

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E  
URBANISMO – PósARQ**

Rosangela Brioschi

**ANÁLISE PARAMÉTRICA DA RELAÇÃO ENTRE MASSA  
EDIFICADA E NÍVEIS SONOROS NO AMBIENTE URBANO  
POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Florianópolis

2011



Rosangela Brioschi

**ANÁLISE PARAMÉTRICA DA RELAÇÃO ENTRE MASSA  
EDIFICADA E NÍVEIS SONOROS NO AMBIENTE URBANO  
POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Elvira Barros Viveiros da Silva

Florianópolis

2011

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária  
da  
Universidade Federal de Santa Catarina

B858a Brioschi, Rosangela

Análise paramétrica da relação entre massa edificada e níveis sonoros no ambiente urbano por simulação computacional [dissertação] / Rosangela Brioschi ; orientadora, Elvira Barros Viveiros da Silva. - Florianópolis, SC, 2011.

202 p.: il., grafs., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Inclui referências e apêndices

1. Arquitetura. 2. Planejamento urbano. 3. Acústica. 4. Mapeamento do meio ambiente. I. Silva, Elvira Barros Viveiros da. II. Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDU 72

Rosângela Brioschi

**ANÁLISE PARAMÉTRICA DA RELAÇÃO ENTRE MASSA  
EDIFICADA E NÍVEIS SONOROS NO AMBIENTE URBANO  
POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Florianópolis, 8 de julho de 2011.

\_\_\_\_\_  
Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Elvira Barros Viveiros da Silva, Dra.  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Alina Gonçalves Santiago, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina

\_\_\_\_\_  
Prof. Renato Tibiriçá de Saboya, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

\_\_\_\_\_  
Prof. Jose Luiz Bento Coelho, PhD.  
Universidade Técnica de Lisboa, Portugal



À Gelso, Rosalina e Renzo.





## AGRADECIMENTOS

Gelso, Rosalina, Rosana, Renata, João Vitor, Rômulo, João,  
Vinícius,  
Renzo,  
Dri, Dani, Jessi, Rubia, Cath, Thellius,  
Lud, Marcelo, Carol, Lucas, Natalia, Ricardo, Rapha, Veri, Eva,  
Mary, Luiza, Cinthia, Letícia, Ana Paula, Ana Beatriz, Fernando, Aline,  
Beth, Vicente,  
Ivonete,  
Elvira.

... Estas são as pessoas me apoiaram durante a elaboração desta dissertação. Agradeço a elas pelos ótimos momentos de convívio, que já fazem parte da minha bagagem de boas lembranças

... para sempre.

À Deus, por me fazer percebê-Lo continuamente.



## RESUMO

O fenômeno da aglomeração populacional em áreas urbanas é intimamente ligado ao adensamento de edificações e ao aumento do número de veículos. Esses fatores elevam o ruído nas cidades, principalmente o proveniente do tráfego rodoviário, acarretando efeitos adversos na saúde humana e contribuindo para a diminuição da qualidade dos espaços abertos utilizados pela população. Considerando-se que os edifícios são elementos significativos na trajetória da propagação sonora urbana, torna-se essencial investigar como a distribuição da massa edificada e sua interação com o entorno contribuem nesse cenário de crescimento da poluição sonora. Assim, o objetivo desta pesquisa é identificar a relação entre parâmetros da massa edificada e a configuração de diferentes ambientes sonoros urbanos, sob o ponto de vista do usuário dos espaços abertos da cidade. Cenários urbanos foram elaborados considerando-se variações nos parâmetros foco do estudo: afastamentos laterais, altura das edificações, distância entre fachadas frontais e proporção da via. O efeito das alterações nas variáveis foi analisado computacionalmente, através de mapeamentos sonoros produzidos pelo programa SoundPlan. A comparação entre os mapas sonoros indicam tendências de comportamento entre os parâmetros da forma urbana e os níveis sonoros para os indivíduos no ambiente urbano. O aumento dos afastamentos laterais provocou manutenção ou redução nos níveis sonoros para os usuários localizados em frente aos edifícios, enquanto que houve acréscimo no nível sonoro para os indivíduos situados nos fundos do lote. O acréscimo da distância entre fachadas frontais ocasionou diminuição no nível sonoro para o sujeito em frente aos prédios, enquanto houve aumento para aqueles nos fundos do lote. A ampliação da altura dos edifícios e o estreitamento da proporção da via acarretaram aumento no nível sonoro para todas as localizações de usuário avaliadas, sendo que houve interferência da variação conjunta entre afastamento lateral e altura de edifícios nos resultados encontrados.

**Palavras-chave:** Planejamento urbano. Acústica urbana. Mapeamento sonoro.

## ABSTRACT

The population agglomeration phenomenon in urban areas is tightly related to building densification and the increase of vehicles. These factors raise the noise level in cities, specially the portion due to road traffic, leading to adverse effects in human health and contributing to quality reduction of open spaces used by people. Taking into consideration that buildings are significant elements in urban sound propagation, it is essential to investigate how buildings distribution and its interaction with the environment act in the scenario of growing noise pollution. Thus, the objective of this research is to identify the relation between built mass parameters and the configuration of different urban sound environments under pedestrians' point of view. Urban scenarios were elaborated considering variations in some parameters focused by this study, namely, lateral distance between building and lot limit, building height, front distance between building and lot limit and road proportion. The effects of these changes in the parameters were evaluated through the analysis of sound maps generated by the software SoundPlan. The comparisons between sound maps indicate trends of behavior relating the urban form parameters to the sound levels perceived by people in the urban environment. The increase in lateral distance between building and lot limit caused reduction in sound level for the user in front of the building and caused elevation in sound level for those located in the back of the lot. The increment in front distances between building and lot limit led to reduction in sound level for the individual in front of the building, but led to increase in sound level for those in the back of the lot. Higher buildings and thinner proportions of road sections produced increase in sound level for all individuals positions evaluated, but that was interference from the joint variation of lateral distance and buildings height in the results.

**Keywords:** Urban Planning. Urban Acoustics. Sound Mapping.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos formadores do ambiente sonoro considerados nesta pesquisa: fonte sonora de tráfego rodoviário, foco de estudo sobre a massa edificada, e receptor sonoro como sendo o usuário da cidade. ....	2
Figura 2 – Curvatura das ondas sonoras quando velocidade e temperatura do ar aumentam conforme altura. Fonte: Adaptado de Sharland (1972).....	11
Figura 3 – Curvatura das ondas sonoras quando velocidade e temperatura do ar diminuem conforme altura. Fonte: Adaptado de Sharland (1972).....	11
Figura 4 – Curvatura das ondas conforme direção dos ventos. Fonte: Adaptado de Sharland (1972).....	12
Figura 5 – Corte esquemático demonstrando a amplificação dos sons ocasionada pelas múltiplas reflexões sonoras das fachadas.....	13
Figura 6 – Propagação esférica de fonte pontual em campo livre. Fonte: Adaptado de Sharland (1972). ....	15
Figura 7 – Propagação cilíndrica de fonte linear em campo livre. ....	15
Figura 8 – Corte esquemático de situação sem e com barreira acústica, destacando-se a formação de sombra acústica no segundo caso. ....	17
Figura 9 – Representação esquemática das áreas utilizadas para o cálculo de índice de aproveitamento e taxa de ocupação em Florianópolis. ....	19
Figura 10 – Corte esquemático representando o ambiente exposto ao ruído de tráfego e o ambiente protegido do ruído de tráfego. Baseado nas informações de Nicol e Wilson (2004) e Salomons <i>et al.</i> (2009).....	26
Figura 11 – Cenário inicial para ajustes de parâmetros, com plano de 200 x 200 m e via com comprimento de 200 m.....	40
Figura 12 – Simulações considerando diferentes comprimentos de via. ....	41
Figura 13 – Simulação referente ao aumento do terreno em relação à área de cálculo. ....	42
Figura 14 – Simulações com diferentes valores de <i>grid</i> . ....	43
Figura 15 – Simulação com a consideração de dados de tráfego reais, sendo utilizado 4 m de altura para mapeamento, <i>grid</i> de 1 m, <i>field size</i> 3x3, min/max 5 dB, <i>difference</i> 0,15 dB. ....	45
Figura 16 – Simulação referente à inserção de um edifício de 15 x 15 x 15 m. ....	45
Figura 17 – Simulação referente à inserção aleatória de cinco edifícios.....	46
Figura 18 – Exemplo de massa edificada, destacando-se os parâmetros envolvidos em sua volumetria em (a) e os representativos de suas principais relações com o entorno em (b). ....	49
Figura 19 – Planta baixa (a) e corte (b) esquemáticos demonstrando parâmetros envolvidos nos cenários urbanos simulados, sendo que AL é a abreviação para afastamento lateral. ....	51
Figura 20 – Ilustração das relações utilizadas para determinação de afastamentos frontal, lateral e de fundos no Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis. ....	53

Figura 21 – Mapeamento sonoro à altura de 4 m (a) e seção transversal central (b) do cenário sem edifícios do estudo preliminar.....	55
Figura 22 – Recortes do mapeamento sonoro à altura de 4 m (a) e seção transversal central (b) do cenário sem edifícios do estudo preliminar.....	56
Figura 23 – Exemplo da obtenção do mapa de contribuição sonora do cenário A do estudo preliminar.....	58
Figura 24 – Grupo de investigação sobre a influência da altura dos edifícios, com os mapas de contribuição sonora (a) e seções transversais (b) dos cenários A, B e C do estudo preliminar.....	60
Figura 25 – Grupo de investigação sobre a influência da distância entre fachadas frontais, com os mapas de contribuição sonora (a) e seções transversais (b) dos cenários D, B e E do estudo preliminar.....	61
Figura 26 – Grupo de investigação sobre a influência dos afastamentos laterais, com os mapas de contribuição sonora (a) e seções transversais (b) dos cenários B, F, G, H e I do estudo preliminar.....	62
Figura 27 – Planta baixa esquemática (a) e ampliação (b) do cenário sem edifícios, para a análise final.....	64
Figura 28 – Perfil adotado para as vias dos cenários urbanos simulados.....	65
Figura 29 – Esquema de obtenção dos primeiros 24 cenários, com a variação de distância entre fachadas frontais W, altura de edifícios H e proporção WH.....	67
Figura 30 – Recorte gráfico da volumetria do cenário C32, com 24 m entre fachadas frontais, 18 m de altura de edifícios e 0 m de afastamento lateral.....	73
Figura 31 – Legenda gráfica que acompanha os mapeamentos de contribuição sonora.....	78
Figura 32 – Pontos de recepção sonora utilizados para a elaboração de gráficos.....	80
Figura 33 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C52, constituinte do grupo W27-H27.....	84
Figura 34 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C53, constituinte do grupo W27-H27.....	84
Figura 35 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C54, constituinte do grupo W27-H27.....	85
Figura 36 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C55, constituinte do grupo W27-H27.....	85
Figura 37 – Planta baixa esquemática demonstrando os principais resultados da influência do afastamento lateral AL nos níveis sonoros para o usuário da cidade.....	86
Figura 38 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C76, constituinte do grupo W36-L1/5.....	90
Figura 39 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C81, constituinte do grupo W36-L1/5.....	90
Figura 40 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C85, constituinte do grupo W36-L1/5.....	91
Figura 41 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C89, constituinte do grupo W36-L1/5.....	91

Figura 42 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C92, constituinte do grupo W36-L1/5. ....	92
Figura 43 – Corte esquemático demonstrando os principais resultados da influência da altura dos edifícios H nos níveis sonoros para o usuário da cidade, sendo que o afastamento lateral AL também variou de forma conjunta com H.93	
Figura 44 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C18, constituinte do grupo H24-L1/5. ....	97
Figura 45 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C39, constituinte do grupo H24-L1/5. ....	97
Figura 46 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C72, constituinte do grupo H24-L1/5. ....	98
Figura 47 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C81, constituinte do grupo H24-L1/5. ....	98
Figura 48 – Corte esquemático demonstrando os principais resultados da influência da distância entre fachadas frontais W nos níveis sonoros para o usuário da cidade. ....	99
Figura 49 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C2, que possui proporção WH = 1:0,5. ....	102
Figura 50 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C7, que possui proporção WH = 1:0,67. ....	102
Figura 51 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C33, que possui proporção WH = 1:0,75. ....	103
Figura 52 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C38, que possui proporção WH = 1:1. ....	103
Figura 53 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C17, que possui proporção WH = 1:1,34. ....	104
Figura 54 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C21, que possui proporção WH = 1:1,5. ....	104
Figura 55 – Mapeamento de contribuição sonora de C25, WH = 1:2. ....	105
Figura 56 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C7, constituinte do grupo 1:0,67-L1/7. ....	105
Figura 57 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C48, constituinte do grupo 1:0,67-L1/7. ....	106
Figura 58 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C80, constituinte do grupo 1:0,67-L1/7. ....	106
Figura 59 – Cortes esquemáticos demonstrando os principais resultados da influência da proporção WH nos níveis sonoros para o usuário da cidade. ....	108
Figura 60 – Esquemas gráficos dos principais resultados quanto a afastamento lateral, altura de edificações e distância entre fachadas frontais. ....	111
Figura 61 – Esquemas gráficos dos principais resultados quanto a proporção WH. ....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Decaimento sonoro de quatro situações teóricas a cada dobro de distância entre pontos receptores .....	16
Tabela 2 – Nível critério de avaliação para ambientes externos, conforme NBR 10.151 .....	20
Tabela 3 – Teste de decaimento sonoro com fonte pontual sobre plano refletor .....	47
Tabela 4 – Teste de decaimento sonoro com fonte em linha sobre plano refletor .....	48
Tabela 5 – Índices adotados para as simulações do estudo preliminar .....	57
Tabela 6 – Cenários gerados para o estudo preliminar .....	57
Tabela 7 – Índices adotados para os cenários urbanos analisados .....	68
Tabela 8 – Cenários urbanos com 18 m entre fachadas frontais .....	69
Tabela 9 – Cenários urbanos com 24 m entre fachadas frontais .....	70
Tabela 10 – Cenários urbanos com 27, 30 e 32 m entre fachadas frontais .....	71
Tabela 11 – Cenários urbanos com 36 m entre fachadas frontais .....	72
Tabela 12 – Grupos de comparação com alterações nos afastamentos laterais e de fundos .....	74
Tabela 13 – Grupos de comparação com alterações na altura dos edifícios .....	75
Tabela 14 – Grupos de comparação com alterações nas distâncias entre fachadas frontais .....	76
Tabela 15 – Grupos de comparação com foco na proporção WH .....	77
Tabela 16 – Quadro resumo dos efeitos nos níveis sonoros segundo parâmetro investigado e localização do usuário dos espaços abertos urbanos .....	110



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARP-7	–	Área residencial predominante 7, uma das zonas de planejamento do Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis
CoRTN	–	<i>Calculation of road traffic noise</i> . Norma britânica para ruído de tráfego rodoviário.
FHWA	–	Norma americana para ruído de tráfego rodoviário, elaborada pelo <i>Federal Highway Administration</i> (FHWA)
GIS	–	<i>Geographic information system</i> . Em português: sistema de informação geográfica
GPS	–	<i>Global positioning system</i> . Em português: sistema de posicionamento global por satélite
$L_{eq}$	–	Nível sonoro contínuo equivalente
$L_{den}$	–	Nível dia-entardecer-noite
$L_d$	–	Nível diurno
$L_e$	–	Nível entardecer
$L_n$	–	Nível noturno
$L_{me}$	–	<i>Level mean emission</i> . Nível médio de emissão
$L_{m(25, básico)}$	–	Nível médio básico de emissão
$L_p$	–	Nível de pressão sonora
$L_w$	–	Nível de potência sonora
$L_w'$	–	Nível de potência sonora de fonte linear
NMPB96	–	<i>Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit</i> . Norma francesa para ruído de tráfego rodoviário.
RLS90	–	<i>Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen</i> , de 1990. Norma alemã para ruído de tráfego rodoviário.
WH	–	Proporção entre distância entre fachadas frontais, W, e altura de edifícios, H, que compõem um cânion urbano que contem a via



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	4
1.2	OBJETIVOS .....	5
1.2.1	Objetivo Geral.....	5
1.2.2	Objetivos específicos .....	5
<b>2</b>	<b>CONCEITUAÇÃO.....</b>	<b>6</b>
2.1	FONTES SONORAS EM AMBIENTES URBANOS .....	7
2.1.1	Ruído de tráfego rodoviário .....	7
2.2	PROPAGAÇÃO SONORA EM ESPAÇOS ABERTOS .....	10
2.2.1	Velocidade e temperatura do ar.....	10
2.2.2	Turbulência atmosférica.....	12
2.2.3	Absorção sonora do ar .....	12
2.2.4	Materiais constituintes de pisos e fachadas.....	12
2.2.5	Decaimento sonoro pela distância entre fonte e receptor ....	14
2.2.6	Barreira acústica .....	16
2.3	LEGISLAÇÕES: MASSA EDIFICADA E NÍVEIS SONOROS...	18
2.4	MODELAGEM DE AMBIENTES SONOROS URBANOS .....	21
2.4.1	RLS 90.....	22
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>25</b>
3.1	PARÂMETROS DA MASSA EDIFICADA E NÍVEIS SONOROS	25
3.1.1	Altura do receptor sonoro .....	26
3.1.2	Configuração de varandas.....	27
3.1.3	Tipos de coberturas.....	28
3.1.4	Materiais de absorção e barreiras nas edificações .....	28
3.1.5	Razão entre largura e altura do ambiente exposto ao ruído de tráfego – proporção WH .....	29
3.1.6	Forma e disposição das edificações na quadra .....	30
3.2	MAPEAMENTO SONORO COMO FERRAMENTA DE INVESTIGAÇÃO.....	32

<b>4</b>	<b>ANÁLISE PARAMÉTRICA .....</b>	<b>38</b>
4.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	38
4.1.1	Ferramenta de investigação .....	38
4.1.1.1	Ajuste de parâmetros.....	39
4.1.1.2	Validação.....	47
4.1.2	Formação da massa edificada.....	48
4.1.2.1	Índices urbanísticos em Florianópolis.....	51
4.1.3	Estudo Preliminar.....	54
4.1.4	Definição dos cenários urbanos para simulação.....	63
4.2	RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ENTRE MAPAS DE CONTRIBUIÇÃO SONORA.....	80
4.2.1	Afastamentos laterais.....	81
4.2.2	Altura de edifícios.....	87
4.2.3	Distância entre fachadas frontais .....	94
4.2.4	Proporção WH .....	100
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>113</b>
5.1	CONCLUSÕES.....	114
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	117
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>119</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>126</b>
<b>8</b>	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>159</b>
<b>9</b>	<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>167</b>
<b>10</b>	<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>175</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo de um ambiente sonoro pode ser decomposto em três elementos básicos: fonte sonora, trajetória de propagação e receptor. A integração entre esses fatores determina o campo acústico.

A fonte sonora é o agente que produz a vibração no meio, alterando sua pressão e assim ocasionando som. No meio urbano, as principais fontes de ruído são os aeroportos, as ferrovias, o tráfego de veículos automotores e os centros comerciais e industriais. Dessas, o ruído de tráfego rodoviário pode ser considerado dominante e presente na maioria das cidades (ÖHRSTRÖM *et al.*, 2006).

A trajetória de propagação compreende o caminho por onde a vibração se transmite, ao longo do meio, até a chegada ao sistema auditivo humano (SHARLAND, 1972). Nas cidades, as ondas sonoras se propagam no ar e interagem com diversos componentes durante o percurso entre fonte sonora e receptor.

O terceiro elemento na análise acústica é o receptor, aquele que capta as vibrações do meio e as codifica em informações sonoras. O receptor de interesse em estudos de arquitetura e urbanismo é o ser humano, com as peculiaridades de seu sistema auditivo.

Considerando-se a principal fonte sonora urbana como sendo o ruído de tráfego rodoviário, e, como receptor, o ser humano, percebe-se que o desenvolvimento de diferentes ambientes sonoros reside nas alterações provocadas pela trajetória de propagação, que envolve inúmeras variáveis, tais como ventos, umidade, temperatura e velocidade do ar, topografia e massa edificada.

O foco deste trabalho é a massa edificada, que pode ser compreendida como um conjunto de edifícios sendo observado à distância, do qual se destacam a volumetria básica das construções e as relações destas com o entorno. A Figura 1 demonstra a fonte sonora, o foco de estudo e o receptor de interesse na presente pesquisa.

A massa edificada sofre inúmeras influências em sua formação, desenvolvendo diferentes formas urbanas. As pesquisas de morfologia urbana buscam entender “o tecido urbano e seus elementos construídos formadores através de sua evolução, transformações, inter-relações e dos processos sociais que os geraram” para assim identificar formas mais apropriadas de intervenção (DEL RIO, 1990).

Estudos de morfologia urbana têm revelado que as características físicas dos edifícios e suas relações com o entorno produzem distintas situações de urbanidade, ou seja, diferentes maneiras de convivência e

trocas sociais entre a diversidade dos indivíduos no espaço público urbano (PEREIRA, 2001).

