

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**INFLUÊNCIA DA FORMA URBANA EM AMBIENTE SONORO:
UM ESTUDO NO BAIRRO JARDINS EM ARACAJU (SE)**

ITALO CÉSAR MONTALVÃO GUEDES

Campinas

2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

INFLUÊNCIA DA FORMA URBANA EM AMBIENTE SONORO:
UM ESTUDO NO BAIRRO JARDINS EM ARACAJU (SE)

ITALO CÉSAR MONTALVÃO GUEDES

ORIENTADORA: PROF^a. DR^a. STELAMARIS ROLLA BERTOLI

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Edificações.

Campinas, SP

2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

G934i Guedes, Italo César Montalvão
Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE) / Italo César Montalvão Guedes.--Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Stelamaris Rolla Bertoli
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

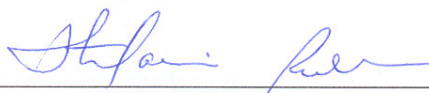
1. Poluição sonora. 2. Ruído urbano. 3. Trânsito - Ruído. 4. Planejamento urbano. 5. Simulação (computadores). I. Bertoli, Stelamaris Rolla. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

INFLUÊNCIA DA FORMA URBANA EM AMBIENTE SONORO:
UM ESTUDO NO BAIRRO JARDINS EM ARACAJU (SE)

ITALO CÉSAR MONTALVÃO GUEDES

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof^a. Dr^a. Stelamaris Rolla Bertoli
Presidente e Orientadora/FEC-UNICAMP



Prof^a Dr^a. Doris C. C. K. Kowaltowski
FEC-UNICAMP



Prof^o Dr^o- Ing. Paulo Henrique Trombetta Zannin
UFPR

Campinas, 26 de agosto de 2005.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, fonte de conforto e de iluminação.

Meus agradecimentos, também, àquelas pessoas que depositaram credibilidade ao trabalho de pesquisa, subsidiando desde a etapa da coleta de dados até a elaboração final desta dissertação. São algumas delas que contribuíram com dedicação e competência.

Prof^ª. Dr^ª. Stelamaris Rolla Bertoli pelas sugestões, orientação teórico-metodológica, levando-me a entender o sentido da pesquisa acadêmica e, sobretudo, pela presença amiga neste percurso.

Funcionários, professores da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), de modo especial aos que fazem parte da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e do Departamento de Arquitetura e Construção.

Integrantes do Laboratório de Conforto Ambiental e Física - UNICAMP, Daniel e Obadias, pelo suporte técnico.

Pesquisadores do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com ênfase, ao Prof. Dr.-Ing. Paulo Henrique Trombetta Zannin, pela importante participação na fase de simulações acústicas.

David Queiroz de Sant'ana e Fabiano Belisário Diniz pela elucidação das dúvidas no uso do *software SoundPLAN 6.0*.

Funcionários de Órgãos da Prefeitura de Aracaju (SE), a exemplo da Empresa Municipal de Obras Urbanas (EMURB), da Empresa de Serviços Urbanos (EMSURB), da Secretaria Municipal de Planejamento de Aracaju (SEPLAN), por contribuírem com imagens, legislações locais e outras informações referentes ao bairro Jardins e ao município de Aracaju (SE).

Síndicos e moradores dos condomínios estudados por liberarem os espaços internos dos seus condomínios, viabilizando a realização das medições acústicas.

Mayumi e Quitéria pela ajuda na etapa de coleta de dados.

Rivalda que, mesmo estando fisicamente distante, sempre esteve ao meu lado em todos os momentos.

Meus familiares pelo apoio incondicional em mais uma etapa da minha vida.

Demais amigos e colegas que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Agradeço, ainda, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

Sumário

Agradecimentos	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xiv
Resumo	xv
Abstract.....	xvi
Capítulo 1. Introdução	1
1.1 Considerações Sobre o Tema.....	1
1.2 Objetivos da Dissertação	4
Capítulo 2. Ruído Ambiental.....	5
2.1 Introdução	5
2.2 O Ruído Urbano e a Poluição Sonora.....	6
2.3 Classificação das Fontes Sonoras (Ruído).....	9
2.4 Tipos de Fontes de Ruído Urbano	10
2.5 Propagação Sonora ao Ar Livre.....	15
2.6 Influência da Forma Urbana em Ambiente Sonoro	22
Capítulo 3. Avaliação de Ruído Ambiental.....	29
3.1 Introdução	29
3.2 Medição de Ruído.....	30
3.3 Legislação de Ruído Ambiental.....	37
3.4 Normas de Ruído Ambiental	39
3.5 Ferramentas para Avaliação de Ruído Ambiental	41

Capítulo 4. Metodologia da Pesquisa	53
4.1 Introdução	53
4.2 A Cidade de Aracaju (SE)	54
4.3 Região em Estudo: O Bairro Jardins – Aracaju (SE)	55
4.4 Materiais e Método	57
4.5 Modelagem e Simulações Acústicas.....	69
Capítulo 5. Resultados e Discussões	75
5.1 Introdução	75
5.2 Estudo de CASO 1: Cenário Acústico Atual	76
5.3 Estudo de CASO 2: Cenário Acústico Atual Sem Muros	86
5.4 Estudo de CASO 3: Cenários Hipotéticos do Setor 2 (CASO 3a, 3b, 3c).....	99
Capítulo 6. Conclusões	105
Capítulo 7. Referências.....	109
Anexo – A: Norma Alemã RLS - 90	117
Anexo – B: Um Pouco da História de Aracaju (SE)	121
Anexo – C: Mapa da Divisão dos Bairros de Aracaju (SE)	123
Apêndice – A: Comparação entre valores medidos e calculados de LAeq (dB) por ponto de medição.....	124

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Relação entre porcentagens de pessoas altamente incomodadas e valores de Ldn referentes aos tráfegos: aéreo, ferroviário e rodoviário. Fonte: Adaptado da Brüel & Kjær, 2000.	12
Figura 2.2 – Histórico temporal típico do ruído de tráfego em centros urbanos. Fonte: HASSAL e ZAVERI, 1979 apud OUIS, 2001.	13
Figura 2.3 – Histórico temporal típico do ruído de tráfego em rodovias. Fonte: HASSAL e ZAVERI, 1979 apud OUIS, 2001.	13
Figura 2.4 – Representação de alguns dos principais mecanismos de propagação sonora. Fonte: Adaptado de Beranek e Vér (1992).	15
Figura 2.5 – Efeito da difração sonora devido à: (a) borda de uma parede, (b) fenda na parede com dimensões menores do que o comprimento de onda e (c) fenda na parede com dimensões comparáveis ao comprimento de onda. Fonte: Adaptado de Hassal e Zaveri (1979).	17
Figura 2.6 – Barreira acústica. Fonte: GERGES, 2000.	19
Figura 2.7 – Desempenho de edifícios como barreiras acústicas (plano de massas). Fonte: NIEMEYER e SLAMA, 1998.	19
Figura 2.8 – Parcelas de som direto e refletido. Fonte: Adaptado de Kotzen e English (1999). ..	20
Figura 2.9 – Variação do caminho das ondas acústicas devido ao efeito do vento. Fonte: GERGES, 2000.	21
Figura 2.10 – Variação do caminho das ondas acústicas devido ao efeito de aumento da temperatura com a altura. Fonte: GERGES, 2000.	22
Figura 2.11 – Variação do caminho das ondas acústicas devido ao efeito de diminuição da temperatura com a altura. Fonte: GERGES, 2000.	22
Figura 2.12 – Espaços acústicos: (a) aberto e (b) fechado. Fonte: Adaptado de Niemeyer e Santos (2001).	23

Figura 2.13 – Representação: (a) da via e (b) da rua. Fonte: Adaptado de Niemeyer e Santos (2001).	24
Figura 2.14 – Representação: (a) da rua em perfil “U” e (b) da rua em perfil “L”. Fonte: Adaptado de Niemeyer e Santos (2001).	25
Figura 2.15 – Perfis de ruas analisados na cidade de Bucareste (Romênia). Fonte: HINCU, 2003.	26
Figura 2.16 – (a) Quadra mais exposta ao ruído de tráfego e (b) quadra menos exposta ao ruído de tráfego. Fonte: Adaptado de Niemeyer e Santos (2001).	27
Figura 2.17 – (a) Maior permeabilidade ao ruído da via de tráfego (b) menor permeabilidade ao ruído da via de tráfego. Fonte: Adaptado de Prinz (1980).	27
Figura 3.1 – Níveis de pressão sonora comuns em ambientes externos e internos. Fonte: Adaptado de Brüel & Kjær (2000).	31
Figura 3.2 – Gráfico para adição de dois níveis sonoros. Fonte: GERGES, 2000.	33
Figura 3.3 – Circuitos de compensação A, B, C e D. Fonte: GERGES, 2000.	34
Figura 3.4 – Mapa acústico de uma determinada região na cidade de Göteborg (Suécia) obtida por meio de medições e predição acústica. Fonte: THORSSON; ÖGREN e KROPP, 2004.	42
Figura 4.1 – Localização do município de Aracaju em relação ao estado de Sergipe.	54
Figura 4.2 – (a) Localização da área em estudo do bairro Jardins, (b) modelo 3D da área estudada (Vista Sudoeste).	55
Figura 4.3 – Ortofotocarta da região em estudo no bairro Jardins. Fonte: Adaptado de Aracaju (2004).	58
Figura 4.4 – Foto 1: 1º trecho da Av. Dep. Sílvio Teixeira (março, 2005).	59
Figura 4.5 – Foto 2: cruzamento entre as avenidas estudadas (março, 2005).	59
Figura 4.6 – Foto 3: 2º trecho da Av. Dep. Sílvio Teixeira (março, 2005).	60
Figura 4.7 – Foto 4: ponto localizado na Av. Pedro Valadares (fevereiro, 2005).	60
Figura 4.8 – Foto 5: ponto localizado na Av. Min. Geraldo B. Sobral (fevereiro, 2005).	61

Figura 4.9 – Foto 6: ponto localizado na Alameda “B” (fevereiro, 2005).	61
Figura 4.10 – Foto 7: ponto localizado na Rua “A” (março, 2005).	61
Figura 4.11 – Planta-baixa da região do bairro Jardins (destaque: identificação das edificações e dos 19 pontos de medição acústica).	63
Figura 4.12 – Detalhe do posicionamento do medidor de nível de pressão sonora defronte às fachadas frontais dos edifícios: (a) bloco B – Ed.(16) do Cd. Jardim Imperial, (b) bloco A – Ed. (17) do Cd. Jardim Imperial, (c) bloco B – Ed. (65) do Cd. Delphinos (fevereiro e março, 2005).	65
Figura 4.13 – Medidor de nível de pressão sonora da Brüel & Kjær. Fonte: http://www.bksv.com/tbdoc/3239/2238_Mediator.pdf . Acesso em 15 de julho de 2005.	67
Figura 4.14 – Visão 3D <i>wireframe</i> do modelo geométrico final da região em estudo no bairro Jardins (2005), extraída da interface do <i>SoundPLAN</i> 6.0.....	70
Figura 5.1 – Cenário acústico atual da região em estudo	76
Figura 5.2 – Cenário acústico atual sem muros.....	86
Figura 5.3 – Cenário acústico atual sem muros (detalhe do setor 1).....	88
Figura 5.4 – Detalhe do setor 1: localização dos edifícios analisados: 14, 15, 16, 17, 63, 64, 66, 67, 68 e 69	88
Figura 5.5 – Fotos dos edifícios: (a) 14, 15, 16, 17, (b) 66, 67, 68 e 69, (c) 63 e 64 e (d) foto do conjunto desses edifícios no trecho analisado (março, 2005).	89
Figura 5.6 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros nas fachadas frontais dos edifícios: 14, 15, 16 e 17.	90
Figura 5.7 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros nas fachadas frontais dos edifícios: 63, 64, 66, 67, 68 e 69.	92
Figura 5.8 – (a) Gráfico com os valores dos níveis sonoros na fachada frontal do edifício 30 e (b) foto do edifício 30 (março, 2005).....	94
Figura 5.9 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal e de fundo do edifício17.	95

Figura 5.10 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal e de fundo do edifício 66.	96
Figura 5.11 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal do edifício 5, com e sem muros.	97
Figura 5.12 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal do edifício 61, com e sem muros.	98
Figura 5.13 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal do edifício 15, com e sem muros.	98
Figura 5.14 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal do edifício 16, com e sem muros.	98
Figura 5.15 – (a) Planta-baixa do CASO 3a e (b) modelo 3D do CASO 3a (Vista Sudeste).....	100
Figura 5.16 – (a) Planta-baixa do CASO 3b e (b) modelo 3D do CASO 3b (Vista Sudeste).	100
Figura 5.17 – (a) Planta-baixa do CASO 3c e (b) modelo 3D do CASO 3c (Vista Sudeste).....	101
Figura 5.18 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada NE do edifício 41 (CASO 3a, CASO 3b, CASO 3c e Cenário atual)	101
Figura 5.19 – Mapas acústicos dos: (a) Cenário atual, (b) CASO3a, (c) CASO3b, (d) CASO3c.	103
Figura 5.20 – Seções verticais do campo acústico dos: (a) Cenário atual, (b) CASO 3a, (c) CASO 3b, (d) CASO3c	104
Figura B.1 – Projeto urbanístico com traçado de ruas em linha reta, formando quarteirões simétricos. Fonte: SILVA, 2003.....	121
Figura B.2 – Fotografia do bairro Jardins no ano de 2000. Fonte: SILVA, 2003.....	122
Figura C.1 – Mapa da divisão dos bairros de Aracaju (SE).	123
Figura A.1 – Gráfico comparativo dos valores medidos e calculados para LAeq (12:00h às 13:00h).....	124
Figura A.2 – Gráfico comparativo dos valores medidos e calculados para LAeq (18:00h às 19:00h).....	125

Figura A.3 – Gráfico comparativo dos valores medidos e calculados de LAeq para os pontos internos aos condomínios selecionados (12:00h às 13:00h)..... 125

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos. Fonte: NBR 10.151 (2000).	40
Tabela 4.1 – Caracterização do entorno urbano dos setores estudados.....	59
Tabela 4.2 – Identificação das principais edificações da região em estudo.	63
Tabela 4.3 – Resumo dos dados de tráfego inseridos no <i>SoundPLAN</i> 6.0.....	71
Tabela 5.1 – Campo acústico das seções verticais ao longo das avenidas: Dep. Sílvio Teixeira, Min. Geraldo B. Sobral e Pedro Valadares.	80
Tabela 5.2 – Comparação dos níveis sonoros nas fachadas frontais dos edifícios: 14, 15, 16 e 17.	90
Tabela 5.3 – Comparação dos níveis sonoros nas fachadas frontais dos edifícios: 63, 64, 66, 67, 68 e 69.	92
Tabela A.1 – Correção devido à superfície da rua	118

Resumo

GUEDES, Italo César Montalvão. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE)**. 2005. 126p. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

A poluição sonora ambiental, resultante da combinação de diversas fontes sonoras, como, alarmes, sirenes, atividades comerciais e serviços, templos religiosos, indústrias, obras de construção civil e o trânsito de veículos automotores, tem elevado o nível de ruído urbano e contribuído para o surgimento de ambientes sonoros cada vez mais desagradáveis. Atualmente, tem sido considerada como um dos problemas ambientais mais comuns, degradando o meio ambiente e comprometendo a qualidade de vida. As avaliações de ruído ambiental por meio de mapeamento e predição acústica podem ser úteis na medida em que permitem visualizar e quantificar o ruído ambiental, contribuindo para um planejamento adequado do ambiente sonoro urbano. O objetivo principal deste trabalho foi verificar de que maneira a interação entre fontes sonoras e a forma urbana exerce influência em determinado ambiente sonoro, utilizando o bairro Jardins em Aracaju (SE) como campo experimental. Foi proposto um estudo baseado na aplicação de um software para mapeamento e predição acústica em que se analisou, primeiramente, o cenário acústico atual e, em seguida, os cenários hipotéticos criados e simulados em setores ainda não ocupados da região. Na modelagem e simulações acústicas, considerou-se o tráfego de veículos nas avenidas locais como principal fonte de ruído. Para sua realização foram utilizados dados acústicos, de tráfego e características geométricas da região, levantados durante o início do primeiro semestre de 2005. Os resultados mostraram que as características físicas da forma urbana como densidade construtiva, existência de áreas livres, forma e disposição das edificações influenciam na propagação sonora ao ar livre e, portanto, no ambiente sonoro de uma determinada região. As informações apresentadas nesse trabalho poderão servir como subsídios ao planejamento e desenho das cidades no que se refere ao conforto acústico.

Palavras-chave: Ruído Urbano; Ruído de Tráfego; Planejamento e Desenho Urbano; Predição Acústica.

Abstract

GUEDES, Italo César Montalvão. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE)**. 2005. 126p. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

Environmental noise pollution resulting from the combination of various noise sources, such as, alarms, sirens, commercial activities and services, religious temples, industries, civil engineering works and the traffic of automobile vehicles, have increased the level of urban noise and contributed to the appearance of sound environments that are more and more unpleasant. At present it has been considered as one of the most common environmental problem by degrading the environment and impairing the quality of life. The evaluations of environmental noise by acoustic mapping and prediction may be useful to the extent that they may allow for a visualization and quantification of environmental noise, thus contributing for a suitable planning of urban sound environment. The main objective of this study is to verify in what way the interaction between the noise sources and the urban form exert their influence on a certain sound environment by using the district of Jardins in the city of Aracaju (Sergipe) as an experimental field. A study was proposed based on the application of software for acoustic mapping and prediction. At first, the current acoustic scenery was analyzed and then, the hypothetical sceneries created and simulated in places not yet occupied in the area. In the acoustic modeling and simulation, local avenue vehicle traffic was considered as the main noise source by using traffic acoustic data and geometrical features of the area, as surveyed during the first semester of 2005. The results show that the physical features of urban form, such as building density, existence of open areas, form and disposition of buildings, influence the sound propagation in open air and therefore, in the sound environment of a certain area. The information presented in this work may be used in the planning and designing of cities regarding acoustic comfort.

Keywords: Urban Noise; Traffic Noise; Urban Planning and Design; Acoustic Prediction

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Sobre o Tema

A preocupação com a acústica não está relacionada apenas ao seu desempenho em ambientes internos, mas também, ao controle de ruído e preservação da qualidade no meio ambiente.

O ruído tem sido um grande problema ao homem desde a Antiguidade. Por exemplo, na Roma Antiga já existiam regulamentos para o ruído proveniente do contato entre as rodas das carroças e as pedras do calçamento, que geravam incômodos à população. Na Europa Medieval, algumas cidades proibiam durante a noite o uso de carruagens e circulação de pessoas a cavalo, funcionando assim, como medidas para garantir tranqüilidade aos seus habitantes (BERGLUND, LINDVALL e SCHWELA, 1999).

No entanto, os problemas de ruído nesses períodos se mostram insignificantes ao serem comparados com os existentes nas sociedades de hoje, quando a acústica urbana passa a assumir papel de destaque em vista do rápido processo de urbanização e conseqüente aumento do número de fontes sonoras.

A combinação de diversas fontes sonoras, tais como, alarmes, sirenes, atividades comerciais e serviços, templos religiosos, indústrias, obras de construção civil, e o trânsito de veículos automotores, tem elevado o nível de ruído urbano e contribuído para o aparecimento de

ambientes sonoros cada vez mais desagradáveis. Atualmente, a *World Health Organization*¹ (WHO) considera a poluição sonora como um dos problemas ambientais que atinge ao maior número de pessoas no planeta depois da poluição do ar e da água.

Cvetković e Prašcević (2000) comentam que tal problema tem-se mostrado de difícil controle diante da existência de uma grande variedade de fontes sonoras, dos diferentes métodos de obtenção de informações relativas à exposição ao ruído e dos diversos indicadores de avaliação.

Sabe-se, ainda, que as exposições ao ruído são responsáveis por muitos fatores de risco à saúde física e mental no homem, como, perda temporária ou permanente da audição, prejuízo ao sono, estresse, irritabilidade, etc.

Daí a necessidade em realizar estudos sobre a poluição sonora e suas conseqüências no ambiente e no homem, desde trabalhos que visam quantificar os diversos efeitos do ruído nas pessoas, como também, àqueles interessados em caracterizar, acusticamente, uma dada região, por meio de ferramentas, tais como, o mapeamento e a predição acústica. Tais ferramentas têm sido bastante utilizadas, pois fornecem informações do ruído ambiental para o planejamento urbano, permitindo o acompanhamento e previsões da evolução de ambientes sonoros, que segundo alguns estudos sofrem influências diante da densidade construtiva e da forma das edificações, enfim, da configuração do espaço urbano.

Em Aracaju (SE), no início dos anos de 1990, grupos de empresários locais deram início ao projeto de implantação de um novo *Shopping Center*² para a cidade, com o interesse de valorizar algumas de suas propriedades (vazios urbanos). O projeto abrangia, também, a criação de um bairro situado na zona sul da cidade, a três quilômetros do Centro Histórico, que enalteceria os espaços privados tipo condomínios fechados como condição ideal de morada e apresentaria nos seus espaços públicos, praças, calçadões, ciclovias, bulevares, dentre outros.

¹ Organização Mundial da Saúde (OMS).

² Em 1997, a empresa Nordeste Construções Ltda (NORCON), em parceria com a Decide Imobiliária Ltda, inaugurou o *Shopping Center Jardins*, sendo o ponto de partida para consolidação das obras que deram origem ao mais novo bairro da cidade, o Jardins (SILVA, 2003).

O bairro Jardins apresenta-se hoje como um núcleo urbano verticalizado, onde surgirá em médio prazo, outro subcentro, dada à alta densidade de população e de renda (FRANÇA, 1999). Passados poucos anos do início de sua implantação, podem ser observados em alguns pontos do bairro, os primeiros sinais de possíveis problemas urbanos relacionados, por exemplo, ao uso e ocupação do solo, a inexistência de áreas verdes projetadas, ao subdimensionamento de vias para veículos e passeios para pedestres, e ao rápido processo de verticalização, o que torna pertinente a problematização da influência de alguns desses aspectos no conforto acústico dos ambientes construídos nesse contexto urbano. Deste modo, questiona-se em que medida a interação entre fontes sonoras e a forma urbana influencia o ambiente sonoro dessa região.

Esta dissertação, portanto, concentra sua atenção no estudo da influência da forma urbana em ambiente sonoro, utilizando-se uma área no bairro Jardins como campo experimental. O estudo foi desenvolvido com base em simulações acústicas realizadas através do *software* para mapeamento e predição acústica - *SoundPLAN* versão 6.0.

No decorrer do trabalho, é realizada uma revisão bibliográfica (**Capítulos 2 e 3**), abordando-se vários aspectos do ruído ambiental, como: o ruído urbano e a poluição sonora, os diferentes tipos e classificação de fontes sonoras (ruído), a propagação sonora ao ar livre e a influência da forma urbana em ambiente sonoro. Comentam-se, também, alguns conceitos e descritores acústicos, normas e legislação, além de ferramentas para avaliação de ruído, tais como, o mapeamento acústico e em especial, a predição acústica, quando se faz uma revisão de modelos e *softwares* comerciais direcionados para tal fim.

No **Capítulo 4**, dedicado à metodologia da pesquisa, apresenta-se e contextualiza-se o ambiente em análise, além de serem descritos o método e os materiais utilizados para o desenvolvimento do trabalho e alcance do objetivo principal estabelecido.

No **Capítulo 5**, são apresentados e discutidos os resultados referentes à influência da forma urbana em ambiente sonoro após a realização das simulações acústicas.

Por fim, no **Capítulo 6**, são mostrados os aspectos observados no capítulo anterior quanto à influência da forma urbana no ambiente sonoro da região estudada, podendo servir como

subsídios ao planejamento e desenho das cidades no que se refere ao conforto acústico. Ainda nesse capítulo, são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

1.2 Objetivos da Dissertação

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar de que maneira a interação entre fontes sonoras e a forma urbana exerce influência em determinado ambiente sonoro, utilizando o bairro Jardins em Aracaju (SE) como campo experimental.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar principais fontes sonoras do bairro Jardins e identificar quais fontes são mais determinantes do ambiente sonoro local.
- Estudar a distribuição dos níveis de pressão sonora no entorno urbano, utilizando-se resultados de medições *in loco* e *software* para mapeamento e predição acústica – *SoundPLAN*, versão 6.0.
- Identificar principais influências das características físicas da forma urbana, tais como: larguras das vias, densidade construtiva, forma e distribuição espacial dos edifícios, no ambiente sonoro da região em estudo, com base em simulações acústicas.
- Apresentar os aspectos observados referentes à influência da forma urbana no ambiente sonoro da região estudada, podendo servir como subsídios ao planejamento urbano e desenho das cidades.

CAPÍTULO 2

RUÍDO AMBIENTAL

2.1 Introdução

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define o ruído como todo som indesejado que possa afetar, nocivamente, a saúde e o bem-estar de indivíduos ou de populações (BERGLUND, LINDVALL e SCHWELA, 1999). Do ponto de vista do fenômeno físico, o som consiste em flutuações de pressão num meio elástico ou mecânico, por exemplo, a água, o ar ou o aço, propagando-se em forma de ondas acústicas. No entanto, nem todas as flutuações de pressão, que atingem ao ouvido humano, despertam sensações auditivas. A sensação de som somente ocorrerá para determinados valores de amplitude de pressão e de frequência.

O ruído ambiental é o resultado da combinação do ruído de todas as fontes sonoras presentes em determinado ambiente. Neste trabalho, o estudo se volta para o ruído em ambientes urbanos onde, comumente, são encontradas inúmeras fontes, quais sejam: tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, indústrias, construção civil, ruído de vizinhança (restaurantes, discotecas, academias, templos religiosos), propiciando ambientes sonoros cada vez mais desagradáveis, prejuízos à saúde e interferência na qualidade de vida.

No presente capítulo será abordado o ruído urbano, destacando a poluição sonora, os diferentes tipos e classificação de fontes de ruído, a propagação sonora ao ar livre e ainda a influência da forma urbana em ambientes sonoros.

2.2 O Ruído Urbano e a Poluição Sonora

Com o rápido processo de urbanização, a população passou a ser alvo de suas principais conseqüências, por exemplo, da degradação do meio ambiente e decorrente comprometimento da qualidade de vida (BARROS, 2000).

Sabe-se que o ruído excessivo consiste numa das mais significativas fontes perturbadoras do meio urbano, principalmente, nos centros das grandes cidades. A combinação de diversas fontes sonoras existentes nesses ambientes, como: alarmes, sirenes, atividades comerciais e serviços, templos religiosos, indústrias, obras de construção civil e o trânsito de veículos automotores tem elevado o nível de ruído urbano e contribuído para o surgimento de ambientes sonoros cada vez mais desagradáveis, interferindo na realização de atividades, quer seja o estudo, o trabalho, o lazer ou ainda o descanso.

Nesse contexto, vários estudos realizados recentemente (SUÁREZ e PERES, 1998, DIAZ et al., 1998; SATO et al., 1999; SOMMERHOFF, RECUERO e SUÁREZ, 2004) indicam o ruído do tráfego de veículos automotores como o principal responsável pelos altos níveis de poluição sonora em áreas urbanas devido ao crescente número de veículos em circulação nas ruas e avenidas (ARRUDA et al., 2000).

Arruda et al. (2000) consideram ainda como fator contribuinte para o avanço da poluição sonora, as atividades ruidosas (Ex: Indústrias), que no passado se realizavam em regiões mais afastadas por conta dos seus incômodos e aos poucos foram sendo incorporadas ao perímetro urbano diante do rápido avanço dos limites das cidades.

Pesquisas têm constatado também que o nível sonoro urbano sofre variações diante da densidade construtiva e da forma das edificações, ou seja, da configuração espacial do ambiente urbano. Como exemplos desses estudos estão os desenvolvidos por Niemeyer e Slama (1998), Niemeyer e Santos (2001), Loura e Valadares (2003), além da pesquisa realizada por Hincu (2003), que em especial estudou a interferência de diversos parâmetros, tais como, altura de edifícios, distância entre fachadas, presença de zonas verdes, composição do fluxo de veículos, no nível de ruído gerado pelo tráfego veicular urbano, utilizando-se método computacional, o que será abordado com maiores detalhes no decorrer dessa dissertação.

Assim, os problemas ocasionados pelo ruído tornaram-se mais graves, diante da expansão das cidades, do volume do fluxo de veículos e também da densidade da malha urbana (MAIA e SATTLER, 2003). De acordo com a OMS, a poluição sonora consiste hoje, no tipo de poluição que atinge ao maior número de pessoas no planeta depois da poluição do ar e da água.

Uma prova dessa gravidade, são as numerosas queixas realizadas pela população aos órgãos municipais de controle ambiental, que em geral, representam 70% do total das reclamações nas grandes cidades (ROLLA, 1994; OLIVEIRA et al., 1999; BARROS, 2000).

De acordo com o documento da Comunidade Européia, denominado *Green Paper*³, 20% da população européia (cerca de 80 milhões de pessoas) estão expostas a níveis de ruído que causam perturbações ao sono, incômodos às pessoas e efeitos negativos na saúde humana. Ao lado disto, sabe-se que, aproximadamente, 170 milhões dos cidadãos europeus (42%) vivem em áreas onde os níveis de ruído provocam sérios incômodos durante o dia (CVETKOVIĆ e PRAŠČEVIĆ, 2000).

O problema da poluição sonora apresenta dimensões preocupantes em cidades de países em desenvolvimento nas quais são encontrados altos níveis de exposição sonora. As principais cidades da América Latina são alguns desses exemplos, as quais possuem no tráfego de veículos automotores a maior parcela de contribuição ao ruído ambiental (BERGLUND, LINDVALL e SCHWELA, 1999).

Uma outra informação importante diz respeito às emissões sonoras⁴, que a depender do seu tipo, podem ocasionar distúrbios à saúde das pessoas muitas vezes de difícil avaliação, pois, envolvem reações subjetivas das mesmas. Talvez por causa disso, os efeitos do ruído no homem têm sido alvo de constantes estudos (ROLLA, 1994).

Muitas pesquisas sobre esses efeitos atestam que o barulho excessivo é um dos principais geradores de fatores de risco à saúde física e mental no homem, ocasionando além da própria perda temporária ou permanente da audição, prejuízo ao sono, estresse, irritabilidade, neuroses,

³ *Future Noise Policy*, Green Paper, European Commission, Brussels.

⁴ Entende-se por emissão sonora a variação de pressão sonora gerada por uma determinada fonte sonora enquanto que imissão sonora consiste na pressão sonora que efetivamente chega ao sistema auditivo do receptor, considerando-se as perdas na transmissão entre a fonte e o receptor.

desconforto e, ainda, complicação nos sistemas circulatório e hormonal (BARROS, 2000; GERGES, 2000; OUIS, 2001).

Foi visto também que a poluição sonora pode afetar a concentração, aumentando os riscos de acidentes de trabalho e dificultando o aprendizado nos ambientes escolares. Portanto, pode interferir, diretamente, na comunicação verbal e relacionamento entre pessoas tanto no âmbito familiar quanto no profissional (KESSLER, 1982).

Por outro lado, alguns estudos mostram o quanto é difícil determinar esses efeitos. Cvetković e Praščević (2000) comentam que tal dificuldade se deve às diferentes tolerâncias das pessoas frente ao incômodo, aos variados tipos de fontes presentes no meio ambiente; aos diferentes métodos de obtenção das informações quanto à exposição ao ruído, e ainda, a existência dos diversos indicadores de avaliação do ruído. Esse conjunto de fatores permite dizer que o ruído é um poluente cujo controle se apresenta na maioria das vezes de maneira complexa.

Sabe-se que todo problema de ruído envolve um sistema de três elementos básicos: fonte sonora, caminho de transmissão, e receptor. Harris (1979) comenta que o seu controle poderá ser alcançado, atuando-se em cada um desses componentes ou através de combinações entre eles, sendo sempre importante considerar no processo, os aspectos econômicos e operacionais.

Berglund e Lindvall (1995) ressaltam que tal controle será sempre mais eficiente e menos dispendioso quando for planejado com certa antecedência, antes mesmo que o problema se desenvolva, evitando-se o uso de medidas para redução de ruído as quais, normalmente, se mostram bastante onerosas.

Oliveira et al. (1999) comentam que o controle da poluição sonora pode ser obtido por meio de duas estratégias: (i) medidas de coerção, as quais consistem no reforço dos dispositivos de controle de ruído nas situações em que a lei não foi cumprida; (ii) mecanismos de caráter preventivo, estabelecendo políticas que aprovem ou não a concentração de atividades em áreas já poluídas, avaliando-se os impactos dessas novas atividades antes de serem implantadas. Ainda destacam que essa última estratégia somente terá validade se for possível considerar a situação presente da poluição sonora no ambiente urbano como um todo.

Assim sendo, legislações internacionais e nacionais têm determinado limites de ruído para cada tipo de atividade a fim de garantir segurança e conforto das comunidades e com isso assegurar a saúde e o bem-estar da população (NAGEM, 2004).

Segundo Cvetković e Praščević (2000), embora existam diferenças entre programas de redução do nível de ruído em vários países, o aspecto comum neste campo inclui: o planejamento de novas zonas residencial e industrial, de estradas e de aeroportos; participação da população durante ou em etapas posteriores à fase de planejamento, através de reclamações e comentários, além da avaliação do nível de ruído de diferentes fontes segundo regulamentos e leis.

Na escala urbana, são necessárias ações que determinem critérios para a realização de atividades em determinadas regiões dentro de uma visão global da cidade. Daí a importância para a realização de um planejamento urbano eficaz e consciente que possa prever, particularmente, os impactos acústicos devido às alterações nas áreas urbanas, seja, no sistema viário, no uso e ocupação do solo ou na própria edificação e com isso estabelecer diretrizes para o desenvolvimento e organização dos espaços de uma cidade (MACEDO e SLAMA, 2000; NAGEM, 2004).

2.3 Classificação das Fontes Sonoras (Ruído)

As fontes sonoras ou de ruído podem ser classificadas como fixas (indústrias, discotecas, clubes, obras de construção civil) ou como fontes móveis que é o caso do tráfego de veículos (aviões, trens, ônibus, automóveis, motocicletas). Outra maneira de classificá-las seria com base em suas características geométricas, comparando suas dimensões com às do receptor e também com a distância entre fonte e receptor. Deste modo, as diversas fontes sonoras podem ser vistas como fontes pontuais, lineares ou de superfície (NIEMEYER e SLAMA; 1998).

Uma fonte pontual apresenta dimensões bem menores do que a sua distância ao receptor (ouvinte). Neste caso, a energia sonora se dissipa, esfericamente, de modo que o nível de pressão sonora é o mesmo para todos os pontos de mesma distância. Além disso, esse nível sofre uma redução de 6 decibels (dB) à medida que se duplica o afastamento entre a fonte e o ouvinte, desconsiderando as interferências devido ao solo e ao ar, ou seja, em situação de campo livre

(BRÜEL & KJÆR, 2000). Segundo essas condições, as indústrias, discotecas e áreas de lazer podem ser vistas como exemplos de fontes pontuais.

Já as fontes lineares se caracterizam por possuir uma de suas dimensões bem maior em relação à distância fonte - receptor. O som sofre dissipação de forma cilíndrica e o nível sonoro se apresenta, igualmente, para todos os pontos de mesma distância à linha de eixo da fonte. Nesta situação, o nível de pressão sonora decai de 3 dB a cada duplicação da distância entre o ouvinte e a fonte. Ressalta-se também, que para isso ocorrer, não devem existir interferências do solo e nem do ar. Assim, uma via de circulação de veículos pode ser modelada como uma fonte linear de grande comprimento (BRÜEL & KJÆR, 2000; NIEMEYER e SLAMA; 1998).

Por fim, uma fonte de superfície apresenta duas de suas dimensões comparáveis ao distanciamento entre a fonte e o receptor. A transmissão do ruído através de portas, janelas ou paredes de uma edificação representa, claramente, esse tipo de situação (GERGES, 2000).

Niemeyer e Slama (1998) comentam que essa forma de classificação se mostra um tanto flexível, dependendo, na maioria das vezes, do contexto em análise. Assim, não seria errado entender uma indústria como fonte de superfície dentro da dimensão de um bairro, e nem tampouco considerá-la como fonte pontual numa escala maior, por exemplo, a cidade.

2.4 Tipos de Fontes de Ruído Urbano

Conforme visto no item 2.2, uma grande variedade de fontes de ruído está presente no meio urbano, sendo o tráfego de veículos automotores apontado por muitas pesquisas nacionais e internacionais, como principal responsável pelos elevados níveis de poluição sonora.

Kessler (1982) comenta que as fontes de ruído podem ser agrupadas em quatro principais categorias, quais sejam: (i) transporte (aéreo, rodoviário e ferroviário); (ii) indústria; (iii) construção civil; (iv) doméstico.

Da mesma forma que outros autores, Kessler (1982) ressalta o transporte como a principal fonte de poluição sonora nas cidades por ser de caráter bastante difuso. Segundo ele, a qualidade sonora das áreas próximas a aeroportos, rodovias e estradas de ferro é, profundamente, degradada em vista do ruído emitido por essas fontes que, em geral, se apresenta de maneira transitória.

O ruído das indústrias, embora afete, relativamente, poucas pessoas, se faz presente na comunidade por um longo período de tempo. Quanto ao ruído proveniente das atividades da construção civil, Kessler (1982) considera, que mesmo se apresentando em altos níveis, este é na maioria das vezes aceito pelas pessoas por ser de curta duração. O autor ainda destaca os ruídos domésticos como àqueles gerados na própria residência, através do uso de aparelhos domésticos, tais como, ar condicionado, aspirador de pó, liquidificador, televisão, rádios, etc.

O documento *Guidelines for Community Noise* (BERGLUND, LINDVALL e SCHWELA, 1999) cita também os ruídos decorrentes do comércio e serviço, das atividades militares, assim como, das atividades de lazer, que particularmente no Brasil, por conta de suas características climáticas amenas em relação à maioria dos países europeus, são cada vez mais comuns, principalmente, durante os períodos noturnos (SATTLER e ROTT, 1994).

Segundo Berglund e Lindvall (1995), tradicionalmente, os estudos do ruído em comunidades têm focalizado apenas o ruído produzido por uma fonte específica, por exemplo, tráfego aéreo, rodoviário ou ferroviário. No entanto, alguns esforços têm sido feitos para a comparação entre as informações obtidas dessas diferentes fontes de ruído.

Nesse sentido, estudos concluíram que níveis sonoros equivalentes de diferentes tipos de fontes de ruído podem conduzir às variadas sensações de incômodo em grupos de pessoas expostas a essas emissões. Um exemplo disso encontra-se ilustrado na Figura 2.1, que apresenta um comparativo entre porcentagens de pessoas, altamente, incomodadas pelos tráfegos aéreo, rodoviário e ferroviário para iguais valores de nível sonoro médio dia-noite (L_{dn})⁵ (BERGLUND e LINDVALL, 1995; BRÜEL & KJÆR, 2000).

⁵ Consiste no nível de pressão sonora equivalente com uma penalidade de 10 dB para a exposição noturna (entre as 22:00h e 7:00h)

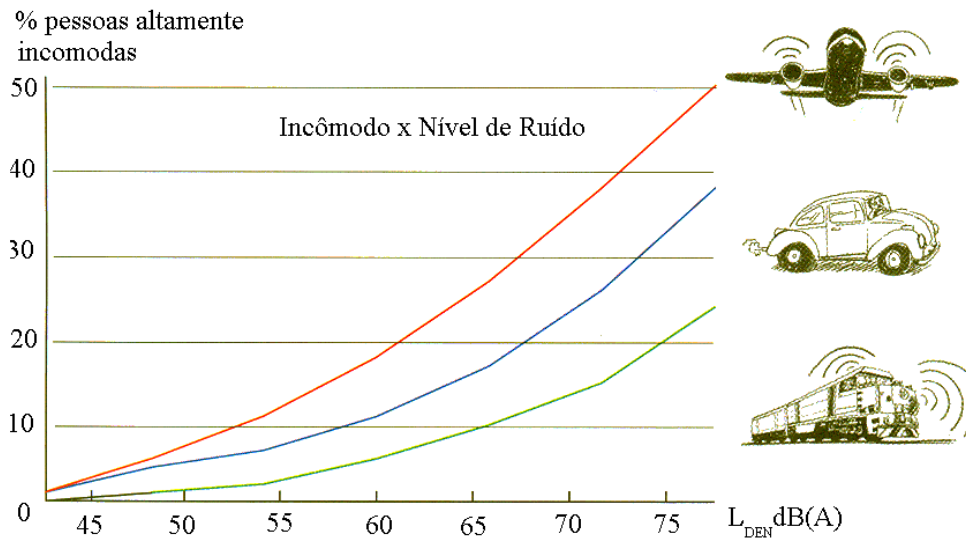


Figura 2.1 – Relação entre porcentagens de pessoas altamente incomodadas e valores de L_{dn} referentes aos tráfegos: aéreo, ferroviário e rodoviário. Fonte: Adaptado da Brüel & Kjær, 2000.

