso das estações determina a possibilidade do acesso ao transporte público a pé, sendo determinístico também que, quanto melhores as condições de acesso às estações por automóveis ou por ônibus, pode-se determinar a captação da demanda, e quanto mais próxima do usuário a estação melhor será o nível dos serviços prestados e maior será sua utilização. A Figura 31 apresenta a área de influência das estações da Linha 4.

Figura 31 – Área de influência das estações e densidade populacional do zoneamento.



Fonte: FGV, 2011

As estações nos bairros de Ipanema e Leblon têm posicionamento bastante favorável, permitindo que o usuário do Metrô alcance a estação a pé dentro dos limites sustentáveis, com uma caminhada de até 10 minutos. Linhas de ônibus integradas às estações captam a demanda de regiões não servidas pelo Metrô. O sistema BRT, denominado TransOeste, implantado na Barra da Tijuca, capta a demanda da região oeste do município com destino à Zona Sul e ao Centro, com integração ao sistema metroviário na Estação Jardim Oceânico da Linha 4.

Em outubro de 2009, foi anunciado pelo poder público o início das obras da Linha 4 em função da escolha do Rio de Janeiro como cidade sede dos Jogos Olímpicos de Verão, com novo traçado, modificado substancialmente na região de abrangência da zona sul, se comparado ao traçado licitado em 1998. Onde antes estava planejada a integração com o sistema em operação na estação Botafogo, o novo traçado passou a integrar a Linha 1 pela estação terminal de General Osório. A Linha 4 parte da estação General Osório, fazendo o percurso completo até o Jardim Oceânico (Figura 32), passando pelas estações Nossa Senhora da Paz, Jardim de Alah e Antero de Quental. Em Antero de Quental existe uma bifurcação na linha, uma seguindo em direção à estação Gávea e a outra, para São Conrado, última estação antes da estação Jardim

Figura 33 - Ponte estaiada projetada por Santiago Calatrava



Fonte: <http://www.barrazine.com.br/2013/03/ponte-estaiada-Linha-4-do-metro/> : acesso em 21/12/2016.

Devido a restrições orçamentárias, em 2014 foi anunciado que a ponte não atenderia às premissas de otimização de custos e prazos necessários para a execução de uma obra pública. Portanto, ficou a cargo da concessionária responsável pela construção da Linha 4 a elaboração do projeto da ponte que sustenta as vias do metrô.

4 SOM E RUÍDO URBANO

O Decreto 5.412 de 1985 do município do Rio de Janeiro define ruído como “qualquer alteração das propriedades físicas do meio ambiente causada por som que, direta ou indiretamente, seja nocivo à saúde, à segurança ou ao bem-estar da coletividade”.

O ruído é caracterizado como o som indesejável ou causador de uma sensação desconfortável nos indivíduos. Calixto (2002) caracteriza o ruído como diversos movimentos oscilatórios combinados, resultando um movimento não harmônico.

A reação individual à percepção do som é distinta (Figura 34) e varia em função do estado emocional, personalidade e outros fatores. Contudo, de forma geral, o ruído está associado a uma sensação não prazerosa (CALIXTO, 2002).

Figura 34 - Charge apresentando a reação individual distinta para o mesmo som.



Fonte: <http://ergonomiaaplicada.blogspot.com.br/2008/01/rudo-estresse-fisiolgico-e-medidas-de.html> : acesso em 24/11/2016.

Uma forma de mensurar e avaliar o ruído urbano e ambiental é calcular o Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq}). Este índice está baseado no princípio de equivalência de energia e é utilizado para medir a exposição ao ruído conforme a norma ISO 16032:2004 e pela Agência de Proteção Ambiental (MARDONES, 2009).

O L_{eq} é obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora durante todo o período de medição com ponderação diferenciada em frequência.

O L_{eq} é calculado pela Eq. 1:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2(t)} dt \right], \quad (1)$$

onde T é o período de tempo de medição, $p_A(t)$ é a pressão sonora instantânea com ponderação A e $p_0(t)$ é a pressão sonora de referência (20×10^6 Pa).

O objetivo dessa ponderação é aplicar as características do aparelho auditivo sobre os valores mensurados. Dessa forma, faixas de frequência onde a sensibilidade do ser humano é maior têm um peso maior do que aquelas cuja percepção humana não é tão apurada.

4.1 EFEITOS DO RUÍDO

Fernandes (2013) afirma que grande parte das pessoas é mais afetada pela exposição ao ruído do que qualquer outro poluente, sendo o ruído um dos fatores principais da degradação da qualidade de vida em centros urbanos. Todavia, devido aos próprios efeitos da exposição ao ruído não colocarem o indivíduo ao risco de morte, esse tipo de poluição não se posiciona entre as prioridades ambientais, quando comparado à poluição do ar, das águas e de resíduos (BISTAFA, 2011).

Os efeitos diretos e indiretos do ruído vão desde um simples incômodo até doenças crônicas. Os efeitos diretos causam resposta rápida do organismo e suas consequências são notadas imediatamente ou em curto prazo, tais como: interrupção do sono, incômodo sonoro, e dificuldade de comunicação. Os efeitos indiretos são sentidos após sucessivas exposições a níveis inadequados, notados em longo prazo, podendo-se citar o estresse, a irritabilidade, redução da acuidade auditiva, alterações neurológicas, cardiovasculares, da química sanguínea e até digestivas (SELIGMAN, 1993). Também são citados por Seligman (1993) problemas de aspectos psicossociais, podendo gerar ansiedade, isolamento, solidão, depressão e até mesmo perda de autonomia. Segundo Mardones (2009) o sono ininterrupto é um dos requisitos para o bom funcionamento mental e fisiológico das pessoas.

A OMS (1999) entende que a exposição adequada ao ruído traz garantias à saúde humana, não somente como a ausência de doenças, mas também como um estado completo de bem-estar físico, mental e social. Segundo Rodrigues (2010) níveis a partir de 50 dB(A) podem causar incômodo, mas o organismo humano pode se adaptar. Já níveis acima de 70 dB(A)

podem causar efeitos de desgaste do organismo, aumentando as chances de ocorrência de problemas cardiovasculares como derrame cerebral, infarto, infecções e hipertensão arterial, dentre outras patologias.

Griefahn *et al.* (2006) apresenta em sua pesquisa que os parâmetros fisiológicos do sono são severamente mais afetados pelo ruído ferroviário do que pelos ruídos aeroportuário e rodoviário. Essa ideia diverge à afirmação de Fields e Walker (1982), quando citam que diversos pesquisadores europeus encontraram resultados indicando o ruído ferroviário como menos perturbador que o ruído gerado por aeronaves e veículos em países como França, Dinamarca e Alemanha. Porém, estudos japoneses apontam que ferrovias podem ser igualmente ou mais perturbadoras que o tráfego viário, gerando o mesmo nível de ruído.

Saremi *et al.* (2008) cita a preocupação com o aumento potencial do ruído ferroviário devido ao esperado desenvolvimento do transporte sobre trilhos, principalmente para populações que residem próximos a ferrovias. Saremi *et al.* (2008) e Tassi *et al.* (2010) mencionam também que a maioria dos estudos conduzidos sobre os efeitos prejudiciais dos ruídos de transportes consideraram, em grande maioria, o impacto causado por rodovias e aeronaves, restando poucos estudos dedicados ao ruído ferroviário. Outro interessante ponto abordado por Fields e Walker (1982) é que, considerando a penetração das ferrovias em todas as áreas urbanas densas do Reino Unido, em determinadas condições climáticas, os trens podem ser escutados por até metade das residências do país.

O estudo de Saremi *et al.* (2008) apresenta uma comparação entre trens de carga e de passageiros, concluindo que trens de carga geram mais perturbações ao sono do que trens de passageiros. Tassi *et al.* (2010), sugere que as pessoas que residem próximas às ferrovias desenvolvem um processo de adaptação ao ruído, porém isto não faz com que os distúrbios sejam minimizados.

4.2 FONTES DE RUÍDO NAS CIDADES

As emissões sonoras geradas por diversas fontes contribuem para a geração do ruído ambiental. Classifica-se como ruído ambiental a superposição de sons emitidos pelo tráfego de veículos, indústrias e outras atividades (GIUNTA, 2013).

No ambiente urbano podem existir fontes fixas ou móveis. Segundo Niemeyer (2007), o ruído produzido por indústrias, pela construção civil e por atividades de lazer, seria considerado como fontes fixas. O ruído de tráfego (rodoviário, ferroviário ou aeroviário) pode

ser considerado como fixo ou móvel, dependo da escala de avaliação. A classificação da diretividade da propagação do ruído pode ser omnidirecional, com distribuição uniforme em todas as direções, ou direcional, segundo um padrão de propagação da energia em função da direção e da frequência.

As fontes podem ser classificadas conforme suas dimensões e área de influência. Considera-se uma fonte pontual aquela cujas dimensões são insignificantes quando comparados à distância até o receptor. São chamadas de fonte linear, quando uma de suas dimensões é significativa para o receptor e fontes em área, como escolas, pátios e parques.

De acordo com Mardones (2009), o ruído ferroviário e rodoviário, podem ser modelados por fontes lineares. Uma rodovia com grande fluxo de veículos é considerada uma fonte de geração de ruídos em toda extensão da pista de rolamento.

4.2.1 Ruído de tráfego

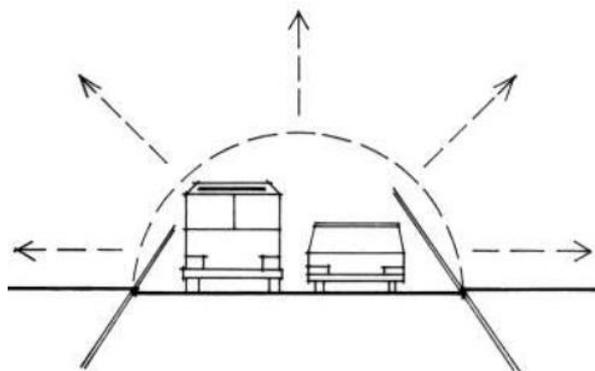
“Um dos primeiros atos de Júlio César ao tomar o poder foi banir o tráfego de rodas no centro de Roma, durante o dia. O efeito disso, naturalmente, foi criar tal bulha durante a noite, com carroças de rodas de madeira e aros de ferro batendo nas pedras do calçamento, que a confusão atormentava o sono.” (NIEMEYER (2007) apud MUNFORD, 1998).

Segundo Niemeyer (2007), o ruído do tráfego de veículos é o grande fator de desconforto para as comunidades, sendo também a maior fonte de poluição sonora urbana.

Niemeyer (2007) também cita que estudos do Centro Francês de Estudos de Transportes Urbanos (CETUR, 1980) apontam os veículos como responsáveis pela geração de 80% da energia acústica das cidades, e os carros, a maior fonte de ruído quando em conjunto, comparando-se com os veículos pesados, mesmo sendo menos ruidosos individualmente.