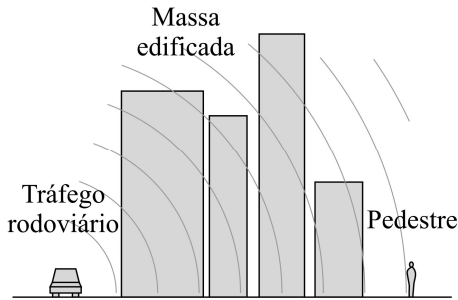


Figura 1 – Elementos formadores do ambiente sonoro considerados nesta pesquisa: fonte sonora de tráfego rodoviário, foco de estudo sobre a massa edificada, e receptor sonoro como sendo o usuário da cidade.

Um exemplo da relação entre características físicas da massa edificada e produção de urbanidade está no abandono da rua como palco da vida social ocorrido em diversas cidades modernistas. Em Brasília, por exemplo, uma das hipóteses para as causas da desapropriação humana do espaço público é a ausência de ruas tradicionais, ou seja, delimitadas por fachadas contínuas de prédios, e as grandes distâncias a serem percorridas. Outras suposições para o fato também se relacionam com características físicas tais como: densidade construída nas quadras, afastamentos entre edifícios, afastamento entre edifício e via, verticalização e relação figura e fundo (HOLSTON, 1993). Outra teoria que busca explicar o distanciamento do pedestre das ruas nas cidades planejadas segundo o movimento modernista é a rejeição da forma de ocupação em bloco fechado conformado pelas edificações no limite da quadra (PANERAI, CASTEX e DEPAULE, 2004).

Percebe-se que as características físicas da massa edificada são importantes nos estudos de Acústica e de Urbanismo devido à provável influência na formação dos ambientes urbanos, tanto em seus aspectos sociais como em seus aspectos sonoros.

Atualmente, é comum notar que em diversas cidades brasileiras a massa edificada tende a ser moldada pelos índices urbanísticos das legislações municipais de zoneamento. Tal processo acontece pelo esgotamento das possibilidades de construção realizado pela lógica econômica do mercado imobiliário nas áreas mais valorizadas (PEREIRA, 2001). Nas áreas onde os interesses de mercado são

maiores, os parâmetros máximos de ocupação e os afastamentos mínimos entre edifício e limite do lote são quase sempre seguidos e acabam por determinar a volumetria das edificações e as relações delas com o entorno.

No Brasil, o papel de regulador do espaço urbano cabe à municipalidade, que toma decisões influenciadas por inúmeros interesses. Os índices urbanísticos do zoneamento refletem, portanto, os ideais do Estado e da sociedade do período em que vigoram (KREBS, 2002).

Várias pesquisas buscam entender a influência que a cidade produzida por legislações urbanas possui em relação a temas específicos. Quanto ao tópico conforto ambiental, destacam-se estudos nas áreas de conforto térmico (CARVALHO, CORBELLA e GONÇALVES DIAS, 2007); (DUARTE e SERRA, 2003); (GOMES e LAMBERTS, 2009); (KRÜGER, 2008) e conforto lumínico (LEDER, PEREIRA e CLARO, 2008); (PEREIRA, PEREIRA e CLARO, 2008); (SCALCO, PEREIRA e RIGATTI, 2010). O aspecto acústico que pode ser produzido por índices urbanísticos aplicados à massa edificada é pouco estudado.

Diante dos dados apresentados, emerge a principal pergunta desta pesquisa: como parâmetros da massa edificada influenciam na configuração de ambientes sonoros a partir da perspectiva do indivíduo que utiliza os espaços abertos da cidade, seja como transeunte ou usuário de equipamentos urbanos, tais como parques e jardins?

Esta dissertação está estruturada em três partes. A primeira delas é composta pelo capítulo 1 e se destina a introduzir as questões envolvidas na pesquisa, além de descrever a justificativa, o objetivo geral e objetivos específicos. A segunda parte, com os capítulos 2 e 3, fornece a base conceitual para o entendimento do assunto acústica urbana e demonstra a inserção do tema de pesquisa em meio a estudos científicos correlatos. A terceira parte, disposta nos capítulos 4 e 5, discorre sobre a análise paramétrica realizada como ponto central da pesquisa, englobando a descrição dos procedimentos metodológicos, a demonstração dos resultados alcançados e as conclusões acerca do trabalho.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A poluição sonora é atualmente uma das queixas mais comuns relativas à qualidade de vida humana nas cidades e se constitui como um dos mais sérios problemas ambientais (SCHIFF, HORNIKX e FORSSÉN, 2010). A situação é preocupante, já que o crescimento do tráfego rodoviário, principal fonte sonora do ruído ambiental urbano, ainda ocorre em inúmeras cidades, enquanto a expectativa de qualidade de vida aumenta nas populações (VAN RENTERGHEM e BOTTELDOOREN, 2010). Os dois fatos culminam com a sensação de maior incômodo sonoro nas cidades.

Os efeitos negativos do ruído urbano podem ser entendidos em três esferas: (a) saúde humana (b) vida social da população – diminuição das chances de concentração para realização de atividades como estudo, trabalho e interação social (c) âmbito cultural – fornece características negativas a um bairro, sendo considerada como vizinhança barulhenta, indesejada como moradia, chegando a diminuir o valor das propriedades (ÖHRSTRÖM *et al.*, 2006).

Alguns efeitos negativos na saúde do homem são irritação e distúrbios do sono, sendo que a prolongada exposição pode ainda acarretar um agravamento das condições gerais de bem-estar e saúde (ÖHRSTRÖM *et al.*, 2007).

Öhrström (2004) argumenta que o aumento do tráfego rodoviário urbano acarreta vários efeitos adversos no homem, não somente em relação ao incômodo sonoro que torna penosa a realização das tarefas cotidianas no interior ou exterior das edificações, mas, também, em termos de redução do bem-estar psicossocial. O autor indica que tanto a poluição sonora como a atmosférica induzem ao recolhimento dos indivíduos em suas residências, diminuindo as interações sociais.

É evidente, portanto, a necessidade do combate à poluição sonora urbana almejando-se o conforto dos usuários, tanto interna quanto externamente aos edifícios. A localização do receptor sonoro no meio urbano ou na edificação não deve ser vista como indicação de demandas acústicas divergentes. Os objetivos são na realidade iguais, e devem ser pensados de forma conjunta, já que a massa edificada produz a cidade, e a cidade condiciona a massa edificada, dialeticamente (LAMAS, 2004).

Na presente pesquisa, o receptor de interesse é o usuário dos espaços abertos urbanos. Essa escolha se embasou no fato de que o usuário da cidade possui dificuldade em se proteger do ruído ambiental, enquanto o receptor interno, ou seja, o habitante, possui alguns artifícios



para contornar o problema, como um isolamento sonoro adequado das partições.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Identificar a relação entre parâmetros da massa edificada e a configuração de diferentes ambientes sonoros urbanos na escala do usuário dos espaços abertos urbanos.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a. Situar o tema da pesquisa em meio ao estado da arte;
- b. Investigar como ocorre a formação da massa edificada;
- c. Selecionar os parâmetros da massa edificada a serem analisados;
- d. Definir cenários urbanos hipotéticos, envolvendo os parâmetros escolhidos;
- e. Simular acusticamente os diferentes cenários, com auxílio do software de predição de ruído e mapeamento sonoro SoundPlan;
- f. Manipular os resultados da simulação computacional de forma a produzir mapeamentos que demonstrem a contribuição sonora provocada pela introdução dos diferentes cenários de massa edificada em uma situação básica, sem edifícios;
- g. Comparar os mapas obtidos e analisar a influência dos parâmetros da massa edificada selecionados na determinação dos ambientes sonoros para o usuário da cidade.

## 2 CONCEITUAÇÃO

Acústica é a ciência que estuda o som, ou seja, trata da geração, transmissão e recepção de energia em forma de ondas de vibração no meio de propagação. No ambiente urbano, o principal meio de propagação de tais ondas é o ar. Quando a alteração da pressão atmosférica, ocasionada pela transmissão das vibrações, ocorre dentro de determinadas faixas de frequência e amplitude, tem-se o fenômeno acústico detectado pelo sistema auditivo humano denominado como som (KINSLER *et al.*, 1982).

Os sons percebidos pelo homem podem ser classificados em sons agradáveis ou indesejáveis, possuindo relação subjetiva com a atividade que o indivíduo realiza no momento. Essa seletividade humana foi comprovada por uma pesquisa realizada por Yang e Kang (2005), que analisou o conforto acústico de pessoas entrevistadas em espaços públicos abertos da Europa. Segundo os autores, a avaliação foi muito afetada pelo ruído de fundo e pelo tipo de fonte sonora. Quando a fonte era indesejada, como o ruído de tráfego, o conforto acústico era menor. Já quando uma fonte sonora mais aprazível era acrescentada, como sons de água corrente, o conforto acústico era maior, mesmo que o nível de pressão sonora total fosse mais alto.

O sistema auditivo humano detecta uma extensa faixa de amplitudes de variação de pressão no meio. Para se comprimir esses valores em uma escala que possua utilização mais facilitada, convencionou-se como nível de pressão sonora referência, a pressão atmosférica relativa ao limiar padrão de audibilidade para o tom de 1000 Hz,  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>. Dessa forma, as variações de pressão no meio, o ar, são transformadas em uma escala logarítmica apresentada em decibéis (dB) e demonstram os níveis de pressão sonora,  $L_p$ , ocorridos no ambiente (KINSLER *et al.*, 1982).

O ouvido humano possui diferentes sensibilidades de acordo com a frequência emitida. De forma simplificada, o ser humano é mais sensível à faixa entre 2 kHz e 4 kHz e menos sensível para frequências extremamente baixas ou altas. Considerando-se essa característica do sistema auditivo, uma curva de ponderação foi desenvolvida para tentar descrever o nível de pressão sonora já levando em conta a sensibilidade humana. Essa curva chama-se curva de ponderação A e fornece o  $L_p$ , nível de pressão sonora, em dB(A) (KINSLER *et al.*, 1982).

A percepção sonora humana possui, ainda, íntima relação com outras variáveis, tais como classe econômica do indivíduo, suscetibilidade pessoal ao incômodo, duração da exposição ao ruído,

predominância de certas componentes do espectro de frequências e nível do ruído de fundo (REYNOLDS, 1985).

A variação da pressão sonora se estabelece em forma de ciclos que alternam compressão e rarefação das partículas do meio, segundo uma distribuição temporal que determina a frequência do som. O intervalo de frequências a que um ouvido humano saudável é sensível localiza-se entre 20 Hz e 20 kHz. É importante ressaltar que os sons e ruídos normalmente não são compostos por tons puros, ou seja, apenas uma frequência, mas sim da interação entre várias (KINSLER *et al.*, 1982).

Como dito anteriormente, para a existência de um ambiente sonoro são necessários fonte sonora, trajetória de propagação e receptor. Este estudo, focado no espaço urbano, possui o ruído de tráfego rodoviário como fonte sonora principal, a cidade como trajetória de propagação, destacando-se a massa edificada, e o homem, enquanto usuário dos ambientes urbanos, como receptor.

## 2.1 FONTES SONORAS EM AMBIENTES URBANOS

Como já citado, as principais fontes de ruído em ambientes urbanos são os aeroportos, as ferrovias, o tráfego de veículos automotores e os centros comerciais e industriais. Esta pesquisa aborda apenas o ruído de tráfego rodoviário, fonte sonora que pode ser considerada comum na realidade da maioria das cidades atualmente.

### 2.1.1 Ruído de tráfego rodoviário

Como já mencionado, a fonte sonora mais freqüente no meio urbano é o tráfego rodoviário. Sua percepção depende de fatores tais como a distância entre receptor e fonte, o volume de tráfego ou fluxo de veículos, a velocidade desses veículos, a presença de barreiras sonoras entre via e receptor, o tipo de pavimentação da via e o planejamento do tráfego, pois pontos de acelerações, por exemplo, como em semáforos, podem produzir picos de ruído (REYNOLDS, 1985). Outros fatores que influenciam a produção do ruído rodoviário são o sistema de propulsão e pneus dos veículos, a composição do tráfego quanto ao tipo de veículo que pode ser leve ou pesado e a geometria e inclinação da via (KINSLER *et al.*, 1982).

A energia sonora de algumas vias urbanas é tão significativa que as fazem ser imprescindíveis para o cálculo de ruído de tráfego, mesmo quando estão distantes (SCHIFF, HORNIKX e FORSSÉN, 2010).

Uma das formas de se combater a poluição sonora urbana é o planejamento ou redistribuição do tráfego, considerando-se, por exemplo, uma hierarquia de vias que incentive um menor fluxo de automóveis e redução de velocidade em regiões mais sensíveis ao ruído (THORSSON e ÖGREN, 2005). A manutenção das vias e o tratamento na fonte sonora, com o desenvolvimento de veículos mais silenciosos, também são formas de atenuação da poluição sonora urbana.

As fontes sonoras podem ser categorizadas segundo sua distribuição espacial: pontual, em linha, pontual em linha, e plana, sendo que esta classificação depende da escala do problema. O fluxo contínuo de veículos em uma via é considerado como fonte sonora em linha, possuindo um eixo de radiação da energia acústica (SHARLAND, 1972).

A estimativa do ruído de tráfego por meio de cálculo é muito complexa, pois os fatores que a influenciam variam bastante no tempo. Normalmente essa predição é demonstrada em nível sonoro contínuo equivalente,  $L_{eq}$ , que representa o nível de um som estacionário com a mesma média energética do som em questão, variável ao longo do intervalo de tempo considerado, conforme equação 1 (KINSLER *et al.*, 1982).

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left[ \frac{p(t)}{p_0} \right]^2 dt \right\} \quad (\text{eq. 1})$$

onde  $T$  é o tempo total de medição,  $p(t)$  é a pressão sonora instantânea e  $p_0$  é a pressão de referência,  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>.

Em estudos de ruído ambiental, o qual engloba o ruído de tráfego rodoviário, são empregados outros três indicadores, que possuem metodologias de cálculo baseadas na equação 1.

O nível diurno,  $L_d$ , é o nível sonoro médio de longa duração, ponderado pela curva A, conforme definido na norma ISO 1996-2: 1987, determinado durante todos os períodos diurnos de um ano. Os níveis entardecer,  $L_e$ , e noturno,  $L_n$ , são calculados da mesma forma, mas para os períodos vespertino e noturno, respectivamente. Geralmente os períodos possuem uma duração média: diurno, de 7h às 19h, entardecer, de 19h às 23h e noturno, de 23h às 07h, mas cada país pode adaptar tais horários conforme a cultura local (PARLAMENTO EUROPEU, 2011).

A partir da determinação dos níveis diurno, entardecer e noturno, pode-se chegar a outro indicador estratégico muito utilizado em estudos de acústica ambiental e urbana na Europa, principalmente em mapas sonoros: o nível dia-entardecer-noite,  $L_{den}$ . Seu cálculo considera a quantidade de horas de cada período e adiciona um peso de 5 dB para o entardecer e de 10 dB para a noite, como pode ser observado na equação genérica 2, que utiliza os períodos dados como exemplo anteriormente (PARLAMENTO EUROPEU, 2011). As penalidades, introduzidas pelos pesos, vêm introduzir na fórmula o maior incômodo que os ruídos trazem para o ser humano nos períodos entardecer e noturno.

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \quad (\text{eq. 2})$$

As ondas sonoras emitidas pelos diversos tipos de fontes se propagam de acordo com as leis da física, que são estudadas pela comunidade científica a fim de se estabelecer suas fórmulas matemáticas. Tais expressões são inseridas em normas que visam regular os procedimentos para medição e aplicação prática desses conceitos nas esferas local, regional ou até mesmo mundial. Existem inúmeros métodos de cálculo para o ruído de tráfego e sua propagação, dentre eles os que se encontram nas normas britânica CoRTN; americana FHWA; alemã RLS90; e francesa NMPB 96 (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010). A norma alemã RLS90 foi utilizada nas simulações dos cenários desta pesquisa, e será assunto do item 2.4.1.

Os resultados calculados a partir da citada norma são expressos pelos indicadores  $L_{den}$ ,  $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$ . Como a intenção é lidar com níveis sonoros que não possuam pesos em suas fórmulas, ou seja, que indiquem mais adequadamente a característica física do som, adotou-se o indicador  $L_d$  para os níveis sonoros dos mapeamentos analisados nesta dissertação. A equação 3 demonstra a obtenção de  $L_d$ , considerando o período diurno entre 7 e 19 horas.

$$L_d = 10 \log \left\{ \frac{1}{12} \int_7^{19} \left[ \frac{p(t)}{p_0} \right]^2 dt \right\} \quad (\text{eq. 3})$$

onde  $p(t)$  é a pressão sonora instantânea e  $p_0$  é a pressão de referência,  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>.

## 2.2 PROPAGAÇÃO SONORA EM ESPAÇOS ABERTOS

Considerando-se que a fonte sonora e o receptor são basicamente os mesmos na maioria das aglomerações humanas em ambientes urbanos, percebe-se a importância que a trajetória possui na formulação dos vários ambientes acústicos existentes nas cidades.

À medida que percorre o meio, as ondas sonoras encontram diferentes variáveis que provocam alterações na propagação: refração e zonas de sombra formadas por diferentes gradientes de temperatura e vento, espalhamento das ondas sonoras devido à turbulência atmosférica, absorção sonora pelo ar, reflexão e absorção por diferentes tipos de revestimentos, diminuição sonora ocorrida pelo distanciamento entre fonte e receptor, além de reflexão e difração do som em barreiras (REYNOLDS, 1985). Esses fatores podem se estabelecer simultaneamente, fazendo com que o estudo seja bastante complexo.

O meio que transporta o ruído de tráfego, o ar, é delimitado e permeado por obstáculos no meio urbano e a propagação das ondas sonoras é influenciada por esses volumes. Portanto, tanto a topografia do local, como a massa construída e os vazios conformados por ela, devem ser considerados como importantes fatores na alteração da propagação sonora urbana (SHARLAND, 1972).

### 2.2.1 Velocidade e temperatura do ar

Características da atmosfera tais como temperatura e velocidade do ar, podem produzir alguns efeitos importantes na propagação sonora. As ondas sonoras se propagam mais rapidamente conforme a temperatura e a velocidade do ar aumentam. Portanto, se a velocidade do ar aumentar conforme a altura, se os ventos ocorrerem das partes mais altas na direção do solo ou, ainda, se ocorrer inversão de temperatura – temperaturas mais baixas próximo ao solo – as ondas sonoras possuirão maior velocidade nas partes mais altas. Isso ocasionará uma curvatura das ondas, que retornam ao solo, conforme esquematizado na Figura 2 (SHARLAND, 1972).

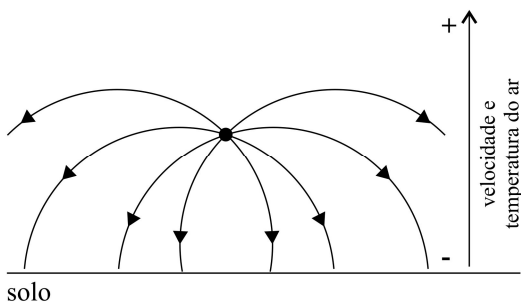


Figura 2 – Curvatura das ondas sonoras quando velocidade e temperatura do ar aumentam conforme altura. Fonte: Adaptado de Sharland (1972).

Nas situações contrárias, ou seja, se a velocidade do ar for maior próxima ao solo, se os ventos ocorrerem na direção ascendente ou, ainda, em condições normais de gradiente de temperatura – temperatura diminuindo conforme altura – as ondas sonoras possuirão maior velocidade próxima ao solo. Assim, provocarão um direcionamento do som para partes mais altas, como demonstrado na Figura 3, ocorrendo algumas regiões de sombra acústica, onde o nível sonoro é menor do que se estivesse em condições atmosféricas mais homogêneas (SHARLAND, 1972).

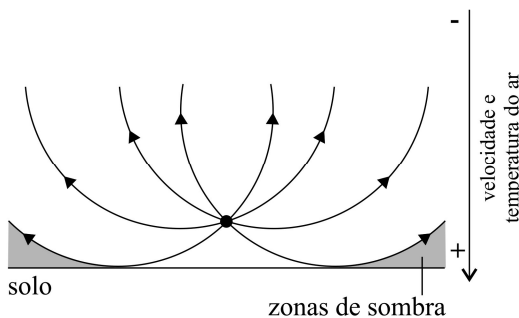


Figura 3 – Curvatura das ondas sonoras quando velocidade e temperatura do ar diminuem conforme altura. Fonte: Adaptado de Sharland (1972).

A velocidade do ar interage diferentemente com as ondas sonoras, dependendo da ocorrência de coincidência entre as direções dos dois fenômenos. Quando na mesma direção, a onda sonora é refratada para baixo. Na situação contrária, a onda é refratada para cima, como se observa na Figura 4 (REYNOLDS, 1985).

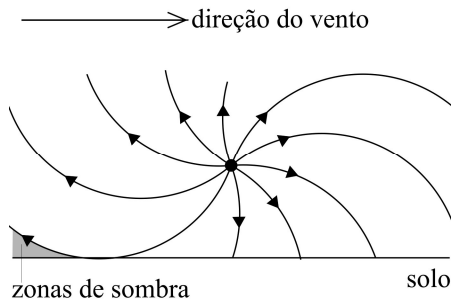


Figura 4 – Curvatura das ondas conforme direção dos ventos. Fonte: Adaptado de Sharland (1972).