A Figura 2.1 mostra um maior incômodo ocasionado pelo ruído das aeronaves, seguido pelos veículos automotores e trens. Essa conclusão, possivelmente, indique que o nível de pressão sonora equivalente não seja o descritor mais adequado e nem reflita, completamente, as características desses ruídos.

Explicações alternativas para o resultado observado podem ser atribuídas a outros fatores não relacionados, propriamente, às características do ruído. Por exemplo, Berglund e Lindvall (1995) comentam que o receio ou o medo associado ao impacto sonoro de aeronaves em residências é capaz de influenciar na verdadeira sensação de incômodo nas pessoas.

2.4.1 O Ruído de Tráfego

O ruído do tráfego é resultado da combinação do ruído gerado por diferentes veículos, leves e pesados, deslocando-se em vias urbanas ou em rodovias. Pode apresentar dois componentes: o ruído devido à linha principal de veículos (linha de tráfego), que se comporta como fonte linear e o ruído gerado por cada veículo, assemelhando-se a uma fonte pontual (OUIS, 2001).

Em áreas urbanas, esse tipo de ruído é decorrente das instabilidades no trânsito, ocasionadas pelas acelerações e desacelerações devido às condições do tráfego, das

características das estradas e até mesmo do próprio comportamento do motorista na direção (LECLERCQ e LELONG, 2001).

Segundo Ouis (2001), estudos sobre o tráfego veicular urbano têm mostrado que as acelerações repentinas são responsáveis pelos picos de ruído, os quais podem ser vistos no histórico temporal típico do ruído de tráfego em centros urbanos (Figura 2.2).

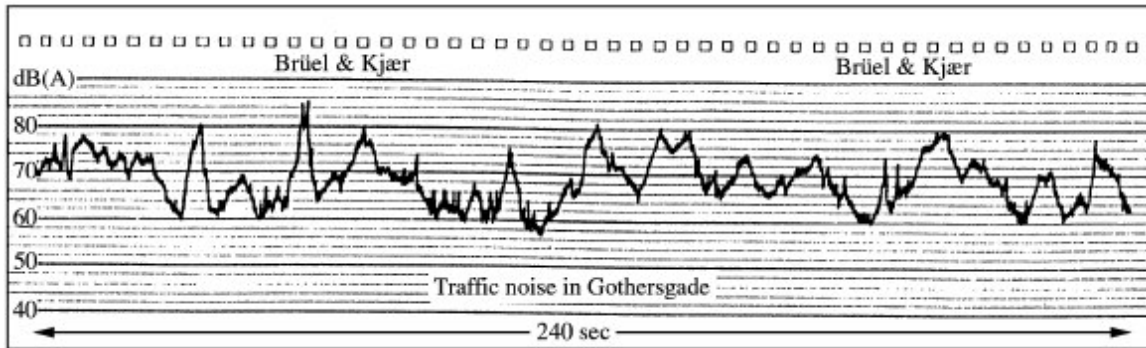


Figura 2.2 – Histórico temporal típico do ruído de tráfego em centros urbanos. Fonte: HASSAL e ZAVERI, 1979 apud OUIS, 2001.

Já o ruído nas rodovias apresenta poucas variações nos seus níveis sonoros, pois, os veículos trafegam, sucessivamente, com velocidades constantes (Figura 2.3) (OUIS, 2001).

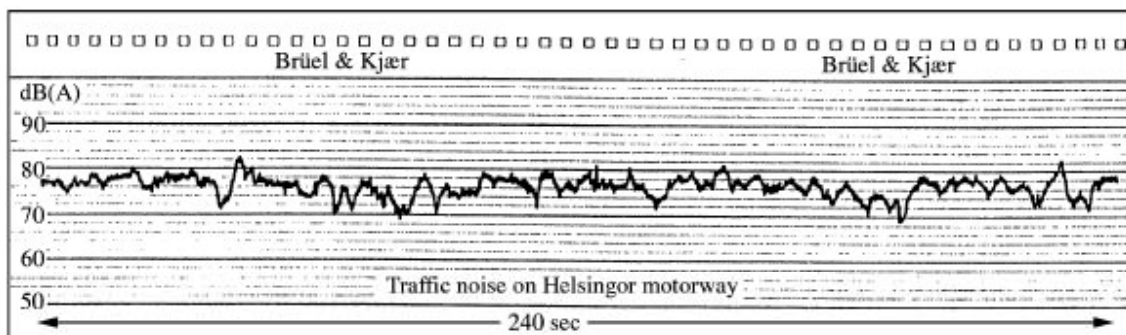


Figura 2.3 – Histórico temporal típico do ruído de tráfego em rodovias. Fonte: HASSAL e ZAVERI, 1979 apud OUIS, 2001.

Uma informação interessante é que os automóveis, caminhões e motocicletas emitem diferentes níveis sonoros com diferentes conteúdos espectrais, daí a necessidade de considerá-los de forma independente. Este aspecto, aliado às características dos componentes dos veículos, produz significativas interferências no ruído gerado pelo tráfego (HARRIS, 1979). Por exemplo, nas baixas velocidades, o ruído predominante provém do motor, do escape e da admissão do ar

enquanto que, nas médias e altas, é resultado, principalmente, da interação pneu-estrada, uma vez que o ruído aerodinâmico, também relacionado às altas velocidades, tem sofrido reduções, permitindo que os veículos atinjam velocidades maiores com menor consumo de combustível e menor nível de ruído (ARRUDA et al., 2000).

Portanto, os principais fatores que influenciam no ruído de tráfego são: tipo e características dos veículos, postura dos motoristas, composição do tráfego, características das vias, além das condições atmosféricas. Ressaltando-se ainda a ocorrência, durante a propagação sonora, de mudanças no campo acústico resultante, por conta das características geométricas locais, quais sejam: alinhamento da rodovia, topografia, espalhamento por obstáculos e reflexões em edifícios ou demais superfícies (BELDERRAIN, 1995).

Valadares e Gerges (1998) destacam que dentre os fatores citados acima, as características do fluxo de veículos e a geometria das vias podem elevar os níveis de ruído mesmo em presença de menores volumes de tráfego, oferecendo informações importantes, particularmente, ao estudo da capacidade ambiental e controle de ruído nos corredores de transporte urbano.

Nos últimos anos, as indústrias automobilísticas têm-se empenhado na redução dos níveis sonoros gerados pelos veículos, a fim de assegurar maior conforto aos passageiros e atender as constantes exigências das legislações governamentais. De fato, esse interesse vem contribuindo para apreciáveis diminuições nos ruídos produzidos pelo motor e escapamento, tornando maior a influência do tipo e da conservação dos pavimentos. Assim, pesquisas vêm sendo realizadas, objetivando desenvolver novas alternativas de pavimentos e contribuir para a redução dos níveis sonoros decorrentes da interação pneu-estrada (OUIS, 2001; NAGEM, 2004).

Ainda nesse aspecto de controle e redução do ruído de tráfego, Berglund e Lindvall (1995) destacam algumas medidas que podem ser adotadas, por exemplo, o planejamento do uso do solo, a utilização de barreiras acústicas ao longo de estradas, o isolamento das áreas residenciais, além de um melhor gerenciamento do tráfego, que em especial, tem sido uma alternativa para a redução da poluição sonora nas grandes cidades, através da implantação de técnicas e medidas moderadoras de tráfego, conhecidas como *traffic calming* (NAGEM, 2004).

De acordo com Barbosa (1998), a aplicação dessas últimas medidas, normalmente, baseadas nas experiências estrangeiras, visa à prevenção de acidentes no trânsito e redução do ruído de tráfego, realizando-se, por exemplo, modificações no volume e composição do tráfego, nas velocidades dos veículos, na geometria das vias, como também, no estilo de dirigir. Logo, essas ações contribuem tanto à segurança no trânsito quanto ao controle da poluição sonora e do ar.

No entanto, na maioria dos casos, existe a necessidade de combinar alguns desses mecanismos de controle, atuando-se na fonte, no caminho de transmissão ou no receptor, para obter reduções no incômodo causado pelo ruído do tráfego.

2.5 Propagação Sonora ao Ar Livre

A energia gerada pelas fontes sonoras sofre variações, sendo atenuada durante sua propagação ao ar livre devido a alguns fatores, tais como: distância percorrida, obstáculos (muros ou edifícios), tipo de solo, vegetação, absorção atmosférica, efeitos da temperatura, do vento, da umidade e precipitações. Para explicar de que maneira ocorrem estas alterações é necessário considerar como o ruído é emitido pela fonte, como se propaga pelo ar e ainda como chega até o receptor (Figura 2.4) (BRÜEL & KJÆR, 2000; GERGES, 2000).

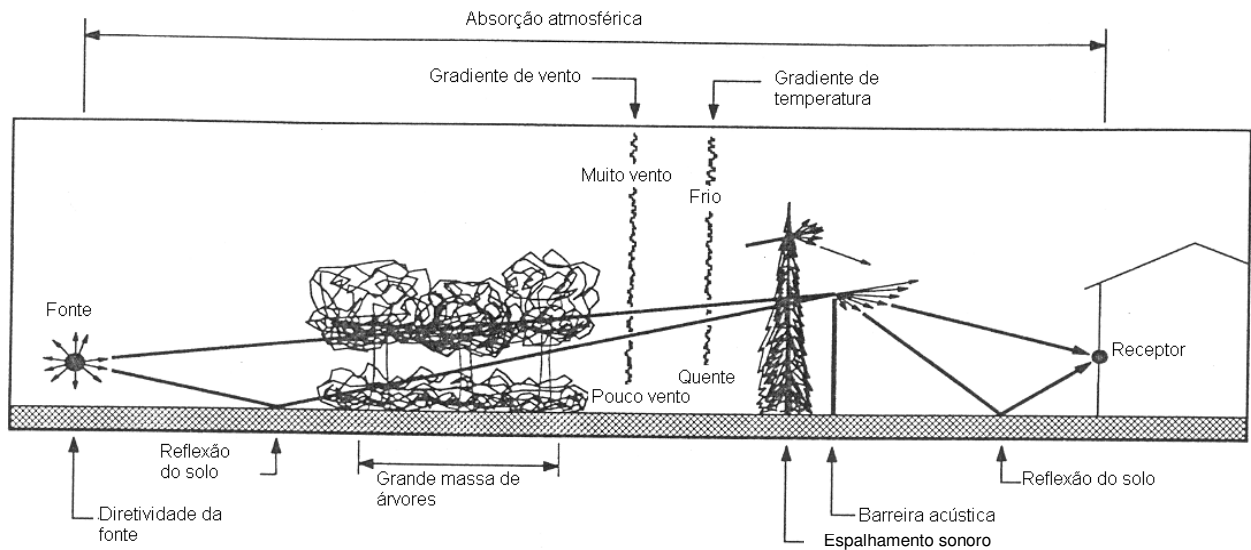


Figura 2.4 – Representação de alguns dos principais mecanismos de propagação sonora. Fonte: Adaptado de Beranek e Vér (1992).

A seguir serão comentados os principais mecanismos que influenciam na propagação sonora ao ar livre e algumas propriedades concernentes à propagação das ondas sonoras ao encontrarem um determinado obstáculo, os quais foram apresentados na Figura 2.4.

2.5.1 Absorção Sonora

Quando uma onda sonora incide sobre uma superfície sólida, parte da energia sonora é absorvida devido ao atrito e viscosidade do ar, transformando-se em calor. A absorção sonora é definida como a parcela da energia absorvida pelo material em função da energia total incidente, sendo expressa por um número entre 0 e 1, que é o coeficiente de absorção sonora de um determinado material. O valor zero significa a ausência de absorção (ou reflexão total da energia), e o valor 1 corresponde à absorção total da energia.

O coeficiente de absorção sonora depende, essencialmente, da natureza do material, variando em função da frequência. Materiais com maiores coeficientes de absorção são de estrutura porosa como tecidos, feltros, plásticos porosos, madeira aglomerada, comumente, encontrados em ambientes internos às edificações. Nos ambientes urbanos existe uma maior predominância de materiais com baixos coeficientes de absorção sonora, ou seja, materiais reflexivos, tais como: concreto, vidros, revestimentos cerâmicos (pastilhas), mármore e granitos, espelhos d'água.

2.5.2 Reflexão Sonora

Quando uma onda sonora encontra uma superfície, parte de sua energia acústica se reflete, parte é transmitida através dela e parte é absorvida pela superfície. Se a absorção e a transmissão são baixas, a maior parcela da energia sonora é refletida.

O nível de pressão sonora nas proximidades de uma superfície é resultado da emissão direta da fonte e das parcelas de som provenientes de uma ou mais reflexões. Portanto, as medições de níveis de pressão sonora não devem ser realizadas em locais próximos às superfícies refletoras, devido ao acréscimo na energia acústica nessas regiões provocado pelo fenômeno da reflexão.

2.5.3 Difração Sonora

A difração ocorre quando a onda sonora encontra a borda de uma parede ou fendas com dimensões menores do que seu comprimento de onda, possibilitando que o som, ao contrário da luz, contorne obstáculos e atravesse caminhos, relativamente, “tortuosos”. Salienta-se que nas baixas frequências ocorre uma maior difração do que nas altas frequências.

De acordo com Nepomuceno (1968), quando o obstáculo não é muito grande em relação ao comprimento de onda, tem-se o fenômeno de espalhamento. Já no caso do objeto possuir dimensões bem maiores, ocorre a formação de sombra acústica. Na Figura 2.5 são apresentadas diferentes situações, que exemplificam o efeito da difração sonora.

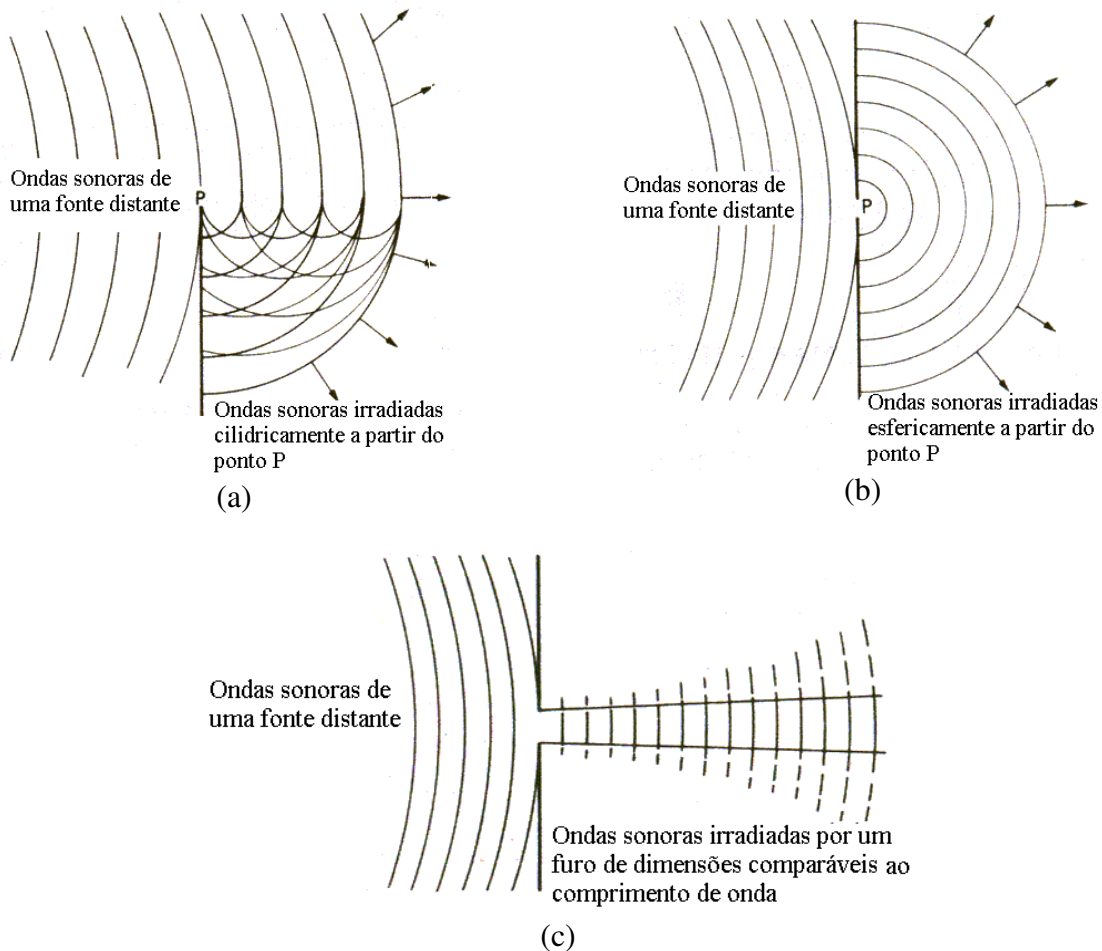


Figura 2.5 – Efeito da difração sonora devido à: (a) borda de uma parede, (b) fenda na parede com dimensões menores do que o comprimento de onda e (c) fenda na parede com dimensões comparáveis ao comprimento de onda. Fonte: Adaptado de Hassal e Zaveri (1979).

Na Figura 2.5a, o ponto P (borda da parede) se comporta como uma pequena fonte sonora, irradiando ondas sonoras na região de sombra acústica a partir dele. Nas Figuras 2.5b e 2.5c estão representadas situações em que o som atravessa fendas com dimensões menores ou comparáveis ao seu comprimento de onda, respectivamente. No primeiro caso, a fenda funciona como uma pequena fonte sonora, irradiando ondas a partir dela. No segundo caso, a fenda irradia ondas sonoras com comportamento distinto, formando uma pequena sombra acústica por trás da parede.

2.5.4 Efeito da Distância

No que se refere ao efeito da distância percorrida pelo som, foi dito anteriormente, que em campo livre, sem a influência do vento e do solo, o ruído emitido pelas fontes lineares e pontuais sofre atenuações de 3dB e 6dB, respectivamente, à medida que a distância fonte – receptor é duplicada.

Daí a importância de buscar uma máxima distância possível entre vias de tráfego e alinhamentos de prédios para garantir menores níveis sonoros nas proximidades ou nos interiores dessas edificações. Niemeyer e Slama (1998) comentam que, muitas vezes, por causa do tamanho do terreno, do custo do solo ou ainda da consolidação do tecido urbano, a utilização desses recursos é dificultada, adotando-se em alguns casos a implantação de barreiras acústicas.

2.5.5 Barreiras Acústicas

As barreiras acústicas são usadas para atenuação de ruído do tráfego de veículos, máquinas de construção, geradores ou transformadores. O desempenho de uma barreira varia em função de sua altura, de seu posicionamento entre a fonte sonora e o receptor, além das frequências sonoras em questão; impedindo a livre propagação do som e reduzindo o nível sonoro que chega ao receptor. A atenuação sonora se dá por conta do fenômeno da difração, formando uma região de sombra acústica que será maior para sons de altas frequências e quanto mais alta for a barreira (Figura 2.6).

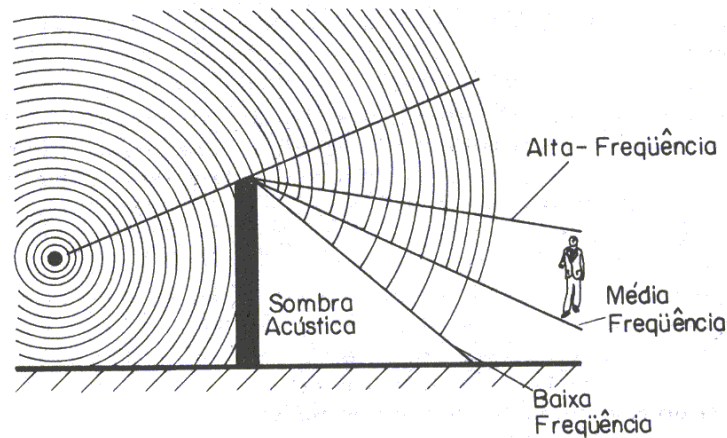


Figura 2.6 – Barreira acústica. Fonte: GERGES, 2000.

Em países desenvolvidos (por exemplo, na Europa), as barreiras têm sido aplicadas como importantes medidas de proteção ambiental ao longo de rodovias, podendo ser constituídas por diferentes materiais, tais como, concreto, vegetação, madeira, materiais plásticos e metálicos (KOTZEN e ENGLISH, 1999; NETO, 2002).

De acordo com Niemeyer e Slama (1998), a implantação de prédios às margens de vias de tráfego, também, pode ser utilizada como barreiras acústicas, de modo que o primeiro prédio sirva de barreira para o segundo e assim, sucessivamente (Figura 2.7). Todavia, deve-se existir a preocupação de que os primeiros prédios possuam atividades menos sensíveis ao ruído ou que a fachada voltada para via apresente adequado isolamento acústico.

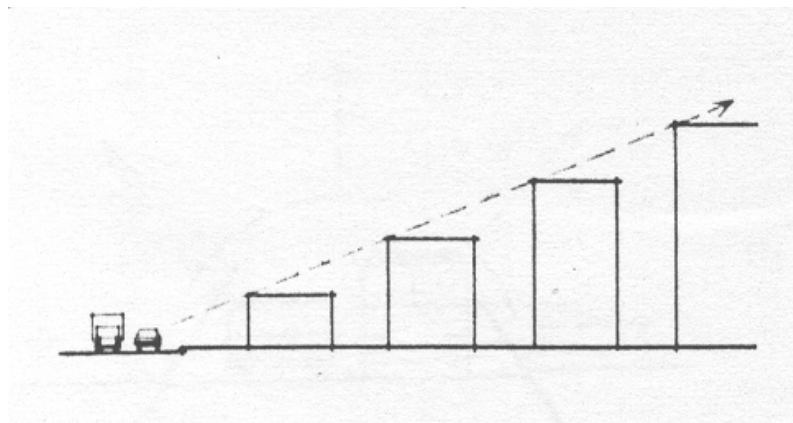


Figura 2.7 – Desempenho de edifícios como barreiras acústicas (plano de massas). Fonte: NIEMEYER e SLAMA, 1998.

Cabe salientar, ainda, a possibilidade do uso de movimentos de terras (taludes), sejam eles artificiais ou naturais, como barreiras acústicas.

2.5.6 Tipo de Solo

O solo age como um plano reflexivo, contribuindo para a chegada do som direto e refletido até o receptor (Figura 2.8).

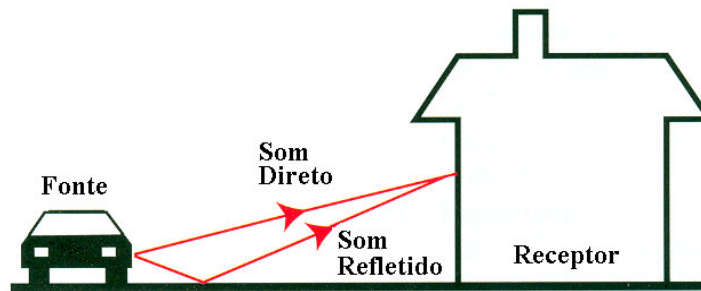


Figura 2.8 – Parcelas de som direto e refletido. Fonte: Adaptado de Kotzen e English (1999).

O tipo de cobertura existente interfere na propagação sonora ao ar livre, atenuando mais o som quando o solo for revestido com materiais absorventes, por exemplo, a grama.

2.5.7 Efeitos da Vegetação

Irvine e Richards (1998) comentam que as árvores e arbustos apresentam pouco efeito na propagação sonora ao ar livre. Segundo eles, uma faixa de 30 m de vegetação densa representa apenas uma atenuação sonora de 3 dB(A), ou seja, uma redução, aproximadamente, de 1 dB(A) para cada 10 m de vegetação.

Niemeyer (1998) ressalta que o plantio de árvores sobre taludes de terra, às margens das vias de tráfego, contribui na ambiência sonora de um determinado espaço urbano devido ao efeito de mascaramento e de aspectos psicológicos. No entanto, a função de barreira acústica é desempenhada apenas pelos taludes que se opõem à propagação do ruído.

2.5.8 Efeitos da Absorção Atmosférica

A absorção atmosférica apresenta certa complexidade e depende de alguns outros aspectos, como, distância da fonte, conteúdo espectral do ruído, temperatura, umidade relativa e

pressão atmosférica do ambiente (BRÜEL & KJÆR, 2000). Seus efeitos são considerados insignificantes comparados aos demais fatores ambientais, principalmente, em áreas urbanas devido à presença de distâncias, relativamente, pequenas nesses espaços (BERANEK e VÉR, 1992; HARRIS, 1979).

2.5.9 Efeitos do Vento e da Temperatura

Os efeitos do vento e temperatura se apresentam de modo semelhante. O vento influencia quando o atrito com a superfície do solo reduz sua velocidade, próximo ao nível da terra, ocasionando distorção da frente de onda. As ondas sonoras que se encontram a favor do vento são refratadas em direção ao solo sem alterar o seu nível sonoro. Todavia, quando a propagação se dá em sentido contrário ao movimento do ar, as ondas se refratam para cima, gerando sombras acústicas e reduzindo o nível sonoro (Figura 2.9) (NETO, 2002).

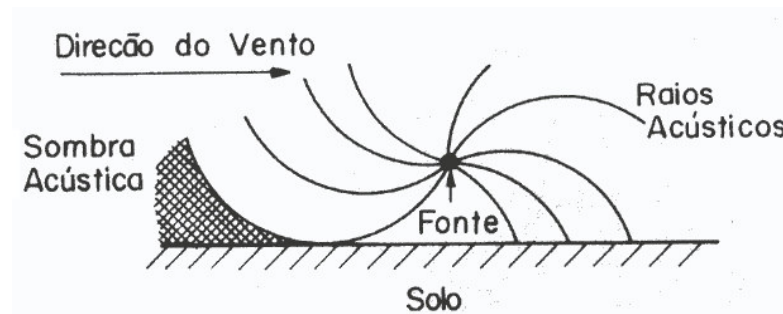


Figura 2.9 – Variação do caminho das ondas acústicas devido ao efeito do vento. Fonte: GERGES, 2000.

Quanto à influência da temperatura, sabe-se que durante o período do dia, o ar é aquecido próximo à superfície do solo pela radiação solar, tornando-se mais frio em direção ao céu. À noite, esta situação é invertida. Ocorre a elevação da temperatura com a altitude, provocando um acréscimo nas velocidades de frente de ondas e mudança na direção das ondas ascendentes, empurrando-as na direção do solo (Figura 2.10).

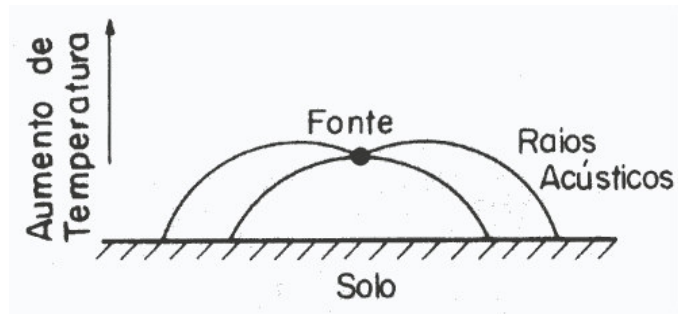


Figura 2.10 – Variação do caminho das ondas acústicas devido ao efeito de aumento da temperatura com a altura. Fonte: GERGES, 2000.

Quando a temperatura diminui com a altura, tem-se uma situação oposta, ou seja, as frentes de onda descendentes divergem, afastando-se do solo e ocorre a formação das sombras acústicas (GERGES, 2000) (Figura 2.11).

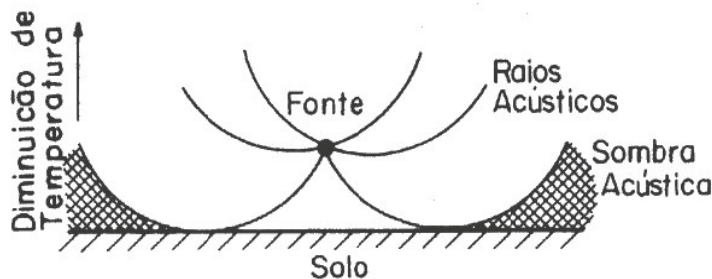


Figura 2.11 – Variação do caminho das ondas acústicas devido ao efeito de diminuição da temperatura com a altura. Fonte: GERGES, 2000.

No próximo item será visto que a propagação sonora ao ar livre no meio urbano sofre, ainda, influências diante da morfologia e da disposição dos vários elementos presentes no tecido urbano, ocorrendo alterações nos níveis e espectros sonoros devido à absorção, reflexão, espalhamento e difração.

A compreensão dos mecanismos de propagação do som ao ar livre constitui-se em elemento fundamental no entendimento de ambientes sonoros urbanos e, portanto, no auxílio ao controle do ruído nas cidades (NIEMEYER e SLAMA, 1998).

2.6 Influência da Forma Urbana em Ambiente Sonoro

Segundo Lamas (2000), a forma urbana consiste na maneira como se organizam as partes físicas ou elementos morfológicos os quais constituem e definem o espaço urbano.

Alguns estudos (NIEMEYER, 1998; NIEMEYER e SLAMA, 1998; NIEMEYER e SANTOS, 2001) apontam que a forma urbana influencia na propagação sonora ao ar livre e no ambiente sonoro urbano, através de suas características físicas e suas inter-relações, como, densidade construtiva, perfis de ruas, áreas verdes, disposição e forma das edificações, contribuindo para a qualidade acústica das cidades.

A partir, principalmente, dessas últimas referências, serão abordados conceitos voltados à acústica e aos elementos morfológicos do espaço urbano, contribuindo para um melhor entendimento da influência da forma urbana na propagação sonora.

2.6.1 Espaços Acústicos: Aberto e Fechado

Nos ambientes urbanos encontram-se presentes dois tipos de espaços acústicos: os abertos, que se caracterizam pela existência de um campo sonoro direto ou campo livre, e os fechados, nos quais se estabelece um campo sonoro, parcialmente, difuso.

No primeiro caso, a atenuação do som varia em função do afastamento entre fonte – receptor, e os níveis sonoros se apresentam menores à medida que se aumenta a distância. Nesses espaços o som se dispersa na atmosfera sem retornar (Figura 2.12a). No segundo caso, as ondas sofrem múltiplas reflexões e o seu nível sonoro decai, lentamente, sendo quase o mesmo em várias posições (Figura 2.12b).

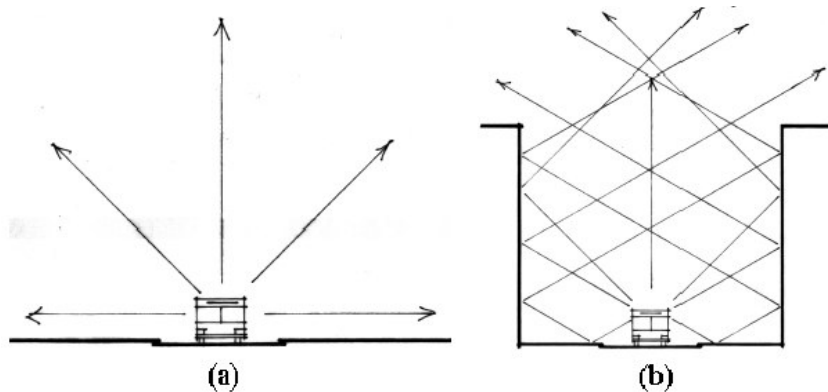


Figura 2.12 – Espaços acústicos: (a) aberto e (b) fechado. Fonte: Adaptado de Niemeyer e Santos (2001).

Beranek e Vér (1992) destacam que nos espaços acústicos fechados (*canyons* urbanos) ocorre o fenômeno da reverberação⁶, devido às múltiplas reflexões das ondas sonoras nas fachadas paralelas dos edifícios, amplificando, por exemplo, os sons provenientes do tráfego. Por conta disso, para a mesma fonte e distância, os níveis sonoros nesses espaços se apresentam maiores do que no espaço acústico aberto.

2.6.2 Elementos Morfológicos: Via, Rua, Quadra (ou Quarteirão)

Via

Niemeyer e Slama (1998) a entendem como sendo a pista para a circulação dos veículos, isto é, a fonte sonora, propriamente dita. Difere entre si em função de sua largura, do tipo e composição do tráfego existente (Figura 2.13a).

Rua

Consiste não somente na via de circulação, mas também, no seu entorno imediato, englobando o espaço entre a calçada e alinhamento das fachadas. O ruído emitido nesses espaços é influenciado pelo tipo de pavimentação nas vias e calçadas; pelo revestimento, alinhamento e movimentação das fachadas (Figura 2.13b).

Niemeyer e Slama (1998) destacam, também, que o ruído dentro das edificações se diferencia daquele percebido nas ruas por conta das alterações ocorridas no seu nível e espectro sonoro ao transpor as fachadas dessas edificações.

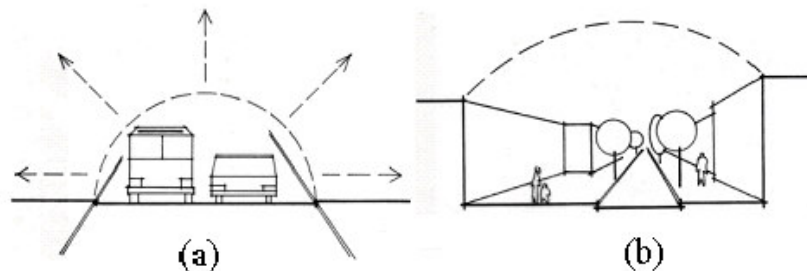


Figura 2.13 – Representação: (a) da via e (b) da rua. Fonte: Adaptado de Niemeyer e Santos (2001).

⁶ Fenômeno representado pela permanência do som por um determinado intervalo de tempo após a fonte sonora ser extinta.

Dependendo do seu perfil, a rua pode apresentar duas configurações básicas: (i) rua em “U”, caracterizando-se por possuir edifícios altos em ambos os lados, campo acústico semi-reverberante e relação $H/L > 0,2$ (Figura 2.14a); (ii) rua em “L”, quando as edificações funcionam como barreiras apenas de um lado da rua ou apresenta a relação $H/L < 0,2$ (Figura 2.14b).

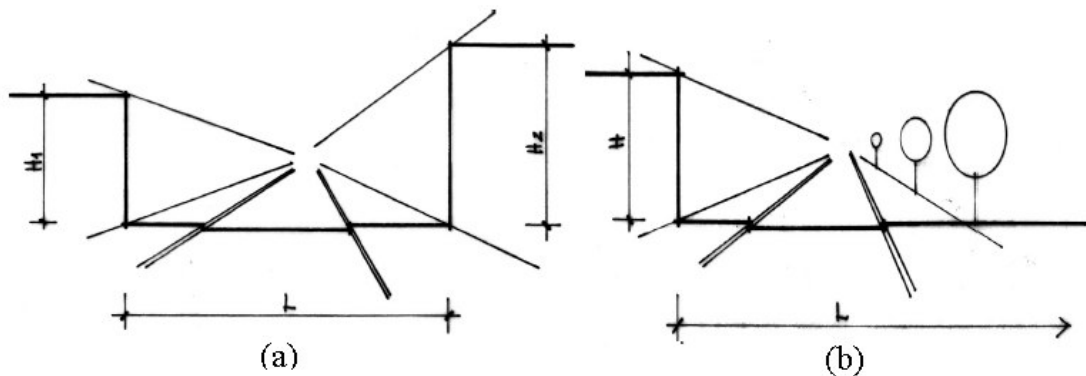


Figura 2.14 – Representação: (a) da rua em perfil “U” e (b) da rua em perfil “L”. Fonte: Adaptado de Niemeyer e Santos (2001).

Baring (1990) complementa que, em ruas de perfil “L”, os ruídos gerados pelo tráfego nas vias atingem às fachadas dos edifícios, normalmente, de baixo para cima. Nesses casos, a existência nos prédios de elementos como marquises, platibandas, balcões (varandas ou sacadas) podem contribuir para a atenuação do ruído que chega ao interior dos seus apartamentos. No entanto, Baring (1990) ressalta que em ruas tipo “U”, esses elementos não apresentam o mesmo desempenho, pois, as parcelas de ruído, devido às múltiplas reflexões, incidem quase perpendicularmente às fachadas.

Em trabalho desenvolvido por Hincu (2003), quando foram analisados perfis de ruas na cidade de Bucareste (Romênia), através de medições acústicas e métodos computacionais, observou-se que a variabilidade de alguns aspectos físicos do espaço urbano, tais como: altura dos edifícios, distância entre fachadas, composição de fluxo de veículos, etc., produziam diferenças nos níveis sonoros do tráfego nas vias estudadas. A Figura 2.15 mostra os perfis de ruas analisados.

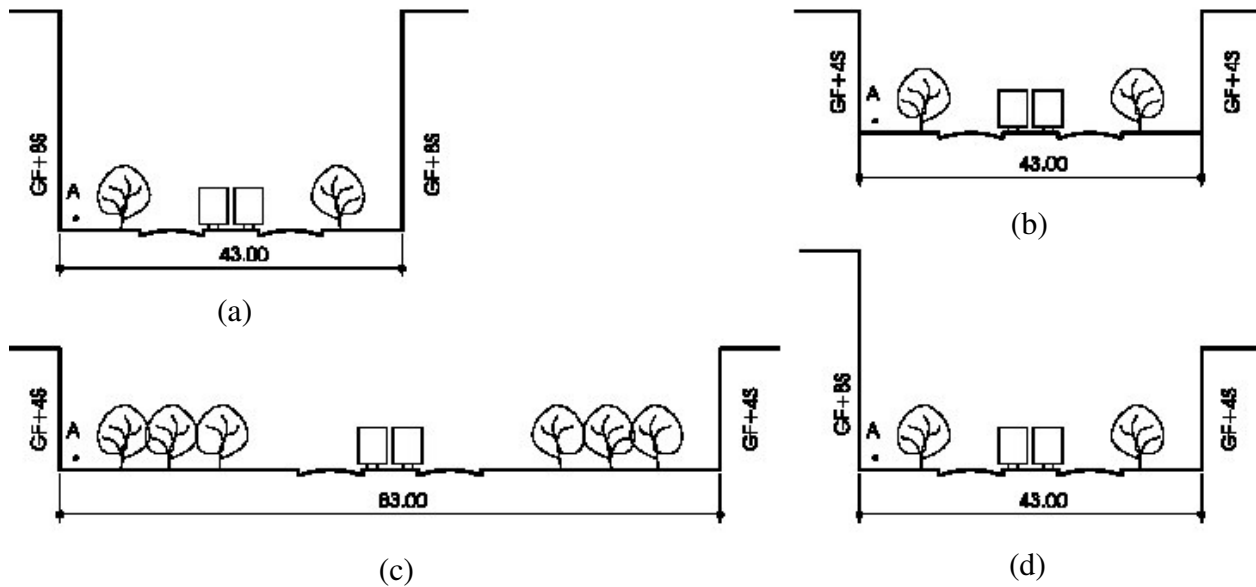


Figura 2.15 – Perfis de ruas analisados na cidade de Bucareste (Romênia). Fonte: HINCU, 2003.

Alguns dos resultados obtidos foram: (i) a redução de 9 pavimentos [perfil (a)] para 5 pavimentos [perfil (b)] na altura das edificações às margens das ruas tipo “U” levou a um decréscimo de 10 dB(A) no nível de ruído; (ii) comparando-se os níveis sonoros de ruas margeadas de um lado por edifícios com 9 pavimentos e do outro com 5 pavimentos [perfil (d)] com ruas tipo “U” margeadas por edifícios de 9 pavimentos em ambos os lados, verificou-se para a primeira situação valores de níveis sonoros, cerca de 12 a 15 dB(A), menores do que os níveis encontrados na segunda situação; (iii) constatou-se também que o aumento da largura de 43 m para 83m na largura da rua foi acompanhada por uma redução de 2 a 3 dB(A).