As vias de tráfego constituem uma fonte de ruído (Figura 35), onde o nível de potência gerada pela via pode ser modelado por um conjunto de parâmetros tais como o número de veículos por hora, a distribuição entre leves e pesados, velocidade média, traçado, declividade e tipo de pavimento da pista de rolamento (NIEMEYER, 2007).

Figura 35 - Fonte sonora - via de tráfego de veículos.



Fonte: NIEMEYER, 2007.

Para Mardones (2009) *apud* Suárez (2009), motores e dispositivos de escape dos veículos são os principais geradores de ruídos de automóveis. O ruído gerado a partir do contato do pneu com o pavimento é elevado com o aumento da velocidade e acima de 60km/h, este tipo de ruído se torna o mais impactante.

4.2.2 Ruído ferroviário

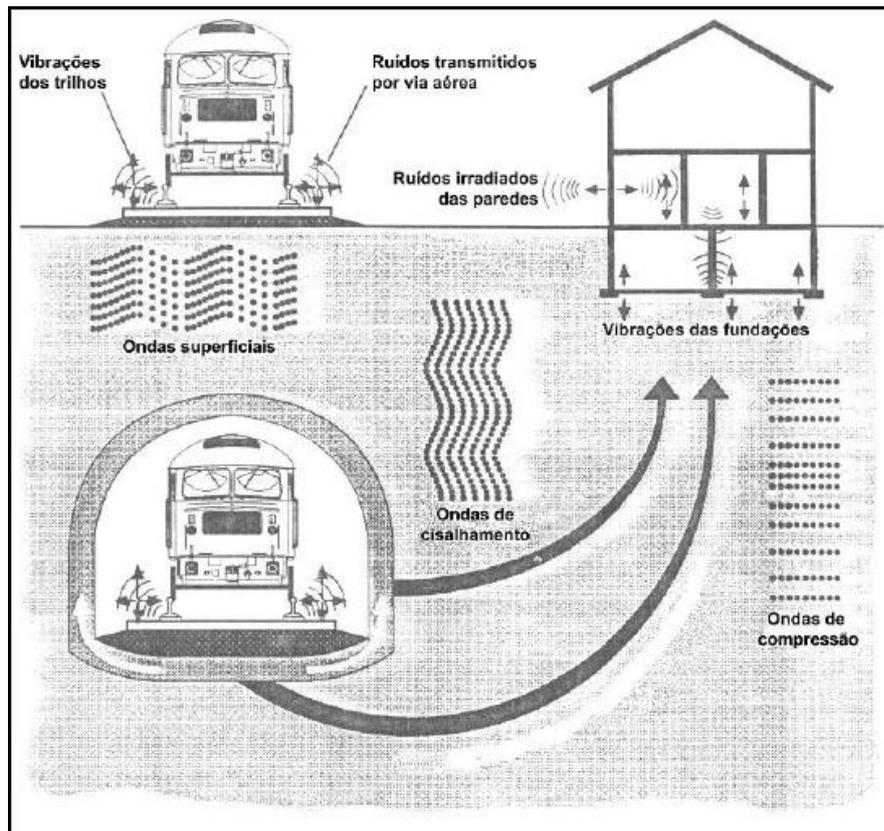
Ferrovias para transportes de massa convencionais e seus veículos com rodas flangeadas de aço sobre trilhos metálicos são transportes econômicos, duráveis, seguros e convenientes para muitos passageiros dos centros urbanos, embora o ruído intenso produzido pela interação roda/trilho seja um grande inconveniente (REMINGTON, 1976).

Sistemas metroviários estão instalados na maioria das redes de transportes metropolitanas devido a sua confiabilidade, segurança, valor tarifário, conforto e especialmente, com o aumento da preocupação ambiental, as questões energéticas e de redução de emissões (HWANG e CHEN, 2011).

Esses sistemas ferroviários são frequentemente citados como fontes de ruído urbano, com níveis médios acima dos recomendados pela Organização Mundial da Saúde (GERSHON *et al.*, 2006).

Segundo Hwang e Chen (2011), a causa do ruído gerado pelos trens se deve à interação roda-trilho em diferentes condições de velocidade, peso, temperatura, umidade relativa e rugosidade das superfícies. A Figura 36 ilustra o mecanismo de transmissão de ruído e as vibrações do metrô.

Figura 36 - Transmissão de ruído e vibrações por metrô.



Fonte: GERJ e AGRAR, 2011.

Para Remington (1986), um ruído intenso é gerado quando uma composição acessa curvas de pequeno raio, sendo este um problema de considerável magnitude em transportes de massa, que geralmente estão instaladas em áreas densamente ocupadas. O ruído causado por um trem pode ser proveniente de:

- i. Fricção do flange da roda no trilho;
- ii. Deslizamento diferencial entre as rodas internas e externas em eixo fixo;
- iii. Deslizamento lateral da roda sobre o trilho.

Remington (1986) também cita que ruídos podem ser provenientes de impactos devidos às irregularidades nas vias, desnivelamento ou separação das juntas dos trilhos, desgaste das rodas e acesso a aparelhos de mudança de via (AMV).

Fields e Walker (1982) citam que a energização de tração dos trens, também influencia na geração de ruído ferroviário, sendo a eletrificação aérea através das catenárias e de pantógrafos menos ruidosa do que a eletrificação por terceiro trilho ou por tração a diesel.

Ferrovias podem ter grande influência na geração de ruídos, atingindo comunidades em seu entorno e causando incômodo à população. O ruído gerado pode causar perturbações nas comunidades, já que o mesmo pode afetar a compreensão da fala, causando sensação de incômodo e interferência no sono. Além destes distúrbios, já no século XIX o periódico médico *The Lancet* (1897) publicava que o ruído e a vibração produzidos pelas ferrovias não só produzem um desconforto temporário, mas também danos à saúde.

Nos centros urbanos, o ruído ferroviário causado por sua operação cotidiana é um problema ambiental crescente. Knall (1996) ilustra que, com a necessidade de se transferir o tráfego das rodovias para as ferrovias pelas demandas políticas, a solução do problema de deslocamento das pessoas tem trazido um efeito adverso, que seria o aumento de ruído ou agravamento do ruído já existente nas cidades.

Para tanto, existem legislações e métricas para avaliar e delimitar os níveis de ruído gerado por estas operações, buscando melhorar as condições ambientais para quem a ele se expõe.

4.3 LEGISLAÇÃO SOBRE RUÍDO URBANO

4.3.1 Recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS)

O OMS adverte que níveis acima do limite de L_{eq} de 55 dB(A) podem acarretar leve estresse e desconforto. Além disso ela recomenda que os governos devem buscar as seguintes ações:

- Proteger a população do ruído e considerar isto como item integral em sua política de proteção ambiental;
- Implementação de planos de ação para redução de ruídos de curto, médio e longo prazo;
- Adoção dos valores apontados em no *Health Guidelines for Community Noise* em longo prazo;
- Incluir o ruído como um importante problema de saúde pública em avaliações de impacto ambiental;
- Legislação que induza a redução de ruído;
- Análises de custo-eficácia e custo-benefício como instrumentos de decisão de gestão;
- Políticas de apoio a pesquisa relacionada.

4.3.2 Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

A resolução CONAMA nº1 de 8 de março de 1990 classifica o excesso de ruído como problema sujeito ao Controle da Poluição do Meio Ambiente. Além disso, a emissão de ruídos deve obedecer aos interesses da saúde, do sossego público aos padrões e critérios e diretrizes estabelecidos em sua resolução.

A resolução CONAMA 1/1990 é a principal referência de legislação sobre ruído em comunidade, remetendo-se à norma NBR 10151 para medições de ruído e determinação dos níveis aceitáveis para a garantia da saúde e do sossego público.

O CONAMA também subscreve que o ruído causado por veículos automotores deve obedecer às normas expedidas pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), não havendo nenhuma referência nesta resolução a ruídos causados por outros tipos de transporte como aeronaves e trens.

Já a Resolução CONAMA 272, de 14 de setembro de 2000, aponta que os veículos automotores são umas das principais fontes de ruído no meio ambiente e que tecnologias já disponíveis e adequadas permitem que os veículos se adequem às necessidades do controle de poluição sonora. A Resolução também estabelece os limites máximos de geração de ruído em aceleração. Para motocicletas, a Resolução nº2 de 11 de fevereiro de 1993, dispõe sobre os limites máximos de ruídos gerados em aceleração.

4.3.3 Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 10151

A NBR 10151 fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, estabelecendo as condições físicas para a medição de ruído e aplica correções nos níveis medidos.

Ficam estabelecidos pela NBR 10.151 os instrumentos para avaliar a influência sonora de atividades sobre as cidades, já que fornece os níveis de ruído recomendáveis para áreas urbanas, de acordo com o período do dia e com as características da zona em questão. O método de avaliação do ruído baseia-se em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido e o nível de critério de avaliação NCA, conforme estabelecido na Tabela 7.

Tabela 7 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externo, em dB(A).

| Tipos de áreas | Diurno | Noturno |
|--|---------------|----------------|
| 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, 2000.

Esta norma também traz recomendações sobre o equipamento para realizar as medições, sobre os métodos e correções dos níveis medidos considerando características ambientais e do ser humano.

4.3.4 Lei ordinária n° 3.268 de 29 de agosto de 2001 do município do Rio de Janeiro

Esta lei municipal altera o Decreto 5.412 de 24 de outubro de 1986, definindo as condições básicas de proteção da coletividade contra a poluição sonora para o município do Rio de Janeiro.

Ficam definidos os períodos diurno e noturno, os níveis máximos permissíveis de acordo com a NBR 10151 e métodos de medição de sons e ruídos. Além disso, a lei determina a obrigatoriedade de adequação sonora para evitar a propagação de ruídos com valores acima dos permitidos, o que o município estabelece como limite e as fontes proibidas, além das aplicações de penalidades previstas e os órgãos de fiscalização.

Além disto, esta lei fixa os níveis máximos de acordo com o zoneamento. Desta forma, os valores podem ser distintos dos preconizados na NBR 10151.

4.4 SIMULAÇÃO ACÚSTICA E MAPAS DE RUÍDO

Importantes ferramentas para previsão acústica são os mapas de ruído produzidos por *softwares* de simulação. Alternativamente, os mapas de ruído podem ser elaborados através de medições dos níveis sonoros em diversos pontos distribuídos pelas cidades.

A diretiva 2002/49/CE, elaborada pelo Parlamento Europeu, determina a avaliação e o gerenciamento do ruído ambiental, sendo todas as nações da União Europeia obrigadas a avaliar os níveis de ruído ambiental gerado em áreas densamente populosas. Desta forma, é definido o mapa estratégico de ruído como “um mapa para fins de avaliação global da exposição ao ruído em determinada zona, devido a várias fontes de ruído, ou de estabelecimento de previsões globais para essa zona”.

