



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA**

DÉBORA MIRANDA BARRETTO

**IMPACTO SONORO DA IMPLANTAÇÃO DO METRÔ DE
SALVADOR EM EDIFICAÇÕES ADJACENTES
CONSIDERANDO OS EFEITOS NA POPULAÇÃO**

Salvador
2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

DÉBORA MIRANDA BARRETTO

**IMPACTO SONORO DA IMPLANTAÇÃO DO METRÔ DE
SALVADOR EM EDIFICAÇÕES ADJACENTES
CONSIDERANDO OS EFEITOS NA POPULAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana (MEAU) da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (EPUFBA), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Orientadora: Prof^a Dr^a Ilce Marília Dantas Pinto de Freitas

Salvador
2007

Biblioteca Reitor Macêdo Costa - UFBA

B237 Barretto, Débora Miranda.

Impacto sonoro da implantação do metrô de Salvador em edificações adjacentes considerando os efeitos na população / Débora Miranda Barretto. - 2008.
221 f. : il.

Inclui anexos e apêndice.

Orientadora : Prof^ª. Dr^ª. Ilce Marília Dantas Pinto de Freitas.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2008.

1. Poluição sonora. 2. Ruído - Efeito fisiológico. 3. Transportes - Ruído. 4. Acústica arquitetônica. I. Freitas, Ilce Marília Dantas Pinto. II. Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. III. Título.

CDD - 534
CDU- 504.055

TERMO DE APROVAÇÃO

DÉBORA MIRANDA BARRETTO

IMPACTO SONORO DA IMPLANTAÇÃO DO METRÔ DE SALVADOR
EM EDIFICAÇÕES ADJACENTES CONSIDERANDO OS EFEITOS NA
POPULAÇÃO

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Ilce Marília Dantas Pinto de Freitas _____
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Prof. PhD. Luis Roberto Santos Moraes _____
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Prof^a. Dr^a. Yaeko Yamashita _____
Universidade de Brasília - UnB

Prof^a. Msc. Maria das Graças Oliveira Coelho de Souza _____
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Salvador, 05 de outubro de 2007

A

José Fernando, pai querido, por sempre ter incentivado meu desenvolvimento intelectual.

Waldelice, mãe dedicada, pelo constante apoio emocional e espiritual.

Marco, marido amado, pela compreensão, confiança e ajuda incondicional.

AGRADECIMENTOS

São tantos e tão especiais...

Primeiramente a Deus, por ter me dado determinação e paciência permitindo a conclusão de mais essa etapa de minha vida.

A minha orientadora Prof^a Ilce Marília, por toda orientação, acolhimento, confiança e motivação durante todas as fases da pesquisa.

Aos Colegas da Audium, em especial Neto e Marcelo, pela colaboração técnica, compreensão e estímulo.

A equipe técnica da CTS pelas entrevistas dadas e pelo fornecimento de informações referente ao tema, que permitiram o desenvolvimento da pesquisa.

A Fernando Yamaguchi, pelo esclarecimento de dúvidas e tempo dedicado na orientação da utilização do SIG.

Ao Prof^o Artur Brandão do MEAU pelas sugestões e correções referentes, principalmente, às representações de mapas e na aplicação do geoprocessamento quando da avaliação do meu trabalho.

Ao Prof^o Wellington Figueiredo do MEAU, por disponibilizar material específico que proporcionou importante contribuição científica ao trabalho.

Ao colega de mestrado e grande amigo Abel, pela atenção, disponibilidade e apoio junto ao LabGeo.

A Fapesb, por acreditar no tema e viabilizar a pesquisa por meio de apoio financeiro.

Aos membros da Comissão examinadora, pelas ricas contribuições, sugestões e correções.

Aos colegas de curso, pelo companheirismo e bons momentos compartilhados.

Aos professores do MEAU com quem tive o prazer de conviver durante as disciplinas cursadas que são responsáveis por parte de minha formação atual.

A todos aqueles que de alguma forma possibilitaram essa experiência enriquecedora e gratificante, sendo de extrema importância para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Não importa se teremos tempo suficiente para ver mudadas as coisas e pessoas pelas quais lutamos, mas sim, que façamos a nossa parte, de modo que tudo se transforme a seu tempo.

(anônimo)

RESUMO

Esta dissertação objetiva desenvolver e divulgar conhecimento acerca do impacto sonoro e seus efeitos na saúde da população e se propõe a fazer uma análise do planejamento do metrô de Salvador com relação à possibilidade do aumento do nível de ruído causado pelo percurso elevado. Esse modo de transporte se caracteriza como uma fonte sonora móvel, que se desloca pela cidade e pode proporcionar reflexos negativos na população. No Brasil, raros são os trabalhos que tratam sobre os impactos negativos de sistemas metroviários, existindo uma demanda representativa de estudos capazes de desenvolver uma metodologia sistemática sobre esse tema. Atualmente o nível de ruído atual já supera os níveis saudáveis, por esse motivo qualquer acréscimo já pode ser considerado impacto. Na obtenção dos resultados, modelos de previsão de ruído a partir da propagação sonora serviram de base para as análises. Decidiu-se calcular a dispersão sonora por meio do modelo de propagação *Harmonoise*, por possuir um alto grau de validação e precisão. A partir de medições acústicas feitas previamente em pontos específicos, calculou-se o aumento do nível sonoro que ocorrerá após a implantação do metrô e o ruído final total considerando o ruído urbano existente. Como o veículo ainda não está circulando, o ruído propagado foi calculado em diferentes cenários. Nas análises, a ferramenta de GIS “Spring” proporcionou a produção de mapas de ruído que permitiram a visualização gráfica do deslocamento acústico do ruído proveniente desse modo de transporte e permitiu uma correlação com os prováveis reflexos na saúde de cada trecho de acordo com a proximidade da linha do metrô. Foram estudados tanto os efeitos nos ambientes internos de acordo com a tipologia de cada ambiente, quanto em ambientes externos, fazendo sempre um paralelo com os diversos limites estabelecidos nas Normas vigentes. Constatou-se que a implantação do metrô causará um impacto sonoro na população que habita ou trabalha nas edificações lindeiras, pois houve acréscimo do nível de ruído existente. Essa amplificação provoca efeitos negativos na saúde do cidadão, tendo relação direta com a localização e com a função de cada edificação. Portanto medidas atenuantes devem ser adotadas enquanto o metrô ainda não está implantado e a pesquisa orienta no sentido de alcançar uma otimização dos investimentos em elementos mitigadores. Esse estudo representa uma preocupação com a qualidade de vida daqueles que trabalham ou habitam nas zonas próximas da linha do metrô e busca prevenir futuros problemas.

Palavras-chave: Ruído urbano; Ruído metroviário; Acústica ambiental; Impacto sonoro; Modelos de propagação sonora.

ABSTRACT

This dissertation aims to develop and spread knowledge about the noise impact and its effects in the health of the population and is proposed to do an analysis of Salvador's Subway Projection regarding the possibility of noise level increase caused by the elevated distance. This transport way is characterized like a resonant movable source, which moves through the city and can provide negative reflexes in the population. In Brazil, rare are the works that focus on the negative impacts of subway systems, where there is a representative demand of studies able to develop a systematic methodology on this subject. Nowadays the current noise level already surpasses the healthy levels, for this reason, any addition can already be considered an impact. In getting the results, noise prediction models from the resonant propagation served as base of the analyses. Several theories of resonant dispersal were studied for noises of this nature (transport on rails) and it was decided to make calculations through the Harmonoise, because of its high degree of validation and precision. From acoustic measurements done previously in specific points, it was calculated the increase of the resonant level that will take place after the introduction of the subway and the final total noise considering the urbane existent noise. Since the vehicle is still not circulating, it was calculated in several sceneries. In the analyses the SIG "Spring" tool was basic, because the developed noise maps allowed that the acoustic dislocation of the noise originated from this mean of transportation and it allowed a correlation with the probable reflexes in the health of each passage according to the proximity of the subway line. It was studied not only the internal environment effects according to the typology of each environment, but also the external ones, always making a parallel to the several limits established in the official standards. It was noticed that the subway implantation will cause a resonant impact in the population that lives or works in the bordering constructions, since it was noted an increase of existent noise level. This enlargement provokes a negative reflex in the citizen health, having straight relation with the location and the function of each building. So mitigated measures must be adopted while the subway is not implemented and the inquiry orientates in the sense of reaching investment optimization in mitigative elements. This study represents a preoccupation with life quality of those who work or live in the near zones and looks for prevention of future problems.

Keywords: Urban noise; Railway noise; Environment acoustics; Sound impact; Sound spread models.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 01 – | Denúncias de Poluição Sonora em Salvador no ano de 2004 | 27 |
| Figura 02 – | Exemplos de medidores de níveis de pressão sonora | 36 |
| Figura 03 – | Barreira acústica instalada na Rodovia dos Bandeirantes em São Paulo | 37 |
| Figura 04 – | Representação do sistema auditivo humano | 38 |
| Figura 05 – | Representação da onda sonora em diferentes frequências | 39 |
| Figura 06 – | Identificação do comprimento de onda | 39 |
| Figura 07 – | Reflexão do solo | 43 |
| Figura 08 – | Difração para frequências diferentes | 45 |
| Figura 09 – | Esquema para cálculo de barreira acústica | 45 |
| Figura 10 – | Esquema de barreira acústica em perfil | 46 |
| Figura 11 – | Influência de barreira na difração de ondas sonoras de diferentes frequências | 46 |
| Figura 12 – | Fatiamento referente a distância em campo livre (Spring) | 48 |
| Figura 13 – | Fatiamento referente a distância aproximada em campo livre (Spring) | 48 |
| Figura 14 – | Efeitos no homem | 57 |
| Figura 15 – | Respostas a pergunta: “Quais são os ruídos que incomodam?” | 66 |
| Figura 16 – | NPS interno por velocidade de operação em trechos de superfície | 68 |
| Figura 17 – | NPS equivalente de acordo com a velocidade e a posição do carro | 69 |
| Figura 18 – | NPS na estação 114 Sul do metrô de Brasília | 70 |
| Figura 19 – | Exemplos de atenuação acústica em um ambiente urbano | 77 |
| Figura 20 – | Barreira acústica metálica 1 | 77 |
| Figura 21 – | Barreira acústica metálica 2 | 77 |
| Figura 22 – | Barreira acústica metálica 3 | 78 |
| Figura 23 – | Barreira acústica disposta em paralelo | 78 |
| Figura 24 – | Barreira acústica de acrílico transparente | 78 |
| Figura 25 – | Barreira acústica construída com berma de terra | 78 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 26 – | Barreira acústica de elemento pré-fabricado de concreto leve com aplicação ondulada | 78 |
| Figura 27 – | Barreira acústica de elemento pré-fabricado de concreto leve com aplicação linear | 78 |
| Figura 28 – | Barreiras acústicas de rodovias com interessante resultado estético | 79 |
| Figura 29 – | Barreiras acústicas de parques | 80 |
| Figura 30 – | Influência da barreira de acordo com a localização do receptor | 83 |
| Figura 31 – | Barreira instalada em um trecho específico | 83 |
| Figura 32 – | Barreira contínua | 83 |
| Figura 33 – | Testes de isolamento da barreira | 84 |
| Figura 34 – | Barreira para metrô elevado | 84 |
| Figura 35 – | Exemplos de barreiras acústicas de ferrovias com interessante resultado estético | 85 |
| Figura 36 – | Metrô em superfície | 86 |
| Figura 37 – | Metrô elevado | 87 |
| Figura 38 – | Mapa de ruído de uma área escolar próxima a uma rodovia antes (a) e depois (b) de ações para reduzir o ruído (quanto mais escura for a cor maior o NPS) | 92 |
| Figura 39 – | Planta do local mostrando os pontos de medição sonora para dados das fontes (a) e para validação (b) | 94 |
| Figura 40 – | Modelo 3D de um lugar para mapa de ruído, mostrado em linhas (acima) e renderizado (abaixo) | 94 |
| Figura 41 – | Mapa de ruído com reflexões da ordem de 1 (acima) e 3 (abaixo) | 95 |
| Figura 42 – | Distinção das etapas de modelagem | 103 |
| Figura 43 – | Casco convexo S-P ₂ -P ₅ -P ₆ -R | 106 |
| Figura 44 – | Definição da elipsóide Fresnel e da <i>Fresnel-zone</i> | 107 |
| Figura 45 – | <i>Fresnel-zone</i> em uma dimensão (P ₁ -P ₂) no modelo de propagação em duas dimensões | 107 |
| Figura 46 – | Comprimento da trajetória da zona de dispersão “R _{sc} ” | 108 |
| Figura 47 – | Mapa-múndi com a localização de Salvador | 109 |
| Figura 48 – | Imagem de Salvador com localização da Av. Bonocô | 109 |
| Figura 49 – | Imagem da Av. Bonocô | 109 |
| Figura 50 – | Mapa da Av. Bonocô com indicação de bairros adjacentes | 110 |
| Figura 51 – | Mapa digital da Av. Bonocô com indicação de logradouros | 111 |
| Figura 52 – | Foto aérea do entorno da Av. Bonocô tirada em 1998, escala original 1/8000 | 112 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 53 – | Foto aérea do entorno da Av. Bonocô | 113 |
| Figura 54 – | Aspectos da obra do trecho elevado 1 | 125 |
| Figura 55 – | Aspectos da obra do antigo trecho de superfície em 2004 (agora será todo elevado) | 125 |
| Figura 56 – | Proximidade com edificações 1 | 125 |
| Figura 57 – | Proximidade com edificações 2 | 125 |
| Figura 58 – | Aspectos da obra do trecho elevado 2 | 125 |
| Figura 59 – | Proteção de segurança lateral | 125 |
| Figura 60 – | Aspectos da obra do trecho elevado 3 | 126 |
| Figura 61 – | Vista a partir do nível do viaduto | 126 |
| Figura 62 – | Proximidade com edificações de cotas similares 1 | 126 |
| Figura 63 – | Proximidade com edificações de cotas similares 2 | 126 |
| Figura 64 – | Proximidade com edificações comerciais e residenciais 1 | 126 |
| Figura 65 – | Proximidade com edificações residenciais | 126 |
| Figura 66 – | Proximidade com edificação institucional Sucom, o metrô passará em frente | 127 |
| Figura 67 – | Proximidade com instituição de ensino, o metrô passará em frente | 127 |
| Figura 68 – | Mapa esquemático das etapas das linhas do metrô | 127 |
| Figura 69 – | Tipologias do metrô de Salvador | 128 |
| Figura 70 – | Mapa ilustrativo cm o traçado da primeira etapa do metrô de Salvador | 129 |
| Figura 71 – | Áreas de influência direta do corredor metroviário | 131 |
| Figura 72 – | Densidade populacional | 132 |
| Figura 73 – | Vista interna das passarelas pré-moldadas de concreto | 133 |
| Figura 74 – | Vista externa das passarelas pré-moldadas de concreto | 133 |
| Figura 75 – | Via permanente Salvador | 135 |
| Figura 76 – | Via permanente Brasília | 135 |
| Figura 77 – | Densidade populacional próxima a Estação Bonocô | 139 |
| Figura 78 – | Uso do solo | 140 |
| Figura 79 – | Tipos de edificação | 141 |
| Figura 80 – | Número de pavimentos por edificação | 142 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Figura 81 – | Padrão construção / conservação | 143 |
| Figura 82 – | Áreas vazias (entorno imediato) | 144 |
| Figura 83 – | Áreas vazias (influência direta) | 145 |
| Figura 84 – | Mapa digital da Av. Bonocô com localização dos pontos simulados | 147 |
| Figura 85 – | Foto aérea da Av. Bonocô com localização dos pontos simulados | 148 |
| Figura 86 – | Pontos B e B2 | 148 |
| Figura 87 – | Ponto C | 148 |
| Figura 88 – | Ponto D | 149 |
| Figura 89 – | Ponto D2 | 149 |
| Figura 90 – | Foto aérea da Av. Bonocô com detalhamento do ponto crítico (PC) | 150 |
| Figura 91 – | Vista do ponto crítico (PC) | 150 |
| Figura 92 – | Vista do ponto crítico (PC) a partir da passarela | 150 |
| Figura 93 – | Vista frontal do ponto crítico (PC) | 150 |
| Figura 94 – | Vista frontal aproximada no ponto crítico (PC) | 150 |
| Figura 95 – | Mapa de declividade com edificações (Spring) | 165 |
| Figura 96 – | Mapa de altimetria com edificações (Spring) | 166 |
| Figura 97 – | Sombras acústicas produzidas pelo metrô elevado e de superfície | 167 |
| Figura 98 – | Imagem “Modelo numérico do terreno” (MNT) com visualização 3D (Spring) | 168 |
| Figura 99 – | Perspectiva 3D tipo Paralela (Spring) | 169 |
| Figura 100 – | Perspectiva 3D tipo Par-estéreo (Spring) | 169 |
| Figura 101 – | Imagem da altimetria (Spring) | 170 |
| Figura 102 – | Imagem da altimetria com indicação de áreas protegidas (Spring) | 171 |
| Figura 103 – | Mapa digital e ampliação do trecho estudado com indicação dos pontos simulados (Spring) | 172 |
| Figura 104 – | Banco de dados desenvolvidos no SIG (Spring) | 178 |
| Figura 105 – | Gráfico de setores produzidos pelo SIG e banco de dados de referência (Spring) | 179 |
| Figura 106 – | Gráficos de dispersão produzidos pelo SIG (Spring) | 181 |
| Figura 107 – | Gráfico de histograma produzido pelo SIG (Spring) | 183 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Figura 108 – | Grade referente a propagação sonora de 97dB(A) (Spring) | 185 |
| Figura 109 – | Grade referente a propagação sonora de 107dB(A) (Spring) | 185 |
| Figura 110 – | Grade referente a propagação sonora de 102dB(A) (Spring) | 186 |
| Figura 111 – | Grade referente a propagação sonora de 93dB(A) (Spring) | 186 |
| Figura 112 – | Grade ampla “fictícia” referente a propagação sonora de 104dB(A) (Spring) | 187 |
| Figura 113 – | Grade referente a propagação sonora de 104dB(A) (Spring) | 188 |
| Figura 114 – | Mapas de ruído com NWS 97dB(A) (Spring) | 190 |
| Figura 115 – | Mapas de ruído com NWS 107dB(A) (Spring) | 191 |
| Figura 116 – | Mapas de ruído com NWS 102dB(A) (Spring) | 192 |
| Figura 117 – | Mapas de ruído com NWS 93dB(A) (Spring) | 193 |
| Figura 118 – | Mapas de ruído com NWS 104dB(A) (Spring) | 194 |
| Figura 119 – | Comparativo entre dois cenários NWS 93dB(A) e 107dB(A) (Spring) | 196 |
| Figura 120 – | Visualização da sombra acústica provocada pela inserção de uma barreira de 2,00m | 204 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabela 01 – | Exemplos de ruídos | 34 |
| Tabela 02 – | Resultados de medições sonoras feitas em São Paulo | 35 |
| Tabela 03 – | Velocidade do som no ar | 40 |
| Tabela 04 – | Coeficiente de atenuação do ar, χ , em dB/km, para uma pressão ambiental de 101,3kPa para a propagação do som ao ar livre | 41 |
| Tabela 05 – | Impactos do ruído | 51 |
| Tabela 06 – | Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente | 54 |
| Tabela 07 – | Valores recomendados para conforto acústico de ambientes internos | 55 |
| Tabela 08 – | Efeitos negativos da poluição sonora | 56 |
| Tabela 09 – | Resposta estimada da comunidade ao ruído | 63 |
| Tabela 10 – | Principais resultados de NPS na Estação 114 Sul | 71 |
| Tabela 11 – | Comparações entre os resultados calculados e medidos | 95 |
| Tabela 12 – | Níveis de referência 1 | 100 |
| Tabela 13 – | Níveis de referência 2 | 100 |
| Tabela 14 – | Valores de k 1 | 100 |
| Tabela 15 – | Valores de k 2 | 101 |
| Tabela 16 – | Valores de k_d | 101 |
| Tabela 17 – | Exemplos de coeficiente de energia refletida | 107 |
| Tabela 18 – | População X Densidade bruta média | 114 |
| Tabela 19 – | Resultados das medições acústicas em trechos da Av. Bonocô | 115 |
| Tabela 20 – | Resultados das medições de ruído do ponto 10 | 116 |
| Tabela 21 – | Valores medidos nas margens da via | 117 |
| Tabela 22 – | Níveis de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos | 118 |
| Tabela 23 – | Valores medidos no interior dos estabelecimentos | 119 |
| Tabela 24 – | Níveis sonoros registrados em via arterial | 121 |
| Tabela 25 – | Impactos ambientais do metrô de Salvador | 122 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabela 26 – | NWS calculados para cada cenário | 156 |
| Tabela 27 – | L_{eq} propagado de acordo com o <i>Harmonoise</i> e acréscimo ao nível de ruído atual para NWS 97dB(A) | 158 |
| Tabela 28 – | L_{eq} propagado de acordo com o <i>Harmonoise</i> e acréscimo ao nível de ruído atual para NWS 107dB(A) | 158 |
| Tabela 29 – | L_{eq} propagado de acordo com o <i>Harmonoise</i> e acréscimo ao nível de ruído atual para NWS 102dB(A) | 159 |
| Tabela 30 – | L_{eq} propagado de acordo com o <i>Harmonoise</i> e acréscimo ao nível de ruído atual para NWS 93dB(A) | 160 |
| Tabela 31 – | L_{eq} propagado de acordo com o <i>Harmonoise</i> e acréscimo ao nível de ruído atual para NWS 104dB(A) | 160 |
| Tabela 32 – | NPS ideal do metrô para que não haja acréscimo | 161 |
| Tabela 33 – | Acréscimo de NPS em PC para cada cenário | 162 |
| Tabela 34 – | L_{eq} propagado de acordo com o Método Francês e acréscimo ao nível de ruído atual para NWS 93dB(A) | 163 |
| Tabela 35 – | Comparativo referente aos pontos internos – NBR 10.152 | 173 |
| Tabela 36 – | Comparativo referente aos pontos internos – Lei municipal nº5.354 | 173 |
| Tabela 37 – | Diferença entre L_{eq} final e parâmetros de nível sonoro aceitável máximo para ambientes internos pela NBR 10.152 | 174 |
| Tabela 38 – | Diferença entre L_{eq} final e parâmetros de nível sonoro diurno aceitável máximo para ambientes internos pela Lei nº 5.354 | 175 |
| Tabela 39 – | Comparativo referente aos pontos externos – NBR 10.151 | 175 |
| Tabela 40 – | Comparativo referente aos pontos externos – Lei municipal nº5.354 | 175 |
| Tabela 41 – | Diferença entre L_{eq} final e parâmetros de nível sonoro diurno recomendado para ambientes externos pela NBR 10.151 | 176 |
| Tabela 42 – | Diferença entre L_{eq} final e parâmetros de nível sonoro diurno recomendado para ambientes externos pela Lei nº 5.354 | 176 |
| Tabela 43 – | Classificação do banco de dados | 177 |
| Tabela 44 – | Correlação entre cores das faixas em dB(A) e prováveis efeitos na saúde da população que mora ou trabalha próximo a linha do metrô | 197 |
| Tabela 45 – | Comparativo referente aos pontos internos | 198 |
| Tabela 46 – | Comparativo referente aos pontos externos | 199 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| 1. INTRODUÇÃO | 19 |
| 2. OBJETIVOS | 25 |
| 2.1. HIPÓTESE | 25 |
| 2.2. OBJETIVO GERAL | 25 |
| 2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 25 |
| 3. JUSTIFICATIVA | 26 |
| 4. REVISÃO DE LITERATURA | 31 |
| 4.1. CONCEITOS RELACIONADOS À POLUIÇÃO SONORA | 31 |
| 4.2. ASPECTOS FÍSICOS DA ACÚSTICA AMBIENTAL | 37 |
| 4.3. SAÚDE, PERCEPÇÃO E ADAPTAÇÃO | 50 |
| 4.4. IMPACTO DOS TRANSPORTES | 63 |
| 4.4.1. Generalidades sobre ruído urbano provocado pelos transportes | 64 |
| 4.4.2. Ruído ferroviário | 67 |
| 4.5. TRANSPORTE SUSTENTÁVEL | 74 |
| 4.5.1. Definições e sugestões | 74 |
| 4.5.2. Transporte sustentável relacionado ao transporte ferroviário | 81 |
| 4.6. GIS COMO FERRAMENTA DE TRABALHO PARA CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE RUÍDOS | 89 |
| 4.7. MODELOS DE PREVISÃO DE RUÍDO AMBIENTAL | 96 |
| 4.8. CARACTERIZAÇÃO DA VIA | 108 |
| 4.9. CARACTERÍSTICAS DO METRÔ DE SALVADOR | 127 |
| 4.9.1. Informações gerais | 128 |
| 4.9.2. Estação Bonocô | 136 |
| 5. METODOLOGIA | 146 |
| 5.1. ETAPA 1 – SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO SONORA | 146 |
| 5.1.1. Cenário 1 - Considerando que o metrô irá gerar o ruído permitido pela ABNT (Cenário mais pessimista) | 151 |
| 5.1.2. Cenário 2 - Considerando que o metrô irá gerar o ruído de referência indicado pelo método Francês de estimativa de ruído (Cenário mais otimista) | 152 |
| 5.1.3. Cenário 3 - Considerando que o metrô gere um ruído similar ao metrô de | |

| | |
|--|-----|
| Brasília (Cenário mais provável) | 152 |
| 5.1.4. Cenário 4 - Considerando um nível de ruído estimado objetivando não proporcionar um acréscimo a situação atual | 152 |
| 5.2. ETAPA 2 – CORRELAÇÃO DO NPS COM A TIPOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES | 153 |
| 5.3. ETAPA 3 – ANÁLISE DOS EFEITOS NA SAÚDE | 154 |
| 6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 156 |
| 6.1. ETAPA 1 – SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO SONORA | 156 |
| 6.1.1. Cenário 1 - Considerando que o metrô irá gerar o ruído permitido pela ABNT (Cenário mais pessimista) | 157 |
| 6.1.2. Cenário 2 - Considerando que o metrô irá gerar o ruído de referência indicado pelo método Francês de estimativa de ruído (Cenário mais otimista) | 159 |
| 6.1.3. Cenário 3 - Considerando que o metrô gere um ruído similar ao metrô de Brasília (Cenário mais provável) | 160 |
| 6.1.4. Cenário 4 - Considerando um nível de ruído estimado objetivando não proporcionar um acréscimo a situação atual | 161 |
| 6.2. ETAPA 2 – CORRELAÇÃO DO NPS COM A TIPOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES | 164 |
| 6.3. ETAPA 3 – ANÁLISE DO IMPACTO NA SAÚDE | 183 |
| 7. CONCLUSÃO | 201 |
| REFERÊNCIAS | 207 |
| APÊNDICES | 215 |
| ANEXOS | 219 |

1. INTRODUÇÃO

O conteúdo desse trabalho insere-se no contexto da acústica, enquanto ciência que estuda o som, buscando expor a influência que essa área tem no dia-a-dia dos cidadãos.

A preocupação com o ruído e seus efeitos se inicia no começo da Revolução Industrial devido a aparição de maquinaria potente tanto nas fábricas quanto na construção, assim como de novos modos de transporte. O desenvolvimento da indústria e o crescimento das cidades resultaram atualmente em um mundo essencialmente urbano. No Brasil, segundo o censo demográfico de 2000, cerca de 81% da população vive em meio urbano (IBGE, 2001). Essa expansão urbana eliminou o silêncio de boa parte do Planeta e, hoje, o ruído se constitui como um dos agentes contaminantes mais nocivos à saúde humana, apesar de há cerca de 2.500 anos a humanidade conhecer os efeitos prejudiciais do ruído (SANTOS, 2004).

A humanidade tem se desenvolvido de forma rápida e muitas vezes pouco planejada, sem buscar formas menos impactantes em diversos aspectos, como é o caso da exposição ao ruído. Parte da população ainda não possui o conhecimento nem da possibilidade, nem de necessidade de se reduzir a emissão de poluentes.

O som é parte fundamental das atividades dos seres vivos e dos elementos da natureza, mas ruído em excesso provoca efeitos negativos que podem ser observados a curto e longo prazo, com reflexos em todo o organismo e não apenas no aparelho auditivo. A noção do que é barulho pode variar de pessoa para pessoa, mas o organismo tem limites físicos para suportá-lo, além de trazer uma série de malefícios a população, sendo alguns deles irreversíveis.

Em contraste com muitos outros problemas ambientais, a poluição sonora cresce a cada dia, pois desde 1992 representa o único impacto ambiental negativo sobre o qual o número de queixas tem aumentado (OHRSTROM, 2005).

A sociedade industrial trouxe um incremento de atividades que geram um aumento do nível de ruído, especialmente nas grandes cidades e com ele o aparecimento de uma nova contaminação do meio-ambiente: a acústica. O aumento de circulação de veículos, da potência dos mesmos, a ploriferação de tráfego aéreo e sobre trilhos próximo de núcleos urbanos, o maior uso da maquinaria industrial, o incremento de ruído nas atividades de diversão, a incorporação dos aparatos elétricos nos lugares, entre outros, provocam um aumento de ruído e, portanto, uma agressão ao meio ambiente. Atualmente, o ruído é uma das

perturbações que mais afetam os seres vivos, tanto de dia quanto de noite, e tanto no exterior quanto no interior das residências e locais públicos e pode ocasionar doenças tanto fisiológicas quanto psicossomáticas.

Fontes causadoras do ruído urbano, segundo Cremonesi (1985):

- a. **Fontes estacionárias:** equipamentos urbanos (discotecas, restaurantes), construção civil, fábricas etc.
- b. **Fontes que provêm do tráfego ferroviário:** trens de passageiro, trens de carga, trens do metrô, trens de subúrbios etc.
- c. **Fontes provenientes de aeronaves em sobrevôo às áreas habitadas:** aeronaves de passageiro com propulsão a turbhélice, aeronave de passageiro com propulsão a reação, aeronaves militares, aeronaves de pequeno porte, helicópteros etc.
- d. **Fontes de ruído que compõem o tráfego viário:** automóveis, utilitários, motocicletas, ônibus, caminhões etc.
- e. **Fontes produzidas pelo homem:** diálogos, esportes etc.

Milhões de cidadãos passivos estão ficando perturbados, comprometendo o raciocínio, a comunicação oral, a educação, o bem-estar e a sobrevivência, limitando as potencialidades humanas. O próprio desenvolvimento sócio-econômico é afetado pela incapacidade de compreender e reagir contra seus acusticamente poluídos meios urbanos, industriais e de lazer, piorados pela alta densidade populacional. Durante duas revoluções industriais aceleraram-se a degradação dos ambientes sonoros nas áreas residenciais e no trabalho e a contaminação do ruído se propagou pelo mundo. Os países mais desenvolvidos sofreram primeiro este impacto e perceberam a queda na produtividade e o aumento de acidentes, mudando de rumo durante a terceira revolução industrial, quando houve a invasão mais profunda e difusa do meio urbano pelos veículos automotores. Hoje seus governos estão interessados em evitar maiores danos à saúde dos homens, adotando atitude a fim de prepará-los melhor, intelectual e psicologicamente, para competirem na ponta da globalização. Seus cidadãos se tornaram mais conscientes e exigem melhor qualidade de vida. No entanto, em grande parte dos países industrializados ou urbanizados mais tardiamente, o ruído ambiental continua excedendo, enquanto alguns países procuram ultrapassar apressadamente as revoluções industriais perdidas, tornando seus ambientes sonoros insalubres pelo uso intensivo de equipamentos ultrapassados e barulhentos. Estes povos se mostram incapazes de

queimar etapas com tecnologia limpa e mais moderna para ingressarem diretamente na nova era pós-industrial, ou seja, não priorizam reduzir os impactos ambientais (SOUZA, 2000).

Impacto Ambiental é qualquer alteração provocada por matéria ou energia resultante da ação humana afetando a qualidade do meio ambiente (BRASIL, 1986). Compete ao homem prever e avaliar os impactos negativos, de modo a adotar medidas visando a evitá-los ou a minimizá-los, ao mesmo tempo em que sejam maximizados os impactos positivos de uma determinada ação (MOTA, 1997).

Os custos da mobilidade são diversos, entre eles está a Poluição Sonora e Atmosférica, sendo considerados impactos negativos. A Poluição Sonora é uma forma de poluição no mundo moderno e representa todos os sons ou ruídos que, emitidos em desacordo com a legislação ambiental, prejudicam a sadia qualidade de vida do ser humano (BRASIL, 1990). Portanto, não se trata simplesmente de uma questão de desconforto acústico. Em ruas e avenidas os geradores de ruído são móveis: caminhões, carros, ônibus e metrô, por isso não há como autuá-los, mas existem formas de controlar a emissão desse poluente criando-se leis reguladoras capazes de atuar direto na fonte.

O mais traiçoeiro efeito negativo ocorre em níveis moderados de ruído, porque mansamente vão se instalando estresse, distúrbios físicos, mentais e psicológicos, insônia e problemas auditivos. Muitos sinais passam despercebidos do próprio paciente pela tolerância e aparente adaptação e são de difícil reversão. Muitas pessoas, perdidas no redemoinho das grandes cidades, não conseguem identificar o ruído como um dos principais agentes agressores e ficam desorientadas por não saberem localizar a causa de tal mal. Por isso, nada se faz e vive-se sob o impacto de uma abusiva, portanto, ruidosa mecanização e sonorização tanto em ambiente fechados quanto abertos (SOUZA, 1992).

No aspecto fisiológico a poluição sonora é capaz de desencadear muitas alterações orgânicas nos seguintes elementos do organismo: audição, sistema cardíaco, ritmo circulatório, tensão arterial, sistema respiratório, sistema digestivo, sistema neurovegetativo, além dos distúrbios psicológicos. Todos esse reflexos serão tratados mais detalhadamente ao longo desse trabalho.

O ruído apresenta algumas diferenças dos outros agentes agressores do meio ambiente e existem inúmeras reações das pessoas perante a exposição a ele. Seguem alguns aspectos

percebidos pelo próprio autor e outros obtidos por meio da revisão de literatura que exemplifica a diferença entre a poluição sonora e a poluição do ar e da água:

- a. o ruído é gerado em toda parte e está ao alcance de todos, não sendo fácil controlá-lo na fonte como ocorre na poluição do ar e da água;
- b. embora o ruído produza efeitos cumulativos no organismo, do mesmo modo que outras modalidades de poluição, diferencia-se por não deixar resíduo no ambiente tão logo seja interrompido (SOUZA, 1992);
- c. diferindo da poluição do ar e da água, o ruído é apenas percebido nas proximidades da fonte;
- d. o conhecimento acerca dos efeitos do ruído no organismo ainda não foi suficientemente divulgado e a sociedade não tem motivação para combatê-lo (SOUZA, 1992);
- e. a dificuldade de estabelecer correlações diretas com outras doenças (hipertensão, estresse, aumento do número de acidentes), faz do ruído um agente reconhecível, mas com repercussões pouco “visíveis” (SANTOS, 1999);
- f. a comunidade se sente mais capacitada para reclamar e exigir ação política acerca da poluição do ar e da água do que a respeito da poluição sonora;
- g. o ruído, ao que parece, não tem mais efeitos genéticos, como acontece com certas formas de poluição do ar e da água, a exemplo da poluição radioativa. Entretanto, o incômodo, a frustração, a agressão ao aparelho auditivo e o cansaço geral causados pela poluição sonora podem afetar as futuras gerações;
- h. outros contaminantes são detectados por vários sentidos de uma vez, dando lugar a um alarme mais generalizado e muitas doenças e mortes devido a alterações do meio podem ser identificadas por qualquer pessoa, mas a poluição sonora, mesmo em níveis exagerados, produz efeitos imediatos moderados. Seus efeitos mais graves vão se implantando com o tempo (SOUZA, 1992);
- i. um único sentido é capaz de detectar o ruído: o ouvido e sua ação negativa ocorre após um tempo, que pode ser longo, a não ser quando se trata de traumas acústicos. Por isso, muitas pessoas afetadas não buscam se prevenir, esquecendo que o efeito final pode ser irreversível como a surdez, que vem acompanhada às vezes de desesperadores desequilíbrios psíquicos e de doenças físicas degenerativas (SOUZA, 1992).

A questão da poluição sonora parece tornar-se cada vez mais abrangente, visto que lugares bem próximos, outrora sossegados, tornaram-se zonas de alto ruído e cada vez se torna mais

difícil encontrar um local realmente silencioso nas cidades. Embora o grau de sensibilidade varie com as características individuais e dependa do tipo de sociedade em que cada qual se insere, o certo é que o agravamento da situação começa a suscitar preocupações generalizadas nos profissionais da área de engenharia ambiental urbana e da área de saúde (ZANNIN *et al.*, 2002).

O crescimento das populações urbanas exige transporte, habitação e instalação de comércio e indústria em áreas antes estritamente residenciais. Em um meio urbano, as principais fontes de poluição acústica, segundo Mota (1999), são: modos de transporte terrestre, tráfego aéreo, obras de construção civil, atividades industriais, aparelhos eletrodomésticos, setor de diversões públicas e o próprio comportamento humano.

Da fonte ao receptor, o mecanismo de propagação de ruído ferroviário, objeto de estudo deste trabalho, é análogo ao das demais fontes móveis de ruído, sendo também função dos seguintes fatores: localização e alcance da fonte, absorção do som pelo ar e pelo solo, existência ou não de obstáculos e barreiras (naturais ou construídas), condições atmosféricas e características geométricas da via. O receptor, ou seja, a pessoa exposta ao ruído ferroviário, pode se encontrar em diferentes situações: como trabalhador no trem ou ao longo da via, como passageiro no trem e nas plataformas, e como cidadãos, podendo estar no trabalho, em casa, ou em lugares de lazer (MHU, 1988).

A pesquisa se propõe a analisar o provável impacto sonoro negativo do metrô de Salvador nas adjacências, priorizando a relação entre o ruído e a saúde humana e identificando às necessidades de se implantar medidas mitigadoras. Apesar de não ser objetivo deste estudo apresentar soluções para a redução dos níveis de ruído, indica-se algumas recomendações que necessitam de cálculos específicos para que possam ser implementadas.

Para execução da pesquisa foi necessário o apoio de algumas instituições e laboratórios capazes de fornecer suporte teórico ou apoio profissional além da equipe do MEAU:

- a. Lacam - Laboratório de Conforto Ambiental da FAUFBA: proporcionar suporte teórico e ajuda dos professores de conforto acústico.
- b. LabGeo/UFBA – Laboratório de Geoprocessamento: ter contato com profissionais da área para tirar dúvidas provenientes da montagem do Sistema de Informações Geográficas (SIG).

- c. Fundacentro – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho: oferecer suporte teórico disponível na biblioteca.
- d. LavUPM - Laboratório de Acústica e Vibrações da Universidade Politécnica de Madrid: disponibilizar bibliografia referente ao tema.
- e. Ceftru - Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes: fornecer informações referentes ao metrô de Brasília, inclusive relatórios e resultados de medições sonoras feitas.
- f. Audium - Áudio e Acústica - Empresa especializada em projetos e implantação de sistemas de acústica e sonorização: oferecer suporte teórico e de pessoal, proporcionando amplo apoio a pesquisa.
- g. CTS – Companhia de Transporte de Salvador: dar entrevistas e fornecer informações sobre o metrô de Salvador, além de fotos, mapas, diagnóstico e arquivos CAD contendo o projeto.

O presente trabalho objetiva fazer uma análise do planejamento do metrô de Salvador com relação à possibilidade do aumento do nível de ruído aéreo causado, principalmente, pelos percursos elevado e de superfície, por entender que esse estudo representa uma preocupação com a qualidade de vida daqueles que trabalham ou habitam nas zonas próximas.

Além das várias fontes de ruído que alimentam a poluição sonora, o trabalho apresenta a justificativa, os objetivos, a metodologia, os resultados e as conclusões de uma análise sobre o ruído gerado pelo modo de transporte denominado metrô, por ser ele inerente ao cotidiano das grandes cidades e se caracterizar como um importante elemento da mobilidade urbana.

2. OBJETIVOS

Focando na importância da existência do metrô para o desenvolvimento urbano de uma cidade, mas preocupando-se com o impacto negativo que o ruído desse modo de transporte pode gerar devido a proximidade com muitas edificações foi delimitada a hipótese da pesquisa.

2.1. HIPÓTESE

A implantação de metrô em trechos elevados ou de superfície incrementa o ruído urbano causando efeitos na saúde da população que habita ou trabalha próxima a linha do metrô.

2.2. OBJETIVO GERAL

Analisar o impacto sonoro a ser causado pelo metrô de Salvador (Trecho: Av. Bonocô) em edificações adjacentes, considerando os efeitos na saúde dos cidadãos que trabalham ou habitam nas imediações.

2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Calcular e analisar o NPS resultante nas edificações a partir da simulação da propagação sonora após a implantação do metrô.
- b. Relacionar o NPS resultante com a tipologia funcional das edificações lindeiras à linha do metrô de acordo com os parâmetros normatizados nas NBRs 10.151/87 e 10.152/00.
- c. Analisar os dados de NPS obtidos e sua relação com a saúde da população no que diz respeito a possibilidade do surgimento de alterações tanto fisiológicas quanto psicológicas, considerando o nível de ruído e o tempo de exposição.

3. JUSTIFICATIVA

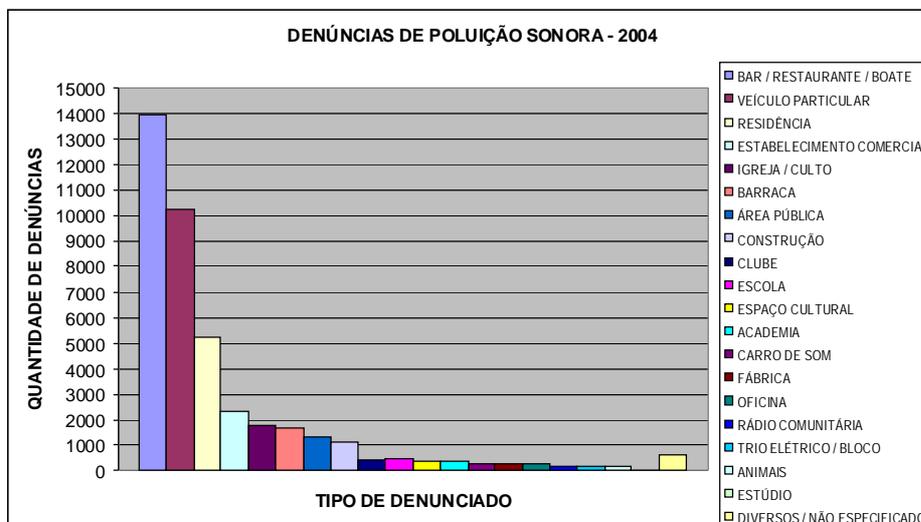
Segundo o Art. 225 do Capítulo VI (Do Meio Ambiente) da Constituição Federal (BRASIL, 1988) “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

A consciência ecológica no Brasil ainda não alcançou um estágio de desenvolvimento que relacione a evolução tecnológica com o controle e a prevenção da poluição sonora, portanto, existe a demanda de execução de trabalhos que estimulem a pesquisa e orientem nesse sentido.

Na década de 90 Salvador foi classificada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), como a cidade mais barulhenta do Brasil. Atualmente, de acordo como o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a cidade ocupa o sexto lugar entre as capitais de estados brasileiros, sendo São Paulo a mais barulhenta. Provavelmente, a principal justificativa para essa evolução em Salvador é a forte atuação da Superintendência de Controle e Ordenamento do Uso do Solo do Município (SUCOM), instituição que atende às denúncias de poluição sonora.

Segundo dados fornecidos pela Prefeitura Municipal do Salvador (SEPLAM, 2005), a cada ano que passa as pessoas vão se sentindo mais incomodadas com o ruído e estão buscando o cumprimento de seu direito ao silêncio. Os locais responsáveis pelo maior número de queixas podem ser observados na figura 01.

Observa-se que locais de entretenimento, veículos e vizinhos são disparados os campeões de denúncias. A parte que está classificada como veículo se relaciona a potência do som de muitos automóveis e aos carros de som que fazem propaganda.



Fonte: SEPLAM, 2005

Figura 01 – Denúncias de Poluição Sonora em Salvador no ano de 2004

Segundo a Resolução nº1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 1990a), na execução dos projetos de construção ou de reformas de edificações para atividades heterogêneas, o nível de som gerado por uma delas não poderá ultrapassar os níveis estabelecidos, assim como a emissão de ruídos gerados por veículos automotores e os gerados no interior dos ambientes de trabalho, obedecerão às normas expedidas. Afirma também, que as entidades e órgãos públicos (federais, estaduais e municipais) competentes, no uso do respectivo Poder de Polícia, disporão de acordo com o estabelecido nesta Resolução, sobre a emissão ou proibição da emissão de ruídos gerados por quaisquer meios ou de qualquer espécie, considerando sempre os locais, horários e natureza das atividades emissoras, com vistas a compatibilizar o exercício das atividades com a preservação da saúde e do sossego público.

O maior trecho do metrô de Salvador não é subterrâneo e como ainda está em fase de implantação existe a possibilidade da aplicação prática de medidas atenuantes que podem obter do presente trabalho alguns indicadores. O fato de o metrô ser um modo de transporte intimamente ligado aos novos paradigmas do mundo moderno requer estudos que possibilitem prevenir futuros problemas.

Associando-se em mapas, os dados referentes aos níveis de ruído estimados gerados pela passagem do metrô e os níveis de ruído atual no local onde está sendo implantado o metrô (medições feitas), é possível prever com relativa precisão o impacto acústico dessa nova fonte sonora, dando subsídios ao Poder Público para que os possíveis dispositivos acústicos

redutores de ruído que podem ser projetados e implementados, como por exemplo, barreiras acústicas, sejam otimizados.

Entre os inúmeros benefícios para a população da cidade de Salvador causados pelo Sistema Metrô divulgado pela Companhia de Transporte de Salvador (CTS) está a “preservação do meio ambiente através da utilização de trens elétricos, não poluentes”, no entanto, isso se refere apenas à poluição atmosférica, mas existem outros poluentes como o sonoro e visual que necessitam de medidas mitigadoras (CTS, 2005).

Com relação à poluição sonora, segundo o Diretor de Planejamento da gestão anterior (atuante até 2005) e Consultor da nova gestão (até a atualidade) da CTS, existe a percepção de que em alguns trechos críticos (muito próximos às edificações) serão necessárias a inserção de algum tipo de proteção acústica, mas nada de concreto ainda foi projetado. Planeja-se fazer esse tipo de intervenção apenas após a finalização do metrô, quando será contratada uma empresa para executar medições *in loco* e projetar equipamentos capazes de atenuar o ruído. Essa opção de estudar mitigações apenas após a circulação do veículo está sendo aceita justamente pela inexistência de estudos prognósticos capazes de simular previamente os impactos.

As entidades responsáveis estão cientes de que a poluição do ar e visual e o desmatamento não são os únicos impactos negativos gerados pelos sistemas de transportes, pois existe a preocupação com o impacto ambiental voltado para a possibilidade do aumento dos níveis de ruído urbano após instalação do metrô na cidade. No entanto, a decisão em projetar estruturas isolantes apenas após o funcionamento do mesmo, demonstra uma falta de prioridade. Seria mais racional prevenir o problema do que tentar solucioná-lo depois de instalado.

É importante desenvolver uma metodologia de pesquisa que possa ser adotada em toda a extensão da linha e em todas as futuras etapas, visto que esse trabalho limita-se a analisar o trecho da linha referente a Avenida Mário Leal Ferreira (conhecida como Avenida Bonocô, nome que será usado no trabalho) por uma série de razões que serão expostas no decorrer do trabalho.

O trânsito é o grande causador do ruído na vida das grandes cidades. As características dos veículos barulhentos são o escapamento furado ou enferrujado, as alterações no silencioso ou no cano de descarga, as alterações no motor, os maus hábitos ao dirigir (acelerações e freadas

bruscas), o uso excessivo de buzina e o choque das rodas de um metrô com os trilhos de sua linha.

A grande geração de ruído é um fator de degradação da qualidade ambiental urbana. Os centros urbanos brasileiros sofrem com o aumento desses níveis, sem que medidas atenuadoras e até preventivas sejam pensadas no sentido de minimizar os efeitos da pressão sonora.

A opção por analisar apenas o trecho da Avenida Bonocô foi, principalmente, pelo fato de nesse local a linha estar muito próxima a diferentes tipologias de edificações.

O cidadão tem o respaldo da legislação municipal e federal para exigir um determinado limite de decibéis e o aumento do nível de pressão sonora de uma cidade é responsabilidade dos órgãos públicos. Portanto, é importante a existência de pesquisas que informem e conscientizem cada qual da necessidade do exercício pleno da cidadania por meio de direitos e deveres.

As medidas de conservação do meio ambiente devem ser planejadas e implementadas de forma integrada, uma vez que os recursos naturais se inter-relacionam (MOTA, 1999).

No Brasil não existe, ainda, uma consciência da integração da acústica com o espaço construído, nem em nível urbano, nem da edificação. Ainda não há uma preocupação geral neste sentido, nem em nível governamental, nem do profissional arquiteto/engenheiro (SOUZA, 1991).

A importância científica da pesquisa está em além de deixar registrada toda a revisão bibliográfica sobre o tema, permitir que outros trabalhos sejam desenvolvidos a partir da definição da metodologia proposta e das conclusões obtidas. É necessário difundir todos os possíveis impactos positivos e negativos dos transportes ferroviários e rodoviários para que possa existir embasamento teórico na tomada de qualquer decisão. A pesquisa é uma ferramenta fundamental para uma sociedade que almeja se desenvolver economicamente e socialmente. No Brasil são raros os trabalhos que tratam de sistemas metroviários, portanto, torna-se necessário a existência de mais estudos capazes de desenvolver uma metodologia sistemática sobre esse tema.

Os resultados obtidos nesse trabalho de pesquisa tornam-se úteis para a cidade de Salvador, por existirem poucos estudos sobre o impacto da poluição sonora no município, podendo

nortear ações efetivas para impedir o crescimento desse efeito negativo no meio, pois podem ser implementados pelos órgãos competentes e demais interessados na garantia da qualidade da vida. Esse fato demonstra a importância social do estudo.

Considera-se como fundamental perseguir uma maior articulação entre o projeto da edificação e os espaços urbanos em geral, onde o ruído possa ser uma componente importante na definição dos espaços internos e externos, considerando suas especificidades e o desempenho psico-fisiológico dos usuários, crescentemente ameaçado pela poluição sonora nos centros urbanos. Trata-se de um problema social com agravamento na saúde e desempenho das atividades humanas (SOUZA, 1991).

O tema proposto decorre, portanto, da reflexão sobre as conseqüências do ruído gerado pelo sistema de tráfego urbano na qualidade de vida das pessoas que vivem nos grandes centros urbanos. A poluição sonora, juntamente com a poluição do ar, das águas, do solo, visual e a alteração das áreas verdes tem sido um dos grandes fatores da degradação da sociedade moderna, cujo controle deve ser incorporado à prática, visando a avaliação sistemática do grau de poluição existente nas cidades, sempre à procura de soluções alternativas para as situações constatadas, e ampliando o conhecimento no campo preventivo visando a elaboração e implementação de planos, programas, projetos e legislação urbanísticas.

É preciso enfatizar, justificar e transmitir tanto a possibilidade quanto à necessidade de se reduzir o barulho das cidades. A melhor forma de tornar as soluções acústicas mais eficazes é a sua aplicação durante o processo de construção, pois após o metrô ser implantado torna-se mais complicado e requer mais recursos humanos, financeiros e maior tempo.

O trabalho defende uma implantação consciente e sustentável do metrô de Salvador, de forma a evitar um aumento dos níveis de ruído, visando propiciar à população uma melhoria na qualidade de vida no ambiente urbano com relação à questão da mobilidade urbana, sem que isso venha a gerar impactos negativos.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. CONCEITOS RELACIONADOS À POLUIÇÃO SONORA

Uma vez que o presente trabalho pretende realizar uma abordagem também sobre aspectos conceituais referentes à poluição sonora, seguem algumas definições pautadas na revisão crítica da literatura.

As atividades humanas geralmente provocam **impactos ambientais** e representam as alterações feitas nos meios físico, biológico e antrópico, ou seja, a cadeia de efeitos que se produzem no meio natural e social como consequência de uma determinada ação (MOTA, 1997).

Quanto à **poluição ambiental**, ela resulta do lançamento ou liberação, em um ambiente, de matéria ou energia, em quantidade ou intensidade tais que o tornem impróprios às formas de vida que ele normalmente abriga, ou prejudiquem os seus usos (MOTA, 1997).

O **som** pode ser classificado como uma forma de energia (mecânica ou acústica), por isso é capaz de se transformar em poluição ambiental, sendo, portanto, uma agressão à natureza, ao meio ambiente e ao próprio homem.

A definição de **poluição** estabelecida em lei é:

Degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981).

Um ambiente pode ser considerado contaminado quando o seu estado de poluição pode provocar doenças no homem, ou seja, a **contaminação** está associada aos efeitos nocivos ao homem que o ambiente pode ocasionar (MOTA, 1997). A partir de 1972, o ruído passou a ser reconhecido oficialmente como agente contaminante na Conferência de Meio Ambiente organizada pelas Nações Unidas em Estocolmo (MANZANA, 1998). A poluição sonora deve ser tratada como uma contaminação atmosférica através da energia, pois o som representa energia.

Poluição sonora pode ser qualificada como qualquer alteração das propriedades físicas do meio ambiente causada por puro ou conjugação de sons, admissíveis ou não, que direta ou

indiretamente seja nociva à saúde, a segurança e ao bem-estar da população, além de ser considerada uma forma de degradação da qualidade ambiental (BRASIL, 1981). Quando os ruídos alcançam níveis prejudiciais à saúde e ao sossego públicos, diz-se que ocorre a poluição sonora (MOTA, 1997).

O **som** é um fenômeno físico que consiste de uma rápida variação de uma onda de pressão num meio. A percepção do som se dá pela sensação sonora, detectada pelo sistema auditivo por meio dos ouvidos. Um ruído é só um tipo de som, mas um som não é necessariamente um ruído. A **freqüência** do som significa o número de vibrações por segundo da pressão acústica (GERGES, 1998).

Os sons existem independentemente de serem percebidos ou não, podendo ser de origem animal, mecânica ou humana, entre outras. Por exemplo, os sons resultantes do deslocamento de uma onda de pressão de um terremoto possuem uma freqüência tão baixa que o ser humano é incapaz de percebê-los, são os chamamos infra-som (abaixo de 20Hz), e, no entanto, os instrumentos os registram. Um canto agudo de um determinado pássaro possui em seu espectro sonoro várias contribuições das altas freqüências que não se é capaz de ouvir, enquanto, que os pássaros entre si os ouvem, esses são chamados ultra-som (acima de 20.000Hz). As bandas de freqüências audíveis, denominada faixa de áudio, compreendem-se entre 20Hz a 20.000Hz, no entanto, o ouvido humano não é igualmente sensível (GERGES, 1998).

Fisicamente não existe distinção entre som e ruído, sendo que o conceito de **ruído** está associado a qualquer som definido como desagradável ou indesejado (WHO, 1999). A título desse trabalho será tratado como sinônimo de poluição sonora e barulho. Representa um agente contaminante que, a depender de sua intensidade e freqüência, pode ocasionar inúmeras doenças que serão indicadas no próximo capítulo.

O som se propaga em todos os meios capazes de manter e difundir vibrações (ar, líquido ou sólido). Existem duas classes de ruídos, o **aéreo**, que se propaga no ar (voz, música, televisão, aeronaves...) cuja intensidade diminui com a distância de emissão, e o de **impacto**, que se propaga por meio de elementos sólidos, como edifícios, naves industriais. Este é o ruído característico de uma batida de martelo, de móveis sendo arrastados, quedas de objetos e atrito entre as rodas de um veículo e o asfalto. O ruído de impacto incomoda muito e pode ser percebido bem longe da fonte que o originou (EVEREST, 1994).

A intensidade do som é expressa em unidade de pressão (pressão sonora). Os sons audíveis compreendem um intervalo muito amplo, o que dificulta a sua medição em uma escala de pressão. Por esta razão é utilizada uma escala logarítmica. A unidade de referência que se usa para valorar o nível de ruído tal como o percebe o ouvido humano é o **decibel** (dB). Um decibel é a mínima intensidade perceptível pelo ouvido humano. O nome foi uma homenagem ao cientista Alexandre Graham Bell, o inventor do telefone.

Os limites compreendidos entre o limiar auditivo e o limiar da dor para o ouvido humano são 0dB e 130dB, respectivamente. Como o homem não ouve os diferentes sons (com frequências diferentes) na mesma intensidade, necessitava-se procurar uma forma de expressar as sensações auditivas em relação à intensidade do som com o seu espectro de frequências. Desta forma foi estabelecida uma curva de intensidade com suas respectivas frequências, simulando o real comportamento da audição humana, a chamada **curva A** (o equipamento de medição permite esse ajuste). Assim, a intensidade do som normalmente é expressa em dB(A).

Um aumento de 6dB no nível de pressão sonora (NPS) corresponde a uma sensação, para o ouvido humano, de que o mesmo dobrou de intensidade. Isso explica o fato de um aumento ou redução de 3dB, apesar de parecer pouco, ser claramente percebido pelo homem. O NPS resultante de duas fontes, também denominada de soma logarítmica, pode ser obtido pela fórmula (SANCHIDRIAN, 2001):

$$L_{eq} = 10 \log (10^{0,1 \times L_1} + 10^{0,1 \times L_2})$$

Onde:

L_1 = NPS da fonte 1

L_2 = NPS da fonte 2

Dessa forma, pode-se comprovar que o NPS resultante de duas fontes com 70dB(A) cada é 73dB(A) e não 140dB(A). Isso ocorre devido a escala logarítmica a que o dB está submetido. Portanto, o NPS resultante de duas fontes sonoras, quando uma superar a outra em no mínimo 10dB(A) será igual ao valor da fonte mais ruidosa, ou seja, não haverá nenhum acréscimo ao ruído.

A atividade normal do ser humano provoca um nível de ruído de 55dB, sendo que a intensidade da conversação normal entre duas pessoas a 0,60m de distância entre elas varia entre 65dB e 70dB. Um homem em idade até 45 anos e em perfeitas condições de saúde pode perceber algo a partir de 5dB. A tabela 01 representa uma compilação feita a partir de

diversos autores, para compor uma demonstração mais clara, exemplificada e completa de sons rotineiros e as sensações causadas pelos mesmos.

TABELA 01 – EXEMPLOS DE RUÍDOS

| SENSAÇÃO AUDITIVA | dB | RUÍDO EM INTERIORES | RUÍDOS EM EXTERIORES | RUÍDOS DE VEÍCULOS |
|--|-----------|--|---|---|
| -Limite de audibilidade | 0 | - Câmara Anecoica | - Cosmo | - Estação orbital no espaço sideral |
| -Muito calmo | 10-20 | - Estúdio de gravação | - Deserto - Folhas ao vento | - Submarino |
| -Calmo | 25-35 | - Conversação em voz baixa - Biblioteca | - Torneira gotejando | - Planador - Barco à vela |
| -Relativamente Calmo | 40-45 | - Consultório médico - Quartos com esquadrias acústicas | - Vassoura varrendo calçada | - Teleférico - Transatlântico |
| -Ruído freqüente, mas suportável -Interferência | 50-75 | - Restaurante - Voz normal a 0,6m - Aparelho de ar condicionado | - Rua residencial - Concertos sinfônicos | - Bonde elétrico - Barco a motor - Carro de passeio - Interior de automóvel |
| -Terrível de se fazer entender -Incômodo | 80-100 | - Escritório barulhento - Voz normal a 0,3m e grito a 0,6m - Secador de cabelo - Praça de alimentação ruidosa | - Vias de transporte - Rua com tráfego intenso - Sob ponte metálica ferroviária | - Ônibus elétrico - Aeronave sobrevoando - Caminhão pesado - Moto sem silencioso - Ônibus biarticulado - Interior de metrô |
| -Difícil de suportar | 105-110 | - Triturador de plástico - Discoteca | - Estádio de futebol - Bate Estacas | - Interior de metrô em túnel - Ônibus dentro de túnel - Caminhão coletor de lixo - Turbina de avião |
| -Limite doloroso | 120-140 | - Trio elétrico - Picadeira de asfalto | - Fogos de artifício - Explosão de dinamites - Sirene de ataque aéreo | - Buzina a 1m - Avião a jato decolando |

Fonte: SILVA, 2002; MOTA, 1997; MOTA, 1999; RELACUS, 2005

Isto demonstra o quanto os indivíduos estão expostos ao risco auditivo, no seu dia a dia.

Para um maior esclarecimento e precisão quanto à representatividade dos decibéis está exposto na tabela 02 um resumo da avaliação de ruído feita recentemente pelo Consultor Acústico Alberto Paim da Costa (2004) em diversos pontos de São Paulo.

TABELA 02 – RESULTADO DE MEDIÇÕES SONORAS FEITAS EM SÃO PAULO

| PONTO DE MEDIÇÃO | EVENTO | L _{eq} (dBA) | L _{max} (dBA) |
|---|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| Mosteiro de São Bento | Cântico | 68 | 74 |
| Templo Budista | Meditação | 50 | 71 |
| Parque Ibirapuera | Pessoas | 54 | 70 |
| Av. Ipiranga X Av. São João | Trânsito | 77 | 90 |
| Av. Paulista X Av. Brig. Luiz Antonio | Trânsito | 79 | 95 |
| Av. Cidade Jardim | Obra da prefeitura | 86 | 87 |
| Edifício | Obra particular | 71 | 79 |
| Shopping – Praça de alimentação | Pessoas | 74 | 77 |
| Igreja Universal | Culto (pastor) | 83 | 93 |
| Bar | Pessoas | 72 | 79 |
| Supermercado | Com alto-falantes | 75 | 82 |
| Cemitério | Ambiente | 46 | 50 |
| Campo da PM | Helicóptero decolando | 96 | 104 |
| Rodoviária | Saguão com alto-falante | 78 | 82 |
| Estação de metrô | Trem chegando | 83 | 88 |
| Dentro do vagão do metrô – Via elevada | Trajeto | 71 | 79 |
| Dentro de ônibus | Motor dianteiro | 82 | 89 |
| Biblioteca | Sala de Leitura | 60 | 66 |
| Academia | Aula de <i>spinning</i> | 97 | 108 |
| Aeroporto | Avião decolando | 91 | 95 |
| Academia | Aula de <i>Yoga</i> | 71 | 80 |
| Toque de celular | Toque regular | 67 | 75 |
| TV | Som normal | 62 | 66 |
| Danceteria | Pista de dança | 108 | 112 |
| Casa de Eventos | Pista de dança | 101 | 105 |
| Bar com música | Pista de dança | 95 | 100 |
| Casa de Show | Salão | 105 | 110 |

Fonte: COSTA, 2004

As ferramentas de medições e análises do ruído e vibrações são ferramentas poderosas de diagnóstico nos programas de controle de ruído (Figura 02). Um sistema básico para essa medida consta de um microfone de alta qualidade para converter a pressão acústica em sinal elétrico que após passar por inúmeros processos estará disponível para visualização. O equipamento que mede o NPS é denominado medidor de nível de pressão sonora e existem inúmeros tipos que seguem a uma classificação de precisão. O uso do nome decibelímetro, segundo Gerges (1998), não é bem adequado, pois não mede em escala dB, mas sim pressão sonora.



Fonte: GERGES, 1998

Figura 02 – Exemplos de medidores de níveis de pressão sonora

A energia gerada por fontes sonoras é atenuada ao se propagar ao ar livre. Os fatores responsáveis por esse efeito são: distância percorrida, barreiras, absorção do ar, reflexões, difração, vegetação, topografia, umidade do ar, variação de temperatura e efeito do vento. Os cálculos de níveis de pressão sonora em áreas externas adjacentes às fontes sonoras demandam uma análise da **propagação do som ao ar livre**, que é afetada pelo conjunto de atenuações de todos esses elementos (GERGES, 1998).

Quanto ao comportamento do som no ar, pode-se dizer que o som se propaga em espaço aberto sem obstáculos e a intensidade sonora diminui com a distância. No entanto, quando a onda sonora atinge um obstáculo qualquer, parte da energia sonora incidente é refletida, parte é dissipada pelo obstáculo transformando-se em energia calorífica ou mecânica e o restante atravessa o referido obstáculo, passando para o outro lado da barreira, porém com intensidade menor, de acordo com a densidade da superfície. A quantidade de energia absorvida, refletida ou transmitida depende das características físico-químicas do material do obstáculo, sendo possível determinar a direção dos raios refletidos em uma superfície, o que auxilia no momento de projetar algum tipo de barreira. **Barreiras acústicas** constituem estruturas sólidas que interceptam a passagem direta do som desde a fonte ao observador, sem confinar totalmente nem a fonte de ruído nem o observador. Elas são usadas para atenuação do ruído de tráfego causado pelo fluxo de veículos, máquinas de construção, geradores e transformadores. Sua atenuação depende da altura, da posição e do comprimento de onda do som, elemento que será detalhado no capítulo 4.2. (PAZOS, 2004).

A aplicação das barreiras acústicas visa o conforto, o bem-estar e a saúde das pessoas. Em países desenvolvidos elas têm presença marcante, pois existe uma consciência em relação a esses fatores. Os Estados Unidos, por exemplo, desde a década de 70 identifica a poluição sonora como um grave problema ambiental. No Brasil, o emprego de barreiras acústicas ainda é pequeno, mas já se encontram algumas em centros urbanos. No exemplo da figura 03, após a instalação de barreiras acústicas a atenuação alcança 10dB em alguns locais (os níveis sonoros caíram de 70dB para 60dB) (PAZOS, 2004).



Fonte: PAZOS, 2004

Figura 03 – Barreira acústica instalada na Rodovia dos Bandeirantes em São Paulo

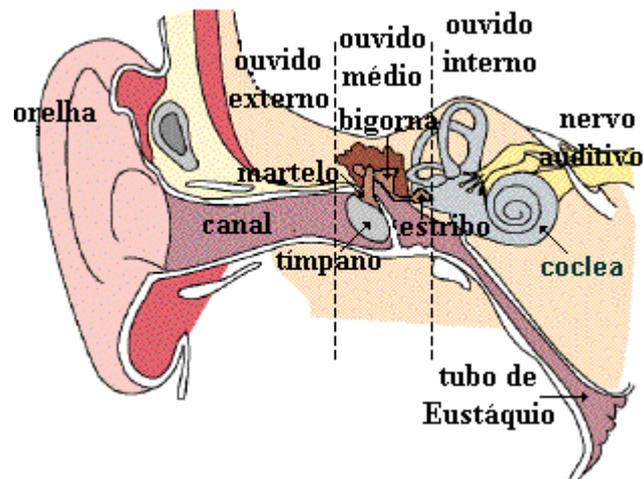
O nível de ruído de um determinado local depende das características da(s) fonte(s) sonora(s) que representa a emissão, da distância entre as fontes e as áreas receptoras e das condições de propagação do som, ou seja, da existência de barreiras ou não (MOTA, 1997).

4.2. ASPECTOS FÍSICOS DA ACÚSTICA AMBIENTAL

A civilização chinesa deu grande contribuição não só ao pensamento filosófico, como à ciência. Na área da Matemática entre muitas outras coisas sabiam expressar números muito grandes, utilizando potências de 10, chegando perto da noção de logaritmo, função fundamental nos cálculos acústicos. Na Física foram responsáveis pela introdução do conceito de ondas que se propagam no espaço tendo criado um modelo ondulatório do universo (ROCHA, 2002).

Na Grécia antiga aconteceram uma das mais impressionantes manifestações culturais vistas na história do saber. Os gregos meditaram sobre os mais variados campos das ciências e das artes como Arquitetura, Escultura, Medicina, Mecânica, Literatura e Harmônica (atual Acústica). Até os dias de hoje a civilização está profundamente impregnada pelo pensamento e pela cultura gregos. Pitágoras, que nasceu por volta do século VI a.C., descobriu o princípio de vibração dos corpos e notou haver relações matemáticas na música (ROCHA, 2002).