Quadra ou Quarteirão

Niemeyer e Slama (1998) definem quadras, como unidades do espaço urbano, constituídas por lotes (em geral, retangulares) e delimitadas pelas vias. Acusticamente, podem ser entendidas como porções desse espaço limítrofe ao local de emissão de ruído (vias), onde seus edifícios desempenham papel de barreiras, protegendo seus ambientes internos dos níveis sonoros externos. A depender da distribuição dessas edificações, a quadra tende a ser mais ou menos exposta ao ruído de tráfego, conforme as configurações apresentadas na Figura 2.16.

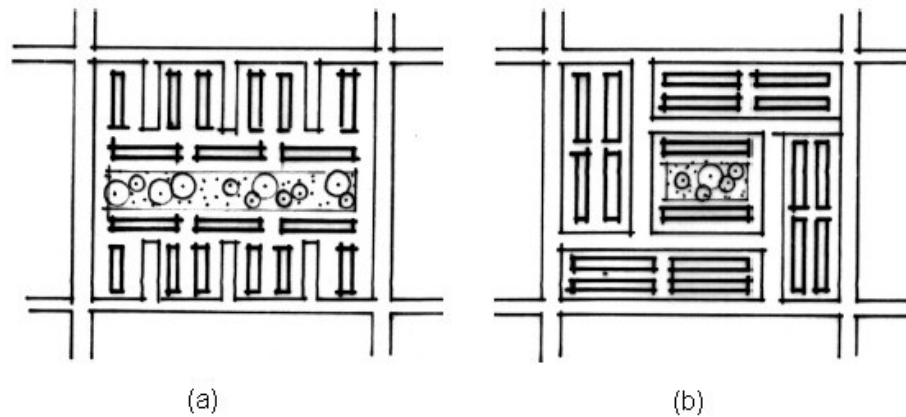


Figura 2.16 – (a) Quadra mais exposta ao ruído de tráfego e (b) quadra menos exposta ao ruído de tráfego. Fonte: Adaptado de Niemeyer e Santos (2001).

2.6.3 Permeabilidade

O conceito de permeabilidade se refere às trajetórias percorridas pelo som na escala urbana ou do edifício, sendo relevante para o entendimento da relação entre a configuração urbana e suas tipologias arquitetônicas diante do ruído.

A Figura 2.17 exemplifica esse conceito dentro de um contexto urbano, em que uma maior ou menor permeabilidade de um tecido urbano depende da disposição dos edifícios frente às fontes sonoras, no caso representadas pela via de tráfego.

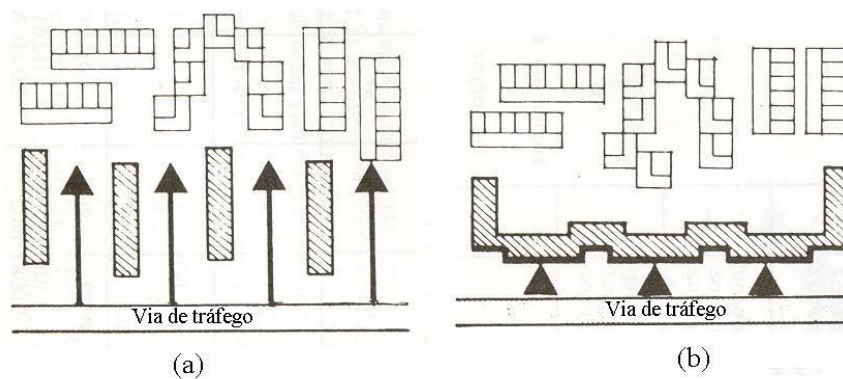


Figura 2.17 – (a) Maior permeabilidade ao ruído da via de tráfego (b) menor permeabilidade ao ruído da via de tráfego. Fonte: Adaptado de Prinz (1980).

Já a permeabilidade na escala do edifício está relacionada não somente ao número e posicionamento das aberturas nas fachadas, mas também, às propriedades físicas dos materiais utilizados nas suas fachadas.

2.6.4 Espessura

Da mesma maneira que a permeabilidade, o conceito de espessura pode ser aplicado tanto à escala urbana quanto ao próprio edifício. No contexto urbano, tal espessura encontra-se relacionada, por exemplo, à disposição das edificações - limite de uma quadra, funcionando como barreiras ao ruído externo. Ou ainda, pela existência de espaços de transição, como, pátios ou jardins, os quais possibilitam atenuações sucessivas desse ruído sem a necessidade do uso de elementos-barreira (muros altos) os quais podem comprometer outros aspectos do conforto ambiental, por exemplo, a ventilação natural.

Na escala do edifício, os espaços de transição se mostram também úteis. A utilização desses espaços, tais como, varandas, pórticos, escadas, contribui para atenuação do ruído, funcionando como verdadeiros “filtros”.

De acordo com Baring (1990), a utilização desses elementos de transição bem como a realização de estudos prévios de implantação e orientação dos edifícios em relação às fontes de ruído consistem em importantes alternativas para minimizar o compromisso acústico das fachadas.

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DE RUÍDO AMBIENTAL

3.1 Introdução

A avaliação de ruído ambiental consiste, geralmente, em verificar o impacto causado por uma fonte específica, sendo na prática uma tarefa bastante difícil, devido às diversas características das fontes de ruído, por exemplo, nível sonoro, conteúdo espectral, impulsividade, intermitência, dentre outras. Além disso, a grande variabilidade de reações das pessoas tem direcionado os esforços para o estabelecimento de um simples número - descritor dos diferentes efeitos nocivos do ruído. Daí o surgimento de vários métodos e indicadores para avaliação, comumente, utilizados nos estudos de ruído em comunidade (BRÜEL & KJÆR, 2000).

Os estudos de ruído ambiental vêm sendo desenvolvidos para atender alguns propósitos, por exemplo: (i) adequar usos de solos, comparando-se o ruído ambiental existente ou futuro com as leis pertinentes; (ii) comparar níveis sonoros com valores especificados em regulamentações ou leis concernentes ao ruído; (iii) obter descrições ambientais para avaliações de impactos sonoros atuais ou futuros como parte de relatórios de impacto ambiental; (iv) determinar a necessidade e/ou dimensão do controle de ruído de fontes; (v) identificar fontes de ruído externo e estabelecer a extensão de suas influências; (vi) obter uma descrição do ruído, a fim de correlacioná-lo com a resposta da comunidade (vii) estimar as exposições individuais do ruído (BISHOP, 1979).

Portanto, este capítulo abordará alguns aspectos de legislações, normas, descritores e métodos (mapeamentos e predições acústicas) concernentes à avaliação de ruído ambiental.

3.2 Medição de Ruído

O ruído ambiental por ser um fenômeno bastante complexo, cuja amplitude e frequência variam em função do tempo e local, desperta especial interesse nos estudos de ruído em comunidade no que se refere à coleta e armazenagem dessas principais características (HARRIS, 1979; KESSLER, 1982). Em vista disso e da tentativa de se buscar uma avaliação qualitativa da exposição sonora, foram introduzidos vários descritores acústicos, que segundo Casali (2000), são aplicados na avaliação e regulamentação dos principais efeitos do ruído nas pessoas, tanto o incômodo quanto aos riscos de danos auditivos e não-auditivos, além da interferência na fala.

A seguir, serão revisados alguns desses descritores e demais conceitos que ajudarão na compreensão dos dados e resultados apresentados nesta dissertação.

3.2.1 Nível de Pressão Sonora (L_p)

A percepção auditiva humana abrange uma larga faixa de níveis sonoros, desde o chamado limiar da audição até o limiar da dor. A aplicação direta de escalas lineares, em Pascal (Pa), para a medição do nível de pressão sonora conduz a números altos e que muitas vezes dificultam quando se deseja expressar ordens de grandezas tão diferentes. Além disso, o fato do ouvido humano responder, logaritmicamente, ao contrário do estímulo, que varia de modo linear, tornou-se mais prático exprimir parâmetros acústicos em escalas logarítmicas (BRÜEL & KJÆR, 2000).

De acordo com a ISO 1996/1 (1982), o nível de pressão sonora (L_p) é definido por:

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2, \text{ dB} \quad (3.1)$$

onde:

p é a pressão sonora em Pa;

p_0 é a pressão sonora de referência, $20 \mu\text{Pa}$ ($20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$), que corresponde ao limiar da audição na frequência de 1 kHz.

A Figura 3.1 mostra valores de nível de pressão sonora em dB para algumas fontes sonoras comuns em ambientes externos e internos.

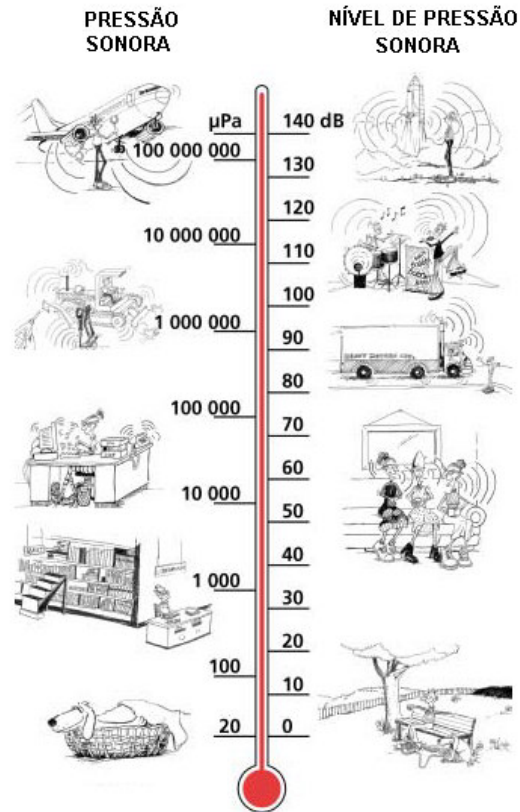


Figura 3.1 – Níveis de pressão sonora comuns em ambientes externos e internos. Fonte: Adaptado de Brüel & Kjær (2000).

3.2.2 Nível de Potência Sonora (L_w)

Segundo Gerges (2000), a potência sonora ou energia total emitida por uma fonte na unidade de tempo (W) é uma importante propriedade acústica que depende apenas da fonte sonora e não do meio que a mesma se encontra. O seu nível pode ser expresso na forma logarítmica de acordo com a equação (3.2):

$$L_w = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right), \text{ dB} \quad (3.2)$$

onde:

W é a potência sonora real da fonte em Watts;

W_0 é potência sonora de referência (10^{-12} Watts).

Logo, o nível de potência sonora mede a potência sonora total gerada por uma fonte arbitrária, independente do contexto acústico, que o torna bastante útil para caracterização de quaisquer tipos de fonte.

3.2.3 Adição de Níveis Sonoros

Os níveis sonoros por serem valores dados em escala logarítmica (decibel), não podem ser somados, simplesmente, de forma aritmética. Para a adição de níveis sonoros em escala logarítmica de duas ou mais fontes sonoras, esses níveis devem ser transformados, individualmente, para a escala linear e então somados. O valor resultante deve ser convertido para escala logarítmica. Para tanto, utiliza-se a seguinte equação (Brüel & Kjær, 2000).

$$\sum Lp = 10 \log \left(10^{\frac{Lp_1}{10}} + 10^{\frac{Lp_2}{10}} + 10^{\frac{Lp_3}{10}} + \dots + 10^{\frac{Lp_n}{10}} \right), \text{ dB} \quad (3.3)$$

onde:

$\sum Lp$ é o nível sonoro resultante em dB;

Lp_n é o nível sonoro de cada fonte sonora em dB.

Para a realização do cálculo da soma dos níveis sonoros de duas fontes pode ser utilizado também o gráfico da Figura 3.2. No eixo das abscissas lança-se o valor da diferença entre o maior nível sonoro (L_1) e o menor nível (L_2). A curva relaciona essa diferença ($L_1 - L_2$) ao seu valor correspondente no eixo das ordenadas (ΔL). A etapa seguinte é adicionar esse valor ao maior valor dos níveis sonoros.

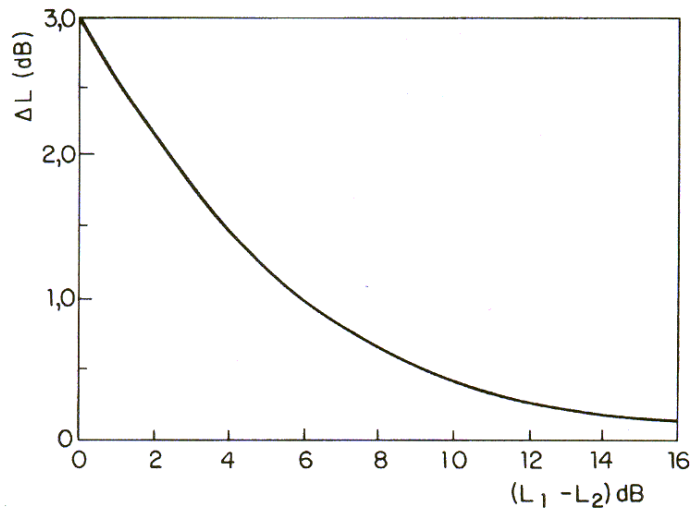


Figura 3.2 – Gráfico para adição de dois níveis sonoros. Fonte: GERGES, 2000.

Por exemplo, considerando a soma de dois níveis sonoros iguais, o valor que deve ser lançado no eixo das abscissas é igual a zero. Pelo gráfico, verifica-se que o nível resultante será 3 dB a mais que os valores dos níveis sonoros individuais.

3.2.4 Ponderação em Frequência

O sistema auditivo do homem é mais sensível às frequências médias entre 1kHz a 4kHz e menos sensível às frequências, extremamente, baixas ou altas. A audibilidade humana varia, ainda, em função das intensidades dos sons. Por isso, os medidores sonoros apresentam seus circuitos eletrônicos já padronizados e classificados segundo o comportamento do ouvido humano.

Existem os circuitos de compensação A, B, C e D que corrigem os níveis sonoros em função da frequência, denominando-os de dB(A), dB(B), dB(C) e dB(D), respectivamente (Figura 3.3). A curva de ponderação “A” tem sido bastante usada, particularmente, na acústica ambiental, pois, trata-se de uma maior aproximação ao modo como se comporta o ouvido humano diante de um estímulo sonoro, principalmente, para baixos valores de níveis de pressão sonora. Já as curvas “B” e “C” são análogas à curva “A”, porém, para valores médios e altos de níveis de pressão sonora, respectivamente. A curva “D” foi padronizada para medições de ruído em aeroportos (GERGES, 2000).

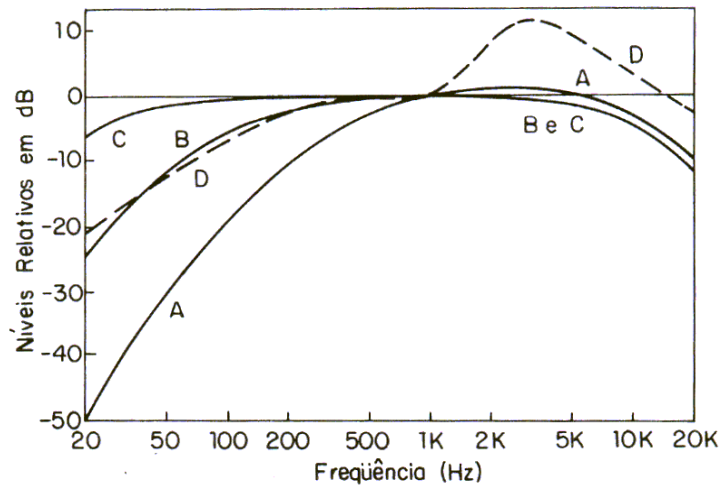


Figura 3.3 – Circuitos de compensação A, B, C e D. Fonte: GERGES, 2000.

A indicação da letra “A” nos símbolos dos parâmetros acústicos, por exemplo, L_{Aeq} , L_{Amax} , L_{Amin} , etc) ou na escala logarítmica, dB(A), denota que a medida foi realizada com a ponderação em “A” (BRÜEL & KJÆR, 2000).

3.2.5 Ponderação no Tempo

Segundo Brüel & Kjær (2000), os tempos de respostas padronizados foram, originalmente, desenvolvidos nos instrumentos de medição para fornecer uma indicação visual de flutuação dos níveis de ruído. Em geral, as normas de avaliação ambiental especificam o uso das ponderações lenta, rápida e impulsiva (*slow*, *fast* e *impulsive*) e de acordo com Casali (2000), na maioria dos problemas de ruído ambiental são utilizadas resposta lenta (*slow*) e ponderação em “A” nas medições de nível de pressão sonora.

3.2.6 Filtros para Frequência

Os filtros são utilizados para analisar os níveis de ruído por faixas de frequências, ou seja, análise de frequência ou espectral, sendo definidos por Gerges (2000), como sistemas analógicos ou digitais que permitem a passagem somente das componentes de frequências presentes numa certa faixa de frequência (largura de banda), atenuando as demais componentes. Segundo o mesmo autor, os filtros podem ser de banda larga (filtros de oitava e 1/3 de oitava) e banda estreita.

3.2.7 Nível de Pressão Sonora Equivalente Contínuo (L_{Aeq})

O nível de pressão sonora equivalente contínuo (L_{Aeq}) é definido pela ISO 1996/1 (1982) por:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right], \text{ dB(A)} \quad (3.4)$$

onde:

$L_{Aeq,T}$ é o nível de pressão sonora equivalente contínuo ponderado em A, em decibel (dB), sobre um intervalo de tempo T , começando em t_1 e terminando em t_2 ;

p_0 é a pressão sonora de referência, $20\mu\text{Pa}$;

$p_A(t)$ é a pressão sonora instantânea ponderada em A.

O L_{Aeq} tem obtido grande expressão como parâmetro de ruído, adotado por exemplo, pela ISO para medidas de exposição do ruído em comunidade e dos riscos dos danos a audição. Pode ser definido como o nível de um som contínuo (estacionário), que num intervalo de tempo específico, possui a mesma energia do som medido, cujo nível varia com o tempo (ISO 1996/1, 1982).

Além disso, de acordo com Berglund e Lindvall (1995), este parâmetro ainda oferece uma base para aperfeiçoamento de outros índices acústicos, por exemplo, o nível sonoro médio dia-noite (L_{dn}), que será abordado no subitem 3.2.11.

3.2.8 Níveis Estatísticos L_{AN}

A análise de distribuição estatística tem sido o método bem usual para a descrição das variações dos níveis sonoros num determinado intervalo de tempo (BERGLUND e LINDVALL, 1995). Isto é, esse parâmetro representa o valor do nível de pressão sonora em dB(A) que foi excedido em uma porcentagem (N%) do intervalo de tempo considerado.

Por exemplo, L_{10} , L_{50} , e L_{90} correspondem aos níveis excedidos de 10, 50, e 90% do tempo considerado e, freqüentemente, são aplicados como medidas aproximadas dos níveis de ruído máximo, médio e de fundo, respectivamente.

3.2.9 Nível de Pressão Sonora Máximo (L_{Amax})

Consiste no descritor acústico que representa o nível sonoro máximo ponderado em “A”, tido como o nível de ruído ambiental mais alto, que ocorre numa determinada posição, durante certo tempo. É, freqüentemente, utilizado com um outro parâmetro acústico, por exemplo, o L_{Aeq} para garantir que um evento único de ruído não exceda um limite, sendo essencial para o L_{Amax} , especificar a ponderação no tempo (lenta, rápida ou impulsiva) (BRÜEL& KJÆR, 2000).

3.2.10 Nível de Pressão Sonora Mínimo (L_{Amin})

Consiste no descritor acústico que representa o nível sonoro mínimo ponderado em “A”, tido como o nível de ruído ambiental mais baixo, que ocorre numa determinada posição, durante certo tempo. Para este descritor também é bastante importante especificar a ponderação no tempo que foi utilizada (BRÜEL& KJÆR, 2000).

3.2.11 Nível Sonoro Médio Dia - Noite (L_{dn})

Muitos estudos destacam que o ruído em comunidade é mais incômodo durante o período noturno devido aos menores níveis de ruído de fundo nesses horários. De fato, a realização de poucas atividades domésticas durante a noite constitui um fator que reduz o ruído nesse período (BERGLUND e LINDVALL, 1995).

Sendo assim, tem sido proposta a ponderação do ruído noturno em alguns índices acústicos, por exemplo, o L_{dn} , desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA), que o define como nível sonoro médio para o período de 24 horas (L_{Aeq} , 24h) com acréscimo de 10 dB para o ruído ambiental entre às 22:00 h e 7:00 h, levando em consideração o aumento do incômodo à noite. Pode ser determinado pela equação (3.5):

$$L_{dn} = 10 \log \left[\frac{15 \cdot (10)^{L_d/10} + 9 \cdot (10)^{(L_n+10)/10}}{24} \right], \text{ dB} \quad (3.5)$$

onde:

L_{dn} é o nível sonoro médio dia-noite;

L_d é o nível equivalente contínuo para o período diurno (7:00 h às 22:00 h);

L_n é o nível equivalente contínuo para o período noturno (22:00 h às 7:00 h).

3.3 Legislação de Ruído Ambiental

A necessidade de conservação do meio ambiente tem-se apresentado nas últimas décadas como grande preocupação às autoridades em todo mundo. Particularmente, no Brasil, as legislações ambientais (Federal, Estadual ou Municipal) estabelecem normas, leis e regulamentações, os quais visam controlar as intervenções humanas nesses ambientes e com isso melhorar a qualidade de vida da população.

3.3.1 Legislações Federais

Na esfera Federal, além do capítulo VI da Constituição Brasileira que estabelece a todos os cidadãos o direito ao meio ambiente equilibrado, bem de uso comum e essencial à sadia qualidade de vida, existe também, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o qual publicou várias resoluções, fixando normas de preservação do meio ambiente.

Como exemplo, a Resolução nº 1, de 08 de março de 1990, inclui os problemas de ruído no controle da poluição do meio ambiente e, com base nessa, todas as atividades geradoras de ruído devem seguir tanto as diretrizes vinculadas à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através das normas NBR 10.151 – Avaliação do nível de ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade e NBR 10.152 – Níveis de ruído para o conforto acústico quanto ao Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), para os ruídos gerados pelos veículos automotores.

3.3.2 Legislação em Sergipe e Aracaju

Em Sergipe, a Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA-SE) e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA) são as responsáveis pela realização de ações voltadas para gestão ambiental.

Em Aracaju, a Lei 2410/96⁷ dispõe sobre medidas de combate a poluição sonora e dá outras providências. Estabelece que o nível máximo de som (ruído) permitido às máquinas, motores, compressores e geradores estacionários é de 55 dB(A), no período diurno das 7:00 h às 18:00 h e de 50 dB(A), no período noturno das 18:00 h às 7:00 h do dia seguinte, em quaisquer pontos a partir dos limites do imóvel onde se encontre a fonte emissora ou no ponto de maior nível de intensidade no recinto receptor.

Além disso, a Lei Complementar nº 42 de 04 de outubro de 2000, que instituiu o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Aracaju, apresenta dentre outros objetivos gerais: (i) preservar e proteger o meio ambiente natural dentro do território do município, observando-se as legislações, federal, estadual e municipal; (ii) garantir a qualidade ambiental do espaço construído; (iii) estimular a efetiva participação da população na defesa e preservação do meio ambiente.

O artigo 165 do capítulo referente ao uso do solo desse Plano Diretor considera que as atividades geradoras de ruídos em desacordo com a legislação pertinente estão sujeitas a condições especiais para suas instalações, observados o uso e a ocupação já existente no local. Deverão, obrigatoriamente, adotar medidas que as tornem compatíveis com o uso estabelecido no entorno, atendendo as exigências da legislação. Seu licenciamento passará pela análise prévia do Órgão Municipal de Desenvolvimento Urbano e Ambiental e pela aprovação do Conselho Municipal do Desenvolvimento Urbano e Ambiental.

Ressalta-se, ainda, a importância do Código de Obras e Edificações de Aracaju, Lei Complementar nº 03/2000, que apresenta como objetivo básico garantir níveis mínimos de qualidade nas edificações, através de exigência de padrões de segurança, conforto ambiental, adequação ao uso e durabilidade.

⁷ Lei adquirida junto ao setor de poluição sonora da EMSURB – Prefeitura Municipal de Aracaju (PMA).

3.4 Normas de Ruído Ambiental

De acordo com Gerges (2000), os países industrializados têm suas próprias normas e recomendações sobre índices e níveis de ruído para vários tipos de ambientes. Este subitem revisa, especialmente, algumas das mais importantes normas internacionais e nacionais concernentes à avaliação de ruído ambiental.

3.4.1 Internacionais

As normas internacionais são importantes na avaliação do ruído, podendo ser aplicadas diretamente ou como referência às normas nacionais. Pode-se dizer que existem duas principais organizações para normatização, a *International Organization for Standardization (ISO)*, que trata, principalmente, da metodologia e procedimentos de comparação dos resultados e a *International Electrotechnical Commission (IEC)* que aborda aspectos relacionados às instrumentações necessárias para avaliação de ruído ambiental (BRÜEL & KJÆR, 2000).

A norma ISO 1996 *Acoustics: Description and Measurement of Environmental Noise* consiste na principal norma para avaliação de ruído ambiental, estando dividida em três partes: (i) ISO 1996 – Parte 1 (1982) *Basic quantities and procedures*; (ii) ISO 1996 – Parte 2 (1987) *Acquisition of data pertinent to land use*, ISO 1996 – Parte 3 (1987) *Application to noise limits*. Esta norma define a terminologia básica, incluindo o parâmetro de nível corrigido e descreve as melhores práticas para avaliação de ruído ambiental, sendo, constantemente, revisada e atualizada.

A norma ISO 9613 *Acoustics: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors* é composta de duas partes: (i) ISO 9613 – Parte 1 (1993) *Calculation of the absorption of sound by the atmosphere* e (ii) ISO 9613 – Parte 2 (1996) *General method of calculation*. Esta norma, portanto, apresenta um método para cálculo de propagação sonora ao ar livre, considerando vários efeitos de propagação sobre o solo e, em especial, a absorção do ar que é detalhada na parte 1 desta norma.

3.4.2 No Brasil

No Brasil a avaliação de ruído ambiental é estabelecida pela norma NBR 10.151, a qual é remetida pela resolução CONAMA n° 001 de 08 de março de 1990, comentada anteriormente. A norma NBR 10.151 (2000) especifica um método para medição do ruído, aplicação de correção nos níveis medidos (de acordo com a duração, característica espectral e fator de pico) e o método de avaliação baseado numa comparação entre os níveis sonoros corrigidos (L_t) com o nível de critério de avaliação (NCA) estabelecido como admissível, indicando se o nível sonoro está na faixa tolerável ou se são necessárias medidas para reduzi-lo. Ou seja, a norma NBR 10.151 fixa as condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído na comunidade.

A seguir são apresentados na Tabela 3.1 os níveis de critério para ambientes externos em função dos horários diurno e noturno, os quais segundo a norma NBR 10.151, podem ser definidos pelas autoridades a depender dos hábitos da população.

Tabela 3.1 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos. Fonte: NBR 10.151 (2000).

Tipos de áreas	Diurno [dB (A)]	Noturno [dB (A)]
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente, residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Obs:

- (i) *Se o ruído ambiente for superior ao valor da tabela, o NCA assume o valor do ruído ambiente.*
- (ii) *O nível corrigido para um ruído sem características especiais é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente - contínuo (L_{eq}).*

- (iii) *Quando o ruído tiver características impulsivas ou de impacto o nível corrigido deve ser o nível máximo medido acrescido de 5 dB(A).*
- (iv) *Quando o ruído tiver características tonais o nível corrigido será o LAeq acrescido de 5 dB(A).*
- (v) *Para ruídos que apresentem tanto características impulsivas ou de impacto como características tonais, o nível corrigido deve ser determinado, aplicando-se os procedimentos anteriores e tomando-se o maior valor encontrado.*

3.5 Ferramentas para Avaliação de Ruído Ambiental

Para o estudo de ruído urbano, comumente, são observados trabalhos de mapeamentos e predição acústica de uma determinada área. Este item abordará essas duas ferramentas para avaliação de ruído ambiental, com ênfase à predição acústica, apresentando uma evolução de modelos de predição e descrição de alguns dos *softwares* utilizados para tal fim.

3.5.1 Mapeamento Acústico

Várias agências e publicações especificam que o mapeamento acústico é uma ferramenta fundamental para o estudo, diagnóstico e controle do ruído ambiental. Por exemplo, a Diretiva da União Européia possui, entre seus países-membro, uma clara proposta de harmonização dos procedimentos de medidas, índices e métodos de predição de ruído com a finalidade de alcançar a mínima qualidade sonora estabelecida entre eles (KOTZEN e ENGLISH, 1999).

Como ponto de partida, a Comissão acredita na estratégia de elaboração e uso de mapas acústicos na avaliação da exposição das pessoas ao ruído, aperfeiçoando com isso, o intercâmbio e divulgação ao público, das informações coletadas a respeito do ruído ambiental (KOTZEN e ENGLISH, 1999; SOMMERHOF, RECUERO e SUÁREZ, 2004).

O principal objetivo de um mapa acústico, que pode ser obtido a partir de medições diretas ou de modelos de predição acústica, é criar uma representação visual do ruído ambiental de uma certa área geográfica, sendo os níveis de ruído, representados de modo similar às curvas topográficas de mapas convencionais, conforme se vê na Figura 3.4.

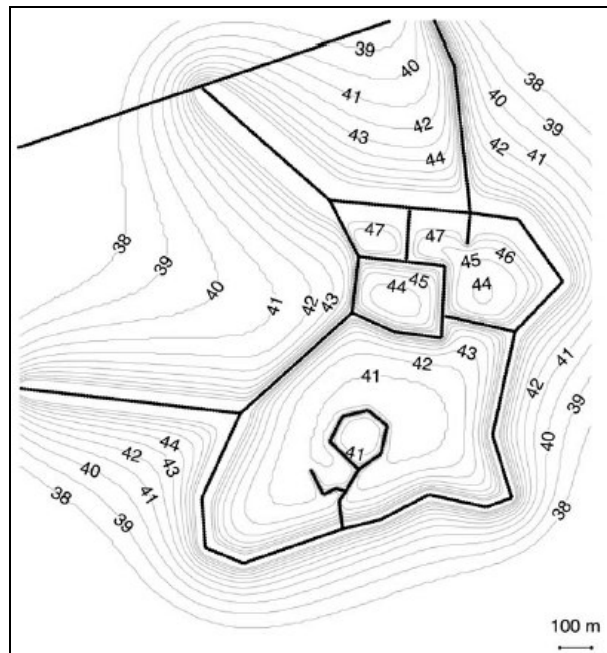


Figura 3.4 – Mapa acústico de uma determinada região na cidade de Göteborg (Suécia) obtida por meio de medições e predição acústica. Fonte: THORSSON; ÖGREN e KROPP, 2004.

Ainda no aspecto de representação gráfica, a ISO 1996-2 recomenda identificar nos mapas, os limites de cada curva através de cores padronizadas em trechos de 5dB (SOMMERHOF; RECUERO e SUÁREZ, 2004).

O mapeamento acústico fornece informações do ruído ambiental para o planejamento urbano e permite o acompanhamento da evolução de ambientes sonoros. Para tanto, são utilizados parâmetros acústicos associados a fatores demográficos e populacionais, além de aspectos do ambiente construído.

Durante o planejamento dos mapas acústicos, devem ser consideradas algumas questões, como: número, distribuição espacial e localização dos pontos de medição; dias, horários e duração das coletas dos dados acústicos, meteorológicos, geométricos e de tráfego; além da configuração e posicionamento dos equipamentos (NAGEM, 2004).

A seguir será abordada a predição acústica, uma outra ferramenta para avaliação de ruído ambiental, destacando seus principais aspectos, evoluções e aplicações.

3.5.2 Predição Acústica

Os métodos de predição de ruído ambiental em comunidades dependem de informações ou hipóteses relacionadas às fontes sonoras presentes nesses espaços. Por exemplo, se uma determinada comunidade está exposta a níveis sonoros elevados, gerados por uma importante fonte, a predição do ruído ambiental pode ser obtida apenas pela consideração desta fonte. No entanto, sabe-se que o ruído comunitário é resultado de várias fontes, próximas ou distantes, sendo necessário levar em conta a contribuição de cada uma e em seguida combinar seus efeitos (HARRIS, 1979).

Atualmente, existem vários procedimentos para predição dos níveis de pressão sonora em áreas adjacentes às fontes de ruído, como, indústrias, obras de construção civil, vias de tráfego, etc. Basicamente, nesses métodos são considerados modelos de predição, que descrevem a propagação do som ao ar livre, podendo, também, serem baseados em dados referentes à potência das fontes emissoras (GERGES, 2000).

Foi dito que o ruído de tráfego tem sido visto como principal incômodo sonoro em ambientes urbanos e o seu gerenciamento, uma tarefa desafiante para os administradores ambientais e planejadores urbanos (LI et al., 2002). Sendo assim, freqüentemente, esses profissionais têm aplicado modelos de predição, associados ou não às medições de parâmetros acústicos, como ferramentas para o desenvolvimento de projetos de novas estradas ou na avaliação de mudanças das condições do ruído de tráfego (STEELE, 2001).

Ao realizar tais predições, seja por expressões matemáticas, nomogramas ou, em situações mais complexas, utilizando-se programas computacionais, é preciso considerar nesses modelos alguns aspectos, quais sejam, nível de interrupção do fluxo de veículos, características geométricas das vias, correções devido à inclinação da pista, velocidade média real dos veículos, porcentagem de veículos pesados, dentre outros (NUNES e SANTOS, 1998).

Segundo Steele (2001), durante os anos de 1950 e 1960, os primeiros modelos de predição do ruído de tráfego foram desenvolvidos para determinar o nível de pressão sonora (L_p) de um único veículo ao lado da estrada. Esses modelos consideravam apenas velocidades constantes e os níveis obtidos eram expressos em função dessas velocidades. Modelos posteriores passaram a

calcular o nível equivalente contínuo (L_{eq}) para o tráfego, durante certo tempo, e aos poucos foram sendo aperfeiçoados, incluindo nos seus procedimentos de cálculo alguns dos parâmetros citados no parágrafo anterior, além da atenuação sonora ao ar livre, especialmente, presente nos modelos mais atuais.

Dentre os mais populares modelos estão, *Calculation of Road Traffic Noise* (CoRTN) - Reino Unido, *Federal Highway Administration* (FHWA) - Estados Unidos, *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen* (RLS-90) - Alemanha, OAL (Áustria), *Statens Planverk 48* - Escandinávia, EMPA - Suíça e o ASJ - Japão, cuidadosamente desenvolvidos e validados, sendo confiáveis por produzirem resultados de considerável precisão (LI et al., 2002).

Existem ainda os *softwares* comerciais, que se norteiam em alguns desses modelos, por exemplo, *Predictor* e *Lima* (Empresa Brüel & Kjør), *Mithra* (Empresa 01 dB), *SoundPLAN* (Empresa *Braunstein + Berndt GmbH*), geralmente, usados para: (i) criação de mapas de ruído com base em predições a partir de dados reais; (ii) identificação de importantes fontes sonoras; (iii) proposição e demonstração dos efeitos das soluções adotadas para redução de ruído; (iv) hierarquização das fontes sonoras pelo nível de pressão sonora; (v) monitoramento e controle do ambiente sonoro de uma área geográfica.

Em geral, pode-se dizer que os modelos de predição acústica apresentam certas vantagens quando comparados aos procedimentos de medições sistemáticas de parâmetros acústicos, pois fornecem informações detalhadas das principais fontes sonoras, possibilidades de análises em maior número de pontos, não sofrem interrupções diante de condições meteorológicas adversas, permitem, ainda, a avaliação de situações hipotéticas, simples atualizações e demonstram uma menor sensibilidade aos efeitos do ruído de fundo.

Entretanto, esses modelos possuem também desvantagens, principalmente, em vista da necessidade de coleta de dados (acústicos e geométricos) e da dependência entre a precisão dos resultados com as habilidades acústicas e experiências em modelagem por parte do usuário (BRÜEL & KJÆR, 2000).

3.5.2.1 Evolução de Modelos para Predição Acústica

De acordo com Sattler et al. (1998), as fórmulas para previsão do nível de ruído urbano a partir de informações do volume de tráfego e classificação do fluxo de veículos, têm substituído as medições sistemáticas os quais, normalmente, demandam tempo e recursos.

Segundo Zannin, Diniz e Calixto (2001), os modelos matemáticos capazes de prever níveis de ruídos equivalentes e estatísticos a partir desses parâmetros necessitam ser simples para que todos os envolvidos com o planejamento urbano possam utilizá-los, exigindo para os cálculos somente dados, facilmente, observáveis e ainda que permitam a obtenção de resultados com precisão compatível com a percepção subjetiva do ruído.

No entanto, os autores comentam que qualquer modelagem matemática direcionada ao ruído de tráfego será sempre uma estimativa, pois, mesmo que o fluxo e a composição do tráfego sejam iguais, existirão variações dos níveis medidos de ruído em função do estilo de dirigir, do tipo, das características e do estado de conservação dos veículos.

Muitas expressões matemáticas foram desenvolvidas e de acordo com Steele (2001), provavelmente, o modelo de ruído de tráfego mais antigo foi apresentado no *Handbook of Acoustic Noise Control* (1952), proposto para velocidades entre 35 – 45 mph (aproximadamente, 50 a 70 Km/h) e distâncias maiores do que 6 m. O modelo, então, calculava o valor de L_{50} com base na equação (3.6):

$$L_{50} = 68 + 8,5\log(V) - 20\log(D), \text{ dB (A)} \quad (3.6)$$

onde:

V é o volume de tráfego (veículos/h);

D é a distância entre a pista de tráfego e o receptor (pés).

Em 1965, este modelo foi aperfeiçoado por Nikson (1965 apud STEELE, 2001) e Lamure (1965 apud STEELE, 2001), obtendo-se a equação (3.7):

$$L_{50} = C + 10 \log(V/D), \text{dB (A)} \quad (3.7)$$

onde:

C é uma constante para nível de ruído individual.

Posteriormente, a velocidade média do veículo foi considerada por Johnson et al. (1968 apud STEELE, 2001) como importante fator, sendo obtida a equação (3.8):

$$L_{50} = 3,5 + 10 \log(V.S^3/D), \text{dB (A)} \quad (3.8)$$

onde:

S é a velocidade média do veículo em milhas por hora (mph).

No ano seguinte, Galloway et al. (1969 apud STEELE, 2001) introduziram a variável, porcentagem de veículos pesados (T), propondo a equação (3.9):

$$L_{50} = 20 + 10 \log(V.S^2/D) + 0,4(T), \text{dB (A)} \quad (3.9)$$

Percebe-se que, com o decorrer dos anos, as equações foram sendo melhoradas, incorporando novas variáveis (velocidades, porcentagens de veículos pesados, etc.), tendendo a ser mais confiáveis, além de calcular outros níveis, por exemplo, L_{10} e L_{eq} (STEELE, 2001).

Atualmente, segundo Nunes, Dornelles e Soares (1999), as duas equações mais usadas e testadas em algumas pesquisas são: a proposta pelo *Her Majesty's Stationery Office* (HMSO) do Departamento de Transportes do Reino Unido e a desenvolvida por Garcia e Faus (1991).

A equação proposta pelo HMSO considera a possibilidade de realização de correções referentes ao volume de tráfego, velocidade média e porcentagem de veículos pesados, conforme pode ser visto na equação (3.10) (LONDON, 1988 apud NUNES; DORNELLES e SOARES, 1999).

$$L_{10} = 10 \log(q) + 33 \log\left(v + 40 + \frac{500}{v}\right) + 10 \log\left(1 + \frac{5p}{v}\right) + 26.6 \quad (3.10)$$

onde:

q é o volume de tráfego (veículos/hora);

v é a velocidade média (km/h);

p é a porcentagem de veículos pesados (%).

A equação de Garcia e Faus (1991) foi obtida a partir de um estudo realizado na cidade de Valência (Espanha), objetivando desenvolver um modelo empírico para predição de níveis de ruído em áreas urbanas. De acordo com seus autores a equação (3.11) apresentou validade para uma grande variedade de situações urbanas (NUNES; DORNELLES e SOARES, 1999).

$$L_{eq} = 48,6 + 8,1 \log(q) \quad (3.11)$$

onde:

q é o volume de tráfego (veículos/hora).