O mapa de ruído exibe a informação visual do comportamento acústico de uma determinada área geográfica em um momento específico ou em uma base estatística (PINTO e MARDONES, 2007). O mapa de ruído gerado apresenta um diagnóstico ou um retrato da realidade acústica a que está exposta a população (JESUS e MAROJA, 2013). Segundo Lessa (2012), mapas de ruído traduzem o estado acústico local e suas fontes mais relevantes, com uma apresentação sistematizada, sendo uma ferramenta relevante para o planejamento urbano e para a definição das zonas de atividades, além de suporte para tomadas de decisão das medidas para controle de ruído.

Segundo Pinto *apud* Santos (2004), a utilização técnica dos mapas de ruído como ferramenta de planejamento permite:

- Quantificar o ruído em determinada área de estudo;
- Avaliar a população exposta ao ruído;
- Disponibilizar uma base de dados para planejamento urbano;
- Simular cenários diversos com o intuito de prognosticar a evolução acústica futura e seus impactos antes da implantação de algum projeto;
- Predizer os impactos causados por projetos de infraestrutura e de atividades industriais.

Para Lessa 2012, os objetivos de um mapa de ruído são:

- Identificar, qualificar e quantificar o ruído ambiente;
- Identificar situações de conflito do ruído com o tipo de utilização do ambiente;
- Avaliar a população exposta ao ruído;
- Planejar e determinar os planos e objetivos para controle e redução de ruído;
- Auxiliar o planejamento urbano local.

A Diretiva 2002/49/CE define uma abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente e seu incômodo. Determina, ainda, que

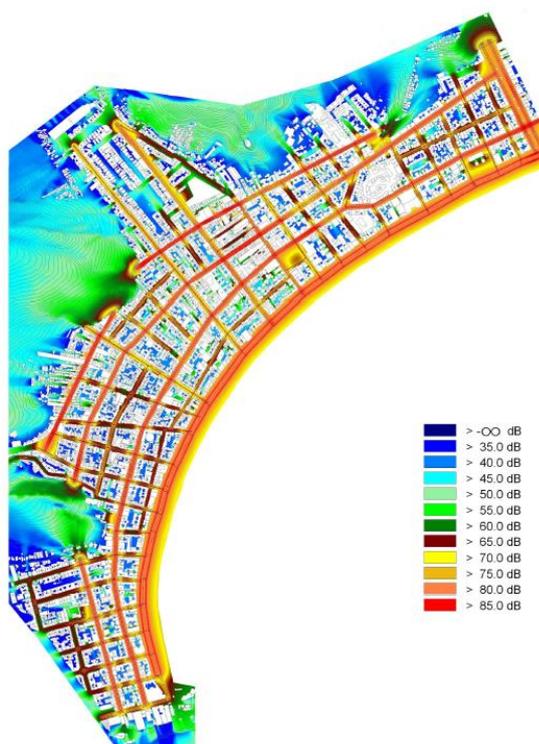
todos os Estados membros da União Europeia devem elaborar mapas de ruído embasados em métodos comuns de avaliação. Os mapas produzidos devem ser utilizados como base para determinar planos de ação, de forma a preservar a qualidade acústica do ambiente. Esses mapas devem ser revistos quando necessário, ou a cada cinco anos, a partir de sua última revisão.

Diagnósticos de configurações urbanas já consolidadas auxiliam na determinação de medidas de mitigação e adequação do perfil acústico aos limites definidos por norma para conforto acústico.

A geração de mapas de ruído pode ser feita a partir de *software* de simulação acústica apropriado e medições locais em pontos predeterminados, utilizados para calibrar a modelagem desenvolvida.

Existem diversos *softwares* que auxiliam a simulação acústica e na elaboração de mapas de ruído. Os programas Mithra, SoundPlan, CadnaA, Predictor, LIMA e ENM são alguns que podem ser citados.

Figura 37 - Mapa de ruído de Copacabana.



Fonte: MARDONES, 2009.

Segundo Mardones (2009), os programas se diferenciam por sua capacidade de importar as bases geométricas e topográficas, além das normas utilizadas para determinação dos procedimentos e equações que se aplicam ao cálculo dos níveis de pressão sonora. A

apresentação do mapa de ruído se faz a partir de escala de cores que demonstram o L_{eq} no local determinado, conforme exemplo mostrado na Figura 37. Para o presente estudo utilizou-se o *software* CadnaA para modelagem e simulação dos cenários desejados.

O CadnaA é um *software* para cálculo, apresentação, avaliação e predição da exposição de ruído, de forma a estudar o impacto ambiental gerado por diversas fontes, incluindo plantas industriais, shoppings, estacionamentos, rodovias e estradas, ferrovias e aeroportos.

A construção do modelo pode ser feita na própria plataforma, através de sua interface de modelagem, ou com arquivos de diversos formatos que podem ser importados. Pode-se visualizar o modelo e os resultados tanto em 2D como em 3D. Seu algoritmo utiliza normas internacionais, de forma a considerar distinto cada tipo de ruído, como estrada, ferrovias, fontes pontuais, lineares ou áreas. Na Figura 38 apresenta a apresentação gráfica dos resultados do *software* CadnaA.

Figura 38 - Interface gráfica do software CadnaA.



Fonte: <http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa> : acesso em 12/12/2016

Neste estudo, foi utilizado o método francês determinado pela NMPB-Routes-96, contido na versão utilizada do *software* CadnaA. Esse método determina o procedimento completo para calcular níveis de pressão sonora gerados por tráfego de rodovias com área de atuação de até 800m do eixo da via e dois metros acima da superfície, considerando o fluxo de veículos (quantidade por hora), as características da via (tipo de pavimento e número de faixas de rolamento), além da distribuição do tráfego em veículos leves ou pesados e suas velocidades médias.

O cálculo do ruído gerado por ferrovias foi realizado com mesmo *software* utilizando o método holandês SRM II (SZWARC *et al.*, 2011), que considera diversos fatores, tais como a

frequência dos trens, velocidade, categoria (trem de passageiros ou de carga), tipo de estrutura da via, dormentes, segmentos de trilhos, aparelhos de mudança de via (AMV) e características do sistema de frenagem.

Ambas as normas são as utilizadas pela Comunidade Europeia e, por este motivo, foram escolhidas para as simulações.

5 AVALIAÇÃO DO RUÍDO EM TORNO DA LINHA 4 DO METRÔ

A análise do impacto provocado pela inserção do trecho a céu aberto da linha 4 do metrô foi realizada através da elaboração de mapas de ruído. Foram considerados três cenários - anterior e posterior à operação do metrô e o cenário com operação isolada do metrô - a fim de comparar as diferenças produzidas pela operação da linha ferroviária.

As principais etapas para a realização da análise são apresentadas a seguir:

1. Definição dos pontos de medição e tomada de dados;
2. Modelagem acústica dos cenários, calibração e simulação;
3. Análise de resultados obtidos e dos mapas de ruído.

Para a criação dos mapas de ruído, foram coletados dados relativos ao volume de tráfego e a distribuição entre veículos leves e pesados. Foram realizadas medições de nível de pressão sonora (L_{eq}) em 10 locais próximos à zona de influência da via metroviária e de locais residenciais possivelmente afetados pelo ruído. Essas medições tiveram o objetivo de calibrar o modelo acústico, onde os resultados da simulação devem estar de acordo com os valores medidos.

Os fluxos de tráfego nas vias foram estimados através da contagem de veículos em períodos de 15 minutos, em diversos horários da manhã, extrapolando os resultados para o período de 60 minutos, a fim de obter o fluxo de veículos por hora, necessário para a aplicação do modelo de tráfego NMPB.

A modelagem acústica contou também com um levantamento geométrico das vias, quadras, edificações, áreas verdes e topografia da região. Esse modelo geométrico foi elaborado em CAD, com dados da base cartográfica obtidos do Instituto Pereira Passos (IPP).

Para avaliação do perfil acústico e elaboração dos mapas de ruído na área de estudo foi construído o modelo computacional que representa a região de interesse através da ferramenta CadnaA, baseado na norma “NMPB-Routes 1996” e SRM II.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E USO DO SOLO

A Linha 4 é a maior expansão desde a inauguração das operações do modo de transporte metroviário. A Figura 39 ilustra a ponte estaiada para as duas vias férreas.

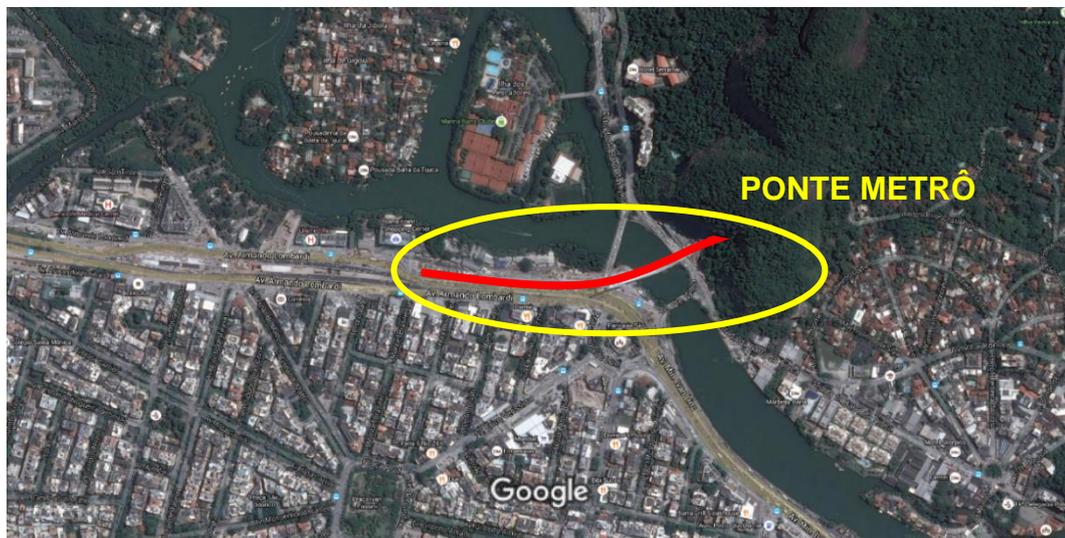
Figura 39 - Ponte sobre o canal da Barra da Tijuca e via metroviária realçada.



Fonte: www.fotospublicas.com.br - Foto GERJ, 2012: acesso em 13/09/2016

Pela Figura 40, pode-se observar o trecho em superfície do metrô cruzando o estuário da lagoa da Tijuca e a proximidade com a movimentada Avenida Armando Lombardi.

Figura 40 – Ponte estaiada na área de implantação da Linha 4 a céu aberto.



Fonte: Google Maps: acesso em 19/08/2016.