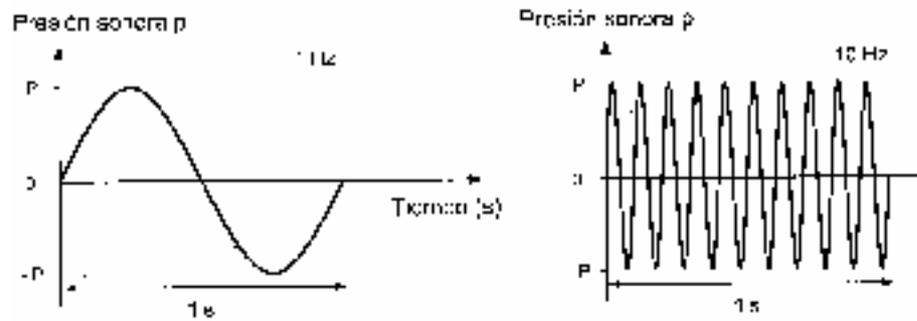
O som é um fenômeno vibratório resultante de variações da pressão no ar e é produzido devido às vibrações dos corpos. Esta vibração transmitida por um meio material em forma de movimento ondulatório, penetra a orelha e faz vibrar a membrana do tímpano, transmitindo este movimento ao ouvido médio e deste ao interno, excitando os terminais do nervo acústico que por sua vez transporta ao cérebro os impulsos que geram a sensação sonora. O ouvido consiste em três partes básicas: o ouvido externo, o ouvido médio e o ouvido interno. Cada parte tem uma função específica para interpretar o som e podem ser observadas na figura 04.



Fonte: BERTULANI, 2006

Figura 04 – Representação do sistema auditivo humano

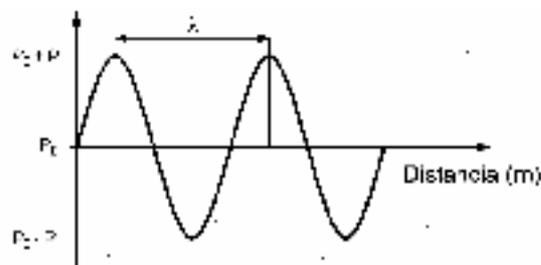
A frequência (f) é o número oscilações por segundo, portanto é medida em ciclos por segundo ou Hertz (Hz) (Figura 05). A transmissão do movimento vibratório em um meio elástico origina a propagação de onda. A vibração se propaga a partir do centro de perturbação com uma velocidade que depende tanto das características do meio como da natureza da onda (MANZANA, 1998).



Fonte: CARRIÓN, 1998

Figura 05 – Representação da onda sonora em diferentes frequências

Longitude ou comprimento de onda (λ) tem caráter espacial e representa a distância que a onda percorre no tempo de um período, sendo função da velocidade (c) de propagação no meio e pode ser identificada na figura 06 (MANZANA, 1998).



Fonte: CARRIÓN, 1998

Figura 06 – Identificação do comprimento de onda

$$\lambda = c/f$$

λ = comprimento de onda; c = velocidade de propagação; f = frequência.

Isso permite afirmar que quanto maior for a frequência da vibração menor será o tamanho do comprimento de sua onda e vice-versa. O que justifica o fato das baixas frequências alcançarem distâncias maiores e serem mais difíceis de se isolar. Para facilitar a normatização foram definidas como frequências centrais de análises 64, 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000Hz.

A velocidade de propagação de uma onda sonora em um meio depende da elasticidade e da densidade do meio em questão, portanto, independe das características da onda. A temperatura afeta diretamente essa relação e comprovou-se que para cada grau centígrado de aumento da temperatura o aumento de velocidade é de, aproximadamente, 0,6m/s. A umidade atmosférica, ou seja, a quantidade de vapor de água contida no ar tem relação inversa com a

densidade do ar, quanto mais úmido for o ar maior será a velocidade de propagação (MANZANA, 1998).

O fator que mais influi na velocidade do som é a temperatura. A tabela 03 mostra a velocidade do som no ar para distintas temperaturas e a 50% de umidade relativa.

TABELA 03 – VELOCIDADE DO SOM NO AR

| TEMPERATURA (0° C) | VELOCIDADE (m/s) |
|-----------------------|---------------------|
| -20 | 319 |
| -10 | 326 |
| 0 | 332 |
| 10 | 338 |
| 20 | 344 |
| 30 | 350 |
| 40 | 356 |

Fonte: MANZANA, 1998

A velocidade de propagação do som no ar, de acordo com a Norma da ABNT MB 3.071, é determinada pela seguinte expressão:

$$c = 331,2 (1 + t/243)^{1/2}$$

Onde:

c = velocidade, em m/s

t = temperatura do ar, em °C

Em Salvador a média anual de temperatura é 25,5°C e da umidade do ar 81%, tendo pequenas variações térmicas ao longo do ano. A velocidade média dos ventos no litoral é 2,2m/s, no entanto, a geomorfologia interfere muito nesse valor e zonas como a da presente pesquisa (Avenida Bonocô) ventilam muito pouco devido ao bloqueio natural do terreno e das edificações, localizadas na parte mais baixa de seu entorno. Como o efeito da umidade relativa pode-se depreciar, segundo essa Norma, a velocidade de propagação do som no ar de Salvador a partir da aplicação direta da fórmula acima é de 348,14m/s.

Na propagação do som, parte da energia se transforma em calor, atenuação esta que depende da frequência, da temperatura e da umidade relativa do ar. Essa perda é denominada Entrópica e só é perceptível a partir de 100 metros de distância da fonte sonora e quanto menor a frequência menor será a influência do clima (NEPOMUCENO, 1968). Sanchidrián (2001) reforça essa informação quando afirma que a absorção do ar pode não ser levada em conta

para distâncias pequenas da fonte sonora (menores de 100m), exceto a frequências superiores a 5kHz. Ele afirma que a propagação do som próximo do solo para distâncias emissor-receptor menores de 100m são praticamente independentes das condições atmosféricas, pois a atmosfera pode ser considerada homogênea, ou seja, a umidade relativa e a temperatura tem um grande efeito na atenuação do som apenas nas altas frequências e a grande distância.

Isso permite afirmar que para a situação a ser estudada por se tratar de distâncias inferiores a 60m, as interferências atmosféricas podem ser desprezadas, o que pode ser comprovado pela expressão que reflete a atenuação do som durante sua propagação devido a absorção do ar:

$$A_{\text{ar}} = \chi \cdot d / 1000$$

Onde:

χ = coeficiente de atenuação do ar, em dB/km (pode ser obtido na tabela 04)

d = distância entre os pontos de emissão e recepção, em m (SANCHIDRIÁN, 2001)

TABELA 04 – COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO DO AR, χ , em dB/km, PARA UMA PRESSÃO AMBIENTAL DE 101,3kPa PARA A PROPAGAÇÃO DO SOM AO AR LIVRE

| TEMPERATURA, °C | UMIDADE RELATIVA, % | FREQUÊNCIA, Hz | | | | | |
|-----------------|---------------------|----------------|------|-----|------|------|------|
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| 30 | 10 | 0,96 | 1,8 | 3,4 | 8,7 | 29 | 96 |
| | 20 | 0,73 | 1,9 | 3,4 | 6,0 | 15 | 47 |
| | 30 | 0,54 | 1,7 | 3,7 | 6,2 | 12 | 33 |
| | 50 | 0,35 | 1,3 | 3,6 | 7,0 | 12 | 25 |
| | 70 | 0,26 | 0,96 | 3,1 | 7,4 | 13 | 23 |
| | 90 | 0,20 | 0,78 | 2,7 | 7,3 | 14 | 24 |
| 20 | 10 | 0,78 | 1,6 | 4,3 | 14 | 45 | 109 |
| | 20 | 0,71 | 1,4 | 2,6 | 6,50 | 22 | 74 |
| | 30 | 0,62 | 1,4 | 2,5 | 5,0 | 14 | 49 |
| | 50 | 0,45 | 1,3 | 2,7 | 4,7 | 9,9 | 29 |
| | 70 | 0,34 | 1,1 | 2,8 | 5,0 | 9,0 | 23 |
| | 90 | 0,27 | 0,97 | 2,7 | 5,3 | 9,1 | 20 |
| 10 | 10 | 0,79 | 2,3 | 7,5 | 22 | 42 | 57 |
| | 20 | 0,58 | 1,2 | 3,3 | 11 | 36 | 92 |
| | 30 | 0,55 | 1,1 | 2,3 | 6,8 | 24 | 77 |
| | 50 | 0,49 | 1,1 | 1,9 | 4,3 | 13 | 47 |
| | 70 | 0,41 | 1,0 | 1,9 | 3,7 | 9,7 | 33 |
| | 90 | 0,35 | 1,0 | 2,0 | 3,5 | 8,1 | 26 |
| 0 | 10 | 1,3 | 4,0 | 9,3 | 14 | 17 | 19 |
| | 20 | 0,61 | 1,9 | 6,2 | 18 | 35 | 47 |
| | 30 | 0,47 | 1,2 | 3,7 | 13 | 36 | 69 |
| | 50 | 0,41 | 0,82 | 2,1 | 6,8 | 24 | 71 |
| | 70 | 0,39 | 0,76 | 1,6 | 4,6 | 16 | 56 |
| | 90 | 0,38 | 0,76 | 1,5 | 3,7 | 12 | 43 |

Fonte: SANCHIDRIÁN, 2001

No caso do clima de Salvador, a distância de 60m, por exemplo, a 500Hz, a atenuação do som durante sua propagação devido a absorção do ar é: $A_{ar} = 2,9 \times 60 / 1.000 \rightarrow 0,17\text{dB}$, ou seja, desprezível.

As atenuações devido a gradientes de temperatura, ventos e absorção atmosférica são ignorados na maioria dos métodos de previsão de ruído devido a grande instabilidade dos mesmos. A absorção atmosférica não é importante para o caso de ruído de transportes devido à longa distância de propagação do som necessária para que este mecanismo se torne significativo. Portanto, os efeitos atmosféricos podem ser muito importantes para a medição de níveis de ruído, mas não o são na sua previsão em situações de análises onde o receptor está próximo a fonte sonora (MHU, 1988).

Os conceitos da Óptica têm relação direta com o som e são similares em diversos aspectos. Será apresentado um breve histórico da evolução das teorias relacionadas a essa parte da Física, responsável pela base do conhecimento atual sobre propagação sonora.

Os gregos se interessavam muito por fenômenos luminosos, pois buscavam compreender o mecanismo da visão. Aristóteles (384-322 a.C.) entendia claramente a natureza vibratória do som e, por comparação deu uma explicação para a luz. Segundo ele, da mesma forma que a voz humana põe em movimento o ar ambiente que agita algum elemento do ouvido, o objeto luminoso vibra. Até o século XVII o progresso científico e tecnológico no ramo da Óptica envolvia, essencialmente, os fenômenos de reflexão e refração. A partir da segunda metade do século XVII outros fenômenos básicos da óptica como difração, interferência e polarização foram descobertos (ROCHA, 2002).

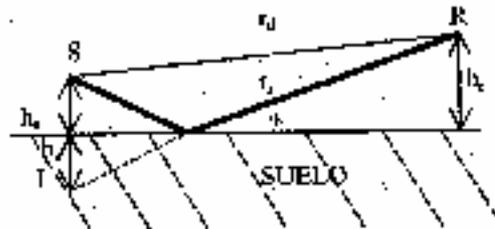
A reflexão da luz, assim como do som, é um fenômeno caracterizado pela mudança de direção do feixe de luz ao encontrar uma superfície que delimita dois meios diferentes, sem que o feixe mude de meio. Se a superfície for polida, tem-se a reflexão especular, nesse caso haverá um feixe unidirecional refletido. Se a superfície for irregular, tem-se a reflexão difusa, onde cada pequeno trecho da superfície terá inclinação diferente e os raios refletidos se espalharão em todas as direções (ROCHA, 2002).

O matemático grego Euclides de Alexandria (323-285 a.C.) descreveu o comportamento do feixe luminoso refletido por espelhos planos, côncavos e convexos, portanto, sendo capaz de apresentar a “Lei de Reflexão da Luz” que afirma que o ângulo de incidência é igual ao

ângulo de reflexão. Depois de mil anos, por volta de 1038 d.C., essa Lei foi completada pelo físico e matemático iraquiano Al-Hazen, ao enfatizar que o raio incidente, o raio refletido e a normal estão no mesmo plano (ROCHA, 2002).

Em meados do século III a.C. o matemático grego Arquimedes de Siracusa (283-212 a.C.) faz referências a espelhos que apresentem a propriedade de concentrar em pontos, denominado de focos (ROCHA, 2002). Em acústica arquitetônica sabe-se que focalizações sonoras devem ser evitadas, pois proporcionam deficiências sonoras no ambiente, portanto, paredes côncavas são prejudiciais por produzirem esse tipo de fenômeno, enquanto, que superfícies convexas distribuem o som no ambiente, melhorando a qualidade acústica da sala.

A atenuação do solo (A_{solo}) é o resultado da interferência entre o som direto e o refletido pelo solo, depende em grande parte do tipo de superfície do mesmo, do ângulo de elevação, da diferença de caminhos ($r_d - r_r$) e da frequência do som como mostra a figura 07. Para pequenas distâncias (menores de 100m) o caminho dos raios sonoros pode ser aproximado por linhas retas. Sobre um solo refletor plano o som (S) chega ao receptor (R) a partir da fonte sonora por dois caminhos, o caminho direto (r_d) e o caminho refletido pelo solo (r_r) como está demonstrado figura 07 (SANCHIDRIÁN, 2001).



Fonte: SANCHIDRIÁN, 2001
Figura 07 – Reflexão do solo

As árvores e arbustos são barreiras muito deficientes para o som. No caso de uma vegetação espessa capaz de interceptar a onda sonora então deve ser considerada a atenuação que ela produz (SANCHIDRIÁN, 2001). É comum a utilização em aeroportos dessa tipologia de barreira.

A refração em Óptica resulta da mudança da velocidade da luz quando esta atravessa a superfície de separação de dois meios transparentes de propriedade ópticas diferentes. Parece ter sido o astrônomo e filósofo grego Cleomedes (século I a.C.) o primeiro a estudar

seriamente os fenômenos da refração. Na obra de Cláudio Ptolomeu (85-165 d.C.) onde se encontram os conceitos mais perfeitos e os cálculos mais exatos referentes a Óptica, na Antiguidade, pois pela primeira vez foi realizada uma tentativa de se estudar analiticamente o fenômeno da refração. Christiaan Huygens sugeriu em 1678 que o índice de refração de qualquer meio é determinado pela velocidade com que a luz o atravessa, sendo que essa velocidade é alterada na passagem da luz de um meio para outro. Entretanto, esse índice não depende só das propriedades do meio, mas também da própria cor da luz. Isaac Newton descobriu que a luz branca é uma mistura heterogênea de todas as cores e observou que ao passar pelo prisma a luz branca simplesmente é separada em seus raios componentes sem produzir mudança no feixe. Apesar do espectro não mostrar cores nitidamente limitadas, Newton também teve a idéia de estabelecer relações entre elas e os sons da escala musical (ROCHA, 2002).

Quando a velocidade de propagação do som em um meio material varia, ocorre o fenômeno da refração, que é provocada pelo vento e por gradientes de temperatura. Quando o som passa de um meio para outro ocorre o fenômeno da refração e a direção de propagação sonora é modificada por um determinado fator. O som se propaga melhor a favor do vento do que contra e a velocidade do vento aumenta da superfície da terra para a atmosfera. A velocidade real do som será a sua velocidade normal de propagação menos ou mais a velocidade do vento. Como o vento tende a ser maior quanto maior a altitude, se o vento soprar em sentido contrário à propagação das ondas sonoras, o som será defletido para cima. O mesmo fenômeno é observado quando há gradiente de temperatura na atmosfera, ou seja, quando a temperatura diminui com a altura (o que ocorre normalmente) e a velocidade do som é menor para o ar mais frio, os raios sonoros tendem a se desviar da sua direção original, tomando uma curvatura ascendente. Por isso a percepção da intensidade desse som próximo ao solo tende a diminuir bastante com a distância. Tais influências no alcance do som são importantes na sua transmissão pela atmosfera (NEPOMUCENO, 1968). Isso permite concluir que o principal efeito meteorológico é a refração produzida pelos gradientes verticais de vento e temperatura. É correto afirmar, portanto, que em Salvador o som tende a subir.

A difração, isto é, o desvio em relação à direção de propagação retilínea que ocorre quando a luz ou o som se propaga para além de um obstáculo, foi descoberta pelo físico jesuíta italiano Francesco Grimaldi (1618-1663). O fato de os efeitos da difração serem difíceis de observar justifica sua não descoberta há mais tempo. Grimaldi mostrou o aparecimento de sombras por

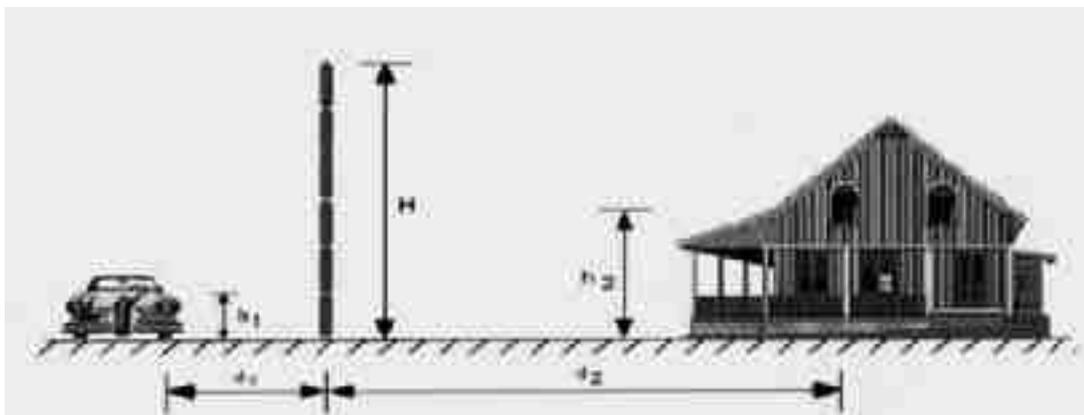
conta desse fenômeno. No início do século XIX, o trabalho do engenheiro francês Augustin-Jean Fresnel (1788-1827) esclareceu que a difração se torna cada vez menos pronunciada à medida que as dimensões da abertura se tornam progressivamente maiores que o seu comprimento de onda. Para aberturas suficientemente grandes, os efeitos de difração são desprezíveis (ROCHA, 2002).

É fato que o som, ao contrário da luz, contorna obstáculos e é capaz de atravessar caminhos relativamente tortuosos. As baixas frequências representam uma difração maior que as altas e quando o obstáculo não é muito grande se comparado ao comprimento de onda (Figura 08), ocorre o fenômeno de espalhamento e quando o objeto é muito grande acontece a sombra acústica. A difração é um fenômeno tipicamente ondulatório (NEPOMUCENO, 1968).



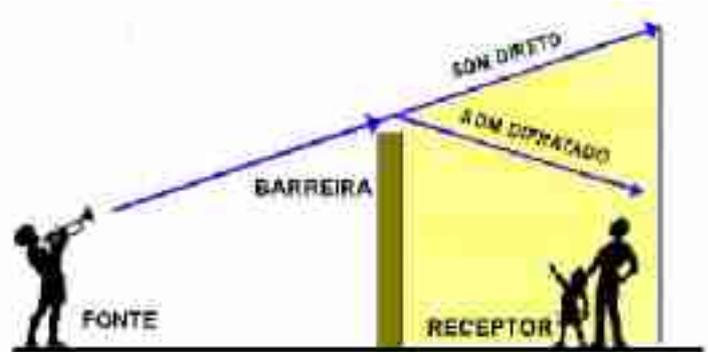
Fonte: NEPOMUCENO, 1968
Figura 08 – Difração para frequências diferentes

A presença de uma barreira bloqueia a linha direta de visão entre a fonte e o receptor, causando atenuação por difração. O som gerado pela fonte chega de forma atenuada aos observadores, devido à difração no topo da barreira. A altura necessária deve ser calculada em função das distâncias até a fonte sonora e até o receptor, além de ser considerada também a altura desses elementos, como pode ser observado na figura 09.



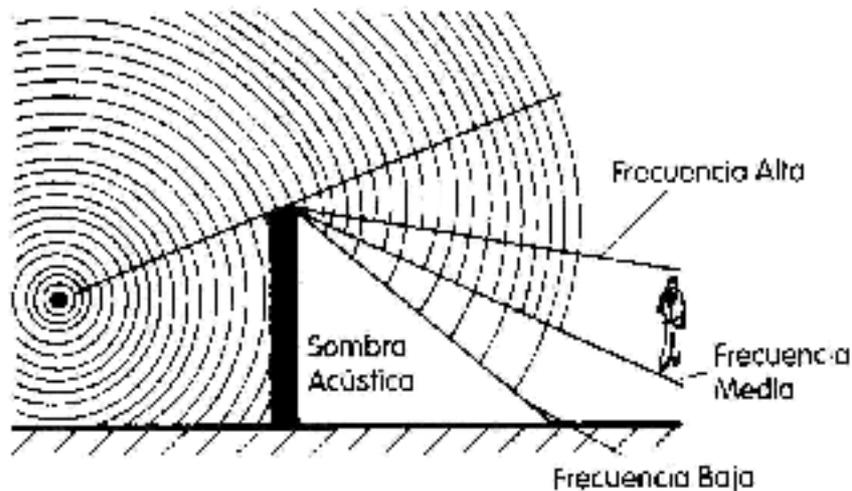
Fonte: SOMAX, 2006
Figura 09 – Esquema para cálculo de barreira acústica

Quanto mais alta a barreira e mais alta for a frequência maior será a zona de sombra acústica. A atenuação depende da altura, da posição da barreira e da longitude de onda do som, como está explícito nas figuras 10 e 11. A barreira não necessita ser construída com grande densidade superficial (kg/m^2), ou seja, o aumento da massa não implica em aumentar o valor da perda por inserção, mas deve ser de no mínimo $18\text{kg}/\text{m}^2$.



Fonte: PAZOS, 2004

Figura 10 – Esquema de barreira acústica em perfil



Fonte: GERGES, 1988

Figura 11 – Influência de barreiras na difração de ondas sonoras de diferentes frequências

Assim como a difração, a interferência é um fenômeno tipicamente ondulatório. A interferência óptica consiste na interação entre duas ou mais ondas de luz com a geração de um efeito luminoso que difere da simples soma dos efeitos de cada onda em separado. Esse fenômeno foi observado pelo inglês Robert Hooke em 1665 (ROCHA, 2002). As características da interferência sonora permitem que uma onda sonora anule a outra ou, por conta das dimensões da sala, sejam formadas ondas estacionárias em determinados pontos,

principalmente, próximos às paredes. Esse fenômeno existe intensamente em ambientes fechados de pequenas dimensões.

O físico francês Augustin-Jean Fresnel deu grandes contribuições à ótica e detalha os cálculos capazes de explicar a reflexão e a difração. Ele aperfeiçoa sua teoria da difração supondo um somatório de ondas de todos os pontos e desenvolveu a teoria ondulatória. A *Fresnel-zone* é a elipsóide de revolução que define o volume da expansão das ondas a partir da fonte sonora.

A atenuação do NPS com a distância depende da característica da distribuição das fontes sonoras, que podem, segundo Gerges (1998), ser das seguintes formas: Fontes pontuais simples (o som provem de um único ponto), Fonte linear (como o fluxo de veículos de uma via), Fontes pontuais em linha (várias máquinas em linha); e Fonte plana (fuga de ruído através de uma fresta). Uma linha de metrô se configura como uma fonte linear, cuja propagação sonora ocorre gerando 3dB de atenuação cada vez que é duplicada a distância. Esse valor pode ser confirmado na relação entre NPS_1 (na distância r_1) e NPS_2 (em r_2), que em uma mesma direção está dada pela fórmula:

$$NPS_1 - NPS_2 = 10\log(r_2/r_1)$$

Caso a situação estudada fosse em uma área livre de interferências externas, segundo a aplicação direta da fórmula acima, produziria o resultado a seguir, que representa a duplicação das distâncias em relação a fonte sonora (Figuras 12 e 13).

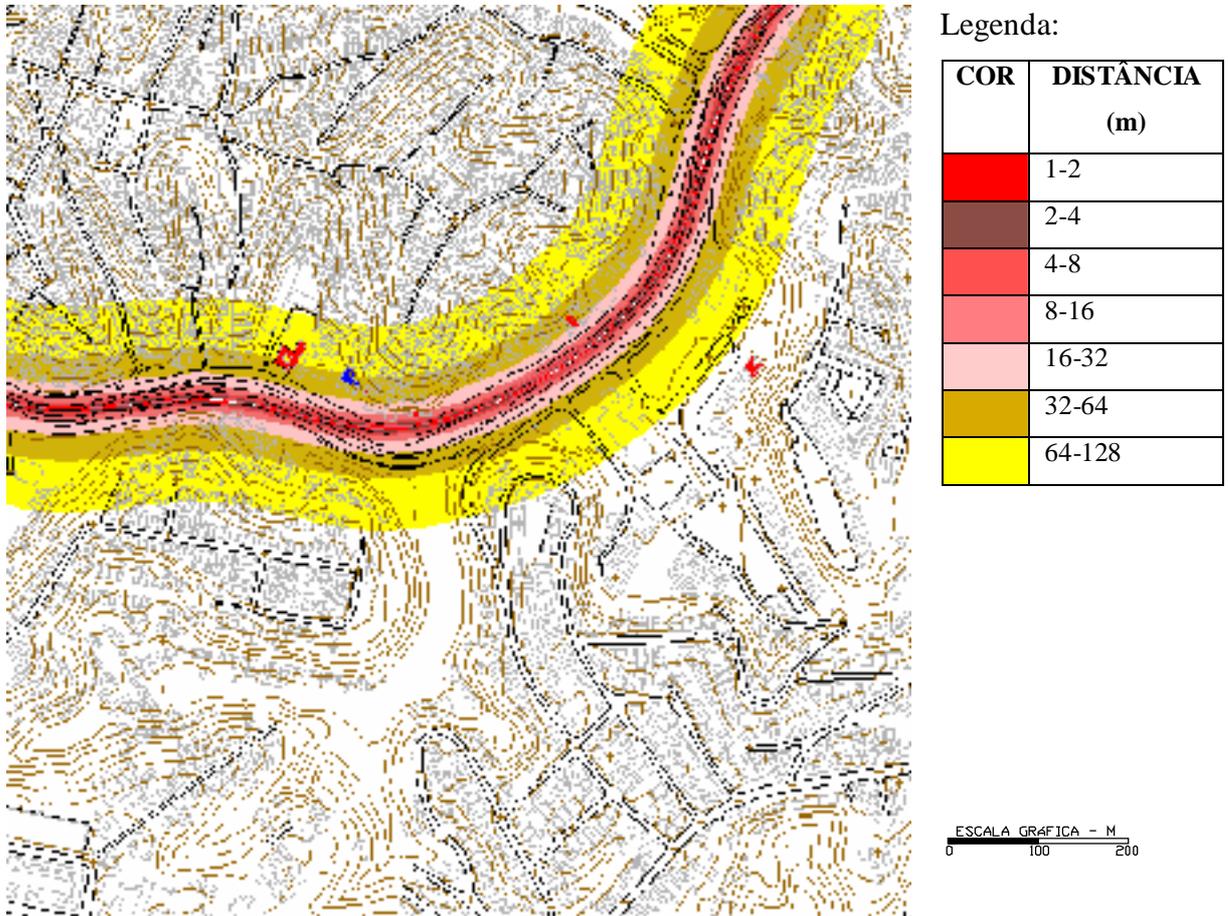


Figura 12 – Fatiamento referente à distância em campo livre (Spring)

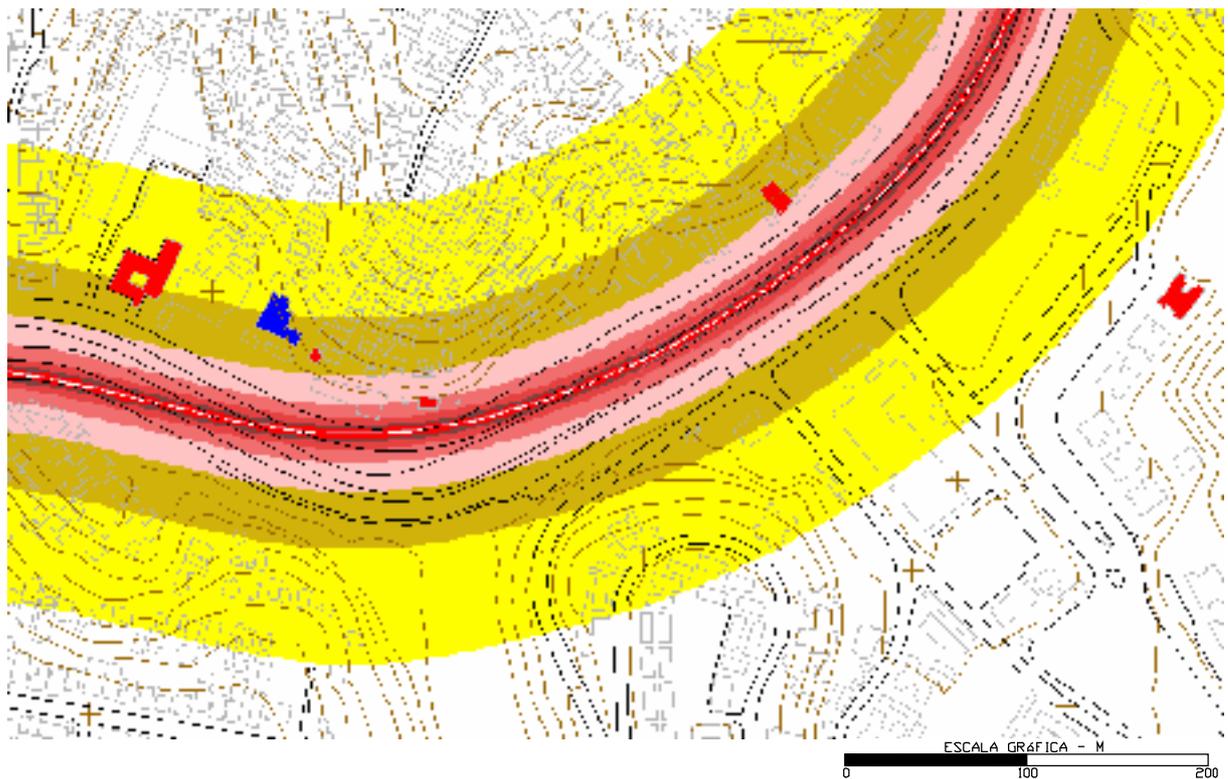


Figura 13 – Fatiamento referente à distância em campo livre, aproximado (Spring)

No caso de uma fonte pontual simples unidirecional ao ar livre o NPS em uma determinada distância pode ser obtido pela fórmula (GERGES, 1998):

$$NPS_1 - NPS_2 = 20\log(r_2/r_1)$$

Portanto, pode-se encontrar o ruído em qualquer distância r_2 a partir de um nível medido a qualquer outra distância r_1 (GERGES, 1998). Essa informação é muito importante na execução dos cálculos de propagação sonora, apesar de ter que ser levado em consideração também as reflexões advindas de uma região não plana e densamente construída. No entanto, os resultados para edificações próximas foram muito semelhantes usando a aplicação direta dessa fórmula simplificada e a expressão complexa do modelo de propagação escolhido para trabalhar. Isso pode ser comprovado na análise dos resultados.

Josse (1975) afirma que quando o ponto de observação é muito próximo a via, o NPS se reduz de 3dB cada vez que é dobrada a distância.

O caminho do som muda com o aumento da distância que se vai estabelecendo entre o observador receptor e a fonte (a onda sonora sai do campo livre e entra no campo difuso) a depender do tamanho, da forma, da intensidade com que essa se manifesta, das características ambientais e da corrente dos ventos. Considerando que a fonte é externa e se pretende estabelecer o seu monitoramento, a energia que é radiada sobre uma determinada área obedece a uma certa proporcionalidade que é estabelecida pela lei do quadrado das distâncias. Para o campo livre (sem reflexões) há um decréscimo proporcional a 6dB a cada duplicação da distância. Para o campo semi-livre o decréscimo é de 3dB a cada duplicação da distância em que ocorre o afastamento da fonte, o que pode ser comprovado na aplicação direta da fórmula acima, pois $\log 2 = 0,3$ (GERGES, 1998).

Uma propriedade importante de qualquer fonte é a potência sonora “W” ou energia acústica total emitida. A potência sonora depende apenas da própria fonte, não importando o meio em que ela se encontre. O ambiente influencia na pressão acústica (NPS) pela introdução de absorção e reflexões, mas não interfere no Nível de Potência Sonora (NWS ou N_w ou L_w) que é obtido com a aplicação da expressão (GERGES, 1998):

$$NWS = NPS + 10\log S$$

Onde:

S – área da superfície por onde o som irá se espalhar.

Fontes pontuais em campo livre: $S = 4\pi r^2$

Fontes pontuais em superfície semi-esférica: $S = 2\pi r^2$

Fontes lineares em superfície semi-cilíndrica (tráfego): $S = \pi r$

Como o metrô se caracteriza como uma fonte linear foram calculados o NWS em cada cenário de acordo com a fórmula para espaços semi-cilíndricos, mas em um dos cenários em nível comparativo foi também calculado como superfície semi-esférica. O que será melhor compreendido na explanação da metodologia.

4.3. SAÚDE, PERCEPÇÃO E ADAPTAÇÃO.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) (WHO, 1999), “Saúde é o estado de completo bem-estar físico, mental e social e não a ausência de doenças e enfermidades”. O sentido amplo dessa definição demonstra que para alguém se considerar saudável deve dispor de um ambiente que lhe proporcione um estado de completa satisfação (MOTA, 1997).

Ainda de acordo com a OMS (WHO, 1999), o efeito do ruído na saúde é definido como uma mudança na morfologia e fisiologia de um organismo que resulta em perda de capacidade funcional, ou perda de capacidade para compensar estresse adicional, ou aumento da susceptibilidade do organismo para doenças devido a outras influências ambientais. Esta definição inclui qualquer perda temporária ou permanente das funções físicas, psicológicas ou sociais do homem.

Além de atrapalhar as atividades normais, a poluição sonora pode causar diversos danos à saúde e tem reflexos em todo o organismo e não apenas no aparelho auditivo, que vão de uma simples dor de cabeça ao enfarte. O parâmetro de 55dB(A) da OMS se refere ao ruído contínuo em ambientes externos e objetiva proteger a maioria das pessoas de terem sérios problemas relacionados ao ruído. O guia para o ruído comunitário relata também que ao se expor a NPS acima de 50dB(A) a população já sente efeitos negativos moderados (WHO, 1999).

Apesar de comumente ficar em segundo plano, diante da poluição do ar e da água, o ruído, assim como uma droga, pode viciar. Por isso muitas pessoas só conseguem dormir com o rádio ou TV ligados, o que impede o descanso por completo do organismo. A ativação permanente do sistema nervoso simpático do morador da metrópole pode condicionar negativamente a sua atuação com as agressões. Alguns procuram se livrar dessa reação, por

tornar-se desagradável (palpitação) usando drogas (tranqüilizantes ou cigarro) para bloqueá-la. A falta de irrigação muscular pode levar a gangrena nos membros, o corpo cai na pior contradição: atacado sem saber bem porquê e como se defender, devido ao bloqueio das reações naturais do organismo. Trata-se de um conflito gerador de ansiedade, já que o nível de ruído no ambiente urbano está quase sempre acima dos limites do equilíbrio, abrindo caminho para estresses crônicos. Certas áreas do cérebro acabam perdendo a sensibilidade a neurotransmissores, rompendo o delicado mecanismo de controle hormonal. Esse processo aparece também no envelhecimento normal e ataca os mais jovens, que se tornam prematuramente velhos num ambiente estressante. Os efeitos no sono não são menos importantes pela sua nobre função (SOUZA, 1992).

O ruído estressante libera substâncias excitantes no cérebro, tornando as pessoas sem motivação própria, incapazes de suportar o silêncio. Libera também substância anestésica, tipo ópio e heroína, que provoca prazer, abrindo campo para o uso de fortes drogas psicotrópicas. As pessoas tornam-se viciadas, dependentes do ruído, paradoxalmente caindo em depressão em ambiente com silêncio salutar, permanecem agitadas, incapazes de reflexão e meditação mais profunda (SOUZA, 1992). A tabela 05 demonstra alguns ruídos inseridos no cotidiano das pessoas e seus efeitos.

TABELA 05 – IMPACTOS DO RUÍDO

| NPS | EFEITOS NEGATIVOS |
|----------------|--|
| Até 50 dB | Nenhum |
| De 50 a 65 dB | Diminui a concentração e prejudica a produtividade no trabalho intelectual |
| De 65 a 70 dB | Diminui a resistência imunológica. Induz a liberação de endorfina, tornando o organismo dependente. Aumenta a concentração de colesterol no sangue |
| Acima de 70 dB | Aumentam os riscos de enfarte, infecções, entre outras doenças sérias. Ocorrem alterações do sistema auditivo. |

Fonte: MANZANA, 1998

Não há um lugar calmo nas cidades do homem branco. Nenhum lugar para escutar o desabrochar de folhas na primavera ou o bater das asas de um inseto. O ruído parece apenas insultar os ouvidos. E o que resta da vida, se um homem não pode escutar o choro solitário de um pássaro ou o couxo dos sapos em volta de uma lagoa a noite? - Chefe Seattle, extraído do manifesto ao Presidente dos EUA, em 1855, em resposta à sua proposta de compra das terras indígenas (FREITAS, 1990).

Alguns limites de intensidade:

- a. O padrão de conforto auditivo é de 70dB(A) (WHO, 1999).
- b. Ruído com intensidade de até 55dB(A) protege a população de danos tanto físicos quanto psíquicos (WHO, 1999).
- c. Ruídos de 56dB(A) a 75dB(A) podem incomodar, sendo considerado a partir daí o início do estresse auditivo (WHO, 1999).
- d. Ruídos de 76dB(A) a 85dB(A) podem afetar a saúde, e acima dos 85dB(A), a saúde será afetada, a depender do tempo da exposição. Uma pessoa que trabalha 8 horas por dia com ruídos de 85dB(A) terá, fatalmente, após 2 anos, problemas auditivos e futuramente perda total da audição. Os que trabalham em discotecas, fábricas de armamentos e aeroportos estão expostos a estes tipos de ruídos.
- e. O L_{eq} de 65dB(A) é considerado, pela medicina preventiva, como o nível máximo ao qual um indivíduo pode se expor sem ter danos na saúde (MASCHKE, 1999).
- f. Ruídos eventuais que alcançam volumes muito altos, um trio elétrico, por exemplo, chega facilmente a 130dB(A), o que pode provocar surdez temporária ou permanente.
- g. Para um bom sono acredita-se que o NPS dentro do quarto não deve exceder, aproximadamente, 45dB(A) mais do que 15 vezes por noite (WHO, 1999).
- h. À noite, o NPS fora das fachadas dos locais de moradia não deve exceder 60dB(A), pois dessa forma permitem que as pessoas possam dormir com as janelas abertas, visto que a redução do ruído de fora para dentro com as janelas parcialmente abertas é de 15dB(A) (WHO, 1999).
- i. Efeitos cardiovasculares estão associados com uma longa exposição durante às 24h do dia a ruídos de tráfego entre 65-70dB(A) ou maiores (WHO, 1999).
- j. Existem evidências compatíveis que demonstram que ruídos acima de 80dB(A) estão associados com a redução do comportamento solidário e com o crescimento do comportamento agressivo (WHO, 1999).
- k. Para tornar compreensível a mensagem falada em escolas durante uma aula o ruído de fundo não deve exceder 35dB(A) (WHO, 1999).
- l. Durante à noite em hospitais o NPS não deve superar 40dB(A) e quando os pacientes estiverem em observação não dever passar de 35dB(A) (WHO, 1999).

A maioria das pessoas dorme de olhos fechados e pelo menos na penumbra, anulando a percepção visual responsável por mais de 90% das informações recebidas pelo homem. Mas, a audição, o segundo sentido em quantidade de informação, mantém seus canais abertos, varrendo de 360° o nosso espaço circundante a partir do nosso nicho, para detectar qualquer

sinal de perigo. Para a pessoa dormindo no silêncio, o sono é liberado para se instalar na melhor qualidade. Caso contrário, o organismo, mesmo dormindo, começa manifestar gradualmente seu alerta. A poluição sonora, portanto, piora significativamente a qualidade absoluta do sono, acarretando pior desempenho físico, mental e psicológico e perda provável da alerta auditiva. Está comprovado também que um nível de ruído diurno elevado provoca um sono noturno pior, com maiores períodos acordados (SOUZA, 2000).

Um sono ininterrupto é tido como pré-requisito para o bom funcionamento psicológico e mental da saúde das pessoas e o distúrbio do sono é considerado o principal efeito do ruído ambiental. É estimado que 80% a 90% dos casos relatados de distúrbio no sono em ambientes ruidosos são devido a ruídos originados externamente (WHO, 1999).

Distúrbios do sono e da saúde em geral no cidadão urbano, devidos direta ou indiretamente ao ruído, por meio do estresse ou perturbação do ritmo biológico, foram revistos na literatura científica dos últimos 20 anos. Em vigília, o ruído de até 50dB(A) provoca estresse leve, excitante, causando dependência, e levando a durável desconforto. O estresse degradativo do organismo começa a cerca de 65dB(A) com desequilíbrio bioquímico, aumentando o risco de enfarte, derrame cerebral, infecções, osteoporose etc. Provavelmente, a 80dB(A) já libera morfina biológica no corpo, provocando prazer e completando o quadro de dependência. Em torno de 100dB(A) pode haver perda imediata da audição. Por outro lado, o sono, a partir de 35dB(A), vai ficando superficial e à 75dB(A) atinge uma perda de 70% dos estágios profundos (SOUZA, 2000).

Estudos mostraram que pessoas morando em áreas expostas a ruídos noturnos têm aumentado o uso de sedativos ou pílulas para dormir (WHO, 1999). Uma pesquisa realizada em Belgrado demonstrou que pessoas que residem em ruas ruidosas tinham mais dificuldade para dormir, acordavam mais vezes durante o sono, tinham pior qualidade do sono e tinham a sensação de cansaço após o sono (BELOJEVIC e JAKOVLJEVIC, 1997).

Em se tratando de ambientes de trabalho este deve dispor de um conjunto de fatores capazes de proporcionar conforto térmico, acústico, vibratório e lumínico, além de garantir a qualidade do ar. A satisfação do trabalhador é um elemento importante em sua qualidade de vida, aumentando a probabilidade de se produzir um trabalho de qualidade.

A Portaria do Ministério do Trabalho nº 3.214/78 (BRASIL, 1988) da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) trata da questão do ruído ocupacional e expõe limites de tempo ante à exposição ao ruído (Tabela 06). Esta Portaria só é válida para ambientes industriais onde existe ruído de máquinas e processos ruidosos.

TABELA 06 – LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA RUÍDO CONTÍNUO OU INTERMITENTE

| NÍVEL DE RUÍDO dB(A) | MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL |
|---------------------------------|--|
| 85 | 8 horas |
| 86 | 7 horas |
| 87 | 6 horas |
| 88 | 5 horas |
| 89 | 4 horas e 30 minutos |
| 90 | 4 horas |
| 91 | 3 horas e trinta minutos |
| 92 | 3 horas |
| 93 | 2 horas e 40 minutos |
| 94 | 2 horas e 15 minutos |
| 95 | 1 hora |
| 96 | 1 hora e 45 minutos |
| 98 | 1 hora e 15 minutos |
| 100 | 1 hora |
| 102 | 45 minutos |
| 104 | 35 minutos |
| 105 | 30 minutos |
| 106 | 25 minutos |
| 108 | 20 minutos |
| 110 | 15 minutos |
| 112 | 10 minutos |
| 114 | 8 minutos |
| 115 | 7 minutos |

Nota: Entende-se por ruído contínuo ou intermitente, para fins de aplicação de Limites de Tolerância, o ruído que não seja ruído de impacto.

Fonte: BRASIL, 1988

No caso dos hospitais, escolas, hotéis, residências, auditórios, restaurantes, escritórios, templos e locais para esporte, o nível de pressão sonora deve ser muito menor que 85dB(A) conforme explicito na tabela 07 da NBR 10.152 (ABNT, 2000). Essa tabela é um importante instrumento de análise para essa pesquisa e será referenciada em muitas etapas das reflexões dos resultados obtidos.

TABELA 07 – VALORES RECOMENDADOS PARA CONFORTO ACÚSTICO DE AMBIENTES INTERNOS

| LOCAIS | | dB(A) | NC |
|---------------------|---|-------|-------|
| Hospitais | | | |
| | Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros Cirúrgicos | 35-45 | 30-40 |
| | Laboratórios, Áreas para uso público | 40-50 | 35-45 |
| | Serviços | 45-55 | 40-50 |
| Escolas | | | |
| | Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho | 35-45 | 30-40 |
| | Salas de aula, Laboratórios | 40-50 | 35-45 |
| | Circulação | 45-55 | 40-50 |
| Hotéis | | | |
| | Apartamentos | 35-45 | 30-40 |
| | Restaurantes, Salas de Estar | 40-50 | 35-45 |
| | Portaria, Recepção, Circulação | 45-55 | 40-50 |
| Residências | | | |
| | Dormitórios | 35-45 | 30-40 |
| | Salas de estar | 40-50 | 35-45 |
| Auditórios | | | |
| | Salas de concerto, Teatros | 30-40 | 25-30 |
| | Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo | 35-45 | 30-35 |
| Restaurantes | | 40-50 | 35-45 |
| Escritórios | | | |
| | Salas de reunião | 30-40 | 25-35 |
| | Salas de gerência, Salas de projetos e da administração | 35-45 | 30-40 |
| | Salas de computadores | 45-65 | 40-60 |
| | Salas de mecanografia | 50-60 | 45-55 |
| Templos | | 40-50 | 35-45 |
| Locais para esporte | | | |
| | Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas | 45-60 | 40-55 |

Notas:

a) O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto (NC), enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade.

b) Níveis superiores aos estabelecidos nesta tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde.

Fonte: ABNT, 2000

O ouvido humano é o mais sofisticado sensor de som, representa um sistema bastante sensível, delicado, complexo e discriminativo, pois permite perceber e interpretar o som, no entanto o sistema auditivo se deteriora devido a exposição prolongada ao ruído (GERGES, 1998). É importante ressaltar que um fator de grande importância, em qualquer tipo de perda de audição, é a suscetibilidade individual. Indivíduos que se encontram num mesmo local

ruidoso podem se comportar de maneira diferente. Alguns são extremamente sensíveis ao ruído e outros parecem não ser atingidos pelo mesmo. Deve ser considerada também a existência da perda natural da audição com a idade, o que se denomina presbiacusia.

O ouvido humano não é igualmente sensível a todas as frequências, sendo mais sensível nas bandas de 2.000Hz a 5.000Hz e menos sensível para frequências extremamente altas ou baixas. Por exemplo, um tom de 100Hz deve ter um nível de 85dB para proporcionar a mesma audibilidade, ou seja, sensação auditiva, de um tom de 1.000Hz a um nível de 80dB (GERGES, 1998).

Os principais efeitos negativos tanto psicológicos quanto fisiológicos da exposição à poluição sonora estão expostos na tabela 08 e serão justificados logo a seguir.

TABELA 08 – EFEITOS NEGATIVOS DA POLUIÇÃO SONORA

| PSICOLÓGICOS | FISIOLÓGICOS |
|--|--------------------------------|
| Distúrbios do sono | Perda da capacidade auditiva |
| Estresse | Surdez |
| Irritabilidade | Dores de cabeça |
| Dificuldade de concentração | Alergias |
| Perda dos reflexos | Distúrbios digestivos |
| Insegurança quanto à eficiência dos atos | Distúrbios cardiovasculares |
| Embaraço nas conversações | Contração dos vasos sanguíneos |
| Perda da inteligibilidade das palavras | Fadiga |
| Loucura | Gastrite |
| Perda de apetite | Distúrbios hormonais |
| Redução da potência sexual | Vertigem e desmaio |
| Ansiedade | Aumento da frequência cardíaca |
| Cansaço | Dilatação da pupila |
| Mudanças na conduta e no humor | Diarréia ou prisão de ventre |
| Depressão | Reação muscular |
| Histeria | Náuseas |
| Neuroses | Instabilidade |

Fonte: MEDEIROS, 1999; GERGES, 1998; WHO, 1999

Um grande tempo de exposição a um ruído intenso pode causar sobrecarga do coração causando secreções anormais de hormônios e tensões musculares. O efeito dessas alterações aparece em forma de mudanças de

comportamento, tais como: nervosismo, fadiga mental, frustração, dificuldade no desempenho do trabalho, provocando também altos índices de ausência na empresa. Existem queixas de alterações mentais e emocionais que aparecem como irritabilidade, fadiga e mau comportamento em diferentes situações e conflitos sociais entre operários expostos ao ruído (GERGES, 1998, p. 53).

Os principais efeitos do ruído nos órgãos do corpo humano estão descritos na figura 14.



Fonte: GERGES, 1998
Figura 14 – Efeitos no homem

Entre os efeitos do ruído no organismo o mais conhecido e estudado é o que se produz na audição por ser mais direto e já ter sido detectado há muitos anos. A exposição a níveis de ruído intenso durante um período de tempo significativo ocasiona perdas de audição, que se em um princípio são recuperáveis quando o ruído cessa, com o tempo pode chegar a ser irreversível, convertendo-se em surdez (MANZANA, 1998).

O resultado de uma pesquisa realizada em Curitiba-PR demonstra que parte da população já consegue identificar as reações frente ao ruído, sendo as principais: irritabilidade (58%), baixa concentração (42%), insônia (20%) e dores de cabeça (20%) (ZANNIN *et al.*, 2002).

As crianças estão mais vulneráveis a exposição ao ruído e as evidências sobre os efeitos da poluição sonora na saúde delas são fortes o suficiente para haver grande preocupação nesse sentido, principalmente, nas escolas (WHO, 1999).

Handicap segundo a Academia Americana de Otorrinolaringologia é uma deficiência auditiva tal que seja capaz de afetar a eficiência das pessoas em sua vida cotidiana (MANZANA, 1998). A capacidade auditiva se mede em termos da capacidade de ouvir tons puros, em particular os correspondentes as freqüências mais importantes para a compreensão da palavra, que estão entre 500 a 4.000Hz.

O efeito do ruído sobre o indivíduo depende de vários fatores que afetam o ruído, as pessoas e o momento em que se produz a ação. São os seguintes:

- a. Características do ruído: intensidade, duração, espectro de freqüência, tipo de ruído (contínuo, intermitente, impulsivo).
- b. Características da pessoa: idade, sexo, hábitos de descanso, susceptibilidade individual ao ruído, referências psicológicas diante de determinado ruído.
- c. Momento em que se produz: dia ou noite, no trabalho, em casa, em períodos de descanso ou de concentração.

Segundo Azevedo (1984), de forma simplificada expôs que os fatores que devem ser avaliados nas análises dos efeitos do ruído são:

- a. tempo de exposição..
- b. níveis de intensidade sonora.
- c. freqüência ou freqüências contidas no ruído.
- d. sensibilidade de cada indivíduo.
- e. Idade.

A conseqüência mais evidente do ruído é a surdez. Segundo Santos (2005), a surdez pode ter naturezas diferentes:

- a. *Surdez de condução*: causada por infecção, perfuração do tímpano ou acúmulo de cera.
- b. *Surdez nervosa*: redução da sensibilidade das células nervosas. Essa insensibilidade pode ocorrer, principalmente, nas faixas de maior freqüência, acima de 1.000 Hz e em função da idade, sobretudo após os 40 anos. Os homens apresentam uma perda auditiva mais rápida do que as mulheres, principalmente na faixa de 2.000 a 4.000 Hz.
- c. *Surdez temporária ou permanente*: a exposição diária a um certo NPS elevado, durante a jornada de trabalho ou a algum outro evento, sempre provoca algum tipo de surdez temporária, que tende a desaparecer com o descanso diário (desaparece num intervalo de

24 a 48 horas). Fatores diversos como frequência, intensidade e tempo da duração da exposição podem influir de modo a não haver mais a recuperação, tendendo a um efeito cumulativo, nestes casos a surdez temporária passa a ser permanente e irreversível.

Ainda se tratando dos efeitos auditivos, Santos (1999) destaca três alterações de audição causadas pela exposição ao som intenso, que são:

- a. Trauma Acústico: perda auditiva provocada pela exposição a ruído abrupto e muito intenso (ex: tiros, explosões). Normalmente é unilateral e acompanhada de zumbido.
- b. Alterações Transitórias da Audição: ocorre devido a exposição prolongada a sons intensos, causando uma redução na sensação auditiva, mas que cessada a exposição retorna ao normal.
- c. Alterações permanentes da função auditiva: exposições prolongadas e repetidas a sons de intensidade elevada, não havendo tempo de repouso de uma exposição a outra.

O ruído intenso causa vibrações da membrana basilar, que provocam cortes nas células e, conseqüentemente, distorções das células piliares e das fibras nervosas. As células nervosas do ouvido humano adoecem e morrem, portanto, o processo de perda de audição é irreversível (GERGES, 1998).

No mundo, a Perda Auditiva Induzida pelo Ruído (PAIR) é o mais prevalente risco ocupacional, mas em muitos países não somente o ruído ocupacional, mas também o ruído ambiental está aumentando o risco de perda auditiva. Em 1995, o Congresso Mundial de Saúde estimou que existem 120 milhões de pessoas no mundo com incapacidade para ouvir. Estudos epidemiológicos não encontraram danos auditivos em população exposta a $L_{eq,24h}$ menor que 70dB(A) (WHO, 1999).

A PAIR provoca morte lenta e gradual das células do ouvido interno (cóclea), gerando zumbidos e distorções sonoras (FERREIRA JUNIOR, 2000). A PAIR é considerada a maior causa de déficit auditivo apresentada pela população nos dias atuais, no entanto, ocorre normalmente e quando o indivíduo percebe a perda auditiva já está em um grau elevado (SCHOCHAT, DIAS e MOREIRA, 1998).

O potencial do prejuízo à saúde de um determinado ruído depende não somente do seu nível, mas também de sua duração, por isso a importância de estabelecer um valor único L_{eq} , estando o método de cálculo desse parâmetro definido na NBR 10.151 (ABNT, 1987), e os

medidores de ruído são capazes de executar automaticamente esses cálculos. A análise estatística do ruído proporciona informações valiosas com relação as causas do dano à audição, por exemplo, o nível denominado L_{90} , define o ruído de fundo e representa o valor acima do qual os demais níveis permanecem 90% do tempo total, sendo que da mesma forma se define L_{50} e L_{10} . Os três níveis são usualmente utilizados, sendo L_{10} o mais usado para estudos de ruído de trânsito, pois se trata de um ruído inconstante, onde é interessante trabalhar com as piores situações que se demonstram nos picos (GERGES, 1998).

O incômodo com o ruído é a resposta de experiências pessoais e tem sua base na natureza indesejada de alguns sons, na atividade que está sendo afetada ou interrompida pelo ruído, nas reações psicológicas ao ruído e nas respostas dadas ao significado de mensagens trazidas pelo ruído. Por exemplo, o som escutado à noite pode ser mais incômodo do que de dia, assim como um som que se assemelha a outro som que o indivíduo não gosta pode ser especialmente incômodo. Um som que não tem previsão de ser extinto é mais incômodo que aquele temporário. O som, que tem sua fonte visível pode ser mais incômodo do que quando a fonte sonora está escondida. Um som novo pode ser menos incômodo. O grau e a duração do incômodo que produz rejeição ou ação contra determinados ruídos depende de muitos fatores (DAVIS e CORNWELL, 1985).

Sons que são agradáveis para algumas pessoas podem ser desagradáveis para outras. Os sons de música podem ser divertidos para alguns, mas outros já os consideram lesivos, por isso não se deve ouvir nenhuma música muito alta, pois esta atitude obriga o vizinho a ouvir o que talvez não o agrade e até o irrite bastante. Então, para um som ser classificado como barulho, este deve ser julgado pelo ouvinte. A percepção do som, portanto, representa uma questão extremamente subjetiva. Muitas vezes a condição psico-social torna-se determinante quanto ao incômodo ou não, pois a diferença entre ruído e som, na maioria dos casos é uma questão individual e, em alguns casos até cultural.

Gonçalves (2003) em sua dissertação comprovou que os níveis de ruído levantados em sua pesquisa estão acima dos níveis de referência preconizados por normas e organismos nacionais e internacionais, mas o incômodo causado pelo ruído urbano, que foi identificado por meio de questionários, não apresentou associação estatisticamente significativa com os níveis de ruído levantados. O tráfego de veículos foi constatado como a principal fonte de ruído, mas os entrevistados revelaram que o som de bar ou de barracas incomoda mais, ou

seja, o incômodo está relacionado com a percepção de que a fonte de ruído pode ser controlada e o responsável por ela pode ser identificado.

Mota (1997) afirma que a poluição sonora resulta, portanto, em prejuízos à saúde e bem-estar do homem, com efeitos que podem ser físicos, psicológicos, sociais ou econômicos.

Outra nuance da poluição sonora refere-se à ligação emocional que se tem com a fonte do ruído. Os sons que agradam são muito especiais ou tornam-se muito especiais. São reconhecidos devido a uma sensação experienciada (vivenciada), apenas pela mente do ouvinte. É uma experiência sensorial que pode ser relacionada ou associada com momentos emotivos ou até mesmo, com a vida material, ou seja, terão sua percepção de acordo com a sensibilidade psico-acústica de cada um.

Quanto ao ruído de tráfego viário, alguns se incomodam devido à intensidade, enquanto outros se incomodam quanto à frequência. Ouvir um ônibus pode ser mais desagradável do que ouvir um avião sobrevoando. Ouvir uma ambulância ao invés de uma sirene de bombeiros, pode ser devastador para uns e indiferente para outros, mesmo que seja em baixa intensidade. O som de uma sirene de polícia poderá remeter a uma experiência desagradável do passado e causar um incômodo maior do que a do carro dos bombeiros e vice-versa. Há pessoas que se incomodam com o ruído da prática esportiva dos autódromos mesmo que comprovadamente em sua vizinhança os níveis de ruído sejam muito baixos, contudo, o efeito pernicioso do zumbido da corrida os incomoda.

A legislação não prevê incômodo quanto à frequência e sim quanto à intensidade, o que é mais objetivo. Muitas das consequências perniciosas da poluição sonora são produzidas, inclusive, de modo sorrateiro, sem que a própria vítima se dê conta, por isso é tão perigosa. O barulho intenso provoca o mascaramento da voz, sendo que este tipo de interferência atrapalha a execução ou o entendimento de ordens verbais, a emissão de avisos de alerta ou perigo e pode ser causa indireta de acidentes.

Além de afetar o sossego e a saúde do ser humano, a poluição sonora influencia também a segurança, que diz respeito ao afastamento de qualquer perigo pessoal e patrimonial. Vibrações intensas podem afetar a estabilidade de uma parede, laje ou de toda uma edificação. Barulhos constantes, aptos a impedir o repouso, podem, por diminuição de reflexos, sujeitar um indivíduo ao risco de sofrer um acidente automobilístico, por exemplo (CARNEIRO,

2002). Calcula-se que um indivíduo normal precisa gastar, aproximadamente, 20% de energia extra para realizar uma tarefa, sob efeito de um ruído perturbador intenso (SILVA, 2002).

Pessoas com boa saúde, explica o neurologista Foster Kennedy, poderão adaptar-se às influências daninhas do ruído, sem perceber o desperdício de energia e a evasão de potencialidade que isso lhes custa. A capacidade do organismo para se adaptar a barulhos de variadas espécies não implica poupança do sistema nervoso. É tal o perigo do som poluído que Beltran, professor da Universidade de Buenos Aires, chegou a notar anormalidades anatômicas nos recém-nascidos em consequência da estrepitosa modalidade do ambiente em que vivemos (CARNEIRO, 2002).

O ouvido é o único órgão dos sentidos que jamais descansa, sequer durante o sono. Com isso, os ruídos urbanos e os vicinais são os motivos pelos quais, durante o sono, o cérebro não descansa como as leis da natureza exigem. Por isso, o problema dos ruídos excessivos não é apenas de gostar ou não; é, na atualidade uma questão de saúde.

O ruído pode dificultar o adormecer e causar sérios danos ao longo do período de sono profundo proporcionando o inesperado despertar. Níveis de ruído associados aos simples eventos podem criar distúrbios momentâneos dos padrões naturais do sono, por causar mudanças dos estágios leve e profundo do mesmo. A pessoa pode sentir-se tensa e nervosa devido às horas não dormidas. O problema está relacionado com a descarga de hormônios, provocando o aumento da pressão sanguínea, vasoconstrição, aumento da produção de adrenalina e perda de orientação espacial momentânea. Despertar de um sono depende do estágio do sono, dos horários noturnos e matinais, idade do indivíduo entre outros fatores (RELACUS, 2005).

Uma outra característica humana é a proteção natural aos eventos sonoros, que se dá quando o ser humano é previamente avisado que tal ruído ou sons elevados vão acontecer. Existe uma defesa psicológica que prepara o indivíduo para a exposição, mas o efeito contrário se dá exatamente quando é inesperado. Quando o indivíduo encontra-se desatento e/ou dormindo, comumente é considerado como som intrusivo. É extremamente desagradável, pois ele é pego de surpresa e não tem tempo de armar sua defesa natural. Por isso, deve-se preservar o direito de descanso das pessoas quando estas dormem a fim de protegê-las dos efeitos que talvez poderão ser considerados mais delicados (RELACUS, 2005).

O sono se identifica como aspecto fisiológico e as alterações que ocorrem por causa do ruído produzem efeitos posteriores nocivos para o sujeito, que se manifestam, fundamentalmente, em mudanças de percepção e de conduta.

Existem diversas linhas de pesquisas na área de poluição sonora, uma delas enfoca o lado psicofísico (dominante), que trata do incomodo causado pelo ruído na população; outra possui enfoque perceptivo, que busca identificar as bases dos processos psicológicos capazes de explicar as preferências sonoras individuais (BARRIO, CARLES e HERRANZ, 2000); outra enfatiza os reflexos na saúde do ser humano, ainda que ele não se dê conta, entre outras direções de estudo.

Quanto a questão da percepção da comunidade perante o acréscimo de ruído. De acordo com informações da NBR 10.151 (BRASIL, 1987), a nova fonte de ruído poderá causar um aumento de até 5dB(A) nos valores, pois isso provocaria uma resposta estimada da comunidade que pode ser considerada pequena, pois produz queixas esporádicas (Tabela 09). É importante lembrar que o fato de não existir uma percepção relevante por parte da comunidade frente ao acréscimo do ruído não significa dizer que não existam impactos na saúde, o que representa o foco principal da pesquisa.

TABELA 09 – RESPOSTA ESTIMADA DA COMUNIDADE AO RUÍDO

| VALOR (DBA) EM QUE O NÍVEL SONORO CORRIGIDO ULTRAPASSA O NÍVEL-CRITÉRIO | RESPOSTA ESTIMADA | |
|---|-------------------|---------------------------|
| | CATEGORIA | DESCRIÇÃO |
| 0 | Nenhuma | Não se observa reação |
| 5 | Pouca | Queixas esporádicas |
| 10 | Média | Queixas generalizadas |
| 15 | Enérgicas | Ação comunitária |
| 20 | Muito enérgicas | Ação comunitária vigorosa |

Fonte: ABNT, 1987

O enfoque do presente trabalho está delimitado nos efeitos causados pelo ruído na saúde da população, ainda que esta não se sinta incomodada, nem seja capaz de identificar claramente os efeitos prejudiciais do ruído, principalmente, pelo fato dele ser acumulativo.

4.4. IMPACTO DOS TRANSPORTES

Os transportes são elementos fundamentais para a mobilidade humana e para o desenvolvimento de uma cidade, no entanto, quando sua implantação e utilização não são planejadas nem otimizadas, eles são capazes de produzir muitos impactos negativos.

4.4.1. Generalidades sobre ruído urbano provocado pelos transportes

O assunto é bem mais antigo do que se pensa. O Imperador César (101-44, a.C.) em seu *Senatus Consultum* (decreto do Senado) determinou que “Nenhuma espécie de veículo de rodas poderia permanecer dentro dos limites da cidade (Roma), do amanhecer à hora do crepúsculo; os que tivessem entrado durante à noite deveriam ficar parados e vazios à espera da referida hora” (HAILEY, 1971). O poeta Martial (40-104 d.C.) reclamava dos ruídos da cidade romana durante a noite, dizia que “não podia dormir porque tinha Roma aos pés da cama” (SANTOS, 2004).

A maior parte das pessoas, sobretudo quem trabalha e/ou habita nas cidades, vive um dia-a-dia agitado, sujeito a altos níveis de ruído, na maior parte dos casos muito superiores ao recomendado. Estas fontes de ruído estão ligadas tanto ao progresso tecnológico como aos hábitos de vida e lazer modernos, além do barulho que cada um próprio gera, o ambiente é, do ponto de vista sonoro, cada vez mais agressivo. Automóveis, comboios, metrô, trens, aviões e veículos motorizados de duas rodas e até as obras que proliferam constituem, sem dúvida, as fontes de ruído que mais atormentam.

No seu entender, existia muita coisa errada com a indústria automobilística, mas muito mais, numa proporção arrasadora, estava certa. O milagre do carro moderno não era o de falhar algumas vezes, mas o de praticamente nunca fazê-lo; não era o de ser caro, mas – pelas maravilhas de projeto e técnica que incluía – o de se custar tão pouco; não era o de entulhar rodovias e poluir o ar, mas dar aos homens e as mulheres livres aquilo que, através da história, mais desejavam – a mobilidade individual (HAILEY, 1971, p. 437).

Essa afirmação justifica o tipo de crescimento urbano dos EUA, baseado na indústria automobilística, o que acarretou no fato desagradável atual de um único país utilizar mais de um terço da energia mundial despendida em transportes (SHEEHAN, 1997). O automóvel é tido como o maior personagem do século XX. No entanto, de que adianta ter um carro maravilhoso, se não existe fluxo livre nas vias, a velocidade é reduzida devido ao congestionamento, o tempo de viagem é maior a cada dia que passa e o ambiente urbano se polui assustadoramente em termos acústicos e da qualidade do ar? O carro para muitos representa mais um fetiche do que um modo de transporte eficiente.

A interferência do ruído com o repouso, descanso e sono é a maior causa de incômodo e a pior intervenção se dá na forma de ruído intermitente, como por exemplo: passagem de veículos pesados, de aviões e de trens próximos às habitações.

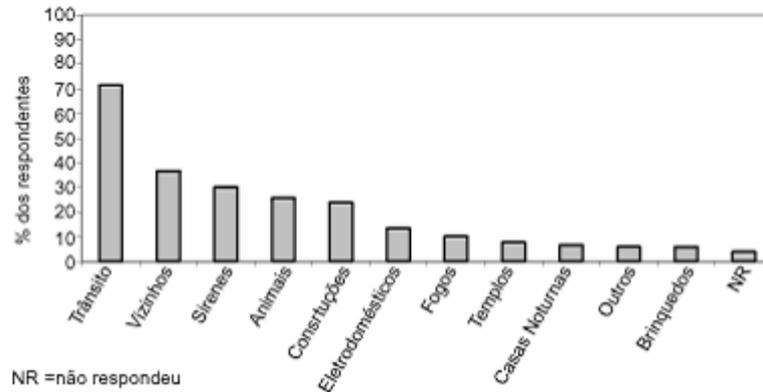
Pesquisas constataam que os automotores são responsáveis por até 80% do total de ruído existente nas grandes metrópoles, variando não só com a maior ou menor participação de automóveis e caminhões, mas também com a declividade das ruas, contato pneu-pavimento, paradas e arranques nos cruzamentos, obstáculos dispostos lateralmente, taludes, arrimos etc., interagindo com a morfologia espacial.