A facilidade e economia na determinação de parâmetros de conforto acústico pelos profissionais preocupados e envolvidos com a qualidade do ambiente urbano construído são algumas das importâncias na aplicação de tais modelos. Contudo, ressalta-se que a obtenção de resultados representativos do ambiente sonoro em estudo depende da confiabilidade dos dados de entrada, quais sejam, volume de tráfego, velocidade média, porcentagem de veículos pesados (NUNES; DORNELLES e SOARES, 1999).

Foi visto que os ambientes urbanos apresentam cenários acústicos complexos e seus estudos precisam considerar a participação de várias fontes sonoras e a necessidade de se avaliar inúmeros pontos. Para este fim, os modelos computacionais se tornam imprescindíveis, uma vez que possibilitam a realização de cálculos, análises, e relatórios mais rapidamente e com precisão. Normalmente, esses cálculos são desenvolvidos por meio de algoritmos padrões, muitas vezes, aplicados a fontes específicas, exceto para a norma ISO 9613, a qual se baseia nos níveis de potência sonora, não precisando considerar o tipo de fonte em questão (BRÜEL & KJÆR, 2000).

Segundo Brüel & Kjær (2000), em geral, esses algoritmos calculam o nível de pressão sonora gerado por uma fonte em determinado ponto, utilizando-se a equação (3.12):

$$L_p = L_w + D_c + C_b - A_{propagação}, \text{ dB} \quad (3.12)$$

onde:

L_p é o nível de ruído equivalente num ponto receptor, em dB;

L_w é o nível de potência sonora, em dB (ref.: 10^{-12} Watts);

D_c é a correção de diretividade, em dB, quando a fonte não emitir som igualmente para todas as direções;

C_b é a correção quando a fonte não está sempre ativa, em dB;

$A_{propagação}$ é a atenuação devido à propagação, em dB.

Para a parcela ($A_{propagação}$), estão incluídos vários efeitos: divergência da fonte, absorção atmosférica, tipo de solo, barreiras, efeito das condições meteorológicas, dentre outros, que foram comentados no subitem referente à propagação sonora ao ar livre.

Esses algoritmos realizam a modelagem da fonte (tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo, indústrias, etc) e da propagação de um ponto referencial ao ponto de interesse para o qual serão determinados os níveis de ruído.

Outro aspecto importante é que esses modelos precisam ser calibrados para que possam fornecer resultados confiáveis e representativos. Para tanto, o procedimento, geralmente, envolve algumas medições *in loco*, sendo comparados os níveis calculados com os medidos. Porém, ao realizar a calibração, alguns cuidados precisam ser considerados, pois, a existência de condições meteorológicas estáveis, a garantia de que a atividade da fonte durante medição e cálculo seja a mesma e, ainda, a necessidade de se fazer correções das contribuições indesejadas provenientes de outras fontes sonoras, são determinantes para o seu sucesso.

A seguir serão apresentadas informações e características a respeito de alguns dos modelos de predição acústica e *softwares* comerciais mais recentes.

O Modelo FHWA

O modelo FHWA foi criado pelo Departamento de Transporte de Auto-estradas Federais dos Estados Unidos, paralelamente, desenvolvido em várias versões sobre o título de STAMINA. Este modelo assume fontes pontuais, trafegando com velocidade constante. No modelo original (FHWA-RD-77-108) foram padronizados como referências os níveis médios de energia emitidos por três classes de veículos, automóveis, caminhões médios e pesados, sendo expressos em níveis de pressão sonora numa distância de 15 m das fontes, em função da velocidade. Assim, o L_{eq} é calculado para cada classe e para cada hora de acordo com a equação (3.13):

$$L_{eq(h)} = \overline{L_0} + 0.115\sigma^2 + 10\log\frac{N_i \cdot \pi \cdot D_0}{T \cdot S} + 10\log\left[\frac{D_0}{D}\right]^{1+\alpha} + 10\log\left(\frac{\psi\alpha(\varphi_1, \varphi_2)}{\pi}\right) + \Delta_S, \text{ dB(A)} \quad (3.13)$$

onde:

$L_{eq(h)}$ é o nível sonoro equivalente - contínuo para a classe de veículo considerada, em dB(A);

L_0 é a média aritmética do nível de emissão de ruído para a classe de veículo considerada em dB(A);

σ é o desvio padrão para a classe;

N_i é o número de veículos de cada classe, passando durante certo horário;

D_0 é a distância referencial (geralmente, 15 m);

D é a distância perpendicular da linha central da pista ao receptor;

α é um parâmetro local ($0 < \alpha < 1$). Ou seja, se a superfície entre o observador e a via de tráfego é reflexiva α assumirá o valor de 1 (KESSLER, 1982);

S_i é a velocidade média na qual os valores de L_0 foram obtidos para a classe de veículo em estudo;

T é a duração, geralmente, de 1 hora;

φ_1 e φ_2 são os ângulos em graus que descrevem o segmento finito da via;

Δ_S é a atenuação devido às barreiras, edifícios, bosque, etc.

O Modelo de Ruído de Tráfego FHWA (Versão 1.0)

O FHWA TNM E9 (Versão 1.0) foi introduzido por Anderson et al. (1996 apud STEELE, 2001). Embora derivado do *software* STAMINA 2.0, apresentou alguns avanços, por exemplo: permite a importação de arquivos de CAD, possui recursos que levam em conta a aceleração, as sinalizações de trânsito, etc., além de permitir a alimentação dos níveis médios de emissão de energia por meio de bancos de dados dos veículos definidos.

A atenuação é obtida de maneira usual, incluindo as absorções devido à atmosfera e topografia. Pode ser ainda calculada a atenuação por barreiras.

RLS - 90

*Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen*⁸ (RLS-90) consiste numa norma alemã, que estabelece técnicas específicas, procedimentos de medição e redução de ruído de tráfego rodoviário e de estacionamentos. O governo alemão publicou a norma RLS-90 como sucessora da versão original dessa norma, publicada em 1981 (RLS-81).

A RLS-90 utiliza o método da fonte pontual com espalhamento, atenuação sonora, refração e reflexão. Seus procedimentos de cálculo apresentam dois modelos: da fonte e da propagação. Com relação ao modelo da fonte são usados dados de tráfego para prever o nível de ruído referencial em 25 metros de distância da estrada (L_{25}) e 4 metros acima do solo. Já o modelo da propagação tem como dados de entrada a emissão média durante o dia e a noite, resultando em níveis de ruído no receptor durante os respectivos períodos. Maiores detalhes ver Anexo – A

⁸ Diretrizes para proteção ao ruído em rodovias.

MITHRA

Consiste num *software* comercial produzido pela empresa francesa, 01 dB, contendo um amplo pacote de traçado de raios. O MITHRA assume o tráfego de veículos como sendo uma fonte linear e as estradas são divididas em cinco classes, podendo apresentar seis tipos de superfícies de rodagem.

Em seus cálculos, são levados em conta os efeitos devido ao solo e a atmosfera, além da difração e reflexões diante da topografia local, edifícios e barreiras. O algoritmo considera o número de veículos por hora em cada pista, a porcentagem de veículos pesados, a equivalência entre veículos leves e pesados, a velocidade do fluxo de veículos e um fator de correção para tráfego com fluxo interrompido ou sujeito a acelerações (CALIXTO, 2002). Ressalta-se ainda a sua aplicabilidade nos cálculos para ruído proveniente de ferrovias.

PREDICTOR (TYPE 7810)

Consiste num *software* comercial para predição, apresentação e gerenciamento do ruído ambiental, produzido pela firma BRÜEL & KJÆR, que possibilita a modelagem eletrônica do ambiente acústico de uma área geográfica e com isso, avaliar o ruído externo proveniente de diferentes fontes, tais como, indústria ou tráfego de veículos.

Algumas de suas principais características são: concordância com a norma ISO 9613, CoRTN (L_{10} e L_{Aeq}) e as fontes de ruído podem ser definidas em L_w ou segundo suas características (por exemplo, tipo de tráfego, fluxo de veículos, etc.). O *Predictor (type 7810)* permite a realização de mapeamentos de níveis sonoros, avaliações de impactos ambientais e comparações entre cenários acústicos.

LIMA (TYPE 7812)

Consiste em outro *software* comercial desenvolvido pela empresa BRÜEL & KJÆR, destinado para análises ambientais com base em modelos tridimensionais. Pode ser utilizado em avaliações de impacto ambiental, planejamento urbano e mapeamento de ruído, em larga escala, sendo também aplicado para outros tipos de avaliações ambientais, como, a poluição do ar.

Oferece ferramentas para criação de modelos 3D (topografia e edificações), combinação e otimização das informações de várias fontes de ruído (estradas, linhas de trem, indústria, áreas de lazer e esporte), além de considerá-las como pontuais, lineares ou de superfície. Alternativamente, os modelos podem ser construídos no *AutoCAD* e importados para o *software Lima* no formato (.dxf). Esse *software* possibilita, ainda, importar e exportar dados de outros *softwares*, tais como, MapInfo, ArcInfo, ArcGIS (SHAPE). Com relação aos cálculos, são realizados com base em normas internacionais, por exemplo, RLS-90, CoRTN, ISO 9613-2, dentre outras.

SoundPLAN

O *SoundPLAN* é um *software* comercial desenvolvido pela empresa alemã *Braunstein + Berndt GmbH*, voltado para análises ambientais, possibilitando gerar mapas sonoros, avaliações de impactos acústicos e comparações entre cenários ambientais.

Apresenta ferramentas para criação de modelos 3D, para importar e exportar dados, concordância com principais normas internacionais para ruído de estradas (por exemplo, RLS - 90, CoRTN, etc.), ferrovias, indústria e aeronaves. Quanto ao procedimento de cálculo para o ruído de tráfego, apresenta modelo que calcula as potências sonoras dos veículos, podendo ser derivadas de dados de tráfego. No caso do ruído de indústria é necessária a entrada de dados medidos. Além disso, o *software* considera os principais fatores de atenuação sonora ao ar livre (BRAUNSTEIN e BERNDT, 2004).

Ressalta-se que neste trabalho foi utilizado o *software SoundPLAN*, versão 6.0, do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Maiores informações sobre o *SoundPLAN* serão apresentadas no decorrer do texto.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1 Introdução

Na revisão bibliográfica foram comentados alguns aspectos do ruído – definições, tipo, classificação, efeitos nocivos ao homem, entre outros. Destacou-se o ruído presente em ambientes urbanos, abordando os principais mecanismos de propagação sonora ao ar livre e a influência da forma urbana no ambiente sonoro de uma região. Foram abordados, também, conceitos fundamentais, descritores acústicos, normas e ferramentas para avaliação de ruído, como, o mapeamento acústico e a predição acústica.

A fim de alcançar o objetivo principal estabelecido nessa pesquisa, ou seja, verificar a influência da forma urbana em ambiente sonoro, utilizando-se o bairro Jardins como campo experimental, o trabalho foi dividido em estudos de CASO (1, 2 e 3). Nesses estudos foi analisado o cenário acústico atual, com e sem muros (Estudo de CASO 1 e 2) e cenários criados em regiões ainda sem ocupação (Estudo de CASO 3).

A avaliação ocorreu com base em mapeamentos acústicos em relação ao plano horizontal (*Grid Noise Map*) e vertical (*Cross-Sectional Noise Map*) obtidos por meio do *software* para mapeamento e predição acústica, *SoundPLAN 6.0*.

Este capítulo apresenta e contextualiza o ambiente em análise e descreve o método e os materiais empregados para o desenvolvimento do trabalho.

4.2 A Cidade de Aracaju (SE)

Aracaju, capital do estado de Sergipe, está localizada na região nordeste do Brasil. Foi fundada em 17 de março de 1855, portanto, uma cidade ainda jovem com apenas 150 anos de existência. Porém, devido ao seu rápido crescimento nos últimos anos, a exemplo do ocorrido nas demais cidades brasileiras, Aracaju possui, hoje, tamanho compatível as outras cidades médias do país⁹. De acordo com o censo demográfico de 2000, sua população era de 461.534 mil habitantes¹⁰, numa área de 174 km² (IBGE, 2000).

A cidade de Aracaju encontra-se ao nível do mar, numa zona litorânea, sendo sua parte leste banhada pelo Oceano Atlântico (Figura 4.1), cujas coordenadas geográficas indicam uma latitude Sul de 10° 16' 30" e longitude a Oeste de Greenwich, de 37° 01' 30", mais ou menos equidistante das extremidades norte e sul do território do Estado de Sergipe.

Segundo a Lei nº 554 de 06 de fevereiro de 1954 - Anexo II publicado em 14.12.1954 Diário Oficial (D.O), o município de Aracaju se limita com os municípios de São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro e Santo Amaro das Brotas, como pode ser visto na Figura 4.1 (ARACAJU, 2005).

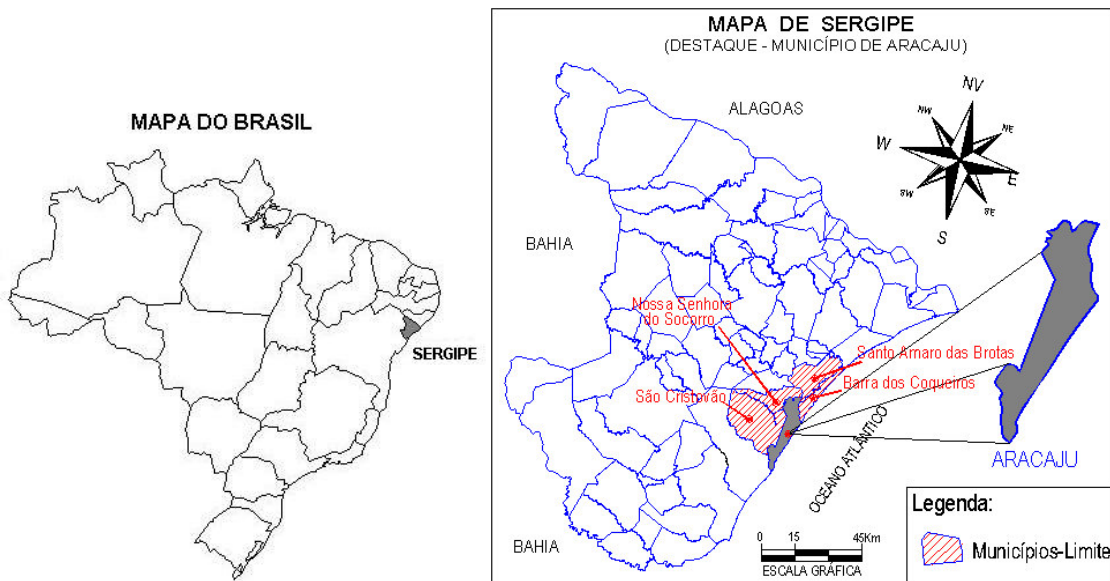


Figura 4.1 – Localização do município de Aracaju em relação ao estado de Sergipe.

⁹ Comentário do professor José Alexandre Felizola Diniz na apresentação do livro Aracaju: estado e metropolização (FRANÇA, 1999).

¹⁰ População estimada de 491.898 mil habitantes para o ano 2004 (Censo Demográfico 2000 - IBGE).

Quanto ao clima, apresenta uma precipitação média anual de 1590 mm, sendo os períodos entre os meses de março e agosto os mais chuvosos, possuindo uma temperatura média anual de 26 °C (ARACAJU, 2005).

O Anexo – B apresenta um pouco da história da cidade de Aracaju, com destaque para sua evolução urbana e processo de verticalização e no Anexo – C, encontra-se o mapa de divisão dos seus bairros.

4.3 Região em Estudo: O Bairro Jardins – Aracaju (SE)

Em Aracaju (SE), no início dos anos de 1990, grupos de empresários locais deram início ao projeto de implantação de um novo *Shopping Center* para a cidade, interessados pela valorização de algumas de suas propriedades (vazios urbanos).

O projeto abrangia, também, a criação de um bairro situado na zona sul da cidade, a três quilômetros do Centro Histórico (Figura 4.2a), enaltecendo os espaços privados tipo condomínios fechados como condição ideal de morada, além da presença de espaços públicos, tais como, praças, calçadões, ciclovias, bulevares, dentre outros.

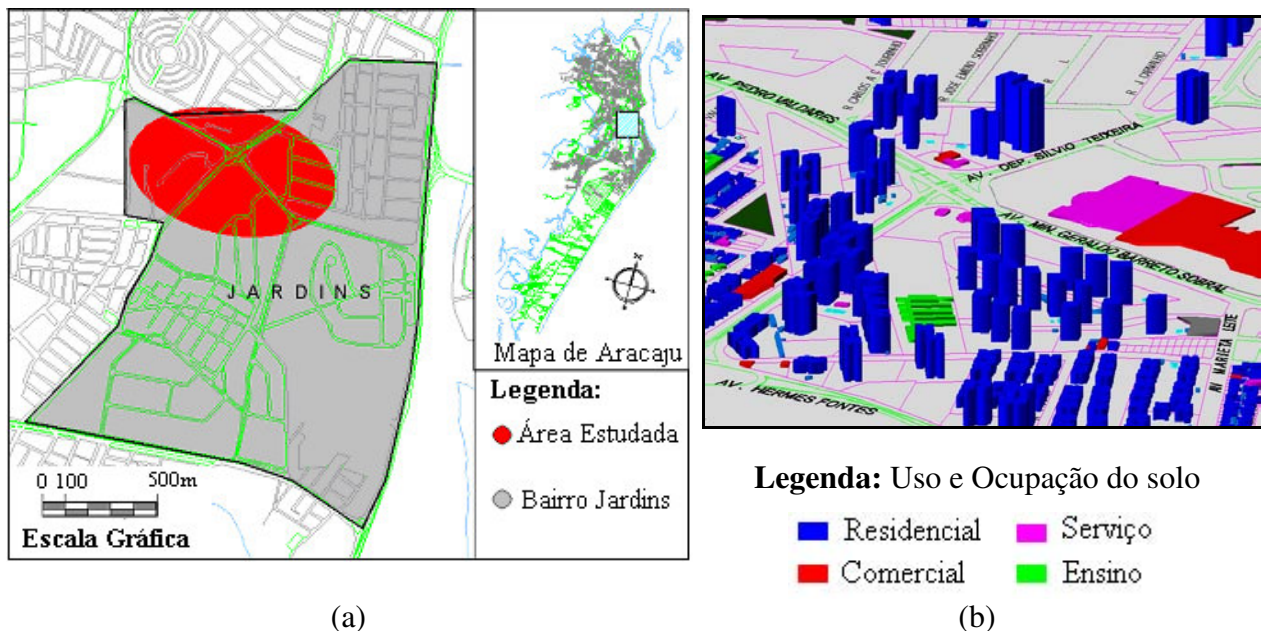


Figura 4.2 – (a) Localização da área em estudo do bairro Jardins, (b) modelo 3D da área estudada (Vista Sudoeste).

O bairro denominado Jardins teve sua origem na construção de duas avenidas, Pedro Valadares¹¹ e Deputado Silvio Teixeira, as quais se cruzam, distribuindo os espaços destinados aos condomínios verticais multifamiliares e ao *Shopping Center*, priorizados pelo partido urbanístico (Figura 4.2b). O interesse, enfim, era oferecer aos seus moradores conforto e segurança dentro dos seus espaços privados (SILVA, 2003).

No entanto, de acordo ainda com Silva (2003), a consequência imediata dessa proposta urbanística foi o visível direcionamento dos espaços públicos à circulação de veículos e pedestres, alimentando a hipótese para o presente trabalho de que o fluxo de tráfego nas principais vias citadas se constitui na principal fonte responsável pelo ruído ambiental da região em estudo. Ressalta-se que a confirmação de tal hipótese ocorreu após a realização das primeiras observações do espaço acústico local, sendo, portanto, utilizada nas simulações e obtenção dos mapas acústicos, os quais serão apresentados no capítulo referente aos resultados e discussões.

Quanto ao uso e ocupação do solo, o programa urbanístico da área envolvia quatro tipos: comercial, residencial, institucional e público, podendo-se observar na Figura 4.2b a maior predominância para o uso residencial.

Passados poucos anos do início de sua implantação, evidenciam-se em alguns pontos do bairro, primeiros sinais de possíveis problemas urbanos relacionados, por exemplo, ao uso e ocupação do solo, a inexistência de áreas verdes projetadas, ao sub-dimensionamento de vias para veículos e passeios para pedestres, e ao rápido processo de verticalização, justificando e tornando pertinente a problematização da influência de alguns desses aspectos no ambiente sonoro dessa região.

A seguir serão apresentados o método e materiais utilizados por essa pesquisa para a obtenção dos resultados, que serão apresentados e discutidos no Capítulo 5 – Resultados e Discussões.

¹¹ Esta avenida passa a ter o nome de Min. Geraldo Barreto Sobral após cruzamento com a Av. Dep. Sílvio Teixeira.

4.4 Materiais e Método

O método utilizado pela pesquisa partiu da idéia de verificar a influência das principais características físicas da forma urbana (densidade de construção, existência de áreas livres, larguras das vias, forma e disposição das edificações, presença de barreiras - muros ou edifícios), na propagação do som (ruído), influenciando o ambiente sonoro no bairro jardins.

Primeiramente, estudou-se o cenário acústico atual da região e em seguida, foram realizadas simulações acústicas de cenários hipotéticos. Para facilitar o desenvolvimento do trabalho e entendimento dos resultados dessas simulações, o trabalho foi dividido em estudos de CASO (1, 2 e 3), que serão comentados a seguir.

As análises foram realizadas com base nos mapeamentos acústicos em relação aos planos, horizontal (*Grid Noise Map*) e vertical (*Cross-Sectional Noise Map*) e tabelas com valores de níveis sonoros calculados pelo *software* para mapeamento e predição acústica, *SoundPLAN 6.0*.

Para a criação dos mapas bidimensionais do campo acústico local, foram realizadas as seguintes atividades, as quais serão detalhadas no decorrer desse capítulo:

- (i) Coleta dos dados para a alimentação do *software SoundPLAN 6.0*;
- (ii) Modelagem e Simulações Acústicas:
 - ✓ Modelagem geométrica da região.
 - ✓ Inserção das principais fontes sonoras.
 - ✓ Calibração do modelo acústico da região (Apêndice-A).
 - ✓ Cálculo dos mapeamentos acústicos.

Foram selecionados três setores que pudessem ser representativos para a realização do estudo. A Figura 4.3 mostra esses setores, como também, os pontos de medições acústicas externas, localizados ao longo das avenidas: Dep. Sílvio Teixeira, Pedro Valadares e Min. Geraldo B. Sobral e ainda na Rua “A” e Alameda “B”. A Figura 4.3 também mostra os pontos de

vistas das fotos, as quais ajudam a retratar o entorno urbano da região, que será caracterizado no subitem 4.4.1.

O setor 1 encontra-se de certo modo consolidado, apresentando a maioria de suas edificações próximas a Av. Dep. Sílvio Teixeira. Os setores 2 e 3 apresentam regiões com e sem construções (áreas livres). Para todos esses setores foi estudado o cenário acústico atual, com e sem muros (Estudos de CASO 1 e 2, respectivamente).

No setor 2 foram feitas simulações acústicas de cenários hipotéticos criados através da inserção de edificações com diferentes características físicas nos locais ainda sem ocupação (Estudo de CASO 3). O objetivo dessas simulações foi realizar previsões acústicas, ou seja, verificar os níveis sonoros que chegariam nas fachadas de edifícios existentes no entorno, caso a configuração urbana se apresentasse conforme os cenários criados.

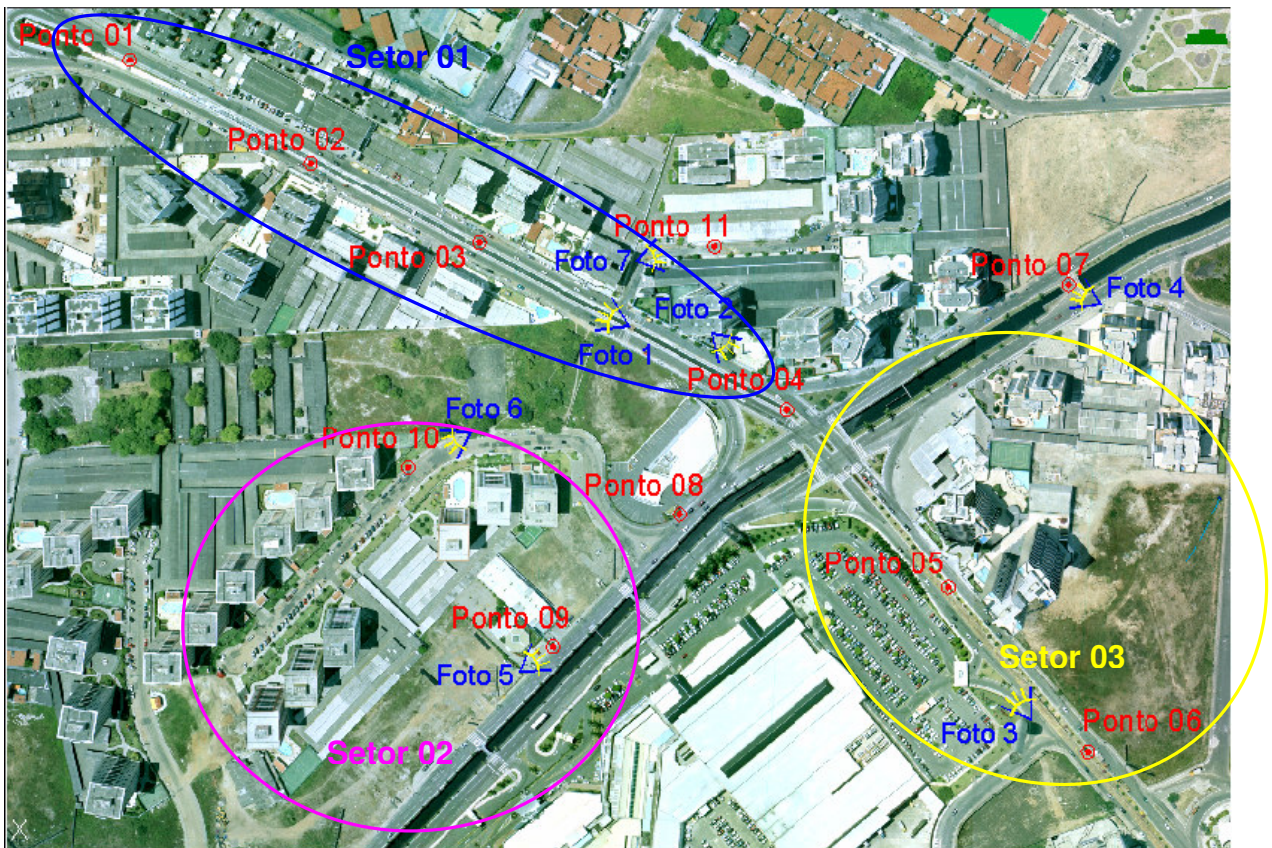


Figura 4.3 – Ortofotocarta da região em estudo no bairro Jardins. Fonte: Adaptado de Aracaju (2004).

4.4.1 Caracterização do Entorno Urbano da Região em Estudo

A Tabela 4.1 apresenta a caracterização e visualização do entorno urbano em estudo (Figuras 4.4 a 4.10). Destaque para as avenidas principais, vias locais, edificações, áreas livres existentes, etc.

Tabela 4.1 – Caracterização do entorno urbano dos setores estudados.

Av. Dep. Sílvio Teixeira (1º Trecho)

Foram selecionados nesse trecho três pontos de medição:

1º ponto – perfil em “U” margeada nos dois lados por edificações com 4 pavimentos.

2º ponto – perfil em “L” margeada de um lado por edificação com 13 pavimentos e do outro por edificação com altura, aproximadamente, de 3 pavimentos.

3º ponto – perfil em “U” margeada nos dois lados por edificações com 13 pavimentos.



Figura 4.4 – Foto 1: 1º trecho da Av. Dep. Sílvio Teixeira (março, 2005).

Entorno Urbano: (i) Avenida com 2 vias de 7 m de largura e asfaltadas, passeios centrais em concreto de 1,5 m e canal aberto com 3 m de largura; passeios laterais adjacentes aos condomínios residenciais com largura, variando entre 1,5 a 2 m; (ii) presença de edificações, margeando as vias com altura, de 3 a 13 pavimentos; fachadas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias rebocadas e revestidas com pintura, pastilhas cerâmicas pintadas, concreto, vidro...); (iii) muros frontais dos condomínios com altura média de 2,5 m e muros laterais com 3 a 5 m; (iv) ausência de vegetação.

Av. Dep. Sílvio Teixeira (Cruzamento c/ Av. Min. Geraldo B. Sobral)

Foi selecionado nesse trecho um ponto de medição:

4º ponto – representa, aproximadamente, campo livre.



Figura 4.5 – Foto 2: cruzamento entre as avenidas estudadas (março, 2005).

Entorno Urbano: (i) cruzamento com presença de semáforos e faixas de pedestres; início do canteiro central com gramas e término do canal aberto da Av. Dep. Sílvio Teixeira.

Av. Dep. Sílvio Teixeira (2º Trecho)

Foram selecionados nesse trecho dois pontos de medição:

5º ponto – perfil em “L” margeada de um lado por edificação com 15 pavimentos e do outro por um estacionamento descoberto (*Shopping Center Jardins*).

6º ponto – aproximadamente, uma situação de campo livre; presença de áreas livres em ambos os lados da via.



Figura 4.6 – Foto 3: 2º trecho da Av. Dep. Sílvio Teixeira (março, 2005).

Entorno Urbano: (i) avenida com 2 vias asfaltadas com 7,1 m de largura, canteiro central de 4 m de largura com grama e arbustos, passeios laterais com 1,5 m de largura adjacentes aos condomínios e *Shopping Center Jardins*, revestidos com granito, concreto ou ainda sem revestimentos. Presença de edifícios com 15, 18, 24 pavimentos; (ii) existência de áreas livres não pavimentadas e área de estacionamento descoberta pavimentada com asfalto, pertencente ao *Shopping Center Jardins*.

Av. Pedro Valadares

Foi selecionado nesse trecho um ponto de medição, que pode ser visto na Figura 4.7:

7º ponto – perfil em “L” margeada de um lado por edificação com 15 pavimentos e do outro por uma área livre.



Figura 4.7 – Foto 4: ponto localizado na Av. Pedro Valadares (fevereiro, 2005).

Entorno Urbano: (i) avenida com 2 vias asfaltadas e largura de 9 m, canal aberto com largura de, aproximadamente, 14 m; passeios laterais, com 1,5 m de largura, adjacentes aos condomínios, revestidos com granito, concreto ou s/ revestimentos; (ii) presença de edifícios com 15 pavimentos e áreas livres não pavimentadas.

Av. Min. Geraldo B. Sobral (Cont. da Av. Pedro Valadares)

Foram selecionados nesse trecho dois pontos de medição:

8º ponto – aproximadamente, campo livre.

9º ponto – aproximadamente, campo livre (Figura 4.8)



Figura 4.8 – Foto 5: ponto localizado na Av. Min. Geraldo B. Sobral (fevereiro, 2005).

Entorno Urbano: (i) avenida com 2 vias asfaltadas, com 9 m de largura, canal aberto com aprox. 10 m de largura, passeios laterais em concreto com 1,5 a 2 m de largura. Presença de edificações comerciais e serviço, com 1 e 2 pavimentos, além do *Shopping Center* (altura de aprox. 12 m);(ii) existência de áreas livres não pavimentadas e estacionamento asfaltado, pertencente ao *Shopping Center Jardins*.

Alameda “B”

Foi selecionado nesse setor um ponto de medição:

10º ponto – perfil em “U” margeado pelos dois lados por edificações com 13 pavimentos.



Figura 4.9 – Foto 6: ponto localizado na Alameda “B” (fevereiro, 2005).

Entorno Urbano: (i) rua com uma única via de mão-dupla, asfaltada e com 11 m de largura, existência de *cul-de-sac*, passeios laterais em concreto, com 2 m de largura; presença de faixas laterais ajardinadas e revestidas com grama, adjacentes aos muros dos condomínios locais, com 5 m de largura; (ii) edificações com tipologia padrão com 13 pavimentos; (iii) fluxo local de veículos.

Rua “A”

Foi selecionado nesse setor um ponto de medição:

11º ponto – representa um perfil em “U” margeado de um lado por edificações com 13 pavimentos e do outro por edificações com 15 pavimentos.



Figura 4.10 – Foto 7: ponto localizado na Rua “A” (março, 2005).

Entorno Urbano: (i) rua com uma única via de mão-dupla, asfaltada e com 7 m de largura, passeios laterais de concreto com largura de 1,5 m, existência de *cul-de-sac*; (ii) fluxo local de veículos.

4.4.2 Coleta de Dados

O *software SoundPLAN* trabalha com os seguintes dados de entrada: (i) potência sonora para fontes pontuais; (ii) potência sonora por unidade de comprimento para fontes em linha; (iii) potência sonora por unidade de área para fontes em área, (iv) dados de tráfego, por exemplo, fluxo de veículos, porcentagem de veículos pesados, além do gradiente e do tipo de pavimento das pistas, a fim de quantificar o ruído gerado pelo tráfego em ruas, avenidas ou rodovias; (v) dados geométricos da região, ou seja, topografia do terreno, localização e caracterização física das edificações, muros (barreiras), e demais elementos construtivos que possam interferir na propagação sonora ao ar livre (BRAUSNTEIN e BERNDT, 2004) .

Para a modelagem acústica realizada nesse trabalho, os dados coletados foram os seguintes: medidas acústicas (Nível Sonoro Equivalente – Contínuo, LAeq), dados de tráfego (fluxo, composição de veículos e velocidade média) e geométricos (alturas das edificações - gabaritos, muros, larguras de ruas e avenidas, passeios, canteiros centrais, etc.). O objetivo dessa coleta foi organizar um banco de informações para a construção e calibração do modelo acústico da região. Ressalta-se, também, a aquisição de dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa e velocidade do vento), a fim de garantir condições atmosféricas semelhantes e adequadas para a realização das medições acústicas.

Após a seleção dos setores representativos da região através de observações da forma urbana local, foram definidos os pontos de medições acústicas e coleta dos demais dados, procurando-se verificar os aspectos semelhantes e diferentes da forma urbana, tais como, maior ou menor densidade de edifícios, presença de áreas livres, afastamentos entre fachadas, largura das vias, alturas das edificações, etc.

A Figura 4.11 mostra uma planta-baixa do modelo geométrico da região em estudo no bairro Jardins, criada no *SoundPLAN 6.0*, que será comentado com maiores detalhes no subitem 4.5.1 Modelagem Geométrica da Região.

Nessa planta estão todos os pontos de medições acústicas usadas para a comparação com os valores calculados, além das principais edificações e informações gerais para o entendimento dos mapas acústicos que serão apresentados no Capítulo 5 – Resultados e Discussões.

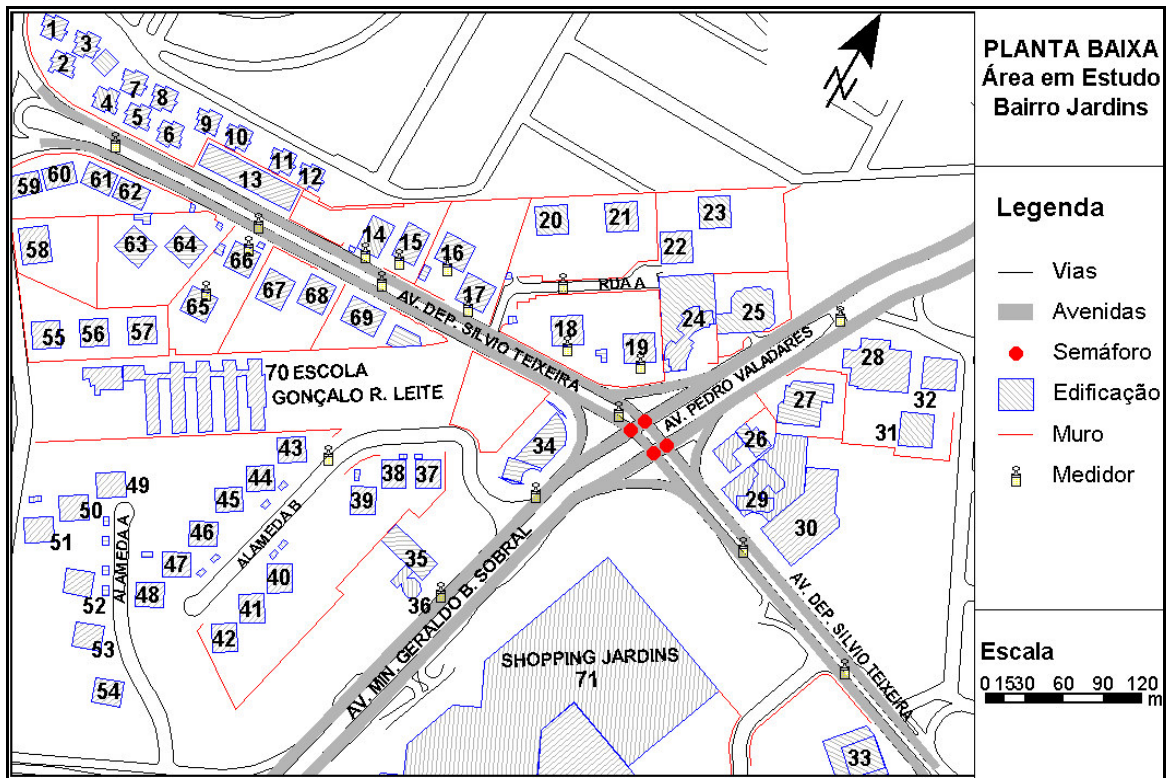


Figura 4.11 – Planta-baixa da região do bairro Jardins (destaque: identificação das edificações e dos 19 pontos de medição acústica).

Tabela 4.2 – Identificação das principais edificações da região em estudo.

Nº	Nome	Nº	Nome	Nº	Nome
1-12	Cd. Solares	29	Cd. Wemblev Park	52-54	Cd. Vitória Garden
13	Centro Empr. Luiz Cunha	30	Cd. Le Jardim	55-57	Cd. Aquarius
14-15	Cd. Jardim Tropical	31-32	Cd. Tyrol	58	Cd. Mart Pellier ¹²
16-17	Cd. Jardim Imperial	33	Cd. Horto do Ipê	59-62	Cd. Hermes Fontes
18-19	Cd. Costra Brava	34	Ag, Bancária Banese	63-64	Cd. Phoenix
20-21	Cd. Costa Esmeralda	35	Casa das Tintas	65-66	Cd. Delphinos
22-23	Cd. Palma de Mallorca	36	Decide Imobiliária	67-68	Cd. Vênus
24	Cd. Le Bristol	37-39	Cd. Spring Village	69	Cd. Olimpus
25	Cd. Beau Rivage Plaza	40-42	Cd. Tropical Village	70	Escola Gonçalo R. Leite
26	Posto de Gasolina. Jardins	43-45	Cd. Golden Garden	71	Shopping Center Jardins
27	Cd. Millenium Residence	46-48	Cd. Real Garden		
28	Cd. Manhattan Residence	49-51	Cd. Regent Garden		<i>Obs: Condomínio (Cd.)</i>

¹² Edifício em construção.

4.4.2.1 Medições Acústicas

Foram selecionados 19 pontos de medições acústicas. Desse universo, 11 pontos foram localizados ao longo da Av. Deputado Sílvio Teixeira, Av. Pedro Valadares e Av. Min. Geraldo Barreto Sobral (principais fontes de ruído da região), na Alameda “B” (Ponto 10) e na Rua “A” (Ponto 11) (Figura 4.11).

No caso desses pontos de medições externas, os seus posicionamentos foram determinados de modo que facilitassem a realização das medições, sem interferências de pedestres ou até mesmo de veículos que pudessem parar ou estacionar defronte aos locais de medição.

Os 8 pontos restantes foram situados nos pavimentos térreos de edifícios em alguns condomínios verticais multifamiliares, previamente, selecionados. O objetivo dessas medições foi registrar os níveis de imissão sonora¹³ dentro dos limites desses condomínios, a uma certa distância da avenida, ou seja, da fonte de ruído de tráfego.

A seleção dos condomínios e edifícios obedeceu, primeiramente, ao critério técnico, escolhendo-se, por exemplo, os edifícios que apresentavam diferentes afastamentos em relação a fonte de ruído. No entanto, o consentimento e liberação por parte de alguns moradores e síndicos foram determinantes para a escolha desses condomínios.