Observa-se também na região do entorno a presença de edifícios comerciais e residenciais próximas tanto ao novo trecho de metrô, quanto a avenida com alto fluxo de tráfego.

A Figura 41 apresenta a área de estudos compreendida neste trabalho. Ela apresenta a região onde será inserida as vias metroviárias expostas, relativamente próxima aos edifícios comerciais e residenciais do Jardim Oceânico.

Figura 41 – Mapa urbano básico do Jardim Oceânico – Área de estudo

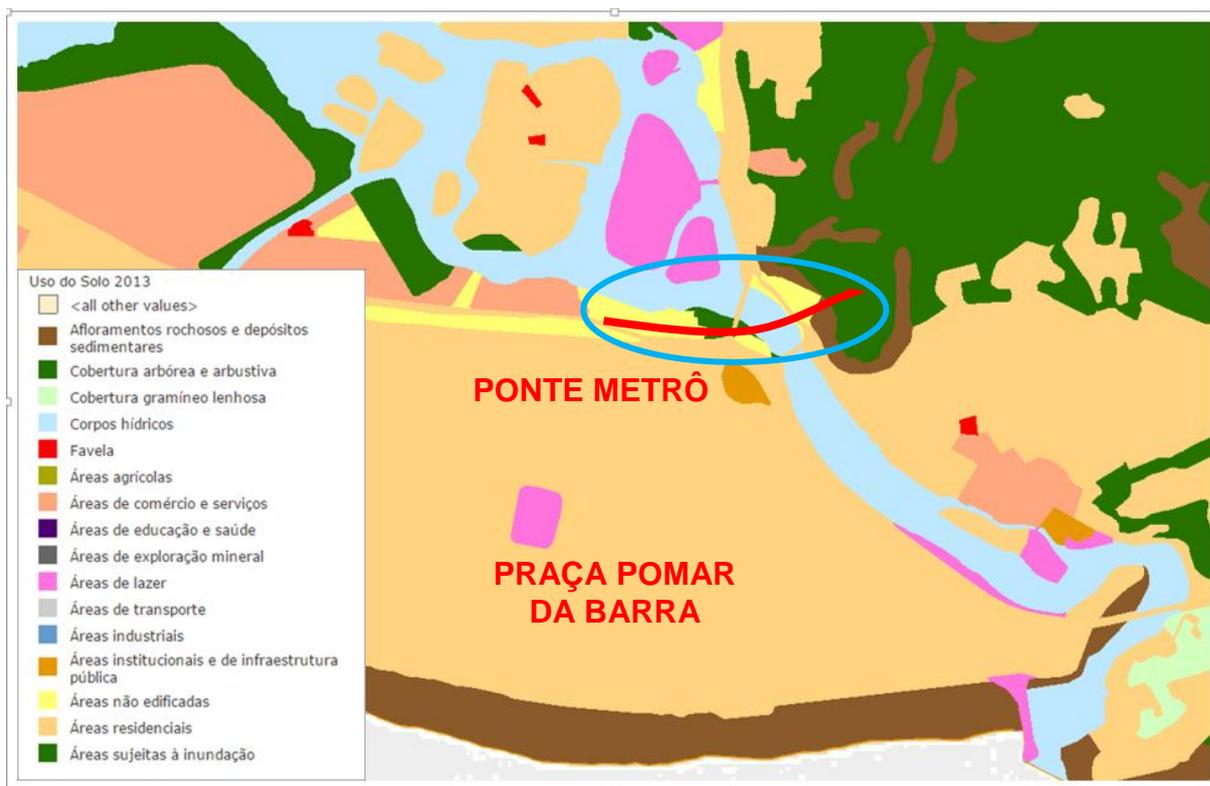


Fonte: Instituto Pereira Passos - <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br>: acesso em 07/11/2016.

Conforme apresentado na Figura 41, todos os prédios da região, onde se concentra a área de estudos, estão implantados em zona denominada residencial, definido pelo mapa de uso do solo da Figura 42. O mapa de uso do solo apresenta as características urbanísticas da região e de uso do solo, definidas de acordo com o IPP:

- Área densamente construída, com grande parte dos terrenos localizados na Avenida Armando Lombardi, edificados;
- Ao sul da Avenida Armando Lombardi: uso do solo composto de áreas predominantemente residenciais, com edificações de gabarito variando entre um a cinco andares;
- Terrenos com testada frontal para a Avenida Armando Lombardi com uso predominante comercial;
- Canteiro central da Avenida Armando Lombardi definida como áreas não edificadas; e
- Ao norte da Avenida: área de uso comercial e serviços e áreas sujeitas a inundações, devido à proximidade ao canal de ligação da lagoa da Tijuca ao oceano Atlântico.

Figura 42 - Mapa de uso do solo na região de estudo



Fonte: Instituto Pereira Passos - <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br> : acesso em 09/05/2016

Segundo a Lei ordinária nº 3.268 de 29 de agosto de 2001 do município do Rio de Janeiro, esta área é denominada como Zona Especial 5 (ZE5), o que permite comércio em edificações mistas.

A Avenida Armando Lombardi, no trecho onde serão implantadas as vias metroviárias, tem predominantemente três pistas de rolamento de veículos em cada direção, com a adição de uma pista de rolamento referente aos acessos à avenida, em ambos os sentidos.

O tráfego em horário de pico é predominantemente composto de veículos de passeio, táxis, ônibus, motocicletas e veículos de menor circulação como veículos de socorro e emergência, transporte de valores e vans. Nos horários de pico está proibida a circulação de veículos de carga nesta região.

Próximo ao emboque do túnel, existe o maciço rochoso Morro do Focinho do Cavalo, com 322 metros de elevação, e localizam-se as pontes de acesso às localidades denominadas de Itanhangá e Barrinha (ou Largo da Barra), que cruzam a lagoa da Tijuca.

5.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO E MEDIÇÕES

A área de estudos foi avaliada para interpretar as características morfológicas da região a fim de construir o modelo computacional de forma precisa. Para isto, além da visita de campo e do conhecimento prévio do local, foram analisadas imagens de satélite e do arruamento disponibilizados pelo Google Earth e Google Maps.

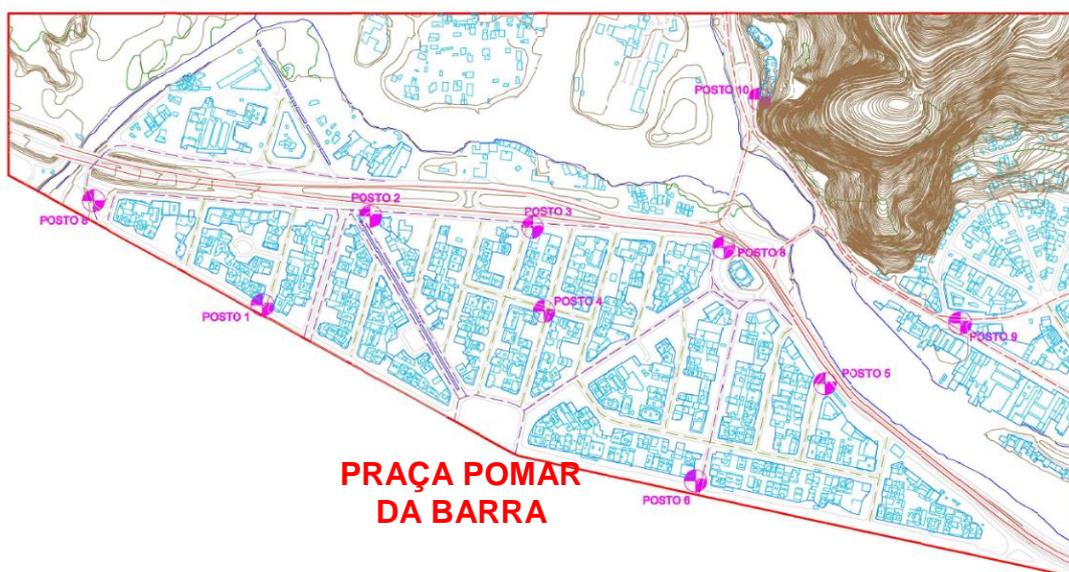
A região tem diversas categorias de vias. As vias principais, com maior fluxo de veículos, as vias secundárias e as locais. Todas foram classificadas para associar o fluxo de veículos e número de faixas de rolamento. Para a elaboração da modelagem acústica, foi necessário o levantamento de dados do fluxo viário em todas as vias principais, secundárias e locais, sua distribuição em veículos leves e pesados, número de faixas e velocidade dos veículos.

As edificações com testada frontal para a Avenida Armando Lombardi são majoritariamente comerciais, enquanto as demais são prioritariamente residenciais. O gabarito médio dos prédios é de cinco andares, já incluídos o pavimento de acesso e cobertura, com média de 15 metros de altura.

A topografia da região é planificada onde se concentram os prédios, incluído apenas o morro Focinho do Cavalo. A área de vegetação é reduzida, devido às características originais de agreste e à grande modificação causada pela urbanização.

A Figura 43 apresenta a delimitação da área de estudo de impacto acústico.

Figura 43 - Delimitação da área de estudo



A Figura 43 e a Tabela 8 apresentam os 10 pontos de tomada de dados, tanto na área de influência do metrô quanto em locais de coleta de dados viários. Na escolha dos pontos procurou-se contemplar locais onde o ruído pudesse causar incômodo nas edificações próximas.

Tabela 8 – Pontos de medição e tomada de dados.

| | |
|-----------------|---|
| Ponto 1 | Av. Ivan Raposo X Alda Garrido |
| Ponto 2 | Av. Armando Lombardi X Av. Fernando Mattos |
| Ponto 3 | Av. Armando Lombardi X Rua Manuel Brasiliense |
| Ponto 4 | Rua Henrique de Moura Costa X Aldo Bonadei |
| Ponto 5 | Av. Ministro Ivan Lins X Rua Armando Coelho de Freitas |
| Ponto 6 | Olegário Maciel X Gilberto Amado |
| Ponto 7 | Av. Armando Lombardi X Pça Euvaldo Lodi - S. Zona Sul |
| Ponto 8 | Pça Prof. Souza Araújo |
| Ponto 9 | Est. Da Barra da Tijuca 231 - S. Itanhangá |
| Ponto 10 | Est. Da Barra da Tijuca 1006 - Itanhangá Hills - S. Itanhangá |

Em cada um dos 10 pontos de tomada de dados foi montada a estrutura de coleta de dados e de medição de ruído, conforme mostrado na Figura 44. Essas medições foram feitas para calibrar e validar o modelo acústico elaborado pelo *software* CadnaA. Também foram filmadas as vias por uma câmera anexada ao tripé de medição, para a contagem do tráfego (Figura 45). Em algumas vias secundárias e locais a contagem pôde ser feita manualmente.