### 2.2.2 Turbulência atmosférica

A turbulência atmosférica, ou seja, quando a velocidade e a direção dos ventos comportam-se de maneira aleatória durante o fluxo de ar, pode provocar o efeito de espalhamento – do inglês *scattering* – do som, reduzindo o papel de barreira acústica que uma seqüência de fachadas pode possuir (FORSSÉN e ÖGREN, 2002).

O fenômeno pode provocar aumentos dos níveis de pressão sonora no interior de quadras, principalmente em altas freqüências, conforme comprovado no trabalho de Ögren e Forssén (2004).

### 2.2.3 Absorção sonora do ar

Conforme a onda sonora percorre o caminho entre fonte sonora e receptor, ocorre a absorção sonora imposta pelo ar, devido ao movimento executado por sucessivas compressões e rarefações das moléculas de ar, promovendo dissipação de energia (SHARLAND, 1972).

Existem dois processos que são responsáveis pela absorção sonora pelo ar. O primeiro lida com absorção clássica, envolvendo condução de calor e perdas por difusão e radiação. O segundo processo extrai energia sonora pela relaxação das moléculas de oxigênio no ar, com a rotação e a vibração das mesmas (REYNOLDS, 1985).

### 2.2.4 Materiais constituintes de pisos e fachadas

Os planos horizontais e verticais da cidade possuem diversos materiais como revestimento. A energia acústica contida nas ondas



sonoras incidentes nas superfícies é absorvida, refletida e transmitida em diferentes parcelas, conforme as propriedades do material constituinte.

A reflexão sonora pode ser entendida como a parcela de energia acústica que retorna ao meio após a incidência da onda sonora sobre uma superfície (REYNOLDS, 1985). Dessa forma, quando a fonte sonora se encontrar em um vale estreito conformado pela rua e pelas fachadas quase que contínuas nas laterais, o som será amplificado, já que as várias reflexões sonoras das fachadas e do piso adicionarão energia acústica ao meio, como se observa na Figura 5.

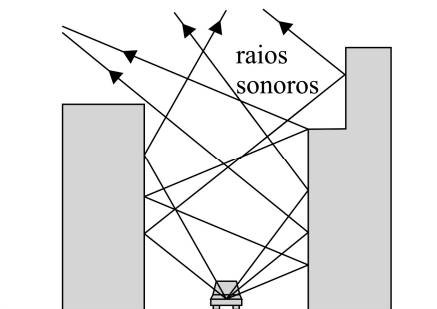


Figura 5 – Corte esquemático demonstrando a amplificação dos sons ocasionada pelas múltiplas reflexões sonoras das fachadas.

A reflexão das ondas sonoras pelos materiais que constituem as fachadas dos edifícios e os pisos possui papel importante na produção do nível de pressão sonora no meio urbano. Algumas simulações foram realizadas considerando-se edifícios com alta reflexão, com revestimento semelhante à pele de vidro, e outras com baixa reflexão, revestidos com tijolo (VAN RENTERGHEM, SALOMONS e BOTTELDOOREN, 2006). Comparando-se os  $L_p$  encontrados no vazio posterior aos edifícios, observou-se uma redução de 20 dB para o de mais baixa reflexão quando comparado com o de mais alta reflexão. Portanto, observa-se que a maciça presença de fachadas em vidro na arquitetura contemporânea prejudica a qualidade sonora da cidade.

Uma forma de combater a alta produção de reflexões sonoras no interior de um ambiente urbano é a adoção de fachadas menos planas, com reentrâncias, varandas e elementos arquitetônicos. A rugosidade das fachadas altera o padrão de propagação no interior do vazio que contém a fonte sonora, tornando o campo mais difuso acusticamente, com as reflexões sonoras sofrendo espalhamento no encontro com as reentrâncias. Dessa forma, mais energia sonora pode deixar o interior do

cânion na direção ascendente, diminuindo, conseqüentemente, a entrada de energia acústica no ambiente protegido da fonte (VAN RENTERGHEM, SALOMONS e BOTTELDOOREN, 2006).

A absorção sonora por materiais de revestimento em áreas urbanas ocorre principalmente por meio de coberturas vegetais, normalmente localizadas em pisos. Essa absorção é diretamente proporcional às componentes de freqüência do som, ou seja, é pequena para baixas freqüências, ampliando-se de acordo com o aumento da freqüência. É importante ressaltar que para se obter uma atenuação satisfatória pela massa vegetal é necessário que ela seja o mais densa possível, constituindo-se de folhagens, arbustos e árvores, e que também possua uma considerável extensão. Por exemplo, 20 m de árvores densas podem promover um decréscimo de 2 dB na componente de 1 kHz (REYNOLDS, 1985).

Embora a atenuação por coberturas verdes não seja grande, o aspecto psicológico da mesma pode ser interessante, já que ela serve de barreira visual entre o receptor e a fonte sonora indesejada. Outra questão são os sons típicos desse meio, como pios de pássaros, o vento nas folhas, a corredeira de águas, entre outros, que acabam por mascarar o efeito nocivo do ruído (REYNOLDS, 1985).

### **2.2.5 Decaimento sonoro pela distância entre fonte e receptor**

Como mencionado anteriormente, as fontes sonoras podem ser categorizadas segundo a escala do problema e sua distribuição espacial: pontual, linear, pontual em linha, e plana. O decaimento sonoro ocorrido pelo distanciamento entre fonte e receptor depende do tipo de fonte e do meio em que está inserida.

Na teoria básica de acústica são bastante conhecidos os casos de decaimento sonoro da fonte pontual em campo livre, da fonte pontual sobre plano refletor, da fonte linear em campo livre e da fonte em linear sobre plano refletor.

A situação de campo livre é entendida como inserida em uma atmosfera idealizada, ou seja, homogênea, isotrópica e completamente livre de superfícies refletoras. As situações que envolvem um plano refletor também consideram uma atmosfera idealizada, mas com um plano infinito disposto sob a fonte sonora (SHARLAND, 1972).

O som emitido de modo uniforme por uma fonte pontual em campo livre estende-se em uma esfera de raio crescente, como demonstrado na Figura 6. Assim, a mesma energia se distribui por um

volume cada vez maior, fazendo com que a intensidade sonora diminua com a distância (SHARLAND, 1972).

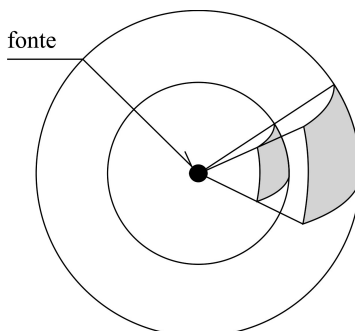


Figura 6 – Propagação esférica de fonte pontual em campo livre. Fonte: Adaptado de Sharland (1972).

A fonte sonora linear pode ser descrita como inúmeras fontes sonoras pontuais que se deslocam continuamente, determinando um fluxo linear. Como já mencionado, um dos exemplos de fonte sonora em linha é o tráfego rodoviário. As ondas sonoras emitidas por uma fonte linear possuem um eixo de radiação, e não apenas um ponto. A propagação em campo livre se desenvolve como um cilindro, tendo a fonte como eixo, como se observa na Figura 7 (SHARLAND, 1972).

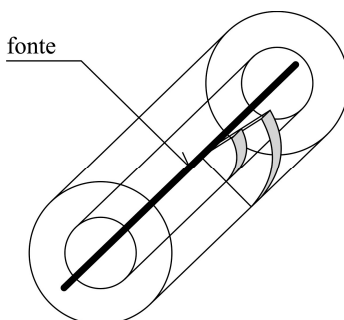


Figura 7 – Propagação cilíndrica de fonte linear em campo livre.

A forma de propagação da fonte pontual sobre plano refletor é hemisférica, enquanto a da fonte linear se comporta como um semi-cilindro (SHARLAND, 1972).

Na Tabela 1 estão agrupadas as fórmulas que relacionam o nível de pressão sonora,  $L_p$ , com o nível de potência sonora da fonte,  $L_w$ , e a

distância entre fonte e receptor,  $r$  ou  $r_l$ . Considerando-se um receptor localizado a uma distância  $x$  da fonte sonora e outro receptor a uma distância duplicada, ou seja,  $2x$ , pode-se analisar o efeito que a distância possui nas diferentes situações. Substituindo-se as distâncias e fazendo-se a diminuição entre os valores encontrados para os dois receptores, encontra-se o decaimento sonoro devido à distância para cada situação (SHARLAND, 1972).

**Tabela 1 – Decaimento sonoro de quatro situações teóricas a cada dobro de distância entre pontos receptores**

SITUAÇÃO	FÓRMULA	DECAIMENTO
Fonte pontual em campo livre	$L_p = L_w - 20\log r - 11$	6 dB
Fonte pontual sobre plano refletor	$L_p = L_w - 20\log r - 8$	6 dB
Fonte linear em campo livre	$L_p = L_w - 10\log r_l - 8$	3 dB
Fonte linear sobre plano refletor	$L_p = L_w - 10\log r_l - 5$	3 dB

Observando-se os dados demonstrados na Tabela 1, percebe-se que o tráfego rodoviário, sendo uma fonte linear, quando sobre um piso refletor, fornece um decaimento sonoro de 3 dB à cada dobro de distância entre fonte e receptor. É importante ressaltar que essa diminuição ocorre com a consideração de uma atmosfera idealizada, o que se afasta das situações reais.

### 2.2.6 Barreira acústica

Uma barreira acústica é qualquer estrutura que se interponha entre fonte sonora e receptor, impedindo a visualização da fonte pelo indivíduo. As barreiras formam zonas de sombra acústica, que são regiões onde se encontra a máxima atenuação, como esquematizado na Figura 8 (SHARLAND, 1972).

A eficiência de atenuação de uma barreira relaciona-se com a redução por isolamento sonoro, mas, também, deve considerar a negativa contribuição da parcela sonora que sofre difração nas bordas da barreira, ou seja, a parcela que consegue contornar seus limites (REYNOLDS, 1985).

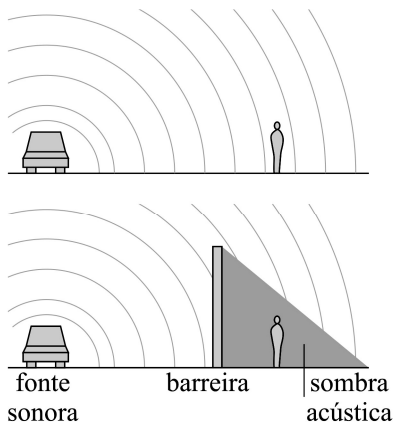


Figura 8 – Corte esquemático de situação sem e com barreira acústica, destacando-se a formação de sombra acústica no segundo caso.

Uma barreira acústica eficiente deve ser estanque, não permitindo a passagem do som por aberturas e possuir uma altura razoável, aumentando o caminho que o som percorre até chegar ao indivíduo. Deve-se atentar, também, para a direção dos ventos, que pode auxiliar negativamente na penetração do ruído na área de sombra acústica. Outro aspecto que influencia na eficiência da barreira é o espectro sonoro da fonte, já que as componentes de alta frequência tendem a se refletir como esperado, enquanto as de baixa frequência tendem a sofrer difração no topo da barreira acústica, diminuindo sua eficiência (MAEKAWA, 1968).

Observando-se os materiais, dimensões e densidade das edificações nas cidades atuais, percebe-se que algumas conformações urbanas podem oferecer essa condição de barreira sonora. Por exemplo, as recomendações de Alucci, Carneiro e Baring (1986) para implantação de conjuntos habitacionais visando adequação acústica utilizam como artificios principais o decaimento sonoro com a distância e o edifício como barreira. As sugestões trabalham com distâncias mínimas entre o eixo da via de grande movimento e o início do conjunto habitacional, sendo que quanto maior o fluxo de tráfego, maior é essa distância. Os autores indicam que no conjunto residencial propriamente, as edificações que estão em contato direto com as ruas poderão ser utilizadas como obstrução à penetração do som, sendo também mencionado o uso de fachadas cegas.

A atuação da massa edificada, com seus materiais, localização e volumetria condiciona alguns dos fenômenos acústicos citados anteriormente. A importância da localização e da volumetria na definição do espaço sonoro urbano será estudada nesta pesquisa. Os materiais não serão foco do estudo, pois não fazem parte do aspecto volumétrico da massa edificada. Dessa forma, os principais fenômenos que serão observados neste estudo são: adições de energia acústica por meio das reflexões sonoras em fachadas, efeito do distanciamento entre fonte sonora e receptor e, por fim, o aspecto de barreira acústica, desempenhado pelos edifícios.

### 2.3 LEGISLAÇÕES: MASSA EDIFICADA E NÍVEIS SONOROS

Neste item serão abordados os instrumentos de controle legal brasileiros sobre o desenvolvimento da massa edificada e sobre os níveis sonoros urbanos permitidos.

O planejamento do desenvolvimento espacial das cidades procura evitar e corrigir distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente e é uma das diretrizes gerais da lei federal conhecida como Estatuto da Cidade, Lei 10257/2001 (PRESIDÊNCIA..., 2011 a). Tal diretriz demonstra a necessidade de instrumentos que regulem a formação da massa edificada, orientando a espacialidade urbana.

O Estatuto da Cidade (PRESIDÊNCIA..., 2011 a) estabelece uma série de instrumentos de política urbana nas esferas nacional, regional, estadual e municipal. Alguns desses instrumentos, o plano diretor e o parcelamento, uso e ocupação do solo, se encontram sob responsabilidade dos municípios e possuem implicação direta na forma urbana.

Como já mencionado, diversos fatores contribuem na atenuação do ruído de tráfego enquanto esse permeia a cidade. O planejamento municipal, quando cuida da distribuição de volumes construídos e espaços vazios pela cidade, direciona a localização e dimensionamento de alguns desses fatores de atenuação, como a volumetria de barreiras acústicas e o distanciamento entre fonte sonora e receptor. A localização das fachadas, que refletem boa parte das ondas sonoras, também é ditada pelos regulamentos.

Tomando-se o Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis (PMF, 1998) como exemplo, é possível observar alguns índices urbanísticos que regem a massa edificada na referida cidade. Nessa

legislação, o potencial construtivo é regido pelos indicadores taxa de ocupação e índice de aproveitamento. A taxa de ocupação é dada pela porcentagem de área ocupada pelo edifício no lote. Já o índice de aproveitamento é a razão entre a área construída total e a área do lote. Considerando-se edifícios em forma de paralelepípedos simples pode-se relacionar a taxa de ocupação com a área dos pavimentos e o índice de aproveitamento com a quantidade de pavimentos que podem ser construídos, como se observa na Figura 9. O posicionamento dos volumes edificadas no lote, pelo plano diretor citado, é regulado através dos afastamentos mínimos entre edifício e limites do lote: frontal, lateral e de fundos.

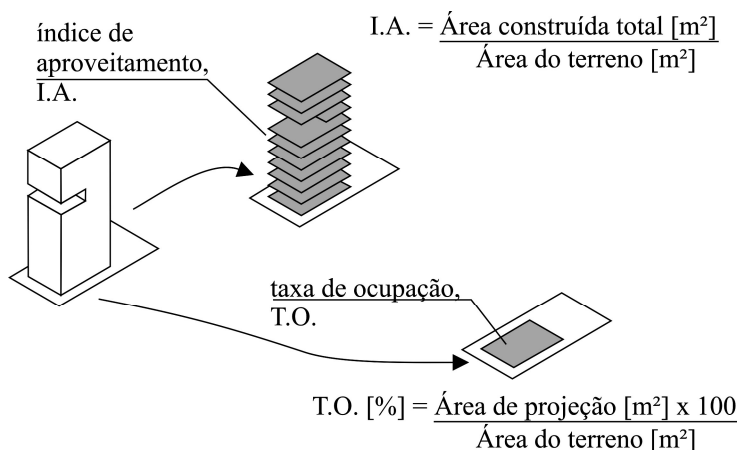


Figura 9 – Representação esquemática das áreas utilizadas para o cálculo de índice de aproveitamento e taxa de ocupação em Florianópolis.

As legislações brasileiras que se referem a níveis sonoros urbanos tratam basicamente da relação entre emissão de ruído e incômodo na comunidade, invocando o direito de vizinhança, previsto no Código Civil Brasileiro, Lei 10.406/2002 (PRESIDÊNCIA..., 2011 b). Nele, é assegurado o direito que um proprietário de bem imóvel possui de fazer cessar interferências prejudiciais ao sossego e à saúde dos que o habitam, provocadas pela utilização de propriedade vizinha, observando os usos permitidos na região.

A base técnica para execução da propriedade de vizinhança está contida na resolução federal nº 1 do CONAMA (2011), que estabelece que a emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, deve respeitar a norma

NBR 10.151 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade (ABNT, 2000). A avaliação é realizada diante da comparação entre nível de pressão sonora medido e o nível critério de avaliação, da Tabela 2. Os horários para os períodos do dia podem ser definidos de acordo com os hábitos da população, mas o noturno deve respeitar pelo menos os horários entre 22h e 7h, sendo que para domingos e feriados, deve-se trabalhar com o limite de 9h.

A resolução CONAMA nº 1 (CONAMA, 2011) também indica que os órgãos públicos deverão dispor sobre emissões de ruído urbano em suas esferas locais. Por exemplo, o Código de Posturas de Florianópolis, Lei nº 1224/74 (PMF, 2011 b), proíbe a perturbação do sossego público com sons evitáveis, dentre eles: motores em mau estado de funcionamento, buzinas, propagandas, tambores, cornetas, bombas, armas de fogo e apitos. Já o Código de Obras de Florianópolis, Lei Complementar nº 60 (PMF, 2011 a), apenas aborda a questão do horário em que é proibida a emissão de ruídos em obras situadas nas proximidades de hospitais, escolas, asilos e estabelecimentos similares e nas vizinhanças de edificações residenciais.

Outra forma da municipalidade tentar controlar o problema da poluição sonora é através do zoneamento, procurando garantir a proteção da população em relação a usos incômodos, determinando objetivamente os usos permitidos (CYMBALISTA, 2011).

**Tabela 2 – Nível critério de avaliação para ambientes externos, conforme NBR 10.151**

TIPOS DE ÁREAS	Diurno [dB(A)]	Noturno [dB(A)]
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	60
Área predominantemente industrial	70	60

Percebe-se que os principais instrumentos de controle legal sobre o desenvolvimento da massa edificada e sobre os níveis sonoros urbanos, respectivamente o plano diretor e a NBR 10.151 (ABNT, 2000), não tratam da relação entre os dois objetos. Não há no Brasil uma legislação que discuta, de forma direta e objetiva, a contribuição de uma volumetria construída nos níveis sonoros do entorno.



Até mesmo o Estudo de Impacto de Vizinhança, EIV, outro instrumento previsto no Estatuto da Cidade (PRESIDÊNCIA..., 2011 a), não torna obrigatório o estudo da influência do novo empreendimento nos níveis sonoros urbanos. O EIV tem como objetivo fazer com que a população atingida por grandes empreendimentos possa opinar e se posicionar nos processos de aprovação. Ele deve abranger os efeitos positivos e negativos e cada município deve definir quais atividades dependerão de um EIV como condição para sua aprovação.

O sistema de EIV implantado pela Prefeitura Municipal de Florianópolis exige, de acordo com o termo de referência Nº 01-2003 (PMF, 2003), a análise dos dados mínimos que constam no Estatuto da Cidade (PRESIDÊNCIA..., 2011 a): demografia, equipamentos urbanos, equipamentos comunitários, uso e ocupação do solo, valorização imobiliária, tráfego e transporte coletivo, ventilação, iluminação e paisagem urbana. Portanto, um possível estudo sobre o ruído urbano, advindo do novo empreendimento, não é considerado.

## 2.4 MODELAGEM DE AMBIENTES SONOROS URBANOS

Para se investigar a qualidade acústica dos ambientes sonoros urbanos, é necessário o emprego de um método que realize a modelagem da cidade e sua propagação sonora e que também demonstre os resultados da interação acústica entre fontes, trajetória e receptores. Uma das ferramentas mais indicadas para este objetivo é o mapeamento sonoro, pois ele modela a propagação sonora urbana e também apresenta graficamente os níveis de pressão sonora distribuídos espacialmente pelo mapa da cidade.

A Diretiva Européia 2002/49/CE de Avaliação e Gestão do ruído ambiental (PARLAMENTO EUROPEU, 2011) impulsionou o uso e sistematização do mapeamento sonoro, já que a mesma estipula que todos os membros da União Européia devem possuir mapas de ruído das zonas mais densas de população e tráfego a partir de julho de 2008 (TSAI, LIN e CHEN, 2009).

O objetivo principal da Diretiva é fazer com que a população e as autoridades conheçam de maneira detalhada o problema da poluição sonora em sua cidade, e assim tomem providências para a diminuição de níveis sonoros e a preservação ou criação de ambientes menos ruidosos, tendo em vista a qualidade de vida dos habitantes. O foco na população residente fica evidente pela altura padrão dos mapeamentos: 4 m acima do solo (PARLAMENTO EUROPEU, 2011).

Existem, basicamente, dois métodos para obtenção dos níveis sonoros para a geração dos mapas sonoros: medições de nível de ruído ambiental em diferentes pontos da cidade e predição desses níveis por meio de *softwares* de simulação computacional.