Após a etapa de contatos com os síndicos e moradores, ficaram definidos os seguintes condomínios para a realização das coletas de dados acústicos: Condomínio Delphinus (Blocos A e B); Condomínio Jardim Tropical (Blocos A e B); Condomínio Jardim Imperial (Blocos A e B); Condomínio Costa Brava (Ed. Barcelona e Ed. Valência).

As medições dentro dos condomínios foram realizadas nos pavimentos térreos de todos os edifícios selecionados, em pontos afastados a uma distância de 2 m de suas respectivas fachadas frontais¹⁴, a fim de evitar as interferências devido às reflexões. A Figura 4.12 destaca o

¹³ Nível de imissão sonora é definido como o nível de pressão sonora emitido por uma fonte menos as perdas na transmissão entre a fonte e o receptor, isto é, consiste no nível de pressão sonora que, efetivamente, chega ao sistema auditivo do receptor.

¹⁴ Fachadas voltadas para a via de tráfego (Av. Dep. Sílvio Teixeira).

posicionamento dos medidores de pressão sonora em relação às fachadas frontais de alguns desses edifícios.

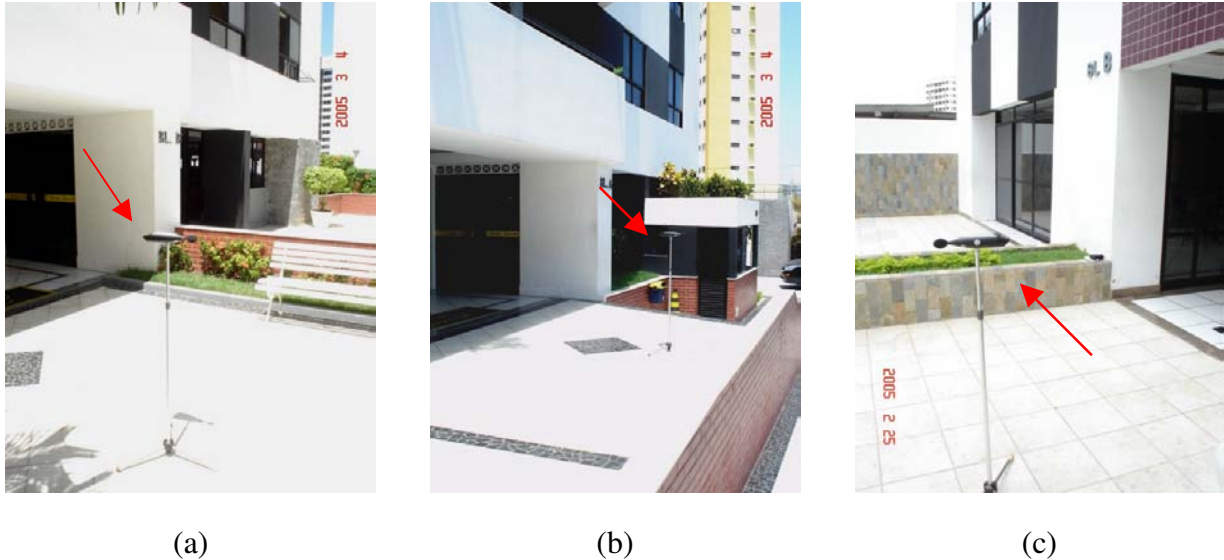


Figura 4.12 – Detalhe do posicionamento do medidor de nível de pressão sonora defronte às fachadas frontais dos edifícios: (a) bloco B – Ed.(16) do Cd. Jardim Imperial, (b) bloco A – Ed. (17) do Cd. Jardim Imperial, (c) bloco B – Ed. (65) do Cd. Delphinos (fevereiro e março, 2005).

Porém, deve ser salientado que em alguns momentos houve dificuldade em conciliar horário com funcionários de determinados condomínios, dificultando a realização de algumas medições. Tais dificuldades, somadas ao próprio limite de armazenamento de dados pelo equipamento, foram determinantes para a definição do número de amostras (número de pontos de medições externas e internas aos condomínios e número de registros por cada ponto medido).

As medições acústicas externas foram realizadas durante os dias úteis da semana (segunda a sexta-feira), por um período de duas semanas consecutivas, no mês de fevereiro e início de março de 2005. Por dia foram medidos dois pontos, dentro da faixa de horários de pico, ou seja, 12:00h às 13:00h e 18:00h às 19:00h. Durante as medições externas, foi possível medir cada ponto em horários aproximados e nos mesmos dias durante as duas semanas consecutivas. Simultaneamente, a essas medições acústicas, eram realizadas contagens de tráfego (fluxo e composição de veículos), que serão comentadas no subitem 4.4.2.2 (Dados de Tráfego).

Já as medições internas¹⁵, ou seja, dentro dos limites dos condomínios, ocorreram durante uma semana e apenas no intervalo das 12:00h às 13:00h¹⁶. Porém, devido às dificuldades no agendamento de horários em alguns condomínios, foi necessário realizar medições em dias isolados numa outra semana.

Tanto nas medições internas quanto nas externas aos condomínios, houve a preocupação de fazer, para cada amostra, três registros consecutivos de níveis sonoros equivalente-contínuo na escala de ponderação A (LAeq). Para cada registro, estabeleceu-se um tempo de medição de 30 s. A escolha desse número de registro por amostra levou em conta o fato da região ser urbana e os níveis de ruído serem provenientes do tráfego de veículos, sendo comum à existência de inúmeras variáveis e interferências externas.

A escolha do período de 12:00h às 13:00h e 18:00h às 19:00h para as medições externas e de 12:00h às 13:00h para as medições internas teve o intuito de cobrir os horários de maiores picos de tráfego dos veículos nas avenidas consideradas, uma vez que eram nesses períodos que ocorriam, com maior frequência, as condições de fluxo contínuo de veículos.

Quanto à escolha do tempo de medição de 30 s para cada registro, foi devido ao interesse de medir níveis sonoros em situações de fluxo contínuo de veículos. Esse tempo correspondia, ao período de abrir e fechar dos semáforos existentes nas proximidades, sendo responsáveis pela maior ou menor fluidez do tráfego. As medições foram realizadas em período típico, descartando os feriados, férias escolares e condições meteorológicas adversas, possibilitando uma maior confiabilidade nos dados coletados.

Para a coleta dos dados acústicos, utilizou-se o medidor de nível sonoro integrador *Mediator 2238-A*, com microfone de campo livre de ½” Tipo 4188, ambos da empresa Brüel & Kjær (Figura 4.13). Ao microfone foi acoplado um protetor de vento, do mesmo fabricante, para minimizar as possíveis interferências causadas pelo vento. O medidor utilizado é classificado

¹⁵ Durante essas medições não foram realizadas contagens de tráfego, pois, em alguns momentos não era possível ver as avenidas por conta de obstáculos, por exemplo, os muros do Cd. Costa Brava. Houve o cuidado de realizá-las dentro de horários de pico.

¹⁶ Essas medições internas ocorreram somente no intervalo de 12:00h às 13:00h, pois, houve dificuldade de agendamento de horários de medição durante o período de 18:00h às 19:00h.

como sendo do tipo 1, de precisão, atendendo, por exemplo, aos padrões das normas ANSI S1.43 – 1983, IEC 651 – 1979, IEC 804 – 1985.



Figura 4.13 – Medidor de nível de pressão sonora da Brüel & Kjær. Fonte: http://www.bksv.com/tbdoc/3239/2238_Mediator.pdf. Acesso em 15 de julho de 2005.

Durante as coletas dos dados acústicos, o instrumento foi apoiado sobre tripé a 1,20 m do solo, sendo calibrado no início e final de cada medição. Para tanto, foi utilizado o calibrador de nível sonoro do Tipo 4231 (Brüel & Kjær), em conformidade com as normas ANSI S 1.40 – 1984 e IEC 942 – 1988. Além disso, o mesmo foi configurado para medição de ruído ambiental, na ponderação em frequência segundo a curva de compensação A e ponderação no tempo de resposta rápida (*fast*).

4.4.2.2 Dados de Tráfego

Em paralelo às medições acústicas externas aos condomínios, eram realizadas as contagens diretas do fluxo e composição de veículos nas Av. Dep. Sílvio Teixeira e Av. Min. Geraldo B. Sobral (Continuação da Av. Pedro Valadares), através de contador de veículos (leves e pesados) da marca *Veeder Root*.

Nesse contador eram registrados todos os veículos (categorias, leve e pesado) das duas pistas de cada avenida, os quais passavam pelo ponto de medição, durante o mesmo tempo de 30s referente às medições acústicas. Para a categoria dos veículos leves foram considerados, inicialmente, as motocicletas e automóveis com capacidade máxima para 5 pessoas. Enquanto

que, para os veículos pesados foram agrupados as caminhonetes, vans, pick ups, caminhões e ônibus.

Outro dado coletado foi a velocidade média dos veículos que trafegavam por cada trecho das avenidas. Para os veículos leves foram registrados valores de velocidade média de 50 Km/h. A obtenção desse valor foi feita com um velocímetro de um automóvel inserido no fluxo de veículos, passando pelos pontos de medições acústicas. Atribuiu-se para os veículos pesados um valor de velocidade de 40 Km/h.

Porém, durante a etapa de modelagem e simulações acústicas, verificou-se a necessidade de realizar uma nova contagem de tráfego, considerando agora como veículos pesados, todos àqueles com peso acima de 2,80 toneladas¹⁷, ou seja, caminhões, micro-ônibus e ônibus. Nessa oportunidade, foram registrados todos os veículos que passavam nas duas pistas de cada avenida durante os períodos de pico das 12:00h às 13:00h e 18:00h às 19:00h, não sendo registrados desta vez os níveis sonoros.

Durante essas últimas contagens, observou-se que para os horários de pico considerados, a Av. Dep. Sílvio Teixeira apresentou uma porcentagem de veículos pesados de, aproximadamente, 1% e a Av. Min. Geraldo Barreto Sobral um valor de 2%.

4.4.2.3 Dados Geométricos

Os dados geométricos, por exemplo, alturas das edificações, muros, larguras, tipos de pavimentação e estado de conservação das ruas e avenidas, largura de passeios e canteiros, foram extraídos das plantas-baixas e ortofotocarta da região e conferidos com medições *in loco*. Os materiais usados para essa coleta foram: trena, máquina fotográfica digital, prancheta e planilha para o registro e organização das informações coletadas.

Ressalta-se também a anotação da presença de sinalizações horizontais e verticais de trânsito (placas de velocidade, semáforos, faixas de pedestres), pontos de ônibus, etc. Além disso, houve o cuidado de marcar todos os pontos de medições acústicas na planta-baixa da região para

¹⁷ Será visto mais adiante que a norma RLS – 90 (utilizada nesse trabalho) considera como veículos pesados àqueles com peso superior a 2,80 toneladas.

serem utilizados, posteriormente, na comparação dos níveis sonoros medidos com os calculados no *SoundPLAN 6.0*.

4.4.2.4 Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos foram obtidos junto a Secretaria de Estado do Planejamento, Ciência e Tecnologia (SEPLANTEC) do estado de Sergipe, com o intuito de garantir condições semelhantes e adequadas para a realização das medições acústicas. Foram, então, registrados valores de temperaturas máximas e mínimas, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

4.5 Modelagem e Simulações Acústicas

4.5.1 Modelagem Geométrica da Região

A primeira etapa para a realização das simulações acústicas foi a construção do modelo geométrico da região em estudo. De acordo com Diniz (2003), apesar do *SoundPLAN* dispor de um módulo para se modelar a região a ser analisada, é preferível utilizar um *software* tipo *Computer Aided Designer* (CAD). Optou-se pelo uso do *AutoCAD* versão 2000 para a representação da planta-baixa com base numa ortofocarta da região (Figura 4.3), gentilmente, cedida pela Secretaria Municipal de Planejamento (SEPLAN) da Prefeitura Municipal de Aracaju (PMA).

O procedimento foi representar todos os elementos construtivos existentes dentro da área de estudo, que de fato interfeririam na propagação sonora ao ar livre, ou seja, edificações, muros etc. Embora o *SoundPLAN* trabalhe com a topografia do terreno por meio de curvas de nível, o modelo foi construído, considerando uma topografia plana. Uma simplificação que não prejudicou a precisão do modelo, pois, representa bem a situação real do bairro Jardins. Quanto às pistas das avenidas, tidas como principais fontes de ruído da região, foram representadas por meio de linhas de eixo.

Após a conclusão desta etapa os arquivos (.dxf), criados no *AutoCAD* 2000, foram importados no *SoundPLAN 6.0*. As entidades do *AutoCAD 2000* foram então convertidas em objetos do *SoundPLAN 6.0* e em seguida atribuídas propriedades específicas para cada tipo de objeto, por exemplo, número de pavimentos e alturas para as edificações, alturas para os muros

(barreiras), fluxo de veículos e porcentagem de veículos pesados para as fontes sonoras de tráfego (avenidas), etc. Uma visão 3D *wireframe* do modelo geométrico final da região pode ser vista na Figura 4.14.

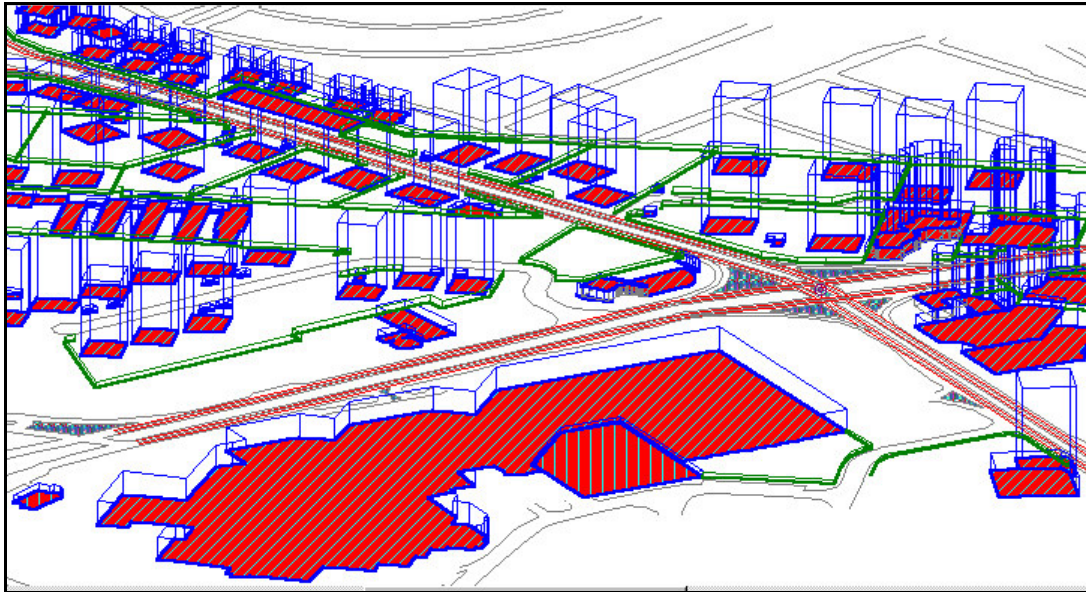


Figura 4.14 – Visão 3D *wireframe* do modelo geométrico final da região em estudo no bairro Jardins (2005), extraída da interface do *SoundPLAN* 6.0.

De acordo com Diniz (2003) a precisão de uma modelagem para futuras simulações computacionais influenciará na precisão dos resultados alcançados. Deste modo, houve a preocupação de se construir um modelo que pudesse representar o mais próximo possível a realidade da região, sendo necessária a realização de medições acústicas no local para posterior comparação com os resultados obtidos pelas simulações, como recomenda *Braunstein e Berndt* (2004) no *User's Manual* do *SoundPLAN*. Diniz (2003) comenta, ainda, que a metodologia de cálculo adotada no *software*, como outro aspecto importante que influi na precisão dos resultados de uma determinada simulação.

As modelagens, os cálculos e as avaliações realizadas pelo *SoundPLAN* são baseados em normas, por exemplo, RLS-90, CoRTN, *Statens Planverk 48*, etc. Para o presente trabalho, cuja única fonte de ruído considerada advém do tráfego de veículos das avenidas principais, adotou-se a metodologia da norma alemã RLS-90, que segundo Calixto (2002) mostrou ser aplicável às condições brasileiras.

Outras pesquisas têm utilizado com sucesso essa norma em situações no Brasil, por exemplo, os trabalhos de Diniz (2003) e Paz (2004), realizados na cidade de Curitiba, ambos desenvolvidos no Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

4.5.2 Inserção das Fontes Sonoras

Conforme dito em seções anteriores, as primeiras observações do cenário acústico atual da região, foi possível verificar que as fontes de ruído mais importantes correspondiam aos tráfegos de veículos na Av. Dep. Sílvio Teixeira e Av. Min. Geraldo B. Sobral.

Durante a modelagem geométrica da região, foram desenhadas linhas de eixo no *AutoCAD 2000*, representando cada pista dessas avenidas. Ao serem importadas para o *SoundPLAN 6.0* foram transformadas em objeto tipo, *Road*, sendo atribuídas propriedades específicas e inseridos os dados necessários, segundo a norma RLS-90, para a realização do cálculo do ruído devido ao fluxo de veículos. Alguns desses dados são: (i) número de veículos por hora; (ii) porcentagem de veículos pesados; (iii) velocidades dos veículos leves e pesados, (iv) tipo de superfície e gradiente da rua, avenida, ou rodovia; (v) adição devido às reflexões múltiplas (BRAUNSTEIN e BERNDT, 2004). Ressalta-se que de acordo com essa norma, os veículos pesados correspondem àqueles com peso superior a 2,80 toneladas.

A seguir é apresentada a Tabela 4.3, contendo um resumo dos dados de tráfego inseridos no *SoundPLAN 6.0* para a caracterização das fontes de ruído. Com a inserção dessas informações o *software* estava pronto para realizar os cálculos e gerar os mapas acústicos da região.

Tabela 4.3 – Resumo dos dados de tráfego inseridos no *SoundPLAN 6.0*

Fonte/Avenida	Fluxo de veículos por hora	% (Vpesados)	Velocidade (Vleves)	Velocidade (Vpesados)
Av. Dep. Sílvio Teixeira	2611	1%	50 Km/h	40Km/h
Av. Min. Geraldo B. Sobral	2671	2%	50 Km/h	40 Km/h
Av. Pedro Valadares	2671	2%	55 Km/h	45 Km/h

Obs: (i) Vpesados (veículos pesados); Vleves (veículos leves);

(ii) os dados mostrados na Tabela 4.3 representam uma média dos valores coletados, separadamente, durante os períodos de 12:00h às 13:00h e 18:00h às 19:00h para cada trecho da avenida. Essa simplificação foi adotada devido à semelhança no comportamento do tráfego dessas avenidas durante os horários de pico considerados. Maiores detalhes ver item 4.6 Simplificações do Modelo Acústico.

4.5.3 Cálculo dos Mapeamentos Acústicos da Região

Após a realização de todas as atividades descritas para a modelagem acústica da região, deu-se início a etapa de cálculo e obtenção dos mapeamentos acústicos do cenário acústico atual e dos cenários hipotéticos. Foram gerados mapas acústicos tanto em relação ao plano horizontal (*Grid Noise Map*) quanto ao plano vertical (*Cross-Sectional Noise Map*).

Para a realização do cálculo dos níveis de ruído e obtenção dos mapas acústicos pelo *SoundPLAN*, foi necessário delimitar uma área de cálculo¹⁸ ainda durante a fase de modelagem geométrica. Dentro dessa área delimitada, o *SoundPLAN* executa o cálculo, gerando uma malha de pontos receptores, cujo refinamento (*Grid Spacing*) é definido pelo próprio usuário a depender dos objetivos do estudo.

Segundo *Braunstein e Berndt* (2004) a escolha do *Grid Spacing* depende, por exemplo, da precisão, do tempo de cálculo e tamanho dos arquivos desejados. Em áreas pouco urbanizadas, o espaçamento de 20 a 50 m entre os pontos da malha é suficiente, enquanto que, para ambientes urbanos, deve ser entre 5 e 15 m.

Para o modelo desenvolvido nesse trabalho, foi utilizado para o *Grid Noise Map*, um refinamento (*Grid Spacing*) de 10 m, pois, a região onde se realizou a pesquisa consiste numa área urbana. Outro parâmetro a ser determinado e necessário para o cálculo e geração do *Grid Noise Map*, refere-se a altura de cálculo em relação ao plano horizontal (*Height Above Ground [m]*). Foi adotado um valor de 1,5 m acima do nível do solo¹⁹, mais ou menos, altura média das janelas dos pavimentos térreos das edificações, e altura aproximada do medidor em relação ao solo durante as medições acústicas.

¹⁸ Foi criado um polígono retangular, englobando todas as edificações, avenidas (fontes de ruído) e demais elementos considerados pertinentes ao estudo.

¹⁹ A área foi considerada plana, sendo a cota de nível do solo igual a zero.

No caso do *Cross-Sectional Noise Map*, que segundo *Braunstein e Berndt (2004)* corresponde um mapa de ruído do plano vertical, o cálculo é realizado ao longo de uma linha de *Cross-Section*, definida também pelo usuário na etapa de modelagem geométrica.

Para esse tipo de cálculo, do mesmo modo que ocorreu no *Grid Noise Map*, definiu-se um *Grid Spacing*, adotando-se agora um valor de 5 m entre os pontos da malha. Além disso, era necessária a determinação da altura de cálculo relativa a direção vertical (*Calculation Height[m]*). Tal altura variou e foi determinada de acordo com a maior altura das edificações seccionadas pela linha de *Cross-Section* (comentada no parágrafo anterior). Esse critério foi adotado para garantir que todos os edifícios fossem, totalmente, representados nos mapas acústicos verticais.

Conforme visto, as coletas dos dados ocorreram em horários de pico, dentro do intervalo de 12:00h às 13:00h e 18:00h às 19:00h. Em função disso, os mapas gerados representam, aproximadamente, os cenários acústicos da região durante esses horários.

4.6 Simplificações do Modelo Acústico

Durante a descrição da etapa de modelagem e simulação acústica, foi comentado a respeito de algumas simplificações adotadas no modelo o qual estava sendo construído. Ressalta-se que a utilização dessas simplificações ocorreu somente após a realização de testes, os quais mostraram que as mesmas não provocavam alterações significativas nos resultados calculados, portanto, não comprometiam a qualidade do modelo acústico em construção.

Uma primeira simplificação foi a consideração da cota do nível do solo igual a zero. O bairro Jardins caracteriza-se por ser uma região plana, existindo pequenas variações de alturas em pontos isolados. Além disso, verificou-se um pequeno gradiente longitudinal para as avenidas, podendo ser consideradas planas²⁰.

Outra simplificação importante diz respeito às características de tráfego das avenidas consideradas. Em vista do que foi comentado no subitem 4.4.2.2 (Dados de Tráfego), adotou-se o

²⁰ A norma alemã RLS – 90, utilizada neste trabalho, ao realizar os cálculos dos níveis sonoros, não faz correções devido ao gradiente de ruas ou rodovias quando esse é menor ou igual a 5%, considerando-as de topografia plana.

critério de realizar uma média do fluxo de veículos para cada avenida, representando-se, aproximadamente, os dois horários de pico (12:00h às 13:00h e 18:00h às 19:00h).

Assumiui-se, também, que o comportamento do tráfego (fluxo total de veículos e porcentagem de veículos pesados) é semelhante para as duas pistas, em cada avenida. O que é favorecido pelo traçado dessas avenidas e por apresentarem um fluxo bem definido de ida e vinda de veículos.

Embora o *SoundPLAN 6.0* apresente um procedimento de cálculo específico para estacionamentos, diante do objetivo desse trabalho, não levou-se em consideração a contribuição do nível de ruído gerado nas áreas de estacionamento do *Shopping Center Jardins*. O critério adotado de considerar apenas o tráfego de veículos nas principais avenidas como fontes de ruído, explica a não utilização nas simulações, da contribuição do fluxo de veículos local na rua “A” e nas alamedas “A” e “B”.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Introdução

A influência da forma urbana no ambiente sonoro no bairro Jardins foi analisado, primeiramente, investigando-se o cenário acústico atual da região (Estudo de CASO 1) e, em seguida, cenários hipotéticos (Estudos de CASO 2 e 3), por meio de simulações acústicas realizadas no *software SoundPLAN 6.0*.

Nesse capítulo são apresentados e discutidos os resultados dessas simulações, na forma de mapas acústicos horizontais (*Grid Noise Map*) e verticais (*Cross-Sectional Noise Map*), além de tabelas, contendo valores dos níveis sonoros equivalentes verificados nas fachadas de alguns edifícios presentes nos cenários simulados.

Ressalta-se que, conforme comentado no Capítulo 4 – Metodologia da Pesquisa, as fontes de ruído consideradas nesse estudo referem-se aos tráfegos de veículos nas avenidas Dep. Sílvio Teixeira e Min. Geraldo Barreto Sobral (continuação da Av. Pedro Valadares). Para a caracterização dessas fontes, foram inseridos no *SoundPLAN 6.0*, valores médios dos parâmetros de tráfego coletados durante horários de pico (12:00h às 13:00h e 18:00h às 19:00h).

5.2 Estudo de CASO 1: Cenário Acústico Atual

5.2.1 Mapas Acústicos – Plano Horizontal (*Grid Noise Map*)

O mapa apresentado na Figura 5.1 mostra o cenário acústico atual da região em estudo, contendo os principais elementos presentes no local, tais como, edificações, muros, traçados das vias (com destaque as avenidas principais - fontes de ruído), cruzamento e semáforos. A legenda ao lado do mapa indica as simbologias usadas para a identificação de cada um desses elementos e apresenta um escala de cores associada às variações dos níveis sonoros na região. É importante lembrar que tal mapa representa a distribuição dos níveis sonoros na região a uma altura de 1,5 m em relação ao nível do solo.

Com base no mapa, percebe-se a influência das edificações e demais barreiras (muros) na propagação do ruído do tráfego gerado pelas avenidas principais da região. Um primeiro indicativo dessa influência pode ser obtido, comparando-se os setores 1, 2 e 3 (Figura 5.1).

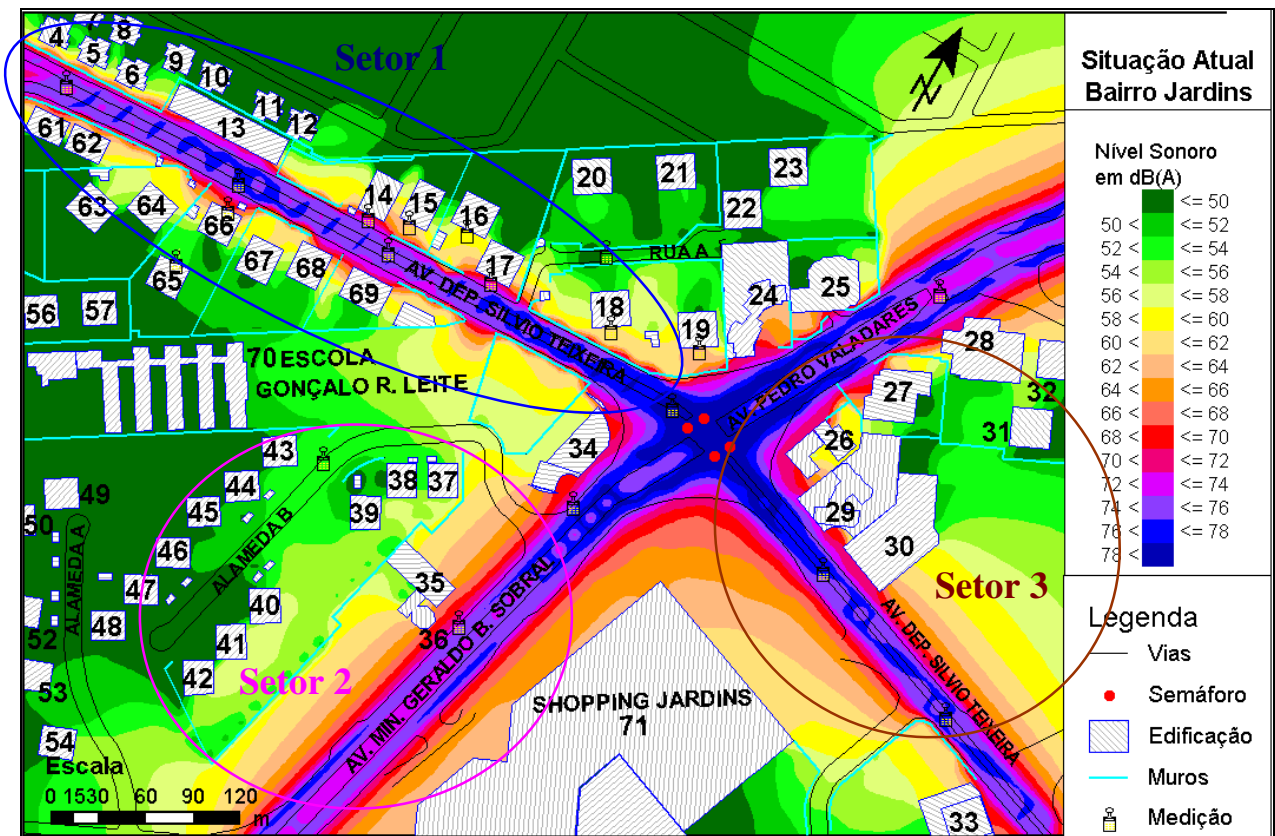


Figura 5.1 – Cenário acústico atual da região em estudo

No setor 1, a presença de edifícios e muros às margens da Av. Dep. Sílvio Teixeira dificulta a livre propagação do ruído, os quais se comportam como barreiras acústicas. Nas regiões ainda não edificadas (áreas livres) dos setores 2 e 3, ocorre uma propagação do ruído típica em situações de campo livre, havendo um contínuo decaimento sonoro com a distância.

Outro ponto que merece destaque é a visualização do efeito da difração sonora. Tal fenômeno físico pode ser visto no setor 1, entre os afastamentos laterais de edifícios vizinhos, por exemplo, 14 e 15 (Cd. Jardim Tropical); 16 e 17 (Cd. Jardim Imperial); 66 (Cd. Delphinos); 67 e 68 (Cd. Vênus) e 69 (Cd. Olimpus) e nos locais próximos às avenidas onde existem descontinuidades dos muros.

Da Figura 5.1 salienta-se, também, o acréscimo no nível sonoro na região próxima ao cruzamento com semáforos entre as avenidas, Dep. Sílvio Teixeira e Min. Geraldo B. Sobral. O *SoundPLAN*, com base na norma RLS-90, considera um aumento de 3 dB(A) no nível sonoro para os pontos que se encontram a um raio de distância de 40 m, de 2 dB(A) para distâncias entre 40 e 70 m, e de 1 dB(A) para distâncias entre 70 e 100 m em relação ao cruzamento (BRAUNSTEIN e BERNDT, 2004).

Observando-se a distribuição dos níveis sonoros na região, verificou-se que os pontos mais afastados das avenidas principais estão expostos a menores níveis de ruído, não acontecendo com as edificações localizadas nas suas margens, que de acordo com a escala de cores ao lado do mapa, estão expostos a níveis de ruído em torno de 68 a 72 dB(A).

Os menores valores de níveis sonoros nos locais mais afastados da fonte de ruído estão associados não somente à atenuação sonora com a distância, mas também, à participação das edificações e muros, os quais funcionam como obstáculos à propagação do ruído gerado pelo tráfego das avenidas principais.

Duas áreas mais protegidas do ruído merecem destaque: a região nas proximidades da alameda “B”²¹ e da rua “A”, que por se encontrarem em espaços internos de suas respectivas

²¹ A alameda “A” também representa uma outra região protegida do ruído das avenidas, possuindo características semelhantes à alameda “B”.

quadras, apresentam níveis sonoros inferiores a 56 dB(A), como pode ser visto no mapa da Figura 5.1. Essas duas regiões foram denominadas de bolsões de silêncio.

Ressalta-se que os níveis apresentados no mapa da Figura 5.1 correspondem somente às contribuições das avenidas principais, desconsiderando a pequena participação do fluxo local de veículos e o próprio ruído ambiental dessas regiões.

A alameda “B” possui no seu entorno edifícios - padrões com 13 pavimentos (aprox. 39 m de altura)²². A existência desse bolsão de silêncio deve-se tanto ao decaimento sonoro com a distância quanto ao efeito-barreira dos edifícios indicados no mapa pelos números 37, 38 e 39 (Cd. *Spring Village*) e 40, 41 e 42 (Cd. *Tropical Village*).

Cabe destacar, ainda, a presença de muros, principalmente, o muro pertencente aos condomínios citados, com 3,5 m de altura, que contribui em parte na atenuação do ruído do tráfego gerado pela Av. Min. Geraldo Barreto Sobral.

No próximo subitem serão mostradas algumas seções verticais ao longo das avenidas principais, as quais permitirão melhor análise e visualização do comportamento dos muros existentes na região diante do ruído gerado por essas avenidas.

Quanto ao bolsão de silêncio referente à área localizada nas proximidades da rua “A”²³, do mesmo modo que ocorre na alameda “B”, é resultante do decaimento sonoro com a distância e da participação dos edifícios e muros como obstáculos à propagação do ruído. Essa região possui condomínios com edifícios de 13 e 15 pavimentos e muros altos com 3 a 3,5 m.

5.2.2 Mapas Acústicos - Seções Verticais (*Cross-Sectional Noise Map*)

A Tabela 5.1 apresenta as seções ao longo das avenidas Dep. Sílvio Teixeira, Pedro Valadares e Min. Geraldo B. Sobral. No lado superior direito da tabela, encontram-se a legenda, contendo a simbologia de cada elemento representado nos mapas, como, avenida, edificação e muro, além da escala de cores associada aos níveis sonoros em dB(A). Com base nesses mapas

²² Durante a etapa de coleta de dados foi estabelecido um ponto de medição acústica externa nessa região - Ponto 10 (Figura 5.1).

²³ Nessa região, também, foi escolhido um ponto de medição acústica externa - Ponto 11 (Figura 5.1).

são realizadas observações e análises qualitativas da influência da forma urbana na propagação do ruído gerado pelo tráfego das avenidas.

As figuras a seguir mostram o campo acústico formado no plano vertical ao longo das avenidas principais, destacando os diferentes comportamentos na propagação do ruído diante de situações com edificações em ambos os lados das avenidas (seções 1, 2, 5 e 10), com edificações apenas de um lado (seções 3, 4, 6, 7, 11, 12), ou ainda quando não há quase nenhuma edificação nas proximidades das vias (seções 13, 14 e 15).

Nas seções com edifícios em ambos os lados, acontece um confinamento das ondas sonoras e ocorrência de reflexões nas fachadas dessas edificações até encontrarem um local de escape, seja nos pontos mais elevados dos edifícios ou nos afastamentos laterais com as edificações vizinhas²⁴ (Figura 5.1). Na situação que existe edificação apenas de um lado ou quando não há nenhuma edificação em ambos os lados, a propagação do ruído mostra-se semelhante às situações de campo livre, ocorrendo um contínuo decaimento sonoro com a distância.

Na maioria dos mapas identifica-se a formação de regiões de sombra acústica, indicando que as fachadas voltadas para essas áreas encontram-se mais protegidas do ruído. A seção 2 apresenta duas situações de edifícios-barreira, por exemplo, o edifício 66 que contribui para os menores níveis de ruído que chegam ao edifício 65 (prédios residenciais do Cd. Delphinos) e o edifício 13 (Centro Empresarial Luiz Cunha) com atividades²⁵ menos sensíveis ao ruído, protegendo o prédio residencial 11 (Cd. Solares) do ruído direto da avenida Dep. Sílvio Teixeira. O segundo exemplo representa, portanto, a possibilidade de se implantar edificações menos sensíveis ao ruído como barreiras acústicas, protegendo as fachadas dos prédios localizados por trás dessas.

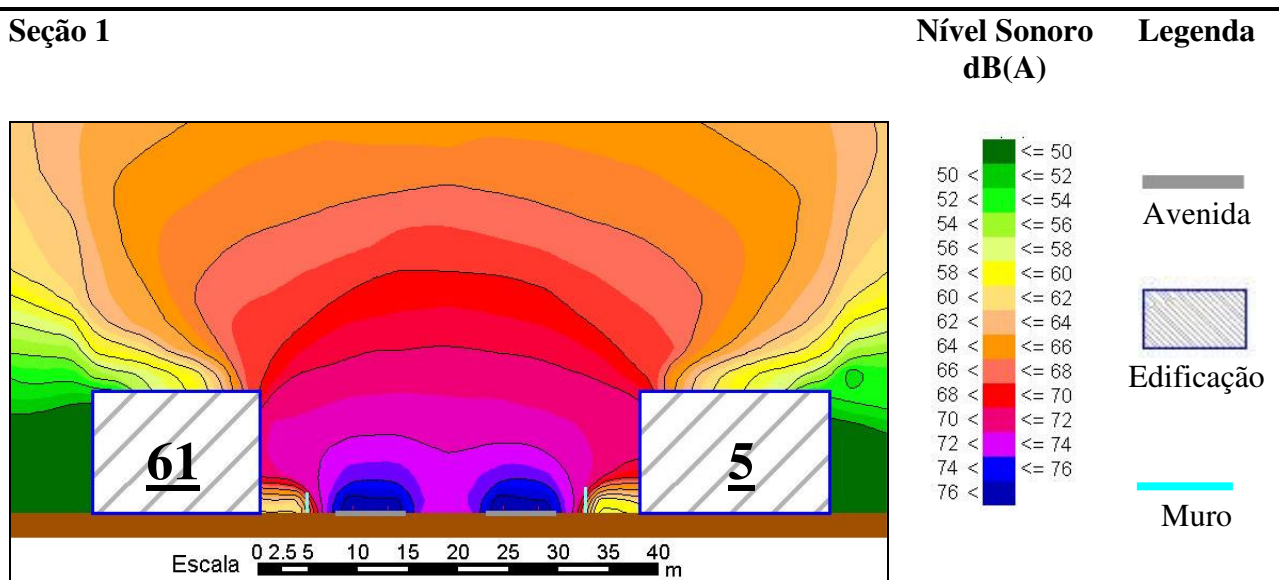
²⁴ Será visto no item 5.3 que devido a esses afastamentos laterais e às características de atenuação do nível sonoro com a altura, a presença de edificações em ambos os lados nas proximidades de uma via de tráfego, nem sempre representa situações de *canyons* urbanos.

²⁵ Essa edificação possui atividades comerciais (lojas) e de serviço (Banco do Brasil), que são menos sensíveis ao ruído.

Ainda no aspecto referente às barreiras acústicas, nos mapas verifica-se também a influência na propagação do ruído pelos muros²⁶ localizados, principalmente, às margens das vias. Percebe-se que, em geral, os muros protegem mais os pavimentos inferiores dos prédios, o que será destacado mais adiante por meio de gráficos comparativos entre valores de níveis sonoros para cada pavimento de alguns edifícios, nas situações com muros e sem muros (item 5.3).

Dos mapas também merecem destaque, os bolsões de silêncio da rua “A” e da alameda “B” (seções 8, 14 e 15), regiões localizadas nos espaços internos das quadras, protegidos do ruído das avenidas principais pelos edifícios e muros. Por fim, é possível identificar em alguns mapas a maior exposição aos níveis de ruído do tráfego pelos edifícios localizados mais próximos às vias.

Tabela 5.1 – Campo acústico das seções verticais ao longo das avenidas: Dep. Sílvio Teixeira, Min. Geraldo B. Sobral e Pedro Valadares.