Figura 44 - Medidor de pressão sonora e câmera para filmagem de tráfego

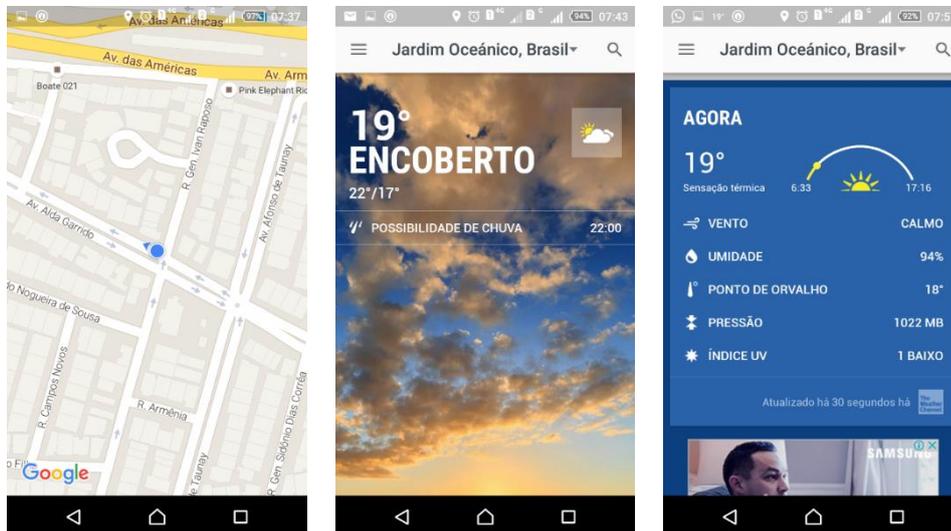


Figura 45 – Filmagem para contagem de tráfego e verificação da distribuição de veículos em leves e pesados.



Para todos os locais de medição foram anotados os horários da tomada de dados, as condições meteorológicas no momento da medição e a localização por GPS (Figura 46)

Figura 46 – Localização por GPS e condições meteorológicas no momento da medição nos pontos receptores.



A determinação do perfil dos veículos e a porcentagem de distribuição do fluxo nas vias são parâmetros solicitados pelos modelos computacionais, importantes para a determinação da pressão sonora calculada.

As medições de pressão sonora foram executadas de acordo com as recomendações da NBR 10151.

A tomada de dados foi executada em dia de semana, a partir das 7 horas da manhã, de forma a captar o fluxo de veículos do horário de pico da manhã, estendendo-se até o horário às 12:00 horas, com as condições climáticas no dia de céu nublado e vento fraco, minimizando sua ação no microfone. O equipamento utilizado para medição foi o modelo MSL-1354 (classe 2). O mesmo foi configurado para medição de pressão sonora equivalente, ponderado em “A” (L_{eq}), regulado para resposta lenta (*slow*), com períodos de amostragem a cada 30 segundos durante 15 minutos de medição. O microfone do medidor estava protegido das ações de vento com uso de protetor adequado e localizado à distância de 1,55m do solo (Figura 47) através de uso de tripé.

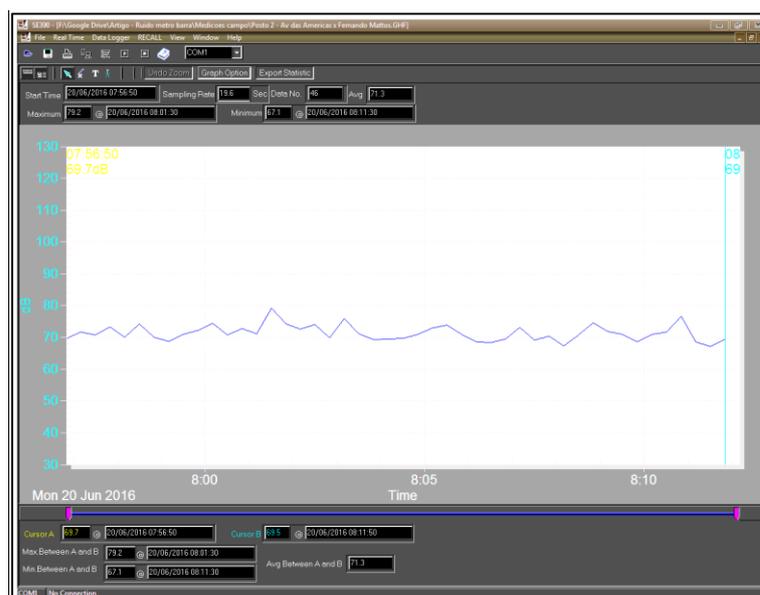
Figura 47 - Altura do microfone do medidor em relação ao solo.



Todas as medições foram realizadas considerando-se o mínimo de 2 metros de distância das vias e de quaisquer superfícies que pudessem agir como refletora de ruído.

Os níveis de pressão sonora foram armazenados no medidor para posterior análise. A caracterização do L_{eq} de cada local foi feita através da média aritmética dos níveis de pressão sonora instantâneos, coletados durante o tempo de medição em cada local. Um exemplo da variação do L_{eq} durante uma medição é apresentado na Figura 48. Cabe ressaltar que o valor do L_{eq} para um período de medição deve ser obtido conforme a Eq. (1), ou seja, pela média dos valores quadráticos de pressão. Contudo, como observou-se que não houve variações significativas de níveis instantâneos durante os períodos de medição, a média aritmética dos L_{eq} individuais será muito próxima do L_{eq} conforme a Eq. (1).

Figura 48 - Interface gráfica do software de apresentação de dados coletados pelo medidor de pressão sonora.



5.3 CENÁRIOS UTILIZADOS NA MODELAGEM ACÚSTICA E NA GERAÇÃO DOS MAPAS DE RUÍDO

Os cenários foram desenvolvidos considerando os fluxos viários das vias principais, secundárias e locais, o tipo de pavimento, os percentuais de veículos leves e pesados, além da velocidade média. Também foram modeladas as edificações, considerando o gabarito, as áreas de espelho d'água, áreas que apresentam vegetação e a localização dos receptores. Os receptores foram adicionados à base no mesmo local onde foram feitas as tomadas de dados nos pontos pré-definidos (Figura 43).

Além da construção geométrica do modelo, algumas premissas foram definidas baseadas no conhecimento operacional do metrô pelo autor, sendo necessária a atribuição das velocidades dos trens para ambos os sentidos de operação. Portanto, para fins de modelagem foram definidas as premissas para os dados operacionais dos trens que foram inseridos no modelo da seguinte forma:

- i. Para os trens que saem da estação Jardim Oceânico foi considerada uma velocidade de 40 km/h e em aceleração;
- ii. Os trens que em direção à estação, estão na iminência de iniciar a sua frenagem, mas ainda trafegam no limite de velocidade operacional da via, de 80 km/h no trecho a céu aberto.

Foram modelados no CadnaA os seguintes cenários apresentados no Tabela 9.

Tabela 9 – Cenários elaborados para modelagem e simulações do modelo acústico computacional.

| | |
|------------------|---|
| Cenário 1 | Área de estudo antes da implantação do trecho metroviário da Linha 4 – Ruído promovido apenas pelo tráfego viário |
| Cenário 2 | Influência isolada do metrô |
| Cenário 3 | Área de estudo posterior à implantação do trecho metroviário da Linha 4. – Ruído promovido pela soma das contribuições do tráfego viário e do metrô |

Os valores obtidos com os mapas de ruído foram comparados aos limites da NBR 10151 e os valores determinados pela Lei 3.268, que são distintos.

5.3.1 Cenário 1 - Área de estudo antes da implantação do metrô

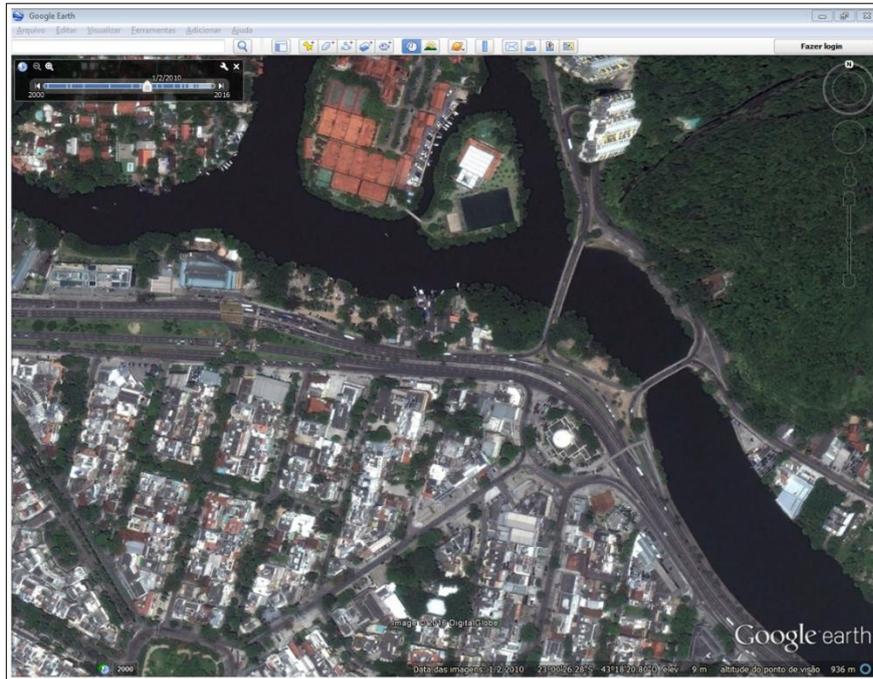
O Cenário 1 apresenta a configuração local do Jardim Oceânico antes da implantação do trecho metroviário, considerando o ruído promovido apenas pelo tráfego viário existente no local. A caracterização urbana antes da implantação da Linha 4 foi elaborada utilizando a imagem obtida no Google Earth, em sua ferramenta de documentação histórica (Figura 49).

A região apresenta o uso do solo densamente construído, com grande parte dos terrenos edificados, localizados na Avenida Armando Lombardi (via principal). Ao sul está localizada a área predominantemente residencial, com prédios de até cinco pavimentos. Os terrenos com testada frontal para a avenida são em maioria de uso comercial, mesmo sendo essa área definida como residencial, no mapa de uso do solo da Figura 42.

Ao Norte da referida avenida identificam-se áreas de uso comercial e de serviços, sendo algumas sujeitas a inundações, devido à proximidade com o canal de ligação da lagoa da Tijuca ao Oceano Atlântico, conforme mapa de uso do solo da Figura 42.

Na Avenida Armando Lombardi, no trecho onde foram implantadas as vias metroviárias, há três pistas de rolamento de veículos em cada direção, com a adição de uma pista de rolamento referente aos acessos à avenida, em ambos os sentidos.