Cerca de 80% da população que vive em um ambiente urbano está sujeita a níveis de ruído acima dos 65 dB(A), provindos, principalmente, do tráfego, e 10% estão expostos a valores acima dos 75 dB(A) (MANZANA, 1998).

Yoshida *et al.* (1997) estudou o efeito do ruído de tráfego nos habitantes de Tóquio. Quinhentas mulheres com idade entre 20 e 60 anos, residindo próximo a principal estrada da cidade foram pesquisadas. O resultado da pesquisa sugere que o ruído de tráfego tem um efeito deletério sobre a saúde dos residentes expostos. O nível de ruído crítico seria entre 65dB(A) e 70dB(A), pois há um aumento nas respostas relativas a sintomas e histórico de doenças.

Um índice da qualidade fisiológica para o sono, combinando o tempo total de sono, duração de estágios profundos e tempo passado despertado, só é preservado abaixo de nível médio de 40dB(A) para ruído de trânsito. Segundo recomendações da OMS, o L_{eq} de ruído para um sono de qualidade deve ser no máximo de 35dB(A) (SOUZA, 2000).

Em Curitiba foi feita uma pesquisa coordenada por Zannin *et al.* (2002), que analisou as reações de incômodo da população frente ao ruído urbano, assim como diagnosticou as principais fontes sonoras causadoras desse desconforto. Observou-se que o trânsito é a principal fonte de ruído identificada (73%), mas os ruídos gerados pela vizinhança são mais significativos para a comunidade (Figura 15).



Fonte: ZANNIN *et al.*, 2002

Figura 15 – Respostas à pergunta: “Quais são os ruídos que incomodam?”

O trânsito é, portanto, o grande causador do ruído na vida das grandes cidades. As características dos veículos barulhentos são: o escapamento furado ou enferrujado, as alterações no silencioso ou no cano de descarga, as alterações no motor, os maus hábitos ao dirigir, acelerações e freadas bruscas, o uso excessivo de buzina e o atrito dos pneus ou dos trilhos. Nas principais ruas de uma metrópole os níveis de ruído são altíssimos, o que explica por que os motoristas profissionais são os principais alvos de surdez adquirida. Em Salvador, de acordo com a pesquisa efetuada por Souza (1991), os níveis de ruído nas vias encontram-se acima dos padrões fixados pela NBR 10.151 (ABNT, 1987), enquadrando-se nas faixas entre 70 e 90dB(A), portanto, em níveis de incômodo, segundo a autora. Segundo a mesma pesquisa, os índices de ruído urbano caracterizados pelo tráfego rodoviário variam em função da hierarquia do sistema viário.

Por outro lado, vias destinadas ao tráfego intenso são ocupadas, progressivamente, em suas laterais e vizinhanças por edificações cuja destinação requer silêncio, via de regra sem maiores adequações quanto ao tratamento acústico, no que diz respeito ao ruído gerado por veículos. Isso poderia ser facilmente resolvido caso houvesse uma legislação que obrigassem as construtoras a implantarem esquadrias e paredes com um nível maior de isolamento acústico (CARRIÓN, 1998).

Em medições feitas recentemente na cidade de São Paulo constatou-se que o barulho é algo constante no cotidiano do paulistano que habita em uma das metrópoles mais ruidosas do mundo. Elementos como o tráfego, a buzina, obras e celulares aumentam a poluição sonora no meio urbano. Comparações feitas entre ruas movimentadas de diversas metrópoles,

demonstram que a Avenida Paulista (79dB) encontra-se atrás apenas da *Time Square* de Nova York (80dB) (COSTA, 2004).

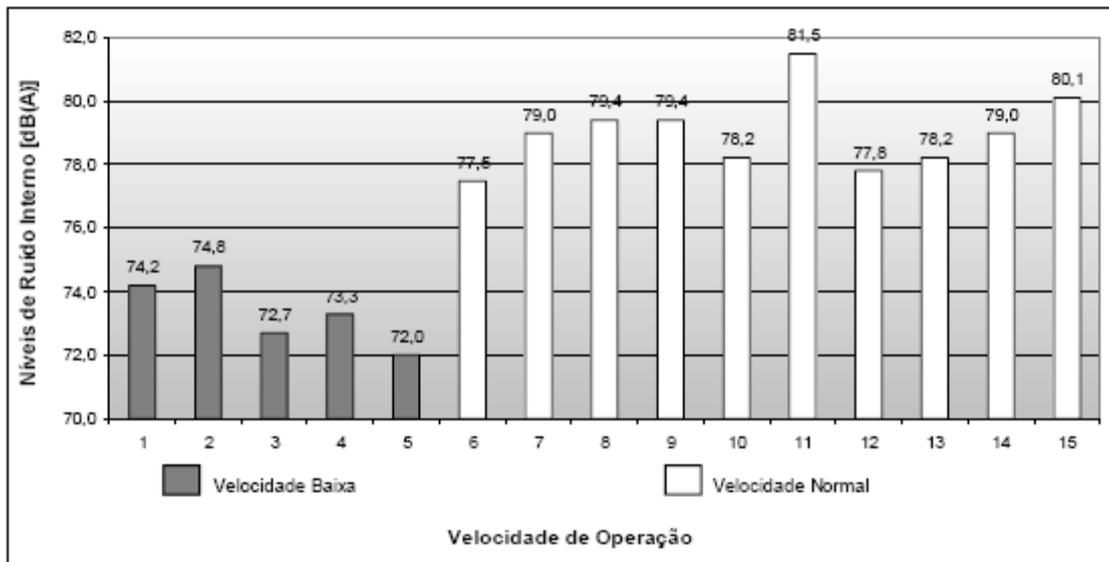
Do ponto de vista morfológico observa-se que o ruído resultante de diferentes fluxos de veículos podem ser alterado pelas reflexões sonoras que ocorrem nas edificações laterais. Isso demonstra que a inadequação do planejamento viário e da legislação do uso do solo pode e tende a agravar o ruído proveniente do tráfego, à medida que a cidade se adensa ao longo das vias principais.

O problema maior é em relação às vias que não sendo planejadas para a absorção do aumento constante de veículos em seu trajeto, tais como vias locais ou de simples acesso a áreas silenciosas, vão sendo transformadas em corredores de tráfego, ao serem olhadas pelo gerenciamento público apenas como canal de tráfego, e não como um dos elementos estruturadores da vida no espaço do bairro, perdendo a oportunidade de receberem tratamentos técnicos mais adequados do ponto de vista acústico. Assim, cada veículo em movimento emite sons que ao longo das vias se superpõem ao ruído dos diversos veículos com diferentes velocidades, acelerações e posições na via, formando ondas sonoras que se refletem sucessivamente nos elementos físicos do espaço urbano, contribuindo para o aumento da intensidade do ruído nesses espaços (SOUZA, 1991). Normalmente o que existe é uma desvinculação entre as diretrizes de um planejamento viário e de tipos de pavimentos que leve em conta a proteção contra o ruído de tráfego nos espaços lindeiros e os requerimentos tecnicamente embasados em estudos mais aprofundados da realidade.

4.4.2. Ruído ferroviário

A preocupação e os estudos relativos ao ruído do tráfego ferroviário são recentes em relação ao ruído de origem rodoviária, principalmente, devido à menor participação da modalidade ferrovia nos transportes em geral e da falta de uma legislação específica que exija o desenvolvimento de estudos e medidas de controle dos níveis de ruído gerado pelo tráfego de trens. A crescente utilização do modo ferroviário nos sistemas de transporte de massa dos grandes centros urbanos, fazendo uso extensivo de estruturas elevadas, tem levado o público a uma maior exposição a esse tipo de ruído e, conseqüentemente, a uma reação de incômodo, provocando assim um alerta para o problema. Dessa forma, a partir de 1976, têm sido desenvolvidas pesquisas cada vez mais aprofundadas a esse respeito na Europa, nos Estados Unidos e no Japão (MHU, 1988).

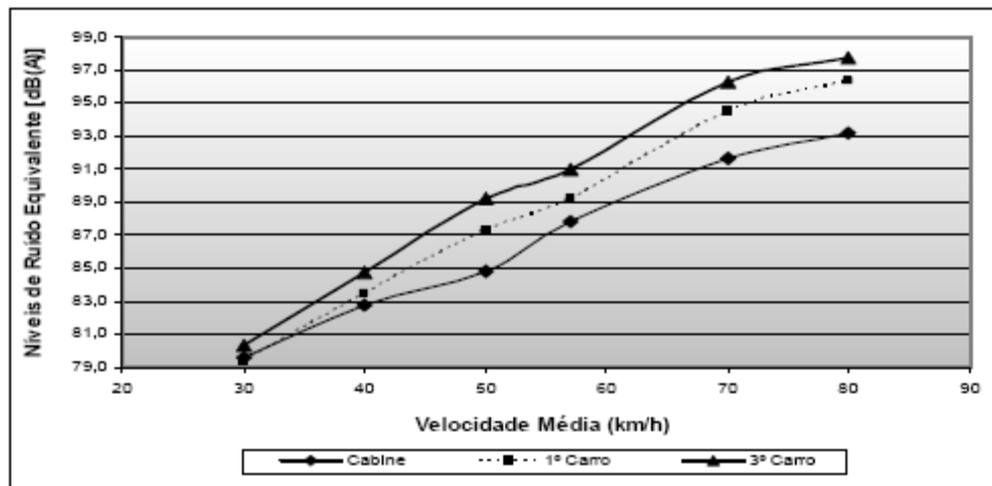
Praticamente, a passagem de um trem se traduz em um ruído que cresce rapidamente, se estabiliza em um valor chamado máximo e decresce depois mais lentamente que como cresceu (JOSSE, 1975). O nível de ruído gerado pelo deslocamento de uma composição metro-ferroviária está relacionado com a sua velocidade, com as características das vias em que a composição está trafegando e com as condições de manutenção a que os carros de passageiros estão submetidos. Medições realizadas dentro do veículo do metrô de Brasília constataram que a velocidade de operação é um dos fatores principais da emissão de ruído pelo metrô, sendo a diferença de mais de 5dB(A) entre a média dos níveis de emissão de ruído medidos com velocidade reduzida 40km/h e com velocidade normal 60km/h (Figura 16) (KATAGIRI *et al.*, 2003).



Fonte: KATAGIRI *et al.*, 2003

Figura 16 – NPS interno por velocidade de operação em trechos de superfície

Dentre as fontes móveis de ruído estão o tráfego de veículos, aeronaves, trens ou metrôs. Essa mesma pesquisa de Brasília diagnosticou que o nível de ruído aumenta em 1dB(A) a cada 3km/h, em média (Figura 17). O aumento da velocidade de 50km/h para 70km/h, nos 3 pontos medidos, leva a um acréscimo superior a 6dB(A), sendo este um valor muito significativo, pois a cada aumento de 6dB(A) do som emitido, o nível de pressão sonora dobra de intensidade (KATAGIRI *et al.*, 2003). Vale lembrar que a velocidade máxima do metrô de Brasília é 80km/h, 20km/h a menos que a de Salvador, isso significa dizer que aqui o ruído, provavelmente, será maior cerca de 6dB(A) do que o de Brasília.



Fonte: KATAGIRI *et al.*, 2003

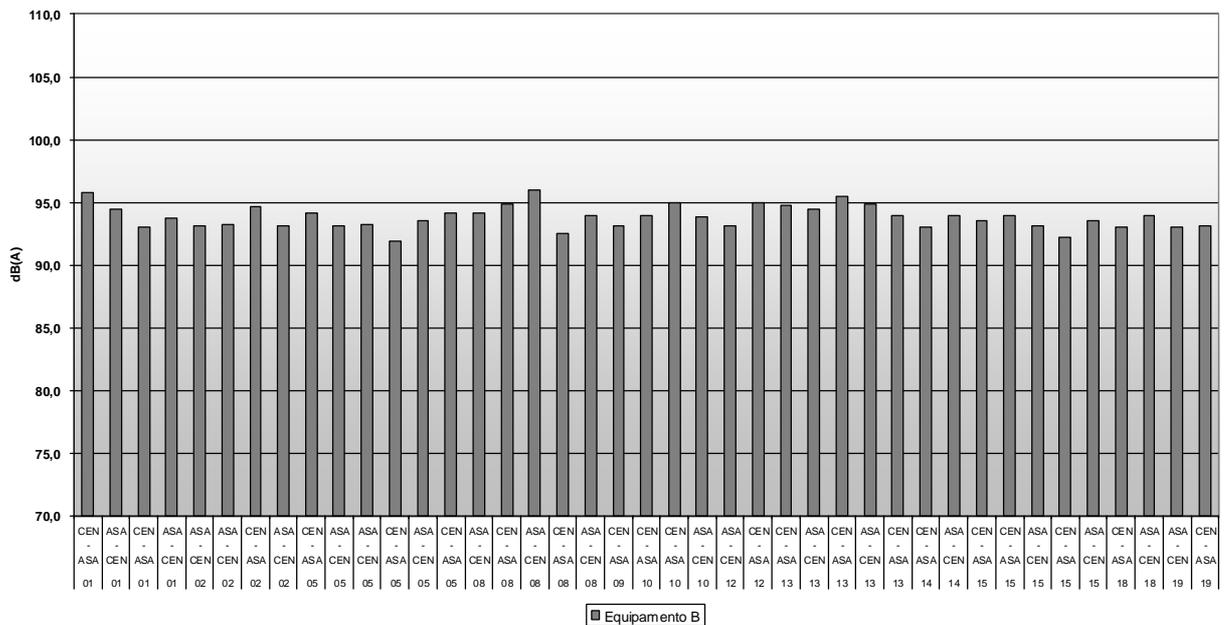
Figura 17 – NPS equivalente de acordo com a velocidade e a posição do carro

A maioria das pesquisas que estudam o ruído de tráfego foca no tráfego rodoviário, ou seja, ainda é restrito o conhecimento a respeito dos efeitos na saúde do ruído provocado por diferentes fontes sonoras ocorrendo simultaneamente, como é o caso de um ônibus e um metrô. Na Suécia foi feita uma pesquisa em uma área residencial que analisou essa questão. Foi calculada a exposição em locais próximos a rodovias e ferrovias, objetivando avaliar inúmeros efeitos desfavoráveis na saúde e esclarecer os possíveis impactos provenientes da exposição de duas fontes sonoras. Um total de 1.953 pessoas residentes no local exposto a esses ruídos por pelo menos 6 meses, foram responsáveis pelos resultados da pesquisa e programas de GIS foram utilizados como ferramentas. Foi possível demonstrar que o ruído ferroviário provoca um incômodo significativamente maior que o rodoviário, com uma diferença de 10%. Os efeitos negativos mais comuns diagnosticados por ambas as fontes foram distúrbios no sono e dificuldade de relaxar durante o dia, no entanto, o ruído de trens foi identificado como responsável por interferir mais em todas as atividades analisadas, especialmente, na comunicação eficaz, tanto internamente quanto no ambiente externo (OHRSTROM, 2005).

Isso pode ser justificado pela irregularidade do ruído ferroviário, pois o NPS gerado no momento de partida e de chegada é superior ao NPS provocado durante o trajeto. Os ruídos intermitentes ou irregulares são geralmente considerados mais perturbadores do que os de intensidade e altura constantes (MHU, 1988).

O ruído externo admissível pela NBR 13.068 (ABNT, 1994) para o metrô em sua situação dinâmica, ou seja, partindo, chegando e passando pela estação deve ser de no máximo 85dB(A). No entanto, nos trechos entre estações a permissividade é maior, pois deve ser no máximo 90dB(A). Esses valores devem ser medidos a uma distância de 5m de frente à fonte geradora. No caso do metrô de Salvador esse valor já é considerado alto, pois a proximidade da linha com as edificações é grande.

Em medições mais recentes feitas pela equipe do Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (CEFTRU) da Universidade de Brasília (UnB) em 2004 constatou que o NPS do metrô de Brasília (similar ao de Salvador) está acima do estipulado por norma. Nas Estações Central e 114Sul, observou-se que os níveis de ruído gerado pela frenagem dos trens são extremamente elevados, especialmente, se relacionados com o limite máximo estabelecido pela norma de 85dB(A), chegando a ultrapassar em até, aproximadamente, 14dB(A). A figura 18 e a tabela 10 apresentam os resultados das medições de um dos equipamentos na Estação 114Sul.



Fonte: CEFTRU, 2004

Figura 18 – NPS na Estação 114Sul do metrô de Brasília

TABELA 10 – PRINCIPAIS RESULTADOS DE NPS NA ESTAÇÃO 114Sul

| Medição | L _{max} (dBA) |
|---------|------------------------|
| 01 | 95,8 |
| 02 | 94,6 |
| 05 | 94,1 |
| 08 | 96,0 |
| 09 | 93,1 |
| 10 | 95,0 |
| 12 | 95,0 |
| 13 | 95,5 |
| 14 | 93,9 |
| 15 | 94,0 |
| 18 | 94,0 |
| 19 | 93,1 |

Fonte: CEFTRU, 2004

Os equipamentos de medição foram colocados na plataforma a uma distância de 3,00m a partir do centro do carro e a uma altura entre 1,20 e 1,50m acima da plataforma. O objetivo dessa etapa, além de analisar o impacto do ruído gerado pela chegada do trem à estação, foi também avaliar o comportamento deste ruído dentro da estação (CEFTRU, 2004).

De acordo com os parâmetros da Norma ISO 3.095 (ISSO, 2005) que especifica as condições de medição de NPS de veículos sobre trilhos, o ponto para medição do ruído provocado pelos trens deve estar localizado a uma distância máxima de 7,5m do eixo central da via e a 1,2m sobre o nível dos trilhos. Essa Norma afirma que os resultados encontrados caracterizam o ruído emitido por essa tipologia de transporte, o que valida os dados encontrados pela CEFTRU.

Segundo o então Ministério da Habitação, Urbanismo e Meio Ambiente (MHU) e a extinta Empresa Brasileira de Transportes Urbanos (EBTU) (1988), as fontes de ruído ferroviário são as seguintes: os motores das locomotivas, os vagões de carga e de passageiros, o contato entre roda e trilho, as atividades de manutenção da via permanente, as atividades de operação de pátios de carga, o “apito” da locomotiva, os sons de alerta nas travessias de nível e as atividades nas estações ferroviárias.

O fato de o Metrô utilizar rodas metálicas como material rodante, torna-o um dos modos de transporte terrestre mais ruidosos devido ao atrito do metal das rodas com o trilho, também, metálico e também com as pastilhas de freios, especialmente, quando se trata da frenagem dos

carros (CEFTRU, 2004). No entanto, o ruído gerado pelo motor elétrico do metrô é desprezível perto do contato roda-trilho.

Josse (1975) afirma que o ruído que se percebe durante a passagem de um trem é resultado, principalmente, dos choques e vibrações originados nos trilhos e nas rodas, que são conseqüências tanto dos defeitos existentes nos mesmos quanto das juntas de dilatação entre trilhos, proporcionando a irradiação do ruído da estrutura de rolagem que está em contato direto com as rodas. Em carros, existe os dispositivos de suspensão que isolam a estrutura das rodas, gerando pouco ruído. A altura das fontes de ruído é pequena e seria reduzido caso se prolongasse a carcaça dos vagões para abaixo, formando uma espécie de barreira.

Os dados disponíveis nos EUA mostram que, a uma distância de 30m do centro da via férrea, as locomotivas a diesel geram um ruído entre 82 e 92dB(A) e as locomotivas elétricas 75 e 88dB(A) (MHU, 1988).

Segundo o MHU e a EBTU (1988), o contato entre roda e trilho gera esses três tipos de ruído:

- a. O “guincho” – tipo de ruído intenso, de um ou mais tons, associado à passagem do trem por curvas de pequeno raio. No momento da curva, as rodas que têm seus movimentos restringidos pela estrutura do veículo não podem correr tangentes aos trilhos, pois os eixos não podem tomar posições radiais nas curvas. Tal situação faz com que a roda deslize lateralmente contra o boleto do trilho enquanto gira ao longo da linha, vibrando de forma ressonante.
- b. De impacto – associados aos solavancos que ocorrem quando as rodas atravessam juntas de trilhos ou outra descontinuidade na superfície dos trilhos. Quando a roda se defronta com uma dessas descontinuidades, há uma rápida mudança na velocidade vertical que resulta em uma força aplicada à interface entre roda e trilho fazendo-os vibrar e emitir o som.
- c. De rolamento – tem origem na rugosidade superficial da roda e do trilho, que faz com que haja oscilações no movimento da roda sobre o trilho, mas há indicações de que este não é o único parâmetro determinante, pois existem as componentes horizontal e vertical dessas forças.

Na próxima seção que trata de minimização dos impactos causados pelos transportes estão explícitas formas de controle para cada um desses tipos de ruídos.

Pesquisas sociais para determinar a existência de incômodo foram efetuadas em diferentes áreas expostas ao ruído ferroviário. Os resultados mostraram que um aumento da frequência de trens elevou a sensação de incômodo até um certo nível, acima do qual houve uma estabilização. Obviamente em altos níveis e a alta frequência dos trens, o ruído ferroviário prejudica sensivelmente as atividades das pessoas (SORENSEN *et al.*, 1983).

Em pesquisas efetuadas na França, Inglaterra e Japão, em áreas residenciais, os entrevistados citaram que as atividades que sofriam maior interferência do ruído ferroviário eram assistir televisão e conversar, e, em menor escala, o sono, o descanso e a leitura (FIELDS, 1977).

O incômodo causado pelo tráfego em uma linha férrea é proporcional ao L_{eq} do ruído constante que energeticamente seria equivalente ao conjunto dos ruídos provocados pelos trens que passam no transcorrem de um dia (L_{eq24}). Os parâmetros importantes que condicionam o incômodo causado pela passagem de um trem, segundo Josse (1975), são:

- a. A inclinação de subida do nível de ruído (em dB/s).
- b. O valor máximo de ruído.
- c. A duração do ruído.

Um estudo feito na Suécia que investigou os efeitos na saúde dos cidadãos causados especificamente por transportes sobre trilhos comprovou, após distribuir questionários a 1.016 pessoas, que a exposição ao ruído se relacionava com questões como incômodo, distúrbios no sono, perda de concentração, dores de cabeça e fadiga. A finalidade dessa pesquisa foi associar o ruído calculado com as respostas da comunidade (BLUHM e NORDLING, 2005).

O presente trabalho irá relacionar o NPS com os efeitos na saúde comprovados em estudos já realizados encontrados na literatura, não pretendendo elaborar e aplicar instrumentos de coleta de dados como questionários, nem fazer análises qualitativas a partir de grupos focais ou de entrevistas.

Há ainda pessoas que expostas ao ruído das atividades de manutenção da via permanente o consideram mais incômodo que o ruído da passagem do trem (MHU, 1988). A reação da população afetada é ainda maior em relação à operação de trens e metrô em estruturas elevadas. O nível de ruído medido a uma distância de 15m da via elevada são entre 2 e 20dB(A) superiores aos níveis medidos à mesma distância de uma via em nível (WITTING, 1983). As pessoas tendem a considerar o ruído ambiental de fundo ao fazerem a avaliação de

um ruído intermitente. Por isso, quanto menor for a diferença entre um ruído analisado e o de fundo, menor será o incômodo (MHU, 1988).

A crescente manifestação das pessoas em relação ao ruído ferroviário tem levado os órgãos responsáveis pelo transporte ferroviário em diversos países adotarem medidas de prevenção e controle do ruído (MHU, 1988).

Portanto, o estudo dos fatores que influenciam a geração de ruído, bem como de medidas atenuadoras acústicas torna-se importante ao objetivar reduzir o ruído na fonte geradora, podendo assim transformar o modo de transporte metroviário mais confortável tanto para os seus usuários quanto para funcionários, como também para as pessoas que convivem próximas à linha do metrô.

4.5. TRANSPORTE SUSTENTÁVEL

É necessário que a implantação do sistemas de transportes sejam estudadas objetivando reduzir os impactos negativos. Atualmente existem opções de mitigação que são capazes também de decorar o espaço urbano. O conhecimento associado a criatividade produz resultados interessantes.

4.5.1. Definições e sugestões

A idéia de transporte sustentável remete ao conceito de justiça social, onde haja opção para todos os níveis hierárquicos, a acessibilidade e a qualidade possam atrair o público para a utilização do transporte comunitário e onde a saúde e a segurança, tanto individual, quanto global, possam ser preservados. Deve contribuir para a eficiência energética e combater a emissão de agentes poluidores, sonoros e atmosféricos.

Cabe ao Estado proporcionar opções seguras de transporte, no que se refere às vias, ao meio de transporte e a segurança pública propriamente dita, melhorar a qualidade do sistema de transporte público, investir em novas alternativas, enfim, possibilitar ao indivíduo modificar e alternar sua forma de locomover-se dentro de uma cidade, o que certamente reduzirá uma série de impactos, como poluição atmosférica e sonora, congestionamento, acidente, vibração e estresse. O trabalho de profissionais de diversas áreas para a construção de um futuro sustentável é essencial, pois apenas com a associação de diferentes tipos de esforços será

possível uma relação harmoniosa entre o meio ambiente natural e o construído, o que trará inúmeros benefícios para a sociedade como um todo.

Um novo tipo de ocupação do solo associado a tipologias diferentes de transportes que busquem economizar energia e capital, a combinação de modos, o gerenciamento de demandas, a diversificação e a oportunidade de escolha devem servir de base para qualquer ajuste referente à circulação, o que se pode chamar de transporte sustentável. Este é um caminho coerente em direção ao equilíbrio do meio urbano e a qualidade de vida em uma cidade. Os sistemas de transportes devem ser projetados e operados de forma que atendam bem a todos, protejam a saúde e segurança de todos, as edificações devem estar protegidas do barulho e as vias devem ser projetadas de forma que reduzam a propagação do som.

Muitas das referências que estão citadas neste trabalho provêm da Direção Geral do Ambiente de Portugal (DGA), que juntamente com a então Direção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU) tem publicado muitos trabalhos com alto grau de fundamentação. Segundo a DGA (2001b), na Avaliação do Impacto Ambiental (AIA), a previsão e avaliação dos potenciais efeitos do ruído de atividades ruidosas permanentes pode ser esquematizada recorrendo a um modelo conceitual em 6 passos, como segue:

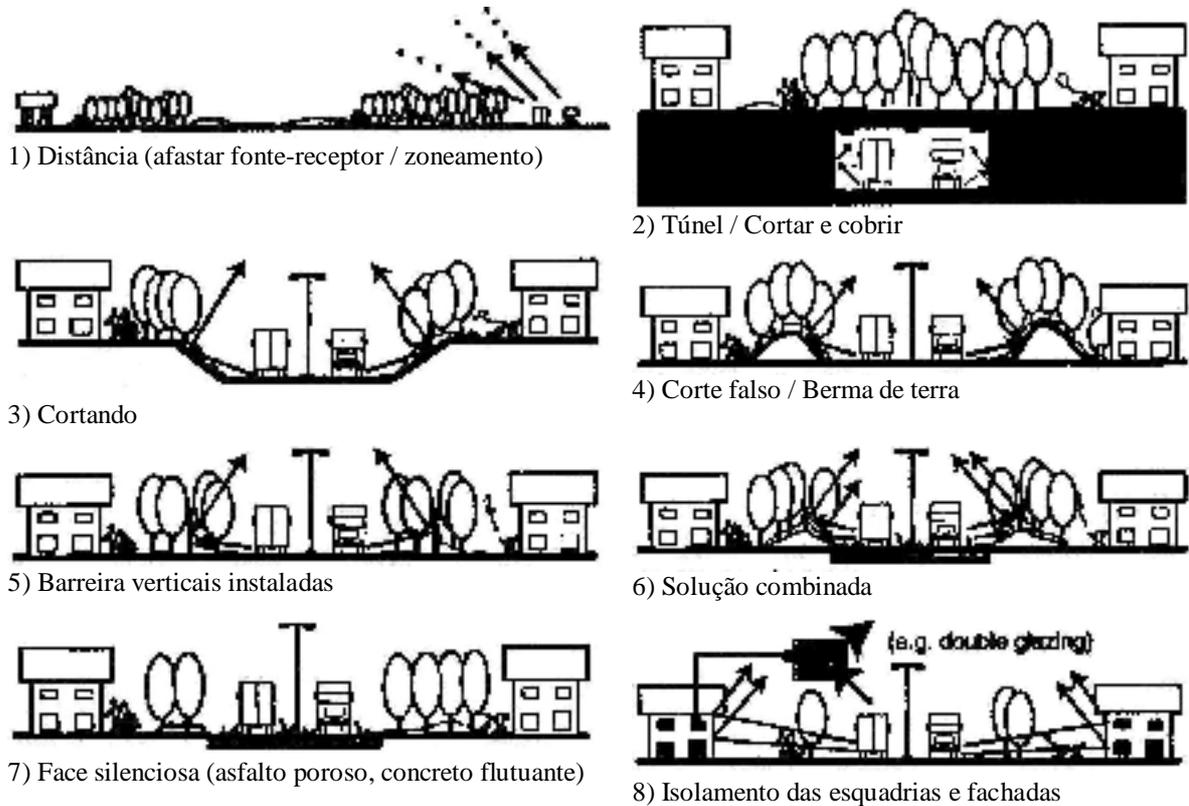
- a. **Identificação de impacto no descritor ruído** – Potenciais impactos do projeto tanto em fase de construção quanto em fase de exploração para as várias alternativas de análise. Trata-se de identificar fontes sonoras e atividades geradoras de ruído associadas ao projeto. Importa saber que tipo de ruído se espera e quando.
- b. **Descrição do ambiente acústico no local** – A situação existente deve ser documentada na área de influência do projeto; há que identificar as fontes sonoras relevantes (tráfego rodoviário/ferroviário/aéreo, indústria, campos de tiro etc.) e a ocupação sensível (habitações, escolas, hospitais e espaços de recreio e lazer utilizados pelas populações como locais de recolhimento). A caracterização da situação existente requer a realização de medições acústicas. A área de influência do projeto depende das suas características, recomendando-se uma caracterização cartográfica da situação existente.
- c. **Identificação de critérios de avaliação** – Aplicação dos limites de exposição máxima de acordo com a legislação local. No caso de Portugal, nas zonas sensíveis, o ruído no ambiente exterior não deve superar 55dB(A) no período diurno e 45dB(A) no período noturno. Em zonas mistas esses valores mudam para 65dB(A) e 55dB(A), respectivamente. No caso de infra-estruturas de transporte deve ser considerada a regra de

que ocorrem impactos significativos sempre que a exposição ao ruído ambiente no exterior, devido a uma nova fonte de ruído, sofre um incremento superior a 12dB(A).

- d. **Previsão de impactos** – É o passo mais crítico da avaliação e o aspecto mais relevante a ter em conta é que, em espaço livre, a propagação do ruído diminui com a distância da fonte. Recomenda que sejam utilizadas as mesmas fórmulas de propagação de ruído para fontes pontuais e lineares expostas anteriormente na seção 4.3, pois efetua-se uma estimativa simples, mas satisfatória dos níveis de ruído previstos.
- e. **Avaliação de impactos** – A comparação das previsões de níveis sonoros com os critérios de avaliação identificados permite avaliar se o impacto associado ao projeto é ou não significativo. Um projeto só poderá ser aprovado se a componente acústica do ambiente estiver de acordo com o regime legal sobre poluição sonora, portanto, as situações críticas têm que ser claramente referenciadas e são obrigatoriamente objeto de medidas de minimização. Para as infra-estruturas de transporte, todas as situações de excessivo incremento da exposição ao ruído no exterior devem merecer especial atenção.
- f. **Adoção de medidas de minimização** – Destinam-se a tornar o impacto aceitável e devem ser adotadas as melhores soluções técnicas para cada caso. A exposição máxima se refere a níveis sonoros no exterior, portanto, não está contemplada a possibilidade de se admitirem soluções de reforço de isolamento sonoro. Nessa ótica, devem ser privilegiadas as correções na fonte ou na transmissão do ruído. Portanto, a melhor solução será sempre a de encontrar boas localizações para as atividades ruidosas, guardando a distância necessária ao bem-estar das populações.

A pós-avaliação deve incluir uma monitorização de ruído, cuja periodicidade depende das características do projeto e da ocupação da vizinhança.

Em se tratando de barreiras para o tráfego urbano, um obstáculo colocado no lado da calçada oposta a barreira acústica pode atuar como refletante, reduzindo o amortecimento por difração. Esse efeito pode ser atenuado instalando revestimentos absorventes na parte do obstáculo que fica voltada para a via, ou inclinando a face do mesmo de forma a direcionar os raios refletidos para o teto (JOSSE, 1975). Existem diversas formas de atenuação acústica para as vias de tráfego e o planejamento urbano deve avaliar a que melhor se adapta a cada situação. Essas sugestões estão esquematizadas figura 19.



Fonte: SANCHIDRIÁN, 2001

Figura 19 – Exemplos de atenuação acústica em um ambiente urbano

A NBR 14.313 (ABNT, 1999) estabelece as condições exigíveis para os materiais e para a instalação de barreiras acústicas e define barreira acústica de via de tráfego como um elemento de proteção contra ruído ao longo de vias de tráfego urbano, construídas à semelhança de paredes e levantadas entre a via e as áreas a serem protegidas (Figuras 20 a 27). A Norma esclarece também que os revestimentos colocados a fim de reduzir as reflexões sonoras são vistos também como barreiras acústicas.



Fonte: SOMAX, 2006

Figura 20 - Barreira acústica metálica 1



Fonte: SOMAX, 2006

Figura 21 - Barreira acústica metálica 2



Fonte: SOMAX, 2006

Figura 22 - Barreira acústica metálica 3



Fonte: PAZOS, 2004

Figura 23 - Barreira acústica disposta em paralelo



Fonte: PAZOS, 2004

Figura 24 - Barreira acústica de acrílico transparente



Fonte: PAZOS, 2004

Figura 25 - Barreira acústica construída com berma de terra



Fonte: MAXIT, 2007

Figura 26 - Barreira acústica de elemento pré-fabricado de concreto leve com aplicação ondulada



Fonte: MAXIT, 2007

Figura 27 - Barreira acústica de elemento pré-fabricado de concreto leve com aplicação linear

As próximas imagens da figura 28 representam obras de barreiras acústicas de vias rodoviárias executadas em Portugal por uma única empresa, denominada Complage (2007). É interessante observar a variedade de acabamento estético e aplicação desse elemento que tanto protege as edificações envolventes. Em muitos países o elemento “barreira acústica” já é inerente ao desenvolvimento urbano e muito comum entre as edificações e rodovias ou ferrovias.

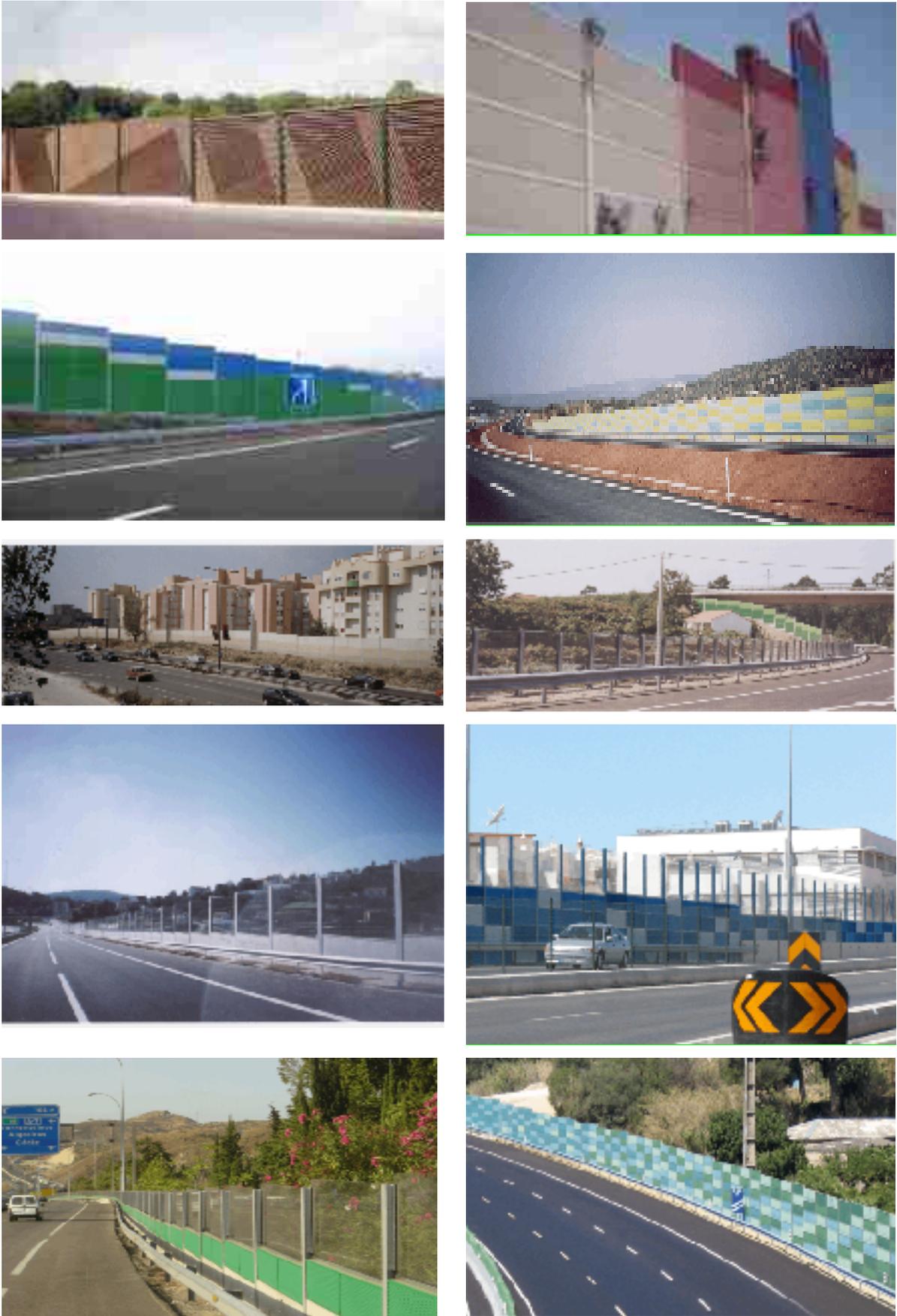
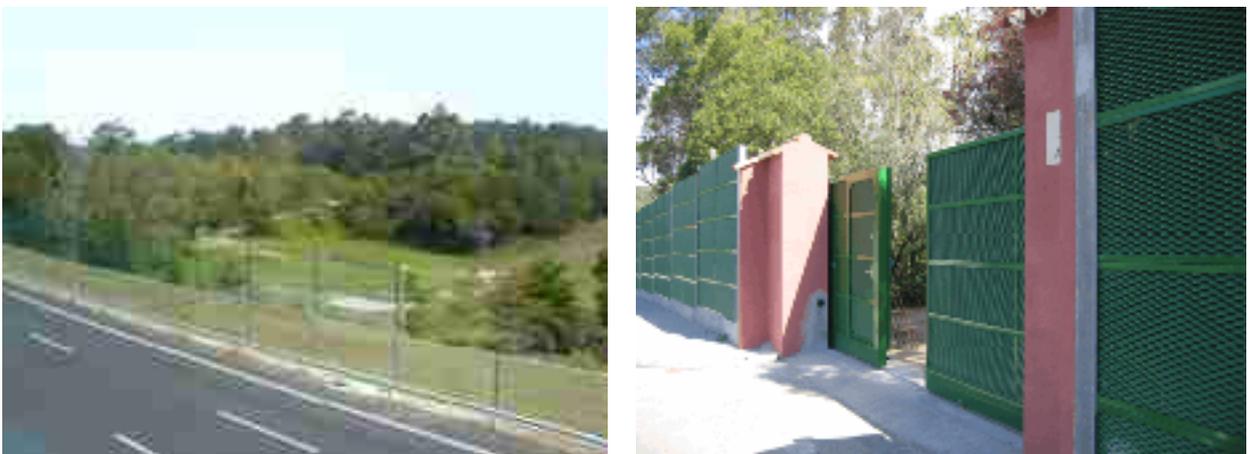


Figura 28 – Barreiras acústicas de rodovias com interessante resultado estético – COMPLAGE, 2007

Quanto a estanqueidade sonora, o ruído de tráfego é atenuado em pelo menos 25dB(A) quando da passagem através do material da barreira acústica, segundo a NBR referente a esse tema (ABNT, 1999). No entanto, cálculos comprovam que essa redução é considerada muito grande e praticamente impossível de ser alcançada. Assim sendo, a barreira deve possuir, além de massa mínima, certa altura definida por estudo e simulações que incluem o índice Fresnel obtido em função do comprimento de onda do som e das distâncias em torno da barreira. Este dispositivo deve também atender aos aspectos paisagísticos e de exequibilidade técnica e econômica.

A figura 29 demonstra fotos que representam situações em que as barreiras acústicas foram calculadas para proteger parques do ruído externo, proporcionando o silêncio necessário a ambientes dessa natureza.



Fonte: COMPLAGE, 2007
Figura 29 – Barreiras acústicas de parques

A preocupação com o ruído no licenciamento de novas instalações é focalizada no projeto e no espaço circundante da instalação. Na maior parte das situações não é exigível a utilização de um modelo de previsão para quantificar os níveis sonoros associados ao funcionamento da instalação. O projeto acústico das edificações onde a atividade ficará instalada (se aplicável) é exigido. Sempre que ocorra impacto nas proximidades há que incluir a obrigatoriedade de adotar medidas de controle de ruído para o exterior. A verificação de isolamentos sonoros produzidos para o exterior tem que ser efetuada antes da atribuição da licença ou autorização definitiva das atividades. A licença ambiental prevê monitorização de ruído (DGA, 2001b).

Cabe ao cidadão conscientizar-se de que o individualismo pode levar a destruição total dos bens naturais. Torna-se necessário uma mudança de hábitos que possam ser considerados

prejudiciais à livre circulação do meio urbano, assim como a cobrança de uma melhor qualidade dos sistemas de transportes públicos para que esses não gerem outros problemas, como é o caso da implantação de um metrô, que, apesar de trazer inúmeros reflexos positivos para a mobilidade, pode provocar outros impactos negativos, como é o caso da poluição sonora.

4.5.2. Transporte sustentável relacionado ao transporte ferroviário

Como Portugal possui uma vasta bibliografia nesse campo e mais especificamente sobre ruído ferroviário, foram realizadas muitas pesquisas a órgãos de meio ambiente desse país e usadas como referências.

Buscando harmonizar os procedimentos, o Instituto do Ambiente de Portugal (2003) estabeleceu diretrizes para a elaboração de planos de monitorização de ruído de infra-estruturas rodoviárias e ferroviárias, com abordagem metodológica semelhante para ambas as infra-estruturas e cujos principais objetivos são:

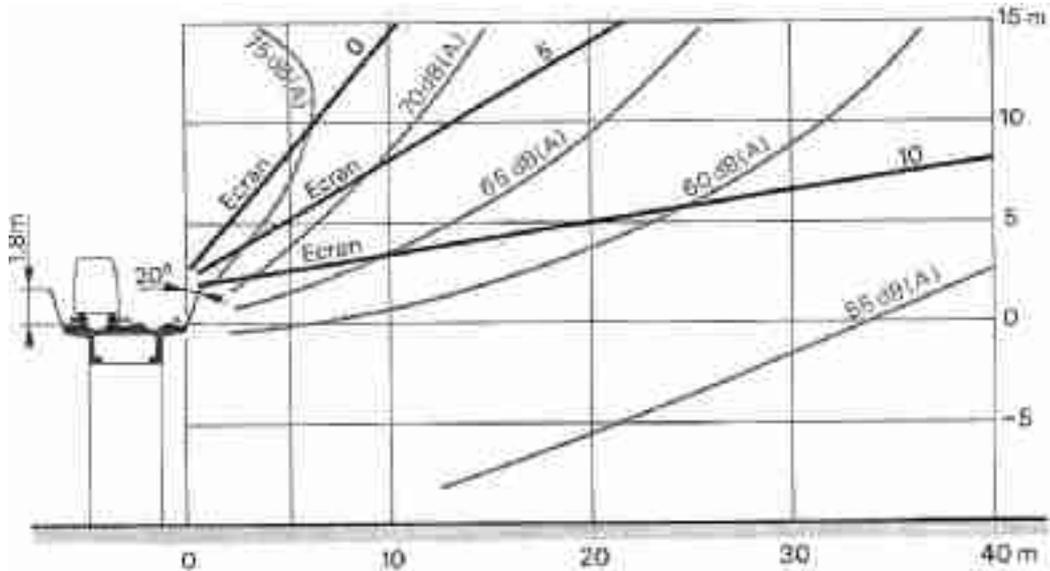
- a. Avaliar as emissões acústicas. Esta avaliação quantificará os níveis sonoros junto dos receptores sensíveis, comparando-os com os máximos permitidos na legislação e identificará populações expostas a níveis não regulamentares.
- b. Identificar necessidades de execução de ações de redução de ruído, face à avaliação efetuada.
- c. Verificar a eficácia real das ações executadas.

Podem ser usadas duas metodologias distintas, uma recorrendo a medições acústicas, outra por meio de modelos de previsão de ruído calibrados e validados para as situações em avaliação, ou seja, simultaneamente, se efetuam medições em determinados pontos para validar os resultados simulados. Cada medição deve ter, no mínimo, uma duração média de 30 minutos (t), em função da flutuação da circulação rodoviária ou até estabilização do sinal sonoro ($L_{eq,t}$). Na obtenção de medições representativas é necessário garantir que: 1) o número de passagens de composições contabilizadas durante a amostragem seja proporcional ao respectivo número (médio) de passagens/dia na linha; 2) os diferentes tipos de composições sejam incluídos na amostragem. A duração total da amostra é função destas condicionantes (IA, 2003).

Em Montreal, o sistema do metrô possui características que reduzem a geração de ruído. Usam-se pneus de borracha, oito grandes pneus em cada carro rodam sobre trilhas de concreto pré-moldado, proporcionando um movimento suave e silencioso (HELLMAN, 1974). Esse sistema é extremamente caro e a redução de custos foi considerada prioridade no desenvolvimento do projeto do metrô de Salvador.

Uma forma de implantação semelhantes pelo fato de ser também em viaduto é a última linha inaugurada do metrô paulista. A atenuação de ruídos e vibrações alcançada na linha 5 Capão Redondo-Largo Treze, do sistema de metrô de São Paulo-SP, por meio de inserção de barreiras acústicas nos locais onde o aumento dos níveis de ruído de fundo até então existente ultrapassava o satisfatório. Para tanto, houve a contratação da empresa especializada GERB do Brasil – Controle de Vibrações e Acústica Ltda, que fez um levantamento do ruído existente antes da implantação do veículo, comparou com os valores normatizados e definiu quantos decibéis que as barreiras acústicas deveriam atenuar para não incrementar o ruído de fundo medido. Em outras palavras, a inserção de barreiras acústicas foi otimizada e reduzida devido ao ruído de fundo presente na região que é mandatório, especialmente no período noturno.

Um estudo feito pelo *Centre des Maquettes de Grenoble* (CSTB) avaliou o desempenho da aplicação de barreira acústica ao lado dos vagões de trens. A figura 30 demonstra a redução em dB provocada pela instalação de barreira (*Ecran*) acústica de acordo com a localização do receptor. Por exemplo, ao se instalar essa barreira, um ponto localizado a 22m de distância horizontal do limite da linha do metrô e a uma altura de 15m em relação à cota da linha terá seu NPS reduzido 5dB e um outro a 40m na horizontal e 8m na vertical terá uma redução de 10dB. As curvas representam a propagação sonora do NWS estimado desse modo de transporte, comprovando que a sombra acústica produzida pela barreira permite uma maior redução do NPS a medida que o receptor ocupe uma cota mais baixa.



Fonte: CSTB

Figura 30 – Influência da barreira de acordo com a localização do receptor

Para uma melhor eficiência, barreiras acústicas devem ser construídas próximas às fontes de ruído e aos observadores. Em geral, quanto maior a proximidade da fonte e do observador em relação à barreira, melhor sua eficiência (PAZOS, 2004). No caso do metrô, não existe nenhuma dificuldade que impeça a barreira de ser instalada bem próxima a fonte sonora, que no caso é o contato roda-trilho. Pode-se observar alguns exemplos para ilustrar essa solução nas figuras 31 a 34.



Fonte: SOMAX, 2006

Figura 31 – Barreira instalada em um trecho específico



Fonte: SOMAX, 2006

Figura 32 – Barreira contínua



Fonte: SOMAX, 2006

Figura 33 – Testes de isolamento da barreira



Fonte: SOMAX, 2006

Figura 34 – Barreira para metrô elevado

As próximas imagens da figura 35 representam fotos de obras de barreiras acústicas em vias ferroviárias executadas em Portugal pela empresa Complage (2007). A diversidade estética demonstra a versatilidade desse elemento, pois o projetista pode tirar partido dessa necessidade acústica e valorizar a área.





Fonte: COMPLAGE, 2007

Figura 35 – Exemplos de barreiras acústicas de ferrovias com interessante resultado estético

A altura da fonte emissora de ruídos pode variar em cada carro de metrô, sendo que a prática comum assume para uma fonte equivalente do veículo uma altura de 0,5m ou algo em torno da altura axial, do eixo da roda. Seria conservador admitir que a fonte de ruído está localizada no eixo da via (LAGE, 2002).

As definições técnicas que fazem parte do projeto de uma linha de metrô são altamente complexas e decorrem não apenas de exigências específicas do sistema metroviário, mas, principalmente, de aspectos como ocupação do solo, preservação do meio ambiente e patrimônio histórico. Portanto, condicionam-se às características geológicas, topográficas e geotécnicas, especificações do material rodante, características do sistema viário e questões legais. A interface do sistema metroviário com o meio urbano é mais evidente nos pátios de manutenção e nas áreas próximas às estações, onde se dá a integração com outros equipamentos de transporte, como terminais, passarelas, acessos etc. e também com instalações de utilidade pública, como áreas comerciais, praças e jardins.

As opções construtivas para a implementação de um sistema de transporte de alta capacidade, como é o caso do Metrô, podem ser divididas em três grupos: Superfície, Elevado e Subterrâneo, que serão esclarecidos a seguir.

As construções em superfície, tradicionalmente utilizadas pelas ferrovias no transporte de passageiros e de cargas, são indicadas para regiões de baixa ocupação, vazios urbanos, faixas previamente garantidas por meio de legislação, ou canteiros centrais de avenidas com larguras adequadas. À exceção desses exemplos, as estruturas em superfície pressupõem um grande volume de desapropriações, principalmente, junto às estações, o que eleva consideravelmente o custo final. Além disso, por razões de segurança, acaba sendo necessária a construção de muros altos em toda a extensão da linha, formando um bloqueio contínuo, só transposto por pessoas nas estações, passarelas ou viadutos. Essa falta de permeabilidade do meio urbano isola as áreas circunvizinhas e impede o seu desenvolvimento adequado, como se observa junto às ferrovias construídas em áreas urbanizadas (Figura 36). Tanto durante a implantação como na operação do empreendimento podem ser identificados ainda outros impactos, tais como, perturbações no sistema viário, poluição do ar, propagação de ruídos e vibrações, interferência com as redes de serviços públicos e, até mesmo, prejuízos nas atividades socioeconômicas (CMSP, 2005).

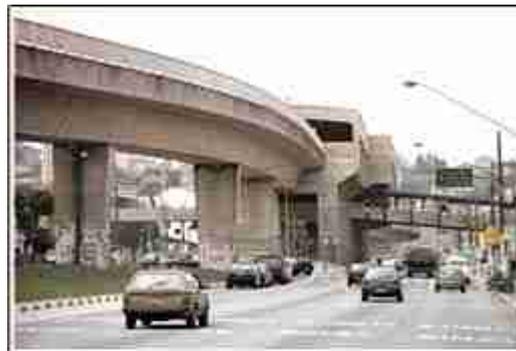


Fonte: CMSP, 2005
Figura 36 – Metrô em superfície

Assim como nas estruturas em superfície, a construção de elevados causa grande impacto à paisagem urbana, principalmente, nas regiões com alto grau de adensamento (Figura 37). Para que as interferências no contexto urbano sejam minimizadas, é fundamental que seja aplicada tecnologia de ponta com relação aos métodos construtivos, encurtando os prazos de execução, ao material rodante, permitindo a fabricação de trens mais silenciosos, com carros menores e mais leves e ao tratamento da via permanente, prevenindo a propagação de ruídos e vibrações. Quando o traçado da linha de metrô elevado utilizar faixas desocupadas, ou de avenidas com largura superior a 40 metros, os resultados obtidos são melhores, por ser guardada uma distância razoável das fachadas de edifícios, minimizando o desconforto da propagação de

ruídos. A Av. Bonocô (local de estudo dessa pesquisa) tem uma largura média de 22 metros em cada sentido. Essa Avenida será melhor identificada no item que trata da Caracterização da via (4.8).

Nas vias elevadas, as maiores dificuldades decorrem das condições topográficas. O material rodante utilizado, atualmente operando com rampas máximas de 4% e raios de curvas limitados, não permite que a estrutura se adapte a topografias muito acidentadas, o que inviabiliza, em muitos casos, essa alternativa. Para as estruturas, existem três opções: metálica, concreto moldado *in loco* e concreto pré-moldado, sendo que no caso do concreto pré-moldado, há dificuldades no transporte das peças e em se conseguir grandes áreas para a instalação de canteiros, com o inconveniente da propagação de ruídos durante a operação. As estruturas metálicas, por sua vez, não são recomendadas pela grande propagação de ruídos que provocam, a menos que seja feito um tratamento adequado da via permanente. Assim, na maioria dos casos, o que mais se recomenda é o concreto moldado *in loco* (CMSP, 2005).



Fonte: CMSP, 2005
Figura 37 – Metrô elevado

Segundo a Companhia do Metropolitano de São Paulo (2005), as linhas de metrô subterrâneas são as mais apropriadas para as áreas densamente ocupadas, proporcionando menor impacto na superfície, menor volume de desapropriações, facilidades para o remanejamento de grandes interferências enterradas, reduzidas interrupções do tráfego e preservação do patrimônio.

As fontes primárias de ruído que são produzidas pela passagem dos trens através do contato roda/trilho e são transmitidas por via aérea, estão localizadas abaixo do veículo para velocidades maiores ou iguais a 50km/h, pois causa a vibração nas rodas e nos trilhos e a radiação da energia por essas duas componentes (LAGE, 2002).

O controle de ruído gerado pelo tráfego ferroviário deve ser feito diretamente em cada uma de suas fontes. Devido à maior contribuição do conjunto roda/trilho ao ruído ferroviário, os estudos desenvolvidos nesse sentido por Kurzeveil (1983) indicam as seguintes medidas de minimização dos níveis de ruído:

I. Para ruído do tipo “guincho”:

- i. a nível de projeto, evitar curvas de pequeno raio e reduzir o máximo possível a superelevação da via.
- ii. alterar as características de contacto na interface entre roda e trilhos, com a lubrificação do trilho ou da roda.
- iii. diminuir a ressonância das rodas, usando rodas resilientes.
- iv. bloquear a propagação do som, através de barreiras contra o ruído.

II. Para ruídos de impacto e de rolamento:

- i. minimizar as discontinuidades e rugosidades das superfícies de rolamento da roda e do trilho, por meio da manutenção adequada das juntas de trilho, do esmerilhamento dos trilhos, do uso de trilhos longos e soldados e da retificação da roda.
- ii. evitar discontinuidades na superfície de rolamento das rodas por meio de um controle de alisamento e deslizamento e do uso de freios a disco.
- iii. minimizar a reação do conjunto roda/trilho às irregularidades das superfícies, com o uso de rodas e trilhos resilientes e redução da velocidade do veículo.
- iv. bloquear a propagação do som através de barreiras contra o ruído.

Há também medidas de controle de ruído no interior dos vagões e do ruído devido à passagem dos trens em estruturas elevadas. No interior dos veículos ferroviário destinados ao transporte de passageiros, o controle deve ser efetuado a partir do projeto dos veículos. O estudo da acústica do veículo deve considerar as seguintes fontes de ruído: a estrutura do corpo do veículo, principalmente, em seus pontos de sustentação; o ruído proveniente do contato roda e trilho que é propagado através da própria estrutura do veículo e de suas aberturas; as vibrações dos painéis de revestimento interno da estrutura do veículo; e a eventual existência de aparelhos condicionadores de ar.

O uso de vidros duplos nas janelas tem resultado em melhor vedação do veículo e na supressão do ruído de altas frequências, realçando, no entanto, o ruído de baixa frequência.

O controle do ruído gerado pelo tráfego ferroviário em estruturas elevadas, segundo o MHU (1988), pode ser feito por meio das seguintes medidas:

- a. redução do ruído na fonte, por meio da minimização das forças que agem na interação entre roda e trilho, aplicando as técnicas já descritas anteriormente.
- b. aumento da massa da estrutura, pois para uma quantidade fixa de energia de vibração, resulta numa redução da velocidade de vibração e, conseqüentemente, da irradiação de energia sonora. Para esse fim, pode-se fazer uso do lastro ou de pesados suportes de concreto.
- c. isolamento acústico por meio da implantação de paredes laterais de absorção do som ao longo da via, de material isolante colocado entre os trilhos e os suportes inferiores.
- d. absorção acústica capaz de promover a redução do ruído por permitir que as ondas sonoras sejam absorvidas. Tais superfícies altamente absorventes podem ser as do lastro ou os revestimento das faces das barreiras ou paredes laterais.

O controle do ruído de origem ferroviária só poderá se tornar abrangente e realmente efetivo após o conhecimento mais aprofundado de todas as fontes de ruído e seus mecanismos de geração. Nesse sentido é também necessária e importante a adoção de legislação específica para o controle do ruído de origem ferroviária, assim como já existe para o caso rodoviário.

Os transportes urbanos sobre trilhos devem ser analisados não apenas do ponto de vista empresarial. Há que se quantificar os benefícios públicos que eles proporcionem: redução da poluição atmosférica, redução do tempo de viagem, da frota de ônibus e de acidentes. Portanto, ele é extremamente benéfico quando bem implantado.

4.6. GIS COMO FERRAMENTA DE TRABALHO PARA CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE RUÍDOS

Geoprocessamento é o processamento informatizado de dados georreferenciados. Utiliza programas de computador que permitem o uso de informações cartográficas (mapas e plantas) e informações a que se possa associar às coordenadas desses mapas. É o conjunto de tecnologias e metodologias voltadas à coleta e tratamento de informações geográficas para um objetivo específico. Essas ferramentas podem e devem ser usadas por qualquer setor que trabalhe com informações que possam ser relacionadas a pontos específicos do território.

As principais aplicações são:

- a. Ordenamento e gestão do território (uso mais difundido).
- b. Otimização de arrecadação.
- c. Localização de equipamentos e serviços públicos.
- d. Identificação de público-alvo de políticas públicas.
- e. Gestão ambiental.
- f. Gerenciamento do sistema de transportes.
- g. Comunicação com os cidadãos.
- h. Gestão da frota municipal.

O uso de geoprocessamento permite que informações gerais sejam dispostas de uma forma que facilite o entendimento e as consultas, reduzindo o tempo e orientando a tomada de decisões.

A obtenção de uma base cartográfica atualizada e informatizada é o primeiro passo para a implantação do geoprocessamento. Após essa etapa deve-se fazer o tratamento das informações, alimentando o software com dados que variam de acordo com as necessidades de cada caso.

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) ou *Geographic Information System* (GIS), é o ambiente que permite a interação e a integração de dados referenciados ao espaço geográfico, objetivando desenvolver análises espaciais que servem de base para o planejamento de qualquer tema que tenha a localização como variável fundamental. Integra uma série de tecnologias como Sensoriamento Remoto, *Global Positioning Systems* (GPS) e Geoprocessamento.

É composto por computadores, softwares e procedimentos projetados para suportar a captura, gerenciamento, tratamento, análise e saída de dados espaciais referenciados geograficamente para resolver questões complexas em planejamento e gerenciamento. Estes sistemas utilizam dados cartográficos (mapas) e dados alfanuméricos (atributos) associados às coordenadas dos mapas, produzindo informações geográficas que permitem a realização de análises espaciais para a compreensão e gestão do espaço geográfico. É capaz de processar dados gráficos e não gráficos, com ferramentas de análises espaciais e modelagem de superfície (CONDER, 2005).

Os softwares de geoprocessamento integram as bases geográficas a bancos de dados e possuem as ferramentas adequadas para desenvolver as análises necessárias. Atualmente já

existe um comércio de dados digitais (mapas, banco de dados, imagens, aplicativos) o que torna o geoprocessamento uma tecnologia cada vez mais importante, fazendo parte dos currículos de universidades de todo o mundo.

O Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (Spring) é um SIG gratuito desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) que inclui ferramentas de um sistema de Processamento Digital de Imagens (PDI) e sensores remotos. O Spring integra na mesma base: dados cartográficos, dados de censo, cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, além de possuir algoritmos para tratar, analisar, consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados. Pode-se afirmar que o Spring é um SIG no estado-da-arte, com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais (CÂMARA *et al.*, 2007).

O LEGAL é a linguagem espacial geral de manipulação do Spring, que inclui operações matemáticas, local e zonal por meio do geo-campo, operações de seleção espacial e junção espacial através dos geo-objetos, transformações de geo-objetos para geo-campos (por atributos de reclassificação e mapas amortecedores) e de geo-campos em geo-objetos (interpolações espaciais e identificação). Sua sintaxe é baseada no *Object Query Language* (OQD), padrão proposto para dados de objetos orientados por gerenciamento de sistemas de base. No LEGAL, operações referentes ao geo-campo e transformações entre geo-campo e geo-objetos são implementadas por meio de operações com o mesmo nível de semântica das indicações do OQD (CÂMARA *et al.*, 2007).

Um mapa de ruído é uma representação da distribuição geográfica de um indicador de ruído, reportando-se a uma situação existente ou prevista para uma determinada área. Representa um elemento fundamental para a informação acústica das áreas que são objeto de estudos de âmbito municipal, pois fornece a localização das fontes de ruído e das áreas que correspondem às classes de valores expressos em dB(A), referente aos níveis de exposição ao ruído no exterior (DGA, 2001a).

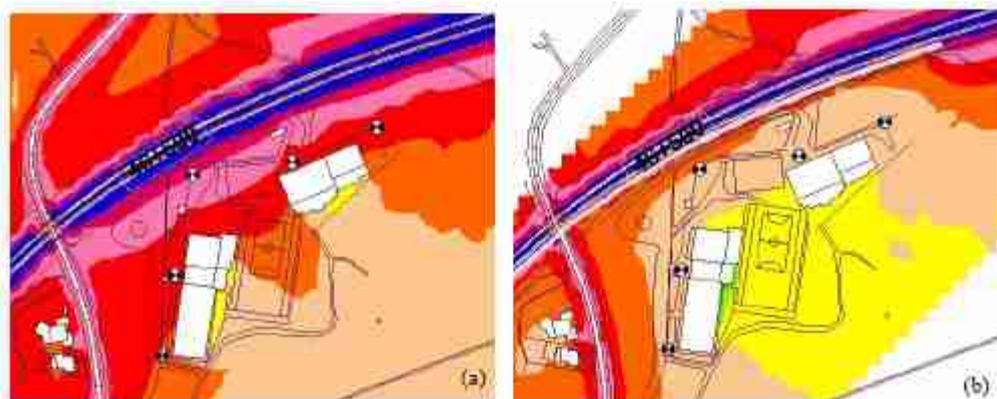
Bento Coelho e Alarcão (2005) afirmam que um modelo 3D geográfico pode ser criado para a área a ser avaliada, mas para isso toda informação do terreno deve ser levada em consideração, todos os objetos (edifícios, paredes, pontes) e fontes sonoras (ruas, autopistas, aeroportos, indústrias) com alturas são incluídos. Dados do SIG são normalmente usados e

servem de base para a modelagem. Este modelo é validado usando técnicas de inspeção visual (imagens e vídeos).

Os benefícios dos mapas de ruído são:

- a. Obter uma clara visão das áreas ruidosas e tranquilas.
- b. Preservar áreas calmas e tranquilas.
- c. Desenvolver estratégias para redução do ruído.
- d. Melhorar o planejamento urbano.
- e. Orientar na tomada de decisão para investimentos.

A figura 38 mostra um exemplo de uma área onde um projeto de ação foi criado para atenuar o NPS na fachada de uma escola que excedia 60dB(A) por estar próxima a uma rodovia. O plano de redução sonora engloba uma nova absorção sonora devido a um tipo mais poroso de pavimentação e da instalação de barreiras acústicas no lado da rua voltado para a escola. A solução foi otimizada em termos de benefício e de custo devido à aplicação de mapas de ruído. Os resultados mostram que valores consideráveis de atenuação sonora podem ser previstos e soluções podem ser projetadas antes mesmo da instalação de determinada edificação (BENTO COELHO e ALARCÃO, 2005).



Fonte: BENTO COELHO e ALARCÃO, 2005

Figura 38 – Mapa de ruído de uma área escolar próxima a uma rodovia antes (a) e depois (b) de ações para reduzir o ruído (quanto mais escura for a cor maior o NPS)

As informações necessárias à elaboração de mapas de ruído podem ser obtidas utilizando-se modelos de cálculos ou recorrendo a medições acústicas. A modelagem é desejável na perspectiva de harmonização a médio/longo prazo com as regras adotadas relativas a avaliação e gestão do ruído ambiental. As medições acústicas também podem ser utilizadas

como complemento à modelagem e identificar as fontes de ruído é o principal passo na elaboração de um mapa de ruído (DGA, 2001a).

Nos mapas de ruído de Portugal (DGA, 2001a) a cada fonte de ruído individualizada é associada uma envolvente acústica, integrando a contribuição das várias fontes de ruído no local e na delimitação destas envolventes são utilizadas isolinhas com variação de 5dB(A). Ao utilizar modelos de cálculo na previsão de níveis sonoros, a modelagem deve permitir a agregação simples (soma logarítmica de níveis sonoros) das contribuições das várias fontes para um determinado ponto receptor, alcançando a integração dos resultados. São consideradas individualmente pelo menos as seguintes fontes sonoras:

- a. Os grandes eixos de circulação rodoviária, incluindo os itinerários principais e complementares da rede fundamental e todas as rodovias onde o tráfego médio diário anual (TMDA) ultrapasse 8.000 veículos.
- b. Os grandes eixos de circulação ferroviária, incluindo as linhas da rede principal e complementar, o metropolitano de superfície e todas as ferrovias com 30.000 ou mais passagens de trens por ano.
- c. Os aeroportos e aeródromos.
- d. As atividades ruidosas abrangidas pela avaliação de impacto ambiental.

Portanto, os mapas de ruído são ferramentas estratégicas de análise e planejamento, porque permitem visualizar condicionantes dos espaços por requisitos de qualidade do ambiente acústico e propicia o enquadramento das medidas de controle de ruído nos planos de ordenamento do território (DGA, 2001a). Os softwares de geoprocessamento se prestam muito bem a esse papel, pois são capazes de relacionar o espaço físico com dados numéricos de valores de referência e/ou calculados.