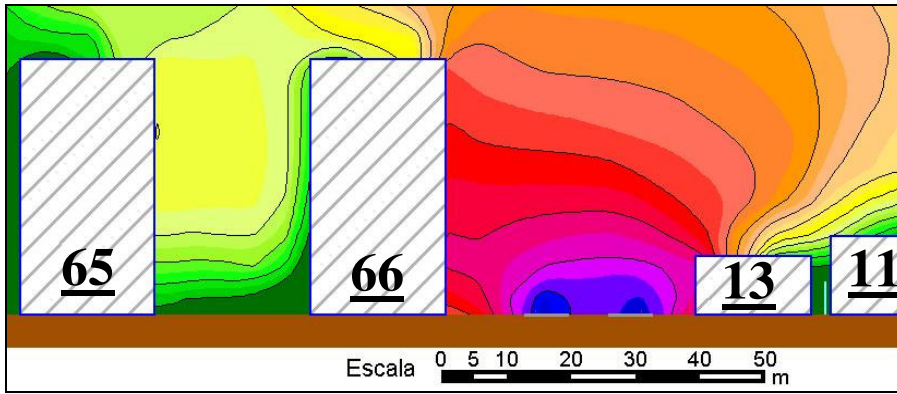
Continua

Obs: Os números sublinhados representam a identificação de cada edificação

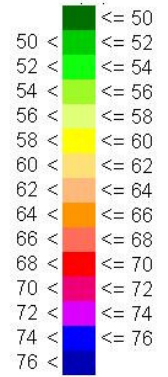
²⁶ Salienta-se que esses muros não foram construídos como proteção acústica e sim para delimitação dos espaços internos (privados) dos seus respectivos condomínios na região.

Continuação

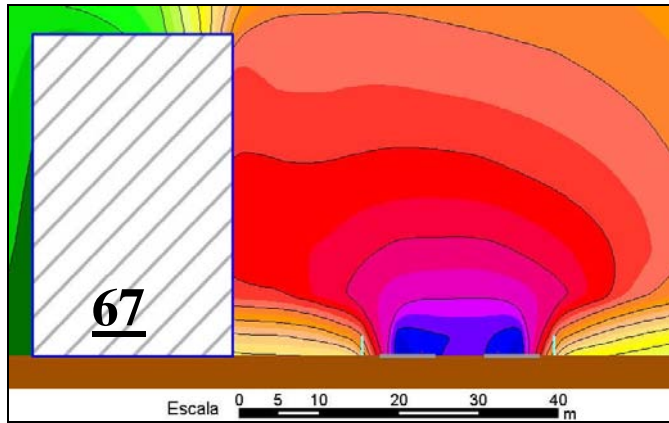
Seção 2



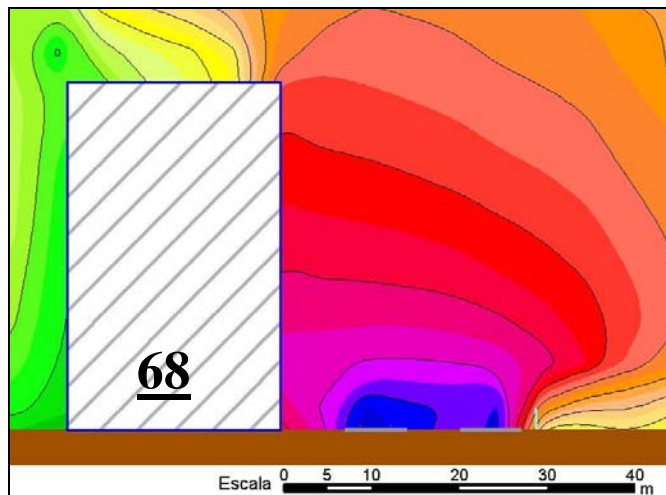
Nível Sonoro
dB(A)



Seção 3



Seção 4

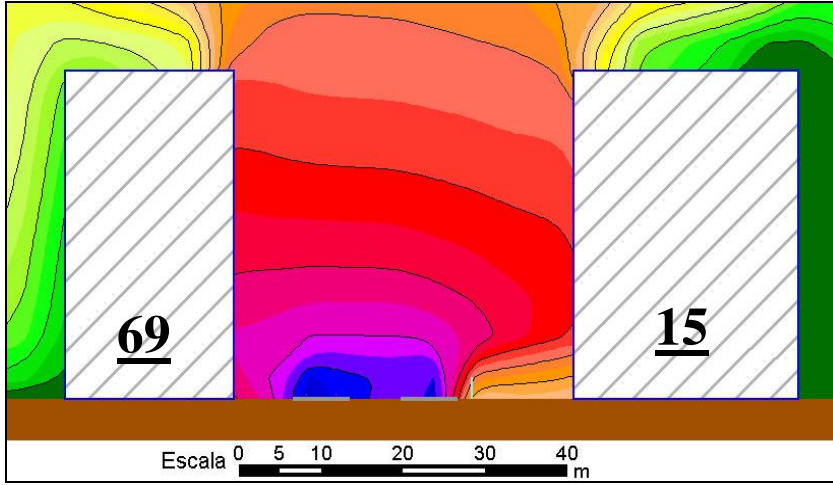


Continua

Obs: Os números sublinhados representam a identificação de cada edificação

Continuação

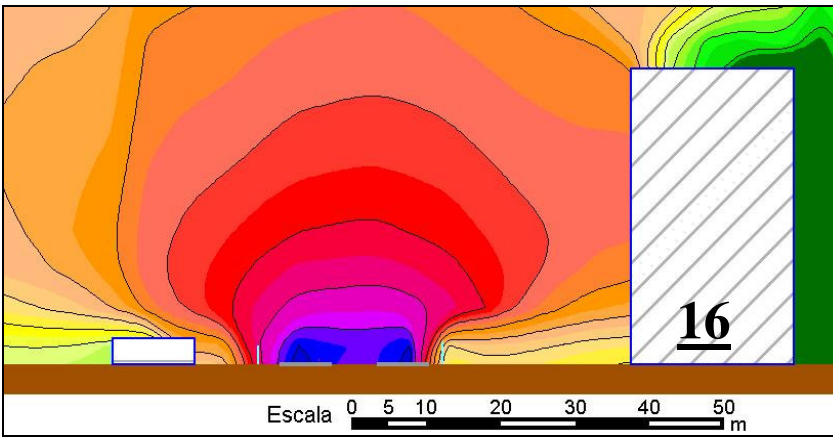
Seção 5



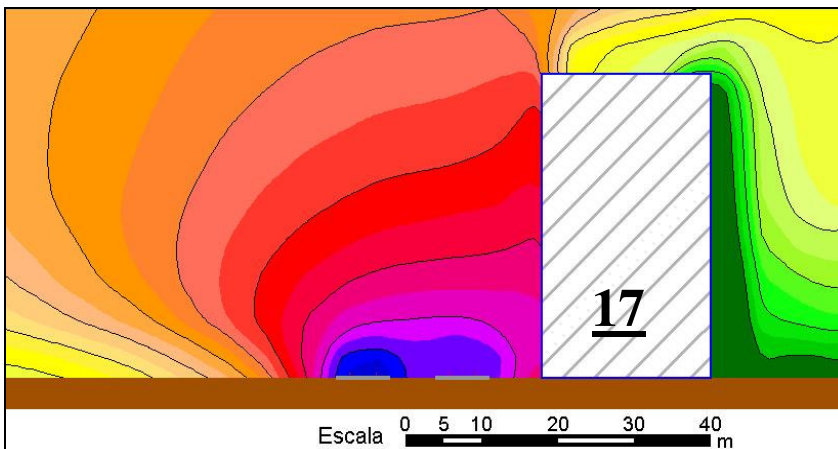
Nível Sonoro
dB(A)

<= 50
50 < <= 52
52 < <= 54
54 < <= 56
56 < <= 58
58 < <= 60
60 < <= 62
62 < <= 64
64 < <= 66
66 < <= 68
68 < <= 70
70 < <= 72
72 < <= 74
74 < <= 76
76 <

Seção 6



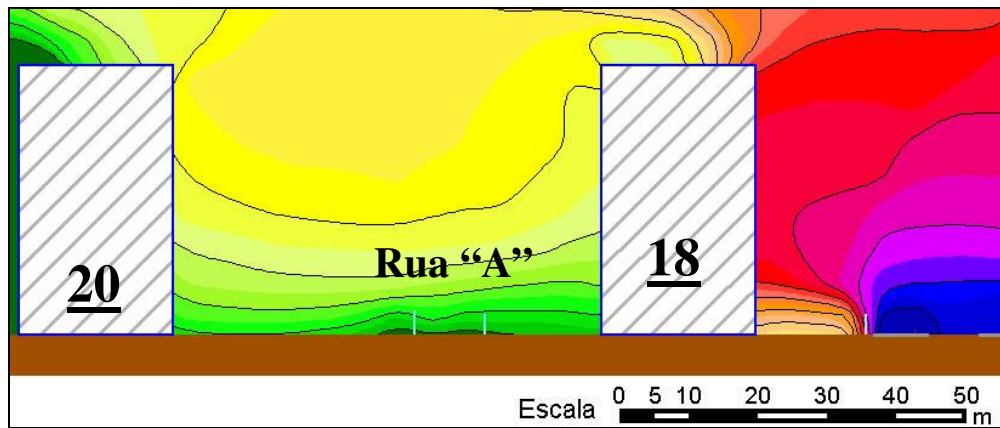
Seção 7



Continua

Obs: Os números sublinhados representam a identificação de cada edificação

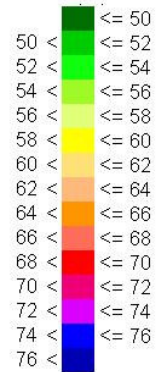
Seção 8



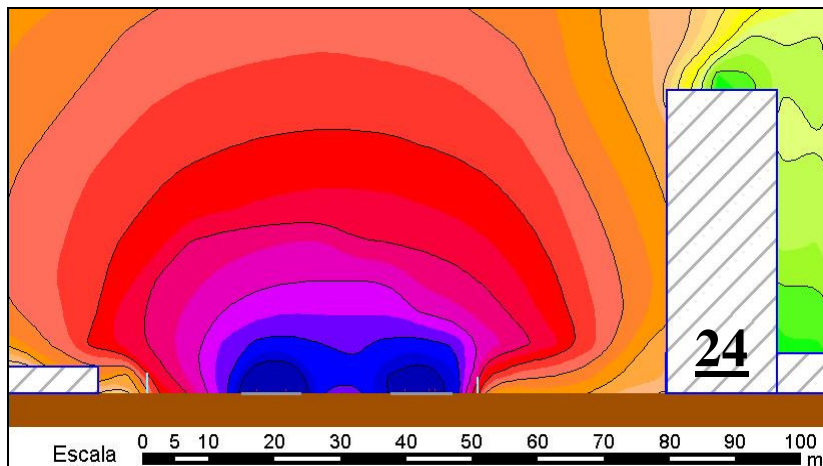
Continuação

Nível Sonoro

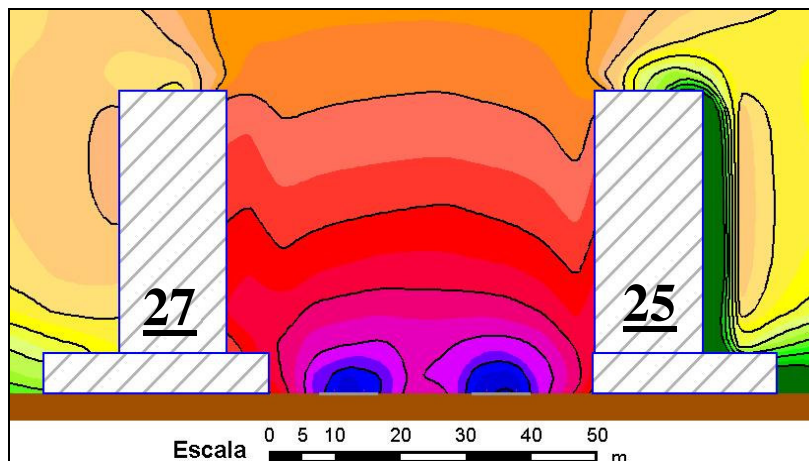
dB(A)



Seção 9



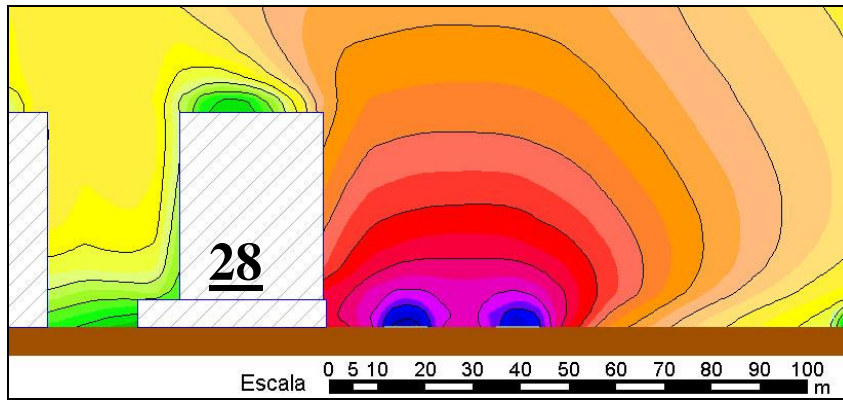
Seção 10



Continua

Obs: Os números sublinhados representam a identificação de cada edificação

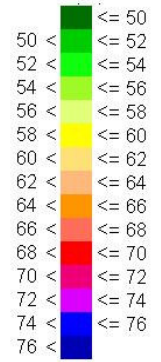
Seção 11



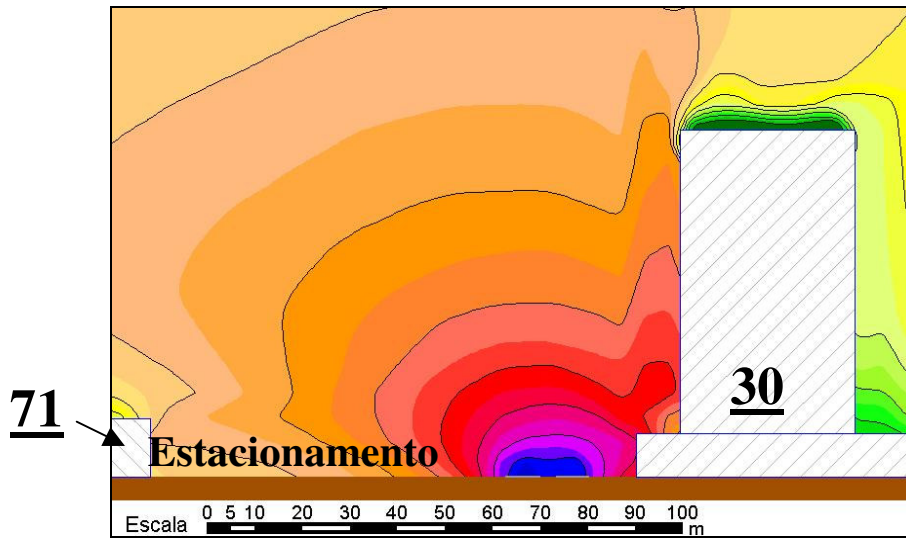
Continuação

Nível Sonoro

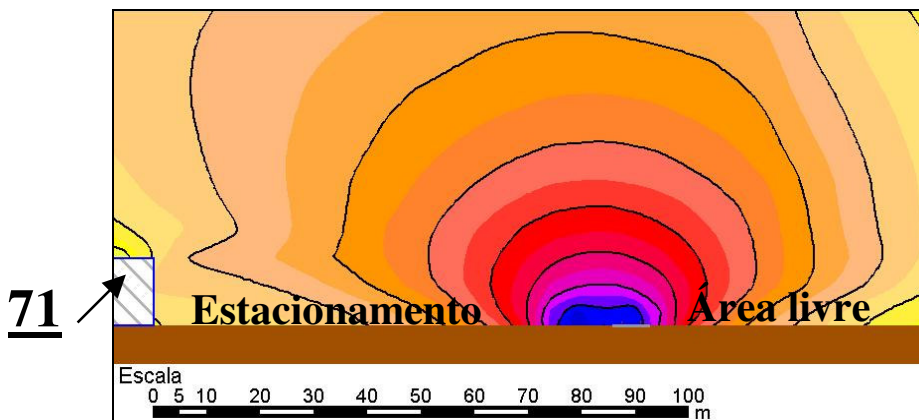
dB(A)



Seção 12



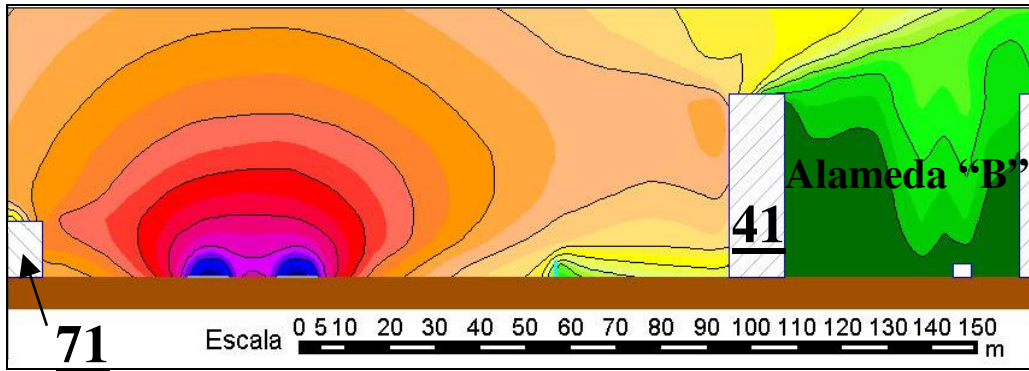
Seção 13



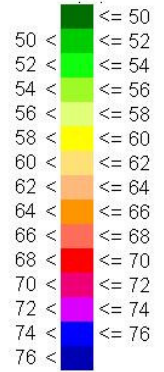
Continua

Obs: Os números sublinhados representam a identificação de cada edificação

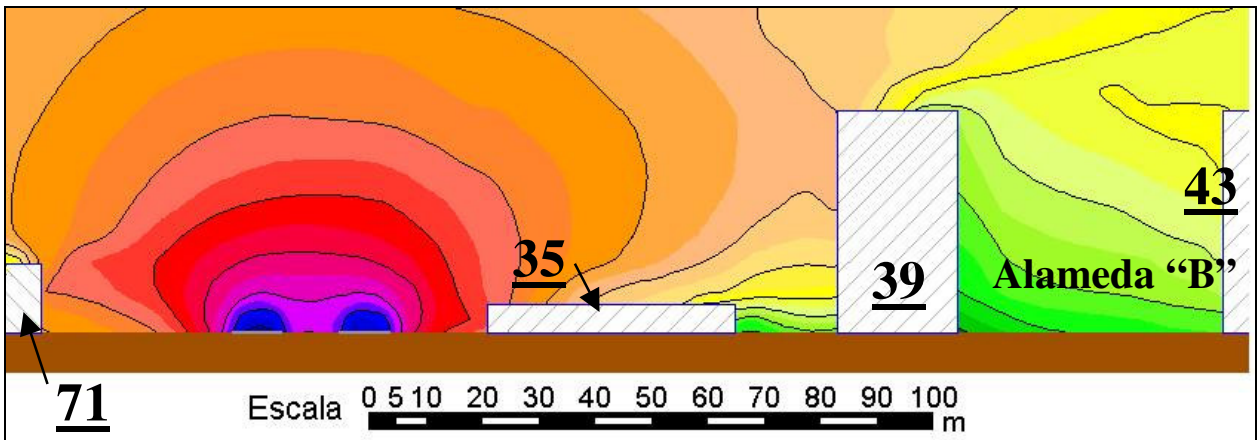
Seção 14



Continuação
Nível Sonoro
dB(A)



Seção 15



Conclusão

Obs: Os números sublinhados representam a identificação de cada edificação.

5.3 Estudo de CASO 2: Cenário Acústico Atual Sem Muros

O objetivo da simulação acústica do cenário atual sem muros foi tornar possível a realização de comentários referentes à permeabilidade do espaço urbano, o decaimento dos níveis sonoros com a distância, dentre outros aspectos (alguns já comentados nos itens anteriores), considerando somente a influência das edificações na propagação sonora ao ar livre. O mapa acústico obtido por essa simulação é mostrado a seguir (Figura 5.2).

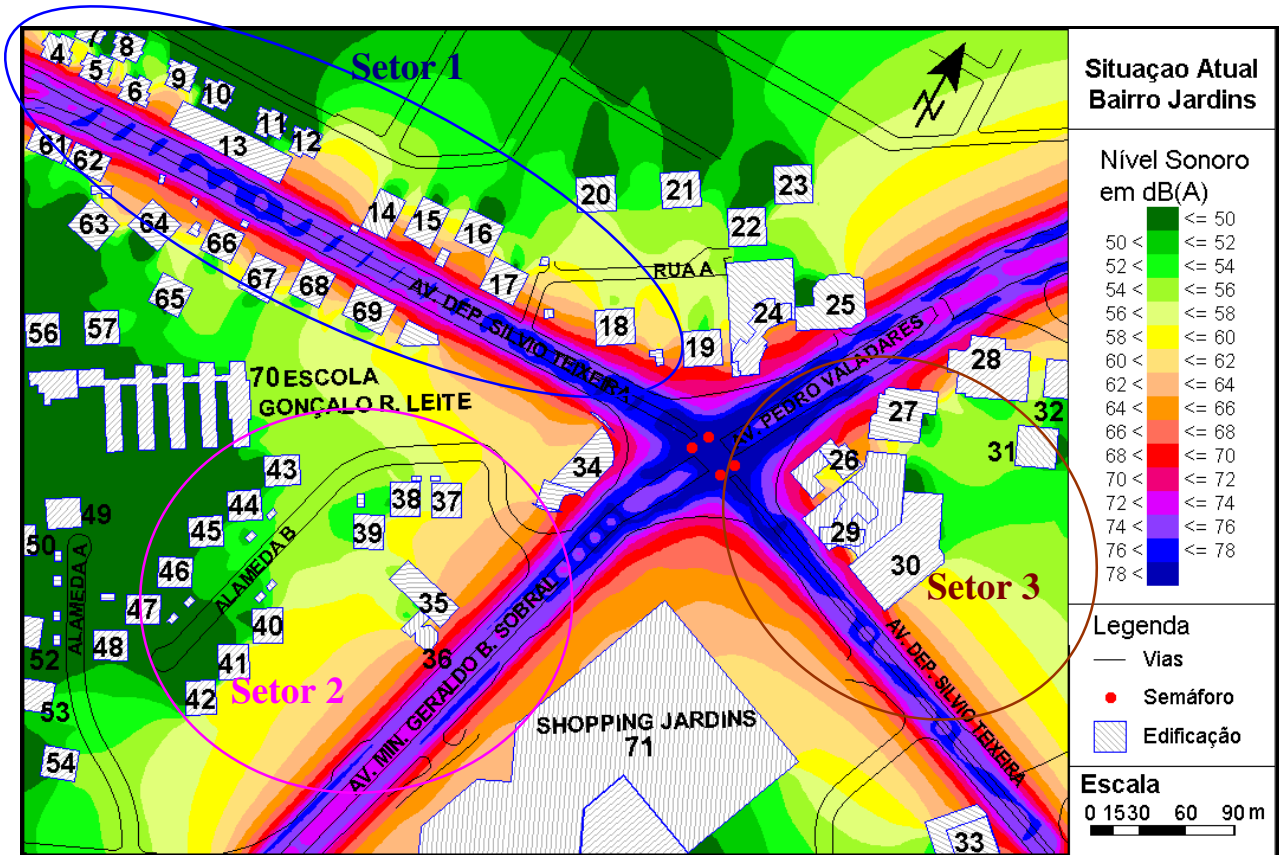


Figura 5.2 – Cenário acústico atual sem muros

No setor 1, mesmo existindo uma certa densidade de edifícios às margens da Av. Dep. Sílvio Teixeira, os espaçamentos entre eles permitem a passagem de uma parcela de ruído do tráfego, atingindo às fachadas laterais dessas edificações e penetrando para o interior da quadra. Ou seja, o conjunto desses edifícios se mostra permeável ao ruído. Um exemplo disso é o grupo de prédios 14, 15, 16, 66, 67, 68 e 69 (Figura 5.2), que embora permeável contribui para a atenuação da energia acústica do ruído diante das sucessivas reflexões nas paredes desses

edifícios, chegando com menor energia aos espaços internos da quadra²⁷. Foi comentado, anteriormente, que tal redução deve-se também a própria perda por conta da distância percorrida pela onda sonora.

Por trás de cada um dos edifícios, são formadas zonas de sombra acústica com valores de níveis sonoros menores do que 50 dB (A) ou entre 50 e 52 dB (A), segundo a escala de cores apresentada ao lado do mapa acústico (Figura 5.2).

Por outro lado, em situações onde as edificações estão mais próximas umas das outras, existe uma menor permeabilidade, indicada pela presença de uma maior região de sombra acústica por trás do conjunto constituído por essas edificações. O grupo constituído pelos prédios, 61 e 62, e a edificação de nº 13 (Centro Empresarial Luiz Cunha), são alguns exemplos de menor permeabilidade ao ruído encontrados no setor 1.

Deste modo, percebe-se que a maior ou menor permeabilidade de um espaço urbano ao ruído depende da forma das edificações (por exemplo, edifício 13) e do posicionamento dessas edificações em relação às fontes de ruído, estando associada à existência de trajetórias por onde o som pode penetrar e se propagar (NIEMEYER e SLAMA, 1998).

A partir do mapa do cenário atual sem muros (Figura 5.2) foi selecionado o setor 1 (Figura 5.3) para a realização de estudos quantitativos de alguns aspectos da influência da forma urbana em ambiente sonoro.

O primeiro estudo realizado buscou investigar a diferença entre valores de níveis sonoros que chegavam às fachadas frontais de algumas edificações, considerando a distância fonte – receptor como principal variável.

Foram, então, selecionados os seguintes prédios localizados ao longo da Av. Dep. Sílvio Teixeira: 14 e 15 (Cd. Jardim tropical), 16 e 17 (Cd. Jardim Imperial), 63 e 64 (Cd. Phoenix), 66 (Cd. Delphinos), 67 e 68 (Cd. Vênus) e 69 (Cd. Olimpus), os quais apresentam diferentes afastamentos frontais (recuos) em relação à avenida principal (Figura 5.4) e não possuem

²⁷ De acordo com Niemeyer e Slama (1998) essas sucessivas reflexões além de reduzir o nível sonoro provocam ainda alterações nas características espectrais do ruído.

nenhuma outra edificação entre suas fachadas frontais e a avenida, que pudesse se comportar como barreira acústica, influenciando os resultados.

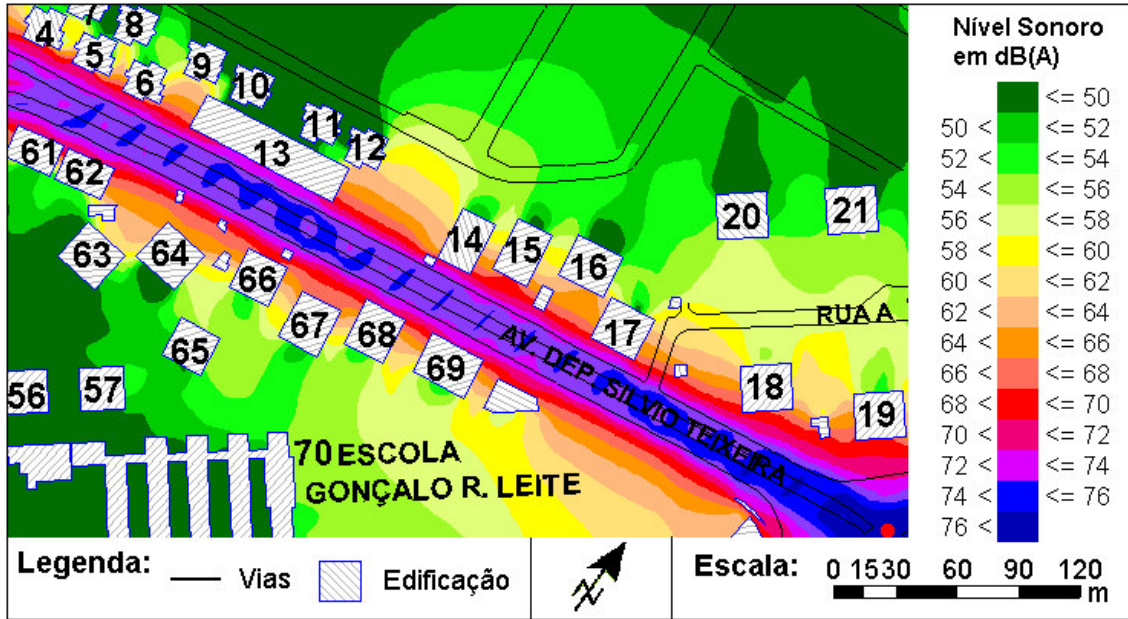


Figura 5.3 – Cenário acústico atual sem muros (detalhe do setor 1)

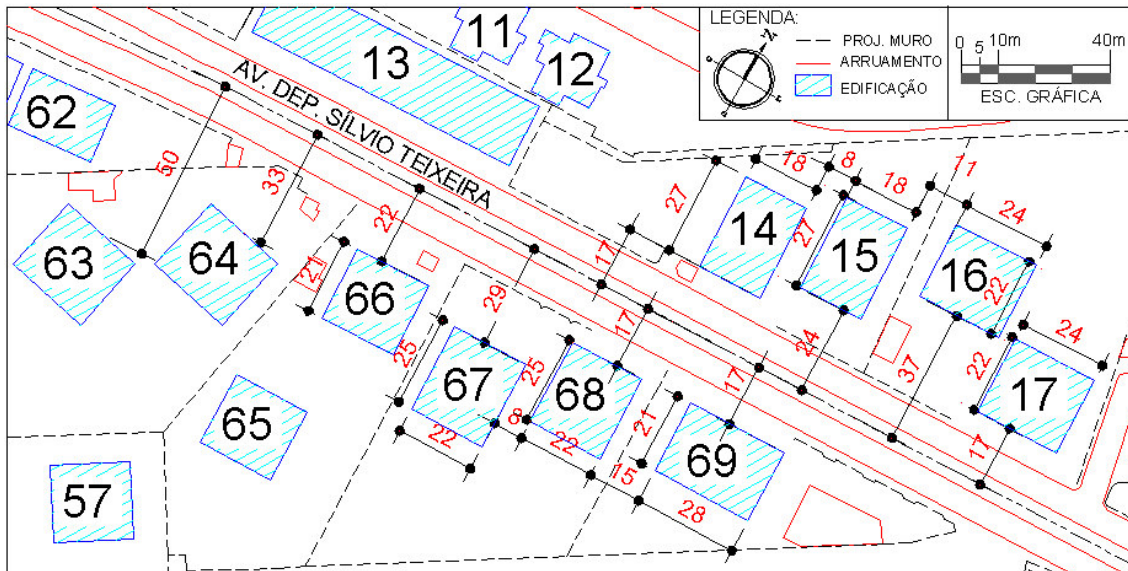


Figura 5.4 – Detalhe do setor 1: localização dos edifícios analisados: 14, 15, 16, 17, 63, 64, 66, 67, 68 e 69

Os dados utilizados para essa análise foram os níveis sonoros²⁸ que atingiam todos os pavimentos da fachada frontal de cada edifício selecionado. A seguir são mostradas fotos nas quais podem ser visualizadas algumas das características físicas dos edifícios (Figura 5.5), além de gráficos e tabelas, contendo os valores de níveis sonoros, em dB(A), para cada pavimento.

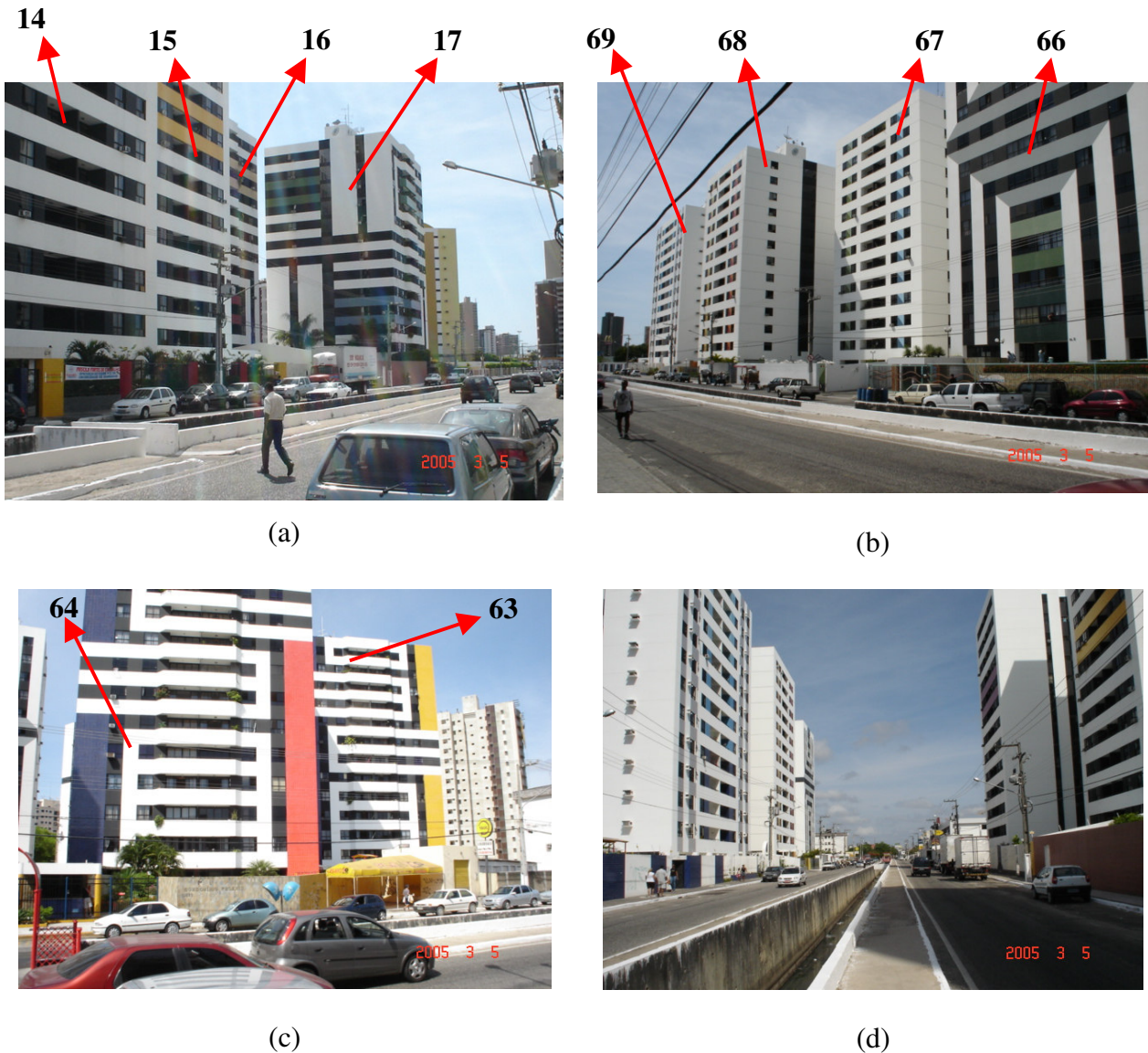


Figura 5.5 – Fotos dos edifícios: (a) 14, 15, 16, 17, (b) 66, 67, 68 e 69, (c) 63 e 64 e (d) foto do conjunto desses edifícios no trecho analisado (março, 2005).

²⁸ Esses níveis sonoros foram obtidos pelo *SoundPLAN 6.0* para o cenário atual sem muros. Ressalta-se que no cálculo foi considerada a reflexão da própria fachada do edifício estudado de modo que os valores apresentados correspondem aos níveis sonoros próximos às fachadas frontais, porém, no ambiente externo ao edifício.

A Figura 5.6 mostra o gráfico comparativo dos níveis sonoros que atingem às fachadas frontais dos edifícios, 14, 15, 16 e 17, sendo os seus valores apresentados, para cada pavimento, na Tabela 5.2.

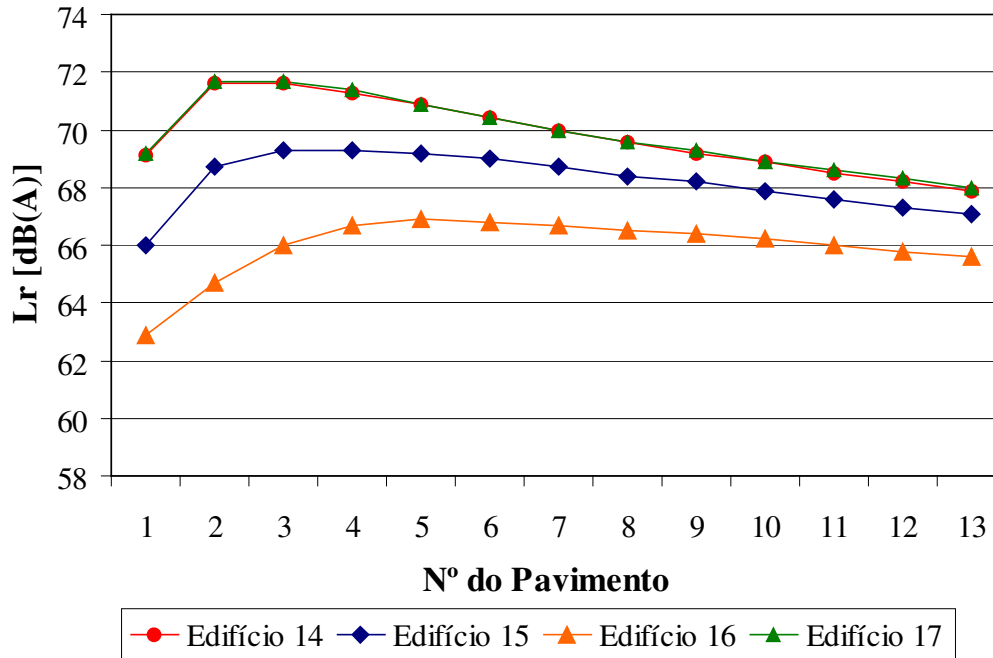


Figura 5.6 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros nas fachadas frontais dos edifícios: 14, 15, 16 e 17.

Tabela 5.2 – Comparação dos níveis sonoros nas fachadas frontais dos edifícios: 14, 15, 16 e 17.

Pavt./ Nº	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º	13º
Ed. (14)													
Lr [dB(A)]	69,1	71,6	71,6	71,3	70,9	70,4	70,0	69,6	69,2	68,9	68,5	68,2	67,9
Ed. (15)													
Lr [dB(A)]	66,0	68,7	69,3	69,3	69,2	69,0	68,7	68,4	68,2	67,9	67,6	67,3	67,1
Ed. (16)													
Lr [dB(A)]	62,9	64,7	66,0	66,7	66,9	66,8	66,7	66,5	66,4	66,2	66,0	65,8	65,6
Ed. (17)													
Lr [dB(A)]	69,2	71,7	71,7	71,4	70,9	70,4	70,0	69,6	69,3	68,9	68,6	68,3	68,0

Obs: Lr representa os níveis sonoros calculados pelo software SoundPLAN 6.0

Analisando os resultados do gráfico da Figura 5.6 e da Tabela 5.2, verificou-se que o edifício 16, por apresentar maior recuo em relação aos demais edifícios (14, 15 e 17), apresentou menores níveis de ruído em todos os pavimentos do seu plano de fachada frontal.

Os edifícios 14 e 17 que estão implantados, aproximadamente, com iguais afastamentos em relação ao eixo da avenida, apresentaram níveis de ruído semelhantes em todos os pavimentos como já era esperado. Enquanto que, o edifício 15, devido ao seu plano de fachada está numa posição entre as fachadas dos prédios 14 e 16, mostrou valores de níveis sonoros intermediários aos das edificações citadas (Figura 5.6).

Um outro ponto a destacar diz respeito ao semelhante comportamento das curvas dos níveis sonoros entre os edifícios mais próximos da avenida, ou seja, 14 e 17. Percebe-se que os maiores valores de níveis sonoros se encontram nos 2º, 3º e 4º pavimentos, decaindo logo em seguida para os pavimentos mais altos. Essa verificação permite dizer que as ondas sonoras (ruído) geradas pelo tráfego na Av. Dep. Sílvio Teixeira atingem as fachadas desses edifícios de baixo para cima.

Da Figura 5.6, verifica-se que para o edifício mais recuado (16) o valor máximo de nível sonoro acontece no 5º pavimento e em seguida ocorrem pequenas e sucessivas reduções entre pavimentos no sentido dos pavimentos mais elevados. Mesmo assim, para esse edifício os níveis sonoros nos pavimentos superiores se apresentam maiores do que nos pavimentos inferiores, diferentemente, do ocorrido com àqueles localizados próximos à avenida.