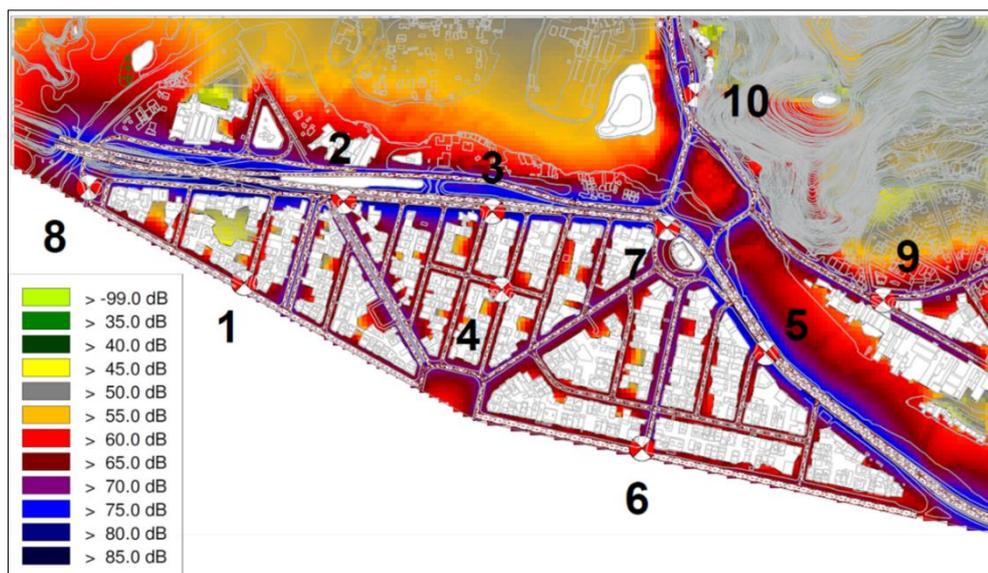
Figura 49 – Configuração urbana da região do Jardim Oceânico antes da implantação da Linha 4 em 2/1/2010



Fonte: Google Earth: acesso em 16/05/2016

O mapa apresentado na Figura 50, proporciona uma visão global do ruído na região, através dos resultados de simulação para o Cenário 1. A variação de cores apresenta o nível de ruído proveniente do tráfego de veículos nas diversas ruas da região. Os pontos de medição em campo também se encontram identificados na Tabela 8.

Figura 50 – Mapa de ruído da região do Jardim Oceânico, Cenário 1, antes da implantação do metrô.



Pode se observar que o ruído causado pelo fluxo de automóveis em locais próximos à via principal, estão com valores entre 70 e 75 dB(A) e, nas vias secundárias, valores entre 65 a 70 dB(A). Estes valores extrapolam os limites de ruído recomendados pela NBR 10.151, que são de 50 à 55 dB(A). Avaliado sob a ótica da Lei 3.268, o valor máximo permitido é de 65 dB(A), o que também ultrapassa o limite.

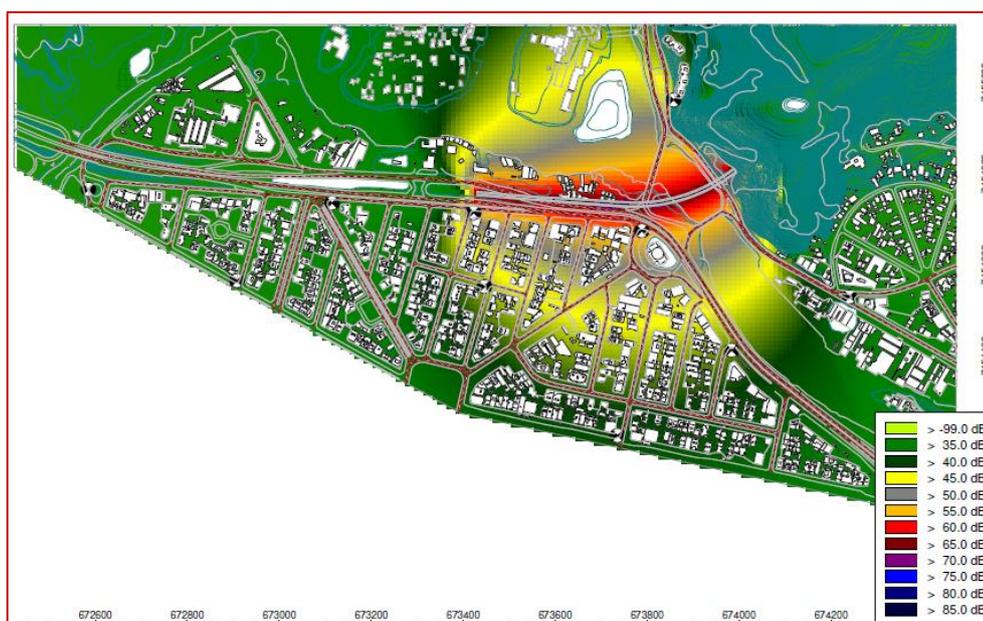
5.3.2 Cenário 2 - Influência isolada do metrô

Para avaliar a influência isolada do metrô na área, o cenário 2 foi simulado sem a influência do tráfego dos automóveis. Portanto, foram retirados todos os dados relativos a veículos rodoviários de todas as vias modeladas, verificando-se a geração de ruído proveniente da via metroviária adicionada ao modelo, como mostrado na Figura 51.

Observa-se que a área de interferência acústica do metrô no espaço urbano limita-se a uma área de aproximadamente 150 metros nas laterais ao longo da sua trajetória para o valor de 50 dB(A) e 400 metros em sua área completa. Os níveis mais elevados são a ordem de 60 a 65 dB(A), o que, nesta análise preliminar, já indica um excesso se observados os níveis estabelecidos pela NBR 10.151 para esse uso do solo.

Contudo, para a análise completa, os resultados isolados da linha férrea devem ser somados aos níveis provocados pelo tráfego rodoviário, mostrados no Cenário 1.

Figura 51 - Avaliação isolada da metrovia.



5.3.3 Cenário 3 - Área de estudo posterior à implantação metrô

No Cenário 3, as características da região são as mesmas definidas para o Cenário 1, apresentando somente como modificações mais substanciais a implantação da ponte estaiada para as vias do metrô, a estação do Jardim Oceânico e a estação terminal do BRT Transoeste de integração com a Linha 4, identificadas na Figura 52.

Portanto, para se criar o Cenário 3, foram adicionadas ao Cenário 1 as vias metroviárias no trecho em que estão a céu aberto, desde o emboque do túnel no morro Focinho do Cavalo até a rampa de transição onde ele adentra o subsolo no sentido estação Jardim Oceânico, com plataforma de embarque subterrânea.

Foram consideradas no modelo duas vias paralelas, uma com sentido emboque do túnel e a outra com sentido estação Jardim Oceânico.

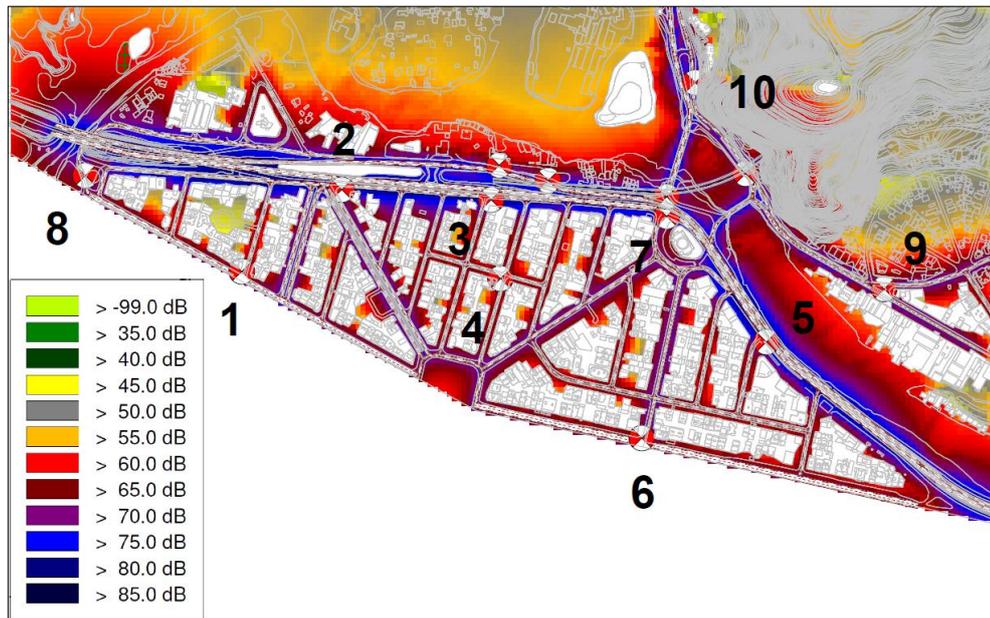
Figura 52 - Configuração urbana atual da região do Jardim Oceânico após a implantação da Linha 4.



Fonte: Google Earth: acesso em 18/11/2016

O mapa de ruído apresentado na Figura 53, proporciona uma visão global do ruído na região, através dos resultados de simulação para o Cenário 3. A Figura 53 não apresenta nenhuma diferença notável comparada aos valores da Figura 50, logo, a ferrovia não deteriora o perfil acústico da região com suas operações, creditando-se em primeiro momento aos automóveis a causa dos elevados valores de ruído.

Figura 53 - Mapa de ruído da região do jardim Oceânico, cenário após a implantação do metrô.



A comparação visual entre os mapas demonstra que a implantação do trecho de metrô não influenciou significativamente no ruído da região. Isto é, a operação de metrô não apresenta um aumento significativo no ruído já gerado pelos automóveis, mesmo com a implantação do trecho de metrô a céu aberto.

A comprovação pode ser feita ao somar os valores encontrados no Cenário 1, de 75 dB(A), e no Cenário 2, de 65 dB(A). O NP1 e NP2 representam os níveis encontrados para os cenários 1 e 2, respectivamente. A soma destes valores é calculada pela Eq. 2.

$$NP1 + NP2 = 10 \times \log \left(10^{\frac{75}{10}} + 10^{\frac{65}{10}} \right) = 75,4 \text{ dB(A)} \quad (2)$$

Logo, o incremento de 0,4 dB(A) adicionado pelo metrô não é representativo para os valores já emitidos pelo tráfego viário.

5.4 RESULTADOS – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE

A Tabela 10, apresenta a comparação dos valores medidos e os valores gerados na simulação dos cenários 1 e 3.