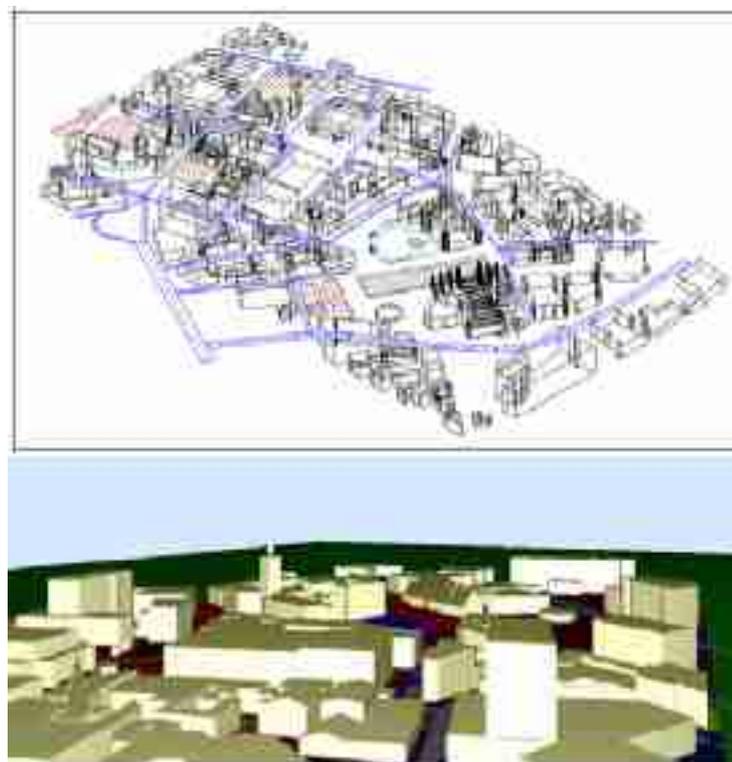
Existem softwares de simulação capazes de prever o ruído em cada ponto, considerando a altura do receptor e as interferências externas como reflexões sonoras, mas são estudos muito recentes e existem muitos trabalhos que estão estudando a validade dos mesmos. Kang e Huang (2005) desenvolveram uma pesquisa que examinou a validade e simplicidade dos cálculos de *softwares* de mapas de ruído comumente usados. A comparação foi feita entre o programa e a medição *in loco*. Para estudar as interferências das reflexões foram feitas no estudo de caso, diversas medições para caracterizar o ruído existente, depois para validar foram escolhidos quatro pontos representativos (Figura 39), também é feita uma modelagem

3D (figura 40) e finalmente os mapas de ruído são gerados (Figura 41) contando com uma e com três reflexões sonoras. Cada face das edificações tem determinado fator de refletância pré-definido.



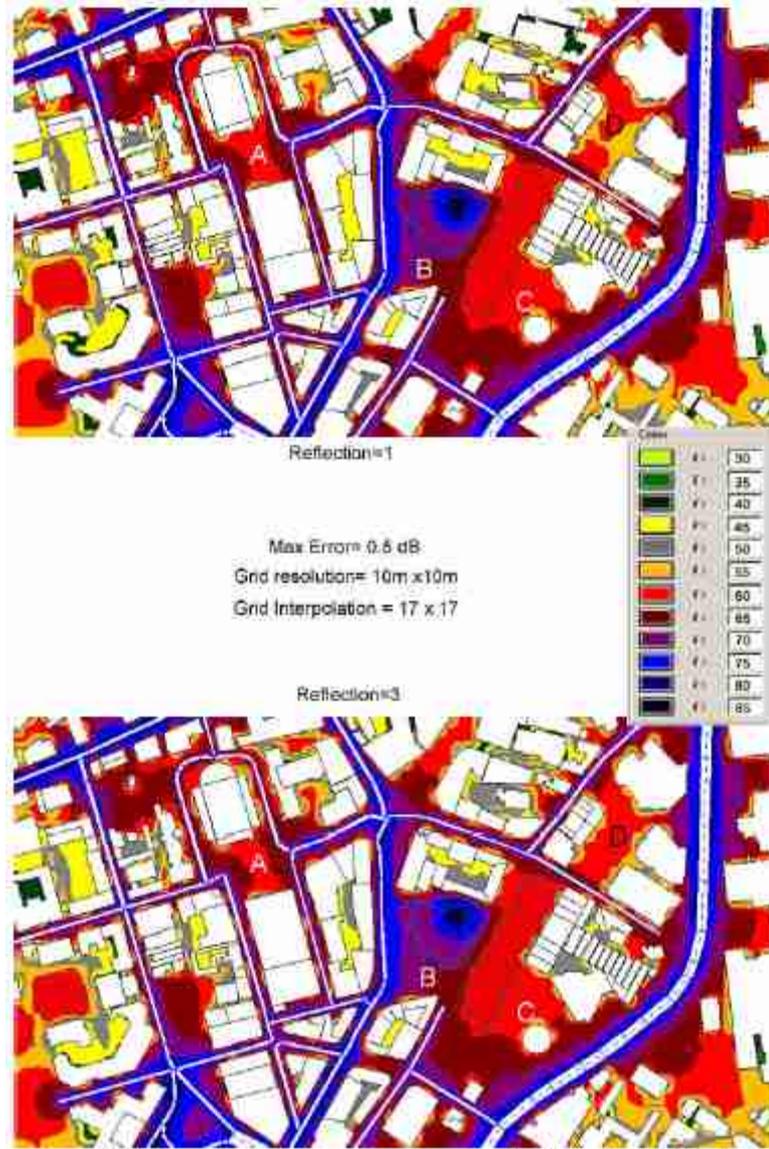
Fonte: KANG e HUANG, 2005

Figura 39 – Planta do local mostrando os pontos de medição sonora para dados das fontes (a) e para a validação (b)



Fonte: KANG e HUANG, 2005

Figura 40 – Modelo 3D de um lugar para o mapa de ruído, mostrado em linhas (acima) e renderizado (abaixo)



Fonte: KANG e HUANG, 2005

Figura 41 – Mapa de ruído com reflexões da ordem de 1 (acima) e 3 (abaixo)

TABELA 11 – COMPARAÇÕES ENTRE OS RESULTADOS CALCULADOS E MEDIDOS

| SITUAÇÃO | RECEPTOR | | | |
|-----------------------------------|----------|------|------|------|
| | A | B | C | D |
| Calculado, reflexão da ordem de 1 | 64,2 | 69,5 | 62,9 | 60,2 |
| Calculado, reflexão da ordem de 3 | 64,8 | 69,7 | 63,2 | 61,2 |
| Medido | 63,9 | 68,7 | 62,4 | 59,3 |

Fonte: KANG e HUANG, 2005

Observa-se na tabela 11 que os valores medidos se aproximaram muito dos simulados e a diferença entre as ordens de reflexões calculadas foi muito pouca, mas no local onde está o pondo D (Figura 41) percebe-se uma pequena variação de NPS. A precisão de *softwares* de

mapas de ruído para pequenas escalas urbanas como quadras e ruas foram estudadas e sugere-se que os algoritmos não são aplicáveis quando reflexões têm um importante papel. Existe, conseqüentemente, a necessidade de integrar no *software* de mapas de ruído, técnicas de modelagem mais precisas, porém ainda simples e rápido. O estudo de caso mostrou que a exatidão global de mapas de ruído é suficientemente boa, quando o local se trata de uma área de urbanização densa, onde o som direto é geralmente dominante e tanto as reflexões quanto as difrações não interferem de forma relevante (KANG e HUANG, 2005).

Esse caso é similar a situação da Av. Bonocô, onde o som direto proveniente da principal fonte sonora (tráfego urbano) se sobrepõe às interferências externas.

4.7. MODELOS DE PREVISÃO DE RUÍDO AMBIENTAL DE TRÁFEGO

A finalidade da Análise Ambiental é avaliar os impactos prováveis das ações resultantes do transporte, pois existe a necessidade de se olhar para o futuro de maneira quantitativa para executar a necessária avaliação comparando com diretrizes e padrões fixados nos regulamentos e leis ambientais pertinentes (FIGUEIREDO e SANTOS, 2004).

As propostas de ações e intervenções no Sistema de Transportes Urbanos geram modificações das condições acústicas nas vizinhanças das vias afetadas. Por isso é importante dispor de instrumentos que possibilitem a previsão de tais modificações, por meio da previsão do ruído gerado pelo fluxo de veículos que utilizarão as vias, modificadas ou construídas.

Segundo o MHU e a EBTU (1988), tal prognóstico será utilizado para duas finalidades distintas:

- a. indicação das providências voltadas para a atenuação de ruídos (que estiverem acima dos níveis permitidos).
- b. avaliação dos impactos (positivos ou negativos) produzidos pela implementação das medidas propostas.

O Centro de Estudos de Transporte e Meio Ambiente (CETRAMA) da Escola Politécnica da UFBA tem desenvolvido pesquisas que tem como base a utilização do programa de simulação *Community Noise Model* (CNM) que prevê os níveis sonoros nos receptores e é capaz de calcular o ambiente acústico a partir de diversos tipos de fontes sonoras como: Automóveis, Ferrovias, Aeronaves e Fontes pontuais. Esse programa foi doado pela cooperação com a

University of Central Flórida, que tem excelência no assunto e implantaram algoritmos acústicos que incluem (FIGUEIREDO e SANTOS, 2004):

- a. dispersão Geométrica.
- b. efeitos do terreno.
- c. efeitos de difração.
- d. efeitos atmosféricos.

A pesquisa desenvolvida por Santos (2004) objetivou validar o modelo devido às diferentes condições entre o Brasil e os EUA. Foi possível concluir que o modelo tem algumas limitações sendo necessário a continuidade do seu uso para validar completamente, porém é utilizável e justificou-se a aplicabilidade devido ao baixo custo envolvido e as boas características de operação para o usuário. Quanto à confiabilidade, os resultados obtidos das simulações comparados com os valores medidos foram muito parecidos no parâmetro L_{eq} .

A seguir serão comentados modelos de cálculo específicos para ruído ferroviário, fazendo um apanhado histórico sobre os modelos adotados no Brasil e no mundo. Os estudos do ruído de origem ferroviária estão muito aquém dos já realizados para o ruído de origem rodoviária, portanto, existem ainda poucas referências e aplicabilidade dos mesmos.

Os dados de entrada típicos para os modelos de cálculo de ruído ferroviário segundo a DGA (2001c), são:

- a. **Tráfego:** n° composições/dia por tipo de composição, velocidade média de circulação por tipo de composição, comprimento médio da composição por tipo de composição.
- b. **Geometria da ferrovia:** perfis longitudinal e transversal (de preferência, em formato digital), características dos carris (tipo de união, rugosidade, tipo de travessas).
- c. **Envolvente:** localização dos receptores (com informação de cotas e n° pisos), altimetria do terreno (curvas de nível e pontos cotados, de preferência em formato digital), posição e dimensões de obstáculos (edifícios, muros, barreiras etc.) na vizinhança acústica da via (de preferência, em formato digital), caracterização do solo na vizinhança acústica da via (solo absorvente, refletor).
- d. **Condições meteorológicas dominantes:** frequência relativa e velocidade do vento (médias anuais), temperatura e umidade relativa médias do ar (médias anuais).

Deve ser dada preferência ao recurso de modelação quando se tratar de trechos ferroviários extensos e com muitos receptores potenciais e situações de exposição diversas. A maioria dos modelos necessita, como dado de entrada, do número de passagens por período de referência (diurno e noturno), por tipo de composição, o qual, para a generalidade dos casos, deve ser obtido a partir do tráfego estabelecido para a via em questão, em um dia útil normal. Nestas condições, o período temporal da previsão reporta-se a um ano (IA, 2003).

Os métodos de previsão do ruído ferroviário para serem eficazes devem atingir dois objetivos: prever os níveis de ruído associados à passagem de um único trem, desconsiderando o ruído de fundo e permitir a tradução dos níveis de ruído em um índice de ruído que sirva aos estudos ambientais, o que significa usar como referência os valores de L_{eq} . Os instrumentos de previsão são modelos preditivos empíricos e os métodos que o então Ministério da Habitação, Urbanismo e Meio Ambiente juntamente com a Empresa Brasileira de Transportes Urbanos (MHU, 1988) recomendam que devam ser aplicados ao transporte ferroviário brasileiro são os seguintes:

- a. Método de R. Lotz.
- b. Método Francês (SNCF, RATP, CSTB).

Lotz (1977) sugere um método de previsão de níveis de ruído desdobrado nas seguintes etapas:

- I. Identificação dos fatores de operação e características do material rodante e da via:
 - i. Locomotiva: Fonte de energia, Método de aspiração, Sistema de exaustão, Velocidade de operação.
 - ii. Vagões: Tipo de vagão, Condições das rodas, Tipo de rodas, Lubrificação das rodas, Tipo de sistema de freios.
 - iii. Via: Tipo de suporte da via, Curvatura da via, Condições dos trilhos, Continuidade dos trilhos, Lubrificação dos trilhos.
- II. Seleção de dados de ruído correspondentes ao item I – em função dos fatores identificados deve-se verificar a existência de dados de níveis de ruído típicos gerados por aquele material rodante. Toma-se o valor máximo pesquisado, denominado-o L_A .
- III. Estimativa do nível de ruído L'_A (em dB) – aplica-se a seguinte equação (LOTZ, 1977):

$$L'_A = L_A + 10 \log \left[\frac{d \cdot \iota' / 2d'}{d' \cdot \iota / 2d} \right]$$

Onde:

ι – comprimento da composição do trem, em m;

d – distância entre o observador e o centro da linha, em m;

ι' – valor normalizado do comprimento do trem (nos EUA - 23m);

d' – valor normalizado da distância entre o observador e o centro da linha (nos EUA – 15m).

Havendo dados empíricos referentes a fatores determinantes que causem variações nos níveis de ruído, principalmente, em termos das condições da via, podem ser efetuados ajustes no valor obtido.

Como o método de Lotz (1977) não se destina a encontrar o valor de L_{eq} não será usado como referência, pois não gera dados capazes de proporcionar um comparativo com outros métodos.

O método francês de estimativa do ruído devido à circulação ferroviária foi concebido a partir de indicações técnicas obtidas em documentos elaborados por pesquisas científicas e buscou uma aplicação tão simples quanto possível. Para isso duas técnicas foram desenvolvidas: fórmulas analíticas de aplicação computacional e ábacos (CETUR, 1980).

Segundo esse método o nível sonoro máximo devido à passagem de um trem L_{max} (em dB) percebido por um receptor situado em campo aberto é calculado a partir da seguinte fórmula (CETUR, 1980):

$$L_{max} = L_o - k \log d/d_o + 30 \log V/V_o - k_d$$

Onde:

L_o – nível sonoro de referência emitido por um trem de determinado tipo, circulando a velocidade v_o , percebido por um observador situado a uma distância d_o , a uma altura normalizada h_o , em dB(A);

k = coeficiente multiplicador da função distância, dependente do comprimento do trem;

d = distância entre o observador e o eixo da via férrea, em m;

d_o = distância de referência onde o trem emite o nível L_o , em m;

V = velocidade do trem, em km/h;

V_o = velocidade do trem que emite um nível L_o , a uma distância d_o , em km/h;

k_d = corretivo de direção.

Esta expressão pode ser aplicada até distâncias de 250m da via, em campo livre, para velocidades de circulação compreendidas entre 40 e 300km/h. Os valores L_o , k e k_d são fornecidos nas tabelas 12, 13 e 14, em função do tipo de material rodante.

TABELA 12 – NÍVEIS DE REFERÊNCIA 1

| Designação do material | Velocidade (V _o), em km/h | Nível de referência (L _o), em dB(A) | | |
|---|--|---|----------------------|----------------------|
| | | d _o = 7,5m | d _o = 15m | d _o = 25m |
| Trêns curtos de periferia (automotores) e metrô <ul style="list-style-type: none"> Gabaritos grandes: Z6400, MS 61, MI 79 Gabaritos pequenos: MF 67, MF 77, pneu | 60 | 79 | 75 | 72 |
| Trens de longas linhas <ul style="list-style-type: none"> Rápidos Espressos | 200 140 | 104 97 | 100 94 | 97 92 |
| Trens de carga <ul style="list-style-type: none"> Mercadorias Malotes | 80 100 | 80 100 | 89 92 | 86 89 |
| Motores isolados ou “autorails” Tipo ETG ou RTG | 120 155 | 120 96 | 88 91 | 85 89 |

Fonte: CETUR, 1980

TABELA 13 – NÍVEIS DE REFERÊNCIA 2

| Tipo de trem | Longitude média (l), em m | Valores de referência L _o , em dB(A) | | |
|-----------------------|---------------------------|---|--------------------------|---------------------------|
| | | d _o , em m | v _o , em km/h | L _o , em dB(A) |
| Trens de proximidades | 100 | 25 | 100 | 79 |
| Trens de proximidades | 100 | 25 | 120 | 81 |
| Metrô | 75 | 7,5 | 60 | 79 |
| Trens de carga | 325 | 25 | 80 | 86 |
| Trens de carga | 325 | 25 | 100 | 88 |
| Trens automotivos | 40 | 25 | 120 | 87 |
| Trens automotivos | 40 | 25 | 155 | 91 |
| TALGO | 250 | 25 | 200 | 96 |
| AVE | 240 | 25 | 300 | 94,5 |

Fonte: SANCHIDRIÁN, 2001

TABELA 14 – VALORES DE k 1

| Tipo de trem | Valores do coeficiente k |
|---|--------------------------|
| Trens de mercadorias ou malotes (trens longos) | 12 |
| Trens de grandes linhas (comprimento médio) | 15 |
| Metrô de grande gabarito MS 61, MI 79 | 14 ≤ k ≤ 16 |
| Metrô de pequeno gabarito MF 67, MF 77, pneu | 16 |
| Trens curtos de periferia Z 6400 ou automotores ETG – RTG | 17 |
| Motores isolados ou “autorails” isolados | 20 |

Fonte: CETUR, 1980

A tabela 15 é proveniente de uma outra referência, com outras identificações do veículo (valores de k), mas resulta no mesmo valor da tabela anterior, portanto, válida o parâmetro utilizado.

TABELA 15 – VALORES DE k 2

| Tipo de trem | Valores do coeficiente k |
|--|--------------------------|
| Trens longos | 12 |
| Trens de comprimento médio: rápidos, expressos, TALGO, AVE | 15 |
| Trens curtos: proximidades | 16 |
| Máquinas isoladas, automotor | 20 |

Fonte: SANCHIDRIÁN, 2001

Em um eixo perpendicular ao eixo do trem, deve-se considerar uma diminuição do nível de pressão sonora devido ao efeito barreira que o chassi dos vagões produz. Essa redução se produz somente para valores de ângulos superiores a 30° a partir da horizontal, de acordo com a tabela 16.

TABELA 16 – VALORES DE k_d

| Ângulo formado pela irradiação acústica e horizontal, em graus | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | 90° |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Corretivo de direção k _d | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 3 | 4,5 | 6 | 7,5 | 9 |

Fonte: CETUR, 1980

O cálculo do L_{eq} (em dB) devido à passagem de um trem depende do nível máximo e da duração da exposição t_e (CETUR, 1980):

$$L_{eq} = 10 \log (t_e/T \cdot 10^{L_{max}/10})$$

O tempo de exposição à passagem de um trem depende do comprimento do trem e de sua velocidade e é dado por

$$t_e = l/v + 6.d/100$$

Onde :

t_e = tempo de exposição, em s;

T = período de tempo durante o qual se pretende calcular L_{eq}, em s;

L_{max} = nível sonoro máximo devido à passagem de um trem, em dB(A);

l = comprimento do trem, em m;

V = velocidade do trem, em m/s.

Na previsão de níveis sonoros, a proposta de Diretiva do Parlamento e do Conselho Europeu relativo à avaliação e gestão do ruído ambiente, recomenda que o método de cálculos para ruídos ferroviários seja “Standaard-Rekenmethode II” dos Países Baixos (também conhecido

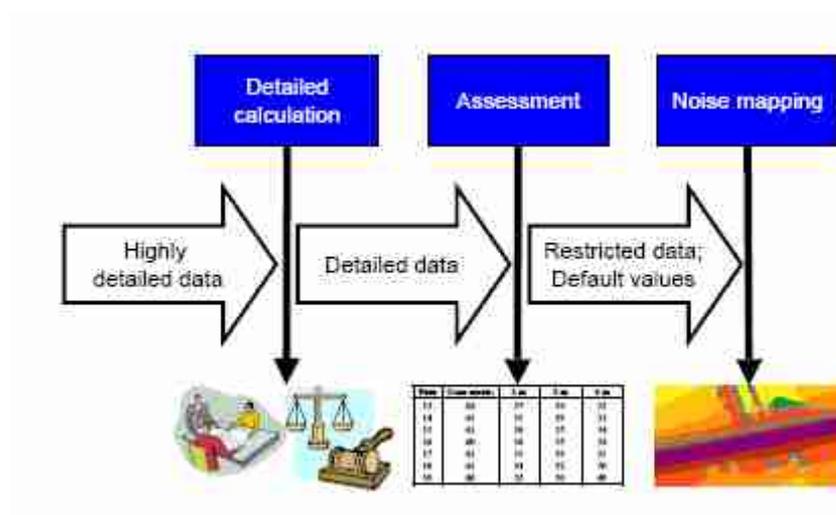
como método Holandês) ou um método que, segundo a Direção Geral do Ambiente de Portugal (2001c), verifique os seguintes critérios:

- b. Possibilidade de gerar previsões ao longo de um corredor associado à via ferroviária.
- c. Possibilidade de gerar mapas de ruído associados às previsões.
- d. Possibilidade de gerar previsões detalhadas à escala local por forma a apoiar a decisão sobre um plano de redução de ruído.
- e. Possibilidade de calcular os resultados em termos do indicador L_{eq} .
- f. Cálculo dos resultados por bandas de oitava.
- g. Distinção entre diferentes tipos de composições.
- h. Consideração da influência do declive da via na potência da locomotiva e, conseqüentemente, nos níveis sonoros de emissão.
- i. Correção meteorológica no cálculo de $L_{Aeq,LT}$, para condições favoráveis e desfavoráveis à propagação do som, adaptada às condições nacionais.
- j. Consideração de vários tipos de solo na vizinhança acústica da via.
- k. Consideração de vários tipos de vegetação (por exemplo: vegetação rasteira, floresta, áreas cultivadas) na vizinhança acústica da via.
- l. Consideração de efeitos topográficos na propagação do ruído.
- m. Consideração de efeitos de atenuação devido a obstáculos.
- n. Consideração de efeitos de reflexão entre fachadas e outros obstáculos (pelo menos, reflexões de 1ª ordem).

Atualmente existe um método extremamente completo desenvolvido pela Comunidade Européia denominado *HarmoNoise*. O projeto *HarmoNoise* teve início em 2001 e objetiva desenvolver um modelo Europeu de previsão de ruído ambiental de tráfego rodoviário e ferroviário, visando proporcionar um método mais preciso e de confiança, cuja base tenha aceitação internacional para todos os usuários por meio da Europa. A idéia é que ele se torne obrigatório para as autoridades e especialistas de todos os países membros da Comunidade Européia, pois busca harmonizar os cálculos. A característica principal desse novo método é calcular o nível de ruído em certo ponto e comparar com os limites legais sugeridos.

A possibilidade de se produzir mapas de ruído e acumular o NPS proveniente de diversas fontes, permitindo que a energia acústica total seja observada, além de relacionar com o grau de incômodo, permite que o *HarmoNoise* sirva de base para decisões políticas relacionadas ao planejamento urbano (VOS, BEUVING e VERHEIJEN, 2006). O processo de modelagem se

divide em três níveis: cálculos detalhados, avaliação e mapas de ruído, conforme está exposto no diagrama da figura 42:



Fonte: NOTA, BARELDS e MAERCKE, 2005

Figura 42 – Distinção das etapas de modelagem

O método de engenharia *HarmoNoise* foi extensivamente validado por meio de mais de 15.000 casos e foi desenvolvido para o cálculo dos níveis de pressão sonora causados tanto por tráfego rodoviário quanto ferroviário e em qualquer condição meteorológica. Contêm a descrição da fonte sonora desses dois modos de transporte e da atenuação durante a propagação (NOTA, BARELDS e MAERCKE, 2005). Será feita uma apresentação detalhada somente das fórmulas referentes ao transporte ferroviário por ser o foco do trabalho, pois a parte referente ao ruído de tráfego rodoviário foi obtida por meio de medições *in loco*.

O método de propagação descreve a atenuação entre cada fonte sonora e um determinado receptor. O nível de ruído total no ponto receptor é determinado pelo somatório de todas as contribuições provenientes de todas as fontes, levando em consideração as interferências de todos os pontos ao longo do percurso. No caso dessa pesquisa, a propagação necessária calculada foi o do ruído do metrô, devido ao fato dele ainda não estar instalado, mas não houve a necessidade de se calcular a propagação do ruído de tráfego, pois o mesmo já foi medido nos mesmos pontos em que se calculou o NPS do metrô, permitindo, portanto, o somatório e a determinação do ruído final esperado.

As principais vantagens do método de engenharia *HarmoNoise* são:

- a. Modelo físico de fonte sonora, pois possui diferentes fontes para diferentes técnicas de propagação.
- b. Inclui as últimas técnicas para determinação de fonte de ruído rodoviária e ferroviária.
- c. É capaz de modelar em diferentes condições de operação (aceleração e desaceleração, superfície da estrada, correções da trilha, roda ou trilha ásperos).
- d. Foi validado em 5 anos de medições em 3 países da Europa.
- e. Existe um método de engenharia sustentado por métodos de referência.
- f. Modela em 1/3 oitava.
- g. Um modelo de propagação para todas as fontes de: rodoviárias e ferroviárias.
- h. Zona Fresnel para a continuação da modelagem de reflexões da terra e dos objetos.
- i. Modelo completamente contínuo, sem descontinuidade devido a imperfeições geográficas.
- j. Inclui efeitos meteorológicos como a direção e a velocidade do vento e gradientes de temperatura.
- k. Projetado para mapeamento de ruído, avaliação de impactos e estudos detalhados.

O termo simplificado equivalente ao NPS causado por uma fonte linear “n”, representada por uma fonte pontual “L_w”, é calculado pela fórmula:

$$L_{eq} = L_w - A_{div} - A_{atm} - A_{excess} - A_{refl} - A_{scat}$$

Onde :

$$L_w = L'_w + 10 \log(t);$$

L'_w = nível de potência sonora, em dB;

t = comprimento do trem, em m;

A_{div} = atenuação devido à expansão geométrica;

A_{atm} = atenuação devido à absorção atmosférica;

A_{excess} = atenuação excessiva devido ao grau de reflexões e efeitos da difração;

A_{refl} = atenuação devido a perda de energia durante as reflexões;

A_{scat} = atenuação devido a zonas de dispersão.

Divergência geométrica - A_{div}

Ocorre por conta da dispersão esférica da energia acústica emitida de uma fonte pontual em um campo livre e não depende da frequência.

$$A_{div} = 10 \log \left[4 \pi \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 \right]$$

Onde :

R = distância entre a fonte e o receptor, em m;

R_0 = distância de referência, em m (1m).

Absorção atmosférica - A_{atm}

$$A_{atm,d} = \alpha_{atm,d} R (1.0053255 - 0.00122622 \alpha_{atm,d} R)^{1.6}$$

Onde :

α_{atm} = coeficiente de atenuação atmosférica para tons puros, em dB/m

$$\alpha_{atm} = 8.686 f^{2.2} \left\{ 1.84 \times 10^{-21} \frac{p_r}{p_a} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \right. \\ \left. + \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-0.72} \left[\frac{0.01275 \exp\left(\frac{-2239.1}{T}\right)}{f_{r0} + \left(\frac{f^2}{f_{r0}}\right)} + \frac{0.1068 \exp\left(\frac{-3352.0}{T}\right)}{f_{w0} + \left(\frac{f^2}{f_{w0}}\right)} \right] \right\}$$

$$f_{r0} = \frac{p_a}{p_r} \left(24 + 4.04 \times 10^4 h \frac{0.02 + h}{0.391 + h} \right)$$

$$f_{w0} = \frac{p_a}{p_r} \sqrt{\frac{T_0}{T}} \left(9 + 280 h \exp\left\{ -4.170 \left[\left(\frac{T_0}{T} \right)^{1/3} - 1 \right] \right\} \right)$$

$$h = h_r \frac{p_r}{p_a} 10^C$$

$$C = 6.8346 \left(\frac{273.16}{T} \right)^{1.261} + 4.6151$$

Onde :

T = temperatura atmosférica, em °K;

T_0 = temperatura de referência, em °K (293,15);

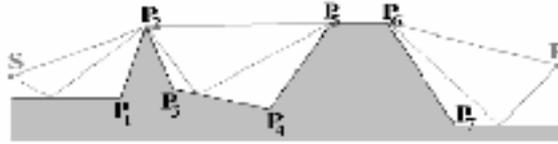
h_r = umidade relativa, em %;

p_a = pressão atmosférica, em kPa;

p_r = pressão atmosférica de referência, em kPa (101,325).

Atenuação excessiva - A_{excess}

Computa o total de atenuação excessiva entre o segmento linear da fonte e o receptor. Um casco convexo deve ser construído, iniciando pela fonte por meio de todos os segmentos do chão até o receptor, como pode ser observado no exemplo da figura 43:



Fonte: NOTA, BARELDS e MAERCKE, 2005

Figura 43 – Casco convexo S-P₂-P₅-P₆-R

Calcula-se o efeito do chão entre cada conjunto de dois pontos no casco convexo. O total dessa atenuação é dado por:

$$A_{\text{casco},j} = \sum_{k=1}^K A_{\text{diff},j,k} + \sum_{k=1}^{K-1} A_{\text{gr},j,k}$$

Onde :

A_{diff} = atenuação devido a difração, em dB;

K = quantidade de pontos pertencentes ao casco convexo;

A_{gr} = atenuação devido às reflexões do solo para $K+1$ seções do terreno entre dois consecutivos pontos do casco convexo.

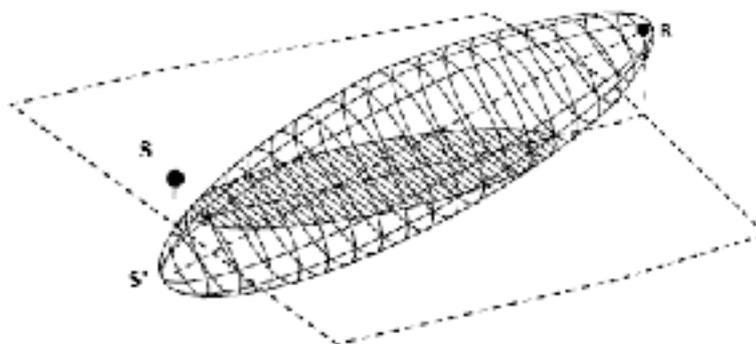
Esse parâmetro não foi computado nos cálculos da situação estudada, pois os pontos escolhidos estão situados de frente para a fonte sonora e a análise será feita apenas para as edificações lindeiras, que não são afetadas pelo fenômeno da difração.

Perda de energia durante a reflexão - A_{ref}

A eficiência da reflexão é calculada pela equação:

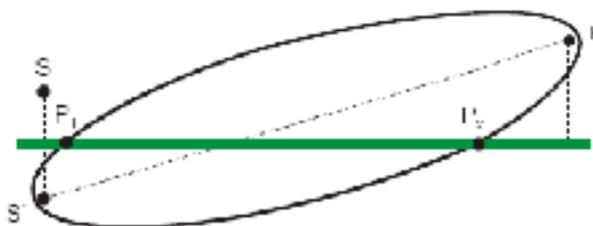
$$A_{\text{ref},j} = 10 \log(\rho_{\text{E}}) + 20 \log\left(\frac{S_{\text{ref},j}}{S_{\text{Fz},j}}\right)$$

O primeiro termo na equação é a correção do coeficiente de energia refletida efetiva “ ρ_{E} ” e o segundo termo é a correção para o tamanho da superfície de reflexão. “ S_{ref} ” é a área da superfície dentro da *Fresnel-zone* no plano de reflexão e S_{Fz} é a área total da *Fresnel-zone*, que é determinada pela interseção entre o plano de reflexão e a elipsóide Fresnel ao redor do raio sonoro da imagem da fonte até o receptor. O tamanho da *Fresnel-zone* deve ser calculada baseada na fração $F_{\lambda} = 1/8$.



Fonte: NOTA, BARELDS e MAERCKE, 2005
 Figura 44 – Definição da elipsóide Fresnel e da *Fresnel-zone*

No modelo de propagação em duas dimensões, a *Fresnel-zone* se torna em uma dimensão como mostra figura 45.



Fonte: NOTA, BARELDS e MAERCKE, 2005
 Figura 45 – *Fresnel-zone* em uma dimensão (P_1 - P_2) no modelo de propagação em duas dimensões

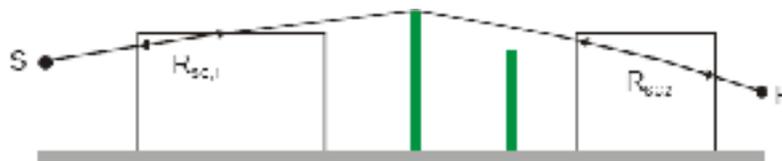
TABELA 17 – EXEMPLOS DE COEFICIENTE DE ENERGIA REFLETIDA

| Características da superfície de reflexão | ρ_E |
|---|------------|
| Plana e com superfície dura (concreto, pedra, tijolo, chapa metálica) | 1,0 |
| Fachadas não absorventes de edifícios com janelas e pequenas irregularidades, painéis densos de madeira | 0,8 |
| Paredes de fábricas com 50% da superfície constituída de aberturas, instalações ou canos | 0,4 |

Fonte: NOTA, BARELDS e MAERCKE, 2005

Atenuação pela dispersão das árvores - A_{scat}

O resultado da propagação através de densas florestas é função do diâmetro médio dos troncos “d”, do comprimento total da trajetória do som através da zona de espalhamento “ R_{SC} ” e da altura média das árvores “ h_{SC} ”. A extensão de “ R_{SC} ” é determinada pela interseção dessa zona dentro do caminho de propagação e do casco convexo da fonte para o receptor por meio de todos os seguimentos, como ilustrado abaixo. Se “ R_{SC} ” for menor que 3,125m, o efeito da zona de espalhamento será ignorada.



Fonte: NOTA, BARELDS e MAERCKE, 2005
 Figura 46 – Comprimento da trajetória da zona de dispersão “R_{SC}”

Esse resultado é dado pela equação:

$$A_{\text{excess,t}} = \text{MIN} \left[1.25 k_f(d) \left(\frac{R_{sc}}{13.75} \right)^2 \left(A_e(h_{sc}, R_{sc}) + 20 \lg \left(\frac{8 R_{sc}}{25} \right) \right); 15 \right]$$

Onde :

$k_f(d)$ = função da frequência, em m;

A_e = correção de nível dada pela interpolação entre R_{SC} e h_{SC} , em m.

Esse parâmetro também não foi calculado porque se trata de uma área amplamente urbanizada e sem vegetação entre a fonte sonora e o receptor.

O método de engenharia apresentado é um cálculo flexível e pode ser usado tanto para cálculos detalhados no caso de avaliação de ruído quanto para mapas de ruído, podendo também ser usado com dados inseridos desde que esses valores sejam fornecidos. O modelo da fonte para ruído ferroviário ainda não possui valores padronizados e pequenos erros podem ocorrer, mas são aceitáveis.

Na situação a ser estudada a fórmula geral pode ser sintetizada, pois os parâmetros A_{excess} e A_{scat} não estão presentes na situação da pesquisa. Portanto, a fórmula final utilizada foi:

$$L_{\text{eq}} = L_w - A_{\text{div}} - A_{\text{atm}} - A_{\text{refl}}$$

Esse método oferece resultados mais precisos do que os métodos existentes e todos os cálculos podem ser feitos com o mesmo núcleo de fórmulas. A exatidão e o nível de detalhamento dos dados de entrada determinam a confiabilidade de todos os resultados encontrados.

4.8. CARACTERIZAÇÃO DA VIA

As figuras 47 a 53 representam uma seqüência de imagens que auxiliarão na localização e compreensão da área escolhida.



Fonte: GOOGLE EARTH, 2006

Figura 47 – Mapa-múndi com localização de Salvador



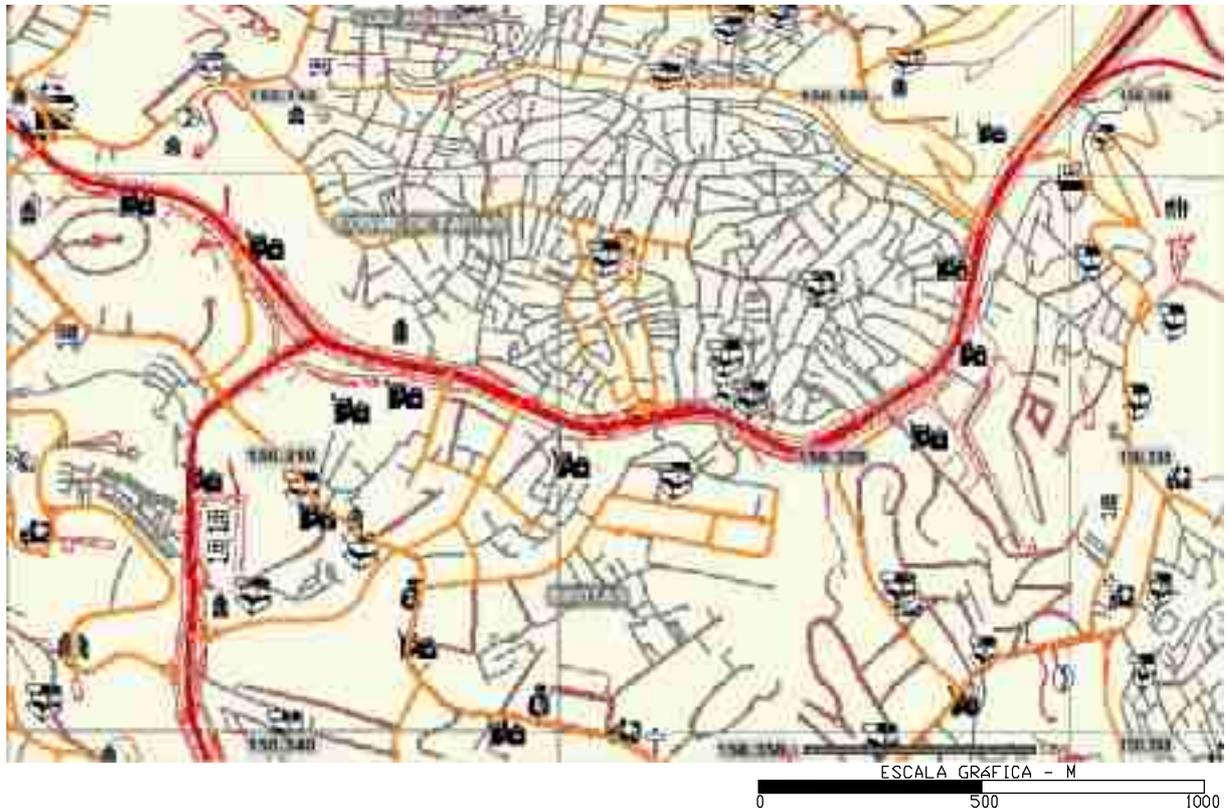
Fonte: GOOGLE EARTH, 2006

Figura 48 –Imagem de Salvador com localização da Av. Bonocô



Fonte: GOOGLE EARTH, 2006

Figura 49 – Imagem da Av. Bonocô



Fonte: CONDER INFORMS, 2006

Figura 50 – Mapa da Av. Bonocô com indicação de bairros adjacentes

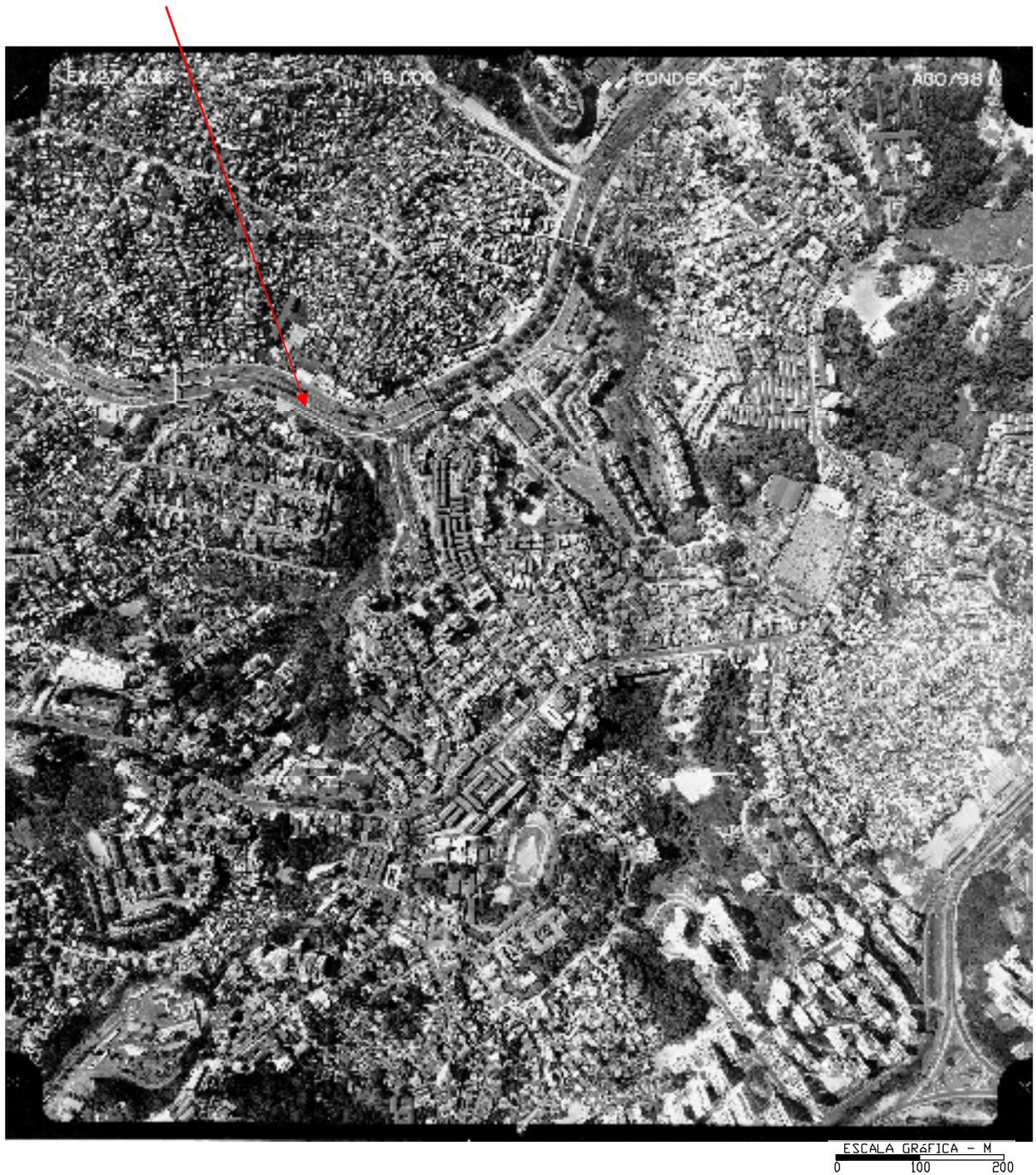
| Legenda | |
|------------|-------------------|
| Logradouro | |
| | VE - Via Expressa |
| | VA - Via Arterial |
| | VC - Via Coletora |
| | VL - Via Local |
| | Localidades |
| | Microcomunidades |
| | Ponto Notável |
| | COMERCIO |
| | COMUNICAÇÃO |
| | CULTURA |
| | HOSPEDAGEM |
| | LÁZER |
| | MILITAR |
| | TRANSPORTE |
| | SAUDE |
| | RELIGIÃO |
| | ADM. PÚBLICA |
| | ABAST. ALIM. |
| | EDUCAÇÃO |
| | INDÚSTRIA |
| | FINANÇAS |
| | DIVERSOS |
| | ASSIST. COMUN. |
| | MONUMENTO |
| | ESPORTE |

Alguns tipos de equipamentos urbanos estão presentes no entorno imediato da Av. Bonocô e estão identificados por símbolos de acordo com a legenda ao lado. Percebe-se ao longo dessa Via Arterial a predominância de “Comércio” e “Educação”, além da existência de “Adm. pública”. As edificações residenciais não possuem simbologia por não representarem “Equipamentos urbanos”, mas estão muito presentes nesse trecho. Nas áreas adjacentes possuem diversos outros tipos de equipamentos, como “Abast. Alim.”, “Comunicação”, “Saúde”, “Indústria”, “Religião”, “Cultura”, “Assist. comun.” E “Finanças”.



Fonte: CONDER INFORMS, 2006

Figura 51 – Mapa digital da Av. Bonocô com indicação de logradouros



Fonte: CONDER, 1988

Figura 52 – Foto aérea do entorno da Av. Bonocô tirada em 1988, escala original 1/8.000



Fonte: CONDER, 1988
 Figura 53 – Foto aérea da Av. Bonocô

Essa Avenida foi construída em 1968 e contém 3.000m de extensão no vale do Bonocô, subdistrito de Brotas, com duas pistas largas separadas por um canal. A via está hierarquizada como “Via Arterial I” (VA-I), segundo a LOUOS (SALVADOR, 1984) que tem como finalidade principal servir a altos volumes de tráfego nos corredores mais importantes como definição a seguir da legislação municipal:

Vias Arteriais (VA) – cuja função básica é atender às grandes demandas de viagens, intra-urbanas, assegurando melhor fluidez no tráfego, adequadas condições de acesso e circulação dos transportes coletivos, bem como segurança na travessia de pedestres (SALVADOR, 1984).

Atualmente, verifica-se que as laterais da citada via encontram-se densamente ocupada por edificações e o processo de ocupação é irregular.

A tabela 18 mostra que entorno das Estações Bonocô e Bom Juá concentram os maiores volumes de população. Do ponto de vista da densidade bruta (média geral), prevalece estação

Bonocô seguida de perto por Brotas e Bom Juá. Esses dados podem ser visualizados no mapa da figura 72.

TABELA 18 – POPULAÇÃO X DENSIDADE BRUTA MÉDIA

| | ESTAÇÃO | POPULAÇÃO TOTAL | ÁREA (ha) | DENSIDADE (hab/ha) |
|---------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 01 | LAPA | 43.620 | 202,88 | 214,99 |
| 02 | CAMPO DA PÓLVORA | 29.208 | 205,17 | 142,35 |
| 03 | BROTAS | 60.099 | 205,01 | 293,15 |
| 04 | BONOCÔ | 77.079 | 249,08 | 309,44 |
| 05 | ACESSO NORTE | 61.663 | 352,16 | 175,09 |
| 06 | RETIRO | 60.309 | 272,33 | 221,45 |
| 07 | JUÁ | 75.081 | 265,15 | 283,15 |
| 08 | PIRAJÁ | 43.991 | 241,18 | 182,39 |
| TOTAIS | | 381.909 | 1.992,93 | 191,62 |

Fonte: PMS, 2001a

Segundo o Coordenador de Operações Especiais e Coordenador da Comissão Técnica de Garantia Ambiental (CTGA) da CTS, dentre as solicitações da autarquia responsável por executar a política de meio ambiente na Bahia, o Centro de Recursos Ambientais (CRA), após entrega do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) foi recomendado a monitorização dos ruídos emitidos antes, durante e após o funcionamento do metrô. A empresa Consetra - Construções e Segurança do Trabalho foi contratada para efetuar medições *in loco* dos níveis de ruído atual (antes do início da construção) no espaço urbano ao longo do trecho de influência da primeira etapa do metrô de Salvador, objetivando avaliar o conforto acústico da comunidade. Portanto, existe um relatório que apresenta os resultados obtidos nas avaliações de ruído realizadas nos dias 11 e 12 de março de 2002. Os parâmetros adotados e os níveis de pressão sonora encontrados nessas medições estão descritos na tabela 2. As medições durante a obra ainda não foram executadas por falta de recursos, segundo esse Coordenador.

Os resultados expressam o parâmetro normatizado L_{eq} (Nível de pressão sonora equivalente), que representa o nível sonoro médio integrado durante uma faixa de tempo específica, ou seja, representa toda integração do período.

As medições acústicas foram realizadas em 27 pontos ao longo da faixa de influência do metrô de Salvador (1ª etapa). O trabalho foi realizado em dois dias consecutivos, nos períodos denominados “Pico” (Bonocô – 07h00 às 09h30 e 17h00 às 19h30) e “Fora de Pico”, ou seja, em cada um dos pontos foram realizadas duas medições e representam a situação antes do início da obra.

A duração de cada medição foi 6 minutos, tempo definido pela empresa contratada por considerar que seria um intervalo suficiente para a estabilização e representatividade do fenômeno sonoro.

Serão descritos a seguir os resultados das medições referentes aos pontos localizados ao longo da Av. Bonocô, ao longo da faixa de influência do metrô, por ser esse o trecho escolhido para a pesquisa. Foi possível comprovar que o fluxo de tráfego se mantém praticamente contínuo ao longo do dia, sem alterações significativas do ruído entre o horário de pico e fora de pico.

TABELA 19 – RESULTADO DAS MEDIÇÕES ACÚSTICAS EM TRECHO DA AV. BONOCÔ

| IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS | LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS | L _{EO} (dBA) | |
|--|---|-----------------------|----------------------|
| | | HORÁRIO DE PICO | HORÁRIO FORA DE PICO |
| Ponto 9 – Elevado Bonocô | Em residência atrás da torre de telefonia celular, Vila Angaturama, casa 23 | 58,9 | 60,2 |
| Ponto 10 – Entre o Elevado Bonocô e a Estação Bonocô | Na Av. Bonocô, nº 1350, entre o Novo Tempo Motos e Le Biscuit – poste | 69,6 | 69,8 |
| Ponto 11 – Estação Bonocô | No passeio em frente a Cresauto – poste | 63,6 | 62,9 |
| Ponto 11A - Estação Bonocô | Em residência no alto, do lado oposto a Cresauto, Travessa San Martin | 55,2 | 55,3 |

Fonte: CONSETRA, 2002

Esses pontos estão localizados no APÊNDICE A.

Pode-se observar que o próprio ruído de fundo já ultrapassa o valor a partir do qual se inicia o estresse auditivo, segundo a OMS, de 55dB(A) (WHO, 1999). A fonte sonora predominante em todos os pontos medidos foi o tráfego da Av. Bonocô e por ser ele praticamente constante não houve variação considerável entre os resultados dos diferentes horários medidos. O Ponto 10 mostra claramente o nível de ruído oriundo do tráfego local, já que a medição foi realizada na própria avenida, por isso é o que melhor define o nível de pressão sonora do tráfego urbano no local. O ruído no Ponto 11A sofreu um decréscimo devido ao fato de estar localizado a alguns metros acima da Av. Bonocô, altura próxima a do viaduto do metrô, dando a entender que provavelmente nesse ponto o nível de pressão sonora (NPS) aumentará após a implantação do metrô, tendendo a ser uns dos locais mais ruidosos.

A tabela 20 mostra o resultado mais detalhado da medição feita no Ponto 10, no horário de pico, por ser ele o mais representativo.

TABELA 20 – RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE RUÍDO DO PONTO 10

| Data: 11/03/02 e Hora: 07h29 | |
|---|------------|
| L _{max} : 81,0dBA e L _{min} : 63,1dBA | |
| ESPECTRO DE RUÍDO | |
| Hz | dBA |
| 31,5 | 67,1 |
| 63 | 72,0 |
| 125 | 66,5 |
| 250 | 60,9 |
| 500 | 60,8 |
| 1000 | 62,0 |
| 2000 | 56,5 |
| 4000 | 49,2 |
| 8000 | 44,8 |

Fonte: CONSETRA, 2002

Onde L_{max} significa o NPS máximo medido e L_{min} o NPS mínimo captado durante a medição. Pode-se observar que o ruído é mais intenso nas baixas frequências (31,5, 63 e 125Hz), característica do som emitido pelos ônibus.

Recentemente, Araújo (2006) em sua pesquisa de mestrado avaliou o ruído emitido pelo fluxo de veículos dessa mesma via nos horários de pico, com um tempo de medição de 15 minutos (Tabela 21). Os procedimentos de medições foram de acordo com a NBR 10.151 (ABNT, 1987), que recomenda que as medições devem ser efetuadas em pontos afastados 1,20m do piso e pelo menos 2,00m de superfícies refletoras e o medidor será ajustado para obter resposta rápida (*fast*). O instrumento utilizado foi o sonômetro integrado de pressão sonora, modelo 2236, tipo 1, série 2015216, da Brüel e Kjaer, tendo sido calibrado antes e depois das medições a 94dB-1.000Hz, com calibrador acústico tipo 4.231, série 1821175. Os níveis de pressão sonora foram medidos na curva de ponderação “A” na faixa de 30-110dB e com resposta rápida (*fast*).

Verificou-se uma variação de, aproximadamente, 2dB(A) entre os pontos de medição localizados nas margens da via, isso significa afirmar que existe uma continuidade do volume de veículos nessa Avenida. A presente pesquisa dará continuidade às análises feitas por esse autor, estudando o impacto que o metrô terá nessa mesma área.

TABELA 21 – VALORES MEDIDOS NAS MARGENS DA VIA

| PONTO | LOCALIZAÇÃO DO PONTO | HORÁRIO | L _{EQ} (dBA) | L ₁₀ (dBA) |
|-------|---|---------|-----------------------|-----------------------|
| A | Na lateral da via, próximo da quarta passarela de pedestre (sentido Iguatemi-Centro), em frente ao Hotel Sol Dourado | 08h25 | 80,7 | 83,0 |
| B | Na lateral da via, em frente da Creche Luiz Eduardo Magalhães e da Escola Pedro Santos | 09h00 | 78,6 | 81,5 |
| D | Na lateral da via, após a segunda passarela de pedestre (sentido Centro-Iguatemi), em frente a revendedora de veículos Cresauto | 08h23 | 79,3 | 81,7 |
| E | Na lateral da via, em frente à loja Insinuante, próximo a primeira passarela de pedestre (sentido Centro-Iguatemi) | 08h30 | 81,4 | 83,5 |

Fonte: ARAÚJO, 2006

Araújo (2006) encontrou valores muito superiores aos da Consetra, como pode ser observado ao se comparar os pontos “11” da Consetra (63,9dBA) e “D” de Araújo (79,3dBA) por estarem no mesmo local. A grande diferença de cerca de 15dBA pode ser atribuída a diversos fatores, como o tempo de medição, o aumento de fluxo de tráfego ao longo dos anos que provocou um aumento do ruído urbano, a sensibilidade do equipamento ou até mesmo a erros de medição. Esses erros podem ser obtidos por conta de microfones não calibrados, da interferência do vento ou da própria sensibilidade e qualidade do equipamento.

A Resolução nº2 do CONAMA (BRASIL, 1990b) institui, em caráter nacional, o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora, denominado “Silêncio”, visando controlar o ruído excessivo que possa interferir na saúde e bem-estar da população.

A NBR nº10.151 (ABNT, 1987) que avalia o ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade, fixa as condições exigíveis principalmente para ambientes externos, independente da existência de reclamações, além de especificar o método de medição de ruído. Todos os parâmetros indicados nesta Norma estão expostos na tabela 22 e para áreas da tipologia zona ao longo da Av. Bonocô “Centro da Cidade (negócios, comércio, administração)” os limites são 65dB(A) (Diurno) e 60dB(A) (Noturno).

A tabela 22 expõe os decibéis máximos (dBA) permitidos para ambientes externos nos períodos diurnos e noturnos.

TABELA 22 – NÍVEIS DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS

| TIPO DE ZONA | DIURNO | NOTURNO |
|--|--------|---------|
| Zona de hospitais | 45 | 40 |
| Residencial urbana | 55 | 50 |
| Centro da Cidade (negócios, comércio, administração) | 65 | 60 |
| Área predominantemente industrial | 70 | 75 |

Nota: Os limites de horários para o período diurno e noturno da tabela podem ser definidos pelas autoridades locais de acordo com os hábitos da população.

Fonte: ABNT, 1987

A Lei municipal nº5.354 (SALVADOR, 1988) conhecida como a “Lei do Silêncio” dispõe sobre sons urbanos, fixa níveis e horários em que será permitida sua emissão, cria a licença para utilização sonora e dá outras providências. Essa Lei estipula que os níveis máximos de sons e ruídos, de qualquer fonte emissora e natureza, em empreendimentos ou atividades residenciais, comerciais, de serviços, institucionais, industriais ou especiais, públicas ou privadas assim como em veículo automotores são: 70dB(A) (entre 7h00 e 22h00) e 60dB(A) (entre 22h00 e 7h00).

Portanto, um valor menos restritivo ao estabelecido pela NBR nº10.151 (ABNT, 1987) o que vai de encontro com a permissão da Resolução nº2 do CONAMA (BRASIL, 1990b) que afirma ser possível, sempre que necessário, que os limites máximos de emissão possam ter valores mais rígidos fixados a nível estadual e municipal, ou seja, a legislação local tem permissão apenas para ser mais restritiva que os valores das normas nacionais. Essa afirmação demonstra a falta de consenso dentro da própria legislação do País em seus distintos níveis. A fiscalização e avaliação feitas pelo órgão competente em Salvador baseiam-se na legislação municipal, mas se alguém recorrer a estâncias superiores prevalece os parâmetros federais.

Esses parâmetros menos exigentes da Lei municipal são mais próximos da realidade de Salvador, mas em se tratando dos efeitos na saúde, esses valores comprometem a qualidade de vida e isso pode ser comprovado no capítulo que trata desse assunto.

Todos os pontos de medição de Araújo (2006) apresentam valores de ruído contínuo acima do estabelecido na Lei municipal nº5.354 (SALVADOR, 1998), 70dB(A) e mais acima ainda do nível de conforto determinado na NBR 10.151 (ABNT, 1987) de 65dB(A).

A via pesquisada está situada dentro de um vale, com um volume de tráfego de, aproximadamente, 5.000 veículos por hora e não existe nenhum tipo de barreira acústica para reter ou pelo menos diminuir o ruído provocado pelo tráfego. As margens das referidas pistas

de rolamento são compostas por áreas planas e taludes que se encontram densamente ocupados por edificações, que na sua maioria, tem fachadas (portas e janelas) voltadas para a via. As características arquitetônicas de, praticamente, todas as edificações da área de influência da via pesquisada não apresentam nenhum tipo de isolamento acústico, dessa forma expondo as pessoas a níveis elevados de ruído, mesmo estando no interior dos imóveis (ARAÚJO, 2006).

Foram feitas também medições de ruído no interior das edificações (Tabela 23), tendo sido realizadas com janelas e portas abertas.

TABELA 23 – VALORES MEDIDOS NO INTERIOR DOS ESTABELECIMENTOS

| PONTO | LOCALIZAÇÃO DO PONTO | DIST. PARA O EIXO DA VIA | HORÁRIO | L _{EQ} (dBA) | L ₁₀ (dBA) |
|-------|---|--------------------------|---------|-----------------------|-----------------------|
| A2 | No interior do Hotel Sol Dourado | 27m | 08h45 | 67,1 | 70,0 |
| B2 | No interior da Creche Luiz Eduardo Magalhães | 13m | 17h02 | 66,7 | 68,0 |
| C | No interior de uma residência da Rua Baianinha, na área de influência da via. Essa rua está a 8m de altura em relação ao nível da Av. Mário Leal Ferreira | 34m | 09h08 | 68,1 | 75,5 |
| D2 | No interior de um apartamento no segundo andar do prédio Açucena no Cond. Vale das Flores | 130m | 17h45 | 67,1 | 69,0 |
| E2 | No interior da Loja Insinuante | 26m | 18h00 | 76,7 | 79,0 |

Fonte: ARAÚJO, 2006

Os pontos analisados nessa pesquisa e mostrados nas tabelas 21 e 23 estão localizados no APÊNDICE B.

A NBR nº10.151 (ABNT, 1987) também determina parâmetros estimados para ambientes internos e propõe que o nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes internos é o nível da tabela 22 já apresentada com a correção de -10dB(A) para janela aberta e -15dB(A) para janela fechada. Nesse caso, os parâmetros são:

- Janela aberta – 50dB(A) (Noturno) e 55dB(A) (Diurno)
- Janela fechada – 45dB(A) (Noturno) e 50dB(A) (Diurno)

A Lei municipal nº5.354 (SALVADOR, 1988) estipula que os níveis máximos de sons e ruídos medidos em ambientes internos deve ser 55dB(A) (entre 22h00 e 7h00) e 60dB(A) (entre 7h00 e 22h00). A referida Lei afirma também que a medição dos níveis de sons e ruídos no interior do imóvel deverá ocorrer no recinto receptor por ele indicado como de maior incômodo, estando o aparelho afastado no mínimo 1,5m das paredes e das aberturas (portas e janelas) que, de acordo com a Lei nº5.909 (SALVADOR, 2001), deverão estar abertas.

Novamente percebe-se uma disparidade entre os valores da Norma recomendada pela Lei federal com os valores da Lei municipal. Sendo a municipal novamente menos restritiva.

Todas as medições feitas internamente por Araújo (2006) também estão acima dos valores tanto da NBR nº10.151 (ABNT, 1987) (55dBA), quanto da Lei municipal nº5.354 (SALVADOR, 1988) (60dBA) para situações diurnas, que foi quando foram feitas essas medições.

Como esse parâmetro para ambientes internos são generalizados por zona e não por tipologia da edificação, nessa pesquisa foi dada a preferência, por analisar os resultados de acordo com os dados da ABNT nº10.152 (BRASIL, 2000) que identifica os parâmetros de acordo com a função da construção.

Apesar do ruído de tráfego constituir um dos graves problemas atuais nos centros urbanos, em Salvador, a consciência nesse sentido não está sendo suficientemente desenvolvida no estudo da Arquitetura e Urbanismo e existe um retrocesso das Leis municipais que tratam do uso e ocupação do solo em relação às preocupações das condições do conforto acústico no espaço urbano e construído (SOUZA, 1991).

Como as leis municipais que tratam do uso e ocupação do solo não se referem às condições do conforto acústico na cidade, em novembro de 2001 foram feitas por Souza (2003) medições em diversos tipos de vias a fim de identificar o ruído de tráfego na área coberta pela Lei nº5.502 (SALVADOR, 1999), que institucionaliza novas restrições de uso e ocupação do solo. Foram escolhidos 22 pontos situados na Barra e Rio Vermelho para medições no período diurno e noturno, sendo 8 localizados em vias arteriais, 9 em vias coletoras e 5 em vias locais.

Alguns pontos coincidem com os de uma pesquisa anterior feita por Souza em 1989 (1991), possibilitando diagnosticar que atualmente, mesmo com o mesmo fluxo de veículos, os níveis registrados são inferiores aos níveis encontrados na referida pesquisa. Esse fato justifica-se pelo fato dos veículos atuais serem mais novos e seus motores mais silenciosos.

As medições foram realizadas em dias úteis e o sonômetro utilizado de modelo MSL-1352 da Minipa, curva A e resposta rápida (*fast*) durante 2 horas. A tabela 24 mostra apenas os resultados das medições diurnas feitas na via arterial que mais se assemelha a Av. Bonocô, a Av. Anita Garibaldi, que caracteriza-se por ser uma via de Vale, possui duas pistas de 10,5m de largura e três faixas de rolamento cada, canteiro central e encostas nas laterais, formando perfil “U” (reflexões em ambos os lados). O uso ao longo da via é bastante variado, saúde, educação e residencial e o fluxo de veículos máximo registrado foi 6.106 veículos/hora.

TABELA 24 – NÍVEIS SONOROS REGISTRADOS EM VIA ARTERIAL

| PONTO | LOCALIZAÇÃO | L _{EO} (dBA) | | Fluxo (veic/h) | |
|-------|---|-----------------------|--------------|----------------|--------------|
| | | 11h40às12h40 | 12h40às13h40 | 11h40às12h40 | 12h40às13h40 |
| 20 | Av. Garibaldi (Hospital Jorge Valente) | 74 | 74 | 5251 | 5758 |
| 21 | Av. Garibaldi (Escola Evaristo da Veiga) | 75 | 77 | 6106 | 6038 |
| 22 | Av. Garibaldi (Bairro Rio Vermelho) | 73 | 73 | 4887 | 5180 |

Fonte: SOUZA, 2003

O resultado dos níveis de ruído medidos nesses pontos indica que o L_{EQ} está entre 73 e 77dB(A), o que comprova a coerência das medições feitas por Araújo (2006), resultou em um L_{EQ} entre 78 e 81dB(A), pois os valores medidos nas duas pesquisas são próximos.

Medições feitas por Souza em 1991 e 2001 comprovaram que o ruído urbano teve uma queda, apesar do fluxo de tráfego ter permanecido o mesmo, devido a tipologia dos veículos modernos que são mais silenciosos. Esse dado contradiz com o fato das medições feitas anteriormente pela Consetra (2002) serem inferiores às de Araújo (2006).

Quanto a representatividade dessas medições, segundo Cremonesi (1985), ruídos de tráfego rodoviário devem ser medido em intervalos de no mínimo 10 minutos, devido a descontinuidade dos eventos, portanto, os cálculos desse trabalho foram desenvolvidos levando em consideração as medições feitas por Araújo (2006), por ter sido resultado de uma pesquisa de mestrado que busca o rigor científico, por considerá-las mais representativas e

coerentes, pois o tempo de medição foi de 15 minutos, além de serem mais recentes e validadas. A Norma não define o tempo de medição, pois depende da natureza do ruído, por isso a importância de se recorrer a bibliografia relevante.

No Plano de diretrizes urbanísticas para áreas de influência das estações do metrô de Salvador, na parte que trata do uso e ocupação do solo, está escrito “Outra questão são os níveis de ruído (já altos) ao longo da via arterial, que demandam afastamentos maiores para os usos residenciais, a serem incentivados nos vazios” (PMS, 2001b). No entanto, não propõe medidas mitigadoras direcionadas para a população que já está instalada nas proximidades da linha.

Apesar de ter sido identificado como um dos possíveis impactos, ainda não foram projetadas soluções para essa questão, no entanto, o Coordenador da CTS defende que a proteção de segurança mostrada na figura 59 e que haverá ao longo de todo trecho elevado fornecerá uma redução do ruído provocado pelo atrito roda-trilho. Está sendo estudada a possibilidade da utilização de estruturas que reduzam o ruído de impacto, o que não representa objeto desse trabalho, pois a vibração requer outros tipos de análise. A tabela 25 informa sobre a avaliação dos impactos ambientais e está transcrita exatamente como foi divulgado no site oficial do metrô de Salvador.

TABELA 25 – IMPACTOS AMBIENTAIS DO METRÔ DE SALVADOR

| AÇÕES DO EMPREENDIMENTO | IMPACTOS | MEDIDAS PREVENTIVAS, COMPENSATÓRIAS E MITIGADORAS |
|--|---|---|
| Desapropriação Contratação de mão-de-obra Movimentação de terra Escavações, desmontes Vedação da faixa de domínio Implantação dos canteiros de obras Demolições Remanejamento de redes de utilidades Escavação a céu aberto Escavação de túnel em solo e em rocha Sondagens Trânsito e manutenção de veículo e equipamentos da obra Realização de bota-fora Alterações no sistema viário Desativação da obra Recuperação de áreas alteradas | MEIO FÍSICO Rebaixamento do lençol de água Escorregamentos Pressão sonora das explosões Recalques de fundações Geração de poeira e lama Inundações Contaminação dos corpos d'água Assoreamento Poluição do lençol de água Poluição do ar Vibrações Ruídos MEIO BIÓTICO Modificação da paisagem Redução de vegetação Afugentamento da fauna Modificação da paisagem de áreas degradadas Melhoria ambiental | Monitoração Projetos com segurança adicional Plano de uso de materiais Uso intensivo de vegetação Elaborar cronograma de obras compatível Implantar sinalização Esclarecer população Planejar serviços mais impactantes Educação ambiental Divulgação do empreendimento Elaborar planos funcionais Elaborar planos especiais de circulação de tráfego Cuidados com canteiros de obras Projetar estações de acordo com arquitetura dominante Implantação de viadutos |

| | | |
|--|--|--|
| Contratação de obra Operação do equipamento | MEIO ANTRÓPICO Nucleação de atividades econômicas Desapropriações Alteração da organização social Insegurança da população Mudança no comércio Deslocamento de moradores Fechamento de atividades comerciais Dificuldades de acesso Conflitos com equipamentos da cidade Alterações do uso e ocupação do solo Formação de segmentos assalariados e patronal Melhoria no tráfego Alteração no cotidiano Vedação faixa de domínio Alterações no sistema viário | |
|--|--|--|

Fonte: CTS, 2005

Essa tabela não esclarece muito determinados temas como a “monitoração” e é muito ampla em outras questões como quando fala de “melhoria ambiental”, por exemplo.