A menor contribuição da parcela direta de energia sonora para os pavimentos inferiores e a existência de um campo acústico mais difuso²⁹ na altura dos pavimentos superiores e defronte aos edifícios mais afastados podem ser uma explicação para o diferente comportamento na variação dos níveis sonoros entre pavimentos nas fachadas dos edifícios com maiores e menores recuos em relação à avenida principal (fonte de ruído).

²⁹ Esse campo acústico difuso na altura dos pavimentos superiores e defronte aos edifícios mais recuados ocorre devido às reflexões nas fachadas laterais dos prédios vizinhos.

A seguir é realizada a mesma análise, porém, comparando-se os edifícios, 63, 64, 66, 67, 68 e 69. A Figura 5.7 mostra o gráfico comparativo dos níveis sonoros que atingem às fachadas frontais desses edifícios, sendo os seus valores apresentados para cada pavimento na Tabela 5.3.

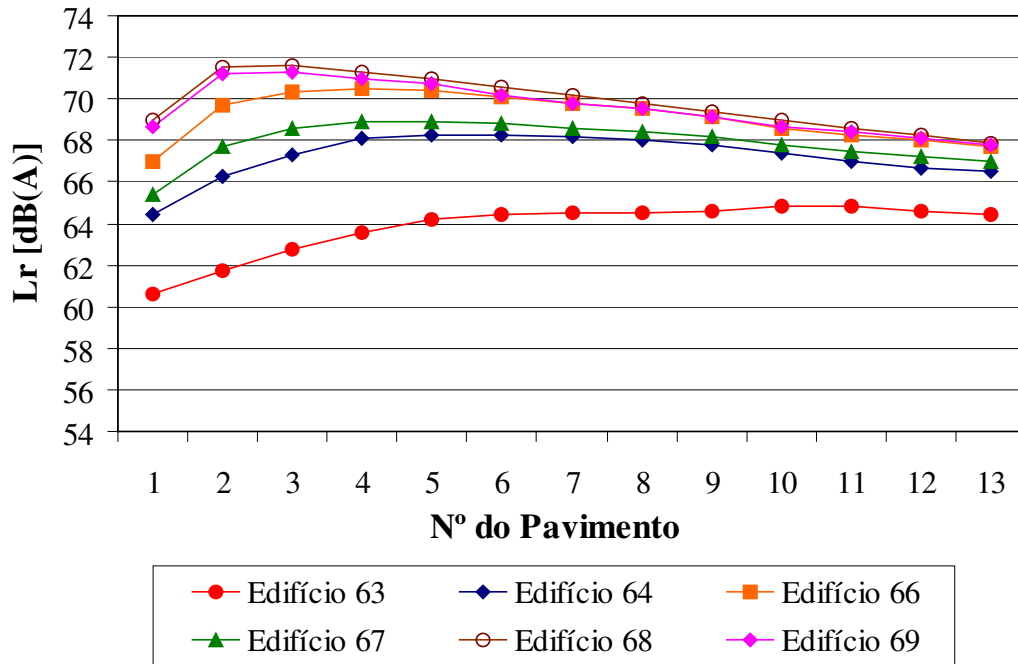


Figura 5.7 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros nas fachadas frontais dos edifícios: 63, 64, 66, 67, 68 e 69.

Tabela 5.3 – Comparação dos níveis sonoros nas fachadas frontais dos edifícios: 63, 64, 66, 67, 68 e 69.

Pavt./ N°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°
Ed. (63)													
Lr [dB(A)]	60,6	61,7	62,8	63,6	64,2	64,4	64,5	64,5	64,6	64,8	64,8	64,6	64,4
Ed. (64)													
Lr [dB(A)]	64,4	66,3	67,3	68,1	68,3	68,3	68,2	68,0	67,8	67,4	67,0	66,7	66,5
Ed. (66)													
Lr [dB(A)]	67,0	69,7	70,3	70,5	70,4	70,1	69,8	69,5	69,1	68,6	68,3	68,0	67,7
Ed. (67)													
Lr [dB(A)]	65,4	67,7	68,6	68,9	68,9	68,8	68,6	68,4	68,2	67,8	67,5	67,2	67,0
Ed. (68)													
Lr [dB(A)]	69,0	71,5	71,6	71,3	71,0	70,6	70,2	69,8	69,4	69,0	68,6	68,3	67,9
Ed. (69)													
Lr [dB(A)]	68,7	71,2	71,3	71,0	70,7	70,2	69,8	69,5	69,1	68,7	68,4	68,1	67,8

Obs: Lr representa os níveis sonoros calculados pelo software SoundPLAN 6.0

Mais uma vez ficou evidente o decréscimo dos níveis sonoros com a distância. Os edifícios 63 e 64, mais recuados em relação à avenida (Figura 5.4), apresentaram menores níveis sonoros em suas fachadas. Já os edifícios 68 e 69, implantados com mesmas distâncias e mais próximos da avenida Dep. Sílvio Teixeira mostraram valores de níveis sonoros muito semelhantes e maiores do que os edifícios 63 e 64.

Também para esse conjunto de edifícios os prédios com menores recuos mostraram maiores níveis sonoros nos pavimentos inferiores, reduzindo seus valores no sentido dos pavimentos mais elevados. Portanto, o ruído atinge às fachadas dessas edificações de baixo para cima, mostrando um comportamento semelhante ao que foi visto para os edifícios 14 e 17. Já o edifício 63 (mais recuado) apresentou níveis sonoros em sua fachada com um comportamento muito próximo aos níveis sonoros do edifício 16, anteriormente, analisado.

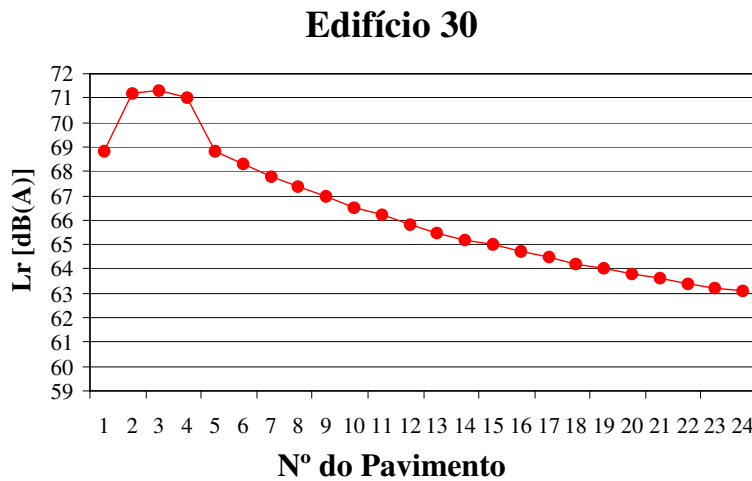
As observações acima permitem dizer que o trecho analisado da Av. Dep. Sílvio Teixeira, caracterizado pela presença de prédios com, aproximadamente 39 m de altura, em ambos os lados, não representa um exemplo de espaço acústico fechado (*canyon* urbano), que poderia ser imaginado numa primeira observação do local (Figura 5.5d). De acordo com Baring (1990), nos espaços acústicos fechados, o ruído gerado pelo tráfego atinge quase, perpendicularmente, às fachadas dos edifícios às margens da via, por conta das múltiplas reflexões.

A descontinuidade das fachadas paralelas, devido aos afastamentos laterais entre os edifícios vizinhos (Figuras 5.3 e 5.4) e a existência de alguns edifícios pouco mais recuados em relação às margens da avenida, tornam esse espaço permeável ao ruído, contribuindo para uma menor permanência e concentração dos raios refletidos nas diversas superfícies (planos de fachada).

Além disso, de acordo com Schultz (1979) nos espaços urbanos tipo *canyons*, a atenuação sonora para 30 m de elevação em relação ao nível do solo é da ordem de 0,5 dB, o que não foi visto no setor 1, considerando-se apenas os edifícios mais próximos à avenida.

Schultz (1979) mostrou também que para edifícios altos (acima de 45 m) e em situações que não existam outras edificações com a mesma ou maior altura no lado oposto da via, a redução sonora é de 2,5 dB para os mesmos 30 m de elevação em relação ao nível do solo.

Isso foi verificado para o edifício 30 (Cd. Le Jardim³⁰) localizado no setor 3. Os valores dos níveis sonoros, que chegam em cada pavimento da sua fachada frontal, são apresentados no gráfico da Figura 5.8a. A foto ao lado permite visualizar as características físicas do edifício 30 (Figura 5.8b).



(a)



(b)

Figura 5.8 – (a) Gráfico com os valores dos níveis sonoros na fachada frontal do edifício 30 e (b) foto do edifício 30 (março, 2005).

Pelo gráfico mostrado na Figura 5.8a, ocorre um pico de nível de ruído para os primeiros pavimentos que se encontram mais próximos da avenida. Esse pico se deve às reflexões na fachada desses pavimentos. Pode ser visto que a diferença entre os níveis no 10º pavimento (aproximadamente, 30 m de altura) e o nível de ruído no solo 1º pavimento (pavimento térreo) é de 2,3 dB(A). Portanto, muito próximo do valor de 2,5 dB apresentado no trabalho de Schultz (1979).

Retornando aos comentários do setor 1, outro aspecto que se mostrou evidente diz respeito ao decaimento sonoro com a distância. Porém, não foi verificada a redução teórica de 3dB(A) a cada duplicação da distância fonte – receptor quando a fonte é linear, pois, o cenário estudado não representa uma situação ideal de campo livre, existindo reflexões sonoras devido às fachadas frontais e laterais de edifícios vizinhos, muros e demais superfícies refletoras.

³⁰ Edifício mais alto da região em estudo com 24 pavimentos e altura aproximada de 72 m.

Mesmo assim, os resultados reforçam a importância de se buscar, quando possível, a implantação mais recuada dos edifícios localizados ao longo de uma via de tráfego intenso, representando uma das alternativas para o controle de ruído nas edificações.

Ainda no trecho referente ao setor 1, verificou-se para um mesmo edifício, a diferença entre os níveis sonoros que atingiam sua fachada frontal (voltada para a avenida principal - fonte de ruído) e a fachada oposta (de fundo).

Para tanto, foram escolhidas as seguintes edificações: 17 (Cd. Jardim Imperial) e 66 (Cd. Delphinos) (Figura 5.4). Esses edifícios foram selecionados pelo fato de não existir nas suas proximidades nenhuma outra fonte importante que pudesse contribuir nos valores dos níveis sonoros nas fachadas de fundo, sendo o tráfego da Av. Dep. Sílvio Teixeira considerado a principal fonte de ruído para esses prédios, situação semelhante ao realizado durante as simulações acústicas.

Nas Figuras 5.9 e 5.10 estão apresentados os valores de níveis sonoros que chegam nas fachadas frontais e de fundo dos edifícios 17 e 66, respectivamente.

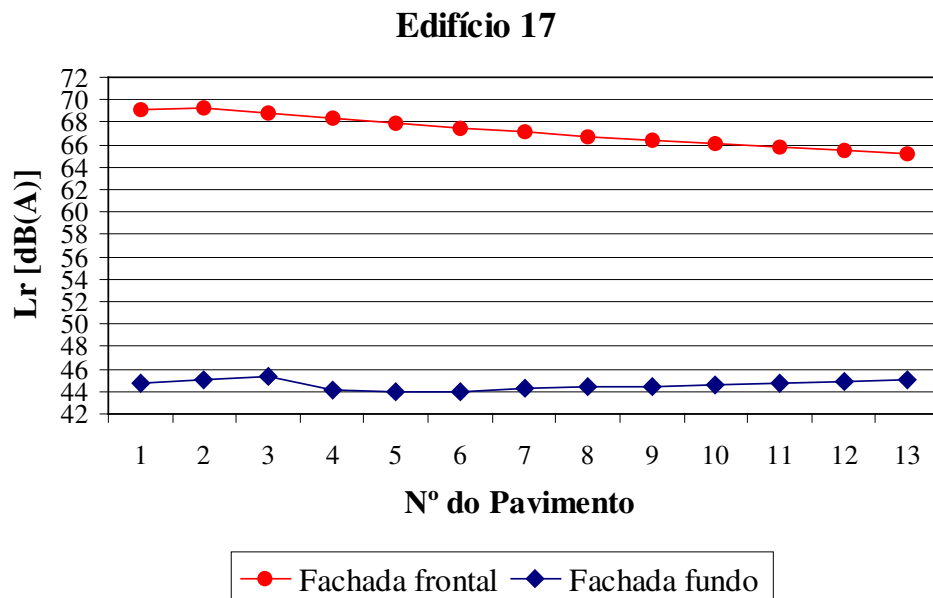


Figura 5.9 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal e de fundo do edifício 17.

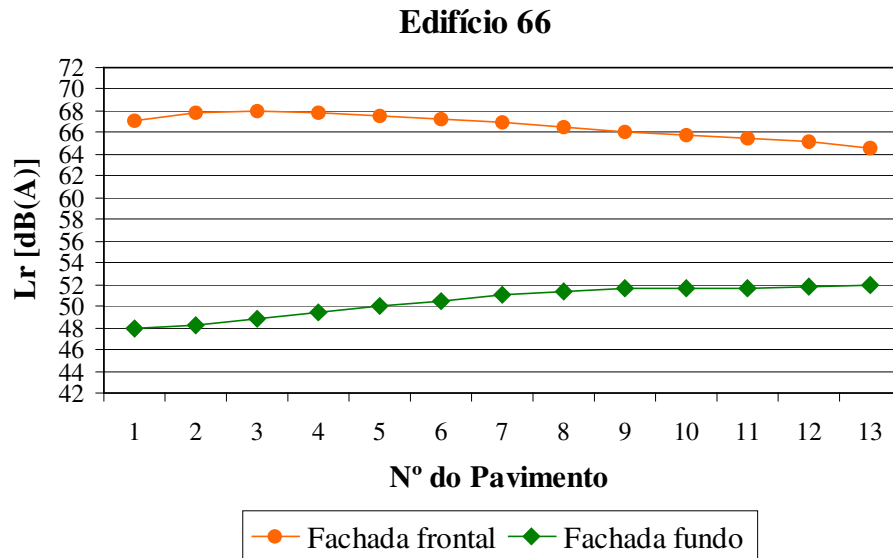


Figura 5.10 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal e de fundo do edifício 66.

Os gráficos da Figura 5.9 e 5.10 mostram o que já era esperado. As fachadas frontais dos edifícios 17 e 66 por estarem voltadas para o sentido do tráfego da Av. Dep. Sílvio Teixeira, apresentam maiores níveis sonoros, pois, se encontram numa região de grande incidência e reflexões sonoras. Enquanto que as fachadas de fundo apresentam menores níveis devido à formação de uma zona de sombra acústica, como foi visto nas seções verticais no subitem 5.2.2.

No caso em questão, os prédios 17 e 66 consistem em edifícios residenciais cujas plantas - baixas do pavimento-tipo mostram *layouts* semelhantes. Cada pavimento possui quatro apartamentos, dois orientados para a avenida principal (Dep. Sílvio Teixeira) e os demais voltados para o fundo. Os gráficos das Figuras 5.9 e 5.10 mostram que os apartamentos voltados para os fundos de cada edifício (região de sombra acústica) estão mais protegidos da incidência direta de ruído do tráfego, logo, são mais privilegiados no ponto de vista acústico.

Daí a importância de prever os níveis de ruído gerados pelo tráfego de uma via, de maneira a tomar partido dessas informações durante a fase de projeto de uma dada edificação, adotando-se medidas que possam minimizar os efeitos do ruído urbano nos seus ambientes internos.

Medidas essas que vão desde a orientação do edifício em relação à fonte de ruído, a concepção do *layout* dos cômodos nos apartamentos, direcionando os ambientes mais sensíveis ao ruído para as regiões mais protegidas, isto é, para as zonas de sombra acústica, ou ainda, no estudo dos materiais a serem aplicados e das aberturas nas fachadas mais expostas. É importante salientar que as decisões de projeto passam ainda por outros aspectos relacionados ao conforto no ambiente construído, quais sejam, ventilação, iluminação natural, que devem também ser analisados.

Por fim, diante da grande presença de muros que delimitam os espaços internos dos condomínios multifamiliares no bairro Jardins, é apresentado a seguir um comparativo entre resultados de simulações dos cenários atuais, com e sem muros, a fim de mostrar o comportamento dos muros diante do ruído gerado pelas avenidas, enfatizando apenas os aspectos acústicos.

Foram escolhidos os muros localizados defronte aos edifícios: 5 (Cd. Solares), 15 (Cd. Jardim Tropical), 16 (Cd. Jardim Imperial) e 61 (Cd. Hermes Fontes). Esses muros apresentam semelhantes características reflexivas, altura média de 2,5 m, e estão localizados próximos a Av. Dep. Sílvio Teixeira (fonte de ruído), com diferentes distâncias em relação aos seus respectivos edifícios - receptores. Nas Figuras 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14 são apresentados os gráficos comparativos entre os valores de níveis sonoros nas fachadas frontais dos edifícios, 5, 61, 15 e 16, nos cenários simulados com e sem muros.

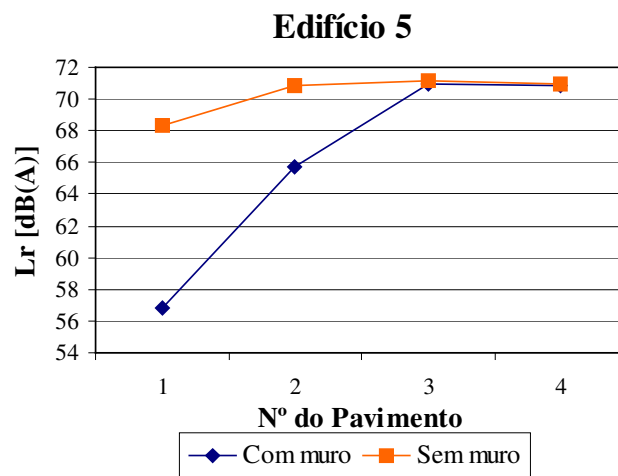


Figura 5.11 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal do edifício 5, com e sem muros.

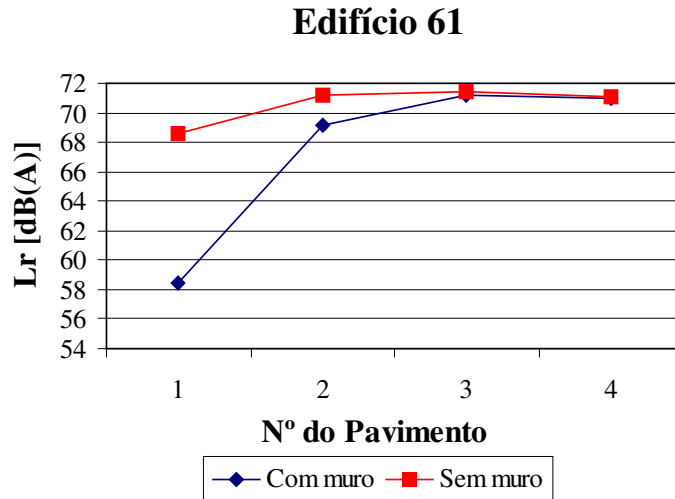


Figura 5.12 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal do edifício 61, com e sem muros.

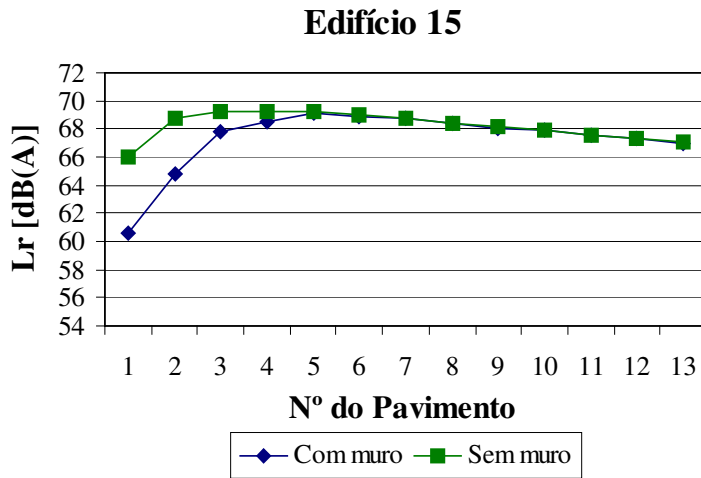


Figura 5.13 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal do edifício 15, com e sem muros.

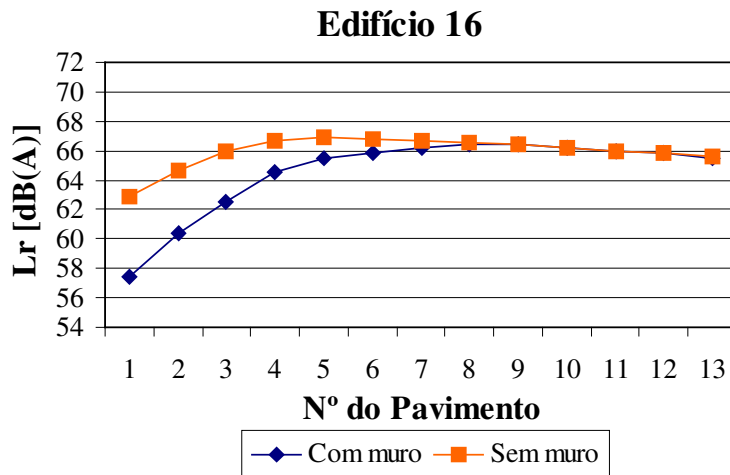


Figura 5.14 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada frontal do edifício 16, com e sem muros.

Com base nesses gráficos, percebe-se que os muros contribuem mais para a atenuação do ruído gerado pelo tráfego da avenida nos 1º e 2º pavimentos, como pôde ser visto nas seções verticais apresentadas no subitem 5.2.2.

Considerando-se que os muros analisados se encontram com distâncias aproximadas em relação à avenida, verificou-se, que nas situações onde os edifícios-receptores estão mais próximos aos seus respectivos muros frontais, existe uma maior redução de ruído para um mesmo pavimento, isto é, para uma mesma altura em relação ao nível do solo.

Por exemplo, para o edifício 5, localizado a uma distância aproximada de 5 m em relação ao seu muro frontal, a atenuação do ruído no 1º pavimento foi de 12 dB(A). Já o edifício 16, com afastamento de 25 m em relação ao seu muro frontal, houve uma atenuação em torno de 6 dB(A), no seu 1º pavimento. (Figuras 5.11 e 5.14, respectivamente).

5.4 Estudo de CASO 3: Cenários Hipotéticos do Setor 2 (CASO 3a, 3b, 3c)

Nesse item foi realizado um comparativo entre diferentes cenários acústicos (cenário acústico atual e cenários hipotéticos – CASO 3a, 3b, 3c) na região do setor 2. Os cenários hipotéticos foram criados, inserindo edifícios com diferenças em suas alturas e dimensões em planta.

A idéia foi saber como os edifícios implantados nos cenários hipotéticos influenciam nos níveis sonoros que atingem aos edifícios existentes no entorno imediato. Optou-se por escolher o edifício 41 como edifício de referência (receptor), por estar numa posição central e, imediatamente, atrás dos edifícios inseridos nos cenários simulados.

A seguir é apresentada uma breve descrição geométrica de cada um desses casos.

5.4.1 Descrição Geométrica dos CASOS 3a, 3b e 3c

CASO 3a

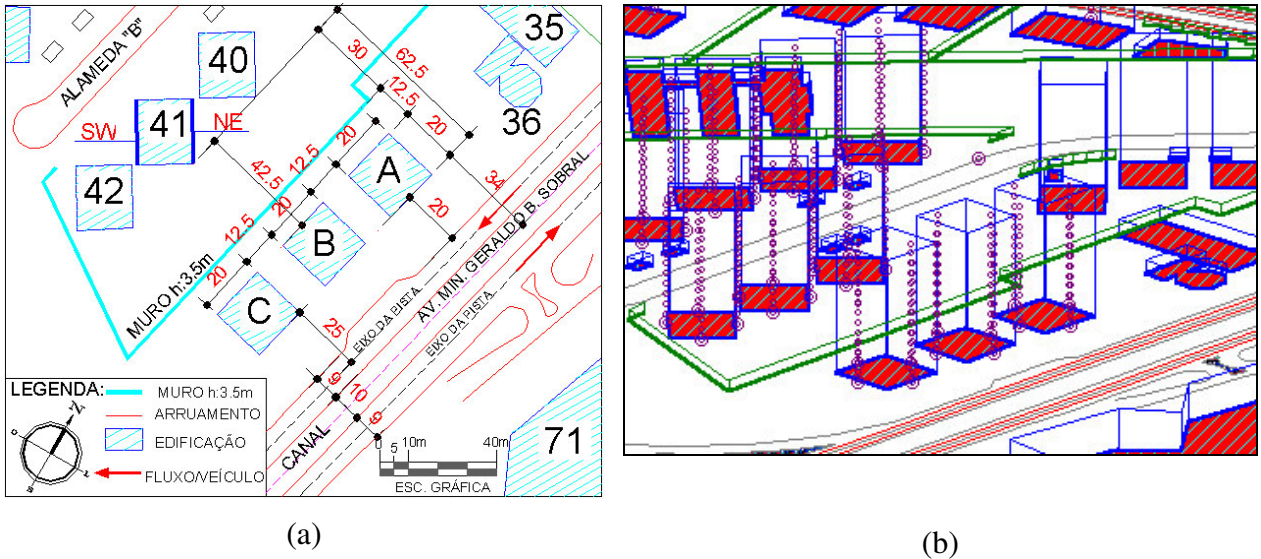


Figura 5.15 – (a) Planta-baixa do CASO 3a e (b) modelo 3D do CASO 3a (Vista Sudeste).

Descrição: Foram inseridos edifícios (A, B e C) com dimensões em planta semelhantes aos edifícios padrões encontrados nesse setor. Cada edifício possui 13 pavimentos (39 m de altura) (Figura 5.15).

CASO 3b

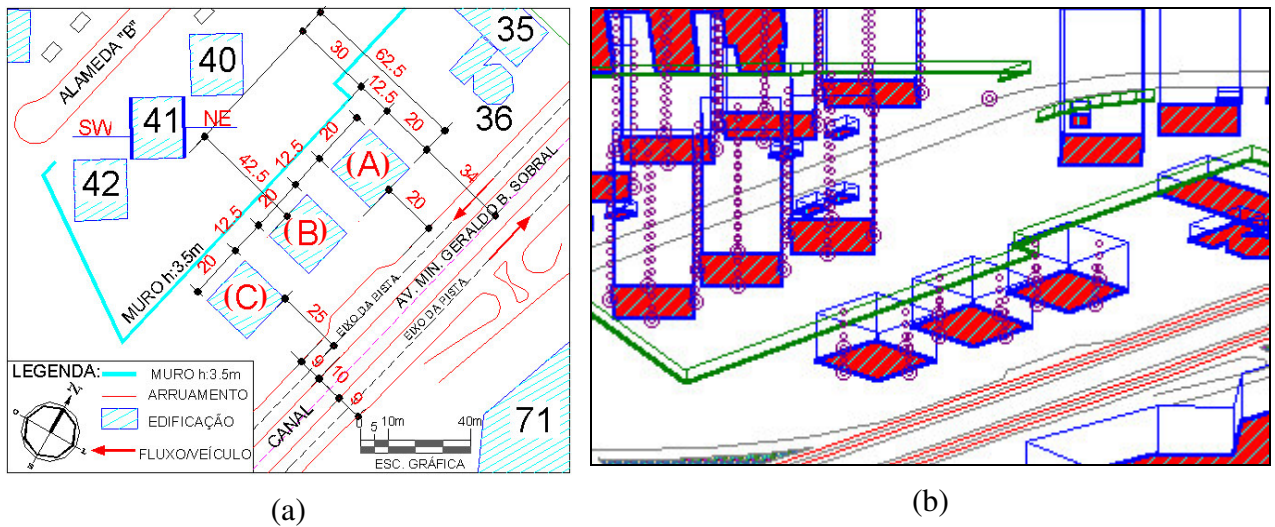


Figura 5.16 – (a) Planta-baixa do CASO 3b e (b) modelo 3D do CASO 3b (Vista Sudeste).

Descrição: Os edifícios inseridos (A, B e C) possuem dimensões em planta semelhantes aos edifícios padrões desse setor, porém, apresentam 4 pavimentos (12 m de altura) (Figura 5.16).

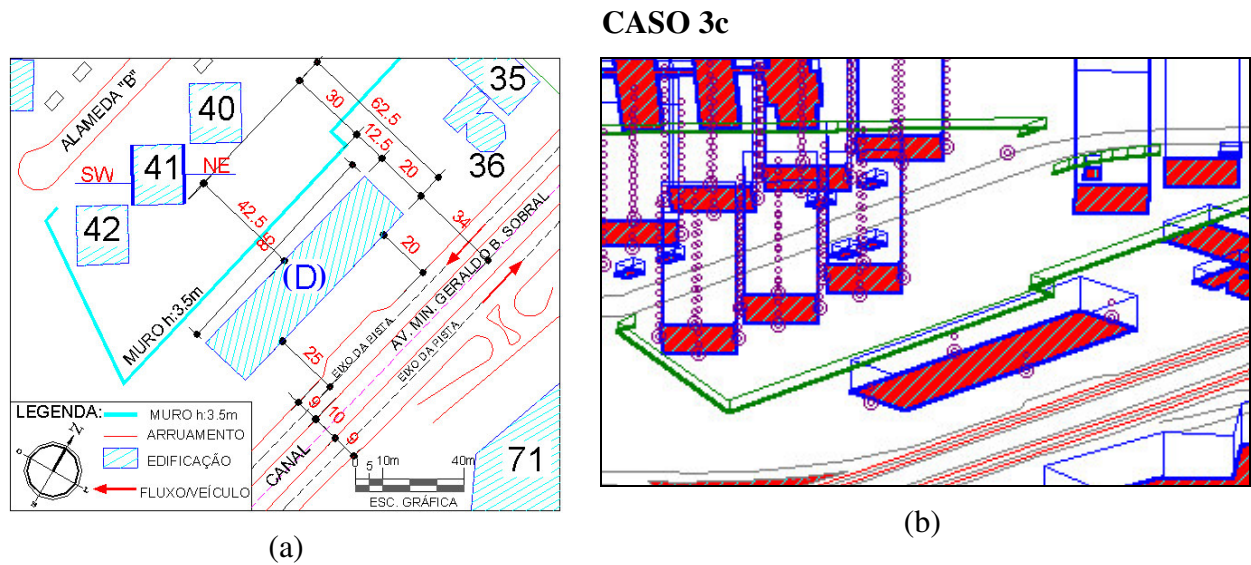


Figura 5.17 – (a) Planta-baixa do CASO 3c e (b) modelo 3D do CASO 3c (Vista Sudeste)

Descrição: No CASO 3c foi inserido apenas uma edificação (D) com altura de 9 m. Apresenta dimensões em planta de (20 x 85 m) e caracteriza-se por ser um bloco contínuo, diferentemente, do que ocorre nos CASOS 3a e 3b (Figura 5.17).

5.4.2 Análise dos Resultados CASOS 3a, 3b e 3c

Na Figura 5.18 é apresentado o comparativo entre os cenários simulados. Em seguida são apresentadas algumas discussões desses resultados.

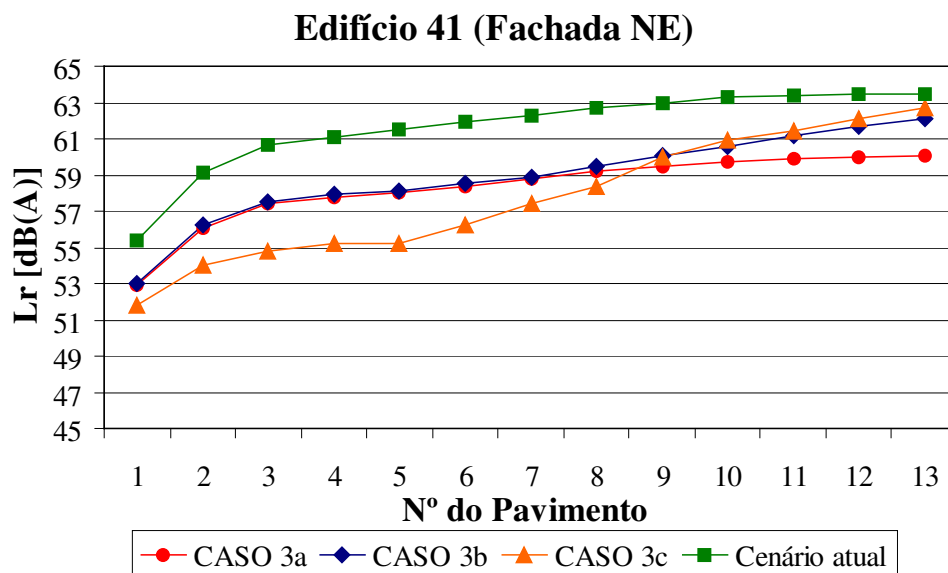


Figura 5.18 – Gráfico comparativo dos níveis sonoros na fachada NE do edifício 41 (CASO 3a, CASO 3b, CASO 3c e Cenário atual)

O gráfico da Figura 5.18 mostra que, para todos os cenários simulados (CASO 3a, 3b e 3c), ocorrem atenuações do ruído de tráfego incidente na fachada (NE) do edifício 41, devido à presença das edificações hipotéticas inseridas entre a Av. Min. Geraldo B. Sobral e o edifício 41 (Receptor). É importante destacar que a curva verde com símbolos quadrados refere-se ao cenário atual, ou seja, sem a implantação dos edifícios hipotéticos.

No CASO 3a, os edifícios hipotéticos, os quais possuem 13 pavimentos (39 m), contribuem para uma atenuação uniforme da ordem de 2,5 a 3 dB(A) em todos os pavimentos do edifício 41. Comparando o CASO 3a com o CASO 3b (edifícios com 4 pavimentos – 12 m de altura), as atenuações de ruído, em ambos os casos, mostram-se iguais no 1º ao 8º pavimento da fachada NE do edifício 41. A partir do 9º pavimento do edifício 41, o CASO 3a contribui com maiores atenuações sonoras do que o CASO 3b.

No CASO 3c, onde foi inserido um bloco contínuo (edificação D) com altura de 9 m, houve uma maior atenuação do ruído, no 1º ao 7º pavimento do edifício 41, em relação aos demais casos. Nos outros pavimentos da fachada NE desse edifício, a redução sonora devido ao CASO 3c foi semelhante ao ocorrido no CASO 3b. Esses resultados indicam que o edifício hipotético implantado no CASO 3c apresentou uma menor permeabilidade ao ruído em relação aos outros casos, protegendo mais os pavimentos inferiores e intermediários (1º ao 7º pavimento) da fachada NE do edifício 41.

Ressalta-se ainda que as edificações hipotéticas dos CASOS (3b e 3c), por apresentarem menor número de pavimentos, permitem uma maior ventilação e visibilidade aos edifícios localizados por trás delas, aspectos que seriam prejudicados, por exemplo, pelas características físicas dos edifícios hipotéticos implantados no CASO 3a.

As Figuras 5.19 e 5.20 apresentam, respectivamente, os mapas acústicos horizontais e verticais, os quais mostram o comparativo entre os campos acústicos dos cenários analisados, permitindo a sua visualização por meio da escala de cores associada a valores de níveis sonoros em dB(A).

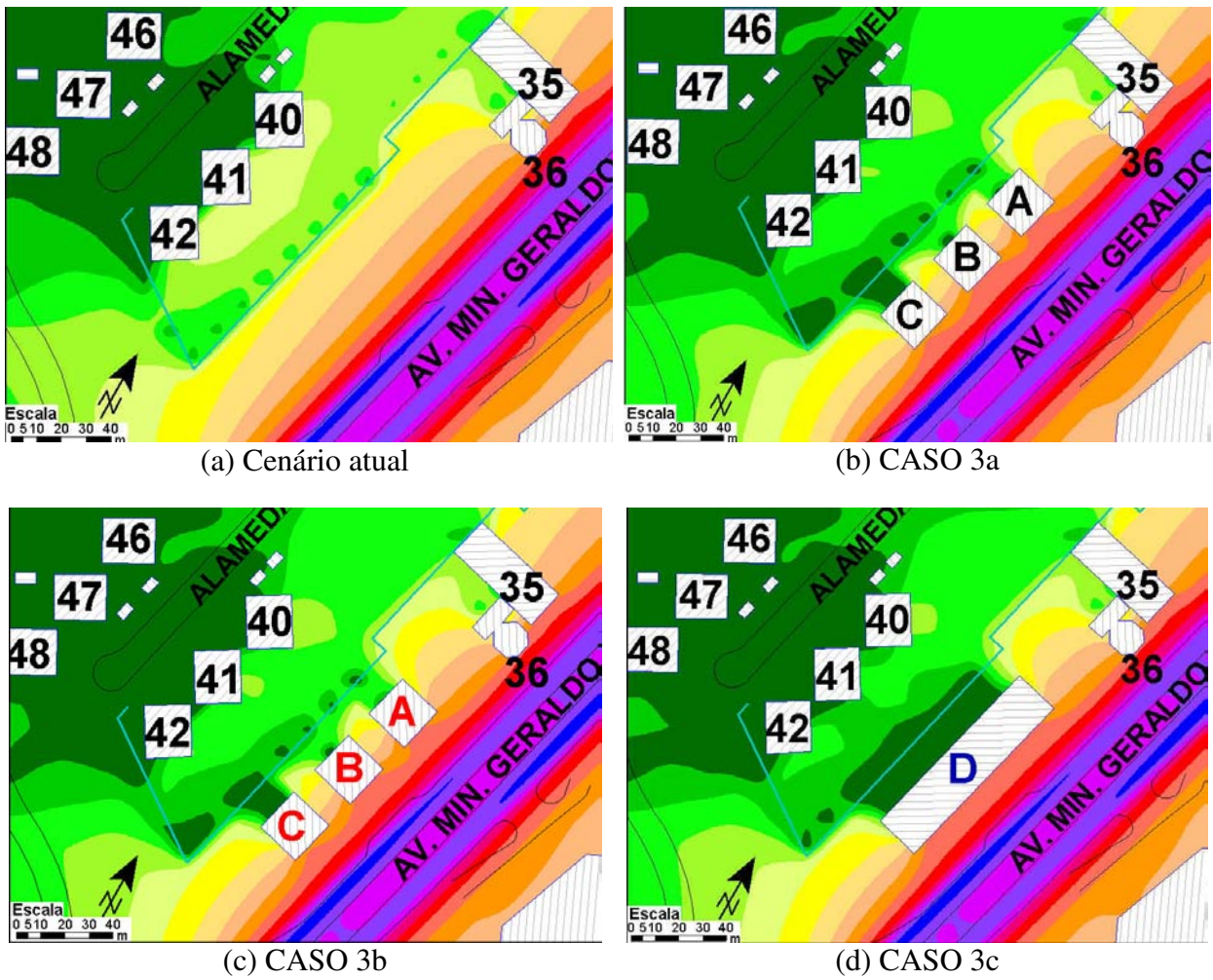
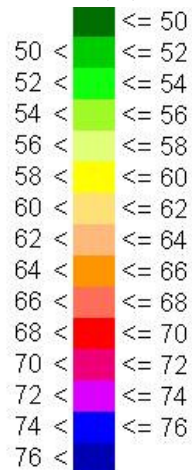


Figura 5.19 – Mapas acústicos dos: (a) Cenário atual, (b) CASO3a, (c) CASO3b, (d) CASO3c.