Tabela 10 – Comparação dos valores obtidos pela medição em campo e os valores obtidos pela simulação do modelo acústico para os cenários 1 e 3.

| PONTO DE MEDIÇÃO (Tabela 8) | Valor médio aferido no local (dBA) | Valor da simulação (dBA) Cenário 1 | Valor da simulação (dBA) Cenário 3 | Diferença Valor local - valor simulado (dBA) | Valor permitido pelo zoneamento (dBA) |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | 61 | 60 | 60 | 1 | 65 |
| 2 | 71 | 70 | 70 | 1 | 65 |
| 3 | 75 | 78 | 78 | -3 | 65 |
| 4 | 61 | 64 | 64 | -3 | 65 |
| 5 | 74 | 72 | 72 | 2 | 65 |
| 6 | 68 | 68 | 68 | 0 | 65 |
| 7 | 75 | 72 | 72 | 3 | 65 |
| 8 | 65 | 60 | 60 | 5 | 65 |
| 9 | 69 | 66 | 66 | 3 | 65 |
| 10 | 74 | 70 | 70 | 4 | 65 |

Pode-se notar na Tabela 10 que ao compararmos os Cenários 1 e 3, não há influência significativa da implantação do trecho de metrô no padrão de ruído para a região. Isto é, a operação de metrô não contribui de forma perceptível para a elevação do ruído. Isso deve-se, não a conformidade da linha férrea, mas sim ao ruído em excesso, produzido pelo maior meio de transporte circulante. Os valores em negrito demonstram uma diferença entre o valor medido e o valor simulado, com variação maior que 3 dBA, que é considerada alta.

Observa-se também que os limites determinados são sempre ultrapassados, com ou sem a metrovia. O mesmo ocorre se considerarmos os níveis "aceitáveis", conforme indica a NBR 10.151, que se encontram 10 dBA acima dos indicados. Os locais de menor nível de ruído são próximos aos pontos 1 e 8 (60 dBA), enquanto o pior caso ocorre no ponto 3, com 78 dBA.

Além disso, foram comparados os valores medidos e simulados com o valor de critério de avaliação previsto na NBR 10151 e a adequação quanto à caracterização do uso do solo definido pelo IPP. A maioria dos locais escolhidos para medição possuem valor limite definidos pela NBR 10151 de 55 dB(A), área caracterizada como mista, predominantemente residencial, sendo exceções somente os postos de medição 4 e 10.

Ainda que considerássemos a Lei 3.268, que estabelece limite de 65 dB(A) para uma zona ZE5, apenas os pontos 1 e 4 estariam adequados. Para os pontos receptores simulados, apenas 3 estariam adequados, sendo eles os pontos 1, 4 e 8.

O mapa de uso do solo da Figura 42 define a região como área residencial, porém foi constatado *in loco* o uso comercial nas edificações à beira da Avenida Armando Lombardi. Portanto, foi utilizado valor limite para área mista. Apenas os postos 4 e 10 apresentavam somente edificações residenciais e foram estabelecidos como área estritamente residencial urbana, de hospitais ou de escolas.

As diferenças entre os valores mensurado e simulado encontradas na Tabela 10 podem ser justificadas da seguinte forma:

- i. Para o Ponto 8, o local de medição estava próximo a uma elevatória de esgoto da CEDAE, onde bombas que estavam em operação não foram incluídas na simulação, o que elevou o ruído medido no local em relação à simulação;
- ii. No Ponto 9 existia uma construção de um edifício, onde ruídos de obra podem ter influenciado a tomada de dados;
- iii. No ponto onde foi feita a medição do Ponto 10, mesmo garantido a distância mínima do equipamento, existia um gradil do edifício composto de esquadria de alumínio e vidro, podendo ter interferido na medição;

Considerando as justificativas acima o modelo e seus resultados foram considerados válidos e representativos para as avaliações do perfil de ruído da região.

5.5 ALTERNATIVAS PARA REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO URBANO

Os investimentos públicos, por décadas, estiveram focados em infraestruturas que priorizaram o uso de veículos individuais motorizados, acabando por causar impactos ambientais, sociais negativos e não apresentavam soluções eficazes para o problema da mobilidade urbana nas cidades.

Para que se promova uma mobilidade urbana mais eficiente, é necessário que haja articulação do seu planejamento ao processo de uso e ocupação do solo urbano, com a adoção de medidas que atuem na promoção de um desenvolvimento territorial mais equilibrado nas cidades, articulado à oferta de transporte coletivo. Desta forma, é necessário reduzir-se a necessidade de deslocamentos bem como as distâncias de viagem, promovendo o acesso às oportunidades urbanas e estimulando-se a adesão aos modos de transporte público e ativos, deslocamentos a pé e de bicicleta (ITDP, 2016).

A partir do momento em que os conceitos do DOTS forem implantados, o desestímulo ao uso do transporte individual motorizado ocorrerá, diminuindo o número de veículos das vias e conseqüentemente os congestionamentos. Sendo estes os principais responsáveis pelos altos níveis de ruído urbano, que muitas vezes extrapolam os limites superiores permitidos por norma, uma vez retirando-se um número significativo de veículos motorizados das vias, poderá haver redução da poluição sonora.

Com a implantação da Linha 4 do Metrô na região da área de estudo, conforme previsão, espera-se que sejam retirados 2.000 veículos das vias no entorno da área de implantação, no horário de pico. Com isso deverá haver uma sensível redução dos níveis de ruído na região.

Acredita-se que, em curto prazo, haja uma redução da saturação do sistema viário, causada pela migração de usuários de automóveis para o sistema metroviário. Isto pode ser atrativo aos usuários de automóveis, uma vez que as condições de tráfego ficariam mais favoráveis. Portanto, a curto ou médio prazo, torna-se necessário verificar os efeitos desta redução inicial em relação ao tempo de viagem nas vias afetadas.

Destaca-se a necessidade contínua de monitoramento para controle do fluxo de veículos no sistema viário local, de modo que medidas e intervenções sejam implementadas de forma efetiva e problemas recorrentes não ocorram. Assim, os investimentos públicos podem ser melhor aproveitados, resultando em melhor qualidade de vida para a população.

No que diz respeito à redução dos níveis de ruído urbano, pode-se dizer que os responsáveis por extrapolar os limites permitidos em norma são os fluxos viários carregados nas cidades. Minimizando-se esse tráfego, reduz-se significativamente os níveis de ruído e todos os efeitos nocivos que causam ao ambiente urbano e à saúde da população.

Sendo os sistemas de transporte um dos principais causadores de ruído urbano, buscar soluções sustentáveis de mobilidade, garantir acessibilidade, segurança, qualidade, conforto e integração dos modos de transporte, todo o conjunto poderá promover uma melhor qualidade de vida para a população.

6 CONCLUSÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os países em desenvolvimento estão em crescimento acelerado e a demanda por serviços, em sua grande maioria, é suprida após a geração da demanda, principalmente em relação aos sistemas de transportes. É necessário que haja um planejamento adequado, buscando-se práticas onde as cidades sejam mais acessíveis ao transporte coletivo público, e menos direcionadas ao uso do modo individual.

A predominância do modo de transporte rodoviário e as facilidades promovidas ao longo de décadas ao uso do transporte individual favoreceram o aumento do número de veículos nas vias, aumentando assim o fluxo de automóveis e conseqüentemente os congestionamentos diários. Tal fato contribuiu para a degradação da qualidade de vida, aumentando os níveis de poluição atmosférica e sonora das cidades.

A implantação de sistemas de ferrovias urbanas e metrô são soluções de transportes que atuam para a melhoria da qualidade de vida, diminuindo a emissão de gases poluentes já que podem diminuir o número de viagens individuais motorizadas. Porém, em cidades com o tecido urbano consolidado, a implantação de um sistema sobre trilhos pode não ser uma tarefa trivial, podendo contribuir como solução em transportes, e trazer conseqüências de ordem ambiental.

De forma a atender a uma antiga demanda por transportes na região, o Governo do Estado do Rio de Janeiro implantou a Linha 4 do metrô. Sua configuração contempla um trecho de via a céu aberto que poderia ser mais uma fonte de emissão de ruídos à região do Jardim Oceânico, na Barra da Tijuca. Este trecho foi estudado através dos mapas de ruído gerados pelo modelo acústico construído.

Na modelagem realizada foram verificados que para todos os 10 pontos de observação analisados neste trabalho, todos estão com o perfil acústico não-conforme aos limites ditados na NBR 10151. Isto é, o ruído gerado pelos automóveis pode afetar a acústica local, gerando desconforto, problemas de compreensão à fala, e, em casos extremos, danos à saúde.

Conforme avaliação da simulação realizada, o trecho elevado da Linha 4 do metrô não alterou de forma perceptível a acústica ambiental na área de estudo. Além de não ter sido constatado aumento do NPS nos pontos receptores, os valores de pressão sonora existentes já

estavam acima dos limites da norma NBR 10151. Quanto aos limites da Lei 3.268, que define o valor pelo zoneamento da região, apenas três pontos receptores estavam abaixo do valor de 65 dB(A) permitido, durante o dia.

Com o aumento da transferência de usuários de transporte individual motorizado para o metrô e uma redução do fluxo viário, pode-se diminuir os níveis de ruído ambiental, porém este valor será pequeno.

Políticas desestimulantes ao uso do automóvel podem ser promovidas seguindo uma concepção integrada entre os modos de alta, média e baixa capacidade. A implantação de estratégias de acessibilidade garantindo o acesso ao transporte público se fazem necessárias para desestimular o uso do transporte individual motorizado, permitindo a migração para o transporte público. Além disso, uma forma de atrair pedestres seria a construção de calçadas adequadas e acessíveis.

Neste estudo, pode-se concluir que o metrô como modo de transporte de alta capacidade é adequado para a região, uma vez que contribui para a solução da demanda de transportes e não piora a acústica local.

No cenário atual ações para mitigação de poluição sonora devem ser avaliadas no contexto urbanístico da região, melhorando o conforto ambiental local.

Planos para a redução de ruído devem ser elaborados para atender aos limites determinados pela legislação. Combinações de intervenções urbanísticas e de ordenamento urbano, podem ser desenvolvidos, como polos de atração comercial local, descentralizando os polos de atração de trabalho hoje concentrados no centro do Rio. Isto pode contribuir para diminuir assim a alta demanda por deslocamentos, conseqüentemente, pela opção aos modos de transporte de alta capacidade, que geralmente são de alto custo de implantação.

Geralmente, a poluição sonora não é apropriadamente considerada nos planos de urbanização, de forma a mitigar os impactos negativos aliados a soluções urbanísticas que tem o objetivo de requalificar a região. Neste estudo, pode-se concluir que o metrô como modo de transporte de alta capacidade parece adequado para a região, uma vez que pode contribuir com a diminuição da procura por transporte individual e traz expectativas de melhorias para o tráfego, sem causar efeitos adversos, como a adição de ruído. Por outro lado, melhorar a demanda por transportes com ferrovias inseridas no ambiente urbano pode causar outros danos, como adição de ruído à região, e conseqüentemente, danos à saúde, comprometendo a qualidade de vida dos moradores. Desta forma, projetos sobre trilhos e qualquer projeto de relevância em

transportes, devem ser bem estudados e planejados para perfeita harmonia ao conjunto urbano e seu ambiente.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Decorrido um período de adaptação à expansão da Linha 4, sugere-se que novas medições de tráfego e de ruído na área de estudo sejam executadas para verificar se houve melhorias em relação ao ruído gerado. Essas medições devem vir acompanhadas de contagem de tráfego de veículos e modelagem acústica computacional, além de contemplar a operação da Linha 4 do metrô.