Uma das propostas explícitas no Plano de diretrizes é “Elaborar um projeto paisagístico para o corredor metroviário, com ênfase na iluminação pública e no revestimento vegetal – em especial, arborização de porte e arbustiva”. Essa proposta se justifica, segundo o mesmo relatório pelo fato de “favorecer a segurança e também minimizar impactos visuais e de ruído urbano ao longo das vias arteriais, inclusive os produzidos pelo metrô” (PMS, 2001b).

Essas informações divulgadas demonstram a falta de conhecimento e preocupação a respeito dos ruídos gerados pelo transporte sobre trilho, pois “revestimento vegetal” é incapaz de bloquear sons dessa natureza, para tanto seria necessário uma extensa e densa aglomeração de árvores, o que é completamente impossível porque a linha do metrô está sendo implantada em uma área já urbanizada.

Outra proposta do Plano de diretrizes é “Proibir o uso residencial nas áreas localizadas na Concentração Linear de Uso Múltiplo, notadamente em empreendimentos com distância igual ou inferior a 50m (cinquenta metros) da via permanente do metrô” justificada devido a “evitar a poluição sonora nas unidades residenciais” (PMS, 2001b).

Essa proposta é complicada considerando que já existem inclusive edifícios construídos a uma distância muito menor do que 50m, além de não ter sido divulgada a informação sobre o nível

de pressão sonora (NPS) que será gerado pelo veículo, o que está intimamente relacionado com a distância necessária para atenuar de forma satisfatória. Todos esses parâmetros serão claramente explicitados ao longo desse trabalho. Portanto, não foi esclarecido de onde surgiu esse valor relativo ao afastamento mínimo, nem sugere alguma forma de redução de ruído na própria fonte sonora.

Uma outra situação onde a geração de ruídos é relevante localiza-se nos Poços de Alívio dos túneis, pois ao concentrar o ar e expulsá-lo, canaliza o ruído. Ele existe ao lado de todas as estações subterrâneas e no final da linha. Esse tipo de fonte sonora preocupa os projetistas do metrô e pode ser solucionado com algum tipo de barreira ou tratamento acústico. A pesquisa não pretende direcionar para os problemas gerados por esse tipo de ruído, pelo fato de ser muito pontual, diferente daquele provenientes do contato roda-trilho que acompanha o traçado do metrô.

Os motivos que levaram a escolha do trecho da Avenida Bonocô foram:

- a. por estar ele completamente ao ar livre, sendo totalmente elevado (antes da modificação de projeto era parte em elevado e parte em superfície) (Figuras 54 e 55).
- b. por pertencer a área com alto índice de densidade populacional.
- c. porque está muito próximo às edificações (Figuras 56 e 57).
- d. existem edificações de diferentes finalidades e tipologias nas adjacências, permitindo análises diferenciadas (Figuras 62-67).
- e. porque a compreensão do acréscimo do ruído provocado pelo metrô nesse trecho é suficiente para uma compreensão geral do impacto.

Seguem fotos da implantação da 1ª etapa do metrô de Salvador na Av. Bonocô, onde podem ser observadas a tipologia da construção e a proximidade com edificações existentes (Figuras 54 a 67).



Fonte: CTS

Figura 54 – Aspectos da obra do trecho elevado 1



Fonte: CTS

Figura 55 – Aspectos da obra do antigo trecho de superfície em 2004 (agora será todo elevado)



Fonte: CTS

Figura 56 – Proximidade com edificações 1



Fonte: CTS

Figura 57 – Proximidade com edificações 2



Fonte: CTS

Figura 58 – Aspectos da obra do trecho elevado 2



Fonte: CTS

Figura 59 – Proteção de segurança lateral



Fonte: CTS

Figura 60 – Aspectos da obra do trecho elevado 3



Fonte: CTS

Figura 61 – Vista a partir do nível do viaduto



Fonte: CTS

Figura 62 – Proximidade com edificações de cotas similares 1



Fonte: CTS

Figura 63 – Proximidade com edificações de cotas similares 2



Fonte: CTS

Figura 64 – Proximidade com edificações comerciais e residenciais 1



Fonte: CTS

Figura 65 – Proximidade com edificações residenciais



Figura 66 – Proximidade com edificação institucional Sucom (metrô passará em frente)



Figura 67 – Proximidade com instituição de ensino (metrô passará em frente)

O metrô elevado proporciona uma sombra acústica diferenciada, que protege a área abaixo do nível do trilho, mas em compensação o ruído provocado alcança edificações localizadas em alturas maiores.

4.9. CARACTERÍSTICAS DO METRÔ DE SALVADOR

O metrô de Salvador ainda está em fase de implantação e será construído em etapas. A figura 68 contém o traçado dessas etapas.



Fonte: CTS, 2005

Figura 68 – Mapa esquemático das etapas das linhas do metrô

A figura 69 mostra imagens de obras das três formas de instalação que a linha do metrô de Salvador terá.



Fonte: CTS, 2005

Figura 69 – Tipologias do metrô de Salvador

4.9.1. Informações gerais

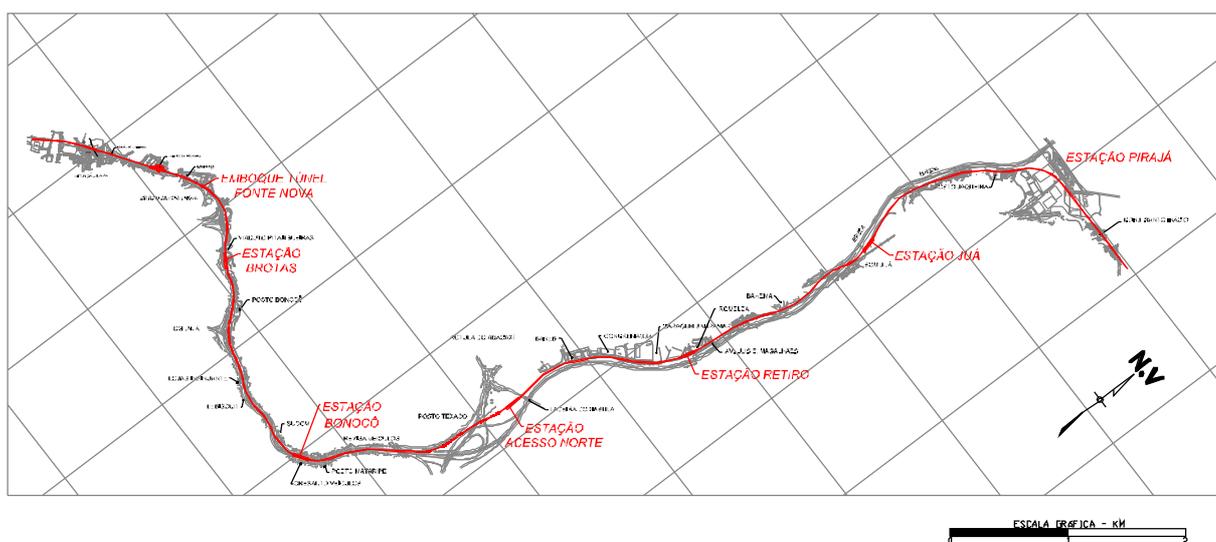
A responsabilidade pelo projeto e coordenação da implantação do metrô de Salvador é da Companhia de Transporte de Salvador (CTS), empresa criada pela Prefeitura Municipal de Salvador (PMS) que está diretamente ligada a Secretaria de Transporte e Infra-estrutura (SETIN). A Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) funciona como o órgão do governo federal responsável pelo repasse de verba e concretizou um acordo com a Prefeitura para municipalização dos trens do subúrbio.

A opção pelo metrô ao ar livre (maior parte do percurso) foi devido a questões financeiras, pois, segundo o Consultor da nova gestão da CTS, os custos seriam altíssimos caso fosse todo subterrâneo e inviabilizaria a obra. Para a CTS a vantagem do elevado com relação ao de superfície é vencer encontros com o sistema viário existente, ou seja, evitar a segregação de um local e permitir a circulação por baixo dos viadutos.

Os estudos de viabilidade técnico-econômica indicaram como mais adequado para o Metrô de Salvador a utilização de um trem com capacidade de transportar 1.250 passageiros, composto de quatro carros na formação denominada tecnicamente de ABBA, onde cada carro A possui cabine de condução e cada carro B apenas cabine de passageiros. O funcionamento do metrô permitirá o transporte de 180 mil passageiros por dia, desafogando o tráfego da área (CTS, 2005). Os veículos serão fabricados na Coreia e semelhantes ao instalado recentemente no metrô do Rio.

A velocidade máxima do veículo será de 100,00km/h, no entanto, os trens trafegarão a uma velocidade média de 38,00km/h, e para maior conforto dos usuários os carros serão climatizados. A taxa de aceleração será de 1,1m/s² e a taxa de frenagem 1,2m/s², sendo o tempo de parada nas estações de 30s. Haverão 10 trens em operação, sendo 2 de reserva (HIGESA, 1998).

O trecho Lapa-Pirajá possui 12,00km de extensão no total e tem as seguintes características originais: 1,50km em túnel, 4,00km em elevado e 6,50km em superfície. O raio mínimo de curva horizontal é de 300,00m e a inclinação máxima 4%. São 8 estações, sendo, segundo o projeto original, 2 subterrâneas (Lapa e Campo da Pólvora), 3 elevadas (Brotas, Retiro e Juá) e 3 em superfície (Bonocô, Acesso Norte e Pirajá). Devido a mudanças por questões operacionais a Estação Bonocô passou a ser elevada e o corte de recursos financeiros reduziu o trajeto inicial a ser concluído ao trecho Lapa-Acesso Norte, de 6,80km de extensão, ou seja, praticamente a metade do previsto. A figura 70 mostra o mapa com a localização das estações.

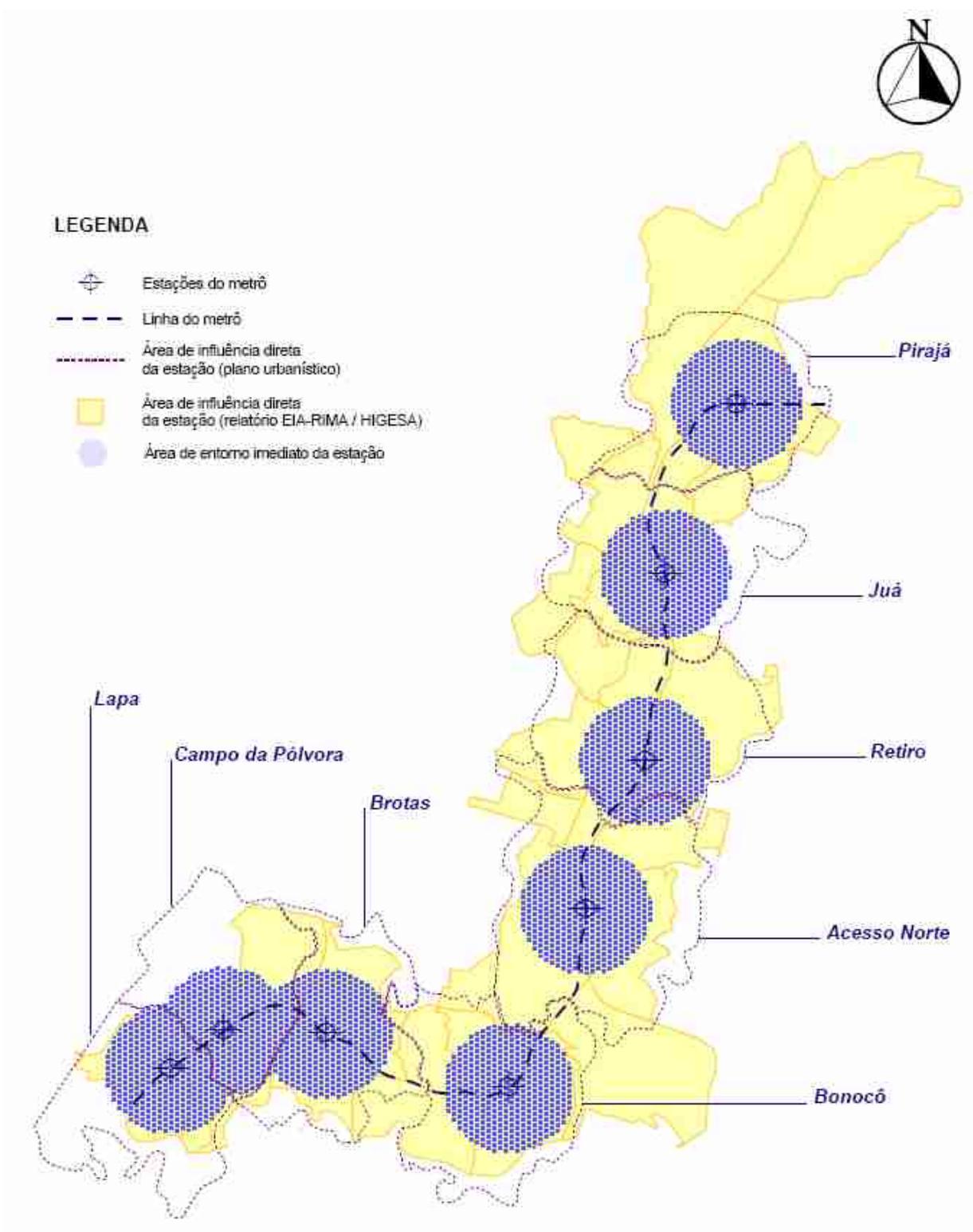


Fonte: CTS, 2005

Figura 70 – Mapa ilustrativo com o traçado da 1ª etapa do metrô de Salvador

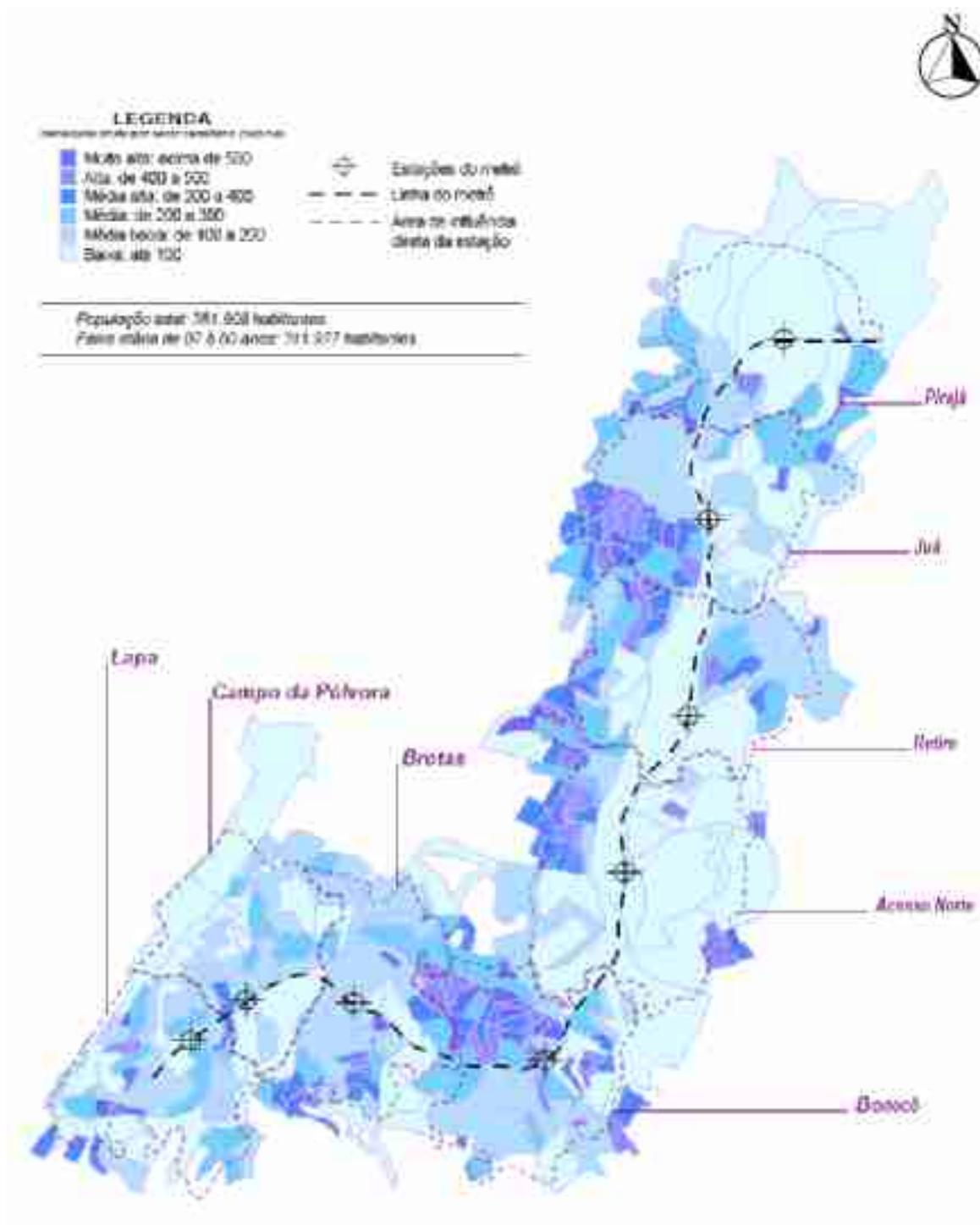
A estação intermediária Bonocô está localizada no eixo da Av. Mário Leal Ferreira, à altura da revendedora de automóveis Cresauto, possui plataformas laterais e tem como limites a Av. D. João VI e a Rua Cosme de Farias. A decisão de localizar a estação nesse local foi tomada com base não somente na distância entre estações, mas também em função da maior largura do canteiro central da avenida nesse ponto, propiciando maior facilidade de inserção da estação na via, sem que sejam necessárias desapropriações (HIGESA, 1998).

O “Plano de diretrizes urbanísticas para áreas de influência das estações do metrô de Salvador” foi desenvolvido pela PMS e pela Fundação Mário Leal Ferreira (FMLF) em 2001, com o apoio das instituições: CTS, DMC Engenharia S/C Ltda e Secretaria Municipal dos Transportes Urbanos (SMTU). Segundo este relatório, a categoria de “área de influência direta” do projeto metroviário considera a acessibilidade a pé às estações e representa um território delimitado tanto a partir da observação direta quanto como de informações da cartografia básica disponível. Já a “área de entorno imediato” diz respeito à uma área delimitada por um raio de 600m a partir de cada estação. A figura 71 mostra a disposição do corredor metroviário e das estações no zoneamento de uso e ocupação do solo e na hierarquia viária da cidade.



Fonte: PMS, 2001a
Figura 71 – Áreas de influência direta do corredor metroviário

O mapa de densidade populacional faz uma síntese das densidades populacionais nas áreas de influência direta de cada estação. Pode-se observar que das regiões próximas à passagem do metrô a mais densa fica no entorno da estação Bonocô (Figura 72).



Fonte: PMS, 2001a
Figura 72 – Densidade populacional

Em se tratando de estrutura o trecho Lapa-Pirajá possuirá nove viadutos, com estrutura de concreto armado e vigas pré-moldadas. Os trechos em viaduto são constituídos de uma estrutura em grelha composta de vigas longarinas e vigas transversinas, servindo de suporte para as duas vias do metrô. Nas laterais dos viadutos estão previstas passarelas pré-moldadas de concreto apoiadas nas extremidades do tabuleiro com guarda-corpos metálicos, funcionando também como saída de emergência, além de suportes para o posteamento da rede aérea, não possuindo, portanto, função acústica (Figuras 73 e 74). A equipe de projetos da gestão anterior da CTS chegou a estudar uma barreira acústica para os percursos elevados, sendo ela composta de policarbonato e blocos recheados com revestimento acústico, que ficariam localizadas nas passarelas. No entanto, isso não foi definido e no projeto atual não consta nenhuma especificação.



Fonte: CTS

Figura 73 – Vista interna das passarelas pré-moldadas de concreto



Fonte: CTS

Figura 74 – Vista externa das passarelas pré-moldadas de concreto

O pilar tem predominantemente seção circular, sendo que nos casos onde não foi possível esta solução adotou-se um pilar cônico circular central e maciço com uma travessa superior em duplo balanço, servindo de apoio para as longarinas. Onde não foi possível nenhuma das duas soluções optou-se por um pórtico transversal com dois pilares de seção transversal circular, interligados por uma travessa superior servindo de apoio para as longarinas dos dois tramos adjacentes (CTS, 2005).

As especificações técnicas da Via são:

- a. bitola de 1.435mm;
- b. trilhos soldados continuamente;

- c. juntas isolantes deverão garantir a continuidade de rolamento e a resistência elétrica necessária;
- d. as vias de linha corrida serão assentadas sobre lastro de pedra britada com espessura mínima de 300mm abaixo do dormente. Nas vias de pátios a camada de lastro será de, no mínimo, 250mm;
- e. os Aparelhos de Mudança de Via (AMVs) obedecerão as normas da *International Union of Railways* (UIC) e serão construídos com trilhos do perfil UIC 60 e assentados sobre dormentes de madeira.

Quanto à questão técnica o sistema de instalação dos trilhos é similar ao do metrô de Brasília, segundo a equipe da CTS, pois a “via permanente” tem a mesma estrutura, que consiste em uma forma de apoio formado pelo conjunto: trilhos de ferro + dormente de concreto (peças colocadas sobre o solo perpendicular à via férrea e sobre as quais os trilhos são instalados) + brita (Figuras 75 e 76). Essa situação proporciona uma redução da geração de ruídos vibratórios, pois a brita atenua a transmissão das ondas sonoras. No entanto, para se garantir o isolamento dessa tipologia de som, seria importante a instalação de elementos amortecedores de impactos abaixo da laje onde estão apoiados os trilhos, visto que os mesmos não podem ser flexíveis, pois dificultariam a passagem dos veículos. O importante é separar a superfície que está recebendo a vibração da estrutura fixa da via/viaduto, que está, por sua vez em contato rígido com as ruas, o que possibilitaria a transmissão sonora para as edificações próximas. Em vias permanentes rígidas é obrigatório o uso de mantas isolantes, mas em vias flexíveis isso é opcional. A via permanente flexível (caso de Salvador) demanda uma maior manutenção, por isso é mais indicada para túneis, no entanto, não é recomendado tecnicamente que se mude a forma da via ao longo do percurso.

O procedimento que será adotado nessa via se refere a testes de simulação que serão feitos para determinar onde será necessário colocar a manta e a densidade necessária da mesma. Sobre essa questão da vibração vale ressaltar que são soluções caras e que só podem ser executadas no momento da obra. Como o tamanho do percurso elevado aumentou e por ser ele mais propício a provocar esse tipo de problema sugere-se dar mais ênfase a esse impacto. O trabalho não se atém a questões de vibração.



Fonte: CTS

Figura 75 – Via permanente Salvador



Fonte: METRÔ DF

Figura 76 – Via permanente Brasília

A via permanente do Metrô de Brasília (Figura 76) possui as seguintes características: raio mínimo de 250,00m, rampa máxima de 4%, dormentes em madeira nos desvios e concreto protendido tipo monobloco na linha corrida, via em lastro (superfície) 31,00km e via rígida (túnel) 10,00km, espaçamento entre dormentes 65,00cm (curvas) e 75,00cm (tangente). As composições são formadas por quatro carros, sendo os dois das extremidades com cabine de condutor (tipo ABBA). A capacidade máxima de cada composição é de 1.356 passageiros e sua velocidade máxima de operação é de 80,00km/h. Suas linhas se caracterizam por possuir trechos subterrâneos, semi-enterrados e de superfície.

Para a boa caracterização dos estudos de Meio Ambiente visando a implantação do Sistema Metroviário de Salvador, foi necessário a execução do EIA/RIMA que representa instrumento orientador e fundamentador da decisão administrativa que autoriza ou não a implantação de um empreendimento. O estudo foi desenvolvido obedecendo as seguintes fases: 1) Caracterização do empreendimento; 2) Caracterização das áreas de influência; 3) Diagnóstico ambiental da área a ser afetada pelo empreendimento; 4) Estudos de alternativas tecnológicas e de traçado; 5) Identificação e previsão dos impactos ambientais; 6) Definição de medidas mitigadoras, preventivas ou compensatórias; e 7) Definição de plano de acompanhamento e monitoramento. Esse estudo teve como objetivo realizar uma investigação ampla dos possíveis impactos ambientais que poderiam vir a acontecer com a implantação e operação da primeira etapa (trecho Lapa - Pirajá) do Metrô de Salvador, e determinar medidas mitigadoras para eliminar ou abrandar os seus efeitos.

Quanto ao ruído a ser emitido pela passagem do veículo, pelo fato de ser um trem elétrico, o motor praticamente não gera ruído, isso significa dizer que a possibilidade da geração de

ruído provém do contato roda-trilho e os momentos críticos são na hora de frear e no momento de partida, o que caracteriza as zonas próximas às estações como as mais críticas.

Portanto, estudos e soluções foram tomadas após a execução do diagnóstico, como, por exemplo, a questão de relocação das propriedades localizadas ao longo da via ou das estações. No entanto, quanto à questão do impacto do ruído nas edificações próximas, as medidas tomadas foram insuficientes, pois se restringiu a escolha de um veículo com motor silencioso e de uma via permanente absorvedora de impactos, mas não existem informações calculadas, nem simulações feitas que sejam capazes de estimar o ruído a ser gerado a partir do sistema de contato roda-trilho.

4.9.2. Estação Bonocô

Pode ser observado na figura 77 que a estação Bonocô, a quarta na seqüência a partir da Estação Lapa, localiza-se numa área definida por duas sub-áreas, com padrões bem mais definidos, de um lado (à esquerda) fica um espigão, Cosme de Farias, com um padrão que abriga as densidades mais altas e, à direita, um padrão com densidades mais baixas, incrustadas com poucos trechos de média alta e alta densidade.

O padrão à esquerda da Av. Mário Leal Ferreira e da Estação Bonocô é de baixa renda, dominada pelo uso residencial e uso misto nas vias de cumeada, e de acesso principal (coletoras). Ao longo do corredor existe uma concentração linear de uso múltiplo já consolidada, onde predominam serviços e comércio, como está demonstrado no mapa da figura 78.

Observa-se nas figuras 79, 80 e 81 uma certa horizontalidade na ocupação, pois embora predomine o tipo casa, o número de pavimentos entre 3 e 5 é significativo, além de forte incidência de imóveis num estado precário/insatisfatório e/ou em construção. Esta mesma característica se observa na maioria das áreas de baixa renda, inclusive à direita do vale, demonstrando que:

- a. as altas densidades aí resultam de um adensamento tanto no sentido horizontal, como também verticalizando a edificação com 3, 4 e até mais pavimentos;
- b. muitas destas edificações são pluridomiciliares, outras de uso misto: “escritórios” em baixo e residência em cima;

- c. o dinamismo da área se verifica pela presença significativa de imóveis “em construção”, embora a maioria já ocupados.

Já o padrão à direita da Av. Mário Leal Ferreira é menos problemático, mas possui alguns vazios, destacando-se alguns conjuntos habitacionais de porte (verticais) seguidos de loteamentos regulares ocupados por casas, com melhor padrão construtivo e de conservação que a área de Cosme de Farias.

Considerando o potencial de superfície disponível à direita (sentido centro-periferia) é possível inferir que novos adensamentos ocorram, tanto na substituição das casas por edifícios verticais, como também pelo preenchimento de alguns vazios no interior da área de influência. Segundo o diagnóstico a Estação Bonocô pode vir a ser um fator de requalificação nas áreas adjacentes, atraindo investimentos do setor imobiliário, sempre dependendo, é claro, de medidas complementares no entorno imediato do corredor (PMS, 2001a). Essa possibilidade reforça ainda mais a necessidade de um cuidado extra com a possibilidade do aumento da geração de ruído na região.

De acordo com o projeto original, a estação Bonocô da Linha 1 de metrô seria implantada em nível, no canteiro central da Av. Mário Leal Ferreira, existente no vale de mesmo nome, encrustrada entre os setores de Alto do Cruzeiro e Campinas de Brotas. Essa proposta já foi reformulada alterando todo o trecho para elevado.

Como todo o relevo do vale, a área de influência direta da estação Bonocô é extremamente acidentada, onde a ocupação urbana inicial ocorreu a partir das cumeadas, com ocupações do solo interrompidas pelos vales e pela própria avenida.

Excetuando a avenida, a estrutura viária existente é precária, composta apenas por vias coletoras que desempenham a função de penetração de cada bairro.

O acesso direto à estação será dado pela própria Av. Bonocô, classificada como via arterial I, operando praticamente com fluxo veicular ininterrupto, permitindo retornos apenas no entroncamento com outras vias arteriais como ocorre, no trecho em estudo, junto à Rótula do Abacaxi e à Av. Ogunjá. As atividades terciárias predominam seu uso do solo lindeiro. Essa avenida é o principal eixo de ligação com outras regiões da cidade onde, até 2003 operava um corredor de ônibus no canteiro central, transportando as demandas de passageiros dos bairros ao Centro. Quanto à transposição da Av. Bonocô, nesse trecho, só é realizada por meio de

quatro passarelas para pedestres, existentes nas proximidades da futura estação de metrô (PMS, 2001a)

Entre os vales do Bonocô e do Matatu estão configurados os bairros Cosme de Farias e Alto do Cruzeiro, que se desenvolveram a partir da cumeada da Rua Cosme de Farias, via coletora II (ANEXO A). Esses bairros residenciais formaram-se por meio da ocupação espontânea e desordenada, gerando uma estrutura viária altamente precária, agravado pela topografia acidentada, que em geral permite ligação com a Av. Bonocô, apenas por extensas escadarias, íngremes, inadequadas e em péssimo estado de conservação (PMS, 2001a).

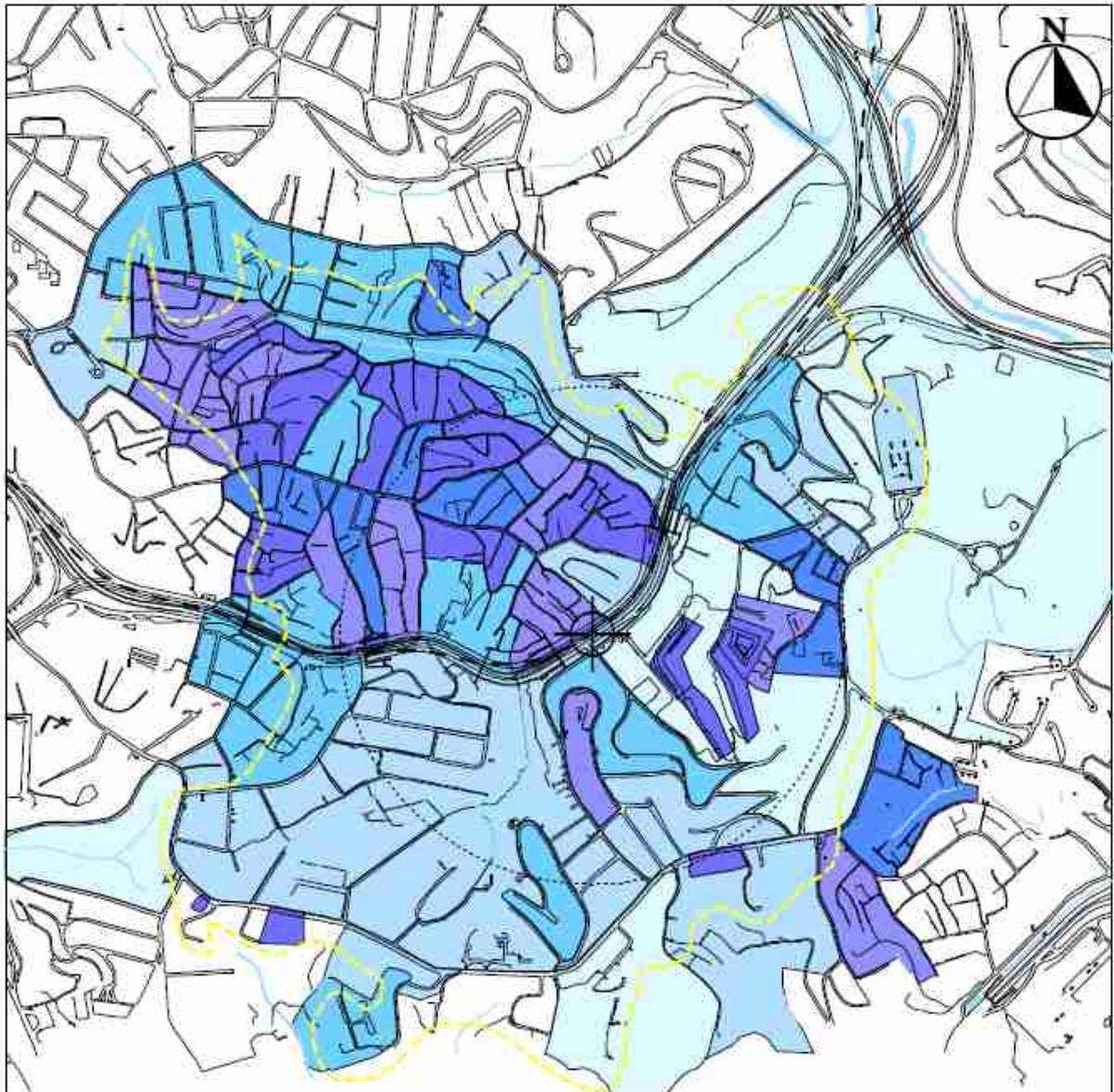
No lado sul da Av. Bonocô está o bairro Brotas composto pelos setores Campinas de Brotas e Daniel Lisboa, estruturados a partir da cumeada da Rua Dom João VI, caracterizada como via coletora I. Ambos possuem atividades terciárias como hospitais, clínicas, além de escolas, comércio e serviços diversos. Esses setores são ocupados, predominantemente, por diversos conjuntos habitacionais (PMS, 2001a).

O ANEXO A mostra o contexto urbano da implantação da estação Bonocô projetada. Essa imagem se refere ao projeto original, onde constava o trecho em superfície.

Os principais problemas e conflitos encontrados na área são:

- a. precariedade das condições de acesso à demanda de Cosme de Farias e Alto do Cruzeiro. Além de estarem restritos ao modo a pé, estão obrigados a utilizarem as escadarias muito precárias e inadequadas;
- b. falta de urbanização adequada ao longo dos acessos de pedestres;
- c. falta de área de manobras, junto à estação de metrô das linhas de ônibus alimentadoras de Daniel Lisboa e Campinas de Brotas;
- d. falta de área para ponto de táxi e embarque/desembarque dos passageiros oriundos do tráfego de passagem, junto à estação;
- e. carência de sistema viário na área de influência direta da estação, ocasionada pelo relevo da área e ocupação desordenada ocorrida nos bairros de Cosme de Farias e Alto do Cruzeiro.

Nas fotografias do ANEXO B estão explícitas as principais características da área de influência direta da estação Bonocô correlacionando com a acessibilidade.



Fonte: Compilação de dados
IBGE/1996 e SICAR/CONDER/FMLF

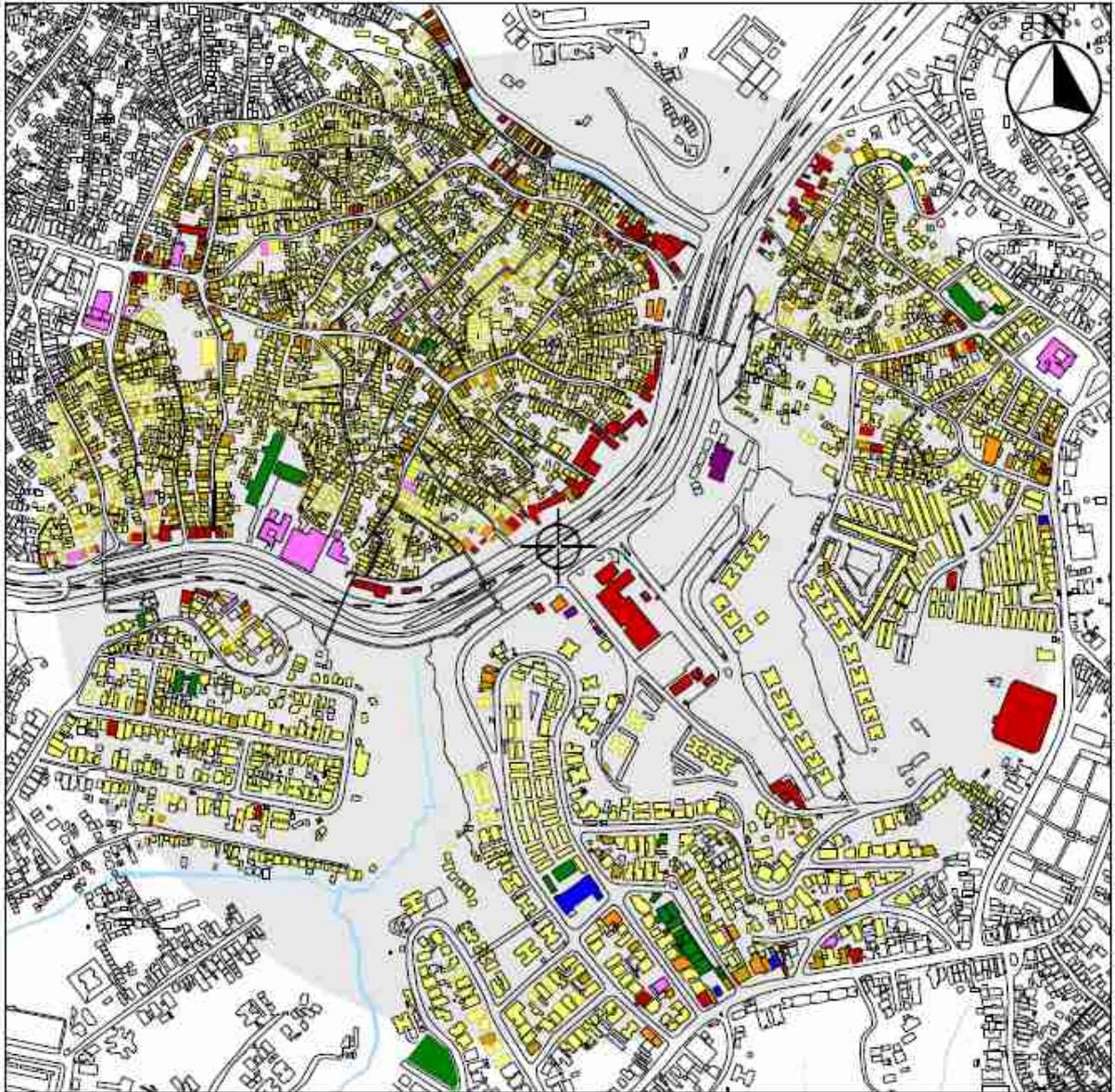
LEGENDA
densidade bruta por setor censitário (hab/ha)

| | |
|--|---------------------------|
| | Muito alta: acima de 500 |
| | Alta: de 400 a 500 |
| | Média alta: de 300 a 400 |
| | Média: de 200 a 300 |
| | Média baixa: de 100 a 200 |
| | Baixa: até 100 |

| | |
|--|--------------------------------------|
| | Estação BONOCÔ |
| | Linha do metrô |
| | Área de entorno imediato da estação |
| | Área de influência direta da estação |



Fonte: PMS, 2001a
Figura 77 – Densidade populacional próxima a Estação Bonocô



Fonte: Pesquisa de campo;
Imagem Consultoria
janeiro/2001

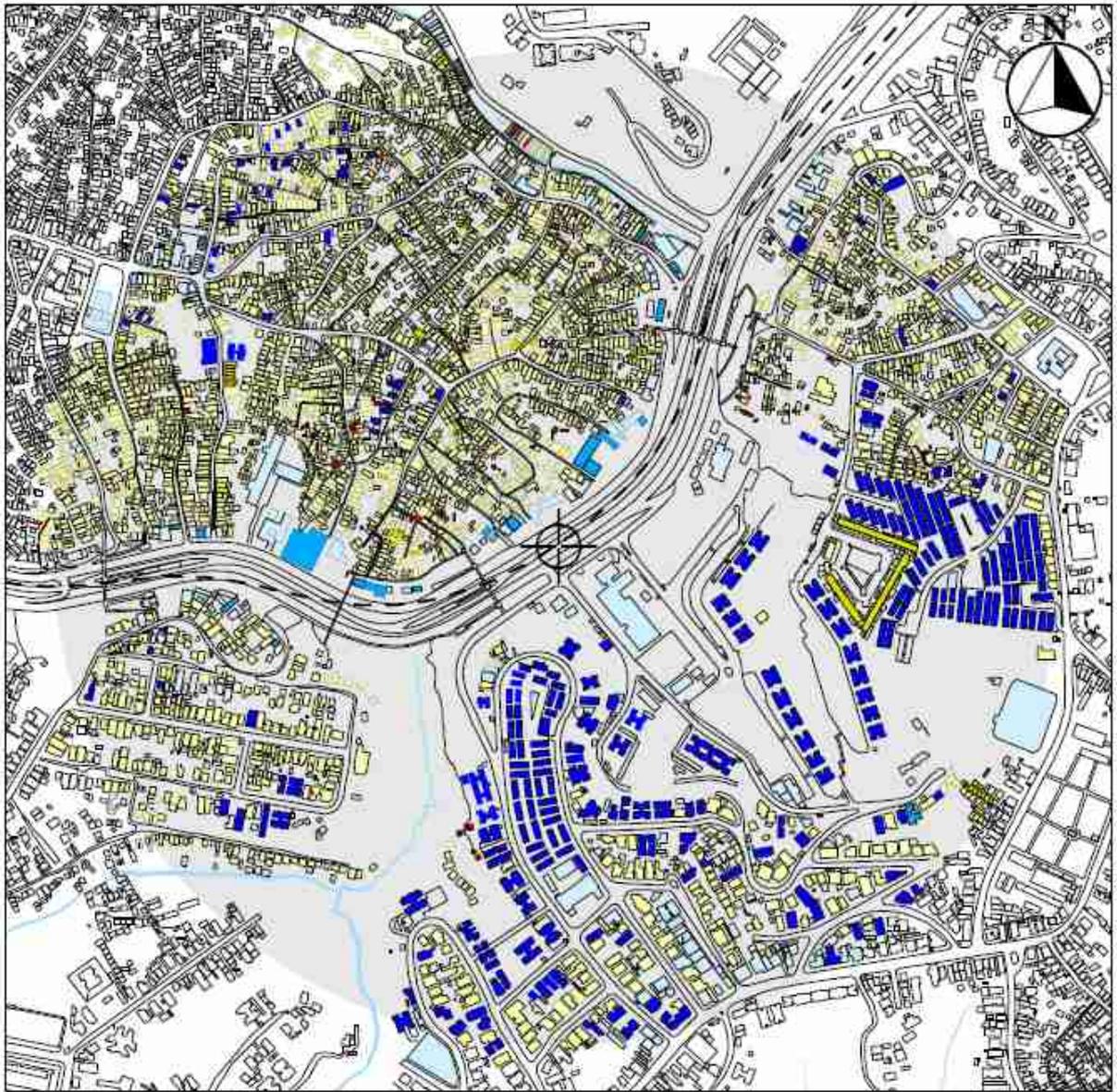
LEGENDA

- Residência
- Comércio
- Serviços
- Indústria
- Misto
- Educação
- Saúde
- Especial
- Institucional
- Outros

- Estação BONOCÓ
- Linha do metrô

ESCALA GRÁFICA - M
0 100 200

Fonte: PMS, 2001a
Figura 78 – Uso do solo



Fonte: Pesquisa de campo
Imagem Consultoria
Janeiro/2001

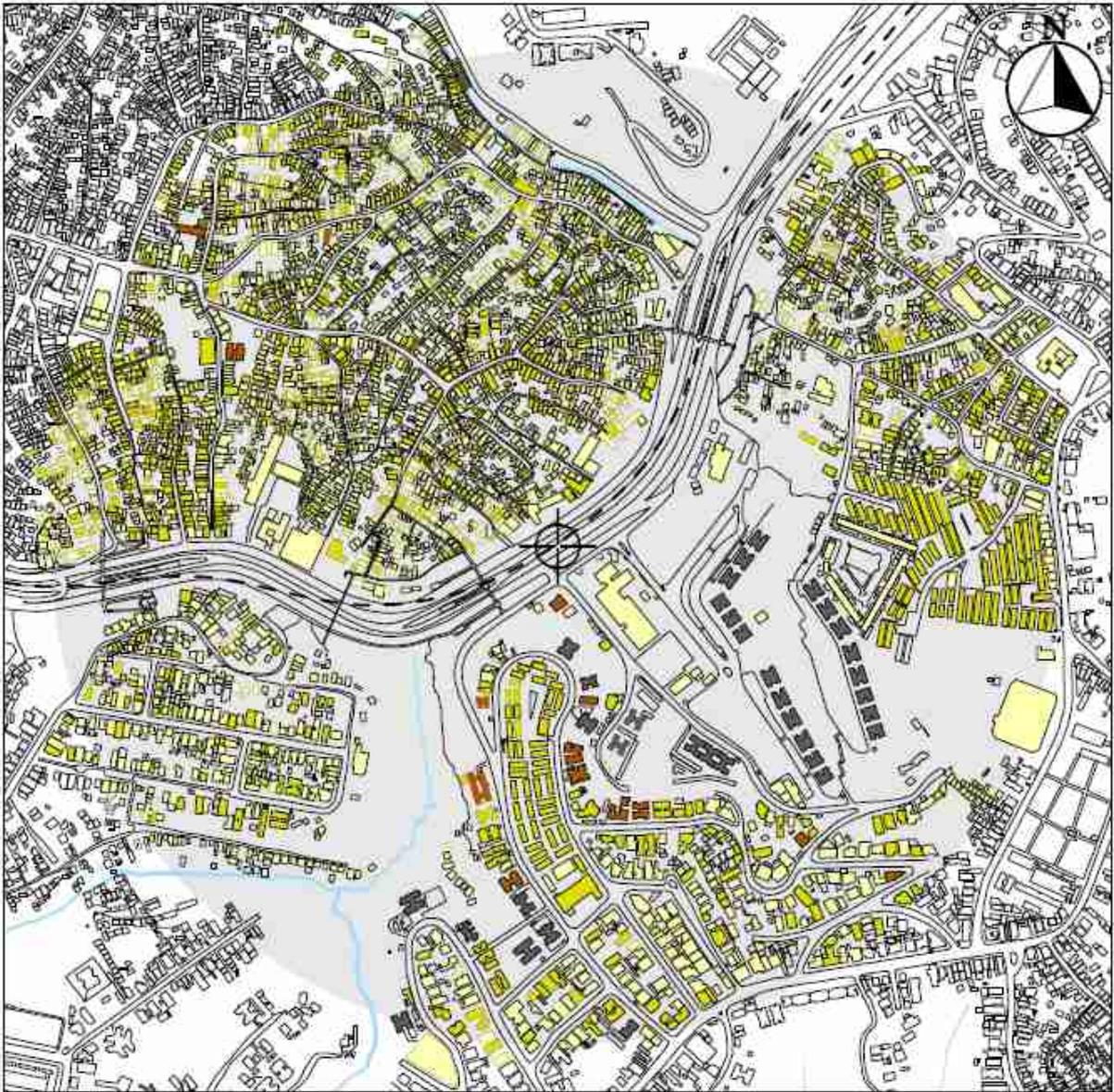
LEGENDA

- Casa
- Avenida / Fila de Casas
- Barraco
- Edifício
- Barracão / Galpão / Nave / Telheiro
- Outros

- Estação BONOCÔ
- Linha do metrô

ESCALA GRÁFICA - M
0 100 200

Fonte: PMS, 2001a
Figura 79 – Tipo de edificação



Fonte: Pesquisa de campo
Imagem Consultoria
janeiro 2001

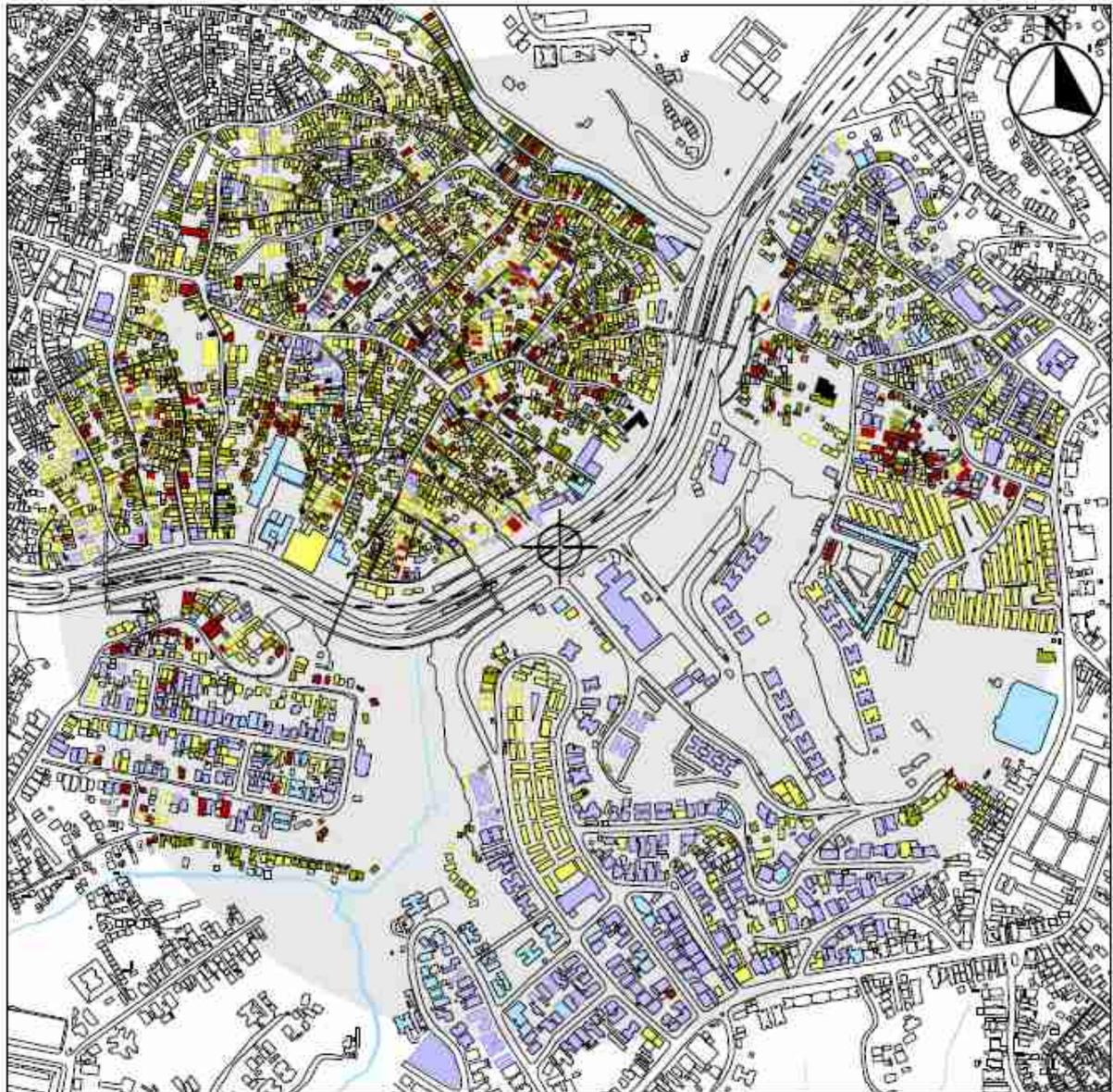
LEGENDA

- acima de 11 pavimentos
- de 6 a 10 pavimento
- de 3 a 5 pavimentos
- de 1 a 2 pavimentos

- ⊕ Estação BONOCÔ
- Linha do metrô

ESCALA GRÁFICA - M
0 100 200

Fonte: PMS, 2001a
Figura 80 – Nº de pavimentos por edificação



Fonte: Pesquisa de campo
Imagem Consultoria
janeiro/2001

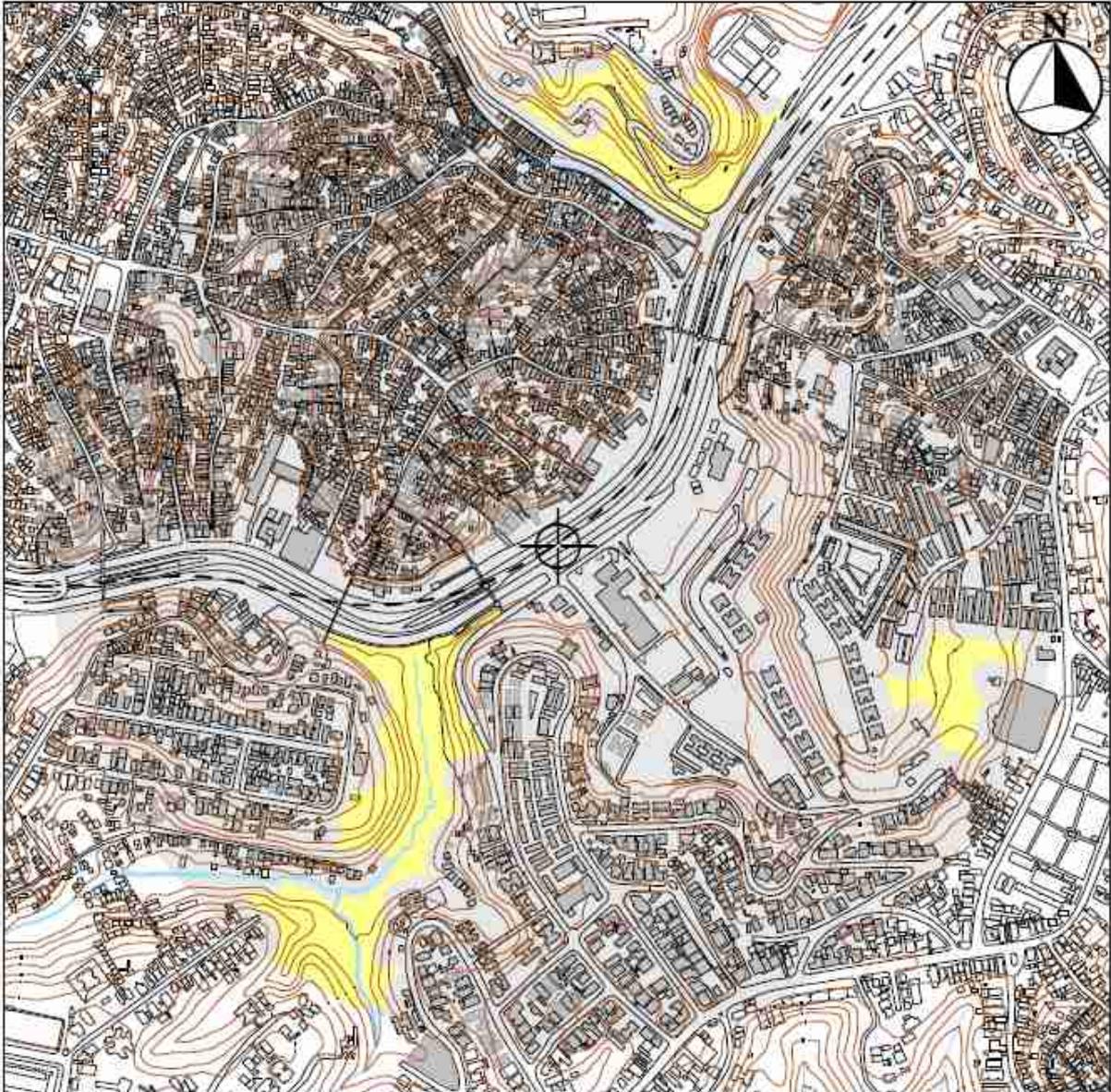
LEGENDA

- Excelente / Ótimo
- Bom / Satisfatório
- Razoável / Regular
- Precário / Insatisfatório
- Arruinado / Abandonado
- em Construção

- Estação BONGOCÔ
- Linha do metrô

ESCALA GRÁFICA - M
0 100 200

Fonte: PMS, 2001a
Figura 81 – Padrão construção / conservação

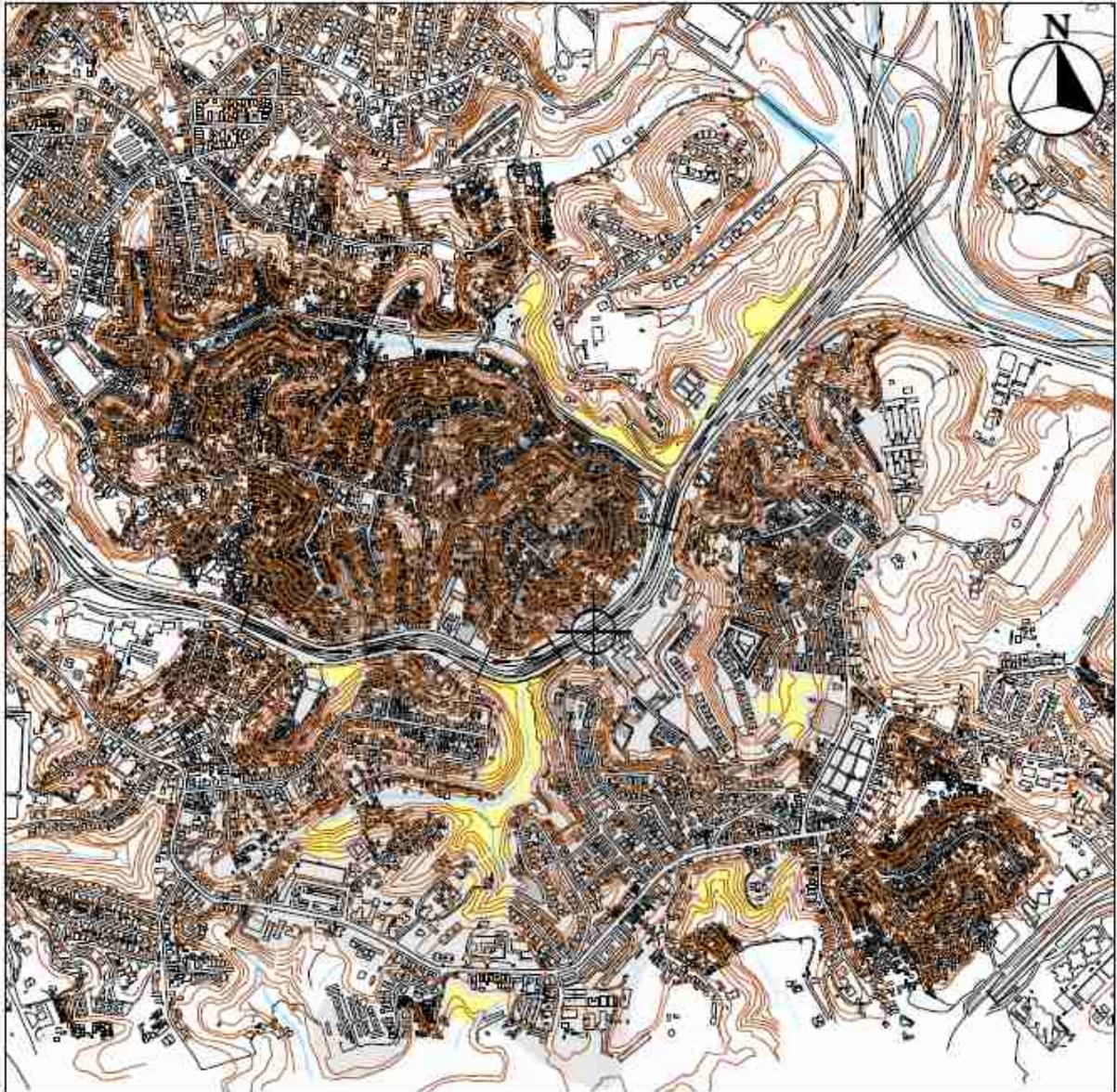


Fonte: Pesquisa de campo
Imagem Consultoria
Janeiro 2001

-  Estação BONOCÔ
-  Linha do metrô
-  Áreas vazias (acima de 0,5 ha)

ESCALA GRÁFICA - M
0 100 200

Fonte: PMS, 2001a
Figura 82 – Áreas vazias (entorno imediato)



Fonte: Pesquisa de campo
Imagem Consultoria
Janeiro/2001

-  Estação BONCÔ
-  Linha do metrô
-  Áreas vazias (acima de 0,5 ha)



Fonte: PMS, 2001a
Figura 83 – Áreas vazias (influência direta)

5. METODOLOGIA

Além da revisão da literatura a pesquisa utiliza abordagem quantitativa, onde os valores medidos e calculados foram analisados, o que não exclui a necessidade de uma interpretação qualitativa dos dados, pois a análise do contexto torna-se importante e os fenômenos que se relacionam com a saúde humana são complexos.

A pesquisa empírica foi dividida em 3 etapas e cada uma está diretamente vinculada a um objetivo específico.

5.1. ETAPA 1 – SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO SONORA

Após o estudo de diversos modelos de propagação sonora específicos para ruído ferroviário decidiu-se trabalhar com o *Harmonoise* por levar em conta uma quantidade maior de elementos capazes de influenciar o ruído e por considerar mais preciso.

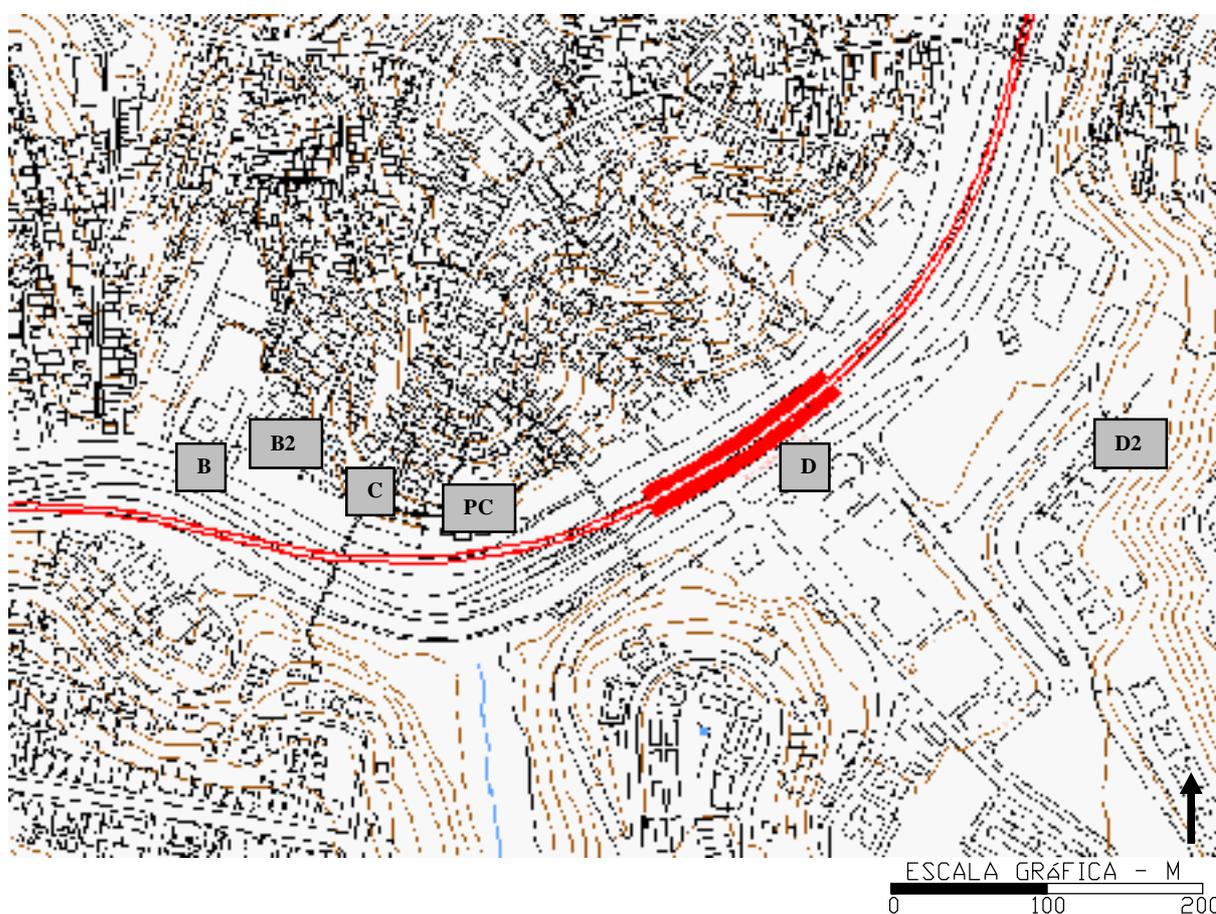
Obtenção do ruído a ser emitido por essa tipologia de transporte e cálculo da propagação sonora. Elaboração de cenários que variam devido à inserção de fontes sonoras distintas pelo fato do metrô ainda não estar em atividade, o que impossibilita a medição do nível de ruído emitido por ele. Todos os cenários foram obtidos por meio das fórmulas do *Harmonoise*, por considerar este o modelo de previsão mais completo, mas no primeiro cenário calculou-se também usando a fórmula básica com fins comparativos e no segundo cenário também pelo método Francês como opção comparativa, por ter sido proveniente deste, o valor de referência da fonte sonora utilizado nessa situação.

Primeiramente, foi calculado o NPS nos pontos determinados (propagação do ruído do metrô) em cada cenário, para então fazer a soma logarítmica com o ruído de fundo medido por Araújo (2006). Foram obtidos os NPS totais tanto na fachada das edificações quanto internamente. Todos os métodos de previsão de ruído partem de um NWS inicial como parâmetro, por isso foi necessário fazer a conversão de NPS para NWS antes de aplicá-lo nas fórmulas. Foram considerados os impactos em diversos cenários.

O resultado das medições feitas *in loco* por Araújo (2006) com analisador de espectro em diversos pontos localizados próximos a linha do metrô, tanto na área externa quanto dentro de algumas edificações, foi suficiente para registrar o ruído de fundo atual no local estudado. As

medições de NPS foram de acordo com os procedimentos da NBR 10.151 (ABNT, 1987), que fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades.

Selecionaram-se alguns pontos dos que foram medidos por Araújo (2006) de acordo com sua representatividade (tipos diferentes de edificações) e localização (proximidade com a estação, dentro e fora das edificações). Como a presente pesquisa parte de dados medidos em outro trabalho, optou-se por manter a mesma nomenclatura dos pontos para melhor correlacionar (B, B2, C, D e D2), dando continuidade ao estudo. As figuras 84 e 85 apresentam os pontos escolhidos e simulados.



Fonte: SEPLAM, 2004

Figura 84 – Mapa digital da Av. Bonocô com localização dos pontos simulados



Fonte: CONDER INFORMS, 2006

Figura 85 – Foto aérea da Av. Bonocô com localização dos pontos simulados

Todos os pontos podem ser observados nas figuras 86-89.



Figura 86 – Pontos B e B2



Figura 87 – Ponto C



Figura 88 – Ponto D



Figura 89 – Ponto D2

Na análise foi acrescentado um outro ponto, denominado ponto crítico (PC) (figura 90) escolhido por se tratar de um local muito próximo à linha do metrô (28,58m de distância até o eixo da linha), além de estar na mesma altura do metrô elevado. Esse ponto foi analisado considerando tanto o ambiente interno quanto externo, pois os parâmetros normativos são diferenciados. Como não houve medição nesse local o valor considerado para L_{eq} existente foi similar ao do ponto B, por ser o mais representativo do NPS desse lado da Avenida, pois o fluxo de tráfego se mantém. As figuras 91 e 94 identificam o local escolhido como ponto crítico.