**Nível Sonoro
dB(A)**



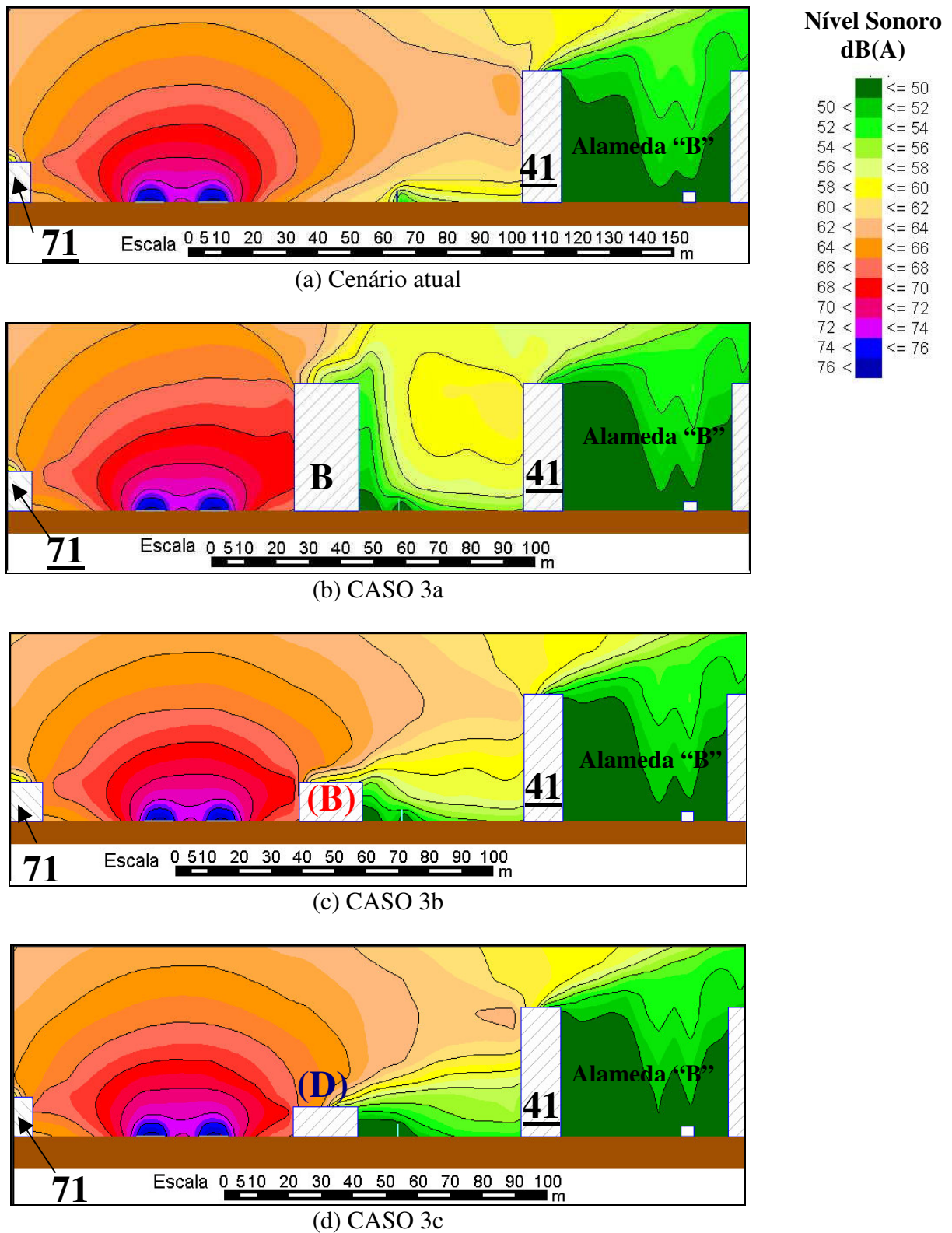


Figura 5.20 – Seções verticais do campo acústico dos: (a) Cenário atual, (b) CASO 3a, (c) CASO 3b, (d) CASO3c

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Essa pesquisa buscou estudar de que maneira a interação entre fontes sonoras e a forma urbana influencia um determinado ambiente sonoro, utilizando-se o bairro Jardins em Aracaju (SE) como campo experimental. Essa região, predominantemente, residencial apresenta espaços urbanos com diferenciações em suas características físicas, as quais contribuíram para a realização desse estudo. Foram levados em conta, os seguintes aspectos: densidade construtiva, presença de áreas livres, forma e distribuição espacial das edificações e variações nos perfis de ruas ao longo das principais avenidas.

Durante as observações do cenário acústico atual da região, foi visto que o tráfego de veículos nessas avenidas consiste na principal fonte de ruído local³¹, sendo considerado nas simulações acústicas. Para sua caracterização foram usados parâmetros de tráfego como: fluxo de veículos e porcentagem de veículos pesados para cada avenida nos horários de pico.

Após a realização das simulações acústicas, os mapas acústicos obtidos mostraram a distribuição dos níveis sonoros da região e alguns aspectos que evidenciaram a influência da forma urbana na propagação sonora ao ar livre e no ambiente sonoro local, os quais serão destacados a seguir.

Nas regiões com maior densidade construtiva as edificações e muros se comportam como obstáculos à livre propagação do ruído proveniente das vias de tráfego, atenuando o seu nível sonoro. Com isso, o ruído atinge os espaços internos das quadras com menor energia sonora,

³¹ Ressalta-se a existência de canteiros de obras na região do bairro Jardins. Porém, por se encontrarem em pontos mais afastados, não contribuíram para o ruído ambiental analisado.

formando-se bolsões de silêncio. Foi visto que tal atenuação depende da forma e disposição das edificações em relação à fonte de ruído, ou seja, da permeabilidade do espaço urbano.

Ainda nesses espaços, o decaimento sonoro com a distância não obedece a redução teórica de 3 dB(A) a cada dobro da distância entre fonte linear (via de tráfego) e receptor, uma vez que o campo acústico formado não representa uma situação de campo livre.

Verificou-se que perfis de ruas com presença de edifícios elevados em ambos os lados de uma via, nem sempre representam um espaço urbano tipo *canyon*, pois, a existência de descontinuidades entre as fachadas vizinhas dos edifícios pode tornar o espaço permeável ao ruído, contribuindo para uma menor permanência e concentração dos raios refletidos.

Os mapas acústicos do cenário atual mostram que as edificações às margens das vias de tráfego estão expostas a maiores níveis sonoros em relação aos edifícios mais recuados, destacando ainda, a formação de zonas de sombra acústica por trás de uma edificação ou conjunto dessas. As fachadas voltadas para essas áreas estão mais protegidas do ruído do tráfego. Salienta-se que a implantação de edifícios menos sensíveis ao ruído como barreiras acústicas pode contribuir como elementos de controle de ruído, protegendo os prédios com atividades mais sensíveis ao ruído localizados por trás dessas edificações.

Esses aspectos mostram a importância de prever os níveis de ruído gerados pelo tráfego de uma via e utilizar essas informações como partido durante a fase de projeto tanto na escala urbana quanto na dimensão do edifício, de modo a minimizar os efeitos do ruído urbano nos ambientes construídos. No entanto, ressalta-se que as decisões de projeto passam por outros aspectos relacionados ao conforto ambiental, como: ventilação, iluminação natural, os quais devem também ser analisados.

Uma outra contribuição deste trabalho diz respeito à predição dos níveis sonoros nas regiões em fase de expansão, por exemplo, o bairro Jardins. Desse modo, o trabalho pode contribuir para o planejamento na ocupação de áreas ainda sem construções, através da adequada implantação de edificações em locais que apresentem níveis sonoros compatíveis as suas futuras atividades ou que essas não exerçam incômodos ao entorno urbano.

Ressalta-se que o conteúdo apresentado nessa pesquisa não corresponde a um estudo de impacto ambiental. A idéia foi mostrar o comportamento do ruído gerado nas vias de tráfego diante da forma urbana e daí fornecer informações que possam servir como subsídios ao planejamento e desenho das cidades no que se refere ao conforto acústico.

Para trabalhos futuros, sugere-se a ampliação das amostras na coleta de dados acústicos para os diversos períodos do dia (diurno e noturno) de modo a obter maior informação quanto aos níveis sonoros na região. Além da possibilidade de correlacioná-los com a percepção subjetiva da população local.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS

ANDERSON, G. S. et. al. FHWA traffic noise model, version 1.0: introduction to its capacities and screen components. **The Wall Journal**, 22, p. 14-17, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151**: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. 4p.

ARACAJU (SE). Prefeitura Municipal de Aracaju. **Lei Complementar nº 042, de 04 de outubro de 2000**.

ARACAJU (SE). Prefeitura Municipal de Aracaju. Secretaria Municipal de Planejamento. SEPLAN. Base Cartográfica Digital do Município de Aracaju. 2004 (CD ROM).

ARACAJU (SE). Prefeitura Municipal de Aracaju. PMA. Disponível em: <http://www.aracaju.se.gov.br/cidade/aspectos.asp>. Acesso em: 05 de junho de 2005

ARRUDA, F. R. et al. Aspectos do controle de ruído urbano na cidade do Rio de Janeiro. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRAC, 2000. p. 410-415.

BARBOSA, H. M. O efeito de medidas de *traffic calming* no ruído em áreas urbanas. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO EM ACÚSTICA DO MERCOSUL, 1; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 475-478.

BARING, J.G.A . **O desempenho acústico de caixilhos de fachada no controle da poluição sonora urbana**. 1990. Tese de Doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BARROS, C. J. O. Análise espacial do controle da poluição sonora em Belo Horizonte. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRAC, 2000. p. 380-385.

BELDERRAIN, M. L. R. Ruído de tráfego: avaliação e análise de um caso prático. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 16, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SOBRAC, 1995. v.1, p. 37-40.

BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and vibration control engineering: principles and applications.** New York: John Wiley and Sons, 1992.

BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D.H. (Eds.). **Guidelines for community noise.** World Health Organization (WHO). 1999.

BERGLUND, B, LINDVALL, T (Eds.). **Community noise.** Center for sensory research, 2, p.1-195. Disponível em: <<http://www.aef.org.uk/PDFs/WHO%20-%20Community%20Noise%201995.pdf>>. Acesso em: 23 de junho de 2004.

BISHOP, D. E. Noise surveys; community noise. In: HARRIS, C. M. **Handbook of noise control.** 2. ed. New York: McGraw-Hill, Inc.1979. p. 1-37.

BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH. **Handbook user's manual.** SoundPlan LLC, 2004.457p. Disponível em: <<http://www.soundplan.com>>. Acesso em 20 de junho de 2004.

BRÜEL & KJÆR. **Environmental noise.** Denmark: Brüel & Kjør Sound & Vibration Measurement A/S, 2000.65p.

CALIXTO, A. **O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias – grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental.** 2002. 125 p. Dissertação – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CASALI, J. G. Acoustical litigation issues in community noise annoyance. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRAC, 2000. p. 1-16.

CHAVES, R. S. R. **Aracaju: pra onde você vai?**Aracaju: Ed. autor, 2004

CVETKOVIĆ, D.; PRAŠČEVIĆ, M. Rating noise level as environmental noise indicator. **The scientific journal Facta Universitatis**, series: Working and Living Environmental Protection, 1, n. 5, p. 39-50, 2000.

DIAZ, E.G., et al. Evolucion del nível de ruído ambiental en la ciudad de Valencia: acciones de control. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMATIZAÇÃO EM ACÚSTICA DO MERCOSUL, 1; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 471-474.

DINIZ, F. B. **Impacto ambiental das emissões sonoras de subestações de energia elétrica na cidade de Curitiba.** 2003.121p. Dissertação – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- FRANÇA, V. L. A. **Aracaju: estado e metropolização**. 1. ed. São Cristóvão: Editora UFS, Aracaju: Fundação Oviêdo Teixeira, 1999. 253 p.
- GALLOWAY, W. J. et al. Urban highway noise: measurement, simulation, and mixed reactions. **NCHRP report**, 78, 1969.
- GARCIA, A.; FAUS, L. J. Statistical analysis of noise levels in urban areas. **Applied Acoustics**, 34, p. 227-47, 1991.
- GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000. 676p.
- HARRIS, C. M. **Handbook of noise control**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, Inc. 1979.
- HASSAL, J. R.; ZAVERI, K. **Acoustic noise measurements**. 4 ed., Janeiro, 1979
- HINCU, G. Computer assisted evaluation of traffic noise level. **Electronic Journal Technical Acoustics**, 19, 2003. Disponível em: <http://webcenter.ru/~eeaa/ejta/>. Acesso em: 18 de março de 2004.
- INSTITUTO BASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em: 05 de junho de 2005
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996/1**: Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 1: Basic quantities and procedures, 1996/1. Suíça, 1982. 5p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996/2**: Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use, 1996/2. Suíça, 1987. 7p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996/3**. Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 3: Application to noise limits, 1996/3. Suíça, 1987. 3p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9613/1**: Acoustics: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere, 9613/1. Suíça, 1993.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9613/2**: Acoustics: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors. Part 1: General method of calculation, 9613/2. Suíça, 1996.
- IRVINE, L.K; RICHARDS, R.L. **Acoustics and noise control handbook for architects and builders**. Malabar: Krieger Pub. Co, 1998.
- JOHSON, D.R.; SAUNDERS, E.G. The evaluation of noise from freely flowing road traffic. **Journal of Sound and Vibration**, 7, n. 2, p. 287-309, 1968.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**, 2. ed., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2000

LAMURE, C. Niveaux de bruit au voisinage des autoroutes. In: PROC. FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS. 1965.

LECLERCQ, L.; LELONG, J. Dynamic evaluation of urban traffic. 2001. Disponível em:< http://www.inrets.fr/ur/Ite/publications/publications-pdf/Lelongpubli/bruit_1.pdf. Acesso em: 23 de junho de 2004.

LI, B. et al. A GIS based road traffic noise prediction model. **Applied Acoustics**, 63, p. 679-691, 2002.

LONDON. Department of Transport, Welsh Office HMSO: Calculation of road traffic noise, London, 1988.

LOURA, R. M.; VALADARES, V. M. Morfologia urbana e ruído ambiental: verificação da metodologia de pesos aplicada no bairro Floresta. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFSC, 2003. p. 745-752.

LOUREIRO, K. A. S. **A trajetória urbana de aracaju, em tempo de interferir**. Aracaju: Instituto de Economia e Pesquisas – INEP, 1983.

KESSLER F. M. Community noise. In: CROCKER, M. J. ; KESSLER, F. M. **Noise and noise control**. Flórida: CRC press, 1982. p. 182-216.

KOTZEN, B.; ENGLISH, C.; **Environmental noise barriers: a guide to their acoustic and visual design**. London: New York: Spon, 1999. 165p.

MACEDO, M. R. V.; SLAMA, L. G. Avaliação pós-ocupação acústica e a gestão ambiental urbana. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRAC, 2000. p. 392-397.

MAIA, M. A.; SATTler, M. A. Contribuição ao mapeamento do ruído urbano na cidade de Porto Alegre. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFSC, 2003. p. 761-769.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia**. 2004. 119p. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NEPOMUCENO, L. X. **Acústica técnica**. 1. ed. São Paulo: Editora Técnico-Gráfica Industrial Ltda (ETEGIL), 1968. 578 p.

NETO, M. F. **Estudo de barreiras acústicas ao ar livre, sob a perspectiva de eficiência e qualidade sonora.** 2002. 104p. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NIEMEYER, M. L. **Ruído urbano e arquitetura em clima tropical – úmido.** 1998. 133p. Dissertação – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NIEMEYER, M. L.; SANTOS, M. J. O. Qualidade acústica no espaço urbano. IN: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6, ENCONTRO LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3, 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ENCAC, 2001. p. 2-8.

NIEMEYER, M. L.; SLAMA, J. G. Ruído e a cidade: elementos do ruído urbano. In: RIO, V. D. (Org.). **Arquitetura: pesquisa & projeto.** São Paulo: Proeditores, Rio de Janeiro: FAU UFRJ, 1998. p. 76-89.

NICKSON, A. F. **Can community reaction to increased traffic noise be forecast?** In: PROC. FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS. 1965.

NUNES, M. F. O.; DORNELLES, G. T.; SOARES, I. N. Medidas de atenuação do ruído de tráfego urbano para o conforto acústico em áreas residenciais. IN: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ENCAC, 1999.

NUNES, M. F. O.; SANTOS, J. P. Estudo do ruído de tráfego veicular em Santa Maria. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMATIZAÇÃO EM ACÚSTICA DO MERCOSUL, 1; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis:SOBRAC, 1998. p. 511-514.

OLIVEIRA, M.P.G. et. al. Planejando o meio ambiente acústico urbano: uma abordagem baseada em SIG. Disponível em:< <http://www.ip.pbh.gov.br/revista0201/ip0201piedade.pdf>>. Acesso em: 22 de junho de 2004.

OUIS, D. Annoyance from road traffic noise: a review. **Journal of Environmental Psychology**, 21, p. 101–120, 2001.

PAZ, E. C. **Estudo de um modelo de avaliação e predição acústica para o ruído de tráfego.** 2004. 458p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PAZ, G. S ; OLIVEIRA, M. A.; SANTOS, J. L. P. Estudo da redução do NPS através da introdução de absorventes acústicos em ambiente de fachada exposta à poluição sonora externa. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO

ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFSC, 2003. p.532-539.

PRINZ, D. Tradução Luis Leitão. **Urbanismo 1: projecto urbano**. Lisboa: Presença, 1980.

RICHTLIEN FÜR DEN LÄRMSCHULTZ AN STRAßEN. **RLS - 90**. (Diretrizes para Proteção ao Ruído em Rodovias). Alemanha, 1990.

ROLLA, S. Avaliação da poluição sonora na cidade de Campinas-SP. In: CONGRESSO BRASIL/ARGENTINA, 1; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 15, 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis:SOBRAC, 1994. p. 349-356.

SATO, T. et. al. Road traffic noise annoyance in relation to average noise level, number of events and maximum noise level. **Journal of Sound and Vibration**, 223, n.5, p. 775 -784, 1999.

SATTLER, M. A. et. al. Ruído de tráfego rodoviário: estimativas a partir do fluxo de veículos. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMATIZAÇÃO EM ACÚSTICA DO MERCOSUL, 1; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 519-522.

SATTLER, M. A.; ROTT, J. A. A. Levantamento de ruído urbano orientado para o receptor, com base em ruído de tráfego. In: CONGRESSO BRASIL/ARGENTINA, 1; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 15, 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1994. p. 335-338.

SCHULTZ, T. J. Variation of the outdoor noise level and the sound attenuation of windows with elevation above the ground. **Applied Acoustics**, 12, p. 231-239, 1979.

SILVA, R. O. **Formas de uso e apropriação do espaço urbano coletivo: o caso do bairro Jardins em Aracaju-Se**. 2003. 243p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano da Universidade Federal de Pernambuco MDU/UFPE, Recife (PE).

SOMMERHOFF, J., RECUERO, M.; SUÁREZ, E. Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. **Applied Acoustics**, 65, p. 643-656, 2004.

SOUZA, K. A. **Aracaju: para não perder o bonde da história**. da criação à reforma do centro histórico. Monografia apresentada ao curso de Arquitetura e Urbanismo da UNIT. Aracaju, 2000;

STEELE, C. A critical review of some traffic noise prediction models. **Applied Acoustics**, 62, p. 271-287, 2001.

SUÁREZ, E.; PÉREZ, M. A. Desarrollo y aplicación de una metodología simple para determinar índices de contaminación acústica en una zona urbana (caso Comuna Talcahuano). In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMATIZAÇÃO EM ACÚSTICA DO MERCOSUL, 1; ENCONTRO DA SOCIEDADE

BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 467-470.

THORSSON, P. J.; ÖGREN, M.; KROPP, W. Noise levels on the shielded side in cities using a flat city model. **Applied Acoustics**, 65, p. 313-323, 2004.

VALADARES, V. M; GERGES; S. N. Y. Comportamento das distribuições estatísticas do ruído de tráfego veicular em vias arteriais em Belo Horizonte, MG. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1, SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO EM ACÚSTICA DO MERCOSUL, 1, ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 579-582.

ZANNIN, P.H.T.; DINIZ, F. B.; CALIXTO, A. Modelamento matemático da emissão sonora em rodovias federais que adentram áreas urbanas. **Revista de Acústica**, 34, n.1 e 2, p. 22-30, 2001.

Anexo – A: Norma Alemã RLS - 90

1. Introdução

O RLS - 90 utiliza o método da fonte pontual com espalhamento, atenuação sonora, refração e reflexão. Seus procedimentos de cálculo apresentam dois modelos: da fonte e da propagação. Com relação ao modelo da fonte são usados dados de tráfego para predizer o nível de ruído referencial em 25 metros de distância da estrada (L_{25}) e 4 metros acima do solo. Já o modelo da propagação tem como dados de entrada a emissão média durante o dia e a noite, resultando em níveis de ruído no receptor durante os respectivos períodos.

2. O Nível L_{25}

Os dados necessários para se calcular o nível sonoro L_{25} são: (i) dados de tráfego (número de veículos por hora, porcentagem de veículos pesados), (ii) velocidade dos veículos leves e velocidade dos veículos pesados, (iii) ajustes devido à superfície da rua, (iv) gradiente da rua, (v) adições devido às múltiplas reflexões.

O L_{25} é calculado por:

$$L_{25} = L_{25\text{Básico}} + C_{\text{velocidade}} + C_{\text{superfície}} + C_{\text{gradiente}} + C_{\text{reflexões}}$$

O $L_{25\text{ básico}}$ é o nível sonoro normalizado para as seguintes condições: (i) superfície asfáltica lisa, (ii) gradiente menor que 5 %, (iii) propagação sonora em campo livre.

$$L_{25\text{ básico}} = 37,3 + 10 \log(I \cdot (1 + 0,082 \cdot P))$$

Onde:

I é o tráfego horário médio de veículos.

P é a porcentagem de veículos pesados que excedem 2,8 toneladas.

2.1 Correção Cvelocidade

A correção ocorre segundo a fórmula:

$$C_{velocidade} = \frac{L_{leve} - 37,3 + 10 \cdot \log\left[\left(100 + (10^{0,1C})\right)P\right]}{(100 + 8,23.P)}$$

Onde:

$$C = L_{pesado} - L_{leve}$$

$$L_{leve} = 27,8 + 10 \cdot \log\left(1 + (0,02.V_{leve})^3\right)$$

$$L_{pesado} = 23,1 + 12,5 \cdot \log(V_{pesado})$$

V_{leve} = velocidade dos veículos leves

V_{pesado} = velocidade dos veículos pesados.

2.2 Correção Devido à Superfície da Rua - Csuperfície

As adições devido ao tipo superfície da pista são indicadas na Tabela A.1.

Tabela A.1 – Correção devido à superfície da rua

Tipo de Piso	Correção
Asfalto liso	0
Asfalto rugoso, concreto	+1,5
Paralelepípedo liso	+2,5
Outros paralelepípedos	+4,5

2.3 Correção Devido ao Gradiente da Rua – $C_{\text{gradiente}}$

$$C_{\text{gradiente}} = 0$$

se o gradiente for menor que 5%

$$C_{\text{gradiente}} = 0,6|g| - 3$$

se o gradiente, dado em porcentagem, for maior que 5%, onde g é o gradiente da rua.

2.4 Correção Devido às Múltiplas Reflexões – $C_{\text{reflexões}}$

$$C_{\text{reflexões}} = 4 \frac{h}{d}$$

Onde:

h é a altura da parede

d é a distância entre as paredes

$C_{\text{reflexões}} < 3,2$ dB para superfícies refletoras

$$C_{\text{reflexões}} = 2 \frac{h}{d}$$

$C_{\text{reflexões}} < 1,6$ dB para superfícies absorventes.

Anexo – B: Um Pouco da História de Aracaju (SE)

Num formato que lembra um tabuleiro de xadrez (Figura B.1), Aracaju (SE) foi planejada pelo engenheiro Sebastião José Basílio Pirro para se tornar a capital de Sergipe a partir da década de 1850, com o apoio do então Presidente de Província, Inácio Joaquim Barbosa. A transferência da sede do Governo de São Cristóvão para Aracaju, “Cajueiro dos Papagaios” em língua Tupi, atendia a necessidade econômica de escoamento da produção, principalmente, açucareira, por se situar em área litorânea, banhada pelos rios Sergipe e Vaza-Barris (CHAVES, 2004).

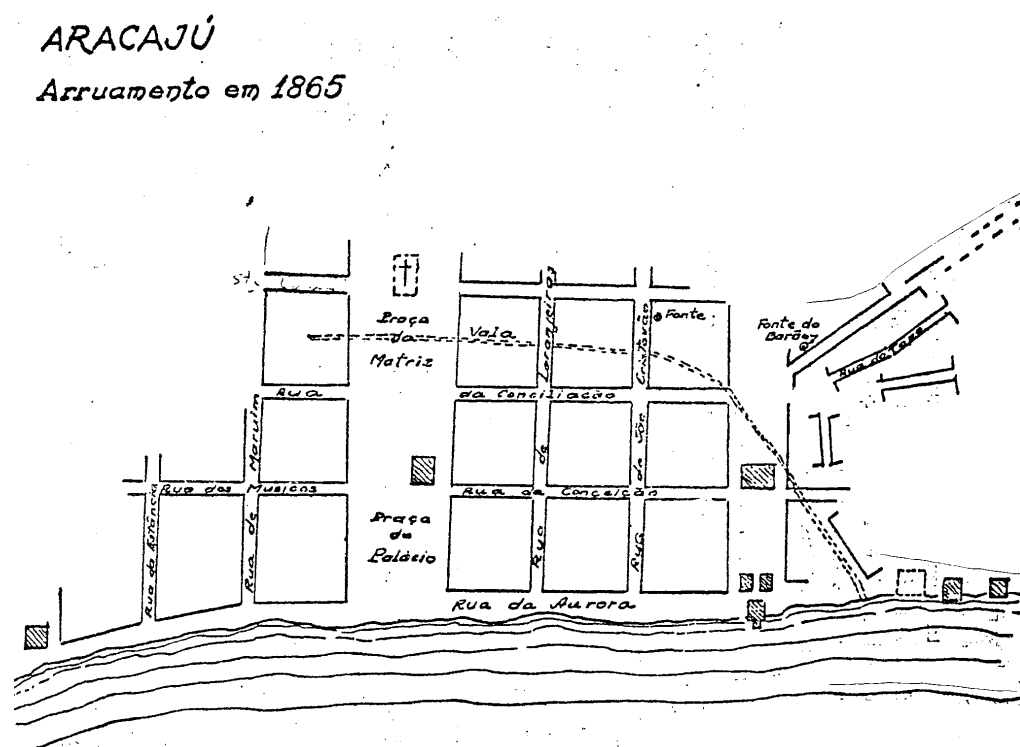


Figura B.1 – Projeto urbanístico com traçado de ruas em linha reta, formando quadras simétricas. Fonte: SILVA, 2003.

No início dos anos de 1900, Aracaju, antigo povoado Santo Antônio do Aracaju, possuía 21.132 habitantes (SOUZA, 2000), enquanto em 1940 existiam 60.000 moradores (LOUREIRO, 1983). O seu crescimento acontecia, desordenadamente, surgindo, na década de 1950 os bairros América, Cidade Nova, Palestina, Dezoito do Forte, e outros (SILVA, 2003).

Até meados da década de 1970, Aracaju (SE), caracterizava-se por ser horizontalizada, havendo apenas alguns edifícios destinados aos serviços públicos e privados, em geral com 4 e 6

andares, localizados no centro³². A modernidade começava a despontar com a construção do edifício Estado de Sergipe, apresentando 28 andares, situado também no centro da cidade (FRANÇA, 1999).

Partindo do centro em direção ao sul, deu-se início ao processo de verticalização do espaço urbano. Pessoas com médio e alto poder aquisitivo³³ residiam em prédios nos bairros Salgado Filho, Grageru, Treze de Julho, cuja construção foi viabilizada por empresas imobiliárias, como Nordeste Construções Ltda (NORCON), Habitacional, Celi³⁴, dentre outras. A Prefeitura Municipal, através do Decreto 466/76, delimitava o máximo de 12 pavimentos, admitindo ainda os pilotis, os 2 pisos para garagem e 1 para lazer, muito embora, tal determinação não tenha sido seguida à risca (FRANÇA, 1999).

À medida que vinha ocorrendo o adensamento vertical, apareciam problemas de infraestrutura, diante do trânsito congestionado, da insuficiência dos serviços de esgoto, de telefonia, dentre outros. A continuidade da verticalização, na direção sul, ocorreu no bairro Treze de Julho e, principalmente, com início da implantação do bairro Jardins (Figura B.2), em meados da década de 1990, caracterizado por um conjunto de edifícios modernos e elitizados, recentemente construídos pela NORCON e relacionados a um outro subcentro, o *Shopping Center Jardins*.



Figura B.2 – Fotografia do bairro Jardins no ano de 2000. Fonte: SILVA, 2003.

³² Para maiores informações ver França (1999).

³³ Geralmente, era a Companhia de Habitação Popular do Estado de Sergipe. (COHAB-SE) que construía apartamentos para as camadas média baixa e popular (FRANÇA, 1999).

³⁴ Até parte da década de 1980 os edifícios eram construídos com financiamentos do Banco Nacional de Habitação (BNH) e depois da Caixa Econômica Federal (FRANÇA, 1999).

Anexo – C: Mapa da Divisão dos Bairros de Aracaju (SE)

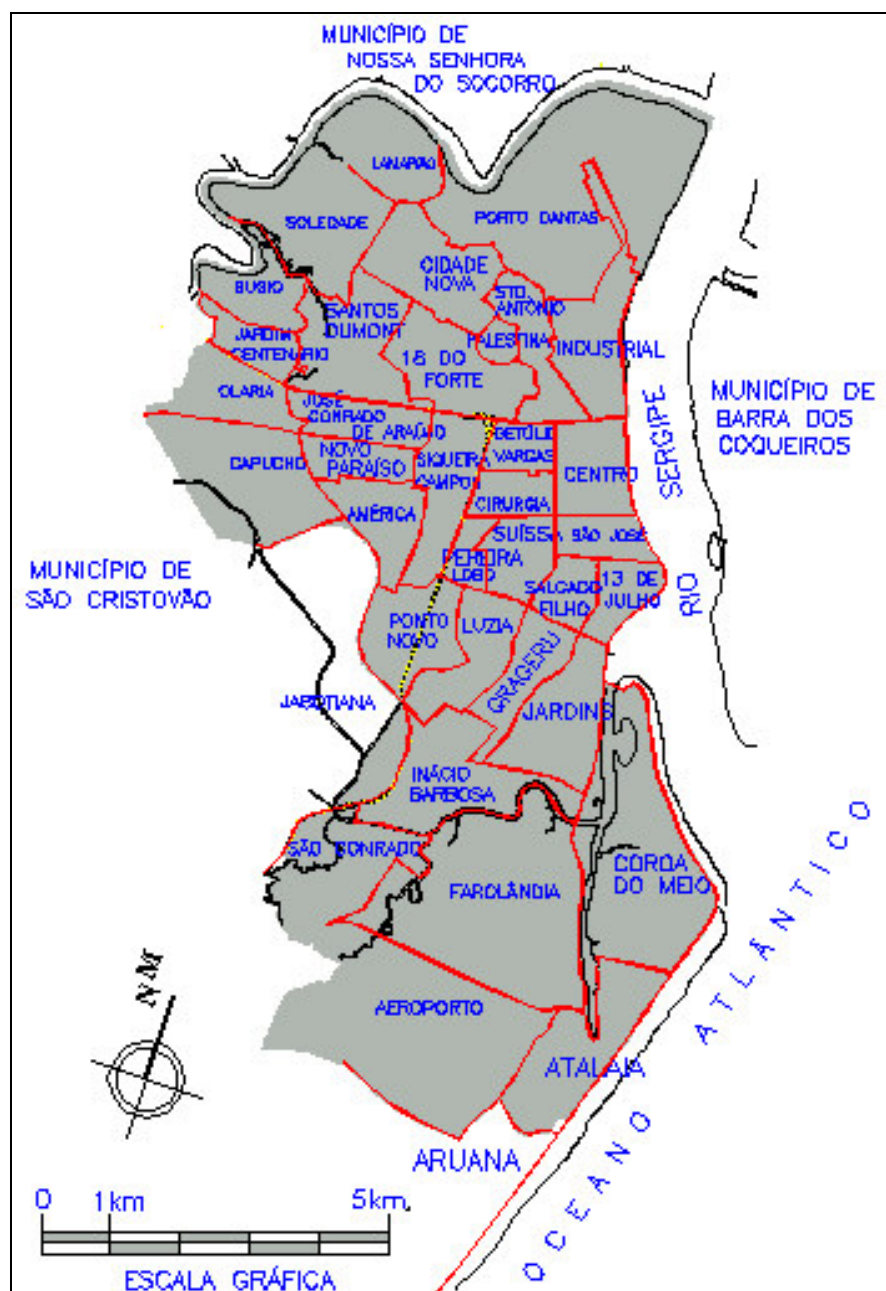


Figura C.1 – Mapa da divisão dos bairros de Aracaju (SE).

Apêndice – A: Comparação entre valores medidos e calculados de LAeq (dB) por ponto de medição

Os gráficos das Figuras A.1 e A.2 apresentam um comparativo entre os valores medidos com os calculados pelo *SoundPLAN 6.0* para cada ponto de medição externa aos condomínios, relativo aos horários de pico (12:00h às 13:00h e 18:00h às 19:00h, respectivamente). Na Figura A.3 encontra-se o gráfico comparativo entre valores medidos e calculados para os pontos de medição internos aos condomínios selecionados e dentro do intervalo horário de 12:00h às 13:00h.

O desvio padrão indicado nos gráficos corresponde à variação de 3dB(A). Esse foi desvio máximo adotado, pois, representa o efeito subjetivo nas pessoas apenas perceptível (HASSAL e ZAVERI, 1979). Verifica-se nos gráficos que os valores calculados encontram-se dentro desse intervalo.

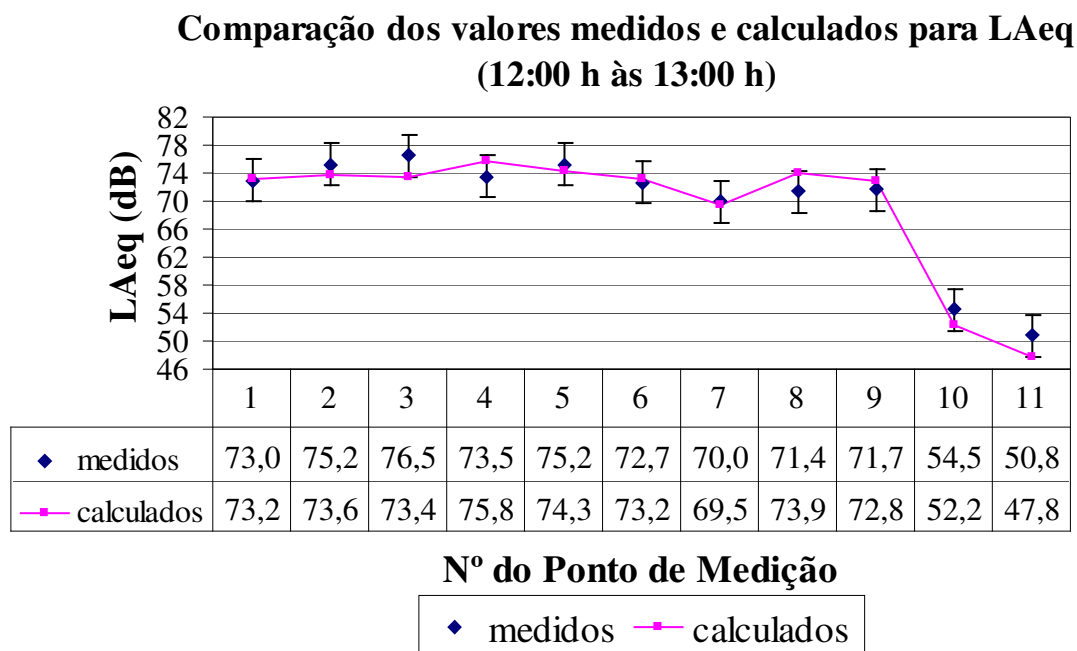


Figura A.1 – Gráfico comparativo dos valores medidos e calculados para LAeq (12:00h às 13:00h)

Comparação dos valores medidos e calculados para LAeq (18:00h às 19:00h)

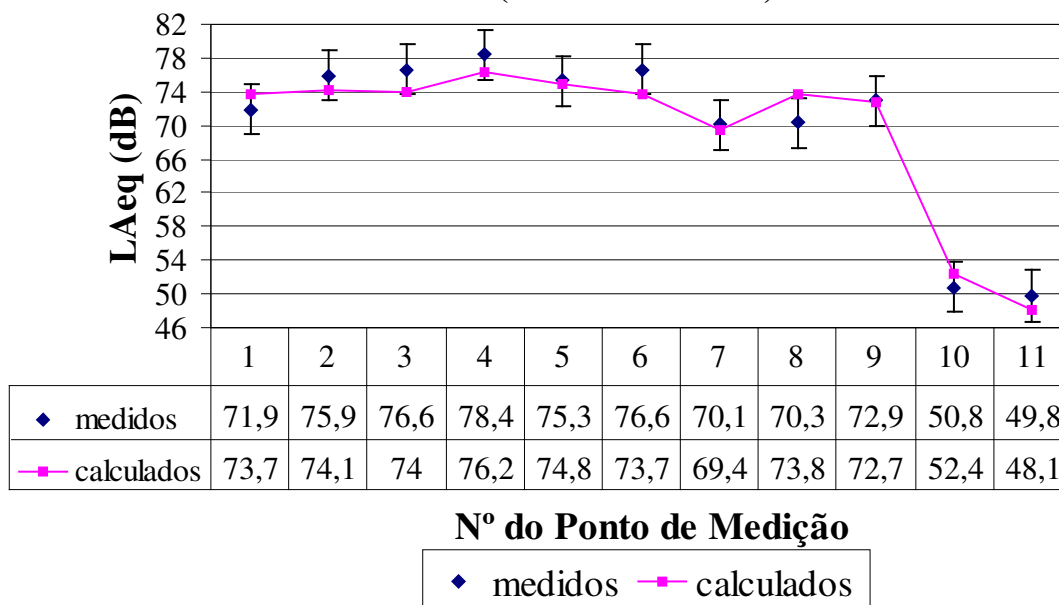


Figura A.2 – Gráfico comparativo dos valores medidos e calculados para LAeq (18:00h às 19:00h)

Comparação dos valores medidos e calculados para LAeq (12:00h às 13:00h)

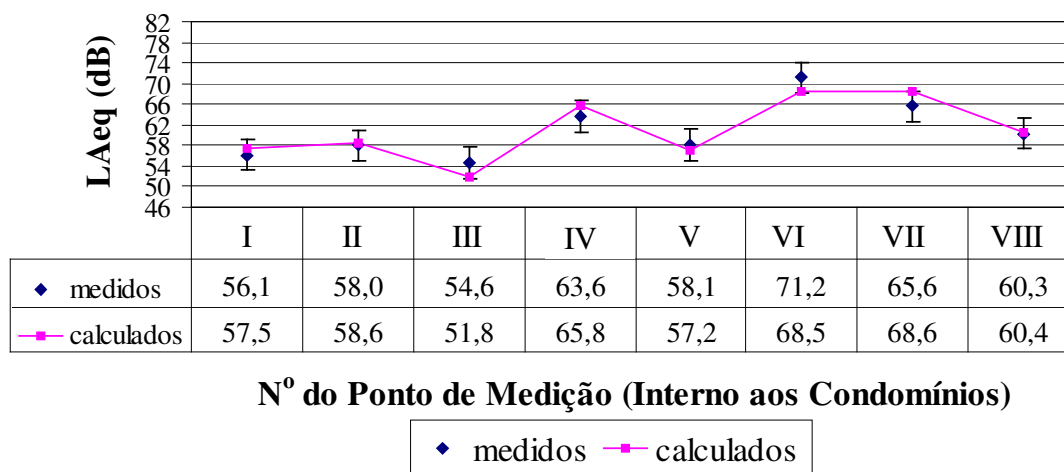


Figura A.3 – Gráfico comparativo dos valores medidos e calculados de LAeq para os pontos internos aos condomínios selecionados (12:00h às 13:00h)

Na Figura A.3, os números em algarismos romanos representam os pontos de medição localizados nos pavimentos térreos defronte à fachada frontal dos respectivos edifícios dos condomínios selecionados. Ou seja:

Ponto I: Ed. Barcelona (18) do Cd. Costa Brava; **ponto II:** Ed. Valência (19) do Cd. Costa Brava; **ponto III:** Ed. bloco B (65) do Cd. Delphinos; **ponto IV:** Ed. bloco A (66) do Cd. Delphinos; **ponto V:** Ed. bloco B (16) do Cd. Jardim Imperial; **ponto VI:** Ed. bloco A (17) do Cd. Jardim Imperial; **ponto VII:** Ed. bloco B (14) do Cd. Jardim Tropical; **ponto VIII:** ed. bloco A (15) do Cd. Jardim Tropical.

A localização desses pontos encontra-se na Figura 4.11 no Capítulo 4 – Metodologia da Pesquisa. Os números dentro dos parênteses são as identificações dos edifícios que também estão representados na Figura 4.11.