A maioria dos mapas gerados por predição apóia-se na constatação de que o tráfego rodoviário é o principal agente de poluição sonora urbana. Os programas computacionais mais utilizados são: Cadna-A, Mithra, SoundPlan, Predictor, Immi, Lima e Enm. As principais diferenças entre eles são a interface de uso e o tipo de geometria que pode ser importada (PINTO e MARDONES, 2009). O programa SoundPlan, que será descrito com mais profundidade no capítulo 4, é o instrumento de investigação da presente pesquisa.

Os *softwares* de simulação computacional realizam os mapas por meio da implantação das normas que descrevem a propagação sonora urbana. Dentre as normas que trabalham com o ruído de tráfego rodoviário, mencionadas anteriormente, a RLS90 foi a adotada neste estudo.

A decisão da presente pesquisa pelo uso da RLS90 baseou-se na escala de trabalho pretendida, ou seja, a escala urbana, que envolve a massa edificada em seus aspectos de volumetria e relação com o entorno. A norma alemã abarca com simplicidade todos os fenômenos acústicos necessários ao desenvolvimento do estudo, sem sobrecarregar o computador na análise de áreas maiores. As situações que serão simuladas não englobam questões complexas, como inclinação de vias, diferentes materiais de pisos, turbulência atmosférica, entre outros, portanto, as metas do estudo já são alcançadas com um modelo simples.

#### 2.4.1 RLS 90

A *Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen*, norma alemã de predição de ruído de tráfego rodoviário, foi estabelecida em 1990 e é mais conhecida por sua abreviação, RLS90.

Os cálculos da norma em questão se iniciam com a determinação do nível médio básico de emissão,  $L_{m(25, \text{basico})}$ , que é definido como o nível de ruído que ocorreria em situação de campo livre à 25 m de distância do centro da via e à 4 m de altura do piso. Para este cálculo, a RLS90 assume velocidades de 100 km/h para veículos leves e de 80 km/h para veículos pesados, inclinação da via menor que 5% e superfície lisa de asfalto. A equação 4 explicita os outros fatores considerados: o volume de tráfego anualizado médio por hora,  $V$ , e a

porcentagem de veículos pesados que ultrapassam 2,8 toneladas,  $P$  (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010).

$$L_{m(25, \text{basico})} = 37,3 + 10 * \log \{ V * ( 1 + 0,082 * P ) \} \quad (\text{eq. 4})$$

onde  $V$  é o volume de tráfego anualizado médio por hora e  $P$  é a porcentagem de veículos pesados que ultrapassam 2,8 ton.

Ao  $L_{m(25, \text{basico})}$  são adicionadas as correções quanto à velocidade real dos veículos leves e pesados, o material de revestimento existente na via, a inclinação correta das pistas e as múltiplas reflexões sonoras das fachadas dispostas nos limites da rua, encontrando-se o nível médio de emissão,  $L_{me}$ . A RLS90 trabalha com as fontes lineares sendo dispostas nos centros de cada pista da via, à 0,5 m de altura em relação ao piso, emitindo cada uma delas sua parcela do  $L_{me}$  total (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010).

O cálculo dos níveis de pressão sonora em pontos receptores pela cidade parte do nível médio de emissão encontrado,  $L_{me}$ , e realiza correções, considerando a real distância entre receptor e fonte. Os efeitos acústicos provenientes da absorção pelo ar, dos materiais de pisos e das condições meteorológicas são computados tendo como único parâmetro de base a distância entre receptor e fonte sonora. Assim, não há necessidade de informações detalhadas sobre coeficientes acústicos de revestimentos de pisos e do clima. O cálculo do efeito de barreira sonora é fundamentado nas distâncias existentes entre receptor, barreira e fonte sonora, portanto, é importante que a volumetria e a localização da massa edificada estejam corretas (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010).

Observando-se os fenômenos citados no item 2.2, percebe-se que todos serão contemplados pelo cálculo da RLS90, mesmo que por aproximações teóricas tendo como ponto de partida as distâncias entre receptor e fonte sonora. A simplicidade de uso da norma alemã faz com que ela se encaixe na categoria de modelos de predição com aproximações. Segundo Botteldooren e Van Renterghem (2009), os modelos de predição para propagação sonora urbana podem ser classificados conforme o detalhamento empregado na análise dos fenômenos. Para estudos acústicos em pequenas áreas, a busca por resultados realísticos leva ao uso de modelos detalhados. Para grandes áreas, esses modelos sobrecarregam o computador, fazendo com que o uso de modelos com aproximações sobre questões de propagação sejam mais usados, ainda respondendo de forma adequada ao objetivo.

A escolha de um modelo de predição traz consigo o dilema entre acurácia e detalhamento de um lado e facilidade de uso e simplicidade do outro. Contudo, deve-se lembrar que um modelo sempre será uma representação simplificada do mundo real (VAN LEEUWEN e DE VOS, 2009). Como já mencionado, a RLS90 se encaixa nas necessidades do presente estudo, pois abarca todos os fenômenos acústicos necessários, com simplicidade, para os cenários urbanos aqui simulados.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica norteou-se pela busca de artigos científicos com dois assuntos principais: aqueles que alteraram parâmetros da massa edificada e buscaram sua relação com níveis sonoros e aqueles que utilizaram algum tipo de mapeamento sonoro como ferramenta de investigação.

#### 3.1 PARÂMETROS DA MASSA EDIFICADA E NÍVEIS SONOROS

Esta primeira parte da revisão bibliográfica foi organizada de acordo com os parâmetros da massa edificada investigados em cada estudo encontrado. A influência da alteração dos parâmetros nos níveis sonoros foi avaliada em fachadas frontais, em fachadas posteriores ou ainda em ambientes urbanos.

É importante ressaltar que, observando-se a conformação da maioria das cidades, percebe-se que existem dois ambientes sonoros urbanos principais quanto ao ruído de tráfego rodoviário: aqueles que contêm a fonte sonora e os que estão protegidos da mesma, por barreiras.

O primeiro deles se limita pelas fachadas frontais dos edifícios e a rua, como demonstrado na Figura 10, sendo também chamado de *street canyon* na literatura científica (NICOL e WILSON, 2004). Este espaço também pode ser denominado como ambiente emissor de ruído ou ambiente exposto ao ruído. A redução do nível de pressão sonora nesse ambiente ao ponto em que não ocasione mais incômodo na comunidade é uma tarefa difícil de ser realizada (HORNIKX e FÓRSSEN, 2007).

Uma alternativa para se atingir o mínimo de qualidade sonora urbana é garantir o acesso da população a áreas mais silenciosas. Dessa forma, muitos estudos vêm se esforçando na preservação ou criação desses espaços, sendo o principal deles o ambiente protegido da fonte. Tal ambiente é conformado pelos afastamentos de fundos, possuindo a edificação como barreira sonora, como observado na Figura 10. Pode ser encontrado sob várias denominações na literatura científica, das quais se destaca *shielded canyon* (SALOMONS *et al.*, 2009).

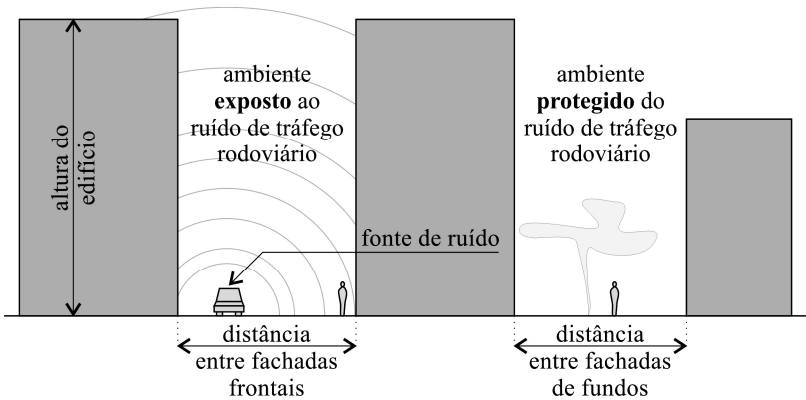


Figura 10 – Corte esquemático representando o ambiente exposto ao ruído de tráfego e o ambiente protegido do ruído de tráfego. Baseado nas informações de Nicol e Wilson (2004) e Salomons *et al.* (2009)

### 3.1.1 Altura do receptor sonoro

O detalhamento geométrico necessário para uma adequada simulação da propagação sonora em ambiente urbano foi estudado por Walerian, Janczur e Czechowicz (2001). Utilizando o software de simulação PROP5, os autores obtiveram a distribuição do nível sonoro em um *street canyon*, considerando diferentes níveis de exatidão no modelo da massa edificada. Os resultados mostraram que todos os níveis de detalhamento testados produziram dados parecidos. Um relevante dado coletado foi o de que a distribuição sonora dentro dos modelos tendeu a ser constante em relação à altura, ocorrendo apenas uma leve redução em torno de 1dB(A) próximo aos pavimentos superiores.

Contraopondo essa afirmação de que a distribuição tende a ser homogênea dentro do ambiente urbano que contem a fonte sonora, Nicol e Wilson (2004) citam em seu estudo que o nível sonoro vai diminuindo conforme a altura do receptor aumenta. O trabalho dos autores possui como meta entender a variação vertical do  $L_p$ , através de medições em algumas ruas de Atenas, procurando indícios sobre a possibilidade de uso da ventilação natural nos edifícios.

O trabalho de Ghiaus *et al.* (2006) buscou entender como aspectos ambientais, tais como velocidade do vento, temperatura, poluição sonora e poluição atmosférica, influenciam na possibilidade de ventilação natural para edifícios. O dado acústico procurado foi a atenuação vertical do nível de pressão sonora no interior de nove ruas em Atenas, obtida por meio de medições. Como resultado final, foi

elaborado um gráfico que relaciona altura e largura do cânion exposto ao ruído com as possibilidades de aberturas para ventilação, procurando minimizar problemas com ruídos. Os autores encontraram decaimento sonoro nas ruas estudadas na medida em que a altura aumentava, até um determinado valor. Depois de certa altura de edifícios a redução do nível de pressão sonora se tornou constante, não sendo mais proporcional ao aumento das edificações.

### 3.1.2 Configuração de varandas

Hothersall, Horoshenkov e Mercy (1996) avaliaram o campo sonoro de varandas e a representatividade de suas atenuações na fachada frontal. Foram realizadas medições internas e externas nas varandas e uma posterior análise com auxílio de BEM. Oito formas de inserção de material absorvente foram pesquisadas numericamente. Os efeitos de proteção pela varanda sem tratamento acústico foram pequenos, devido a grandes reflexões do teto e da parede de fundo da varanda. Dessa forma, as melhores áreas para inserção de material absorvente foram o teto e a parede de fundos da varanda.

Li *et al.* (2003) estudaram a redução sonora provocada por varandas em fachadas frontais e desenvolveram um modelo para sua predição. O método utilizado envolveu medições em quatro tipos reais de varandas em Hong-Kong e análise por meio de acústica geométrica. Os autores afirmam que um desenho apropriado de varandas pode fornecer considerável proteção de uma habitação ao ruído de tráfego. Varandas mais fechadas, com parapeitos maciços, por exemplo, produzem mais atenuação que as mais abertas.

El Dien e Woloszyn (2004) estudaram o comportamento de varandas de edifícios altos como componente para atenuação sonora em fachadas frontais. Utilizando programas de simulações acústicas baseadas em *pyramid tracing model* foram realizadas modificações nas inclinações dos tetos e profundidades das varandas. Os resultados demonstraram que as maiores reduções foram alcançadas nos pavimentos mais altos e também nas varandas mais profundas. A redução sonora se apresentou inversamente proporcional às inclinações utilizadas nos forros das varandas mais altas e diretamente proporcional ao mesmo fator nas varandas dos primeiros pavimentos.

Em outro estudo, El Dien e Woloszyn (2005) utilizaram mais um método para analisarem a influência da profundidade de varandas e da inclinação de parapeitos na atenuação sonora em fachadas frontais: a medição de modelo em escala. A proteção obtida por várias

profundidades de varanda ficou entre 4 e 8 dB(A), além da proteção adicional de 0,5 a 4 dB(A) com a inclinação do parapeito.

Com o auxílio de medições em casos reais, modelos em escala e simulação computacional, Lee *et al.* (2007) buscaram entender os efeitos acústicos de diferentes desenhos de varandas na redução sonora em fachadas frontais. Seis diferentes configurações de varandas foram estudadas: com maior profundidade, com parapeito maciço, com teto inclinado, com material absorvente no teto inclinado, com material absorvente no teto inclinado e parapeito maciço, com material absorvente no teto inclinado e no parapeito maciço. Essa última conformação foi a que atingiu maior redução dos níveis sonoros na fachada adjacente.

### **3.1.3 Tipos de coberturas**

Van Renterghem e Botteldooren (2008) estudaram a propagação sonora urbana mediante a inserção de coberturas verdes e sua influência nos níveis de pressão sonora no interior do ambiente não exposto à fonte sonora, por meio do método FDTD (*finite-difference time-domain*). Em comparação com uma cobertura rígida, a cobertura verde possuiu efeitos positivos bastante acentuados na faixa entre 500 e 1000 Hz. Uma relação linear entre a utilização de área de cobertura verde e a diminuição de  $L_p$  no ambiente não exposto foi encontrada.

Os autores acima citados continuaram suas pesquisas buscando também a influência da geometria das coberturas dos edifícios no *shielded canyon* (VAN RENTERGHEM e BOTTELDOOREN, 2010). Eles utilizaram o método FDTD e avaliação qualitativa por meio da teoria dos raios sonoros. A comparação entre os níveis sonoros encontrados na fachada não exposta, para cada forma de cobertura demonstrou diferenças de até 10 dB(A). De acordo com os resultados, as geometrias das coberturas tinham uma relação mais direta com a eficiência de atenuação obtida do que as alturas das mesmas.

### **3.1.4 Materiais de absorção e barreiras nas edificações**

O desempenho acústico de edifícios que possuem partes de sua construção como barreiras sonoras foi investigado por Oldham e Mohsen (1979 b) e (1980). Através de simulações computacionais e medições em modelos em escala foi possível elaborar um gráfico para predição da atenuação do tipo de edificação auto-protégida analisada.



Thorsson e Ögren (2005) estudaram a influência da implantação de materiais absorventes e da distribuição do fluxo de veículos nos níveis de pressão sonora em ambientes urbanos protegidos da fonte. O método utilizado se baseou em modelo de raios e modelo estatístico. Os autores obtiveram como resultado a indicação de que concentrar o tráfego longe da área residencial, introduzir absorção em fachadas e no piso interno à quadra produzem menores níveis de pressão sonora.

Hornikx e Forssén (2009) realizaram medições de nível de pressão sonora em duas situações reais de áreas protegidas do ruído na Suécia, e, posteriormente, testaram diferentes mecanismos de atenuação de ruído de tráfego utilizando o modelo numérico *2,5D equivalent source method*. Os resultados foram analisados observando-se: a. o espectro sonoro da fonte: as altas frequências são mais fáceis de atenuar, b. com a posição do receptor: a atenuação é maior nas partes mais baixas do ambiente protegido, e c. a proporção do ambiente emissor: os mecanismos de atenuação tiveram melhor desempenho quando empregados em vazios urbanos mais estreitos. Os esquemas testados trabalharam principalmente com a absorção do som, inserindo absorção nas fachadas de fundos, piso do ambiente protegido e telhados; e com o efeito de barreira perante o som, implantando platibandas horizontais na fachada e também planos verticais na cumeeira dos telhados. Todos os esquemas indicaram a diminuição do nível de pressão sonora no interior dos ambientes protegidos, com maior ou menor grau dependendo dos fatores estudados. Ainda nesse estudo, descobriu-se que nos modelos testados, a melhor localização para mecanismos de absorção na fachada posterior é na parte superior dos edifícios, distribuindo mais uniformemente a atenuação. Coberturas vegetais no piso do pátio interno e nas coberturas dos edifícios também são boas localizações para absorção sonora. As barreiras acústicas verticais instaladas nas cumeeiras mostraram-se mais eficientes que as platibandas horizontais.

### **3.1.5 Razão entre largura e altura do ambiente exposto ao ruído de tráfego – proporção WH**

O estudo paramétrico realizado por Van Renterghem, Salomons e Botteldooren (2006) buscou testar o método FDTD-PE na predição de  $L_p$  para áreas protegidas. As conclusões do trabalho indicaram a influência de alguns parâmetros da massa edificada nos níveis calculados. Um desses fatores é a proporção do ambiente urbano que contém o tráfego rodoviário, ou seja, a relação entre distância entre fachadas frontais e alturas dos edifícios. Os cânions mais estreitos, com

proporções menores, revelaram uma direta relação com a diminuição do nível sonoro do ambiente protegido. Segundo os autores, conforme a proporção do *street canyon* se tornava mais larga, o nível de pressão sonora no ambiente protegido também aumentava, até se tornarem mais constantes, o que ocorria quando a largura excedia a altura, ou seja, quando a proporção passava de 1.

Essa relação entre distâncias e alturas dos edifícios de uma via urbana é também estudada por Oliveira e Romero (2007), embora enfocando questões de conforto térmico urbano. Os autores a denominam como proporção WH, que vem do inglês *width and height*, sendo uma expressão muito encontrada em estudos de desenho urbano. No trabalho citado, o WH foi utilizado como índice que caracteriza a permeabilidade da massa urbana aos ventos e ao sol, ou seja, o quanto a massa urbana permite o fluxo de ventos e a incidência de calor do sol.

### 3.1.6 Forma e disposição das edificações na quadra

Oldham e Mohsen (1979 a) avaliaram o efeito de atenuação sonora do ruído de tráfego rodoviário proporcionado por pátios internos em residências, através de simulação computacional e medições de modelo em escala. Esta forma de edificação mostrou-se eficiente na redução do ruído que incide no interior do pátio, sendo que o parâmetro que possui maior influência no efeito é a altura das paredes do entorno. A alteração da largura ou profundidade do pátio interno não demonstrou impacto expressivo, quando comparada à altura das paredes.

Hincu (2003) buscou relacionar fatores como: altura das edificações, distância entre fachadas frontais, zonas verdes, composição de tráfego e tipo de pavimentação da via, com os níveis de pressão sonora medidos em ruas de Bucareste, Romênia. Após as medições, o *software* URBAN2 foi utilizado para o cálculo de  $L_{eq}$  para um receptor à 2 m da fachada e à 1,5 m do chão. Mesmo apresentando poucos dados sobre as medições realizadas, a autora menciona que menores alturas edificadas, ruas com perfil em L, o aumento da distância entre fachadas frontais, presença de zonas verdes, tráfego com menos veículos pesados e pavimentação mais homogênea produzem menores  $L_p$  no ambiente exposto ao ruído do que as situações contrárias.

A disposição de edificações foi um dos objetos de estudo no trabalho desenvolvido por Forssén e Thorsson (2009), no qual realizaram medições antes e depois da instalação de três esquemas de atenuação em uma situação real na Suécia: preenchimento dos afastamentos entre edifícios, barreira acústica na via e novo material de

pavimentação da rua. A redução de  $L_p$  no ambiente protegido do ruído foi alcançada por meio de todos os esquemas, destacando-se a construção dos afastamentos, o que modifica a massa edificada, tornando-a uma barreira contínua.

Guedes (2005) buscou avaliar como a interação entre fontes sonoras e a forma urbana influencia os níveis sonoros do bairro Jardins em Aracaju (SE). O cenário acústico existente foi analisado através de mapeamento sonoro produzido por *software* de simulação computacional. Posteriormente, três cenários hipotéticos foram criados para setores ainda não ocupados do bairro e um novo mapeamento foi simulado. A partir dos resultados, o autor identificou que características da forma urbana como densidade construída, existência de áreas livres, forma e disposição das edificações influenciam na propagação sonora urbana. Nas regiões com maior densidade construída as edificações se comportaram como obstáculos à livre propagação do ruído de tráfego, como barreiras acústicas, atenuando o nível sonoro nos espaços internos das quadras.

Após a revisão dos estudos científicos que buscaram a relação entre níveis sonoros e parâmetros da massa edificada, nota-se que boa parte das alterações investigadas se localizou em materiais ou componentes dos edifícios, como coberturas e varandas. O interesse desta pesquisa está voltado à massa edificada enquanto volumetria e relação com o entorno, não se atendo a especificações de fachadas ou outros elementos. Portanto, as informações mais úteis da revisão são quanto à influência da forma e disposição das edificações, também estando embutida nessa questão a proporção WH.

A decisão de não investigar aspectos mais específicos de arquitetura dos edifícios vem da preocupação em entender a massa edificada como questão urbana, que é regulada, no Brasil, de acordo com volumetria e relações entre espaços, sem indicações de materiais ou elementos arquitetônicos.

Outro dado percebido na revisão é o emprego de inúmeros métodos nos estudos, envolvendo desde medições reais a cálculos numéricos. Apenas um dos trabalhos (GUEDES, 2005) utilizou o mapeamento sonoro na simulação de cenários hipotéticos. O presente trabalho também o utiliza como ferramenta de investigação, embora de forma mais sistematizada, já que se constitui em um dos objetivos principais.

### 3.2 MAPEAMENTO SONORO COMO FERRAMENTA DE INVESTIGAÇÃO

Como citado anteriormente, o mapeamento sonoro é um método de apresentação gráfica dos níveis de pressão sonora urbanos. Ele pode ser realizado por meio de curvas isofônicas, que delimitam áreas com mesma faixa de nível de pressão sonora, ou por meio de ícones que apontam os níveis sonoros de cada medição realizada.