Foi feita uma correção de -10dB situação “janela aberta” (JA) e -15dB situação “janela fechada” (JF) no valor propagado dos pontos que foram medidos internamente, segundo recomendação da NBR 10.151 (ABNT, 1987). No caso de “PC (int)” essa correção foi feita também no valor medido, pois o valor medido de referência foi obtido em ambiente externo e objetivou-se calcular o resultado no interior da edificação.

As figuras 90 a 94 localizam nitidamente a edificação escolhida como ponto crítico (PC).



Fonte: CONDER INFORMS, 2006

Figura 90 – Foto aérea da Av. Bonocô com detalhamento do ponto crítico (PC)

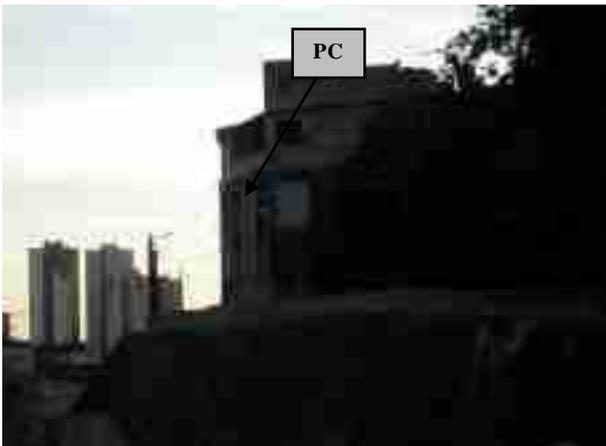


Figura 91 – Vista do ponto crítico (PC)



Figura 92 – Vista do ponto crítico (PC) a partir da passarela



Figura 93 – Vista frontal do ponto crítico (PC)



Figura 94 – Vista frontal aproximada do ponto crítico (PC)

As distâncias exatas de cada ponto ao eixo do trilho foram obtidas no arquivo de formato DWG (AutoCAD) fornecido pela CTS e está no APÊNDICE C.

A partir desse momento os diferentes cenários que foram elaborados serão detalhados e justificados, além de serem identificados de acordo com a característica de cada um. Cenário mais pessimista representa a pior situação, ou seja, o maior NWS, Cenário mais otimista é o que demonstra o menor NWS e Cenário mais provável é aquele em que foi considerado o NWS que tem a maior probabilidade de ocorrer.

5.1.1. Cenário 1 - Considerando que o metrô irá gerar o ruído permitido pela ABNT (Uma das situações é o cenário mais pessimista)

Esse Cenário representa os NPSs estipulados na NBR 13.068 (ABNT, 1994), o que teoricamente garantiria a adequação perante a Norma pertinente. Os altos parâmetros estipulados nessa Norma não são adequados à áreas com nível elevado de adensamento urbano como é o caso da Av. Bonocô, pois existem edificações muito próximas a linha, não existindo distância suficiente para atenuar o som a níveis aceitáveis.

a. NPS 85dB(A) – Ruído externo máximo admissível pela NBR 13.068 (ABNT, 1994) para o metrô em pontos distantes 5m, partindo, chegando e passando pela estação. Como esse parâmetro se relaciona tanto a situação estática (fonte pontual) quanto móvel (fonte linear) foram feitos cálculos caracterizando a fonte nessas duas situações:

- NWS_1 97dB(A) – Nível de potência sonora calculado a partir do espalhamento na superfície semi-cilíndrica (fonte de ruído linear) referente a 85dB(A).
- NWS_2 107dB(A) – Nível de potência sonora calculado a partir do espalhamento na superfície semi-esférica (fonte de ruído pontual) referente a 85dB(A). Recomendado pela Gerb do Brasil (2003). Cenário mais pessimista.

b. NPS 90dB(A) – Ruído externo máximo admissível pela NBR 13.068 (ABNT, 1994) para o metrô em pontos distantes 5m nos trechos entre estações, por isso a fonte foi caracterizada como linear:

- NWS_1 102dB(A) – Nível de potência sonora calculado a partir do espalhamento na superfície semi-cilíndrica (fonte de ruído linear) referente a 90dB(A).

5.1.2. Cenário 2 - Considerando que o metrô irá gerar o ruído de referência indicado pelo método Francês de estimativa de ruído (Cenário mais otimista)

De acordo com esse método o nível sonoro de referência emitido por um trem a uma distância de 7,5m é de NPS 79dB(A), o que representa uma potência sonora de NWS 93dB(A) ao se considerar o espalhamento semi-cilíndrico na superfície.

- a. Por meio do *Harmonoise*
- b. Por meio do Método Francês

5.1.3. Cenário 3 - Considerando que o metrô gere um ruído similar ao metrô de Brasília (Cenário mais provável)

Foram usados os resultados das medições do NPS feitas do metrô de Brasília pelo CEFTRU (2004) devido a similaridade técnica com o de Salvador, no que tange a qualidade construtiva da via permanente, que é a responsável direta pela geração de ruído no contato roda-trilho. Portanto, com a avaliação feita no metrô de Brasília pode-se estimar o ruído a ser gerado pelo metrô de Salvador.

Foi obtido uma média entre todos os valores medidos pelo CEFTRU (2004). O resultado foi NPS 94,5dB(A) a uma distância de 3,0m, o que significa afirmar que o NWS desse cenário é de 104dB(A), considerando também o espalhamento semi-cilíndrico na superfície.

5.1.4. Cenário 4 - Considerando um nível de ruído estimado objetivando não proporcionar um acréscimo de ruído à situação atual

Foi calculado o NPS que a passagem do trem pode gerar para que não haja impacto nas adjacências, considerando o ruído existente. Esse resultado conta com a situação de que o ruído do transporte rodoviário atual irá permanecer inalterado, no entanto, deve ser considerado que existe a possibilidade de que esse NPS seja reduzido. Caso haja realmente uma diminuição considerável das linhas de ônibus, por conta dessa área ser beneficiada pelo metrô, o resultado desse cenário deve ser revisto, pois desconsidera essa alteração do tráfego. No caso da implantação de barreiras acústicas a informação do ruído de fundo real existente após a instalação do metrô deve ser levada em consideração, porque quanto menor for o ruído de fundo menor deve ser o NWS da fonte, ou seja, mais eficiente deve ser a barreira.

Após os cálculos que teve como referência o *Harmonoise* obteve-se o resultados a partir de outros métodos para comparar e validar. Primeiro calculou-se por meio da fórmula básica, obtendo o resultado em PC e tomando-se como exemplo NPS 85dB(A), representativo do cenário 1a e depois foi obtido o resultante proveniente do método Francês, recomendado pela EBTU (1988) e, portanto, com o mesmo NPS do cenário 2 (2b).

Foi feita também uma outra análise que trata da questão da percepção da comunidade perante o acréscimo de ruído, de acordo com informações da NBR 10.151 (BRASIL, 1987), que trata entre outras questões da resposta estimada da comunidade, ou seja, trata da percepção e não dos efeitos na saúde, que é o foco principal da pesquisa.

5.2. ETAPA 2 – CORRELAÇÃO DO NPS COM A TIPOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES

A classificação da tipologia funcional das edificações lindeiras à linha do metrô foi definida de acordo a NBR 10.152 (ABNT, 2000), por possuírem parâmetros de análise específicos. As construções serão ordenadas em: Hospitais, Escolas, Hotéis, Residências, Auditórios, Restaurantes, Escritórios, Templos e Locais para esporte. O nível de conforto indicado para cada ambiente é descrito na tabela 07.

A identificação da atividade de cada edificação foi feita por meio da observação de mapas existentes, fotografias, informações georreferenciadas desenvolvidas pela CTS pertencentes ao “Relatório Final - Diagnóstico” do “Plano de Diretrizes Urbanísticas para áreas de influência das estações do metrô” e *software* desenvolvido pela Prefeitura Municipal de Salvador sobre a Lei do Ordenamento do Uso e da Ocupação do Solo de Salvador (LOUOS).

Quanto às ferramentas de cálculo e de análise, todas as fórmulas dos métodos de previsão de ruído foram inseridas no *software* Excel e seus resultados inseridos no banco de dados do Spring. A propagação sonora foi também modelada no Spring, pois o fato de ser um SIG com tecnologias de geoprocessamento, permite o tratamento da componente espacial e um melhor entendimento desse espalhamento sonoro, o que facilita o cruzamento de informações teóricas e espaciais.

Em imagens de altimetria e mapas tridimensionais busca-se entender a relação existente entre a propagação do som proveniente da linha do metrô e a geomorfologia local, o que pode expor ou proteger determinadas zonas e é capaz de amplificar o nível de ruído devido às reflexões. Um desnível no terreno é capaz de proporcionar verdadeiras sombras acústicas,

assim como um vale, por exemplo, direciona o som para outras áreas. Portanto, foram identificadas áreas e edificações protegidas.

A análise das reflexões dos raios sonoros provocadas pelas barreiras acústicas naturais (conformação do terreno) e artificiais (intervenção humana), que interferem no som não será objeto de estudo desse trabalho e não tem grandes impactos nas edificações lindeiras, onde o som direto está em um nível muito acima dos refletidos, o que provoca um mascaramento desses e a conseqüente impercepção. O estudo dessas reflexões demanda a utilização de *softwares* específicos de poluição sonora, devido a grande quantidade de interferências e algoritmos envolvidos.

A partir dos resultados obtidos na etapa anterior foi possível estabelecer uma relação entre o nível de conforto acústico estipulado em Norma para cada tipo de local e os valores resultantes calculados em cada edificação (Pontos B2, C e D2). Isso representa uma análise comparativa entre os ruídos calculados e os padronizados. Essa relação pôde ser esclarecida por meio de gráficos e tabelas gerados pelas ferramentas escolhidas.

Para os pontos localizados em ambientes externos (B e D) foram adotados os parâmetros da NBR 10.151 (ABNT, 1987) que cita critérios para essa situação (Tabela 22). A Avenida estudada se classifica como “Centro da cidade (negócios, comércio, administração)”, portanto, com limites de 65dB(A) e 60dB(A). Nos pontos internos foram usadas as correções indicadas na referida Norma para a janela nas situações aberta (-10dB) ou fechada (-15dB).

Foram analisadas também os parâmetros da Lei municipal nº5.354 (SALVADOR, 1988), conhecida como a “Lei do Silêncio” tanto para ruído externo (70dBA e 60dBA) quanto interno (60dBA e 55dBA).

5.3. ETAPA 3 – ANÁLISE DOS EFEITOS NA SAÚDE

A análise da relação entre os resultados de NPS obtidos tanto interno quanto externamente e a saúde dessa população foi feita considerando tanto o nível de ruído quanto o tempo de exposição. Como não se trata de uma pesquisa desenvolvida por um profissional da área de saúde essa etapa foi elaborada com o apoio da bibliografia revisada, não pretendendo dar diagnósticos definitivos e afirmativos da existência de determinadas efeitos, porque eles dependem de diversos fatores. Portanto, a intenção foi determinar apenas a possibilidade do surgimento de alterações, tanto fisiológicas quanto psicológicas, a partir de informações

teóricas e de outros estudos e comprovações de efeitos existentes provocados pela exposição ao ruído.

A capacidade de sustentação de todo organismo e não apenas do sistema auditivo, assim como os reflexos psicológicos foram identificados em ampla pesquisa bibliográfica, mas os principais parâmetros de análise foram obtidos de livros que tratam da relação entre poluição sonora e saúde, legislações pertinentes e limites estabelecidos pela OMS.

A Resolução nº1 do CONAMA (BRASIL, 1990a) estabelece normas a serem obedecidas, no interesse da saúde, no tocante à emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades e afirma que os problemas de níveis excessivos de ruído estão incluídos entre os sujeitos ao controle da poluição e que a deterioração da qualidade de vida, causada pela poluição, está sendo continuamente agravada nos grandes centros urbanos. Estipula que a emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política, obedecerá ao interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta Resolução. Segundo ela, são prejudiciais à saúde e ao sossego público, os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela NBR 10.152 (ABNT, 2000) e afirma também que as medições deverão ser feitas de acordo com a mesma.

Foram projetadas no Spring faixas em torno da linha do metrô para cada cenário, de acordo com o modelo de previsão sonora escolhido e objetivando identificar as áreas de influência do metrô traçou-se curvas isossônicas, o que permitiu obter uma visualização gráfica do impacto sonoro e, principalmente, uma comparação entre os cenários calculados.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esse capítulo apresenta a aplicação da metodologia descrita no item anterior e as análises foram feitas a partir da obtenção dos resultados obtidos e da produção de gráficos e imagens desenvolvidos em cada etapa.

6.1. ETAPA 1 – SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO SONORA

A etapa 1 visa elaborar cenários para possíveis alternativas de NWS para o metrô com base no *Harmonoise*, mas foi feito também um comparativo com outros modelos de propagação sonora.

Algumas tabelas que serão mostradas nessa etapa foram desenvolvidas no software Excel, tomando-se por base as fórmulas de previsão de ruído demonstradas ao longo dessa dissertação.

Admitindo-se uma fonte de ruído linear sobre uma superfície plana e propagação em campo aberto (sem reflexões ou anteparos à propagação sonora) o Nível de Potência Sonora (NWS) da fonte na primeira situação do cenário 1a será de:

$NWS = NPS + \text{espalhamento na superfície semi-cilíndrica de raio } d$

Onde:

NWS = nível de potência sonora

NPS = nível de pressão sonora → ex. 85dB(A)

d = raio de espalhamento → ex. 5m

$$NWS = 85 + 10\log(\Psi * d) = 85 + 10\log(\Psi * 5) = 96,96\text{dB(A)}$$

Dessa forma a fonte sonora fica quantificada: $NWS = 96,96\text{dB(A)}$

TABELA 26 – NWS CALCULADOS PARA CADA CENÁRIO

| NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA - NWS (SEMI-CILÍNDRICA) | | | |
|--|-----------|-------|-----------|
| | NPS (dBA) | D (m) | NWS (dBA) |
| Cenário 1A - ABNT (85) | 85,0 | 5,0 | 96,96 |
| Cenário 1B - ABNT (90) | 90,0 | 5,0 | 101,96 |
| Cenário 2A - Ref. Francês * | 79,0 | 7,5 | 92,72 |
| Cenário 3 - Metrô DF | 94,5 | 3,0 | 104,24 |
| Cenário 4 - ideal | 71,0 | 5,0 | 83,0 |

| NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA - NWS (SEMI-ESFÉRICA) | | | |
|---|------------------|--------------|------------------|
| | NPS (dBA) | D (m) | NWS (dBA) |
| Cenário 1A - ABNT (85) ** | 85,0 | 5,0 | 106,96 |
| Cenário 4 - ideal | 61,0 | 5,0 | 83,0 |

* Cenário 2A (semi-cilíndrica) → mais otimista

** Cenário 1A (semi-esférica) → mais pessimista

O cenário 1 considera os dois parâmetros da NBR (ABNT, 1994) 1A e 1B, tendo sido 1A calculado em duas situações, sendo a segunda situação representativa do cenário mais pessimista. O cenário 2 é consequência do ruído de referência do método Francês e é o mais otimista, o cenário 3 considera a hipótese de que o ruído emitido pelo metrô de Salvador será similar ao do metrô de Brasília e representa o cenário mais provável e o cenário 4 demonstra uma situação onde não haveria acréscimo ao ruído existente após a circulação do metrô.

Como a fonte de ruído é principalmente linear, o que provoca um espalhamento semi-cilíndrico, apenas em dois casos foram calculados também com a fórmula do espalhamento semi-esférica, pois no momento de chegada e partida pode-se considerar uma fonte pontual, segundo a Gerb do Brasil (2003). No caso do cenário 1A a referência 85dB(A) da ABNT se refere a esse caso e no cenário 4 que é o caso de não impactar justifica-se calcular em todas as situações.

6.1.1. Cenário 1 - Considerando que o metrô irá gerar o ruído permitido pela ABNT (Uma das situações é o cenário mais pessimista)

As próximas tabelas demonstram os resultados do cálculo de propagação sonora em cada cenário de acordo com o *Harmonoise*. O L_{eq} representa o nível de ruído equivalente em determinado ponto, que pode ser medido ou calculado, a correção do valor propagado é feita apenas para os ambientes internos e o L_{eq} final representa a soma logarítmica do medido e do propagado corrigido. O acréscimo é o L_{eq} final menos o L_{eq} medido.

a. NPS 85dB(A)

- Situação 1 (semi-cilíndrica) - NWS_1 97dB(A)

As distâncias entre o eixo da linha e o receptor foram obtidas no mapa que indica os pontos que foram simulados e estão demonstradas no APÊNDICE C.

TABELA 27 – L_{eq} PROPAGADO DE ACORDO COM O *HARMONOISE* E ACRÉSCIMO AO NÍVEL DE RUÍDO ATUAL PARA NWS 97dB(A)

| Pontos | L_{eq} medido | Distância até eixo da linha (m) | L_{eq} propagado | Correção | L_{eq} final | Acréscimo |
|---------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|----------|----------------|-----------|
| B | 78,60 | 44,17 | 72,86 | | 79,63 | 1,03 |
| D | 79,30 | 42,79 | 73,13 | | 80,24 | 0,94 |
| B2 | 66,70 | 55,23 | 70,92 | 60,92 | 67,72 | 1,02 |
| C | 68,10 | 41,41 | 73,41 | 63,41 | 69,37 | 1,27 |
| D2 | 67,10 | 158,92 | 61,82 | 51,82 | 67,23 | 0,13 |
| | | | | | | |
| PC* (ext) | 78,60 | 28,58 | 76,63 | | 80,74 | 2,14 |
| PC* (int) JA | 68,60 | 28,58 | 76,63 | 66,63 | 70,74 | 2,14 |
| PC* (int) JF | 63,60 | 28,58 | 76,63 | 61,63 | 65,74 | 2,14 |

* PC significa ponto crítico e foi escolhido por representar uma situação extrema em que a linha passará muito próxima a essa edificação. Como não houve medição de ruído nesse local o valor considerado para L_{eq} existente foi similar ao do ponto B.

A correção para a situação “janela aberta” (JA) e “janela fechada” (JF) foi feita nos valores propagados dos pontos que foram medidos internamente, para que houvesse coerência na soma logarítmica.

Como o ruído atual existente na via estudada está muito acima de todos os parâmetros, o som propagado referente a instalação do metrô parece imperceptível, porém de fato ele foi “mascarado” devido a soma logarítmica, ou seja, o acréscimo foi reduzido, mas não inexistente. Caso haja modificação do tráfego urbano atual nos locais por onde o metrô irá passar por conta da redução da frota de ônibus, provavelmente, o ruído do metrô será mais perceptível.

- Situação 2 (semi-esférica) - NWS₂ 107dB(A) (Cenário mais pessimista)

TABELA 28 – L_{eq} PROPAGADO DE ACORDO COM O *HARMONOISE* E ACRÉSCIMO AO NÍVEL DE RUÍDO ATUAL PARA NWS 107dB(A)

| Pontos | L_{eq} medido | Distância até eixo da linha (m) | L_{eq} propagado | Correção | L_{eq} final | Acréscimo |
|-----------|-----------------|---------------------------------|--------------------|----------|----------------|-----------|
| B | 78,60 | 44,17 | 82,86 | | 84,24 | 5,64 |
| D | 79,30 | 42,79 | 83,13 | | 84,63 | 5,33 |
| B2 | 66,70 | 55,23 | 80,92 | 70,92 | 72,31 | 5,61 |

| | | | | | | |
|---------------------|-------|--------|-------|-------|-------|------|
| C | 68,10 | 41,41 | 83,41 | 73,41 | 74,53 | 6,43 |
| D2 | 67,10 | 158,92 | 71,82 | 61,82 | 68,23 | 1,13 |
| | | | | | | |
| PC* (ext) | 78,60 | 28,58 | 86,63 | | 87,26 | 8,66 |
| PC* (int) JA | 68,60 | 28,58 | 86,63 | 76,63 | 77,26 | 8,66 |
| PC* (int) JF | 63,60 | 28,58 | 86,63 | 71,63 | 72,26 | 8,66 |

Esse é o cenário mais pessimista por resultar em um acréscimo realmente significativo em praticamente todos os pontos, mesmo sem contar com a redução do ruído urbano atual provocado pelo tráfego rodoviário.

b. NPS 90dB(A)

- NWS₁ 102dB(A)

TABELA 29 – L_{eq} PROPAGADO DE ACORDO COM O *HARMONOISE* E ACRÉSCIMO AO NÍVEL DE RUÍDO ATUAL PARA NWS 102dB(A)

| Pontos | L_{eq} medido | Distância até eixo da linha (m) | L_{eq} propagado | Correção | L_{eq} final | Acréscimo |
|---------------------|------------------------------|--|---------------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|
| B | 78,60 | 44,17 | 77,86 | | 81,26 | 2,66 |
| D | 79,30 | 42,79 | 78,13 | | 81,76 | 2,46 |
| B2 | 66,70 | 55,23 | 75,92 | 65,92 | 69,34 | 2,64 |
| C | 68,10 | 41,41 | 78,41 | 68,41 | 71,27 | 3,17 |
| D2 | 67,10 | 158,92 | 66,82 | 56,82 | 67,49 | 0,39 |
| | | | | | | |
| PC* (ext) | 78,60 | 28,58 | 81,63 | | 83,38 | 4,78 |
| PC* (int) JA | 68,60 | 28,58 | 81,63 | 71,63 | 73,38 | 4,78 |
| PC* (int) JF | 63,60 | 28,58 | 81,63 | 66,63 | 68,38 | 4,78 |

6.1.2. Cenário 2 - Considerando que o metrô irá gerar o ruído de referência indicado pelo método Francês de estimativa de ruído (Cenário mais otimista)

Esse cenário foi calculado também pelo próprio método Francês, fonte do parâmetro que deu origem a esse cenário. Essa situação está apresentada após as análises dos cenários do *Harmonoise*, pois é um elemento comparativo e complementar.

a. Através do *Harmonoise* (NPS 79dBA e NWS 93dBA)

TABELA 30 – L_{eq} PROPAGADO DE ACORDO COM O *HARMONOISE* E ACRÉSCIMO AO NÍVEL DE RUÍDO ATUAL PARA NWS 93dB(A)

| Pontos | L_{eq} medido | Distância até eixo da linha (m) | L_{eq} propagado | Correção | L_{eq} final | Acréscimo |
|---------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|----------|----------------|-----------|
| B | 78,60 | 44,17 | 68,86 | | 79,04 | 0,44 |
| D | 79,30 | 42,79 | 69,13 | | 79,70 | 0,40 |
| B2 | 66,70 | 55,23 | 66,92 | 56,92 | 67,13 | 0,43 |
| C | 68,10 | 41,41 | 69,41 | 59,41 | 68,65 | 0,55 |
| D2 | 67,10 | 158,92 | 57,82 | 47,82 | 67,15 | 0,05 |
| | | | | | | |
| PC* (ext) | 78,60 | 28,58 | 72,63 | | 79,58 | 0,98 |
| PC* (int) JA | 68,60 | 28,58 | 72,63 | 62,63 | 69,58 | 0,98 |
| PC* (int) JF | 63,60 | 28,58 | 72,63 | 57,63 | 64,58 | 0,98 |

O parâmetro referente a fonte sonora aplicado nesse cenário pode ser considerado o mais otimista por resultar em uma menor alteração do ruído atual, o que causaria um menor impacto.

6.1.3. Cenário 3 - Considerando que o metrô gere um ruído similar ao metrô de Brasília (Cenário mais provável)

Esse cenário surgiu da necessidade de se calcular uma situação que provavelmente será a real. O NPS da fonte sonora é resultante de medições feitas em um metrô com características semelhantes, cuja média foi NPS 94dBA, produzindo um NWS 104dBA.

TABELA 31 – L_{eq} PROPAGADO DE ACORDO COM O *HARMONOISE* E ACRÉSCIMO AO NÍVEL DE RUÍDO ATUAL PARA NWS 104dB(A)

| Pontos | L_{eq} medido | Distância até eixo da linha (m) | L_{eq} propagado | Correção | L_{eq} final | Acréscimo |
|------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|----------|----------------|-----------|
| B | 78,60 | 44,17 | 79,86 | | 82,29 | 3,69 |
| D | 79,30 | 42,79 | 80,13 | | 82,75 | 3,45 |
| B2 | 66,70 | 55,23 | 77,92 | 67,92 | 70,36 | 3,66 |
| C | 68,10 | 41,41 | 80,41 | 70,41 | 72,42 | 4,32 |
| D2 | 67,10 | 158,92 | 68,82 | 58,82 | 67,70 | 0,60 |
| | | | | | | |
| PC* (ext) | 78,60 | 28,58 | 83,63 | | 84,82 | 6,22 |

| | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| PC* (int) JA | 68,60 | 28,58 | 83,63 | 73,63 | 74,82 | 6,22 |
| PC* (int) JF | 63,60 | 28,58 | 83,63 | 68,63 | 69,82 | 6,22 |

Esse cenário é o mais provável de todos e os acréscimos finais são consideráveis.

Em todos os pontos simulados de todos os cenários, o nível sonoro propagado proveniente da fonte sonora estudada está acima dos valores recomendados. Isso será analisado nas próximas etapas.

Devido aos acréscimos encontrados, foi proposto um último cenário diferente dos outros, pois enquanto os cenários anteriores a simulação adotava um valor inicial de NWS e calculava o L_{eq} final, aqui a idéia é o contrário, estima-se qual o NWS que o metrô deverá realmente gerar para manter o NPS existente no local, sendo que atualmente o ruído existente não é recomendável, mas que pelo menos não haja agravante.

6.1.4. Cenário 4 - Considerando um nível de ruído estimado objetivando não proporcionar um acréscimo de ruído à situação atual

- Situação ideal

O cálculo foi feito em função da pior situação a que estaria submetido o ponto crítico (PC), portanto, foi calculado um NPS tal que o metrô possa produzir um nível sonoro de modo que, sem a inserção de barreiras acústicas, o ruído atual não seja alterado (aumento menor que 1dBA). Para tanto o valor propagado deve alcançar no máximo 10dB (68,60dBA) menos do que o NPS atual (78,60dBA). Vale ressaltar que a expectativa é que o ruído provocado pelo tráfego de ônibus seja reduzido (informação dada pela CTS), sendo assim o acréscimo será maior e o impacto mais perceptível. Ruído de fundo é aquele produzido pelas fontes sonoras comuns ao ambiente e no caso da Av. Bonocô o que predomina é o tráfego rodoviário.

TABELA 32 – NPS IDEAL DO METRÔ PARA QUE NÃO HAJA ACRÉSCIMO

| ESTIMADO ATUAL | PROPAGADO | FINAL | NWS | d | NPS |
|-----------------------|------------------|--------------|------------|----------|------------|
| 78,60 | 68,63 | 79,02 | 89 | 5 | 77 |

Isso significa afirmar que caso o metrô gere um NPS de 77dBA à 5m de distância, a circulação do mesmo será imperceptível aos ouvidos humanos, ou seja, não haverá nenhum acréscimo, pois o ruído existente será capaz de “mascarar” o som.

Os resultados obtidos nessa etapa comprovaram a hipótese de que a implantação do metrô de Salvador incrementará o ruído urbano.

Uma outra análise a ser feita nessa etapa é a que trata da percepção da comunidade perante o acréscimo de ruído. De acordo com a tabela 09 da NBR 10.151 (ABNT, 1987) se a nova fonte de ruído causar um aumento de até 5dB(A) nos valores existentes provocará uma resposta estimada da comunidade considerada pequena, por produzir “Queixas esporádicas”. É importante lembrar que o fato de não existir uma percepção relevante por parte da comunidade frente ao acréscimo do ruído não significa dizer que não estão havendo efeitos sobre a saúde, o que representa o foco principal da pesquisa.

Para simplificar a correlação entre a tabela 09 e os resultados obtidos para cada cenário, foi feita uma tabela com os valores de acréscimo de ruído encontrados no ponto crítico (PC), que significa a diferença entre o NPS total calculado após a implantação do metrô e o NPS medido, considerado como o “nível-critério”.

TABELA 33 – ACRÉSCIMOS DE NPS EM PC PARA CADA CENÁRIO

| CENÁRIO | 1A | | 1B | 2A | 3 |
|-----------|------------|------------|------|------|------|
| | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| ACRÉSCIMO | 2,14 | 8,66 | 4,78 | 0,98 | 6,22 |

Comparando-se a tabela 33 com a tabela 09, é possível observar que no cenário 2A (cenário mais otimista) não se observaria reação por parte da comunidade, ou seja, seria praticamente imperceptível. Já nos cenários 1A-situação 1 e 1B essa resposta da comunidade se aproxima da descrição “Queixas esporádicas” e nos demais cenários 1A-situação 2 (cenário mais pessimista) e 3 (cenário mais provável) as reações provavelmente provocariam “Queixas generalizadas”, considerada pela Norma como de grau médio.

Objetivando comparar e analisar outros métodos de propagação sonora para o caso pesquisado foram feitos os cálculos por meio de duas outras fórmulas, a fórmula básica, usando como exemplo o NPS da ABNT e a do método Francês, tendo sua própria referência como exemplo.

- Fórmula básica

Aplicando-se a fórmula simplificada e amplamente conhecida de propagação sonora demonstrada no item 4.2 sobre “Aspectos físicos da acústica”, na situação do ponto crítico (PC) os resultados são.

$$NPS_1 - NPS_2 = 10\log(r_2/r_1) \rightarrow NPS_2 = NPS_1 - 10\log(r_2/r_1)$$

Como:

$$NPS_1 = 85\text{dB},$$

$$r_1 = 5\text{m}$$

$$r_2 = 28,58\text{m (PC)}$$

$$NPS_2 = 77,43\text{dB}$$

Portanto apenas 0,8dB menor que o valor calculado pelo *Harmonoise* que pode ser visualizado na tabela 27 (76,63dB). Essa diferença pode ser justificada pela inserção de outros parâmetros no modelo escolhido como a reflexão, capaz de amplificar o ruído. De qualquer forma, mesmo usando a fórmula acima é possível se ter uma idéia do impacto para casos semelhantes em edificações lindeiras e próximas a fonte, pois a diferença entre os resultados foi mínima.

- Método Francês (NPS 79dBA) – 2ª Situação do cenário 2 (2B)

O período de tempo calculado (T) foi de 1min (60s) o que altera o tempo de exposição (t_e) e, por consequência, o resultado final de L_{eq} . Portanto, essa flutuação pode comprometer o resultado e justifica a divergência com o *Harmonoise*, já que nesse modelo o tempo não é um dado de cálculo. O cenário 2 teve a função também de relacionar o método Francês com o *Harmonoise*, pois foi usado o mesmo parâmetro de fonte sonora para encontrar o valor propagado.

TABELA 34 – L_{eq} PROPAGADO DE ACORDO COM O MÉTODO FRANCÊS E ACRÉSCIMO AO NÍVEL DE RUÍDO ATUAL

| Pontos | L_{eq} medido | Distância até eixo da linha (m) | L_{eq} propagado | Correção | L_{eq} final | Acréscimo |
|-----------|--------------------|------------------------------------|-----------------------|----------|----------------|-----------|
| B | 78,60 | 44,17 | 62,84 | | 78,71 | 0,11 |
| D | 79,30 | 42,79 | 62,99 | | 79,40 | 0,10 |
| B2 | 66,70 | 55,23 | 61,79 | 51,79 | 66,84 | 0,14 |
| C | 68,10 | 41,41 | 63,15 | 53,15 | 68,24 | 0,14 |

| | | | | | | |
|------------------|-------|--------|-------|-------|-------|------|
| D2 | 67,10 | 158,92 | 57,53 | 47,53 | 67,15 | 0,05 |
| | | | | | | |
| PC* (ext) | 78,60 | 28,58 | 65,03 | | 78,79 | 0,19 |

Esses exemplos permitiram fazer um comparativo entre os métodos e uma validação da fórmula básica para situações simplificadas.

6.2. ETAPA 2 – CORRELAÇÃO DO NPS COM A TIPOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES

Esta etapa está relacionada com o segundo objetivo específico e destina-se a analisar os impactos de acordo com os parâmetros existentes tanto na NBR 10.152 (ABNT, 2000), quanto na Lei municipal nº 5.354 (SALVADOR, 1988). Essas referências orientam com relação aos níveis de ruído aceitáveis de acordo com a função da edificação, a zona onde está localizada e o horário de exposição.

Com a utilização da ferramenta Spring foi possível fazer uma análise esclarecedora sobre o percurso do som, permitindo observar que determinadas zonas possuem como proteção acústica o próprio terreno e/ou edificações, orientando o entendimento da influência do relevo na proteção ou encaminhamento do som, como pode ser observada nas imagens seguintes obtidas a partir de mapas numéricos. Esses mapas são utilizados para representar uma grandeza que varia continuamente no espaço, como a declividade (Figura 95) e a altimetria (Figura 96).



Figura 95 – Mapa de declividade com edificações (Spring)

No mapa de declividade (Figura 95) quanto mais íngreme for o trecho mais claro ele é representado. As partes planas possuem sempre uma cor homogênea escura, independente de estarem em cotas diferentes, portanto esse mapa é esclarecedor no sentido de demonstrar a grande declividade da maioria dos pontos dessa área.

O mapa de altimetria (Figura 96) representa a variação de níveis de um terreno e a cor vai clareando a medida que o solo alcança cotas mais elevadas. Ele orientou no sentido da alocação das áreas protegidas pela conformação do terreno que são demonstradas na imagem de altimetria da figura 102.



Figura 96 – Mapa de altimetria com edificações (Spring)

Como pode ser observado nos mapas das figuras 95 e 96, as edificações estão localizadas não só nas partes menos inclinadas, mas estão distribuídas ao longo de todo o terreno, acompanhando a geomorfologia do terreno, por isso o fato de o metrô ser elevado, apesar de afastar um pouco o ruído das edificações localizadas no nível da rua, continua atingindo os pontos que acompanham o terreno, como pode ser comprovado no corte esquemático passando no ponto crítico (Figura 97).

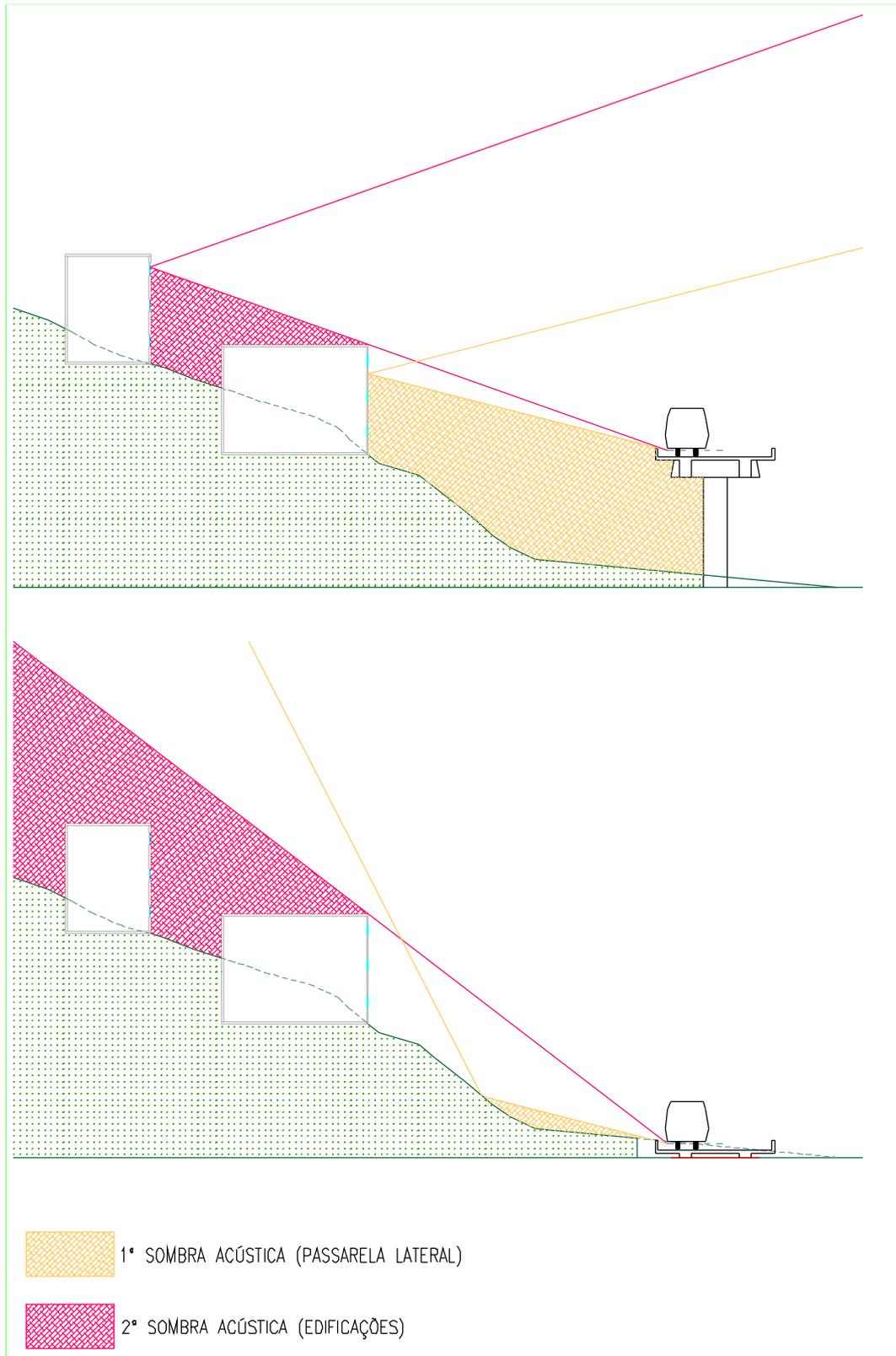


Figura 97 – Sombras acústicas produzidas pelo metrô elevado e de superfície

As superfícies modeladas a seguir (Figuras 98, 99 e 100) foram geradas a partir de grades triangulares e auxiliam no entendimento da geomorfologia e na identificação das sombras acústicas. A figura 98 representa uma vista superior do terreno com o terreno modelado.

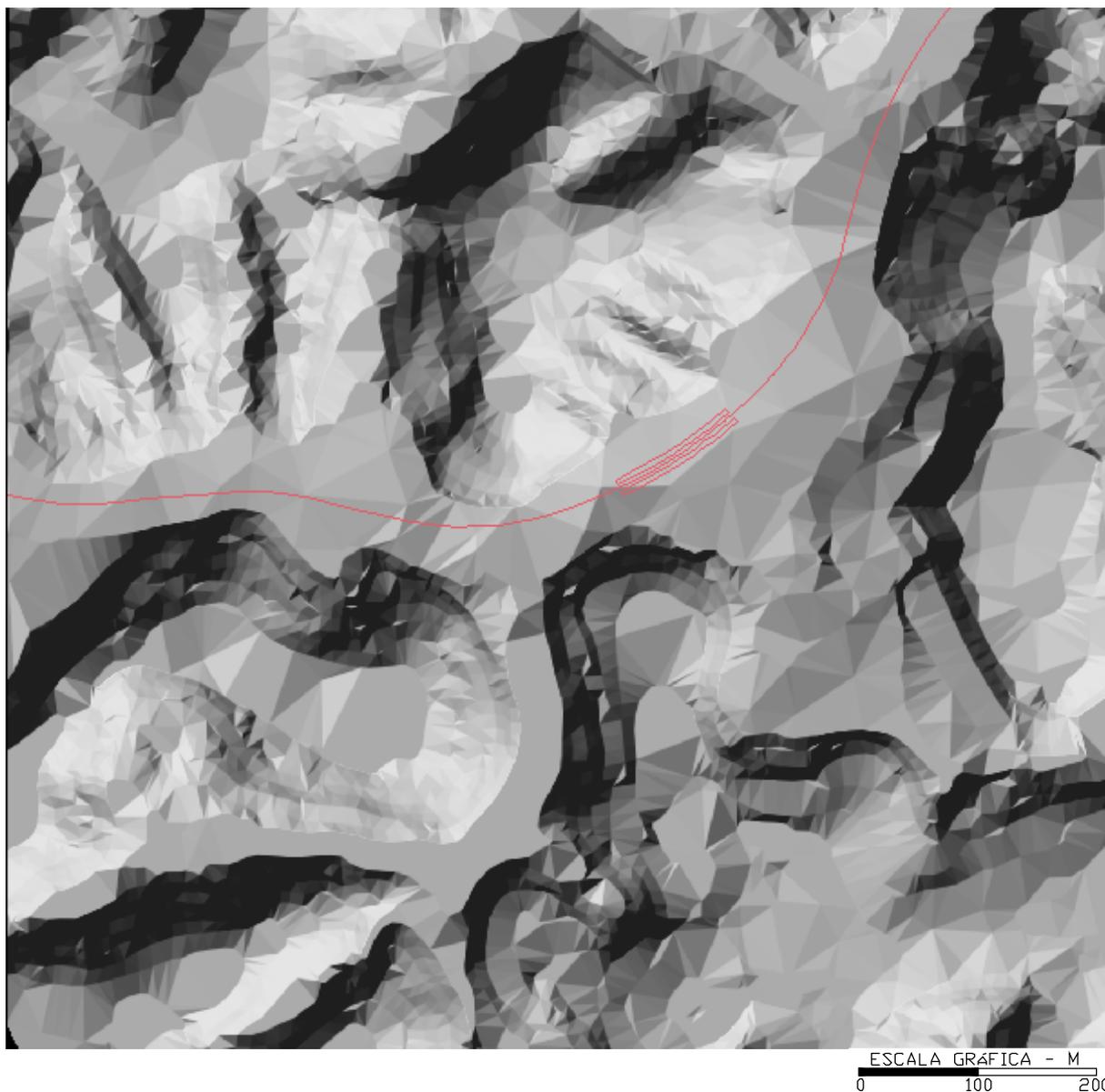


Figura 98 – Imagem “Modelo Numérico do Terreno” (MNT) com visualização 3D (Spring)

As visualizações 3D das figuras 99 e 100 proporcionam uma compreensão completa da geomorfologia do terreno, pois as grades triangulares geram faces inclinadas que constroem a conformação do espaço. Tanto essa imagem quando as próximas perspectivas são recursos muito interessantes na delimitação das sombras acústicas.

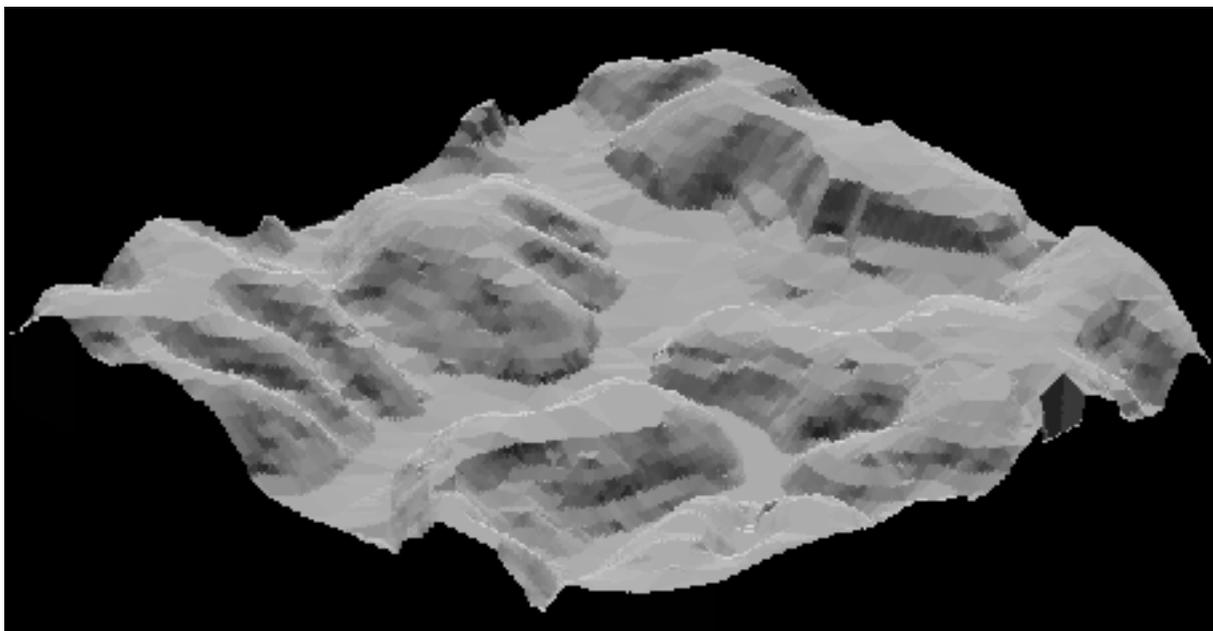


Figura 99 – Perspectiva 3D tipo Paralela (Spring)

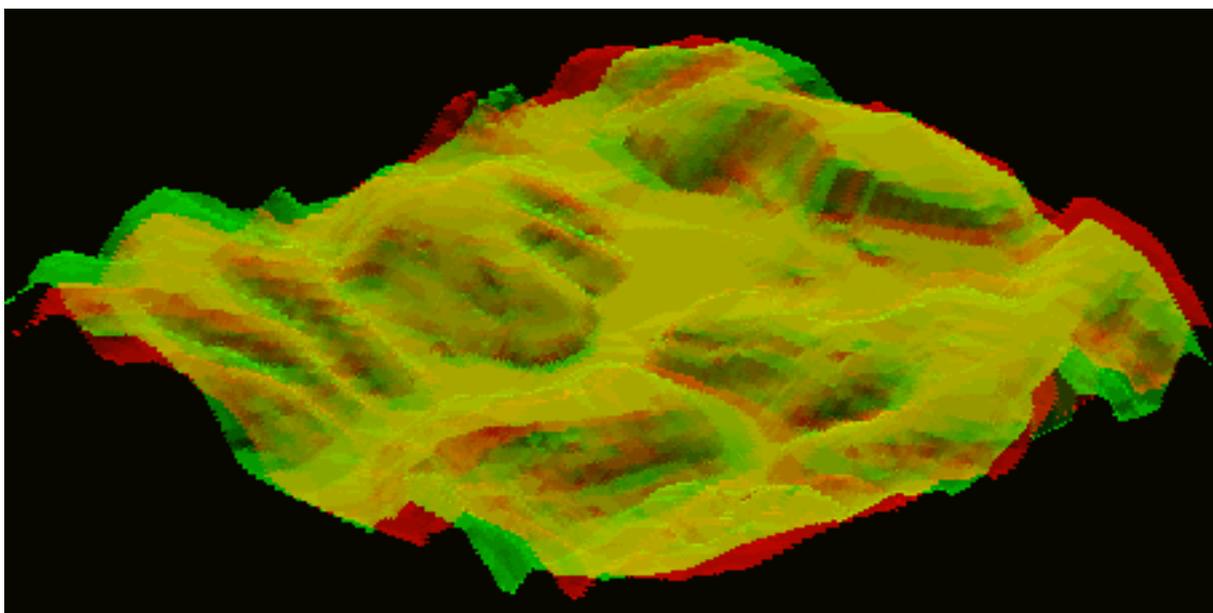


Figura 100 – Perspectiva 3D tipo Par-estéreo (Spring)

Nas figuras 101 e 102 a cor se torna mais clara à medida que a cota fica mais alta e as áreas protegidas pela conformação do relevo foram identificadas em forma de polígonos, conforme apresentada na figura 102.

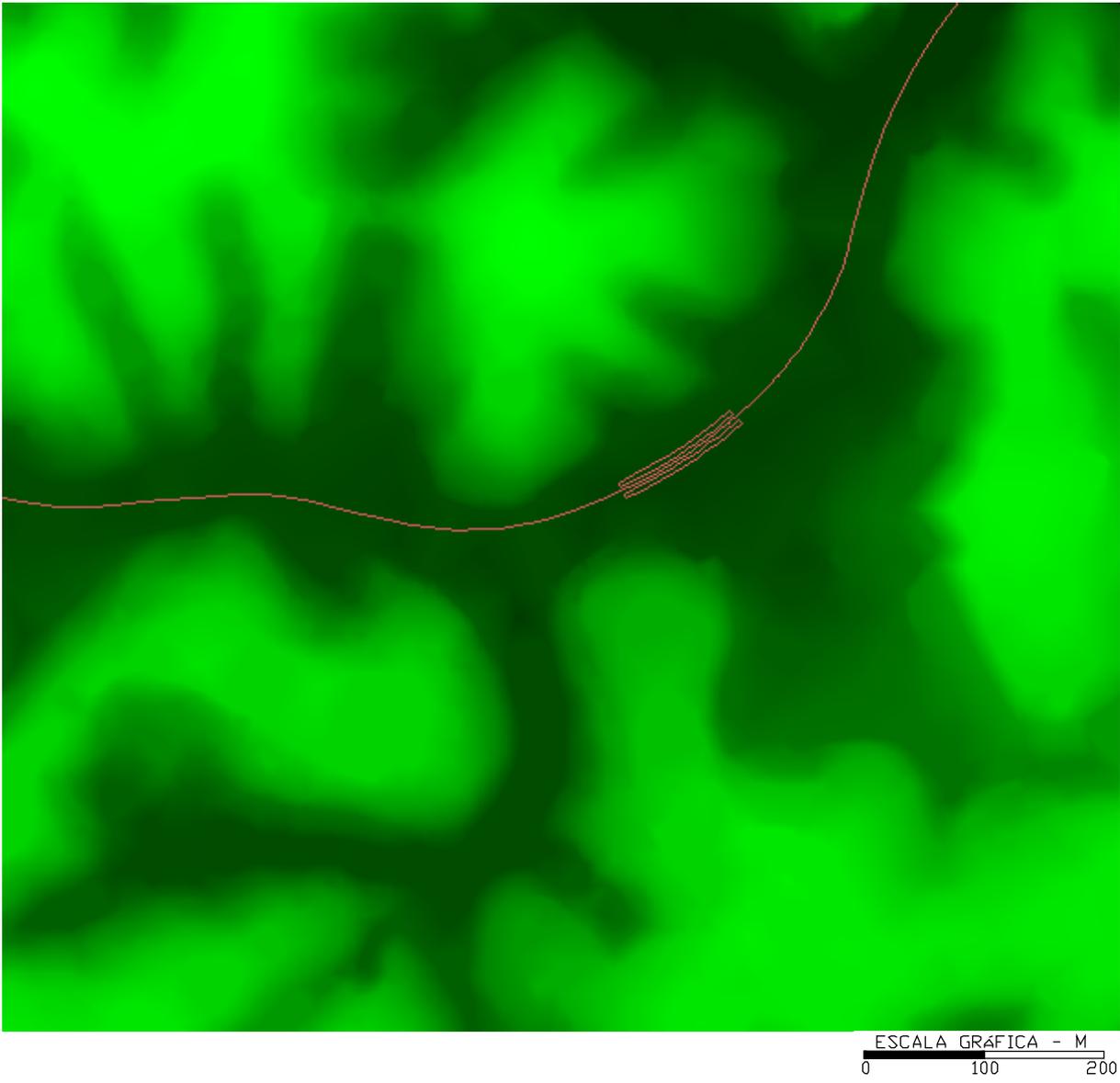


Figura 101 – Imagem da altimetria (Spring)

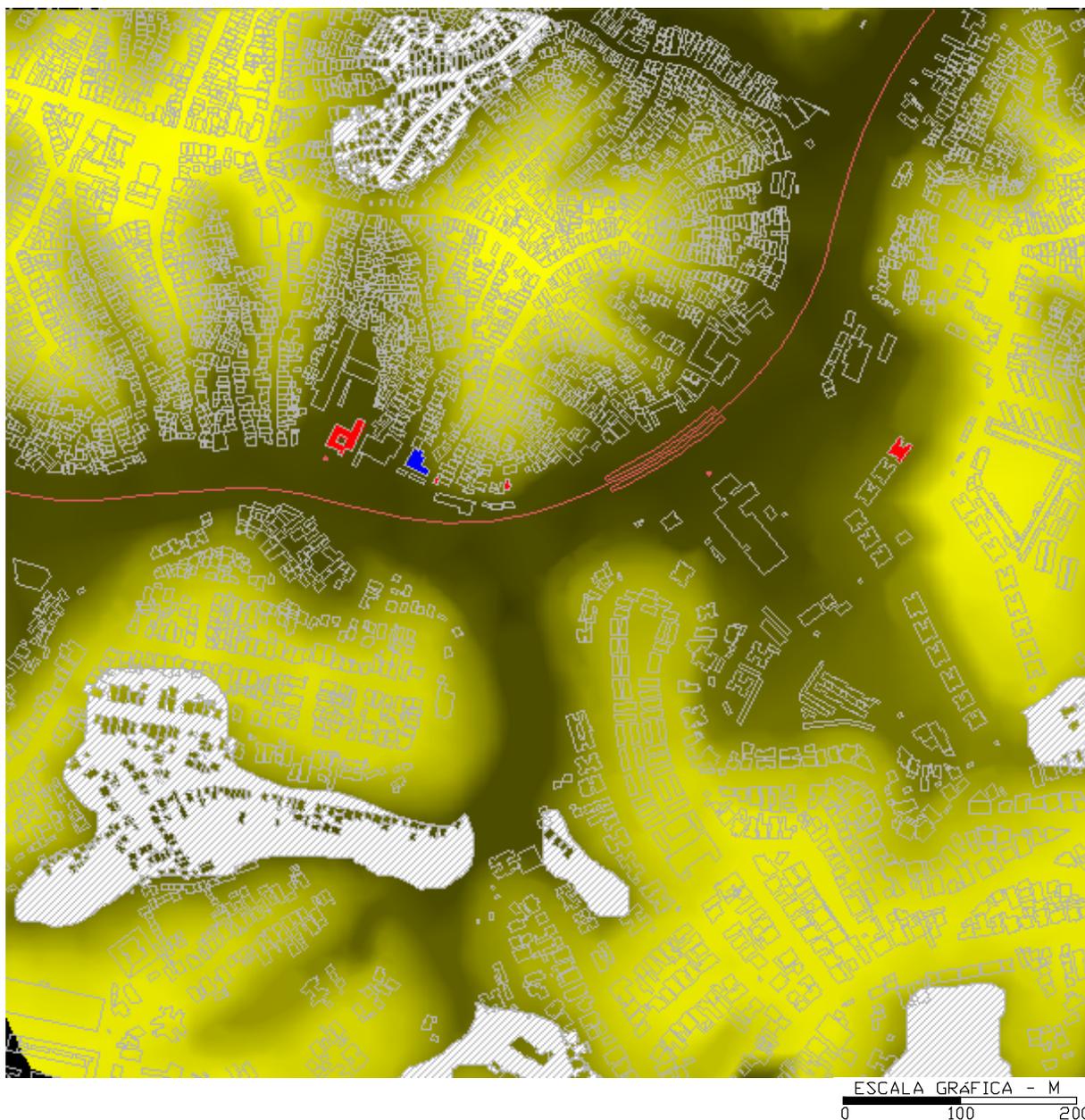


Figura 102 – Imagem da altimetria com indicação de áreas protegidas (Spring)

As edificações localizadas dentro dos polígonos com preenchimento sólido, desenhados na figura 102, possuem uma proteção natural ao ruído, pois existem barreiras acústicas naturais (terrenos com cotas elevadas) entre as mesmas e o local de passagem do metrô.

Nesse momento será feito um comparativo entre os resultados obtidos na etapa 1 e os níveis sonoros desejados. Para tanto, é importante identificar cada ponto na figura 103 e sua respectiva função.

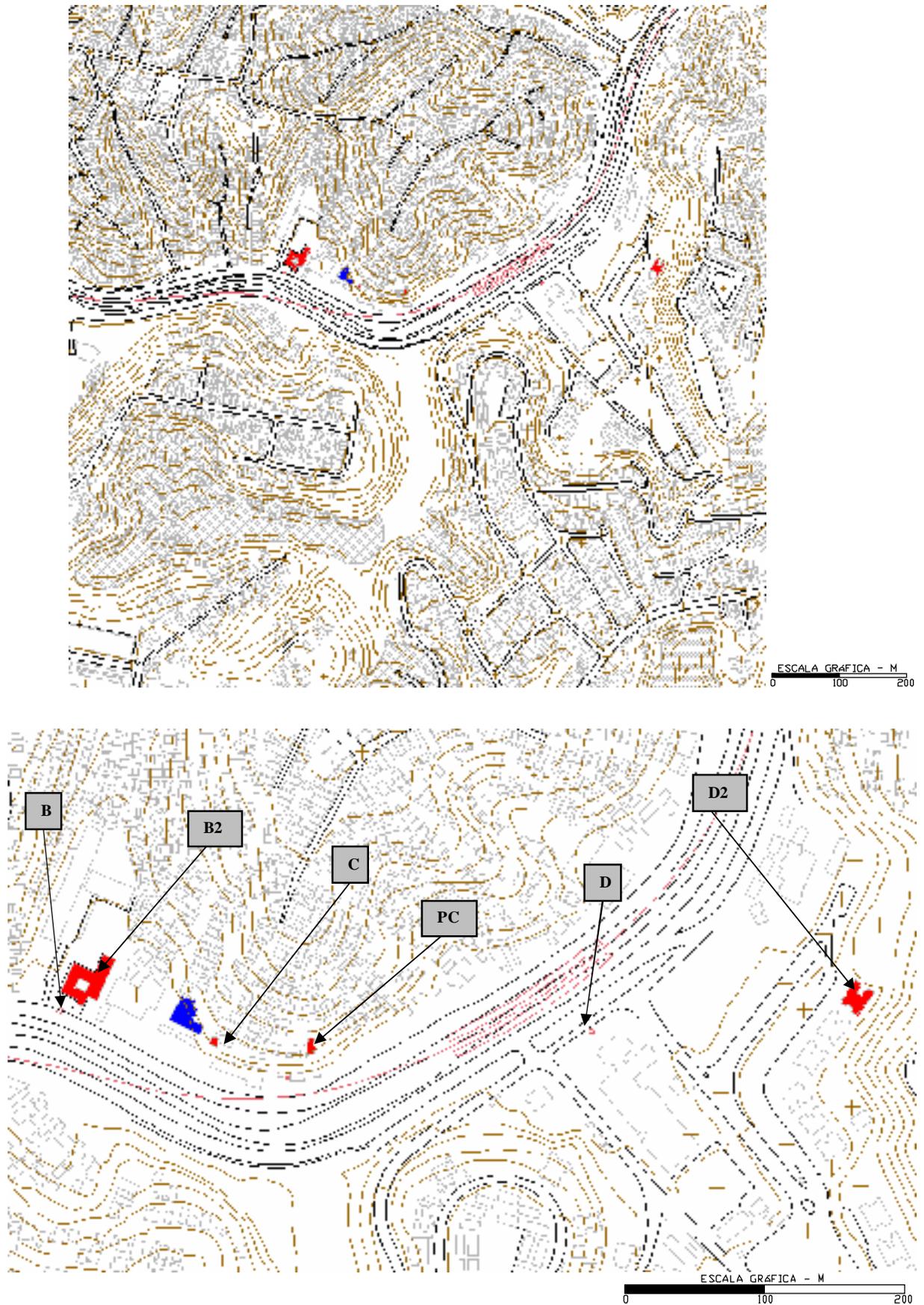


Figura 103 – Mapa digital e ampliação do trecho estudado com indicação dos pontos simulados (Spring)

Na classificação da Norma conforme exposto na tabela 07 do item 4.3, o ponto B2 foi caracterizado como “Escolas (circulação)”, o ponto C como “Residência (Salas de estar)”, o ponto D2 como “Residências (Dormitórios)” e o ponto PC como “Residência (Dormitórios)” e também como “Residência (Salas de estar)”. Portanto, para o PC foram feitas duas análises pelo fato de possuir muitas janelas voltadas para essa via, além de ter sido calculado tanto com a janela fechada (JF) quanto aberta (JA), representando, portanto diferentes ambientes e situações de uma residência. Os parâmetros para os pontos internos podem ser conferidos nas tabelas 35 e 36.

TABELA 35 – COMPARATIVO REFERENTE AOS PONTOS INTERNOS – NBR 10.152

| Pontos | NBR 10.152 | | Medido dB(A) | L _{eq} Final | | | | |
|--------------------|------------|---------|-----------------|-----------------------|------------|-------|-------|-------|
| | dB(A)* | dB(A)** | | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| | | | | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| B2 | 45 | 55 | 66,70 | 67,72 | 72,31 | 69,34 | 67,13 | 70,36 |
| C | 40 | 50 | 68,10 | 69,37 | 74,53 | 71,27 | 68,65 | 72,42 |
| D2 | 35 | 45 | 67,10 | 67,23 | 68,23 | 67,49 | 67,15 | 67,70 |
| PC (int) JA | 35 | 45 | 68,60 | 70,74 | 77,26 | 73,38 | 69,58 | 74,82 |
| PC (int) JF | 40 | 50 | 68,60 | 70,74 | 77,26 | 73,38 | 69,58 | 74,82 |
| PC (int) JA | 35 | 45 | 63,60 | 65,74 | 72,26 | 68,38 | 64,58 | 69,82 |
| PC (int) JF | 40 | 50 | 63,60 | 65,74 | 72,26 | 68,38 | 64,58 | 69,82 |

* Nível sonoro de conforto para essa finalidade

** Nível sonoro aceitável máximo para essa finalidade

TABELA 36 – COMPARATIVO REFERENTE AOS PONTOS INTERNOS – LEI MUNIC. n°5.354

| Pontos | LEI n°5.354 | | Medido dB(A) | L _{eq} Final | | | | |
|--------------------|-------------|-----------|-----------------|-----------------------|------------|-------|-------|-------|
| | dB(A) D* | dB(A) N** | | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| | | | | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| B2 | 60 | 55 | 66,70 | 67,72 | 72,31 | 69,34 | 67,13 | 70,36 |
| C | 60 | 55 | 68,10 | 69,37 | 74,53 | 71,27 | 68,65 | 72,42 |
| D2 | 60 | 55 | 67,10 | 67,23 | 68,23 | 67,49 | 67,15 | 67,70 |
| PC (int) JA | 60 | 55 | 68,60 | 70,74 | 77,26 | 73,38 | 69,58 | 74,82 |
| PC (int) JF | 60 | 55 | 63,60 | 65,74 | 72,26 | 68,38 | 64,58 | 69,82 |

* Nível máximos de sons e ruídos de qualquer fonte emissora, inclusive de veículos automotores, no período compreendido entre 7:00 e 22:00h.

** Nível máximos de sons e ruídos de qualquer fonte emissora, inclusive de veículos automotores, no período compreendido entre 22:00 e 7:00h.

Como os NPSs medidos em todos os pontos internos já são superiores aos valores estipulados, qualquer acréscimo pode ser considerado como impacto negativo. Observa-se nas tabelas 37 e

38 que, internamente, o acréscimo de NPS (L_{eq} final menos medido) previsto à situação atual é relevante em praticamente todos os cenários, mas o ponto D2 é o único onde esse aumento (L_{eq} final menos medido) pode ser considerado pouco perceptível ao ouvido humano (até 1dB de diferença).

As tabelas 37 e 38 apresentam um resumo das diferenças encontradas entre os valores calculados e seus respectivos parâmetros para ambientes internos.

TABELA 37 – DIFERENÇA ENTRE L_{eq} FINAL E PARÂMETROS DE NÍVEL SONORO ACEITÁVEL MÁXIMO PARA AMBIENTES INTERNOS PELA NBR 10.152

| Pontos | DIFERENÇA | | | | |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | 1A | 1B | 2A | 3 | |
| B2 | 12,72 | 17,31 | 14,34 | 12,13 | 15,36 |
| C | 19,37 | 24,53 | 21,27 | 18,65 | 22,42 |
| D2 | 22,23 | 23,23 | 22,49 | 22,15 | 22,70 |
| PC (int) JA | 25,74 | 32,26 | 28,38 | 24,58 | 29,82 |
| PC (int) JA | 20,74 | 27,26 | 23,38 | 19,58 | 24,82 |
| PC (int) JF | 20,74 | 27,26 | 23,38 | 19,58 | 24,82 |
| PC (int) JF | 15,74 | 22,26 | 18,38 | 14,58 | 19,82 |

Entre os cenários que foram calculados com a forma de propagação semi-cilíndrica (mais coerente), o cenário 3 é o que proporciona uma maior diferença entre o resultado final e os parâmetros da NBR 10.152 (ABNT, 2000), alcançando 29,82dB no PC na situação janela aberta (JA) para “Residências (Dormitórios)” (45dB) e 24,82dB para “Residências (Salas de estar)” (50dB). Isso considerando o nível sonoro aceitável e não o de conforto, que seria 35dB.

Na situação janela fechada (JF) o NPS em PC estará 24,82dB e 19,82dB acima do valor, ou seja, mesmo internamente e com as janelas fechadas o ruído urbano irá aumentar (Tabela 37). Vale ressaltar que esse cenário representa a situação mais provável, pois as características técnicas da via permanente são similares ao do metrô de Brasília que já está em funcionamento e foi medido.

TABELA 38 – DIFERENÇA ENTRE L_{eq} FINAL E PARÂMETROS DE NÍVEL SONORO DIURNO ACEITÁVEL MÁXIMO PARA AMBIENTES INTERNOS PELA LEI n°5.354

| Pontos | DIFERENÇA | | | | |
|--------------------|-----------|-------|-------|------|-------|
| | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| B2 | 7,72 | 12,31 | 9,34 | 7,13 | 10,36 |
| C | 9,37 | 14,53 | 11,27 | 8,65 | 12,42 |
| D2 | 7,23 | 8,23 | 7,49 | 7,15 | 7,70 |
| PC (int) JA | 10,74 | 17,26 | 13,38 | 9,58 | 14,82 |
| PC (int) JF | 5,74 | 12,26 | 8,38 | 4,58 | 9,82 |

Como o parâmetro da Legislação municipal é menos restritivo do que o da Norma brasileira as diferenças em todos os cenários são menores do que às da NBR n°10.152 (ABNT, 2000). Mesmo assim no cenário mais provável (3) em PC o L_{eq} final supera em 14,82dB o valor estipulado na Lei n° 5.354 (Tabela 38).

Semelhantemente aos comparativos feitos para os pontos internos, foram feitas também análises nos pontos externos, conforme estão apresentadas nas tabelas 39 e 40.

TABELA 39 – COMPARATIVO REFERENTE AOS PONTOS EXTERNOS - NBR 10.151

| Pontos | NBR 10.151 | | Medido dB(A) | L_{eq} Final | | | | |
|-----------------|------------|-----------|-----------------|----------------|------------|-------|-------|-------|
| | dB(A) D* | dB(A) N** | | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| | | | | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| B | 65 | 60 | 78,60 | 79,63 | 84,24 | 81,26 | 79,04 | 82,29 |
| D | 65 | 60 | 79,30 | 80,24 | 84,63 | 81,76 | 79,70 | 82,75 |
| PC (ext) | 65 | 60 | 78,60 | 80,74 | 87,26 | 83,38 | 79,58 | 84,82 |

* Nível sonoro diurno recomendado para ambientes externos em zonas do Centro da cidade (negócios, comércio, administração).

** Nível sonoro noturno recomendado para ambientes externos em zonas do Centro da cidade (negócios, comércio, administração).

TABELA 40 – COMPARATIVO REFERENTE AOS PONTOS EXTERNOS - LEI MUNIC. n°5.354

| Pontos | LEI n°5.354 | | Medido dB(A) | L_{eq} Final | | | | |
|-----------------|-------------|-----------|-----------------|----------------|------------|-------|-------|-------|
| | dB(A) D* | dB(A) N** | | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| | | | | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| B | 70 | 60 | 78,60 | 79,63 | 84,24 | 81,26 | 79,04 | 82,29 |
| D | 70 | 60 | 79,30 | 80,24 | 84,63 | 81,76 | 79,70 | 82,75 |
| PC (ext) | 70 | 60 | 78,60 | 80,74 | 87,26 | 83,38 | 79,58 | 84,82 |

* Nível máximos de sons e ruídos de qualquer fonte emissora, inclusive de veículos automotores, no período compreendido entre 7:00 e 22:00h.

** Nível máximos de sons e ruídos de qualquer fonte emissora, inclusive de veículos automotores, no período compreendido entre 22:00 e 7:00h.