No campo do planejamento urbano, sugere-se estudos sobre a coordenação dos sistemas de transportes das metrópoles brasileiras atreladas ao adensamento urbano, incluindo suas particularidades e deficiências, além do incentivo às calçadas construídas adequadamente para estímulo de pedestres e integração aos modos de transporte público.

Sobre ruído permitido e sua legislação, sugere-se uma avaliação do zoneamento das cidades quanto a classificação das vias de tráfego urbanas, quanto ao tipo de uso do solo (edifícios comerciais podem ser uma barreira acústica para quarteirões residenciais), além de utilizar ferramentas SIG (Sistema de informação geográfica) junto aos mapas de ruído para mapear a densidade demográfica afetada por ruído ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **NBR 10152: Acústica – Medição e avaliação do ruído em ambientes internos. Rio de Janeiro, 1987.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. [S.l.]. 1987.
- ABNT. **NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. [S.l.]. 2000.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- BRAGA, A. D. C. **Morfologia, Transformação e Co-presença em centros urbanos: o caso do Centro do Rio de Janeiro/RJ.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.
- BRASIL. **CONAMA 001/90, de 8 de março de 1990.** [S.l.]. 1990.
- BRASIL. **CONAMA 002/11, de 11 de fevereiro de 1993.** [S.l.]. 1993.
- BRASIL. **CONAMA 272/00, de 14 de setembro de 2000.** [S.l.]. 2000.
- BRASIL. **Lei Nº 12.587, de 3 de Janeiro de 2012.** [S.l.]. 2012.
- CALIXTO, A. **O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias-grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 135. 2002.
- CARVALHO, C. H. R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros.** IPEA. [S.l.]. 2011.
- CERVERO, R. **Urban Development on Railway-Served Land: Lessons and Opportunities for the Developing World.** University of California. Berkeley. 2009.
- CERVERO, R. Linking urban transport and land use in developing countries. **The Journal of Transport and Land Use**, Berkeley, 6, n. 1, 2013. 7-24. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5198/jtlu.v1.425>>.
- COLVILE, R. N. E. A. UCL Discovery - The transport sector as a source of air pollution. **Atmospheric Environment**, 35, n. 9, 2001.
- COSTA, L. Plano Piloto para a urbanização da baixada compreendida entre Barra da Tijuca, o Pontal de Sernambetiba e Jacarepaguá. **Arquitextos**, São Paulo, n. 116, Janeiro 2010.
- FERNANDES, W. C. **Análise do ruído urbano na área central de Luanda.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 67. 2013.
- FGV. **Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro - Relatório Final - Estudo de demanda.** Fundação Getúlio Vargas - FGV Projetos. Rio de Janeiro, p. 355. 2011.
- FIELDS, J. M.; WALKER, J. G. The response to railway noise in residential areas in Great Britain. **Journal of Sound and Vibration**, Southampton, v. 85, p. 177-255, Fevereiro 1982.
- FRANÇA, C. R.; REZENDE, V. F. **O desaparecimento do Mercado Municipal Praça XV, fator na formação do espaço público da Cidade do Rio de Janeiro.** I Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2010. p. 24.

- GERJ, AGRAR. **Estudo de impacto ambiental - Interligação da Linha 4 (Barra da Tijuca) com a Linha 1 (estação General Osório - expansão), com o sistema metroviário da cidade do Rio de Janeiro/RJ.** Governo do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 1086. 2011.
- GERSHON, R. R. M. et al. Pilot Survey of Subway and Bus Stop Noise Levels. **Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine**, Nova Iorque, v. 83, p. 802-812, 2006.
- GIUNTA, M. B. **Análise de modelagem de previsão acústica e mapeamento sonoro para a cidade de São Carlos - SP.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 155. 2013.
- GONÇALVES, P. E. B.; REQUENA, W. A. P. **Um século de transformações na habitação social do Brasil:** Documentação e análise do conjunto residencial Marquês de São Vicente – RJ. Congresso de Arquitetura, Turismo e Sustentabilidade. [S.l.]: [s.n.]. 2012. p. 19.
- GRIEFAHN, B.; MARKS, A.; ROBENS, S. Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep. **Journal of Sound and Vibration**, Dortmund, v. 295, p. 129-140, March 2006.
- HWANG, H.-Y.; CHEN, J.-S. Noise and vibration on the bogie of a mass rapid train. **Journal of Mechanical Science and Technology**, Taipei, v. 25, p. 2519-2528, Junho 2011.
- ITDP. TOD Standard. **Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento**, 2014. Disponível em: <<http://itdpbrasil.org.br/>>.
- JESUS, A. D. S. D.; MAROJA, A. D. M. **Alterações no clima acústico provocadas pela implantação da linha verde no Distrito Federal.** XXVII ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Belém: [s.n.]. 2013.
- KNALL, V. Railway Noise And Vibration: Effects And Criteria. **Journal of Sound and Vibration**, Munique, 193, 1996. 9-20.
- KRZYŻANOWSKI, M.; KUNA-DIBBERT, B.; SCHNEIDER, J. Health effects of transport-related air pollution. **WHO Regional Office Europe**, 2005.
- LESSA, B. P. D. V. **Avaliação de poluição sonora em assentamento informal - estudo de caso comunidade Santa Marta-RJ.** Dissertação de mestrado, COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro, p. 74. 2012.
- MARDONES, M. D. M. **Mapeamento dos níveis de ruído em Copacabana, Rio de Janeiro, através de simulação computacional.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 69. 2009.
- MARTINS, S. B. M. **Além das muretas do Elevado Paulo de Frontin.** Dissertação de mestrado, PUC RJ. Rio de Janeiro, p. 183. 2015.
- NASRI, A.; ZHANG, L. The analysis of transit-oriented development (TOD) in Washington, D.C. and Baltimore metropolitan areas. **Transport Policy**, 32, 2014. 172-179.
- NIEMEYER, M. L. A. **Conforto acústico em ruas do bairro de São Cristóvão, Rio de Janeiro/Brasil.** Actas do 4º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Faro, Portugal: [s.n.]. 2010. p. 12.
- NIEMEYER, M. L. A. D. **Conforto acústico e térmico, em situação de verão, em ambiente urbano: uma proposta metodológica.** Tese de doutorado, COPPE Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 194. 2007.
- NIEMEYER, M. L.; CORTÊS, M. **Avaliação do incômodo sonoro da linha vermelha no bairro de São Cristóvão, Rio de Janeiro.** XXIV Encontro Sociedade Brasileira de Acústica. Belém: [s.n.]. 29 maio 2012. p. 8.

OMS. **Guidelines for community noise**. World Health Organization, Berglund, Birgitta; Lindvall, Thomas; Schwela, Dietrich H. Genebra, p. 150. 1999.

ONU. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights**. Organização das Nações Unidas. [S.l.]. 2014.

PDTU. **Relatório 13 - Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro**. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 283. 2005.

PDTU. **Relatório 2 - Análise de Estudos e Planos Existentes**. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 78. 2005.

PINTO, F. A. D. N. C.; MARDONES, M. D. M. Noise mapping of densely populated neighborhoods - example of Copacabana. **Kluwer Academic Publishers**, 2007.

PINTO, F. A. N. C. **Urban Noise Pollution Assessment Techniques, Methods and Techniques**. [S.l.]: InTech, 2010. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/methods-and-techniques-in-urbanengineering/>>.

REMYINGTON, P. J. Wheel/Rail noise - Part I: Characterization of the Wheel/Rail Dynamic System. **Journal of Sound and Vibration**, Cambridge, v. 46, p. 359-379, Janeiro 1976.

REMYINGTON, P. J. Wheel/rail squeal and impact noise: what do we know? What don't we know? Where do we go from here? **Journal of Sound and Vibration**, Cambridge, v. 116, p. 339-353, Setembro 1986.

RIO DE JANEIRO. **Decreto nº 5.412 de 24 de outubro de 1986**. [S.l.]. 1986.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 3.268, de 29 de agosto de 2001**. [S.l.]. 2001.

RODRIGUES, F. **Análise de Ruído em Terminais de Transporte Coletivo Urbano: Desenvolvimento de Modelos de Previsão**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 136. 2006.

RODRIGUES, F. **Metodologia para investigação de relação entre ruído de tráfego e condições operacionais do fluxo em centros urbanos**. Tese de doutorado, COPPE Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 265. 2010.

SANTOS, U. D. P. **Ruído - Riscos e Prevenção**. 2ª. ed. São Paulo: Hucitec, 1996.

SÃO PAULO. **Lei nº 16.499, de 20 de julho de 2016**. [S.l.]. 2016.

SAREMI, M. et al. Effects of nocturnal railway noise on sleep fragmentation in young and middle-aged subjects as a function of type of train and sound level. **International Journal of Psychophysiology**, Strasbourg, v. 70, p. 184-191, August 2008.

SELIGMAN, J. Efeitos não auditivos e aspectos psicossociais no indivíduo submetido a ruído intenso. **Revista brasileira de otorrinolaringologia**, São Paulo, v. 59, n. 4, p. 257 a 259, Dezembro 1993.

SILVA, L. A. G. D. Barra da Tijuca: o concebido e o realizado. **Revista geopaisagem**, Rio de Janeiro, n. 6, Julho 2004.

SOUZA, M. V. J. D. **Análise espacial Multicritério para Classificar o Pontencial de Sucesso do DOTS ao Longo de Corredores de Transporte: Cenários Possíveis para o BRT TransCarioca no Rio de Janeiro**. Dissertação de mestrado, PEU/POLI/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 89. 2016.

STRAMANDINOLI, C. M. C. **Avaliação da qualidade ambiental em espaços urbanos de clima tropical úmido: uma proposta metodológica para espaços residuais**. Tese de doutorado, PROARQ / UFRJ. Rio de Janeiro, p. 281. 2008.

SZWARC, M. et al. Problems of Railway Noise—A Case Study. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)**, Gdańsk, v. 17, n. 3, p. 309–325, 2011.

TASSI, P. et al. Living alongside railway tracks: Long-term effects of nocturnal noise on sleep and cardiovascular reactivity as a function of age. **Environment International**, Strasbourg, v. 36, p. 683–689, Junho 2010.braga

THE LANCET. Railway Noise and Vibration and their effect upon health. **The physiology of the adrenals**, jul. 1897.

TRANSIT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM. **Transit-Oriented Development and Joint Development in the United States: A Literature Review**. Transportation Research Board of the National Academies. [S.l.], p. 144. 2002.