Um exemplo desse último tipo de apresentação encontra-se no trabalho de Oyedepo e Saadu (2010), no qual se demonstra a avaliação da poluição sonora realizada em Ilorin, Nigéria. O mapeamento sonoro foi elaborado a partir de medições de  $L_p$  em 42 pontos escolhidos em centros comerciais, junções de ruas, parques, áreas residenciais densas e áreas residenciais menos densas. Os autores observaram que os níveis medidos em 30 pontos excedem os valores permitidos.

Há diversos estudos que utilizam mapeamentos com curvas isofônicas e manchas de mesmo nível de pressão sonora. Os métodos de mapeamento de ruído ambiental vêm se desenvolvendo há tempos. A Alemanha, por exemplo, possui pesquisas com mais de 25 anos, que ganharam projeção e intensidade com o lançamento da Diretiva Européia 2002/49/CE, já discutida anteriormente (PARLAMENTO EUROPEU, 2011).

Devido à recente inserção da problemática na comunidade científica, alguns estudos estão voltados às questões de desenvolvimento do próprio método, com o auxílio do sistema de posicionamento global por satélite – do inglês *global positioning system*, GPS – ou da internet para captação de dados.

Czyzewski e Kotus (2004) apresentam em seu artigo o conceito e a implantação de um sistema computacional para monitoramento de ruído ambiental na Polônia. O mapeamento é realizado a partir de dados captados por usuários por meio de um equipamento conectado a porta USB de um computador. As informações são, então, transportadas através da internet, produzindo mapas acústicos. Os autores esperam que o monitoramento contribua para chamar a atenção da sociedade em relação à influência dos ruídos na saúde humana, podendo também gerar melhorias nos ambientes.

Cho, Kim e Manvell (2007) demonstraram a elaboração do mapa de ruído da Universidade de Pusan, na Coreia, por meio de um sistema que utiliza dados coletados simultaneamente por GPS. O sistema consiste de medidores de nível de pressão sonora, receptores de dados GPS e programas computacionais que administram os dados medidos e

elaboram o mapeamento sonoro. A importância do estudo reside na possibilidade de monitoramento da situação em tempo real.

Outro trabalho na mesma linha é o de Asensio *et al.* (2009) no qual são expostas técnicas para uso do sistema de posicionamento global por satélite como dispositivo de captação de velocidade de veículos, produzindo dados já adaptados aos requisitos para uso em mapas sonoros. Essa nova tecnologia tenta responder a uma das mais difíceis questões de um mapa sonoro: a falta de informações corretas. Assim, o sistema pode aumentar a exatidão dos mapeamentos produzidos.

Impulsionado pela Diretiva Europeia 2002/49/CE (PARLAMENTO EUROPEU, 2011), o método do mapeamento sonoro vem sendo empregado em planejamentos estratégicos que visam à redução de níveis de ruído, ou seja, da poluição sonora. Tais mapeamentos estratégicos lidam com informações da macro-escala urbana envolvida, sendo dados mais abrangentes e menos detalhados. Como dito anteriormente, na geração dos mapas de ruído é possível a utilização de dois métodos para obtenção dos níveis sonoros: medições de nível de ruído ambiental em diferentes pontos da cidade e predição desses níveis por meio de *softwares* de simulação computacional.

As pesquisas que realizaram mapeamentos sonoros a partir de medições reais de níveis de ruído ambiental, aquele que engloba todas as fontes sonoras urbanas existentes, tiveram como objetivo comum aplicar o método para fins de visualização e planejamento de redução da poluição sonora.

O mapeamento de ruído ambiental realizado em Cáceres, na Espanha (BARRIGÓN MORILLAS *et al.*, 2002) utilizou pontos de medição escolhidos de acordo com a caracterização das ruas da cidade. Foram identificadas quatro categorias, diminuindo o número de pontos necessários no estudo e reduzindo o trabalho, mas ainda conseguindo responder satisfatoriamente a questão da pesquisa. Segundo os resultados, três categorias de vias foram responsáveis pelos maiores níveis de pressão sonora.

O método adotado por Sommerhoff, Recuero e Suárez (2004) na avaliação de ruído ambiental da cidade de Valdivia, no Chile, iniciou-se com medições em pontos da cidade definidos por uma malha. Os dados obtidos com as medições reais sofreram tratamento estatístico e alimentaram o mapa de ruído ambiental.

O método de medições definidas por uma trama retangular também foi aplicado na formulação do mapa acústico de Belém, sendo finalizado graficamente com o auxílio do programa Surf (MORAES e LARA, 2005). Outro objetivo do trabalho foi levantar o incômodo

causado pela poluição sonora na referida cidade, através de questionários. De acordo com os resultados, todos os bairros são afetados com níveis sonoros não permitidos pela legislação brasileira e ainda foram identificados alguns possíveis transtornos à saúde da população, que podem ter ligação com a exposição ao ruído urbano.

Os primeiros resultados do estudo sobre ruído ambiental em Messina, na Itália, foram apresentados por Piccolo, Plutino e Cannistraro (2005). As medições foram realizadas em pontos escolhidos a partir da divisão da cidade em zonas de uso. Segundo os autores, um mapeamento sonoro completo poderá apontar mais adequadamente as áreas afetadas, auxiliando a tomada de decisões para o combate à poluição sonora.

O estudo de Yilmaz e Hocanli (2006) teve como objetivo buscar o menor tempo de formulação de mapeamento sonoro para um recorte da cidade de Sanliurfa, na Turquia, considerando as limitações técnicas locais. As medições semanais foram realizadas em uma área de 3x4 km e o método de interpolação foi utilizado para a produção do mapeamento sonoro em ArcGIS 8.1, que utiliza o sistema de informação geográfica – *geographic information system*, conhecido como GIS. O tempo de elaboração do mapa foi considerado satisfatório.

Doygun e Kuşat Gurun (2008) realizaram a análise da poluição sonora devido ao ruído de tráfego em Kahramanmaras, Turquia, medindo níveis de pressão sonora em 38 pontos em zonas de uso distintos. Como resultado encontrou-se níveis sonoros nas áreas residenciais e comerciais ultrapassando o tolerado pela legislação local. O mapa resultante foi apresentado graficamente por manchas de áreas com mesmo  $L_p$ , elaboradas pelo *software* ArcGIS 9.1.

Tsai, Lin e Chen (2009) analisaram as características espaciais de ruído ambiental em Tainan, Taiwan, utilizando mapa de ruído produzido com dados acústicos de 345 estações monitoradoras, relacionadas espacialmente por meio de sistema GIS. Como resultado, evidenciou-se a maciça exposição da população, com mais de 90% dos habitantes lidando com níveis de ruído inaceitáveis pelas leis locais.

Costa e Lourenço (2010) produziram um mapa de ruído ambiental do centro de Sorocaba. Foram realizadas medições em 32 pontos e posterior interpolação de dados no *software* Surfer 8, versão 2002. Os autores consideraram que o método é viável financeiramente para a realidade de países em desenvolvimento. Os autores constataram que grande parte dos pontos possuiu níveis sonoros acima dos limites da legislação.

O segundo método utilizado para obtenção dos níveis sonoros de ruído de tráfego é através de predição computacional por meio de *softwares* de simulação. Como dito anteriormente, os programas computacionais mais utilizados são: Cadna-A, Mithra, SoundPlan, Predictor, Immi, Lima e Enm.

Buscando indicar melhorias nos *softwares*, Arana *et al.* (2010) compararam mapeamentos de ruído próximo ao anel viário da cidade de Pamplona, Espanha, elaborados a partir de SoundPlan e Cadna-A. Grande número de pontos com  $L_p$  divergentes foram observados, embora com menos de 3 dB de diferença. Os pontos receptores mais protegidos da fonte sonora foram os que mais divergiram nos dois métodos. Segundo os autores, os diferentes algoritmos de visibilidade ocasionaram tal fato.

O trabalho de Guedes (2005), já mencionado anteriormente, também utilizou o mapeamento sonoro como ferramenta investigativa. A situação existente na época e cenários hipotéticos criados para setores ainda não ocupados foram simulados com o auxílio do programa SoundPlan, considerando a norma alemã RLS90.

Nardi (2008) realizou o mapeamento sonoro de parte do centro de Florianópolis, com o auxílio do *software* SoundPlan e medições *in loco* para validação. O mapeamento sonoro permitiu visualizar a distribuição espacial dos níveis sonoros equivalentes, nos períodos diurno, entardecer e noturno, através de curvas isofônicas em intervalos de 5 dB(A).

A ferramenta computacional SoundPlan foi também utilizada em estudos de impacto ambiental, em Seoul (LEE, CHANG e PARK, 2008). Três mapas sonoros foram executados: com o ambiente existente, com a inserção de um canteiro de obras e com a obra já concluída. Os mapas, calculados segundo a RLS90, forneceram informações interessantes sobre o impacto da inserção do novo cenário.

O Cadna-A foi utilizado na avaliação sobre a distribuição sonora em Copacabana, no Rio de Janeiro (PINTO e MARDONES, 2009). A norma RLS90 orientou a elaboração do mapa, que também foi confrontado com medições reais. O mapeamento demonstrou que a poluição sonora é uma importante questão no bairro analisado.

Ausejo *et al.* (2010) discutiram a importância da qualidade dos dados de entrada para geração de mapas estratégicos de ruído, utilizando o mapeamento realizado para Buenos Aires com o programa Lima. Como resultado, algumas incertezas foram confirmadas, o que vem ressaltar a importância dos dados dos modelos.

Algumas limitações no uso de *softwares* comerciais de mapeamento sonoro são a falta de informações corretas e suficientes como dados de entrada e o alto custo financeiro. Pensando no problema, King e Rice (2009) buscaram uma alternativa economicamente viável para realização de mapas estratégicos de ruído, produzindo um mapa sonoro da cidade de Dublin com o auxílio de uma ferramenta de predição de ruído, desenvolvida pela equipe, que trabalha com dados coletados *in loco*. Posteriormente, o mapeamento produzido foi comparado com outro mapa elaborado por *software* comercial. Como resultado, o modelo híbrido proposto produziu um mapa de ruído bastante satisfatório.

A combinação entre medição e predição de ruído também foi utilizada nos mapeamentos sonoros de Belém (MORAES, SIMÓN e GUIMARÃES, 2009). A análise da situação atual foi demonstrada a partir de medições e modelo de cálculo de predição da ISO 9613. O cenário futuro decorrente de modificações nas vias e nos transportes, apontados no Plano de transporte urbano da região metropolitana, foi simulado através do *software* Predictor 7810 versão 6.0. A comparação entre os resultados demonstra que as modificações apontam para um crescimento dos níveis sonoros no entorno das mesmas.

O sistema criado para elaborar mapas de ruído dinâmicos em Gdansk, na Polônia, também combina modelo numérico de predição e medições realizadas por estações monitoradoras, que fornecem dados sobre a fonte e níveis sonoros. O trabalho de Szczodrak, Kotus e e Czyzewski (2009) identificou o período de 48h como o tempo máximo para uma atualização mais realística do mapa dinâmico em questão.

A produção de um mapeamento sonoro qualitativo auxiliou na aplicação do conceito de paisagem sonora como estratégia de design para melhoria de conforto acústico em uma Praça de Lisboa (BENTO COELHO, 2010). O mapa foi produzido a partir da medição dos níveis de mascaramento de ruído branco para cada uma das componentes sonoras detectadas auditivamente por sujeitos colocados em diversos pontos de avaliação. A estratégia de design aborda a inserção de sons agradáveis na praça, que encobrem a presença dos indesejáveis. Mesmo que o  $L_p$  global possa aumentar, o conforto acústico tende a melhorar consideravelmente.

Após essa segunda parte da revisão bibliográfica, a informação de que o método do mapeamento sonoro é pouco utilizado na avaliação de parâmetros da massa edificada e sua influência nos campos sonoros urbanos, levantada na primeira parte, fica reforçada. Apenas um dos



trabalhos (GUEDES, 2005), conforme já citado, analisou a questão, embora de forma incipiente.

Outro dado importante é o aparecimento da utilização tanto da norma alemã RLS90 e como do *software* SoundPlan, o que vem afirmar as escolhas da presente pesquisa.

A maioria dos mapas sonoros elaborados visou saber os níveis de pressão sonora para resguardar a população residente, como prega a Diretiva 2002/49/CE (PARLAMENTO EUROPEU, 2011). Esses estudos são, portanto, voltados aos níveis que podem incidir sobre os edifícios e seus residentes. A presente pesquisa aborda outra forma de visualizar o problema, o *building emission*, ou seja, qual a contribuição da edificação na formação dos campos sonoros urbanos, pensando na população que transita pelo espaço da cidade. Dessa forma, a recepção sonora será deslocada da altura padrão de 4 m, pregada pela Diretiva europeia, para a altura de 1,5 m acima do solo, procurando demonstrar os níveis sonoros relacionados ao usuário da cidade.

Finalizando a revisão bibliográfica, procurou-se ainda por estudos que pesquisam questões sobre os níveis sonoros que incidem no indivíduo. A maioria dos trabalhos tem analisado a influência dos ambientes sonoros no comportamento dos transeuntes, alguns deles no auxílio de localização e deslocamento de deficientes visuais (WALLA *et al.*, 2004). A pesquisa de Korte e Grant (1980) é outro exemplo, onde o comportamento do pedestre perante o aumento de níveis de pressão sonora é avaliado, sendo que as conclusões apontam que à medida que o nível sonoro do ambiente urbano aumenta, as pessoas se tornam menos conscientes de objetos e acontecimentos periféricos em seu entorno imediato. Por fim, reforça-se a constatação de que não foram encontrados estudos que relacionam os níveis sonoros que incidem sobre o usuário da cidade com a forma edificada, tampouco utilizando o mapeamento sonoro como método de investigação.

## 4 ANÁLISE PARAMÉTRICA

Neste capítulo é apresentada a análise paramétrica da relação entre massa edificada e níveis sonoros, que busca responder a questão principal de pesquisa. O texto aborda a descrição do método empregado e os resultados obtidos.

### 4.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método empregado na pesquisa foi a comparação entre mapeamentos sonoros de diferentes cenários urbanos que envolveram alterações em parâmetros da massa edificada.

Serão apresentados aqui a ferramenta utilizada, a discussão sobre a formação da massa edificada e a definição dos parâmetros investigados, a realização do estudo preliminar e a elaboração dos cenários urbanos simulados, bem como a forma de apresentação dos resultados.

#### 4.1.1 Ferramenta de investigação

Esta pesquisa utilizou como ferramenta de investigação o mapeamento sonoro produzido pelo programa computacional SoundPlan 7.0, da empresa alemã *Braunstein + Berndt GmbH*, como citado anteriormente. Tal *software* tem como objetivo auxiliar no estudo de cenários de poluição sonora e atmosférica, envolvendo previsões ambientais. As situações acústicas que podem ser avaliadas por ele são: ruído de tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, ruído ocupacional interno e externo e ruído industrial (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010).

As análises são realizadas tendo como base as formulações de uma das normas a ser selecionada pelo usuário. Como este trabalho concentra-se na problemática do ruído de tráfego rodoviário, a norma RLS90, já citada, foi definida como fundamento das previsões.

Os possíveis cálculos referentes ao ruído de tráfego rodoviário proporcionados pelo SoundPlan são a predição em pontos de recepção e o mapeamento sonoro em planta baixa ou em seção transversal. Todos eles se baseiam no método do ângulo de procura, que trabalha com raios que se espalham a partir do receptor, com ângulos pré-estabelecidos. A procura por fontes sonoras, obstáculos, reflexões e diferentes topografias acontece nas regiões formadas entre dois raios consecutivos. O nível

sonoro no receptor é, então, calculado de acordo com os elementos encontrados naquele setor (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010).

As estimativas consideram os dados geométricos e acústicos, como dimensões dos elementos, topografia do terreno, características acústicas da fonte, comprimento da via, entre outros, que são inseridos no módulo *Geo-database* e os critérios de cálculo, como altura de medição, espaçamento entre pontos de recepção, entre outros, escolhidos pelo usuário no módulo *Calculation*. Para que esses dados sejam definidos e fornecidos corretamente, foi realizada uma investigação sobre ajustes necessários nos parâmetros envolvidos.

#### 4.1.1.1 Ajuste de parâmetros

A modelagem realizada no *Geo-database* deve conter as fontes sonoras, os receptores de interesse e os elementos do meio de propagação em estudo, bem como suas características acústicas. Os testes realizados para se ajustar os parâmetros do programa procuram reproduzir uma situação simples, que conte com os elementos mínimos para a configuração de uma propagação sonora urbana, buscando-se avaliar a influência dos vários fatores envolvidos no cálculo do *software*.

Os mapas apresentados neste subitem 4.1.1.1 foram desenvolvidos para a altura de 4 m a partir do solo, como indicado na Diretiva 2002/49/CE (PARLAMENTO EUROPEU, 2011). Eles não foram elaborados à 1,5 m do solo, como citado anteriormente, pois a adoção dessa altura, que reflete a situação do usuário da cidade, ocorreu cronologicamente depois do fechamento da revisão bibliográfica, disposta no capítulo 3, e simultaneamente com o término do estudo preliminar, que será tema do subitem 4.1.3. Os mapeamentos sonoros dos quais são retirados os resultados desta pesquisa, apresentados no item 4.2, foram então realizados a 1,5 m do solo, após o processo que desencadeou na escolha do sujeito que utiliza a cidade como receptor sonoro de interesse.

O primeiro cenário se relaciona com a propagação de uma fonte sonora em linha sobre plano refletor. As dimensões do plano refletor utilizado foram de 200 x 200 m, uma área que não demanda muito tempo de simulação computacional, mas já é suficiente para ser considerada urbana, envolvendo cerca de 90 lotes de 450 m<sup>2</sup>. Como o tráfego rodoviário é o ruído urbano mais presente nas cidades, informação já discutida, uma via foi considerada como a fonte sonora linear, localizada no centro da área, buscando-se observar o

comportamento simétrico do decaimento sonoro no mapeamento. A via possui 200 m de comprimento, acompanhando as medidas do plano refletor e conta com duas pistas de 3 m, dimensão normalmente empregada como mínima para passagem de veículos. O nível de emissão sonora diurna  $L_{mE}$  foi considerado como sendo de 70 dB(A), valor baseado no maior nível critério diurno para áreas urbanas, segundo a NBR 10.151 (ABNT, 2000), que, conforme Tabela 2, é aplicado para áreas industriais. No Brasil, esse nível sonoro é considerado como incômodo nas áreas urbanas que englobam uso residencial. A área de cálculo para o mapeamento, ou seja, a indicação da área a ser mapeada, acompanhou as dimensões de 200 x 200 m. O mapa resultante é apresentado na Figura 11.

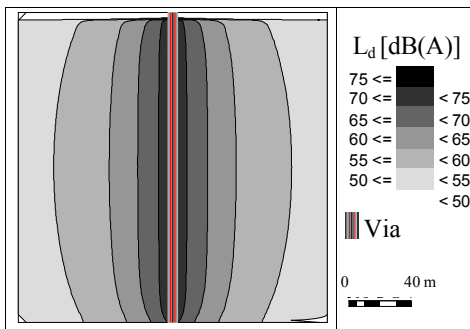


Figura 11 – Cenário inicial para ajustes de parâmetros, com plano de 200 x 200 m e via com comprimento de 200 m.

Observando-se o mapeamento da Figura 11, nota-se que o decaimento sonoro se comportou de maneira diferente próximo aos extremos e no centro da via, ou seja, a propagação não possuiu a esperada homogeneidade. Para resolver essa questão, foi realizado um teste buscando-se entender como a extensão da via deve ser trabalhada no modelo geométrico e sua influência na propagação. O comprimento da rua variou entre 200, 600, 1000 e 1200 m. A comparação entre os resultados obtidos é demonstrada na Figura 12.

Observou-se que é importante um aumento no comprimento da via, para que o programa considere o elemento como uma fonte linear aproximadamente infinita. Percebe-se que entre os casos *c* e *d* da Figura 12 não houve diferenças visíveis, o que demonstra que a extensão da via em torno de dez vezes a distância de propagação em questão já é suficiente para que se produza o efeito de ondas planas.

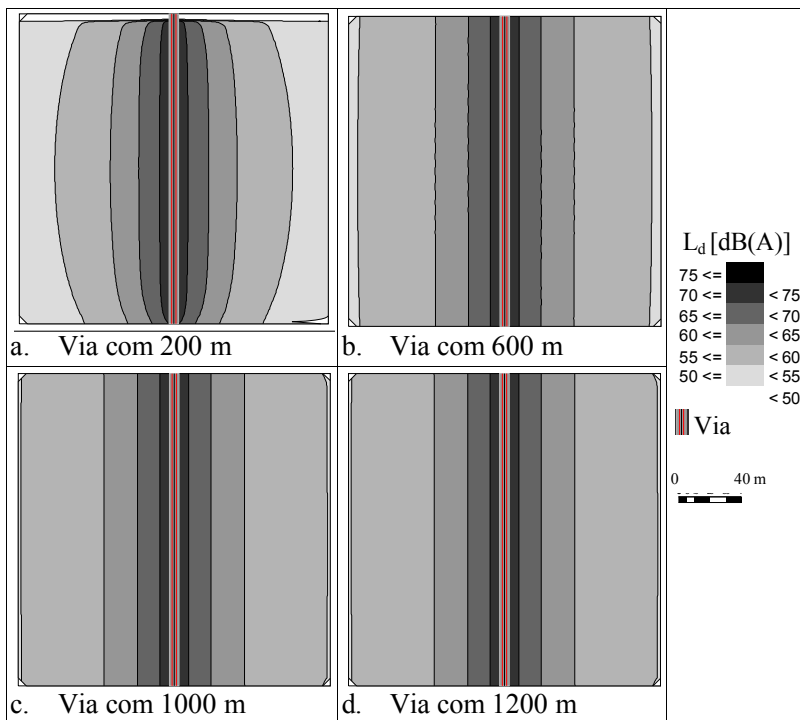


Figura 12 – Simulações considerando diferentes comprimentos de via.