Os NPSs medidos são superiores tanto aos parâmetros da NBR 10.151 (ABNT, 1987) quanto aos da Lei nº5.354 (SALVADOR, 1998), sendo a situação mais crítica a análise feita pela NBR, pois é mais restritiva conforme pode ser observado na tabela 40.

As tabelas 41 e 42 apresentam um resumo das diferenças encontradas entre os valores calculados e seus respectivos parâmetros para ambientes externos.

TABELA 41 – DIFERENÇA ENTRE L_{eq} FINAL E PARÂMETROS DE NÍVEL SONORO DIURNO RECOMENDADO PARA AMBIENTES EXTERNOS PELA NBR 10.151

| Pontos | DIFERENÇA | | | | |
|-----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | 1A | 1B | 2A | 3 | |
| B | 14,63 | 19,24 | 16,26 | 14,04 | 17,29 |
| D | 15,24 | 19,63 | 16,76 | 14,70 | 17,75 |
| PC (ext) | 15,74 | 22,26 | 18,38 | 14,58 | 19,82 |

Os NPSs medidos nos pontos B, D e PC já ultrapassam em 13,6dB, 14,3dB e 13,6dB, respectivamente, os valores estipulados pela NBR 10.151 (ABNT, 1987) para a situação Diurna (65dB) e de acordo com o cenário 3, os valores calculados nos mesmos pontos superarão em 17,29dB, 17,75dB e 19,82dB esse parâmetro, o que comprova o agravamento do desconforto acústico para a população que mora os trabalha na área (Tabela 41).

TABELA 42 – DIFERENÇA ENTRE L_{eq} FINAL E PARÂMETROS DE NÍVEL SONORO DIURNO RECOMENDADO PARA AMBIENTES EXTERNOS PELA LEI nº5.354

| Pontos | DIFERENÇA | | | | |
|-----------------|-----------|-------|-------|------|-------|
| | 1A | 1B | 2A | 3 | |
| B | 9,63 | 14,24 | 11,26 | 9,04 | 12,29 |
| D | 10,24 | 14,63 | 11,76 | 9,70 | 12,75 |
| PC (ext) | 10,74 | 17,26 | 13,38 | 9,58 | 14,82 |

Esse resultado reflete uma diferença também considerável, pois mesmo no cenário mais otimista (2A) estará ainda 9,58dB acima desse parâmetro em PC.

Foi desenvolvido no Spring um banco de dados que relaciona o polígono escolhido a informações como: função, tipo da edificação, parâmetro de conforto, nível de ruído atual e níveis de ruído calculado. A figura 104 apresenta a tabela resultante do banco de dados.

Cada coluna do banco de dados representa uma informação relacionada ao ponto, permitindo uma análise ampla e estatística da situação em gráficos. As classificações existentes no banco de dados do Spring, seus significados e as respectivas justificativas da origem da informação preenchida são explícitas na tabela 43.

TABELA 43 – CLASSIFICAÇÃO DO BANCO DE DADOS

| CLASSIFICAÇÃO | SIGNIFICADO | ORIGEM DA INFORMAÇÃO |
|---------------|--|-------------------------|
| NOME | Se o ponto escolhido está relacionado a um ambiente externo ou interno | Fornecida pelo autor |
| RÓTULO | Nomeclatura dos pontos | Fornecida pelo autor |
| ÁREA | Área do polígono de referência (edificação no caso dos pontos internos e ponto no externos) | Calculada pelo software |
| PERÍMETRO | Perímetro do polígono de referência (edificação no caso dos pontos internos e ponto no externos) | Calculada pelo software |
| USOSOLO | A função da edificação (somente pontos internos) | Fornecida pelo autor |
| NPAVIM | Número de pavimentos (somente pontos internos) | Fornecida pelo autor |
| RAIO | Distância do ponto a linha do metrô (usada nos cálculos de propagação sonora) | Fornecida pelo autor |
| DBNORMA | Parâmetro da Norma (NBR 10.151) | Fornecida pelo autor |
| DBMEDIDO | Valores medidos por Araújo (2006) | Fornecida pelo autor |
| DBF_1A | Valor calculado | Fornecida pelo autor |
| DBF_1B | Valor calculado | Fornecida pelo autor |
| DBF_2A | Valor calculado | Fornecida pelo autor |
| DBF_3 | Valor calculado | Fornecida pelo autor |
| TIPOEDIF | Tipologia construtiva da edificação (somente pontos internos) | Fornecida pelo autor |

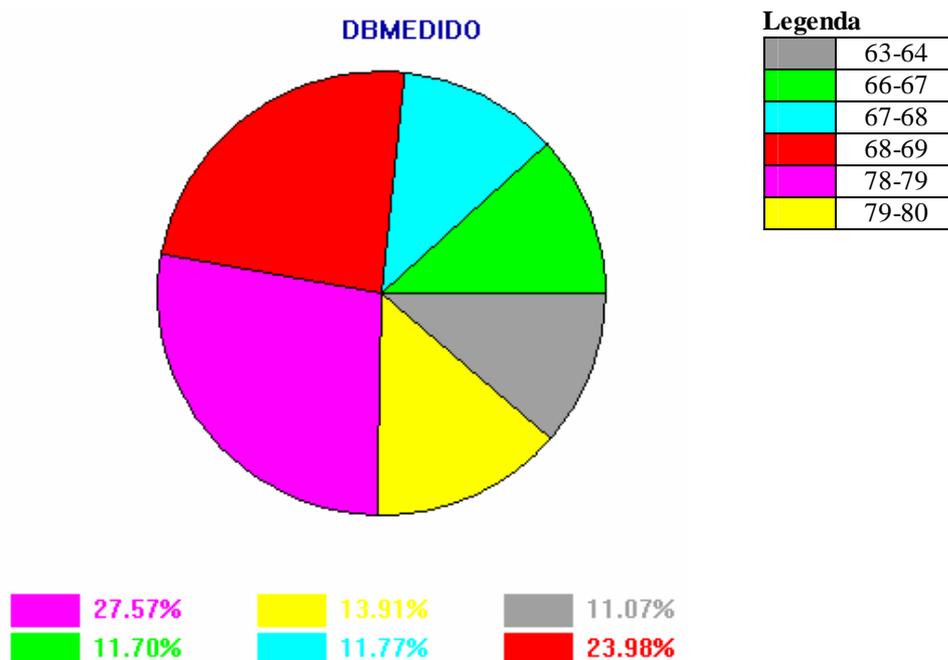
A figura 104 é proveniente do Spring e está representada exatamente da forma como o *software* produz, para que se conheça a capacidade de representação e clareza do SIG.

| NOME | ROTULO | AREA | PERIMETRO | USOSOLO | NPAVIM | RAIO | DBNORMA | DBMEDIDO | DBF_1A | DBF_1B | DBF_2A | DBF_3 | TIPOEDIF |
|------------------|--------|------------|------------|---------------|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Ambiente interno | B2 | 724.597656 | 140.218997 | Institucional | de 1-2 | 55.230000 | 55.000000 | 66.700000 | 67.720000 | 69.340000 | 67.130000 | 70.360000 | Outros |
| Ambiente interno | C | 31.906250 | 23.519363 | Residência | de 3-5 | 41.410000 | 45.000000 | 68.100000 | 69.370000 | 71.270000 | 68.650000 | 72.420000 | Casa |
| Ambiente interno | D2 | 297.296875 | 95.279151 | Residência | acima de 11 | 158.920000 | 45.000000 | 67.100000 | 67.230000 | 67.490000 | 67.150000 | 67.700000 | Edifício |
| Ambiente interno | Sucom | 375.460938 | 93.949645 | Institucional | de 3-5 | 0.000000 | 45.000000 | 63.100000 | 69.370000 | 71.270000 | 68.650000 | 72.420000 | Outros |
| Ambiente interno | PC | 61.259766 | 35.180214 | Residência | de 1-2 | 28.580000 | 45.000000 | 68.600000 | 70.740000 | 73.380000 | 69.580000 | 74.820000 | Casa |
| Ambiente externo | D | 0.000000 | 11.233734 | | | 42.790000 | 65.000000 | 79.300000 | 80.240000 | 81.760000 | 79.700000 | 82.750000 | |
| Ambiente externo | B | 0.000000 | 12.311190 | | | 44.170000 | 65.000000 | 78.600000 | 79.630000 | 81.260000 | 79.040000 | 82.290000 | |
| Ambiente externo | PCext | 0.000000 | 7.889687 | | | 28.580000 | 65.000000 | 78.600000 | 80.740000 | 83.380000 | 79.580000 | 84.820000 | |

Figura 104 – Banco de dados desenvolvido no SIG (Spring)

A vantagem de se ter essas informações teóricas relacionadas a cada edificação é poder identificar que quantidade em percentual de construções está fora da zona de conforto, e esta informação varia de acordo com a tipologia de cada ponto. Com as informações lançadas no banco de dados, pôde-se gerar diversos tipos de gráficos que fornecem uma dimensão urbana melhor da situação. Seguem alguns exemplos para esclarecer as possibilidades do Spring, mas o ideal é que isso seja feito após o preenchimento completo do banco de dados referente a todas as edificações lindeiras à linha do metrô. Portanto, essa pesquisa sugere que seja dada continuidade a metodologia proposta, pois ela não se aplica apenas para o caso do metrô, mas pode se estender para todas as avenidas de tráfego intenso, contribuindo para o planejamento urbano.

O gráfico de setores que é um dos recursos do Spring e está representado na figura 105, expressa o percentual de edificações (onde foram feitas medições) que possuem determinado nível de ruído atualmente. Esse diagnóstico pode ser obtido para qualquer outro parâmetro, contanto que seja numérico.



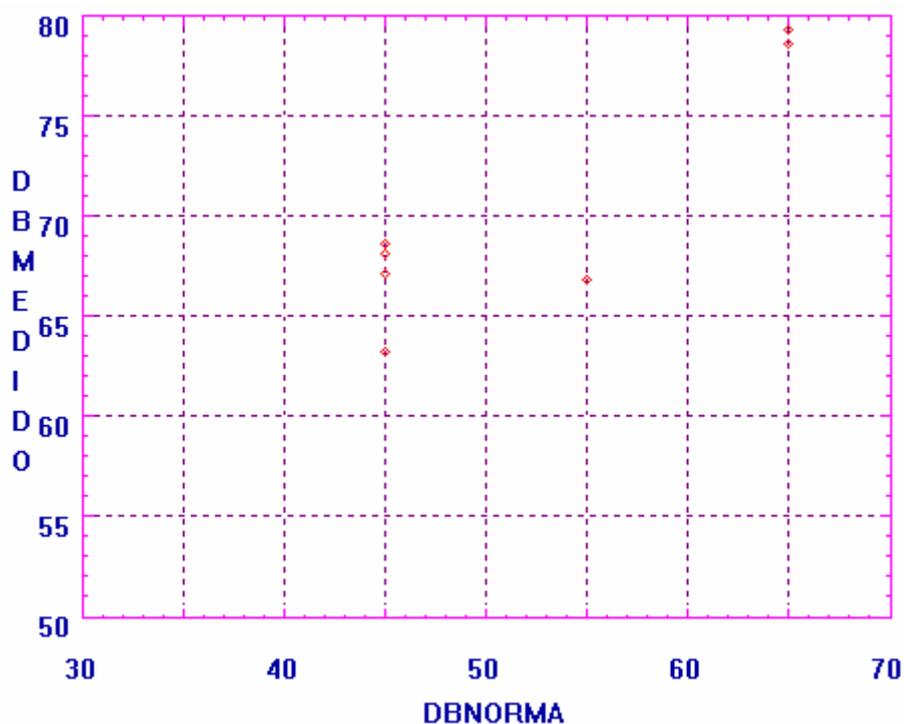
| NOME | ROTULO | AREA | PERMETFO | JECICLC | TRAMH | POC | DBICPFA | DBMEDID | DEF_ID | DEF_IB | DEF_M | DEF_S | TRIEDF |
|--------------|--------|------------|------------|---------|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| Edificação 1 | B2 | 754,128796 | 140,2 8997 | Edif. 1 | de 12 | 90,230000 | 60,000000 | 66,000000 | 67,750000 | 68,400000 | 69,050000 | 70,700000 | 65 |
| Edificação 2 | 1 | 1 501 | 201 0001 | Edif. 2 | de 12 | 27,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 66 |
| Edificação 3 | 1,2 | 29,442879 | 98,679191 | Edif. 3 | de 11 | 1,2 93,0000 | 40,000000 | 67,000000 | 67,400000 | 67,800000 | 68,200000 | 68,600000 | 67 |
| Edificação 4 | 5,000 | 275,482998 | 98,648645 | Edif. 4 | de 80 | 0,000000 | 40,000000 | 66,000000 | 66,500000 | 67,000000 | 67,500000 | 68,000000 | 68 |
| Edificação 5 | 1,1 | 1 000 | 201 0001 | Edif. 5 | de 7 | 2 5000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 69 |
| Edificação 6 | 1 | 0,000000 | 11,222734 | | | 40,790000 | 60,000000 | 70,000000 | 60,240000 | 60,480000 | 60,720000 | 60,960000 | 70 |
| Edificação 7 | 1,2 | 0,000000 | 1,00 190 | | | 24,170000 | 60,000000 | 66,000000 | 66,000000 | 66,000000 | 66,000000 | 66,000000 | 71 |
| Edificação 8 | 1,2 | 0 000 | 2 000 | | | 2 5000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 40,0000 | 72 |

Figura 105 – Gráfico de setores produzido pelo SIG e banco de dados de referência (Spring)

O ponto B2, que está na primeira linha da tabela, na coluna “DBMEDIDO” tem o valor “66,70”, portanto pertence a faixa 66-67 (cor verde), o que significa afirmar que das medições internas e externas, feitas (B2, C, D2, D e B) ou estimadas (Sucom, PC e PCext) 11,70% pertencem a essa faixa.

Entre as medições 27,57% (cor rosa) está na faixa 78-79 e 13,91% (cor amarela) na faixa (79-80), somando-se as duas chega-se a conclusão que em 41,48% das medições o ruído atual está acima de 78dB.

Um outro recurso do Spring é o gráfico de dispersão (Figura 106), ele relaciona os valores de dois parâmetros (duas colunas do banco de dados) fazendo um cruzamento entre informações distintas como, por exemplo, dB medido e dB norma.



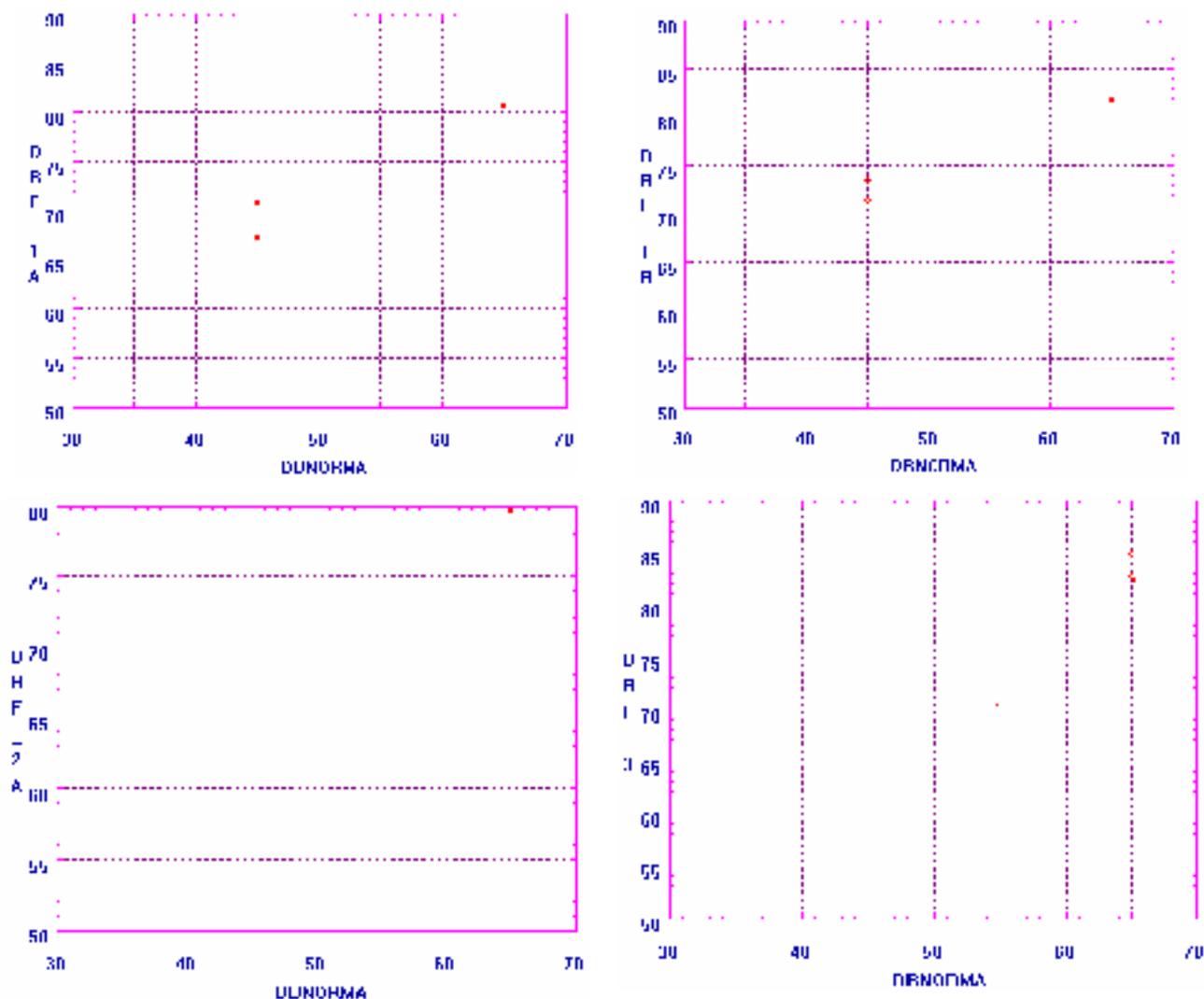
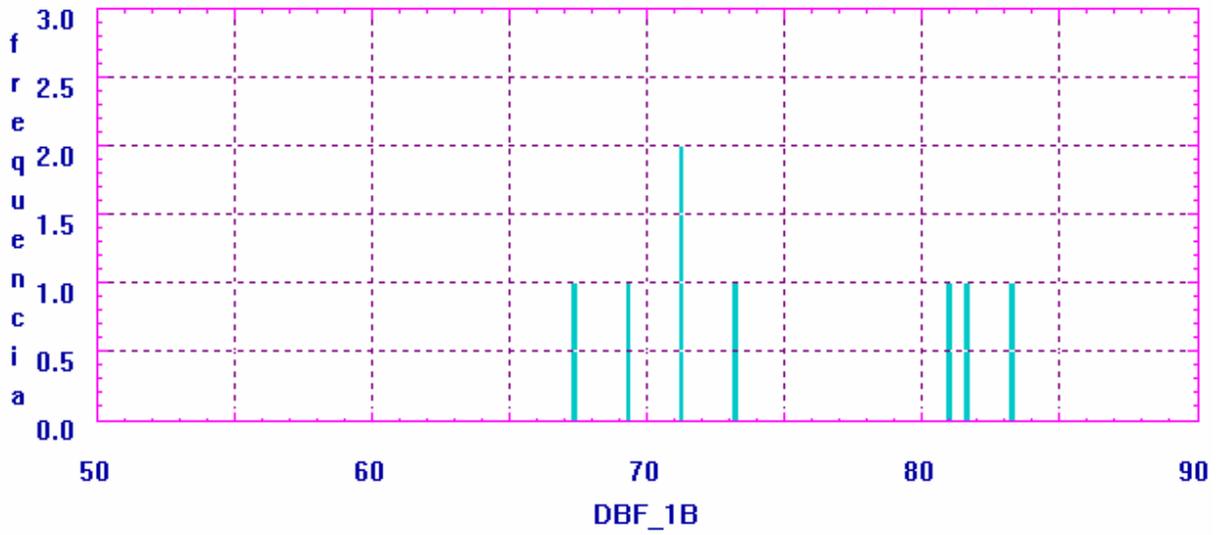
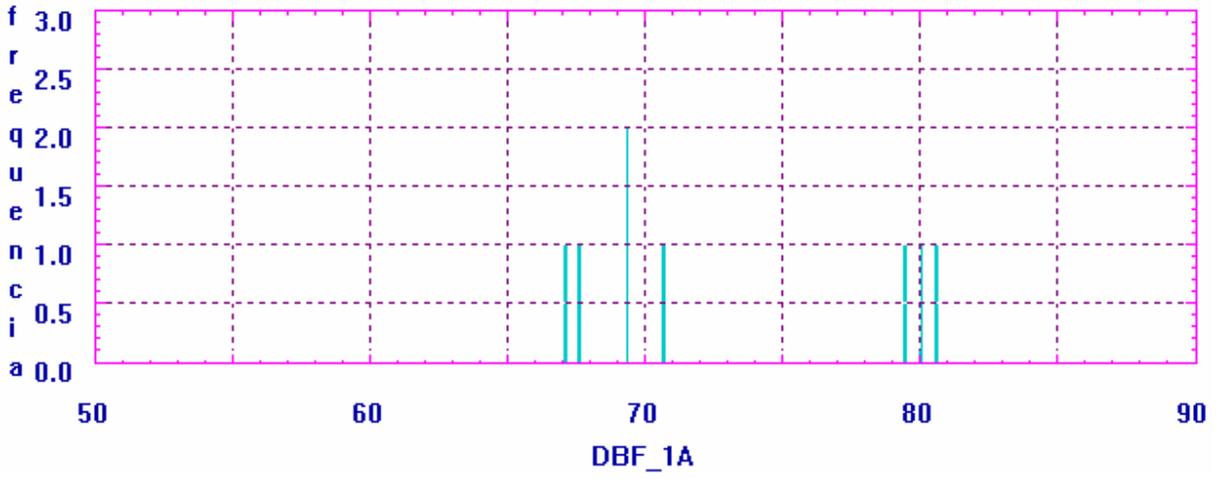
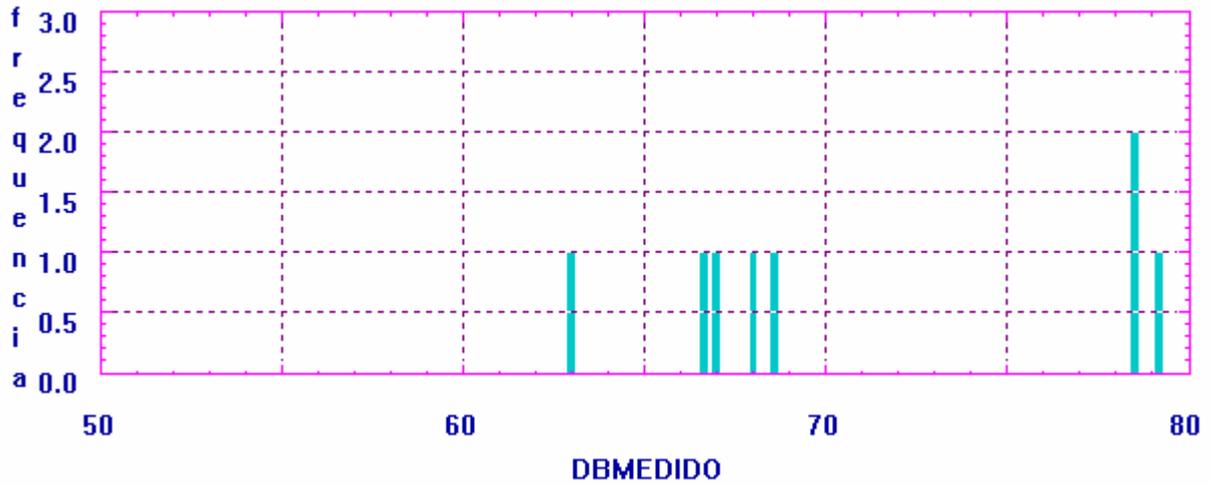


Figura 106 – Gráficos de dispersão produzido pelo SIG (Spring)

Os gráficos acima tornam perceptíveis que os valores estipulados nas Normas representados no eixo horizontal (DBNORMA) não estão sendo obedecidos em nenhum dos pontos, nem atualmente (DBMEDIDO), nem nos cenários calculados (DBF_1A, DBF_1B, DBF_2A E DBF_3), representados pelo eixo vertical. Os resultados representariam um ambiente urbano saudável caso o “ponto vermelho” estivesse localizado até no máximo o valor da vertical semelhante ao da horizontal. No PCext, por exemplo, que possui um “DBNORMA” de 65, no gráfico que representa o cenário mais provável “DBF_3” está acima de 80 e está acima de 75 em todos os gráficos, ou seja, ultrapassa no mínimo 10dB o valor estipulado.

O gráfico de histograma representado na figura 107 expressa a quantidade de pontos (eixo vertical) que possuem determinado NPS (eixo horizontal), ou seja, o eixo vertical representa o valor numérico e não percentual.



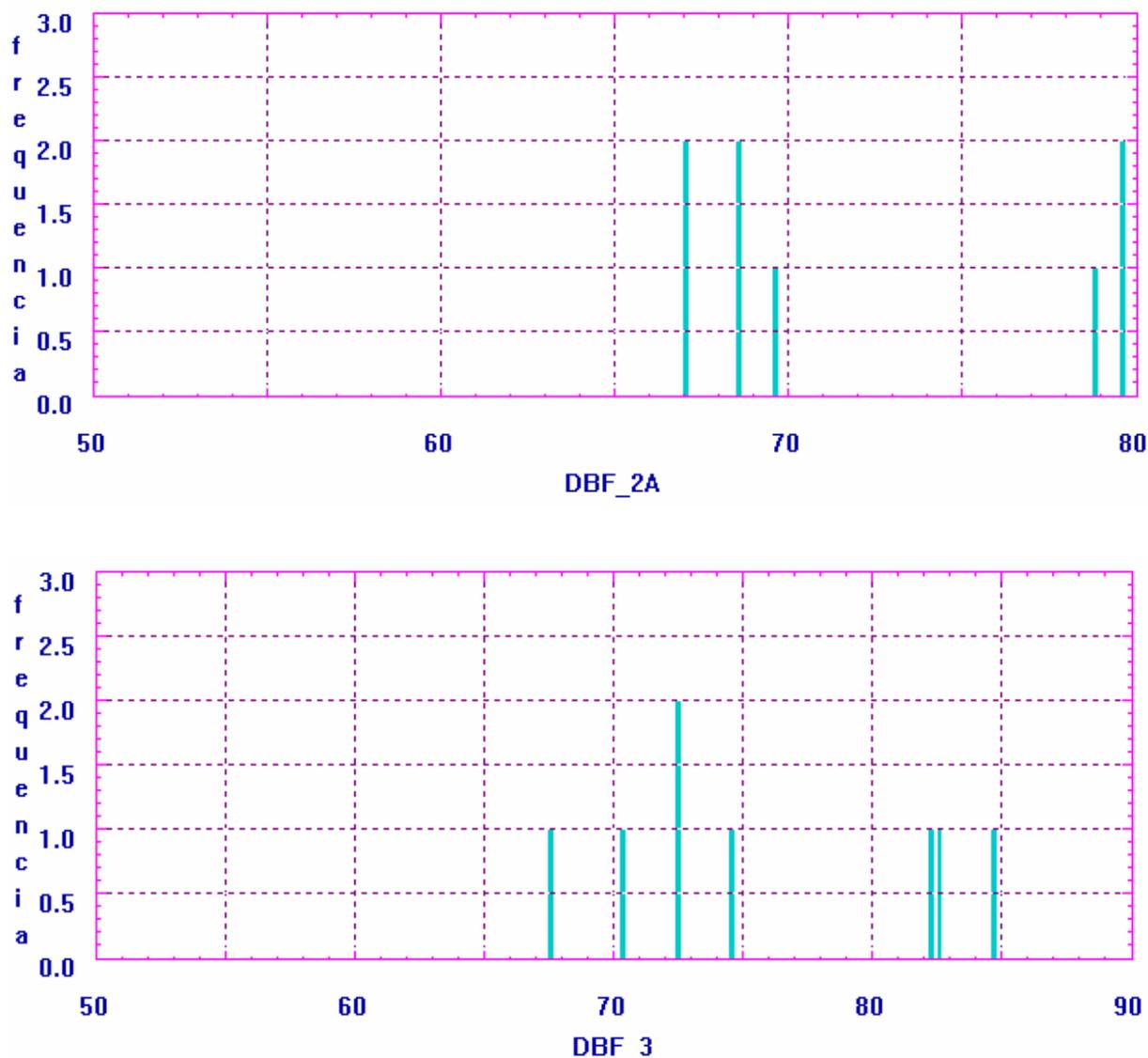


Figura 107 – Gráfico de histograma produzido pelo SIG (Spring)

Pode-se visualizar por meio desses gráficos que o cenário mais otimista é o 2A (DBF_2A), pois o valor máximo em nenhum ponto ultrapassa 80dB(A) e dos valores medidos (DBMEDIDO) nenhum deles está abaixo de 60dB, ultrapassando, conseqüentemente, os 55dB recomendados pela OMS (WHO, 1999), expondo a população a danos tanto físicos quanto psíquicos.

6.3. ETAPA 3 – ANÁLISE DO IMPACTO NA SAÚDE

Com o entendimento do NPS em cada tipo de edificação obtido no subproblema anterior, o que esclarece o tempo de exposição e a atividade exercida, determinou-se os riscos à saúde da população localizada na área estudada de acordo com os valores simulados. Por meio de gráficos comparativos foi possível entender os efeitos do ruído urbano na população. A

proposta do trabalho não foi captar a percepção sonora, por ser esta uma questão muito subjetiva e por entender que o fato de alguém não admitir o incômodo não significa dizer que seu organismo não esteja sentindo os efeitos.

A análise final foi feita com relação aos reflexos da poluição sonora na saúde da população e os sintomas foram direcionados para cada faixa isossônica, que foi desenvolvida de 5 em 5dB(A). Para a execução do “Fatiamento” no Spring é necessário primeiro criar uma grade que representa os resultados da propagação sonora de acordo com a fórmula do *Harmonoise* inserida como *input* na linguagem do Spring denominada “LEGAL”. Após a inserção dos dados matemáticos passou-se a produzir os resultados dos cenários e os procedimentos de cálculo foram a variação do NWS que proporcionaram mapeamentos específicos para cada situação.

Essa grade informa o NPS exato resultante do *Harmonoise* em cada ponto e nos pontos escolhidos coincidem com os valores de L_{eq} propagado calculado individualmente e explícitos na “ETAPA 1”. Para compreensão da variação existente entre os cenários foi escolhido um ponto da grade gerada, esse ponto está localizado ao lado de PC (indicado por uma circunferência). Na grade representativa de 97dB(A) (Figura 108) o NPS nesse ponto está registrando 75,2dB(A), na de 107dB(A) (Figura 109) é 85,2dB(A), na de 102dB(A) (Figura 110) é 80,2dB(A), na de 93dB(A) (Figura 111) é 71,2dB(A) e, finalmente, a grade de 104dB(A) (Figura 113) registra 82,2dB(A).

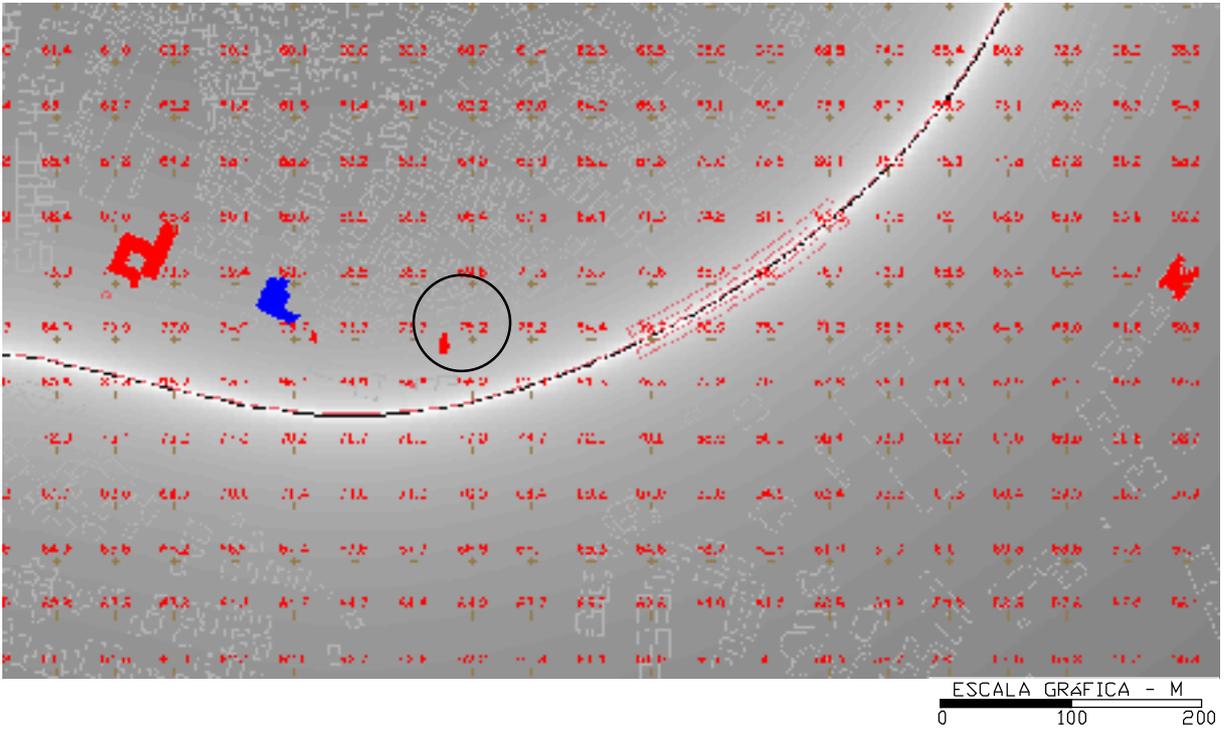


Figura 108 – Grade referente a propagação sonora de 97dB(A) (Spring)

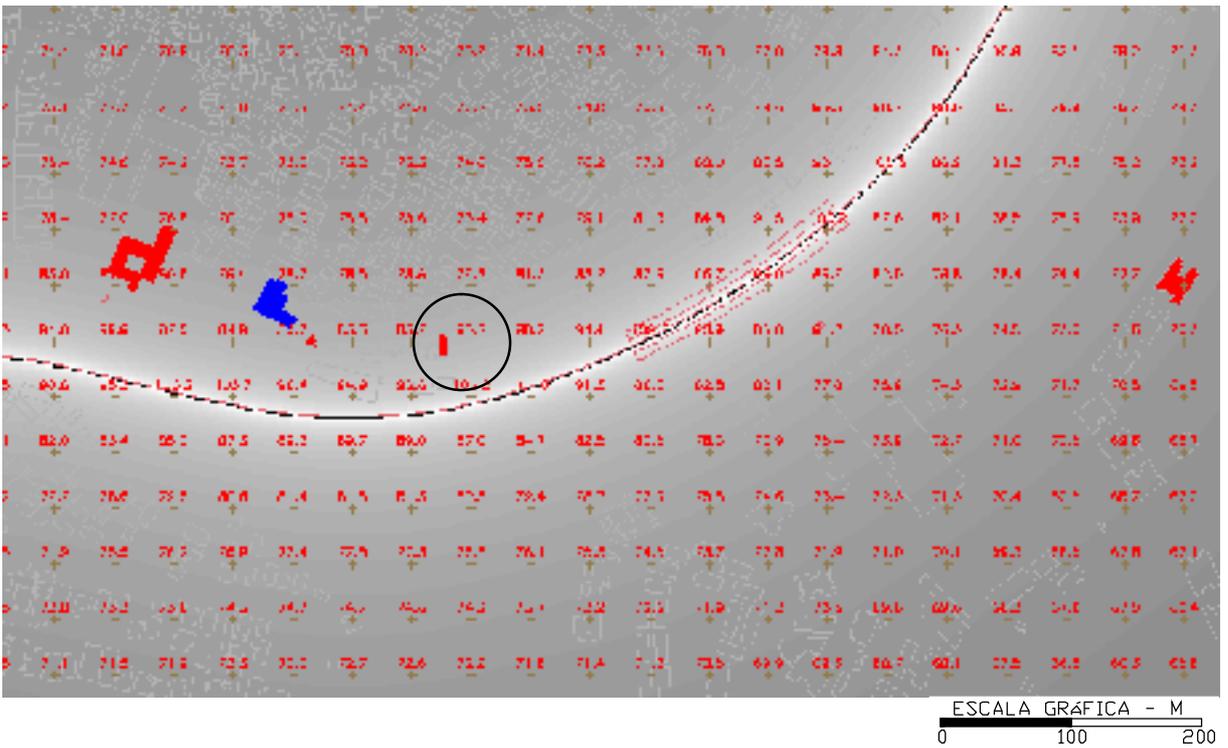


Figura 109 – Grade referente a propagação sonora de 107dB(A) (Spring)

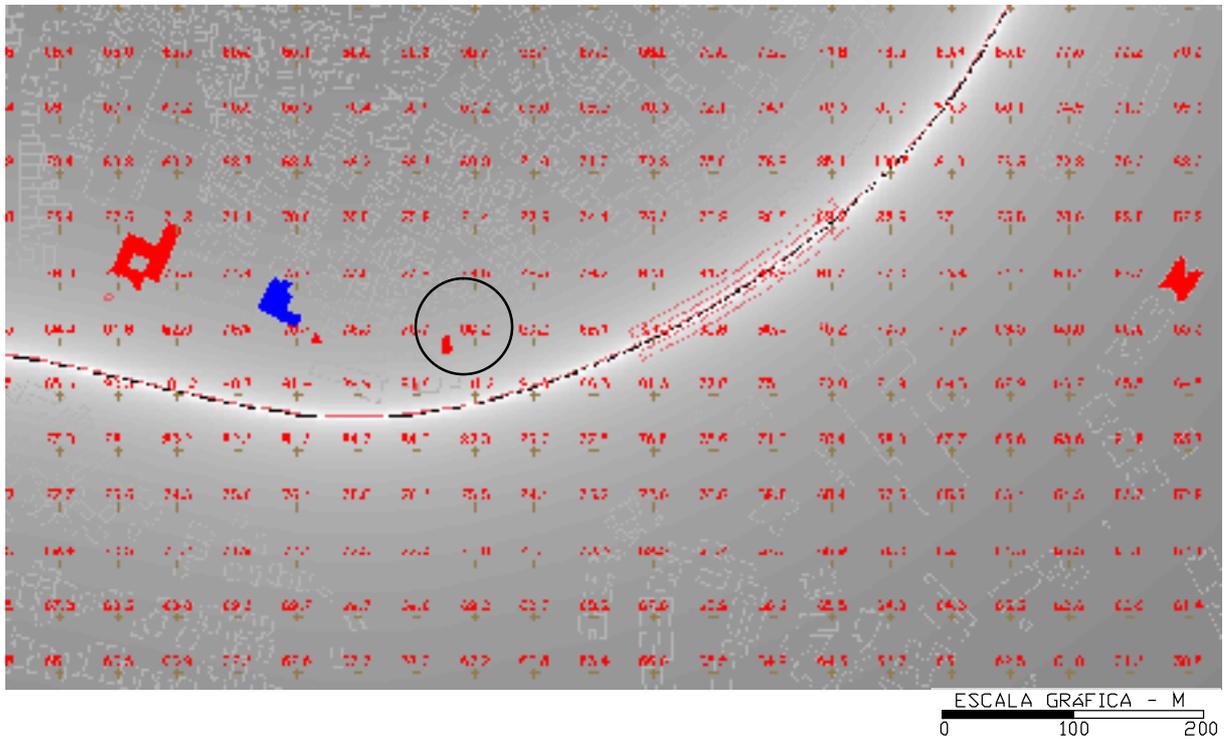


Figura 110 – Grade referente a propagação sonora de 102dB(A) (Spring)

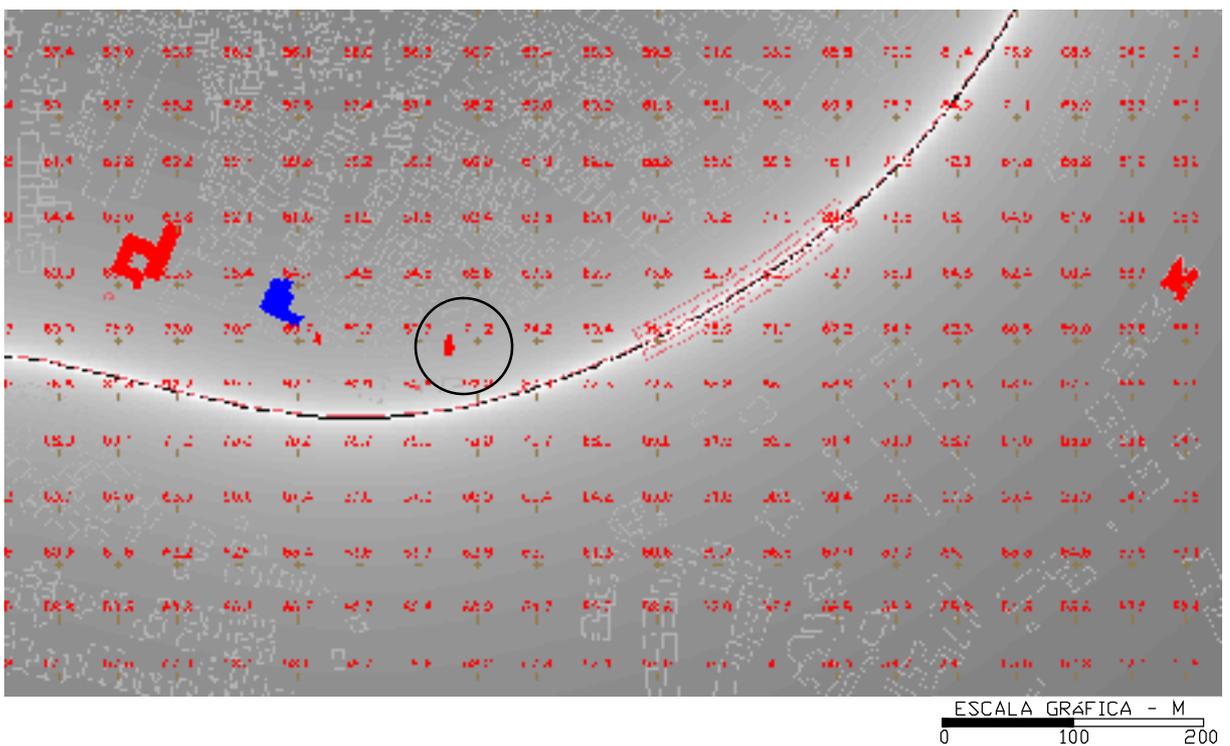


Figura 111 – Grade referente a propagação sonora de 93dB(A) (Spring)

Para exemplificar mais amplamente foi escolhida a imagem resultante da grade gerada a partir do NWS 104, que representa a situação mais provável (Figura 112).

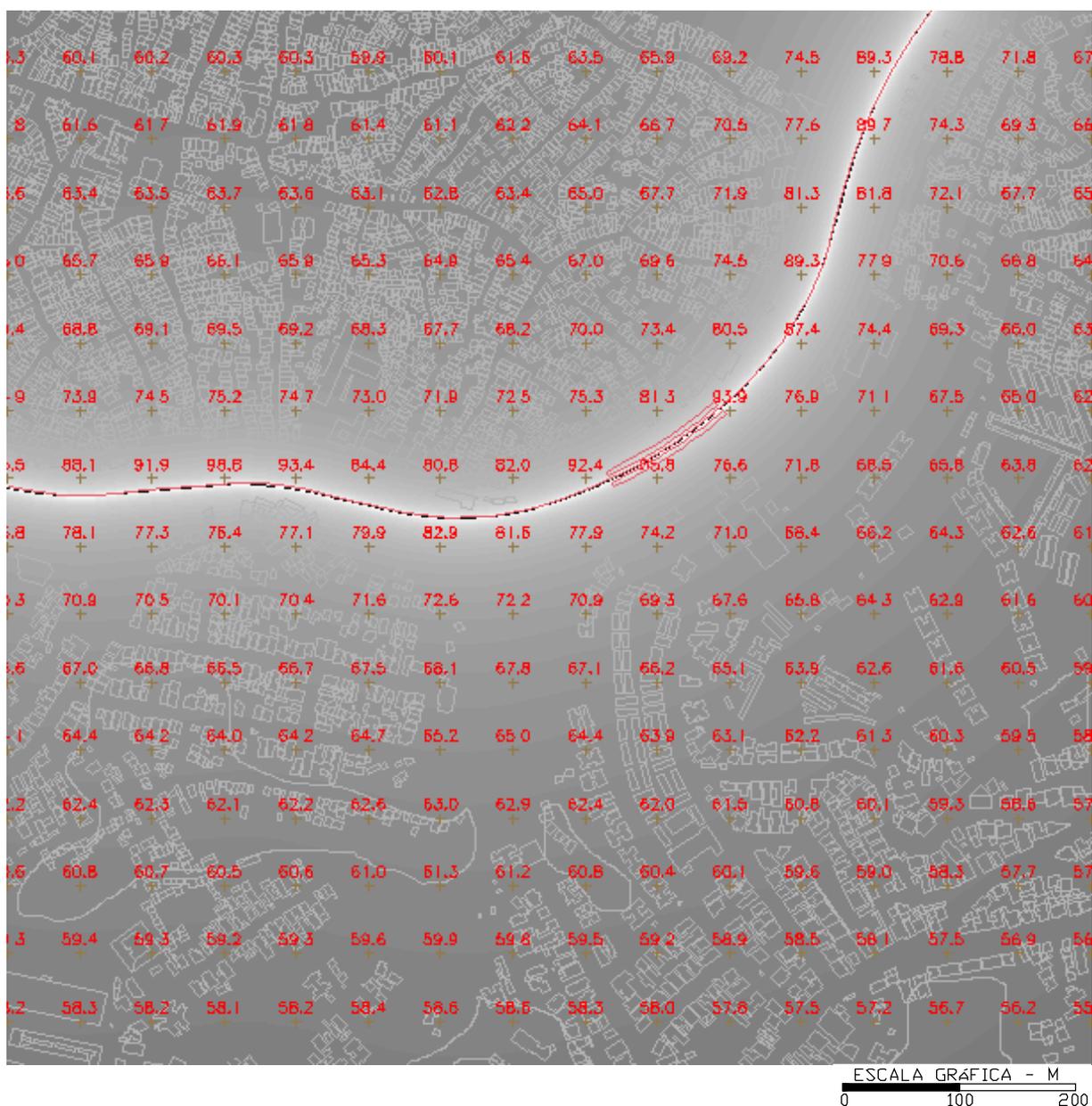


Figura 112 – Grade fictícia ampla referente a propagação sonora de 104dB(A) (Spring)

Se o terreno fosse plano, esses seriam os NPS correspondentes a propagação do som proveniente da linha do metrô, caso essa fosse a única fonte de ruído. Por essa grade fictícia pode-se ter uma dimensão de como o ruído é capaz de atingir grandes distâncias ainda com NPS perceptíveis, pois a maior ou menor de 500m de distância ele seria cerca de 58dB (Figura 112). Como nas grandes cidades as fontes de ruído urbano são diversas (transporte rodoviário, ferroviário, aéreo), na análise do planejamento urbano torna-se necessário a aplicação de softwares capazes de interpolar esses dados e fornecer mapas de ruído resultantes que contemplem todas as fontes sonoras. Por essa razão o nível de precisão dessa pesquisa se

restringe às edificações lindeiras, o que satisfaz as análises por representarem os locais que são diretamente impactados pelo metrô.

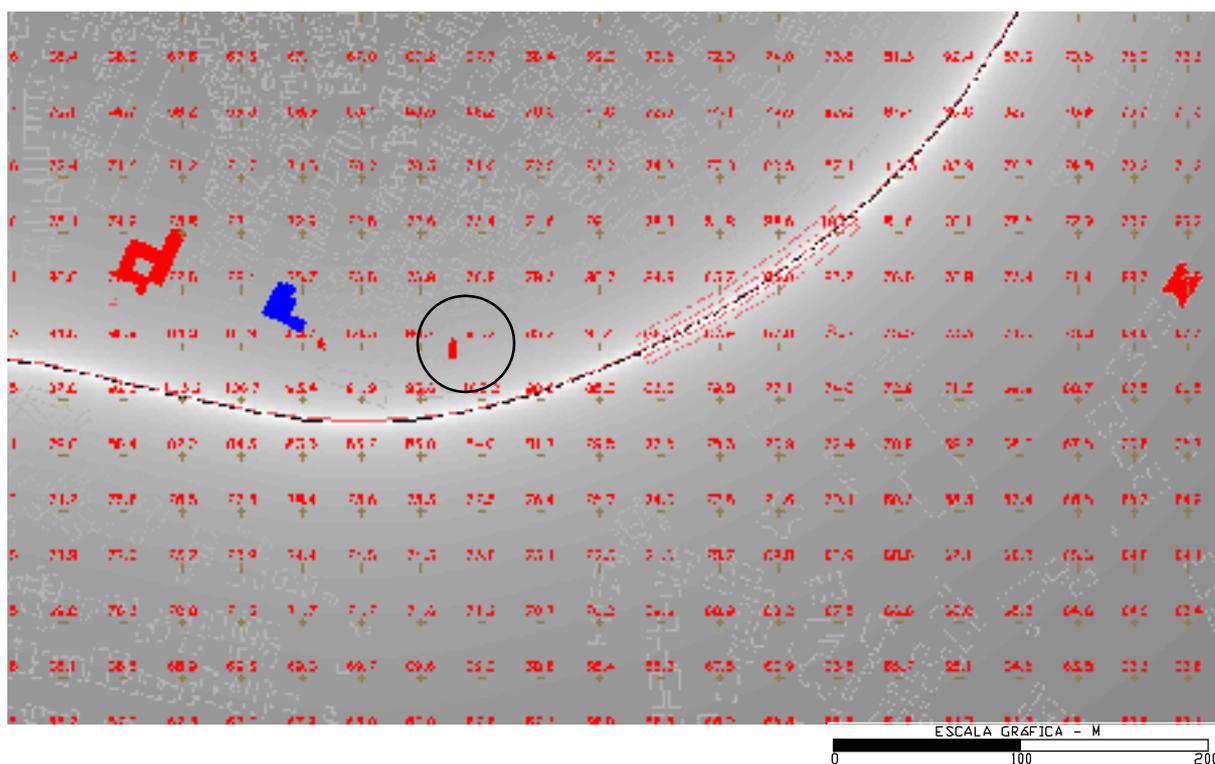


Figura 113 – Grade referente a propagação sonora de 104dB(A) (Spring)

É importante salientar que os valores mais precisos são aqueles referentes aos pontos escolhidos e esses são os principais resultados da pesquisa. As curvas sonoras geradas no Spring têm grande precisão apenas nas áreas lindeiras, que é a que se propõe o trabalho, mas decidiu-se ampliar a quantidade de faixas à medida que se afasta da fonte sonora para dar uma idéia geral da área impactada pelo ruído e da capacidade de propagação sonora, caso fosse uma área plana. Como o Spring não é uma ferramenta específica de poluição sonora não leva em consideração algumas interferências como a influência do terreno, as reflexões dos raios e a canalização de ruído provocada pelos vales. Portanto, os resultados gráficos são informações complementares da pesquisa. Com os mapas tridimensionais e plantas baixas da etapa anterior compreendeu-se as sombras acústicas formadas pela geomorfologia e pelas edificações locais, localizando as zonas protegidas.

Para uma simulação que levasse em consideração as interferências externas ao longo do percurso dos raios sonoros seria necessária a aplicação de softwares específicos de poluição sonora e representa uma outra abordagem metodológica. As limitações foram assumidas

porque ao objetivar analisar o impacto nas edificações que estão de frente para a linha do metrô, o Spring proporcionou resultados satisfatórios e precisos. O estudo das reflexões sonoras demanda a utilização de softwares específicos de poluição sonora, devido a grande quantidade de interferências e algoritmos envolvidos.

Após a inserção das fórmulas no “LEGAL” que é a linguagem do Spring, gerou-se fatias que variam de 5 em 5 dB(A), iniciando em 0 dB(A) e terminando em 120dB(A), mas a visualização foi feita entre 60 e 105dB(A). Essa visualização diz respeito apenas a propagação sonora proveniente do ruído emitido pelo metrô, não considerando o ruído de fundo. Os mapas de ruído apresentados (Figuras 113 a 118) representam uma situação hipotética, no caso de não existirem interferências capazes de alterar o fluxo sonoro, ou seja, sem barreiras naturais ou artificiais, mas para as edificações que estão localizadas ao longo da via pode-se considerar que os resultantes representam as possíveis realidades futuras de acordo com cada cenário. Isso pode ser compreendido nos mapas aproximados (o 2º de cada seqüência).

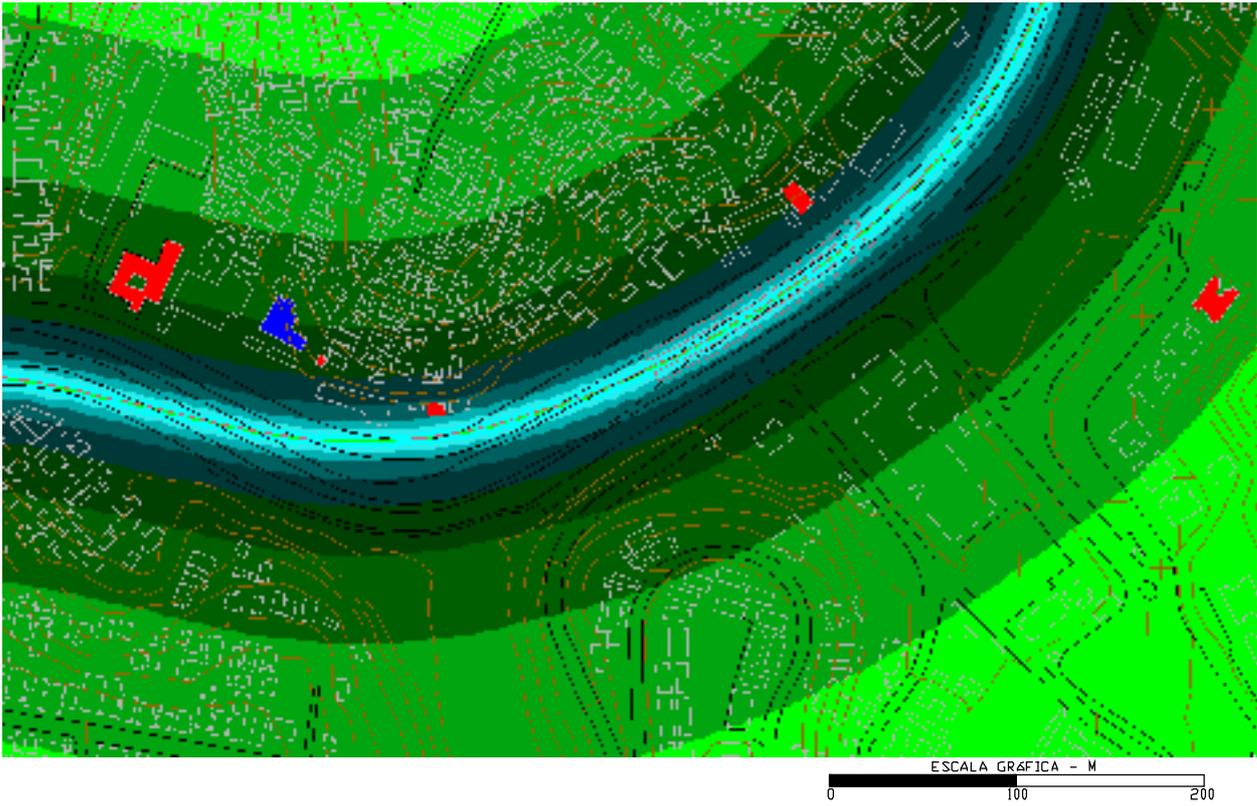
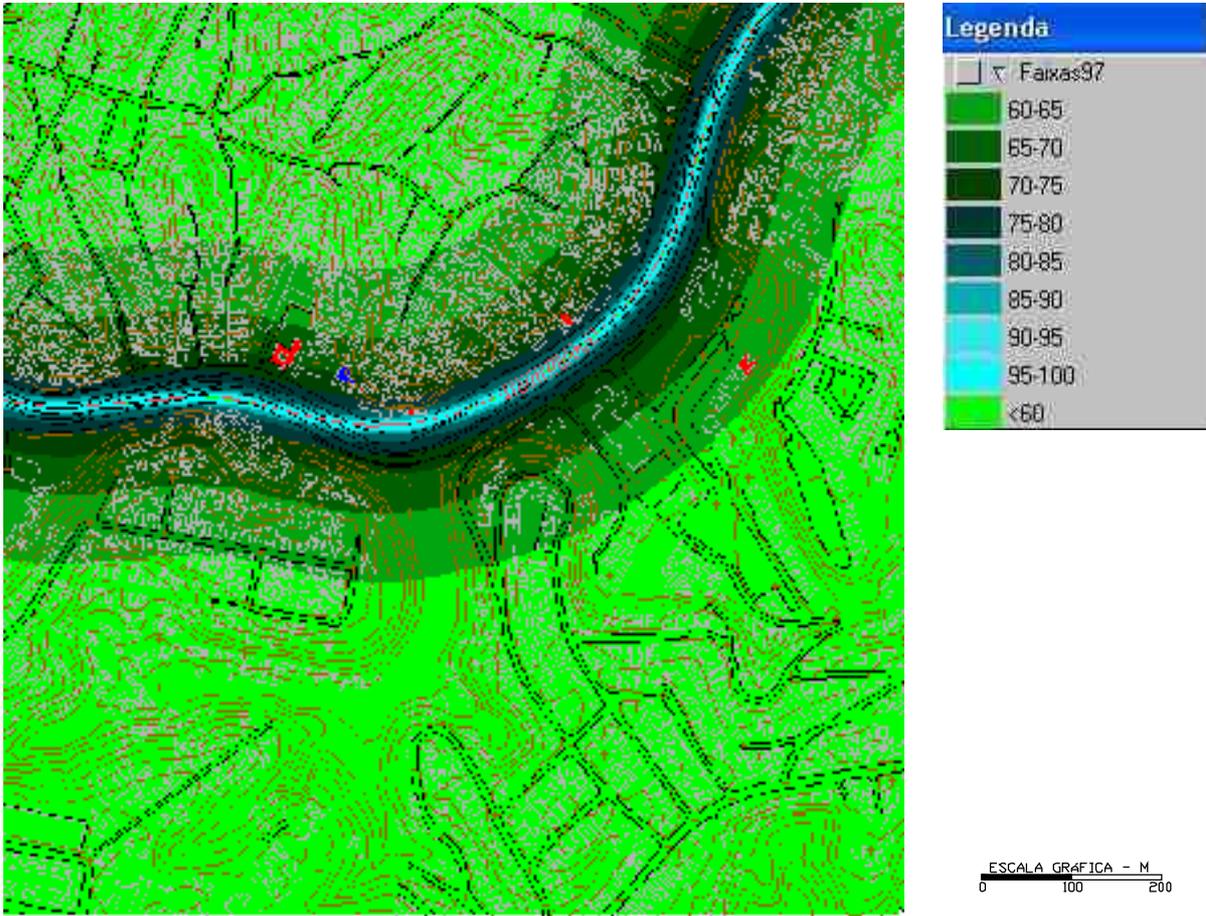


Figura 114 – Mapas de ruído com NWS 97dB(A) (Spring)

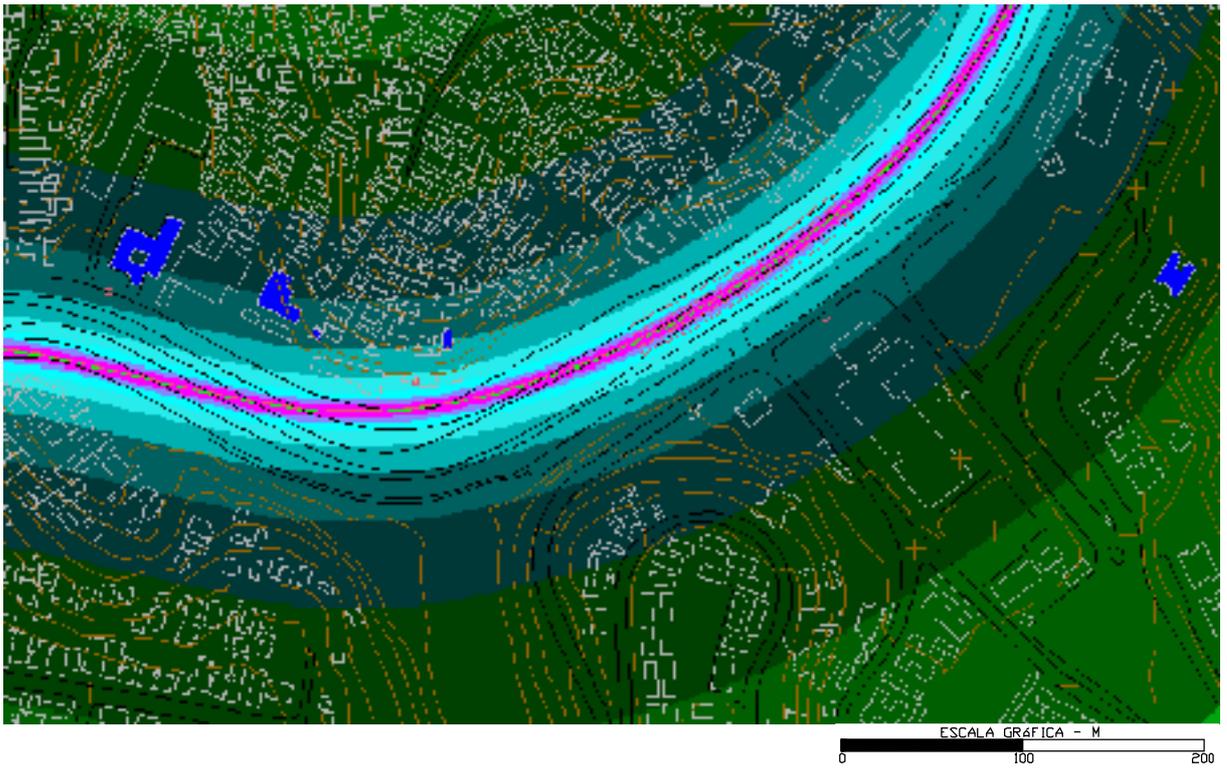
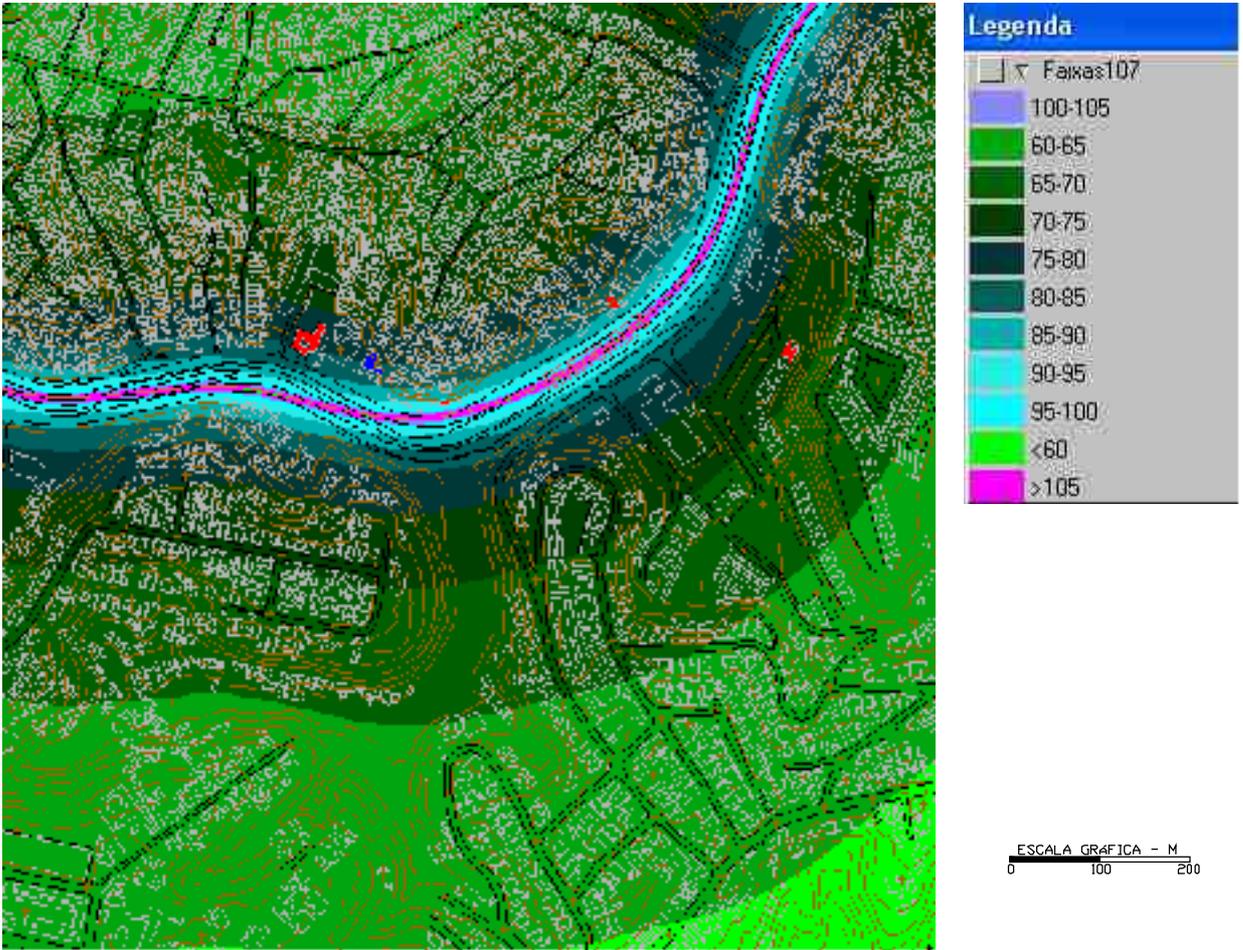


Figura 115 – Mapas de ruído com NWS 107dB(A) (Spring)