Ainda analisando os primeiros testes, percebe-se que o mapeamento não foi realizado nas arestas do plano. Uma nova simulação, cujo resultado é apresentado na Figura 13, considerando-se um aumento de 20 m nas dimensões do terreno, ou seja, 220 x 220 m, solucionou o problema, já que é necessário que a área de cálculo do mapa esteja contida no terreno.

Outro elemento que pode ser indicado no modelo geométrico é o *ground effect*, que estabelece uma área de solo com um valor de absorção sonora atribuído pelo usuário. Duas simulações foram realizadas, uma determinando-se um solo absorvente, fator um, e outro com solo reflexivo, fator zero. Os resultados não demonstraram mudanças na propagação, já que a norma considerada, a RLS90, realiza os cálculos da absorção sonora pelo solo levando-se em conta apenas a distância percorrida (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010). Portanto, para todas as outras simulações não haverá necessidade de inserção do *ground effect*.

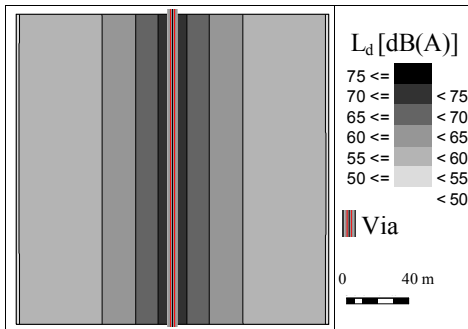


Figura 13 – Simulação referente ao aumento do terreno em relação à área de cálculo.

O mapeamento sonoro é realizado através de uma grade de pontos de recepção localizados a uma altura ditada pelo usuário e espaçados também de forma controlada, no módulo *Calculation*. Para todos os mapas utilizou-se 4 m de altura, como dito anteriormente. O espaçamento entre pontos de recepção, *grid*, foi motivo de um conjunto de testes. O manual do programa recomenda um espaçamento entre 5 e 15 m para áreas aglomeradas de edifícios, portanto, os testes se iniciaram com a grade de 5 m. Como a área em teste não apresenta muitos elementos geométricos, apenas terreno e via, houve a possibilidade de simulação com *grid* menores, como dois e um metros. A Figura 14 apresenta os mapeamentos feitos com diferentes valores de *grid*, sendo que se observa que quanto menor o espaçamento, melhor a qualidade gráfica do mapa. Assim, nos testes se utilizará a malha espaçada de 1 m.

Os valores no interior de cada um dos quadros gerados pela grade são calculados diretamente ou interpolados. Tais operações são comandadas por três parâmetros. O primeiro deles, *field size*, informa o número de valores que formam os blocos de interpolação, sendo que quanto maior o bloco, menor precisão e menos tempo será necessário para a realização dos cálculos. Todos os mapas anteriores foram gerados com *field size* de 3 x 3. A alteração para 5 x 5 ou 1 x 1 não modificou graficamente os mapeamentos, portanto, continuou-se com o bloco de nove pontos de recepção, 3 x 3, nos próximos testes.

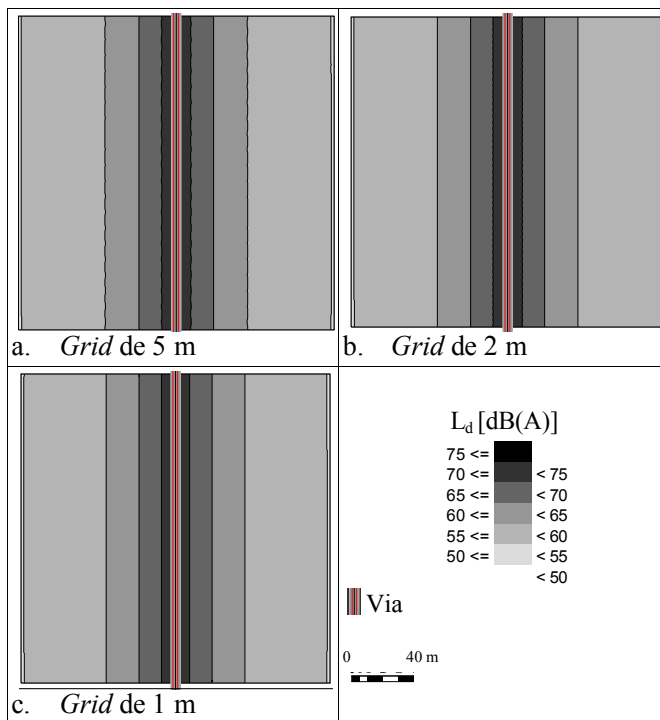


Figura 14 – Simulações com diferentes valores de *grid*.

Em cada um dos blocos o ponto de recepção central e os dos cantos são calculados diretamente. O parâmetro *min/max* dita a diferença máxima permitida entre os valores calculados diretamente. Se esse critério não for alcançado, o bloco é re-dividido, culminando com a não ocorrência de interpolação, ou seja, cálculo direto de todos os pontos (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010). Nos testes apresentados anteriormente utilizou-se 5 dB nesse critério. A mudança para 2 e 10 dB não produziu alterações nos mapas, portanto, a adoção de 5 dB de *min/max* permanece.

O último critério, *difference*, estabelece a diferença máxima permitida na comparação entre três valores para o ponto de recepção central do bloco de nove pontos: o calculado diretamente e dois interpolados (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010). Nos testes descritos anteriormente utilizou-se 0,5 dB. A variação para 0,15 e 1 dB não modificou os mapas perante uma inspeção visual, mas, como 0,15

dB é o padrão conservador do programa, os testes que se seguem no texto foram realizados com esse valor.

Os testes envolvendo os parâmetros que orientam a realização dos mapas demonstraram que *grid* e *field size* são aqueles que mais alteram a qualidade gráfica e o tempo de cálculo. Assim sendo, tais parâmetros devem ser revisados sempre, buscando-se adequação entre precisão e tempo de cálculo.

Outro conjunto de testes teve como objetivo introduzir dados reais do tráfego de Florianópolis. A escolha pelos dados de uma das principais vias da cidade, Avenida Mauro Ramos, se justifica pela sua importância no trânsito local. As informações coletadas por Nardi (2008) junto ao Instituto de Planejamento Urbano da referida cidade, indicam que o tráfego diário médio anualizado é de 10.763 veículos, o percentual de veículos pesados diurno é de 4,25% enquanto o noturno é de 7,7%, e a velocidade de veículos leves é de 38 km/h e de veículos pesados de 33 km/h. O piso da via foi considerado como asfalto rugoso. O  $L_{mE}$  diurno resultante foi de 60,9 dB(A), enquanto o noturno foi de 53,4 dB(A). O perfil da via foi considerado com 18 m de largura, sendo: duas faixas de rodagem com larguras de 3 m, duas faixas de estacionamento de 3 m e calçadas de 3 m em cada lateral.

Para a realização de mapeamentos sonoros adequados à Diretiva 2002/49/CE (PARLAMENTO EUROPEU, 2011), faz-se necessário demonstrar o impacto das vias até a distância de uma vez e meia o raio de alcance de  $L_{den}$  de 55 dB(A) (WG-AEN, 2006). Buscando-se satisfazer esse quesito de boa prática em mapa sonoro, as áreas de terreno e de cálculo foram ampliadas, passando a ter dimensões de 290 x 290 m e 270 x 270 m, respectivamente. Com o incremento da área de cálculo, a extensão da via teve de ser alterada para 1.350 m. O resultado pode ser conferido na Figura 15.



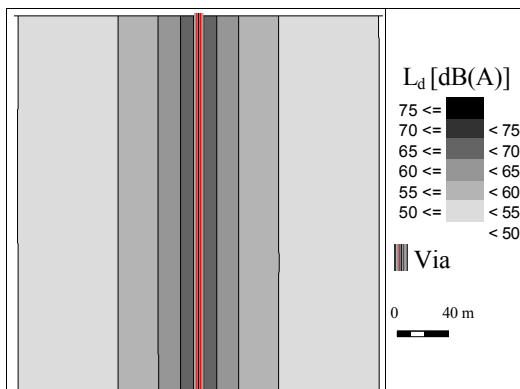


Figura 15 – Simulação com a consideração de dados de tráfego reais, sendo utilizado 4 m de altura para mapeamento, *grid* de 1 m, *field size* 3x3, min/max 5 dB, *difference* 0,15 dB.

Prosseguindo-se com os estudos sobre elementos geométricos básicos, realizou-se uma simulação com a inserção de um edifício de 15 x 15 x 15 m, a 30 m da via, como visto na Figura 16. O critério acústico *reflection loss*, atribuído às edificações, procura representar a perda de energia ocorrida a cada reflexão. Para esse parâmetro adotou-se 1 dB(A), conforme indicado para fachadas planas (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010).

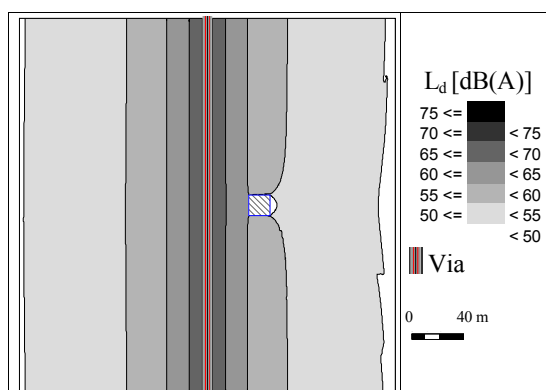


Figura 16 – Simulação referente à inserção de um edifício de 15 x 15 x 15 m.

Como se observa na Figura 16, essa simulação não apresentou a simetria esperada na propagação, ocasionada, provavelmente, por um desalinhamento entre grade de pontos de recepção e modelo geométrico.

O comportamento do *grid* não pode ser controlado pelo usuário, dessa forma, a distribuição da malha de pontos de recepção pode não coincidir com a simetria dos elementos inseridos. Tal fato, somado ao detalhamento gerado pela malha de um metro, demonstra ainda mais claramente uma ou outra reflexão a mais que porventura o *software* tenha calculado em uma das laterais do edifício.

Por fim, elaborou-se o mapeamento com a inserção aleatória de mais quatro edifícios, com as mesmas dimensões de 15 x 15 x 15 m. Com a inserção de edifícios dos dois lados da via, segundo a RLS90, é necessário adicionar as reflexões múltiplas das fachadas, através do fator *multiple reflection addition*, no cálculo do nível médio de emissão  $L_{me}$ . Para fachadas compostas por materiais reflexivos, como a maioria dos casos reais, o acréscimo se dá por uma razão entre a média das alturas dos edifícios, que pode ser entendido como a altura do cânion formado pelas edificações, e a distância média entre fachadas frontais, ou seja, a largura do cânion. A correção utilizada para  $L_{me}$ , considerando-se fachadas reflexivas não deve ultrapassar 3,2 dB, como demonstrado na equação 5. Nota-se, no mapa produzido para esse último teste, Figura 17, que a propagação apresentou-se de maneira esperada.

$$[4 * (\text{altura do cânion})] / (\text{largura do cânion}) < 3.2 \text{ dB} \quad (\text{eq. 5})$$

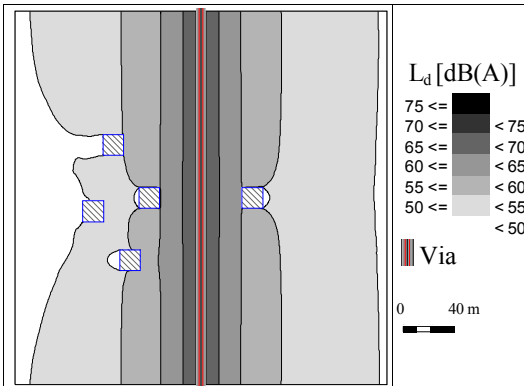


Figura 17 – Simulação referente à inserção aleatória de cinco edifícios.

Outros parâmetros contidos no programa foram pesquisados, mas não precisaram ser testados. Um deles é o *reflection order*, que estipula qual a quantidade de reflexões em superfícies que serão consideradas. Esse critério deve ser indicado como 1 nos cálculos estritamente de acordo com a RLS90. Outro parâmetro não ensaiado foi o ângulo de

incremento, que orienta qual será o ângulo de procura por fontes sonoras, a partir do ponto de recepção. Segundo a RLS90, o ângulo será constante e igual a 1 grau. Por fim, dados meteorológicos também não são envolvidos nos cálculos de ruído de tráfego rodoviário pela norma escolhida (BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH, 2010).

#### 4.1.1.2 Validação

Como testes simples para validação da ferramenta de investigação, realizaram-se as simulações de dois casos com propagação sonora conhecidas pela teoria acústica. A primeira simulação contou com a situação de fonte pontual sobre plano refletor, apresentada no item 2.2.5. A fonte sonora considerada foi de 70 dB(A) com frequência central de 500 Hz. O cálculo foi realizado no SoundPlan para três pontos de recepção, localizados a 32,5 m; 65 m e 130 m da fonte sonora, com as respectivas alturas de 3,25; 6,5 e 13 m a partir do solo. Os valores encontrados demonstram um decaimento sonoro entre 6,4 e 6,6 dB(A), como apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Teste de decaimento sonoro com fonte pontual sobre plano refletor**

Ponto de recepção	Distâncias da fonte [m]			L <sub>d</sub> [dB(A)]	Decaimento [dB(A)]
	x	y	z		
1	32,5	0	3,25	29,6	
2	65,0	0	6,50	23,0	29,6 – 23,0 = 6,6
3	130,0	0	13,0	16,6	23,0 – 16,6 = 6,4

Nota-se que as distâncias entre fonte pontual e receptores são duplicadas quando comparadas entre si, fato que possibilita a confrontação dos decaimentos obtidos com o valor de 6 dB(A), referência dada pela teoria clássica, já discutida anteriormente. Considerando-se que o valor de precisão requerido em mapeamentos simulados por computador quando comparados a medições reais de situações em campo aberto é estabelecido entre 1 e 2 dB(A), segundo as recomendações do documento ‘*Computation and measurement – progress report june 2001*’ do *EU Noise policy working group 3 on noise mapping*, pode-se afirmar que o desvio de 0,4 e 0,6 dB(A) dos valores calculados encontra-se dentro da faixa admissível de variação. Acredita-se que os desvios encontrados podem ser justificados a partir

do entendimento de que a teoria clássica adota mais simplificações sobre a propagação sonora do que os cálculos fornecidos pela RLS90.

O segundo teste simulou a propagação sonora de uma fonte em linha sobre plano refletor. A área de terreno, 290x290 m, e a extensão da fonte sonora, 1350 m, foram estabelecidas de acordo com os testes realizados anteriormente no item 4.1.1.1. A fonte em linha escolhida possui potência sonora linear de  $L_w'$  de 70 dB(A)/m e frequência central em 500 Hz. Foram calculados os níveis  $L_d$  para os mesmos três pontos de recepção do primeiro teste, demonstrados na Tabela 4.

O decaimento sonoro calculado pelo SoundPlan foi de 3,5 dB(A), enquanto a diminuição esperada é de 3 dB(A) a cada vez que a distância dobra entre pontos, como demonstrado no item 2.2.5. Este teste foi considerado satisfatório, com desvio de 0,5 dB(A) do valor esperado, dentro da faixa admissível.

**Tabela 4 – Teste de decaimento sonoro com fonte em linha sobre plano refletor**

Pontos de recepção	Distâncias da fonte [m]			$L_d$ [dB(A)]	Decaimento [dB(A)]
	x	y	z		
1	32,5	0	3,25	48,5	
2	65,0	0	6,50	45,0	48,5 – 45,0 = 3,5
3	130,0	0	13,0	41,5	45,0 – 41,5 = 3,5

Com os dois testes demonstra-se que o modelo adotado possui precisão dentro da faixa determinada para o mapeamento de áreas urbanas com situação de campo aberto, nas quais, conforme dito anteriormente, um desvio entre 1 e 2 dB(A) é considerado aceitável.

#### 4.1.2 Formação da massa edificada

Como já definido anteriormente, nesta pesquisa, a massa edificada é compreendida como um conjunto de edifícios sendo observado à distância, do qual se destacam a volumetria básica das construções e as relações destas com o entorno.

Inicialmente, pode se afirmar que a volumetria dos edifícios é caracterizada por três parâmetros básicos: largura, profundidade e altura das construções. As relações mais simples dos volumes com o entorno são as dimensões dos vazios intersticiais, ou seja, as distâncias entre fachadas frontais, laterais e de fundos. A Figura 18 destaca os seis parâmetros da massa edificada citados.

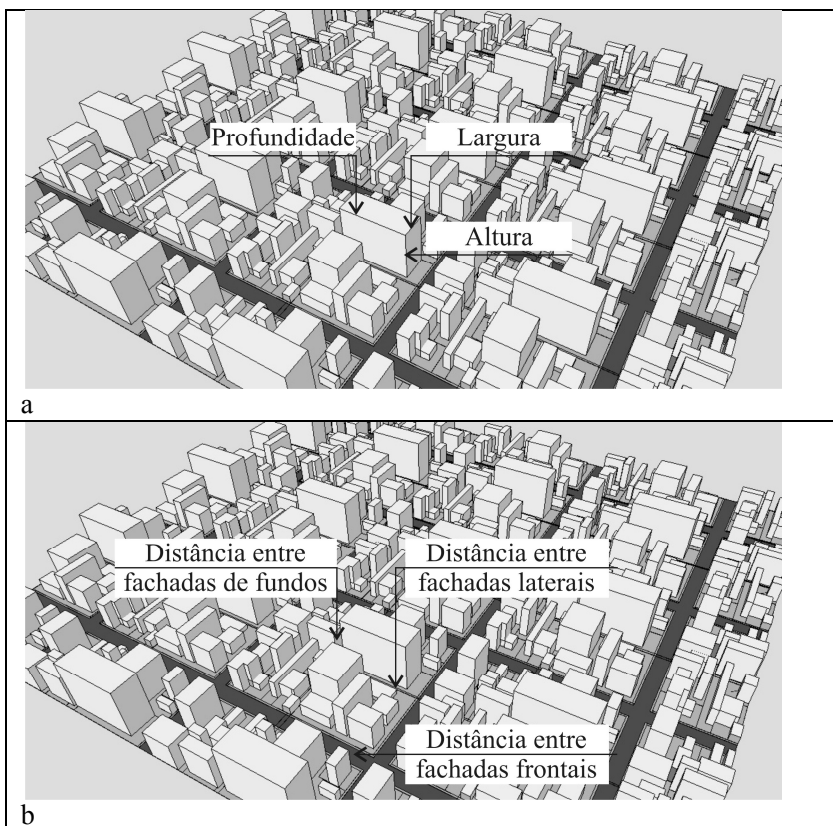


Figura 18 – Exemplo de massa edificada, destacando-se os parâmetros envolvidos em sua volumetria em (a) e os representativos de suas principais relações com o entorno em (b).

Os parâmetros levantados – largura, profundidade e altura dos edifícios, e dimensões dos vazios entre fachadas frontais, laterais e de fundos – são os mais básicos para a visualização da massa edificada como volumetria e relações com o entorno. Admitindo-se algumas simplificações, pode-se chegar a relações entre os seis parâmetros citados. A largura do edifício é a subtração entre largura do lote e dois afastamentos laterais. A profundidade da edificação é a diminuição entre profundidade do lote e afastamentos frontal e de fundos. A distância entre fachadas frontais é igual à soma entre largura da via, incluindo calçadas, e dois afastamentos frontais. A dimensão entre fachadas

laterais é a adição entre dois afastamentos laterais. Por fim, o vazio entre fachadas de fundos é a união de dois afastamentos de fundos. A altura dos edifícios não possui relação automática com os outros parâmetros.

Nos cenários urbanos hipotéticos desta pesquisa, que serão detalhados no subitem 4.1.4, assumiu-se a igualdade entre afastamento lateral e de fundos, além da utilização das mesmas dimensões de lotes e vias em todos os cenários. Assim, pode-se afirmar que nos cenários simulados a largura dos edifícios estará em função dos afastamentos laterais e que a profundidade das construções estará em função dos afastamentos frontais e de fundos, que são iguais aos laterais. Com a intenção de se escolher dentre os seis parâmetros básicos aqueles que são imprescindíveis para a determinação da massa edificada, e perante as admissões realizadas, diminuiu-se o conjunto de parâmetros a serem alterados para três: *a.* altura dos edifícios, *b.* afastamento frontal, que entra na determinação da profundidade do edifício e na distância entre fachadas frontais, e *c.* afastamento lateral, que entra na determinação de largura e profundidade do edifício, de distância entre fachadas laterais e entre fachadas de fundos.

A razão entre distância entre fachadas frontais e altura dos edifícios, chamada de proporção WH, já mencionada no capítulo 3 de revisão bibliográfica, também se constitui como um parâmetro que identifica uma forma de relação dos volumes edificados com o entorno. Como o WH já tem sido objeto de investigação acústica, seu estudo foi incluído nos cenários. Para facilitar a obtenção da razão WH, o parâmetro afastamento frontal será discutido como distância entre fachadas frontais, ou seja, a soma entre dois afastamentos frontais e a largura da via, que é a mesma em todos os cenários.

Após a discussão sobre a formação da massa edificada como volumetria e relação com o entorno, conclui-se que os quatro parâmetros que serão foco de alterações nos cenários a serem simulados são: afastamento lateral, que na presente pesquisa será conhecido como AL, altura dos edifícios, H, distância entre fachadas frontais, W, e proporção WH. Todos os parâmetros da massa edificada citados estão demonstrados na Figura 19.

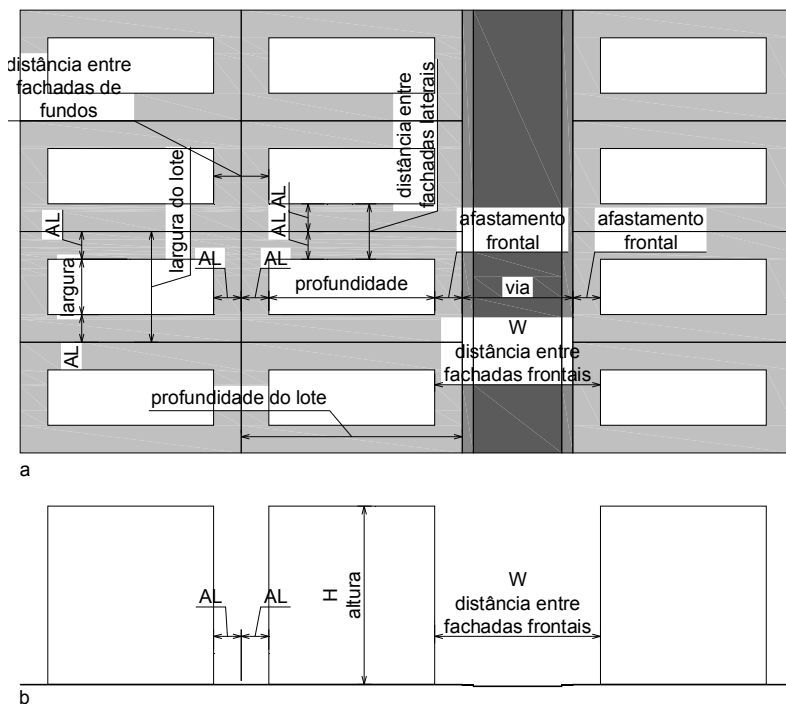


Figura 19 – Planta baixa (a) e corte (b) esquemáticos demonstrando parâmetros envolvidos nos cenários urbanos simulados, sendo que AL é a abreviação para afastamento lateral.

Como já mencionado, é comum notar que em diversas cidades brasileiras a massa edificada tende a ser moldada pelos índices urbanísticos das legislações municipais de zoneamento (PEREIRA, 2001). Assim, como ponto de partida para a construção de cenários urbanos hipotéticos que não sejam irreais do ponto de vista de dimensionamento, a forma de determinação dos quatro parâmetros selecionados para a pesquisa foi observada levando-se em consideração índices urbanísticos do Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis (PMF, 1998).

#### 4.1.2.1 Índices urbanísticos em Florianópolis

Como mencionado anteriormente, o Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis (PMF, 1998) rege o potencial construtivo de acordo com os indicadores taxa de ocupação e índice de aproveitamento,

enquanto o posicionamento dos volumes edificados no lote é regulado através dos afastamentos mínimos frontal, lateral e de fundos.

Considerando-se um edifício com a forma de um paralelepípedo simples, tem-se que a taxa de ocupação é a porcentagem que a área da base do volume edificado ocupa sobre a área do lote, enquanto o índice de aproveitamento é a divisão entre a área total construída, ou seja, a área da base do volume multiplicada pelo número de pavimentos projetados, e a área do lote. Percebe-se que os dois indicadores possuem relação com os parâmetros largura e profundidade do edifício, já que envolvem a área do volume edificado, mas, não possuem relação direta com a altura do edifício, já que a altura dos pavimentos projetados pode variar em cada empreendimento. Mesmo que a importância dos indicadores taxa de ocupação e índice de aproveitamento para o planejamento urbano de Florianópolis seja conhecida, e mesmo que eles estejam implícitos nos cenários elaborados, tais indicadores não serão investigados na presente pesquisa, pois envolvem dois parâmetros que não são específicos das dimensões mensuráveis da massa edificada vista como volumetria e relação com o entorno: número de pavimentos e área do lote.

É importante ressaltar que a idéia central da pesquisa não é realizar um estudo sobre como os índices urbanísticos contidos no plano de Florianópolis influenciam os ambientes sonoros para o usuário da cidade. Mas, para se ter um ponto de partida para a formulação dos cenários, e para que os mesmos não contenham dimensionamentos irreais, observou-se a forma de obtenção dos quatro parâmetros já escolhidos: afastamento lateral, altura dos edifícios, distância entre fachadas frontais, e proporção WH, pelos índices do plano de Florianópolis.

Observando-se a forma de determinação de afastamentos frontais, laterais e de fundos do Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis (PMF, 1998), ilustrados na Figura 20, nota-se que o afastamento frontal mínimo é de 4 m, sendo que, dependendo da altura da edificação ele deve ser maior, obedecendo a um ângulo  $\alpha$  máximo de  $70^\circ$  formado entre o solo e uma reta que une o centro da via e o topo do edifício. Os afastamentos laterais e de fundos deverão ser de, no mínimo, 1,5 m para edificações com até dois pavimentos e de 3 m para edificações com mais de dois pavimentos, sendo que deverão ser maiores conforme a proporção de 1/5 da altura proposta para o edifício. Em uma pequena porção do Centro de Florianópolis, o afastamento lateral poderá ser de 1/7 da altura da edificação.



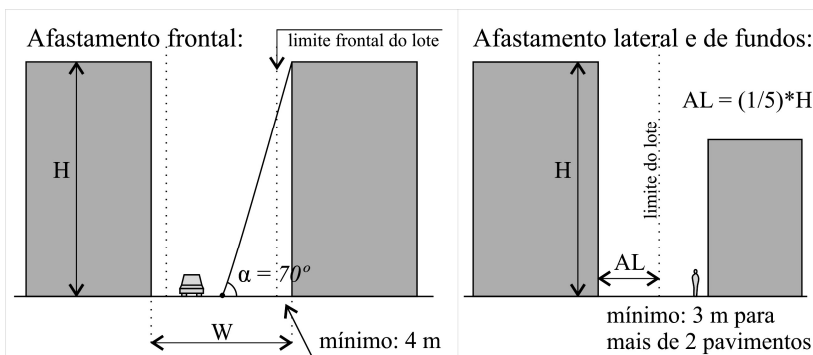


Figura 20 – Ilustração das relações utilizadas para determinação de afastamentos frontal, lateral e de fundos no Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis.

Nota-se que a estratégia aplicada para o estabelecimento dos afastamentos mínimos em Florianópolis se baseia em relações entre altura da edificação e largura dos vazios. Assim sendo, o dimensionamento dos quatro parâmetros da massa edificada selecionados para a investigação: afastamento lateral, altura de edifícios, distância entre fachadas frontais e proporção  $WH$ , segundo o plano da cidade, expressaria a inter-relação entre os fatores altura de edifícios e vazios urbanos.

Como já mencionado anteriormente, os seis parâmetros básicos para a visualização da massa edificada como volumetria e relação com o entorno são: largura, profundidade e altura do edifício, e distância entre fachadas frontais, laterais e de fundos. Como já citado, os parâmetros investigados na pesquisa possuem inter-relações e são dependentes uns dos outros, auxiliando na determinação dos seis parâmetros básicos citados. Pode-se observar que: a distância entre fachadas frontais,  $W$ , está envolvida na proporção  $WH$  e na determinação da profundidade do edifício, por meio da dimensão do afastamento frontal, o afastamento lateral,  $AL$ , entra na determinação de largura e profundidade do edifício, de distância entre fachadas laterais e entre fachadas de fundos. O parâmetro proporção  $WH$  envolve a distância entre fachadas frontais e altura dos edifícios. Por fim, buscando mais uma relação da altura dos edifícios com os outros fatores, admitiu-se a relação entre afastamentos e altura, assim como encontrado no Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis (PMF, 1998). Ou seja, todos os quatro parâmetros investigados são inter-dependentes, sendo que a distância entre fachadas frontais será determinada pela proporção  $WH$  e o afastamento lateral e

de fundos será determinado por uma razão que multiplica a altura edificada.

O primeiro dos parâmetros, o afastamento lateral, segue por uma lacuna identificada na revisão bibliográfica, já que não foram encontrados estudos que discutam, de forma direta, a relação entre dimensão dos afastamentos entre edifícios e os níveis sonoros no ambiente urbano.

Os outros três parâmetros, a altura dos edifícios, a distância entre fachadas frontais e a proporção WH, foram selecionados visando conferir se os comportamentos identificados para a relação desses fatores com os níveis de ruído urbano se assemelham aos já levantados em outros estudos.

### **4.1.3 Estudo Preliminar**

Após a definição dos parâmetros de interesse na análise, realizou-se um estudo preliminar contendo simulações de diferentes cenários de ocupação urbana. A intenção das simulações é aprimorar o método proposto e observar o comportamento dos ajustes de parâmetros efetuados em 4.1.1.1. Nos cenários optou-se pela regularidade e simetria na distribuição das vias, dos lotes e dos edifícios, já que, com tal geometria, o resultado de mapeamento sonoro é mais previsível, com a propagação sonora se comportando de forma conhecida.

Primeiramente definiu-se o cenário sem construções, com nove quadras de 100 x 100 m, cada uma delas contendo quatro lotes de 50 x 50 m e ruas com 18 m de largura, sendo 6 m de via, 6 m de estacionamento e 6 m de calçadas. A fonte sonora utilizada foi a mesma que a mencionada no item 4.1.1.1, que se refere a dados reais do tráfego da Avenida Mauro Ramos em Florianópolis. O procedimento de análise foi composto pela comparação entre seções transversais centrais e mapas de ruído a 4 m de altura, gerados para cada cenário urbano. Como explicado anteriormente no subitem 4.1.1.1, os mapas do estudo preliminar não foram feitos à 1,5 m a partir do solo, pois essa decisão foi tomada cronologicamente após a realização do estudo preliminar e se destina à elaboração dos mapas sobre os quais são extraídos os resultados do subitem 4.2. Nos resultados obtidos para o cenário sem construções, Figura 21, pode se observar a atenuação sonora pela distância.

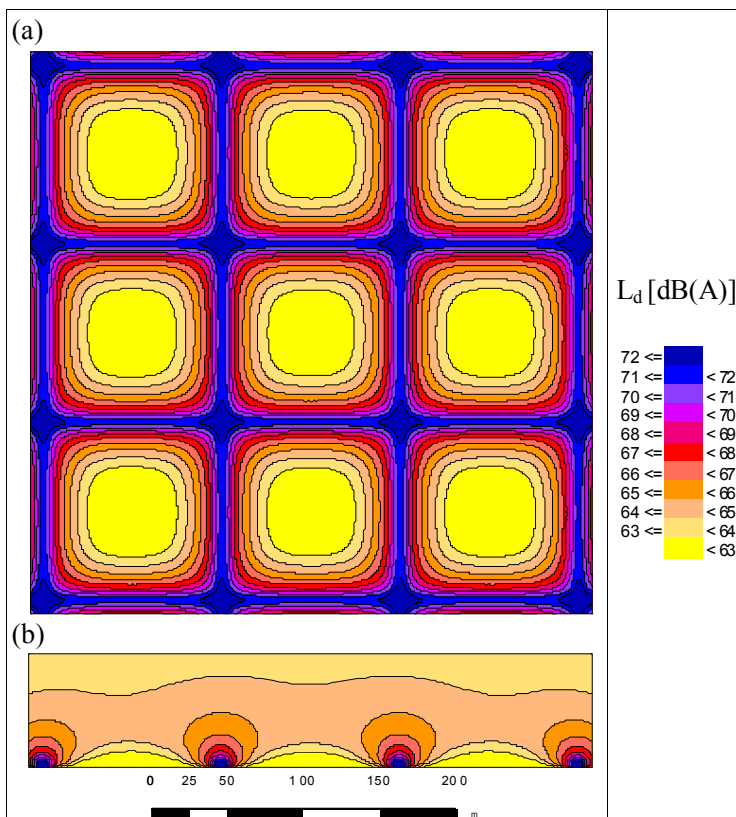


Figura 21 – Mapeamento sonoro à altura de 4 m (a) e seção transversal central (b) do cenário sem edifícios do estudo preliminar.

Para diminuir o espaço ocupado pela apresentação de cada resultado, os mapas e seções transversais serão recortados em torno apenas da quadra central, que é representativa do comportamento acústico de todas as outras quadras do cenário. O recorte da situação desocupada é demonstrado na Figura 22.

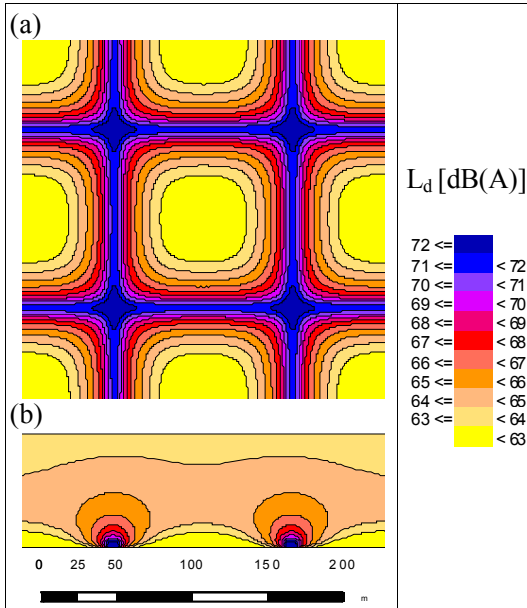


Figura 22 – Recortes do mapeamento sonoro à altura de 4 m (a) e seção transversal central (b) do cenário sem edifícios do estudo preliminar.

Como mencionado anteriormente, no Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis (PMF, 1998) a determinação dos afastamentos mínimos se baseia nas proporções entre altura da edificação e largura dos vazios. A relação entre altura e afastamento frontal nasce do ângulo  $\alpha$  de  $70^\circ$ , mencionado anteriormente, enquanto o afastamento lateral e de fundos corresponde a  $1/5$  da altura da edificação.

Os cenários elaborados para o estudo preliminar aplicaram o mesmo conceito identificado no plano diretor de Florianópolis, sendo que para a relação entre distância entre fachadas frontais e altura do edifício, proporção WH, foram estabelecidas razões de 1:0,5, 1:1 e 1:2, produzindo ângulos  $\alpha$  de, aproximadamente,  $45^\circ$ ,  $63^\circ$  e  $76^\circ$ , respectivamente. Para os afastamentos laterais, AL, foram determinadas razões de  $1/7$ ,  $1/5$ ,  $1/3$  e  $1/2$  da altura do edifício, H, além da consideração da não ocorrência de afastamento lateral. Essas informações estão condensadas na Tabela 5.

Utilizando-se as relações escolhidas, foram criados nove cenários que estão organizados na Tabela 6, segundo os três parâmetros da massa edificada que são testados no estudo preliminar: altura dos edifícios H, distância entre fachadas frontais W e afastamento lateral AL. É

importante ressaltar que na distância entre fachadas frontais estão incluídos os afastamentos frontais e a largura da via, de 18 m.

**Tabela 5 – Índices adotados para as simulações do estudo preliminar**

Relação entre distância entre fachadas frontais e altura de edifícios – proporção WH	WH	$\alpha$
	1:0,5	45°
	1:1,0	63°
	1:2,0	76°
Fórmulas para determinação do afastamento lateral AL e afastamento de fundos AF	0H	
	(1/7)H	
	(1/5)H	
	(1/3)H	
	(1/2)H	

**Tabela 6 – Cenários gerados para o estudo preliminar**

Cenários	Altura de edifícios H [m]	Distância entre fachadas frontais W [m]	Afastamento lateral AL = afastamento de fundos AF [m]
Grupo de investigação sobre a influência da altura dos edifícios:			
A	18	1:0,5 = 36	0
B	36	1:1,0 = 36	0
C	72	1:2,0 = 36	0
Grupo de investigação sobre a influência da distância entre fachadas frontais:			
D	36	1:2,0 = 18	0
B	36	1:1,0 = 36	0
E	36	1:0,5 = 72	0
Grupo de investigação sobre a influência dos afastamentos laterais:			
B	36	1:1 = 36	0
F	36	1:1 = 36	(1/7)H = 5,15
G	36	1:1 = 36	(1/5)H = 7,20
H	36	1:1 = 36	(1/3)H = 12,0
I	36	1:1 = 36	(1/2)H = 18,0

Os resultados dos mapeamentos sonoros foram manipulados buscando-se privilegiar a observação da influência apenas da volumetria e distribuição dos edifícios nos níveis sonoros, sem interferências de outros fatores, e ainda melhorar a visualização gráfica do efeito acústico da inserção da massa edificada. A maneira encontrada para expressar, de forma clara, o quanto uma determinada forma urbana contribuiu para a

configuração de diferentes ambientes sonoros foi a subtração dos resultados obtidos de cada cenário que possui edificações pelo resultado encontrado para o cenário sem edifícios, apresentado na Figura 22.

Considerando-se que um cenário tem edifícios e o outro não, as diferenças encontradas pela diminuição entre os dois resultados demonstram qual a contribuição que a inserção daquele tipo de massa edificada tem nos níveis sonoros urbanos da situação sem edifícios. As diferenças entre níveis sonoros demonstradas nos mapeamentos buscam representar dois efeitos divergentes decorrentes da introdução de massa edificada no cenário: a adição ao ruído de tráfego rodoviário que se desenvolve no cenário sem edificações, ou a diminuição de tal ruído. A operação de subtração entre mapas, que tem como produto o que se denominou nesta pesquisa como mapeamento de contribuição sonora, é exemplificada na Figura 23, envolvendo a diminuição dos resultados do cenário A e o cenário sem edifícios.

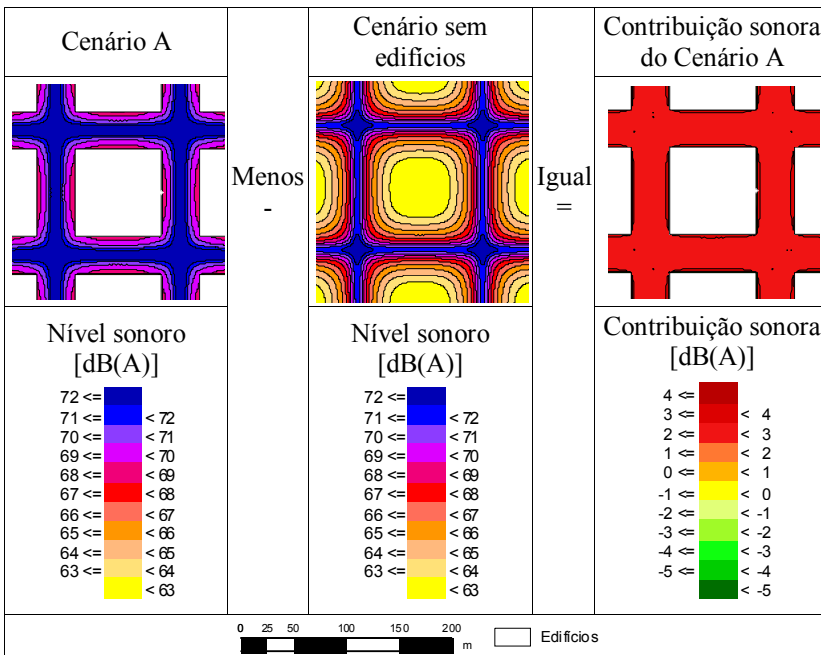


Figura 23 – Exemplo da obtenção do mapa de contribuição sonora do cenário A do estudo preliminar.

Os mapeamentos de contribuição sonora das situações elaboradas para o estudo preliminar, obtidas através da operação de subtração discutida anteriormente, são apresentados nas Figuras 24 a 26.

O primeiro conjunto comparativo envolveu os cenários A, B e C, procurando-se observar a influência da variação das alturas das edificações. Nessas situações, o afastamento lateral e de fundos é nulo e a distância entre fachadas frontais é de 36 m, o que se reflete em um afastamento frontal de 9 m. Considerando-se as proporções descritas na Tabela 5, têm-se 18 m, 36 m e 72 m para as alturas dos edifícios, respectivamente, 6, 12 e 24 pavimentos.

Observa-se, pelos resultados da Figura 24, que com o aumento das alturas dos edifícios, a contribuição de adição aos níveis sonoros também cresce. Os prédios com 18 m de altura do cenário A produziram acréscimo entre 2 e 3 dB(A) e os de 36 e 72 m de H, cenários B e C, entre 3 e 4 dB(A), o que demonstra a ocorrência de estabilidade do nível sonoro urbano a partir de certa proporção da via. Como visto anteriormente, essa questão já está bem consolidada, já sendo incluída nas fórmulas da RLS90 a partir do fator *multiple reflection*.