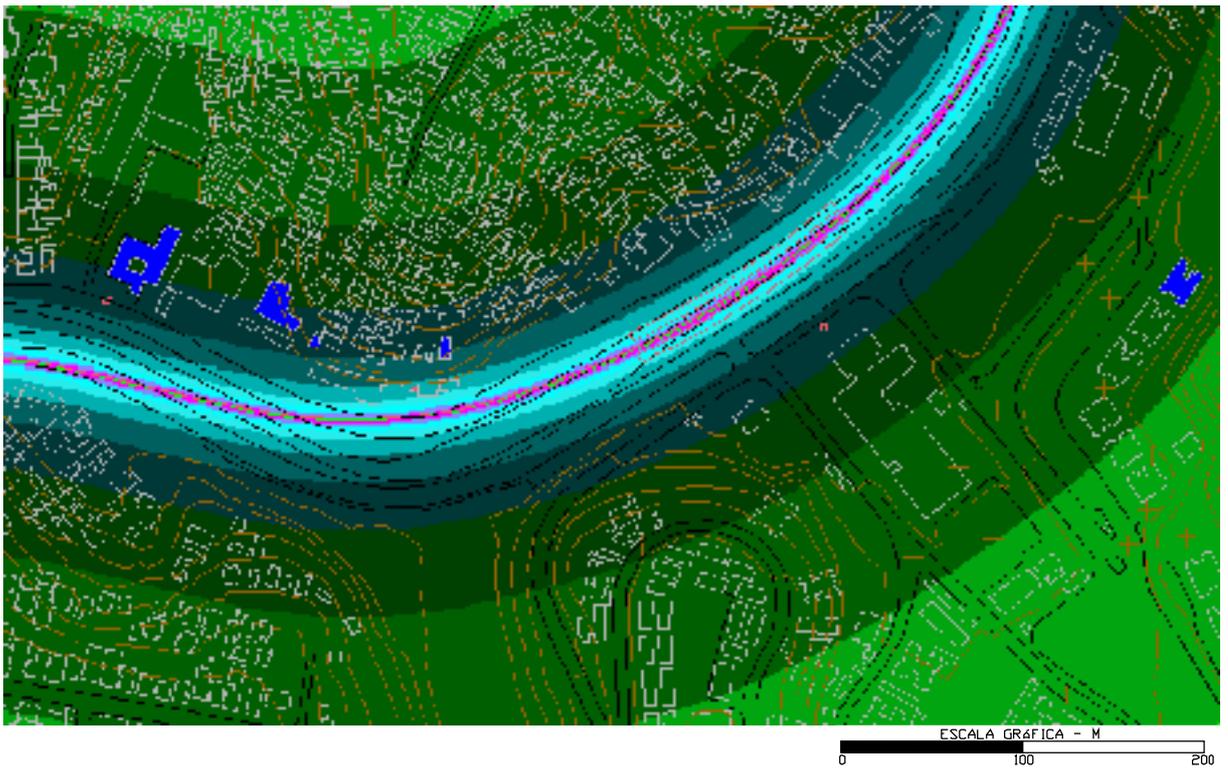
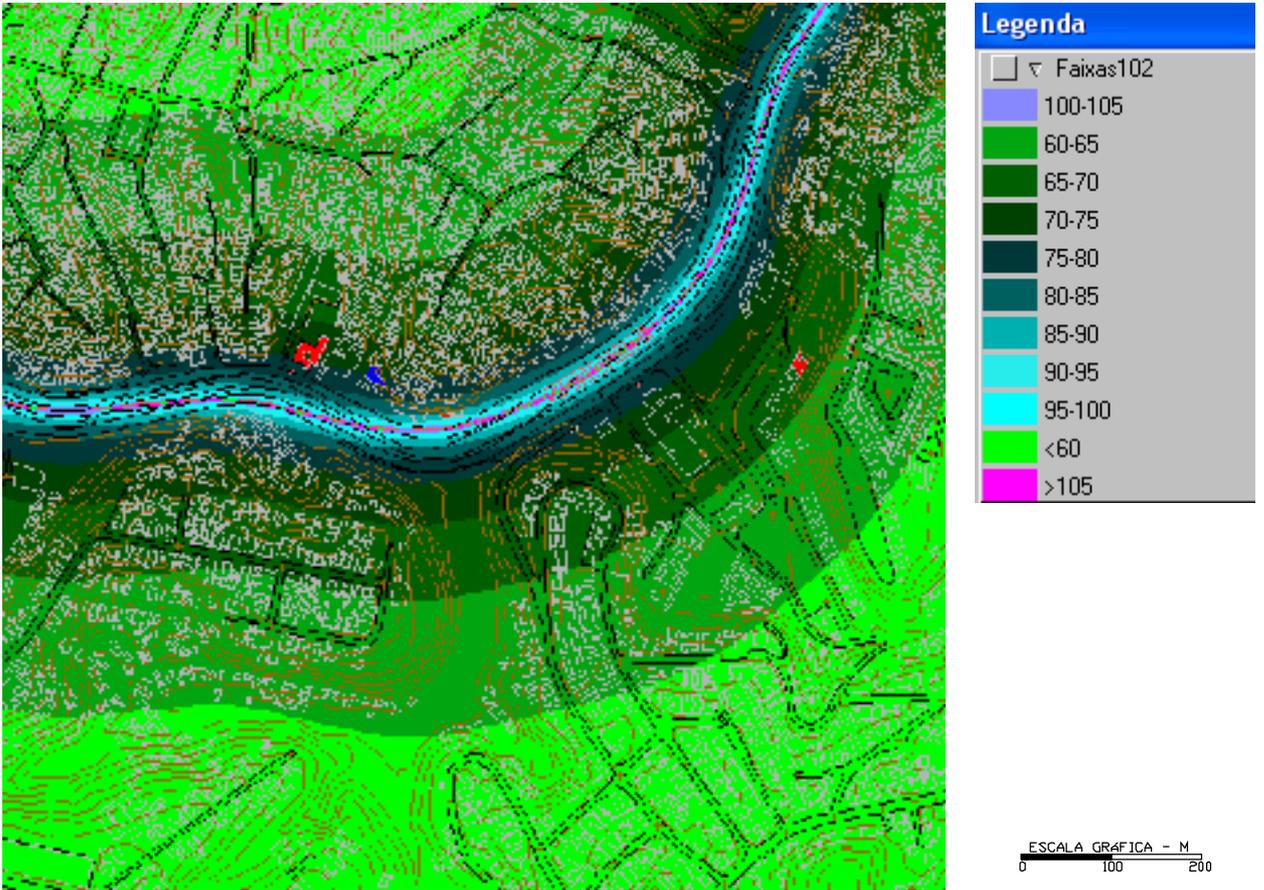


Figura 116 – Mapas de ruído com NWS 102dB(A) (Spring)

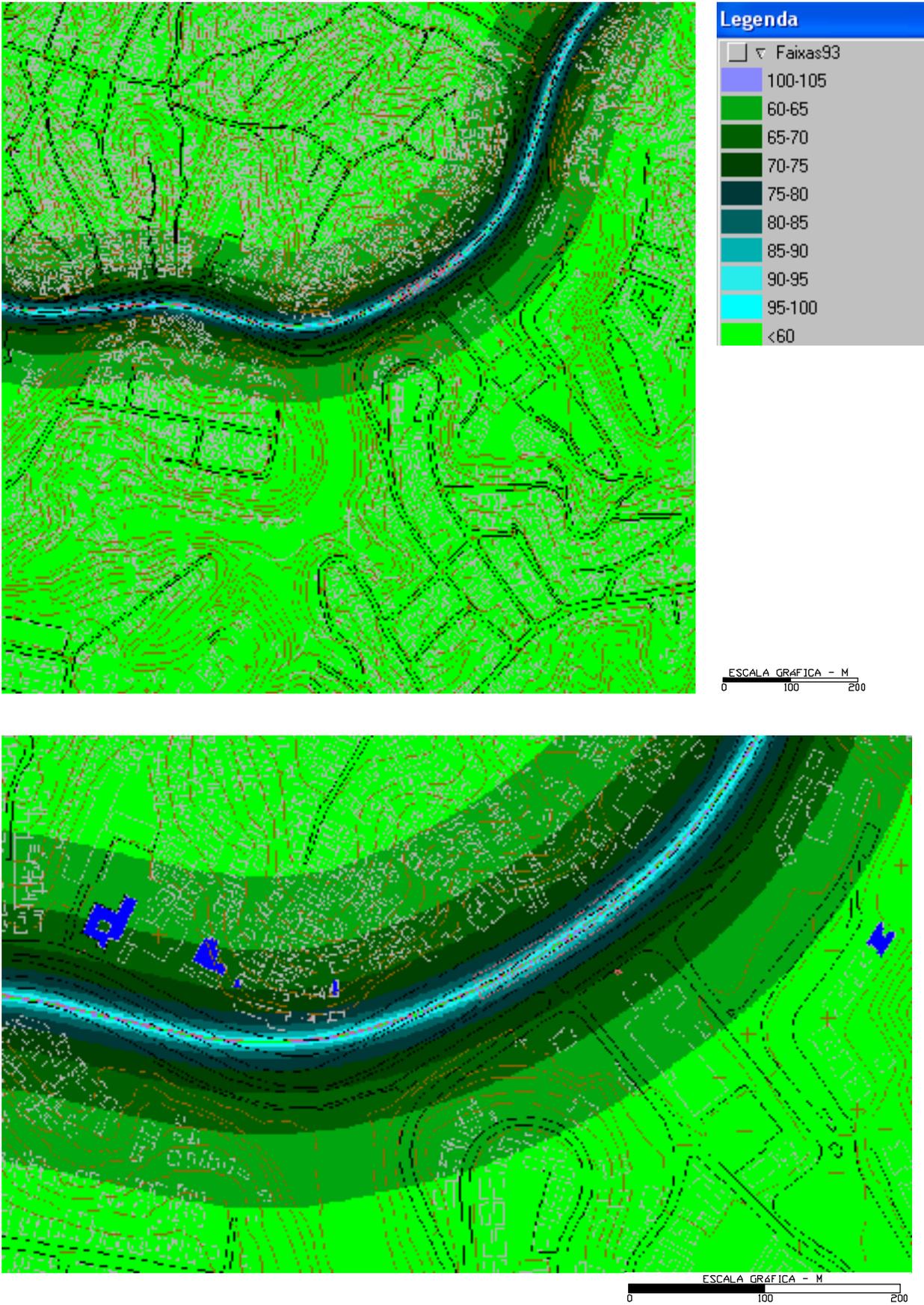


Figura 117 – Mapas de ruído com NWS 93dB(A) (Spring)

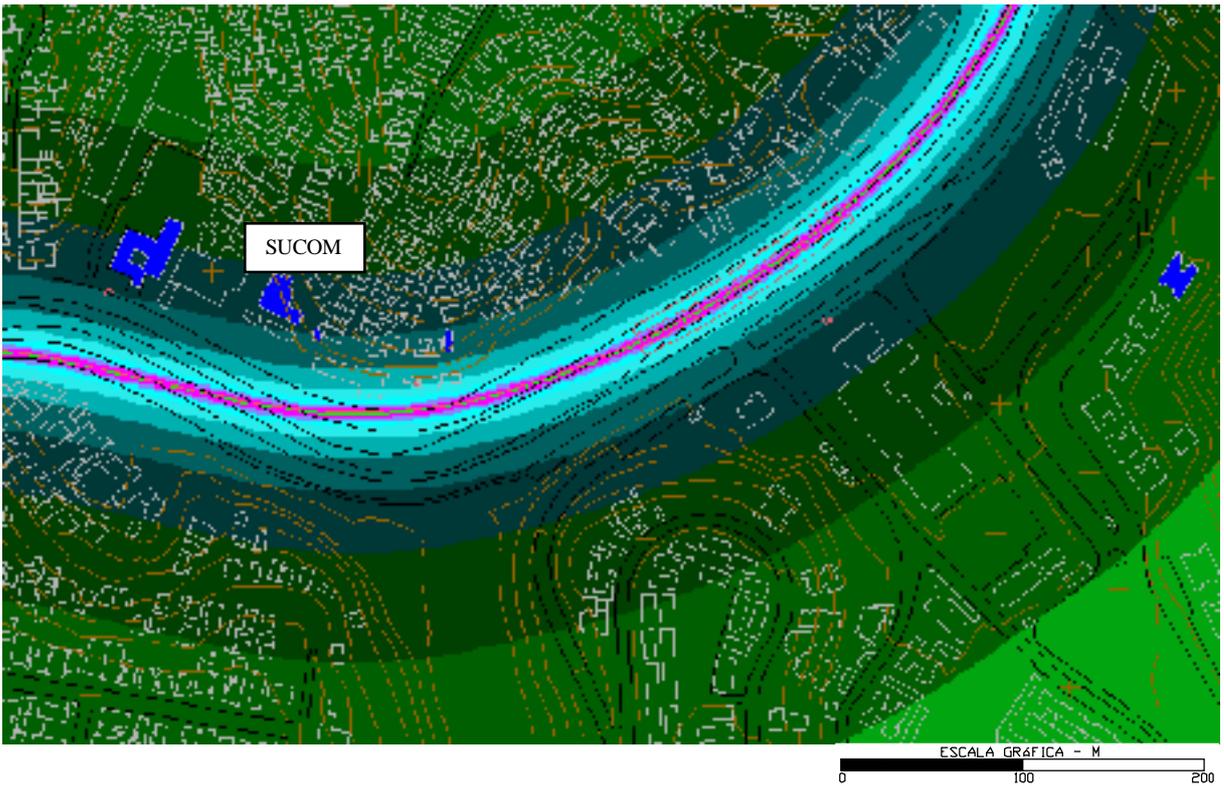
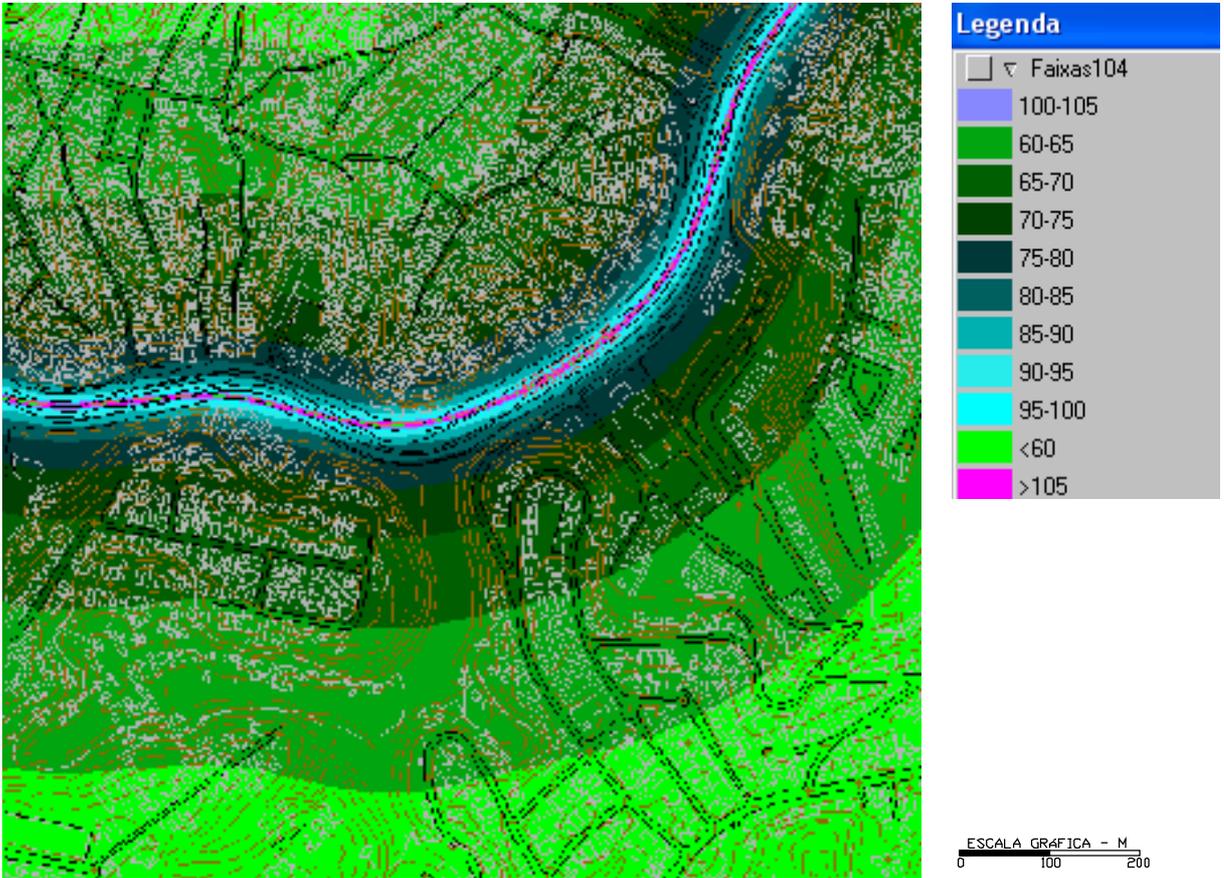
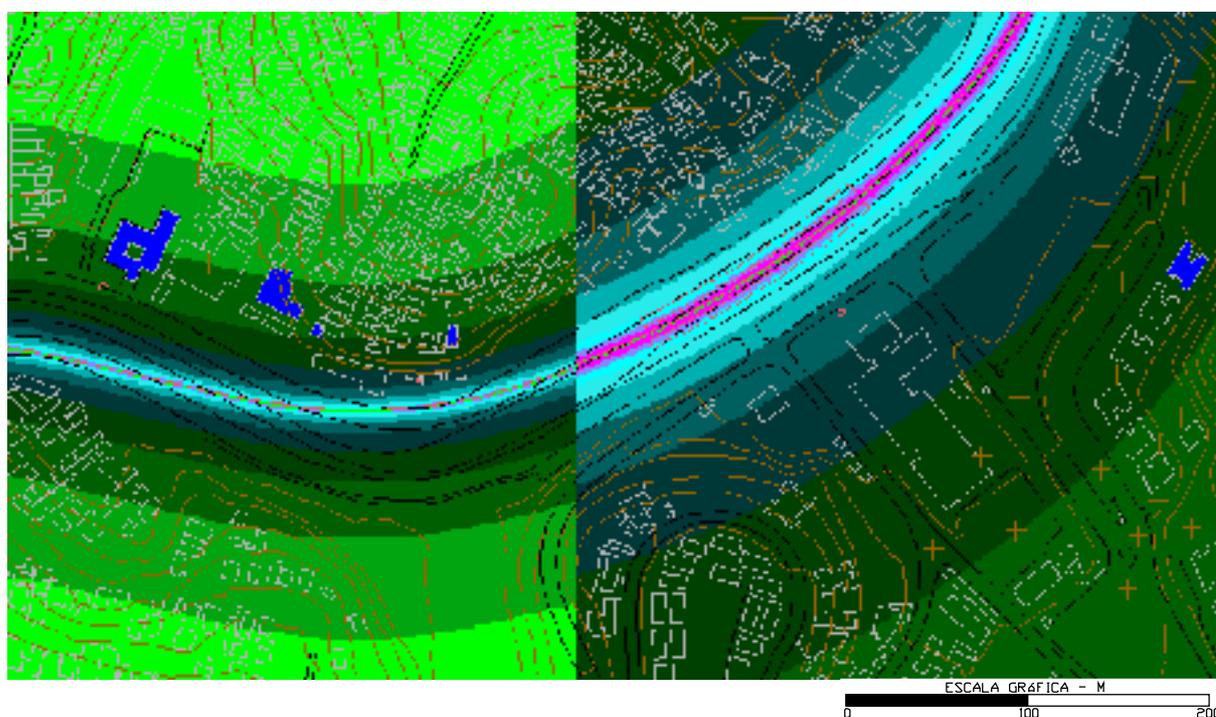


Figura 118 – Mapas de ruído com NWS 104dB(A) (Spring)

Sendo o mapa da figura 118 representativo do cenário mais provável merece uma avaliação mais detalhada. A maior parte da primeira faixa construída do lado mais ao norte da linha encontra-se dentro da faixa “80-85”, muito acima dos 55dB(A) recomendados pela OMS para proteger a maioria das pessoas de terem sérios problemas relacionados ao ruído. É importante lembrar que o ruído atual existente nesse mesmo trecho já está acima desse parâmetro, pois o NPS varia entre 75 e 80dB(A).

Outra parte da primeira malha edificada está localizada na próxima faixa “75-80”, onde fica a sede da Sucom, órgão que tem como missão “Ordenar e controlar o uso e a ocupação do solo de Salvador, contribuindo para a melhoria do espaço urbano, oferecendo serviços de qualidade ao cidadão”, mas ironicamente está localizada em uma zona extremamente ruidosa e não possui isolamento acústico adequado a sua função. Por se tratar de um ambiente de trabalho deve ter uma boa proteção acústica para oferecer um NPS interno saudável, dentro da referência da tabela 07 da NBR 10.152 (ABNT, 2000) para esse tipo de local (Escritórios - Salas de computadores) que é 45-65dB(A). Locais onde a produtividade é importante devem dispor de um conjunto de fatores capazes de proporcionar conforto térmico, acústico, vibratório e lumínico, além de garantir a qualidade do ar.

A figura 119 demonstra um comparativo visual feito entre o cenário mais otimista (NWS 93dBA) que considera que o metrô gera um ruído de referência indicado pelo método Francês com espalhamento semi-cilíndrico e o cenário mais pessimista (NWS 107dBA) que considera que o metrô irá gerar o ruído permitido pela ABNT com espalhamento semi-esférico.



| Legenda | |
|---------|-------------|
| □ | ▽ Faixas104 |
| ■ | 100-105 |
| ■ | 60-65 |
| ■ | 65-70 |
| ■ | 70-75 |
| ■ | 75-80 |
| ■ | 80-85 |
| ■ | 85-90 |
| ■ | 90-95 |
| ■ | 95-100 |
| ■ | <60 |
| ■ | >105 |

Figura 119 – Comparativo entre dois cenários NWS 93dB(A) e 107dB(A) (Spring)

A utilização do Spring permitiu um melhor entendimento do impacto causado, pois o mapa de ruído gerado proporcionou uma melhor avaliação dos prováveis efeitos, devido a visualização dos locais no mapa que sofrerão os impactos negativos causados pelo acréscimo da poluição sonora, caso não sejam implantados elementos capazes de minimizar o problema. As faixas projetadas permitiram o cruzamento de informações teóricas e espaciais.

A partir da revisão bibliográfica realizada no item 4.4. que trata da saúde foi feita uma compilação dos efeitos da poluição sonora na saúde identificados por diversos autores. Esses efeitos foram relacionados às cores dos mapas para uma melhor correlação, conforme

indicados na tabela 44. É importante lembrar que os mapas de ruído refletem apenas o ruído emitido pelo metrô, considerando que o NPS rodoviário atual será reduzido.

TABELA 44 – CORRELAÇÃO ENTRE CORES DAS FAIXAS EM dB(A) E PROVÁVEIS EFEITOS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO QUE MORA OU TRABALHA PRÓXIMO A LINHA DO METRÔ

| COR | FAIXA, dB(A) | EFEITOS |
|------------|---------------------|---|
| | | |
| | 60-65 | Sérios e moderados problemas relacionados à saúde Danos tanto físicos quanto psíquicos Diminui a concentração e prejudica a produtividade no trabalho intelectual Sono prejudicado-pior desempenho físico, mental e psicológico Perda provável da audição |
| | 65-70 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Diminui a resistência imunológica Induz a liberação de endorfina, tornando o organismo dependente Aumenta a concentração de colesterol no sangue Efeitos cardiovasculares Estresse degradativo Aumentam os riscos de derrame cerebral, infecções e osteoporose |
| | 70-75 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Aumentam os riscos de enfarte, infecções, entre outras doenças sérias Ocorrem alterações do sistema auditivo |
| | 75-80 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Perda de 70% dos estágios profundos do sono |
| | 80-85 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Libera morfina biológica no corpo, provocando prazer - quadro de dependência |
| | 85-90 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Nível de alerta Saúde será visivelmente afetada |
| | 90-95 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Perda de mais de 70% dos estágios profundos do sono Nível de perigo |
| | 95-100 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Nível de perigo intenso |
| | 100-105 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Pode haver perda imediata da audição |
| | >105 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Pode haver perda permanente da audição |

Mesmo na situação mais otimista (Cenário 2 - NWS 93dBA) os efeitos na saúde devem ser considerados, pois o ruído rodoviário medido já proporciona um grande impacto. A maioria das edificações lindeiras desse cenário pertencem a faixa “65-70”, mas algumas estão também dentro de “70-75” como pode ser observado no mapa de ruído da figura 117 referente a esse cenário. A partir de 60dB já foram comprovados danos a saúde tanto físicos quanto psíquicos e segundo a OMS já existem sérios problemas relacionados a saúde.

Considerando a situação mais provável (Cenário 3 – NWS 104dBA), existem edificações dentro da faixa “80-85”, que é muito crítico e já representa um nível de alerta. Alguns dos principais reflexos à saúde frente a exposição a esse nível de ruído são a perda de 70% dos estágios profundos do sono segundo Souza (2000) e já representa um quando de dependência do ruído, de acordo com Souza (1992).

Com as tabelas 45 e 46 que separam os pontos internos e externos serão feitas análises mais específicas dos efeitos na saúde de acordo com a tipologia e localização da edificação, pois os impactos têm relação direta com a atividade exercida. Primeiro serão tratados os pontos internos.

TABELA 45 – COMPARATIVO REFERENTE AOS PONTOS INTERNOS

| Pontos | Medido | L _{eq} Final | | | | |
|--------------------|--------|-----------------------|------------|-------|-------|-------|
| | dB(A) | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| | | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| B2 | 66,70 | 67,72 | 72,31 | 69,34 | 67,13 | 70,36 |
| C | 68,10 | 69,37 | 74,53 | 71,27 | 68,65 | 72,42 |
| D2 | 67,10 | 67,23 | 68,23 | 67,49 | 67,15 | 67,70 |
| PC (int) JA | 68,60 | 70,74 | 77,26 | 73,38 | 69,58 | 74,82 |
| PC (int) JA | 68,60 | 70,74 | 77,26 | 73,38 | 69,58 | 74,82 |
| PC (int) JF | 63,60 | 65,74 | 72,26 | 68,38 | 64,58 | 69,82 |
| PC (int) JF | 63,60 | 65,74 | 72,26 | 68,38 | 64,58 | 69,82 |

O ponto B2 que fica dentro de um estabelecimento escolar voltado para crianças merece uma atenção especial, pois essa função requer um conforto acústico satisfatório para que as atividades possam ser exercidas com produtividade, ou seja, para que haja aprendizado por parte dos alunos e para que as cordas vocais dos professores não sejam danificadas. O L_{eq} final no cenário 3 (mais provável) será 70,36dB(A) que já está acima de 70dB(A), valor do padrão de conforto auditivo da OMS e supera o nível máximo de 65dB(A), segundo a

medicina preventiva, ao qual um indivíduo pode se expor sem ter danos na saúde, além de diminuir a concentração e prejudicar a produtividade. A OMS afirma que para que a mensagem falada em escolas durante uma aula seja compreendida o ruído de fundo não deve exceder 35dB(A), no entanto no ponto em questão o próprio ruído rodoviário atual (66,70dB(A)) já excede em muito esse parâmetro.

O ponto C localizado no interior de uma residência apresenta, no cenário mais provável, um NPS de 72,42dB(A), ruído que aumenta os riscos de enfarte, infecções, entre outras doenças sérias, além de provocar alterações no sistema auditivo. Para um bom sono, o NPS dentro do quarto durante o período em que a pessoa está dormindo, não deve exceder 45dB(A) mais de 15 vezes (WHO, 1999).

O ponto D2 também tem os mesmos índices de conforto que o ponto C, mas como está mais afastado da linha sentirá menos os efeitos do acréscimo do ruído, pois o ruído é reduzido ao se propagar com a distância.

PC é o ponto mais afetado devido a proximidade da linha e como se trata de uma residência valores como 74,82dB(A) (janela aberta) são completamente inadmissíveis para qualquer legislação e nessas condições já existe desequilíbrio bioquímico, aumentando o risco de enfarte, derrame cerebral, infecções, osteoporose etc. Como pessoas que residem em ruas ruidosas tem mais dificuldade para dormir, existe grande probabilidade de que os residentes em locais em condições acústicas similares a PC acordem mais vezes durante o sono, tenham pior qualidade do sono e tenham a sensação de cansaço após o sono.

Os pontos externos também merecem ser analisados, pois muitas pessoas durante grande parte de seu tempo estão expostas ao ruído ambiente.

TABELA 46 – COMPARATIVO REFERENTE AOS PONTOS EXTERNOS

| Pontos | Medido | Leq Final | | | | |
|-----------------|--------|------------|------------|-------|-------|-------|
| | dB(A) | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| | | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| B | 78,60 | 79,63 | 84,24 | 81,26 | 79,04 | 82,29 |
| D | 79,30 | 80,24 | 84,63 | 81,76 | 79,70 | 82,75 |
| PC (ext) | 78,60 | 80,74 | 87,26 | 83,38 | 79,58 | 84,82 |

Em todos os pontos externos e em todos os cenários os resultados obtidos foram muito críticos, pois estão em torno de 80dB(A), nível que completa o quadro de dependência, pois esse ruído estressante libera substâncias excitantes no cérebro tornando as pessoas incapazes de suportar o silêncio, ou seja, as pessoas tornam-se viciadas ao ruído, permanecendo sempre agitadas, incapazes de terem momentos de reflexão.

Portanto, a etapa 3 alcança o último objetivo específico que é analisar a relação entre os resultados obtidos nos cálculos e a saúde da população. Todas as etapas obtiveram resultados que justificam a preocupação frente a implantação do metrô sem a inserção de proteção acústica adequada, pois ao se analisar os acréscimos de NPS obtidos na etapa 1, tanto frente aos parâmetros normativos (etapa 2) quanto aos parâmetros saudáveis (etapa 3), são substanciais e merecem ser levados em consideração.

7. CONCLUSÃO

Segundo a metodologia proposta haverá um acréscimo do NPS após a implantação do metrô em todos os cenários, que pode ser considerado pequeno na situação mais otimista devido ao alto nível de ruído atual. Estima-se, no entanto, que com a redução da frota de ônibus, que proporcionará um menor ruído de fundo, esse impacto será mais perceptível.

O primeiro objetivo específico desse estudo (que diz respeito aos cálculos e análises do NPS nas edificações a partir da simulação da propagação sonora após a implantação do metrô) foi alcançado aplicando-se o modelo de previsão de ruído *Harmonoise* e os resultados demonstraram que mesmo no cenário mais otimista o ruído atual será incrementado.

O acréscimo de NPS na situação mais provável será grande no ponto considerado mais crítico (mais próximo do metrô), de cerca de 6dB e entre 3 e 4dB em quase todos os outros pontos, sendo menor apenas no ponto D por ser o mais distante do eixo da linha do metrô. O impacto existente no ponto crítico não é uma situação isolada, pois existem outras edificações que possuem a mesma distância para a linha do metrô que esse ponto possui.

O segundo objetivo específico, que se refere ao relacionamento dos parâmetros com a tipologia funcional das edificações, refletiu a desagregação entre o uso do solo e o conforto acústico imprescindível para uma vida saudável. As edificações residenciais serão mais afetadas em razão das exigências das normas legais, que estão relacionadas com a função de cada ambiente.

A diferença entre o ruído final calculado (atual mais propagado) e os parâmetros tanto dentro quanto fora das edificações foram muito grandes. No cenário mais provável, referente ambientes internos, em PC o resultado supera em 29dB(A) os limites admissíveis da NBR n°10.152 (ABNT, 2000) e 14dB(A) os limites da Lei municipal n°5.354 (SALVADOR, 1998). Quanto aos valores recomendados para ambientes externos, o nível calculado chega a ultrapassar em 19dB(A) os limites da NBR n°10.151 (ABNT, 1987) e 14dB(A) os da Lei municipal n°5.354 (SALVADOR, 1998). Todos esses valores podem ser considerados muito significativos.

O último objetivo específico que analisa a questão da saúde obteve conclusões que dizem respeito a possibilidade do surgimento de efeitos na saúde das pessoas, embora não tenha sido realizado um estudo epidemiológico. É preciso considerar que diversos fatores influenciam

tais efeitos, como o tempo de exposição, a qualidade do som e as características individuais de cada pessoa.

Um sono ininterrupto é fundamental para o bom funcionamento psicológico e mental da saúde humana e um dos principais efeitos do ruído urbano é o distúrbio do sono, por isso em residências é tão importante a qualidade acústica. A Av. Bonocô já é completamente inadequada a essa função devido aos seus altíssimos índices sonoros, que atualmente já ultrapassam os parâmetros saudáveis e ficará ainda mais desconfortável após a implantação do metrô.

O metrô elevado provoca uma sombra acústica na área localizada abaixo da cota do trilho, mas em compensação aproxima a fonte sonora das edificações de cotas similares. Na situação estudada, como a ocupação do terreno acompanhou a geomorfologia local que é muito acidentada, grande parte das construções está fora da proteção oferecida pelas sombras acústicas e muito próximas da linha. Um metrô de superfície produz menos sombra acústica para a primeira malha construída, mas faz com que as próximas malhas edificadas sejam protegidas pela faixa lindeiras (essas produzem sombras acústicas), além de se distanciar mais dos locais de cotas mais elevadas.

Como a situação atual já provoca muitos reflexos na saúde por estar acima dos parâmetros das normas existentes, qualquer aumento do NPS incrementará ainda mais os efeitos negativos tanto fisiológicos quanto psicológicos.

Portanto, a poluição sonora provocada pela implantação do metrô de Salvador, considerando as análises realizadas nesta dissertação, sem uma proteção acústica causará efeitos negativos na saúde da população que mora ou trabalha nas edificações lindeiras. Desta forma a hipótese desenvolvida para esta pesquisa “A implantação do metrô de Salvador nos trechos elevado ou de superfície incrementará o ruído urbano causando efeitos na saúde da população que habita ou trabalha próxima a linha do metrô” está comprovada.

A pesquisa teve limitações referentes ao SIG, por não ser um *software* desenvolvido para gerar mapas de ruído, não correlacionando, portanto, diversas fontes de ruído, mas obteve resultados precisos nas edificações lindeiras e justifica-se a aplicabilidade do Spring em cálculos de poluição sonora nos casos onde a fonte sonora e o receptor estejam próximos. Por ser o Spring um *software* de domínio público a aplicabilidade dele em análises de ruído deve

ser estimulada, sugere-se, conseqüentemente, que outras pesquisas científicas que o utilizem como ferramenta sejam desenvolvidas.

Assim como, o *Harmonoise* merece ser mais explorado e aplicado, pois sua complexidade e precisão podem contribuir muito com as decisões políticas referentes ao planejamento urbano os demais métodos de previsão de ruído estudados (Francês e fórmula básica) podem ser usados em situações simplificadas. Propõe-se que pesquisas sejam desenvolvidas com o modelo de previsão de ruído analítico *Harmonoise* para transporte rodoviário, que é extremamente completo, visto que no presente estudo adotou-se apenas o modelo de propagação para transporte ferroviário.

O cenário 4 resultou em um índice de quanto de ruído que esse modo de transporte pode provocar de forma a não agregar mais decibéis ao ruído existente. O NPS encontrado que poderia ser emitido pelo metrô à 5m de distância da linha foi 77dB(A). Esse cálculo inverso feito orienta no sentido de otimizar as medidas mitigadoras. No entanto, é importante não se acomodar com o ruído existente atualmente e buscar formas de atenuar também o ruído rodoviário que é a principal fonte de ruído do ambiente urbano. As formas de mitigação do ruído proveniente dos modos de transporte são mais simples para transporte ferroviário, pois possui um caminho pré-determinado marcado pelos trilhos e possui menos interferências.

Dentre os 6 passos do modelo conceitual proposto pela DGA (2001b) na Avaliação do Impacto Ambiental explicitados no item 4.5 “Transporte sustentável” essa pesquisa alcança os 5 primeiros: “1) Identificação de impactos no descritor ruído”; “2) Descrição do ambiente acústico no local”; “3) Identificação de critérios de avaliação”; “4) Previsão de impactos”; “5) Avaliação de impactos”; estando o último: “6) Adoção de medidas de minimização”, a cargo do Poder Público.

Para reduzir o NPS dentro das edificações impactadas uma sugestão é o Poder Público arcar com a modificação da especificação das esquadrias, por ser o elemento mais vulnerável de passagem sonora. Janelas com vidros duplos, por exemplo, possuem uma grande capacidade de isolamento acústica. As espessuras dos vidros e da câmara de ar entre os mesmos devem ser calculadas de acordo com a redução necessária em cada caso.

O planejamento, a implantação e a operação dos sistemas de transportes, bem como os caminhos que levam ao planejamento do transporte sustentável representam uma forma de

acelerar uma mudança ambiental positiva, capaz de reduzir a poluição sonora causada pelo excesso de modos de transportes ruidosos circulando na cidade.

Diante desse contexto, sugere-se a implantação de barreiras acústicas em pontos críticos localizados ao longo da linha do metrô para não piorar a qualidade de vida dos cidadãos. No caso do trecho dessa pesquisa, toda a extensão estudada pode ser considerada crítica, pois o acréscimo do NPS foi constatado devido a proximidade das edificações com a linha. A figura 120 exemplifica a grande sombra acústica proporcionada pela inserção de uma barreira acústica em um corte passando pelo ponto crítico (PC), que é a edificação mais próxima da linha.

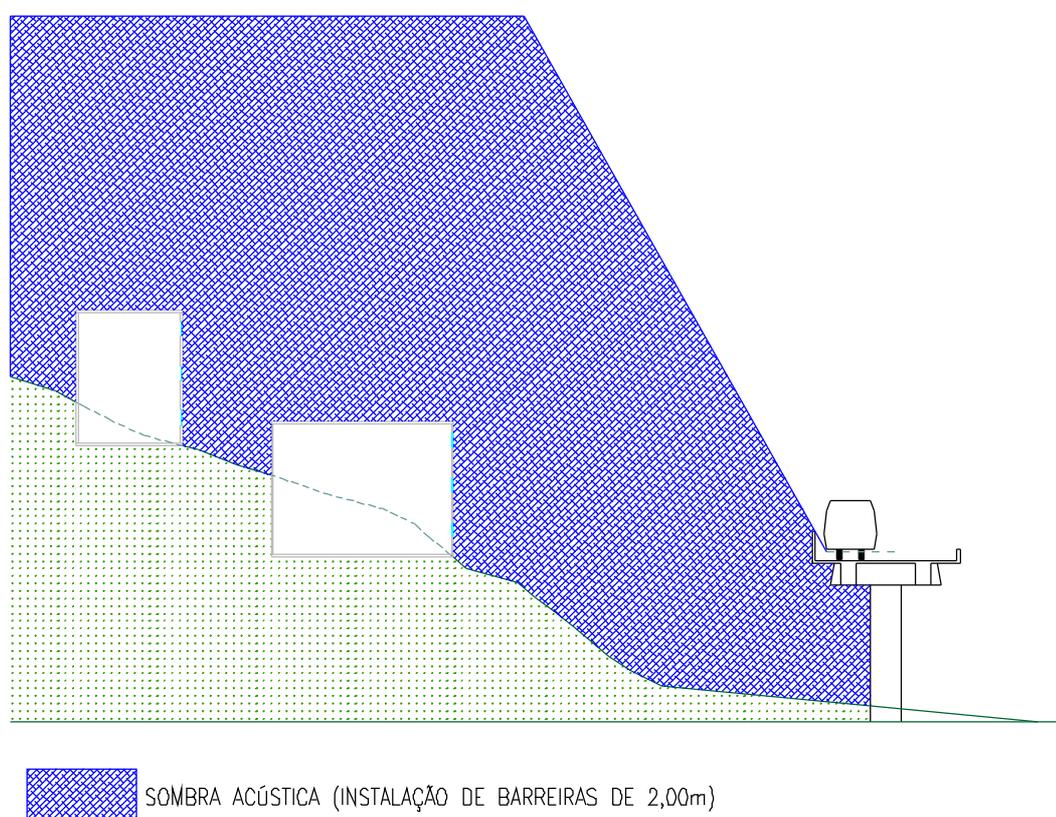


Figura 120 – Visualização da sombra acústica provocada pela inserção de uma barreira de 2,00m de altura

Como sugestão para minimizar os efeitos negativos decorrentes do aumento da poluição sonora após a implantação do metrô recomenda-se que ao se projetar primeiramente deve-se relacionar a norma NBR 10.151 (ABNT, 1987) pertinente intitulada “Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade”, com os níveis de ruído de fundo atual medidos em cada zona. Caso estes já estejam maiores do que o estipulado na Norma, deve ser

estabelecida como meta nos cálculos de isolamento acústico a permanência do mesmo nível junto às edificações lindeiras à linha, após a instalação do metrô.

Admitindo que o tráfego de metrô não deva aumentar o nível de ruído de fundo presente nestes pontos e devido ao resultado da soma logarítmica, o ruído gerado por ele deverá provocar um nível de ruído inferior a 10dB(A) em relação ao nível de ruído de fundo existente atualmente, o que significa dizer que o NPS final total permaneceria o mesmo. Essa é a situação ideal quando a preocupação está focada na saúde da população. Dessa forma, fica quantificado o NPS que o metrô pode provocar nos pontos específicos e as barreiras poderão então ser dimensionadas visando atender aos valores ideais.

Para se detectar zonas críticas relacionadas aos limites de conforto, faz-se necessário o cálculo da propagação sonora nos pontos mais próximos segundo metodologia proposta nesse estudo. A partir de então, haverá informação suficiente para o estudo de propostas mitigadoras capazes de melhorar a qualidade de vida do cidadão nesse aspecto.

Recomenda-se também uma revisão da Norma NBR 13.068 (ABNT, 1994), que tem parâmetros de ruídos externos máximos admitidos pelo metrô muito elevados para situações onde existe uma grande proximidade entre a linha do metrô e a edificação, sendo necessário haver uma adequação da mesma para situações específicas. A Lei municipal nº5.354 (SALVADOR, 1988) também merece ser revisada, pois ela é menos restritiva do que as NBRs 10.151 (ABNT, 1987) e 10.152 (ABNT, 2000) e diverge completamente dos limites da OMS. Vale ressaltar, no entanto, que em se tratando de denúncias de poluição sonora, essa Lei tem uma importante função em Salvador e é coerente, pois como a maior parte do ruído é gerado pelo transporte rodoviário, faz-se necessário um parâmetro equivalente ao ruído de fundo para que fontes de ruído possíveis de serem notificadas sejam identificadas e corrigidas.

Para se obter ambientes essencialmente humanizados é necessário encontrar formas de equilíbrio entre os ambientes externos e internos, onde o controle dos sons esteja contido na base teórica de uma arquitetura, que tenha como princípio contribuir para a melhoria das condições de vida do homem em seu ambiente natural ou construído, porque não é justo que o progresso tecnológico se apóie em bases de degradação do homem e do seu meio.

É possível progredir sem reduzir a qualidade de vida do ser humano, porque no que diz respeito à poluição sonora, considera-se que o barulho não é contingência do progresso ou

mal inevitável para uma cidade garantir o seu desenvolvimento, pois os níveis de ruído podem ser contidos e reduzidos, desde que haja interesse da sociedade e do Poder Público em combatê-los. É indispensável, no entanto, persistência no sentido do cumprimento dessas leis, a exemplo de países como França, Japão e outros, onde o ruído ambiental passou a incomodar menos a população.

Portanto, caso não haja a inserção de medidas mitigadoras, os efeitos na saúde da população serão intensificados. É importante que a articulação da edificação com o espaço urbano deva ser feita levando-se em conta a questão do ruído ambiental e considerando os diversos efeitos psico-fisiológicos na população, ou seja, trata-se de uma questão social que deve ser amplamente discutida.

Na busca de soluções para o problema da acústica ambiental é importante tratar a questão como um conjunto de elementos responsáveis pela situação, pois não há como detectar uma única fonte de ruído. Deve-se vincular as diretrizes do planejamento viário com as necessidades de proteção contra o ruído de tráfego nos espaços lindeiros, adotando quando necessário medidas mitigadoras. O metrô resolve uma série de questões da mobilidade urbana, mas deve ser implantado de uma forma consciente para não gerar impactos negativos capazes de prejudicar a saúde humana, como é o caso da poluição sonora.

Para tentar resolver toda problemática que gira em torno dos transportes deve-se trabalhar com um conceito de interdisciplinaridade e interdependência, pois soluções isoladas têm pouca influência, quanto que propostas complementares elaboradas a partir da aglutinação de diversas áreas que convergem para um mesmo propósito, podem alcançar níveis onde se vislumbra a existência do imprescindível desenvolvimento sustentável ou eco-desenvolvimento.

Acredita-se que ser cidadão é entender que não se está só no mundo, é saber respeitar o próximo e o meio ambiente, é constituir e ser constituído, é pertencer a uma sociedade de forma atuante e digna, é preservar o presente prevenindo-se contra um futuro impraticável, é ser realista e honesto, é, acima de tudo, amar a sua vida e a dos outros seres. Se cada um e cada instituição contribuir para a redução do ruído em seu ambiente, cada órgão do próprio corpo, assim como das demais pessoas ao seu redor, estarão sendo beneficiadas.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade**. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 13068: Ruídos interno e externo em carro metropolitano**. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. **NBR 14313: Barreiras acústicas para vias de tráfego - Características construtivas**. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. **NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro, 2000.
- ARAÚJO, José de Jesus. **Avaliação do impacto provocado pelo ruído de tráfego em vias arteriais**. 2006. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- AZEVEDO, Alberto Vieira. **Avaliação e controle do ruído industrial**. Rio de Janeiro: Manuais CNI, 1984.
- BARRIO, Isabel López; CARLES, Jose Luis; HERRANZ, Karmele. El estudio de los aspectos perceptivos en la acústica ambiental. **Revista de Acústica**, Madrid, v. XXXI, n° 3 e 4, 2000. p. 34-38, 3° e 4° Trimestres 2000, Número Especial.
- BENTO COELHO, J. L.; ALARCÃO, D. Noise mapping and noise abatement plans in large cities in Portugal. In: THE 2005 INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING – INTER-NOISE, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sobrac, 2005.
- BELOJEVIC, G.; JAKOVLJEVIC, B. Subjective reactions to traffic noise with regard to some personality traits. **Environment International**, v. 23, n. 2, 1997.
- BERANEK, Leo. **Acoustics**. Cambridge: Edition, 1993.
- BERTULANI, Carlos. Formato BIT. Disponível em: www.if.ufrj.br/teaching/fis2/ondas2/ouvido/ouvido.html. Acesso: 21 abr. 2006.
- BLUHM, Gosta; NORDLING, Emma. Health Effects of noise from Railway Traffic: The HEAT Study. In: THE 2005 INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING – INTER-NOISE, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sobrac, 2005.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 001, de 23 de janeiro de 1986. Cria a obrigatoriedade de realização de EIARIMA para o licenciamento de atividades poluidoras. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1986.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 001, de 08 de março de 1990. Estabelece padrões para a emissão de ruídos no território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1990a.

_____. Resolução nº 002, de 08 de março de 1990. Institui o programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora - Silêncio. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1990b.

BRASIL, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e das outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 set. 1981.

BRASIL, Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. Ministério do Trabalho - CLT. Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Segurança e Medicina do Trabalho - Atividades e Operações Insalubres, NR15, 12 de abril de 1988.

CÂMARA, G. *et al.* **Spring**: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>>. Acesso em 02 junho 2007.

CARNEIRO, Waldir de Arruda Miranda. **Perturbações Sonoras nas edificações urbanas** - Ruído em edifícios, Direitos de vizinhança, Responsabilidade do construtor, Indenizações – Doutrina, Jurisprudência e Legislação. 2. ed. São Paulo: Revista dos tribunais, 2002.

CARRIÓN, Antoni. **Diseño acústico de espacios arquitectónicos**. 1. ed. España: edicions UPC, 1998.

CEFTRU - CENTRO DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM TRANSPORTES. **Relatório Final do Metrô do Distrito Federal**. Brasília, 2004.

CETUR - CENTRE D'ETUDES DES TRANSPORTS URBAINS; SETRA – SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES. **Guide du Bruit des Transports Terrestres**. França: CETUR, 1980.

CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Tecnologia – Construção**. Disponível em: <www.metro.sp.gov.br/index.asp>. Acesso em: 20 jul. 2005.

CSTB – CENTRE SCIENTIFIQUE E TECHNIQUE DU BATIMENT. **L'outil des études acoustiques sur maquettes urbaines**. Centre des maquettes de Grenoble, CSTB.

CTS - COMPANHIA DE TRANSPORTE DE SALVADOR. **Metrô**. Disponível em: <www.metro.salvador.ba.gov.br/>. Acesso em: 08 abr. 2005.

COMPLAGE, Construções e Projetos S.A. **Barreiras acústicas**. Disponível em: <http://www.complage.com/> Acesso em: 28 abr. 2007.

CONDER – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA. **Fotos aéreas do município de Salvador: área continental, ilha de Maré e ilha dos Frades**. Ago. 1988. EX 27 – 036. Caminho: fotos 98 - faixa_27 - 2740027036jpg.

CONDER. **O que é Informis**. Disponível em:
<www.conder.ba.gov.br/geoprocessamento.htm> Acesso em: 23 nov. 2005.

CONDER INFORMS – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS URBANAS DO ESTADO DA BAHIA. **Mapas digitais**. Disponível em:
<www.informs.conder.ba.gov.br> Acesso em: 27 dez. 2006.

CONSETRA – Construções e Segurança do Trabalho LTDA. **Avaliação de ruído na faixa de influência do metrô de Salvador-Trecho Lapa/Pirajá**. Salvador, 2002. Não publicado.

COSTA, Alberto Paim da. **Avaliação de ruído de fundo ou ambiente em alguns pontos em SP**. São Paulo: Revista Veja São Paulo: Abril, ano 37, n. 29, p. 12-18, jun. 2004.

CREMONESI, J. Fernando. **Ruído Urbano, Uso e Ocupação do solo**. 1985. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

DAVIS, Mackenzie; CORNWELL, David. *Introduction to Environmental Engineering*. 2nd. ed. USA: McGraw-Hill, 1985.

DEL CARLO, Ualfrido. **Ruído Urbano**. São Paulo: Ed. Própria, 1979.

DGA - DIREÇÃO GERAL DO AMBIENTE; DGOTDU - DIREÇÃO GERAL DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DESENVOLVIMENTO URBANO. **Elaboração de mapas de ruído: Princípios orientadores**. Portugal, 2001a.

DGA - DIREÇÃO GERAL DO AMBIENTE. **Notas para Avaliação de Ruído em AIA e em Licenciamento**. Portugal, 2001b.

_____. **Recomendações para seleção de métodos de cálculos a utilizar na previsão de níveis sonoros**. Portugal, 2001c.

EVEREST, F. Alton. **The Master Handbook of Acoustics**. 2nd. Ed. USA: Synergy Group, 1994.

FERREIRA JUNIOR, Mário. **Saúde no Trabalho: Temas básicos para o profissional que cuida da saúde dos trabalhadores**. São Paulo: Roca, 2000.

FIELDS, J. M. Railway noise annoyance in Residential areas: Current findings and suggestions for future research. **Journal of Sound and Vibration**, Inglaterra, 1977.

FIGUEIREDO, Wellington C.; SANTOS, Valdízio. Modelos utilizados para a predição da qualidade do ar e da poluição sonora em estudos de transporte. **Revista do Centro de Estudos de Transporte e Meio Ambiente-CETRAMA**. Salvador, v. 01, n. 01, 2004. Semestral.

FREITAS, Ilce Marília D. P. **Metodologia para determinação da capacidade ambiental de vias urbanas: o caso das interseções semaforizadas**. 1990. 266 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.

GERB DO BRASIL – CONTROLE DE VIBRAÇÕES E ACÚSTICA LTDA. **Barreiras Acústicas: Delimitação dos trechos e dimensionamento.** São Paulo: CPTM, Consórcio VP5, 2003. Não publicado.

GERGES, Samir N.Y. **Ruído, Fundamentos y Control.** Florianópolis: Copyright, 1998.

GONÇALVES, Anastácio Pinto. **Análise do incômodo causado pelo ruído urbano em logradouros da cidade de Feira de Santana, Bahia.** 2003. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

GOOGLE EARTH. **Foto aérea.** 2006.

HAILEY, Arthur. **Automóvel.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1971.

HELLMAN, Hal. **Os transportes no mundo do futuro.** São Paulo: Cultrix, 1974.

HIGESA Engenharia LTDA. **EIA e RIMA para implantação do sistema integrado de transporte de Salvador-Metrô de Salvador.** Volume I (caracterização do empreendimento), Salvador, 1998. Não publicado.

IA-INSTITUTO DO AMBIENTE; MINISTÉRIO DAS CIDADES, ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E AMBIENTE. **Diretrizes para a Elaboração de Planos de Monitorização de Ruído de Infra-Estruturas Rodoviárias e Ferroviárias.** Portugal, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2000.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 04 de jul. 2005.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3095: Railway application-Acoustics-Measurement of noise emitted by railbound vehicles.** Suíça, 2005.

JOSSE, Robert. **La acústica en la construcción.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili S. A., 1975.

KANG, J; HUANG, J. Noise-mapping: accuracy and strategic application. In: THE 2005 INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING – INTER-NOISE, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sobrac, 2005.

KATAGIRI, A; MELO, C; VIEIRA, R; YAMASHITAM, Y. Análise do nível de ruído interno do metrô do Distrito Federal. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE-ANPET, XVII., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPET, 2003.

KURZEWEIL, L.G. Wheel/Rail noise: Means for control. **Journal of Sound and Vibration,** Inglaterra, 1983.

LAGE, Jacqueline de Toledo. Atenuação de ruídos e vibrações da Linha 5: Capão Redondo-Largo Treze. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA-SOBRAC, XX., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sobrac, 2002.

LOTZ, R. Railroad and Rail Transit Noise Sources. **Journal of Sound and Vibration**. Inglaterra, 1977.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito Ambiental Brasileiro**. 8. ed. São Paulo: Malheiros, 2000.

MANZANA, Antonio Calvo (Coord.). **El ruido en la ciudad, gestión y control**. Sociedad Española de Acustica, 1998.

MASCHKE, C. **Preventive medical limits for chronic traffic noise exposure**. *Acustic*, 1999.

MAXIT. **Barreiras acústicas**. Disponível em: <<http://www.maxit.pt/1497>> Acesso em: 28 abr. 2007.

MEDEIROS, Luana Bernardines. **Ruído: Efeitos extra-auditivos no corpo humano**. 1999. Monografia (Especialização em Audiologia Clínica) – Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica CEFAC.

METRÔ DF. **Curiosidades - Galeria de Fotos**. Disponível em: www.metro.df.gov.br. Acesso em: 10 jun. 2005.

MHU-MINISTÉRIO DA HABITAÇÃO E MEIO AMBIENTE; EBTU-EMPRESA BRASILEIRA DOS TRANSPORTES URBANOS. **Manual Operacional de Avaliação dos Impactos Ambientais de Projetos de Transportes Urbanos**. Brasília, 1988.

MOEHLER, Ulrich; GREVEN, Lou. Community Response to Railway and Road Traffic Noise: a Review on German Field Studies. In: THE 2005 INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING – INTER-NOISE, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sobrac, 2005.

MOEHLER, Ulrich; LIEPERT, M. Differences between railway and road traffic. **Journal of Sound and Vibration**. Suécia, v. 3, n. 231, p. 853-864, 2000.

MOTA, Suetônio. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

_____. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Acústica Técnica**. São Paulo: Editora Técnica, 1968.

NOTA, R.; BARELDS, R.; MAERCKE, D. **Harmonoise WP 3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning**. 2005. Disponível em: http://www.imagine-project.org/bestanden/D04_WP7_HAR7TR-041213-AEAT04.pdf. Acesso em: 05 mar. 2006

OHRSTROM, Evy *et al.* Effects of simultaneous exposure to noise from road and railway traffic. In: THE 2005 INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING – INTER-NOISE, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sobrac, 2005.

PAZOS, Daniel. **Avaliação do desempenho do método de raios para cálculo da perda por inserção de barreira acústica sobre piso refletor**. 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PMS-PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR; FMLF-FUNDAÇÃO MARIO LEAL FERREIRA. **Plano de diretrizes urbanísticas para áreas de influência das estações do metrô, Volume 1, Relatório final: Diagnóstico**. Salvador, 2001a. Não publicado.

_____. **Plano de diretrizes urbanísticas para áreas de influência das estações do metrô, Volume 2, Relatório final: Propostas**. Salvador, 2001b. Não publicado.

RELACUS. Empresa especializada na área de acústica. Apresenta textos sobre Acústica. Disponível em: <<http://geocities.com/relacus>>. Acesso em: 15 fev. 2005.

ROCHA, Alda. Ruído cancerígeno. Disponível em: <<http://www.omnicom.com.br/ocanal/saude.htm>>. Acesso em: 11 jul. 2002.

ROCHA, José Fernando (Coord.) **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROCHA, Julio Cezar. **Função Ambiental da cidade: Direito ao meio ambiente urbano ecologicamente equilibradamente**. São Paulo: Ed. Juarez, 1998.

SALVADOR. Lei municipal nº 3.377, de 23 de julho de 1984. Dispõe sobre o Ordenamento do Uso e da Ocupação do Solo no Município da Cidade do Salvador e dá outras providências (LOUOS).

_____. Lei municipal nº 5.354, de 28 de janeiro de 1998. Dispõe sobre sons urbanos, fixa níveis e horários em que será permitida sua emissão, cria licença para utilização sonora e dá outras providências.

_____. Lei municipal nº 5.502, de 08 de fevereiro de 1999. Estabelece restrições de uso e de ocupação para a área que indica e dá outras providências.

_____. Lei municipal nº 5.909, de 26 de janeiro de 2001. Modifica dispositivo da Lei nº 5.354/98.

SANCHIDRIÁN, César Diaz. **Propagacion del sonido al aire libre**. Madri: E.T.S. de Arquitectura - Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 2001.

SANTOS, Néri dos. **Condições Ambientais de Trabalho**. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/ergon/disciplinas/EPS5225/aula6.htm>. Acesso em: 27 jul. 2005.

SANTOS, Valdizio Soares dos. **Gestão da Poluição Sonora provocada pelo trânsito urbano no parque do Dique do Tororó utilizando ferramentas de GIS para tratamento da componente espacial**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia UFBA, Salvador.

SANTOS, Ubiratan (Coord.). **Ruído, Riscos e Prevenções**. 3. ed. São Paulo: Ed. Hucitec, 1999.

SCHOCHAT, Eliane; DIAS, Adriano; MOREIRA, Renata R. **Dois enfoques acerca da Perda Auditiva Induzida pelo Ruído (PAIR)**. In: LIMONGI, Suely C. O. Fonoaudiologia & Pesquisa. São Paulo: Lovise, 1998, v. IV.

SEPLAM-SECRETARIA MUNICIPAL DO PLANEJAMENTO, URBANISMO E MEIO AMBIENTE. **CD-room LOUOS**. 2004

SEPLAM-SECRETARIA MUNICIPAL DO PLANEJAMENTO, URBANISMO E MEIO AMBIENTE; FMLF-FUNDAÇÃO MÁRIO LEAL FERREIRA. **SALVADOR EM DADOS 2005**. Salvador: SEPLAM / FMLF, 2005. Anual.

SHEEHAN, Molly O'Meara. **Estado do mundo**. Brasil: Uma Editora, 1997.

SILVA, Pérides. **Acústica Arquitetônica & Condicionamento de Ar**. 4. ed. Belo Horizonte: EDTAL, 2002.

SOMAX, Ambiental e Tecnologia. **Barreiras acústicas**. Disponível em: <http://www.somaxbrasil.com.br/acustica_produtos_barreiras.html> Acesso em: 05 dez. 2006.

SORENSEN, S. *et al.* Annoyance reactions due to railway noise. **Journal of Sound and Vibration**. Inglaterra, 1983.

SOUZA, Maria das Graças. **Ruído, Tráfego e Morfologia viária: “O caso de Salvador”**. 1991. 125 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia UFBA, Salvador.

SOUZA, M. G.; ANDRADE, T.; CRUZ, A. Ruído de tráfego em vias da Barra e Rio Vermelho na cidade do Salvador. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENCAC E CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÃO-COTEDI, VII e III, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2003.

SOUZA, Fernando Pimentel. **A Poluição Sonora ataca traiçoeiramente o corpo**. Belo Horizonte: Meio Ambiente em Diversos Enfoques – Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 1992.

SOUZA, Fernando Pimentel. Efeito do ruído no homem dormindo e acordado. **Revista Acústica e Vibrações**, n. 25, 2000.

_____. **Efeitos do ruído estressante**. Disponível em:
<[http://www.querosossego.hpg.ig.com.br/Efeitos do Ruido Estressante.doc](http://www.querosossego.hpg.ig.com.br/Efeitos_do_Ruido_Estressante.doc)>. Acesso em: 10 jul. 2002.

VOS, P.; BEUVING, M.; VERHEIJEN, E. **Harmonised accurate and reliable methods for the EU Directive o the assessment and management of environmental noise**: Final Technical report. 2005. Disponível em: http://www.imagine-project.org/bestanden/D04_WP7_HAR7TR-041213-AEAT04.pdf. Acesso em: 05 mar. 2006

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for community noise**. Geneva, 1999.

WITTING, L.E. Railway elevated structure noise: A review. **Journal of Sound and Vibration**. Inglaterra, 1983.

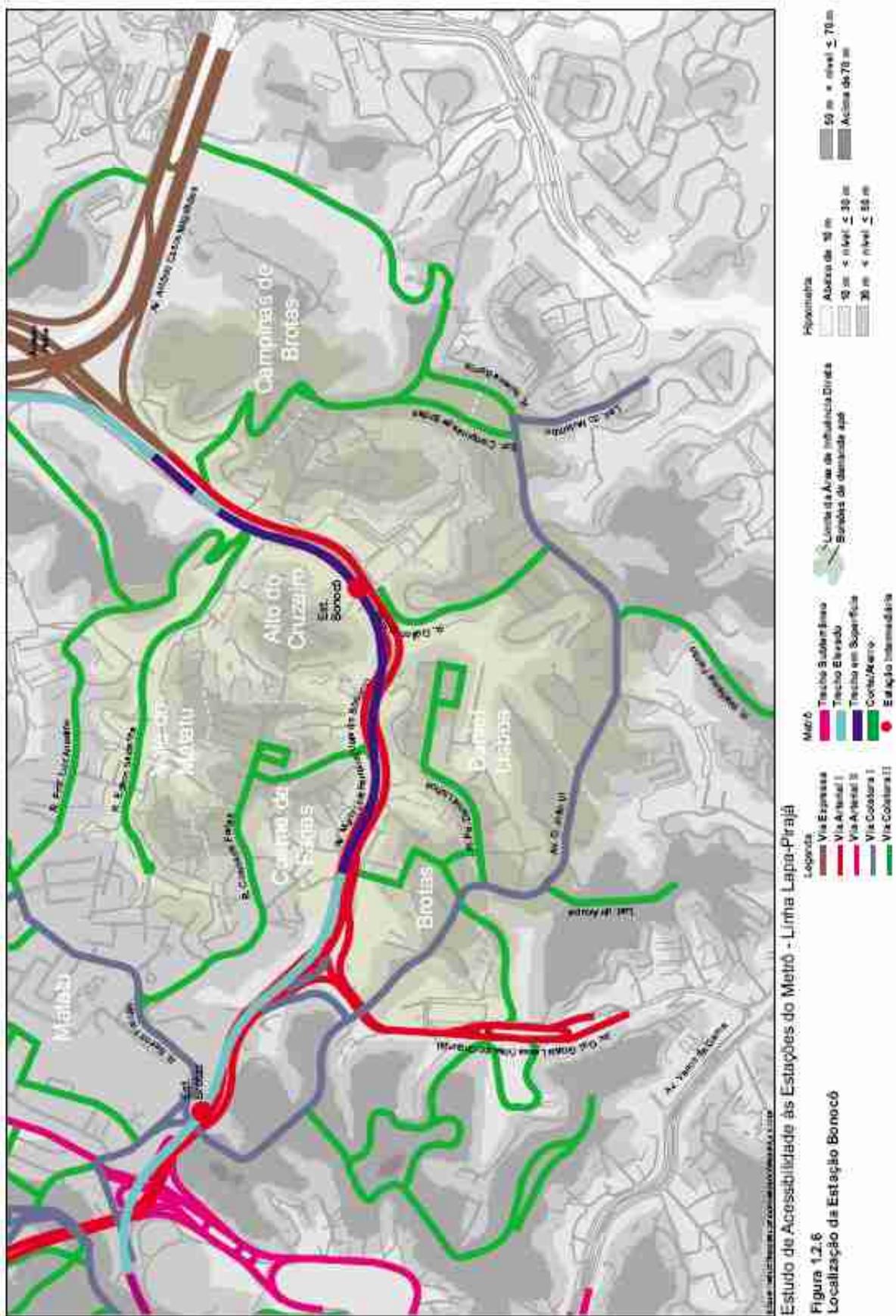
YOSHIDA, T. *et al.* Effects os road traffic noise on inhabitants of Tokyo. **Journal of Sound and Vibration**, v. 205, n. 4, 1997.

ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta *et al.* Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba. **Revista Saúde Pública**, Paraná, v.36, n.4, 2002.

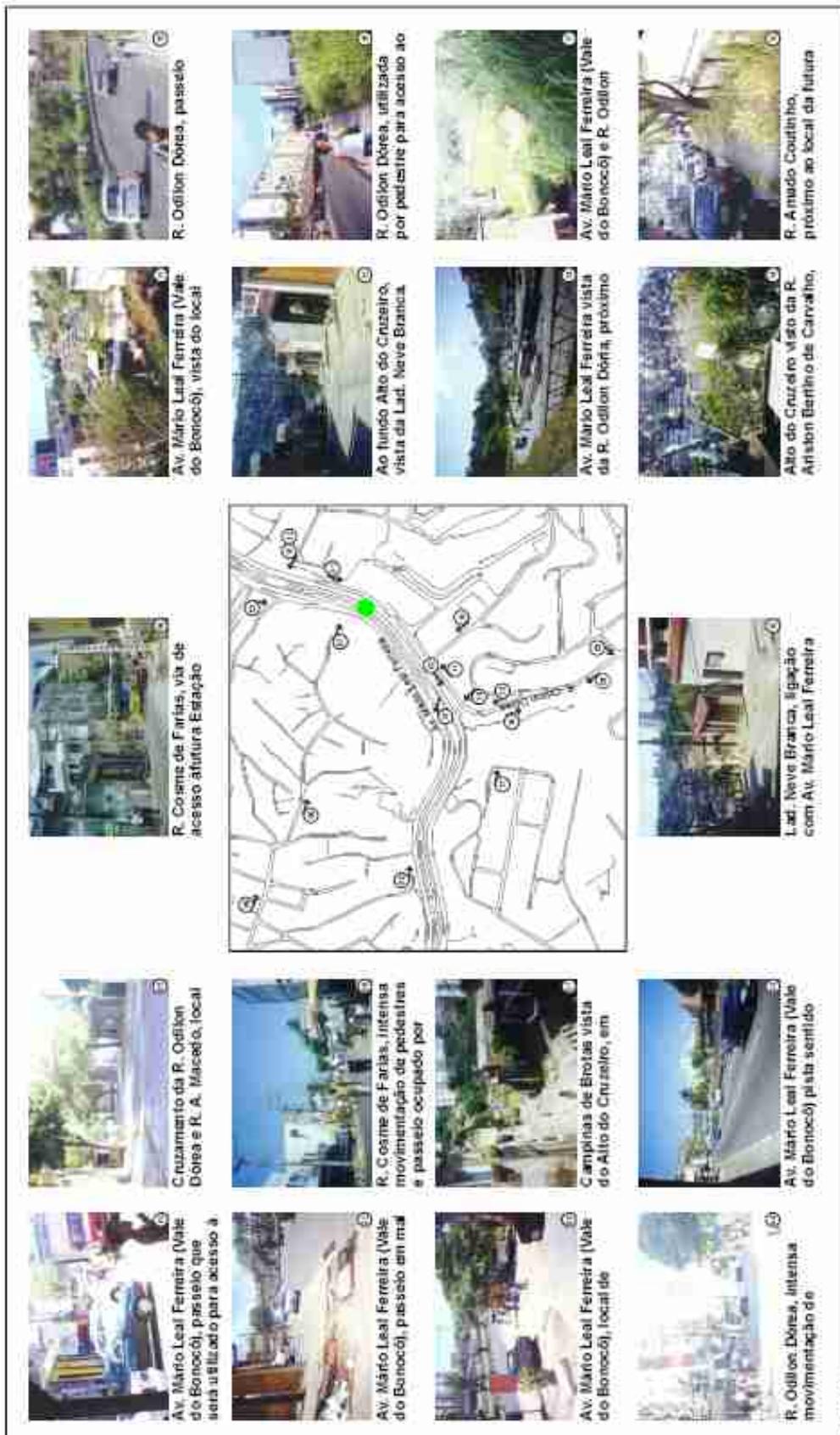
APÊNDICES

ANEXOS

ANEXO A – Contexto urbano da implantação da Estação Bonocô



ANEXO B – Documentação fotográfica das principais características da área de influência direta da estação Bonocô correlacionando com a acessibilidade



Fonte: Pólen 2020

Estudo de Acessibilidade às Estações do Metrô - Linha Lapa-Prinje

Documentação Fotográfica
Estação Bonocô

Legenda
● Estação Bonocô

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)