O segundo grupo de comparação englobou os cenários D, B e E, que possuem afastamentos frontais diferentes entre si. Considerou-se o afastamento lateral e de fundos nulo e 36 m de altura para todos os edifícios, ou seja, 12 pavimentos. Assim, analisando-se as proporções de 1:0,5, 1:1 e 1:2, encontra-se a necessidade de 18, 36 e 72 m de distância entre fachadas frontais, obtendo-se 0, 9 e 27 m de afastamento frontal, respectivamente.

Observando-se os mapas de contribuição sonora apresentados na Figura 25, nota-se que, com o aumento dos afastamentos frontais, a adição nos níveis sonoros decresce. O afastamento frontal de 27 m, ou seja, distância entre fachadas frontais de 72 m, produziu um acréscimo entre 1 e 3 dB(A) e os outros dois cenários entre 3 e 4 dB(A). Comparando-se as adições sonoras alcançadas entre o grupo que estudou o aumento de alturas e o grupo que focou na ampliação de afastamentos frontais, percebe-se que o nível sonoro produzido é mais sensível à variação da distância entre fachadas frontais.

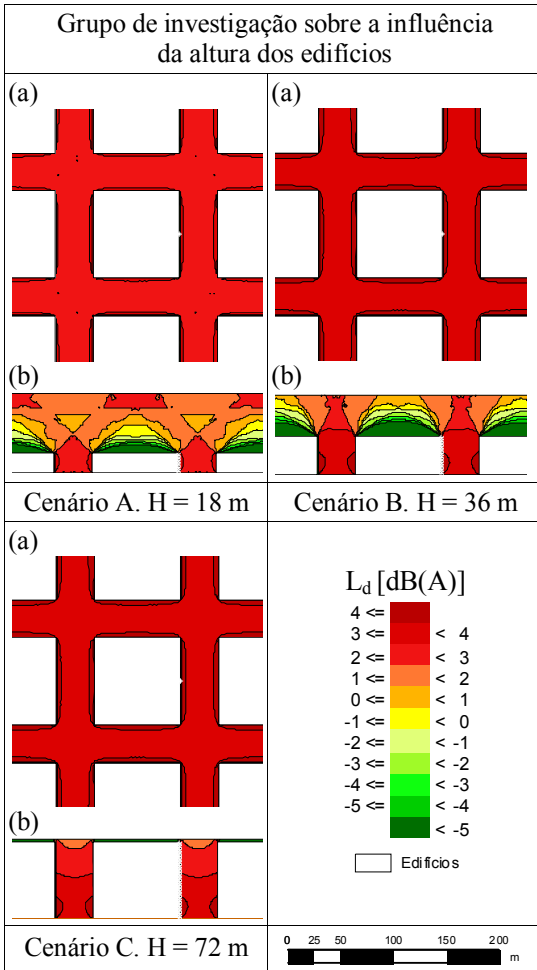


Figura 24 – Grupo de investigação sobre a influência da altura dos edifícios, com os mapas de contribuição sonora (a) e seções transversais (b) dos cenários A, B e C do estudo preliminar.



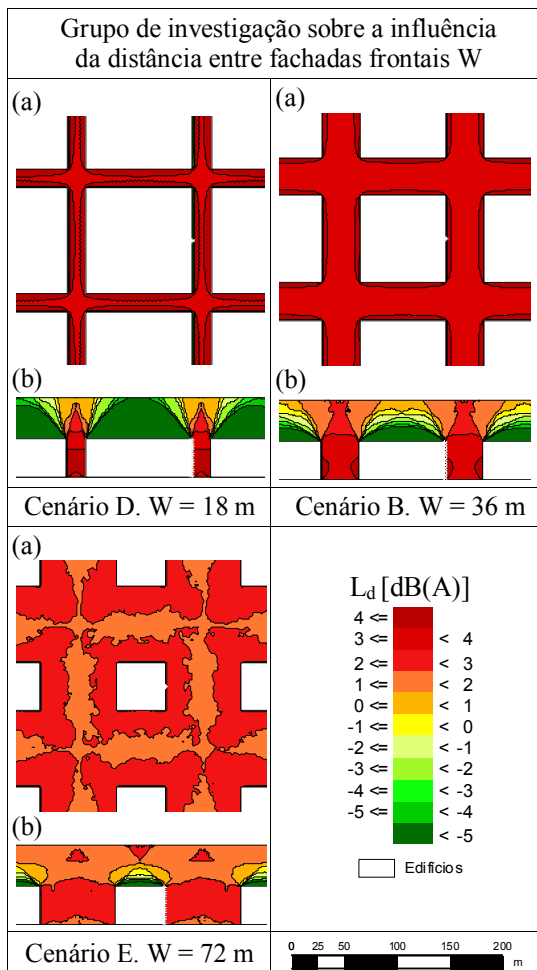


Figura 25 – Grupo de investigação sobre a influência da distância entre fachadas frontais, com os mapas de contribuição sonora (a) e seções transversais (b) dos cenários D, B e E do estudo preliminar.

O terceiro agrupamento de situações proporcionou a investigação entre diferentes afastamentos laterais. Houve o congelamento da altura das edificações em 36 m e dos afastamentos frontais em 9 m. De acordo com as proporções para afastamento lateral citadas anteriormente, obteve-se 5,15; 7,2; 12 e 18 m, além de também envolver o afastamento lateral nulo. São, portanto, cinco cenários: B, F, G, H e I e os resultados são apresentados na Figura 26.

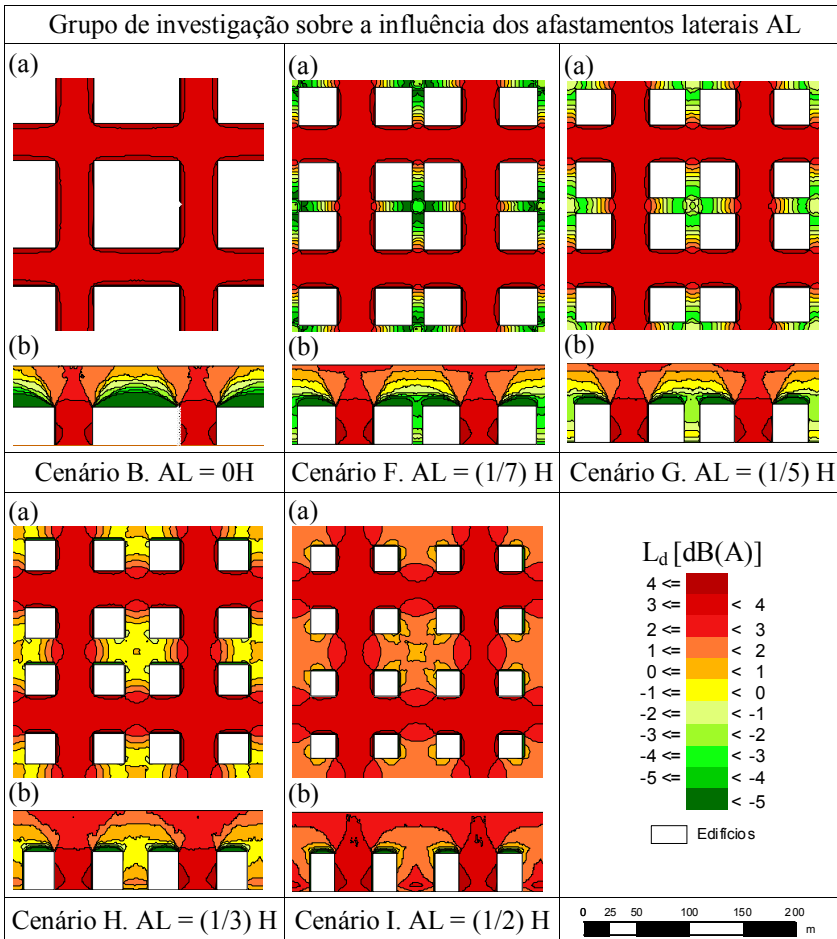


Figura 26 – Grupo de investigação sobre a influência dos afastamentos laterais, com os mapas de contribuição sonora (a) e seções transversais (b) dos cenários B, F, G, H e I do estudo preliminar.

As considerações sobre a análise dos mapas de contribuição sonora dispostos na Figura 26 podem ocorrer tanto no vazio frontal ao edifício, ou seja, próximo à rua, na calçada, como no vazio posterior à edificação. Observa-se que com o aumento dos afastamentos laterais, o acréscimo nos níveis sonoros na calçada se mantém similar. Próximo ao afastamento entre edifícios ocorre uma diminuição de cerca de 1 dB(A).

Já para o vazio posterior ao edifício, observa-se que com o aumento dos afastamentos laterais, a contribuição de diminuição dos níveis sonoros se reduz. A introdução das edificações proporcionou um aspecto positivo nos casos onde o afastamento lateral é de  $1/7$ ,  $1/5$  e  $1/3$  da altura, criando zonas no interior da quadra onde os níveis são menores que a situação desocupada de edifícios. Essa diminuição nos níveis sonoros é relacionada com a proteção acústica que as edificações fornecem a um sujeito no interior da quadra.

Com a elaboração do estudo preliminar definiu-se que os mapas serão elaborados à altura de 1,5 m para representarem adequadamente os níveis encontrados próximos ao ser humano que transita pelos espaços abertos da cidade. Com isso, não haverá a necessidade de elaboração de seções transversais. Outra conclusão é de que as linhas que demonstram os limites das calçadas deverão ser apresentadas, para facilitar a visualização das regiões do pedestre e do indivíduo internamente aos lotes.

Outro desdobramento foi a percepção de que se deve aumentar a área mapeada, com a inclusão de mais quadras e vias, visando um resultado acústico mais homogêneo no centro dos cenários urbanos e a melhor representação da escala urbana da massa edificada.

Por fim, o tamanho de lotes das situações será modificado tendo em vista a similaridade com dimensões urbanas mais reais. Para tanto, utilizou-se uma das áreas mínimas de lotes indicadas para novos loteamentos pelo Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis (PMF, 1998).

#### **4.1.4 Definição dos cenários urbanos para simulação**

Os cenários urbanos dos quais são observados os resultados finais desta pesquisa, apresentados no item 4.2, foram determinados após as conclusões do estudo preliminar. Tais cenários se compõem de um conjunto de 49 quadras, cada uma delas com oito lotes de 30 x 34 m, que é o lote mínimo indicado para a zona residencial predominante ARP-7 do Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis (PMF, 1998). A justificativa por se escolher a dimensão de lote da zona ARP-7 reside no fato de que tal dimensão de lote possui a maior área indicada para expansões urbanas residenciais no plano de Florianópolis, lembrando-se que o citado plano é o ponto de partida para a elaboração dos cenários da pesquisa, buscando-se um dimensionamento mais realista dos mesmos. O lote de 30x34 m possibilita uma maior liberdade na alteração

dos afastamentos, sem prejudicar a realidade arquitetônica das dimensões de largura e profundidade dos edifícios. O cenário sem edifícios pode ser observado na Figura 27.

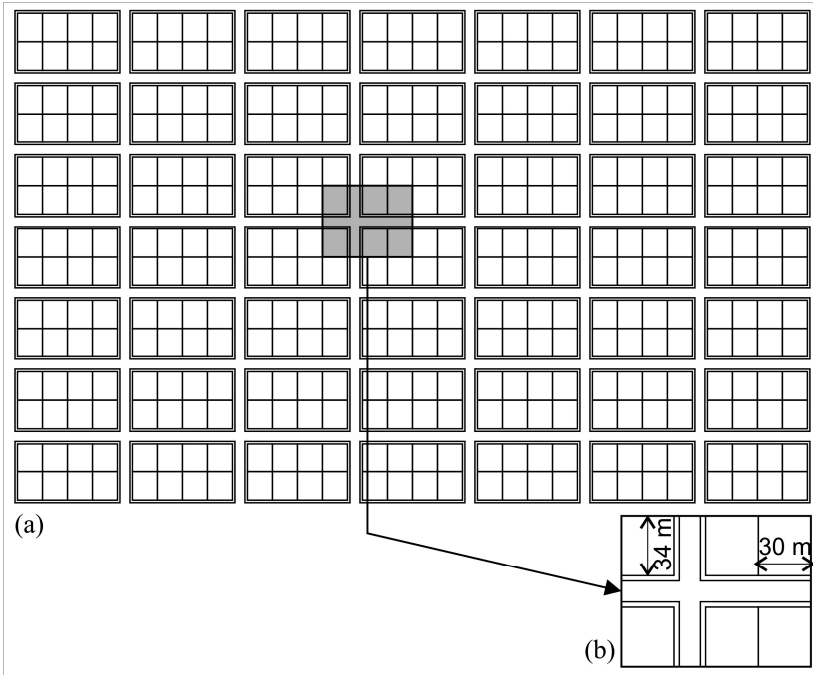


Figura 27 – Planta baixa esquemática (a) e ampliação (b) do cenário sem edifícios, para a análise final.

Todas as ruas dos casos simulados possuem 18 m de largura, abrangendo calçadas, laterais para estacionamento e pistas, como representado no perfil ilustrado na Figura 28. Essa dimensão de via também foi adotada anteriormente no estudo preliminar apresentado no item 4.1.3. Os dados de fluxo de tráfego da Avenida Mauro Ramos, já mencionados no item 4.1.1.1 e empregados no estudo preliminar no item 4.1.3, também foram inseridos como características acústicas da fonte sonora, no caso, as vias.

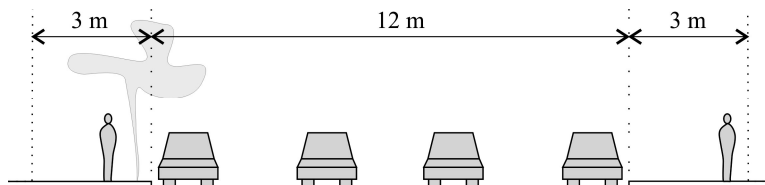


Figura 28 – Perfil adotado para as vias dos cenários urbanos simulados.

Como já citado, no Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis (PMF, 1998), a definição dos afastamentos mínimos entre edifício e limites do lote se baseia nas relações entre altura da edificação e largura dos vazios. Esse conceito foi considerado para a elaboração dos cenários urbanos para simulação.

Observando-se a Figura 20, percebe-se que quando o centro da via coincide com o ponto médio da distância entre fachadas frontais, o ângulo  $\alpha$  proposto como estratégia para determinação de afastamento frontal pode ser traduzido como sendo uma relação entre a distância entre fachadas frontais,  $W$ , e a altura do prédio em questão,  $H$ . Essa razão entre essas duas medidas já foi citada anteriormente, sendo um dos objetos de estudo da pesquisa de Van Renterghem, Salomons e Botteldooren (2006). Esse parâmetro, conhecido como proporção  $WH$ , proveniente do inglês *width and height*, vem sendo discutido de forma relevante em pesquisas de conforto ambiental no meio urbano, como já citado (OLIVEIRA e ROMERO, 2007). Assim, a elaboração dos cenários partiu da definição de proporções  $WH$  específicas, que podem ser analisadas também por seus ângulos  $\alpha$  correspondentes.

Primeiramente, as proporções  $WH$  1:0,5; 1:0,75; 1:1; 1:1,5 e 1:2 foram escolhidas por serem razões mais simples do ponto de vista matemático. Inicialmente as situações foram pensadas para a distância entre fachadas frontais,  $W$ , igual a 18 m, ou seja, sem afastamento frontal, já que a via possui 18 m de largura. Considerando-se as proporções citadas tem-se 9, 13,5, 18, 27 e 36 m para as alturas de edifícios, respectivamente. A intenção é que exista uma correspondência da altura dos edifícios com números de pavimentos que contam com 3 m de pé-direito, dessa forma, a altura de edifício de 13,5 m foi descartada.

De forma análoga, foram desenvolvidos cenários considerando-se os valores de 18, 27 e 36 m de altura para os prédios, números que surgiram do primeiro desdobramento. Considerando-se respectivamente

as proporções de 1:0,5; 1:0,75; 1:1; 1:1,5 e 1:2, tem-se, para 18 m de altura: 36, 24, 18, 12 e 9 m de distâncias entre fachadas frontais, respectivamente. Mas, lembrando que a largura da via considerada nos cenários é de 18 m, as distâncias de 12 e 9 m foram descartadas, pois as edificações avançariam sobre as calçadas. Para 27 m de altura tem-se 54, 36, 27, 18 e 13.5 m e para 36 m de altura tem-se 72, 48, 36, 24 e 18 m. As distâncias de 48, 54 e 72 m foram descartadas já que os afastamentos frontais, respectivamente de 15, 18 e 27 m, seriam muito grandes para os lotes considerados nos cenários. A distância de 13.5 m também foi descartada, pois é menor do que a largura da via.

Partindo-se dos novos valores obtidos para distância entre fachadas frontais, 36, 27 e 24 m, e considerando-se as proporções WH de 1:0,5; 1:0,75; 1:1; 1:1,5 e 1:2, tem-se mais cinco cenários. Um deles possui 36 m de distância entre fachadas e 54 m de altura de edifício; outro conta com 27 m de distância entre fachadas e 54 m de altura e outros três possuem 24 m de distância entre fachadas, com 12, 24 e 48 m de altura para as edificações. Alguns cenários que poderiam ser produzidos foram descartados em virtude de a altura edificada ser muito elevada.

Considerando-se a altura de edificações igual a 24 m, têm-se mais um valor de distância entre fachadas frontais: 32 m. Para completar o quadro dos cenários com proporções de 1:0,5; 1:0,75; 1:1; 1:1,5 e 1:2, mais duas situações foram adicionadas, com distância entre fachadas frontais igual a 30m: uma com altura edificada de 15 m e outra com 30 m.

Em resumo, a menor distância entre fachadas frontais considerada nos cenários foi de 18m, que se iguala à largura da via e, assim, não possui afastamento frontal. A maior distância entre fachadas foi de 36 m, pois o afastamento frontal embutido na mesma, 9 m, ainda possibilitou o desenvolvimento de edifícios com dimensões compatíveis com a realidade arquitetônica. A menor altura de edificação considerada foi de 9 m, que surgiu da proporção 1:0,5 levando-se em conta a menor distância entre fachadas. A maior altura edificada nos cenários foi de 54 m, ou seja, 18 pavimentos, procurando não ultrapassar o limite empírico de 20 pavimentos como verticalização máxima observada em Florianópolis.

Com a intenção de abarcar mais algumas proporções na configuração dos cenários, fez-se um cruzamento entre as alturas de edifícios, 9, 12, 15, 18, 24, 27, 30, 36, 48 e 54 m, e as distâncias entre fachadas frontais, 18, 24, 27, 30, 32 e 36 m, descritas anteriormente. Dessa operação foram incluídos mais três casos que possuem como

proporção WH 1:0,67 e mais três com WH de 1:1,34. Os de relação 1:0,67 vieram do cruzamento entre 12, 18 e 24 m de altura de edificações com, respectivamente, 18, 27 e 36 m de distância entre fachadas frontais. O cruzamento entre 24, 36 e 48 m de altura de edifícios com 18, 27 e 36 m de distância entre fachadas, respectivamente, ocasionou os cenários com 1:1,34 de proporção WH. As variações mencionadas em WH, W e H, que desenvolveram os primeiros cenários, podem ser observadas através da Figura 29.

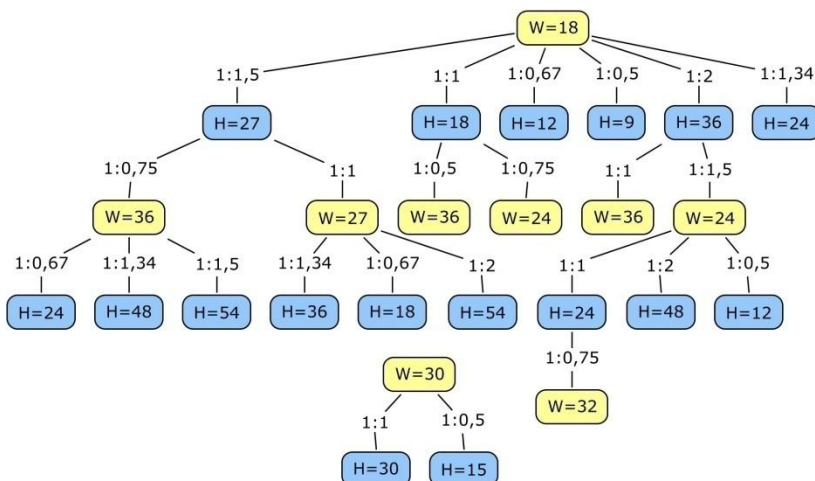


Figura 29 – Esquema de obtenção dos primeiros 24 cenários, com a variação de distância entre fachadas frontais W, altura de edifícios H e proporção WH.

Resumindo, as variações de altura edificada, distância entre fachadas frontais e proporção WH explicadas anteriormente desenvolveram 24 cenários. Sobre essas situações aplicaram-se os afastamentos laterais com as mesmas razões determinadas para o estudo preliminar: 1/7, 1/5, 1/3 e 1/2 da altura do edifício, além da consideração do afastamento lateral e de fundos nulo.

É importante ressaltar que todos os cenários nos quais se obtinham mais de 10 m de afastamento lateral foram descartados, já que tal afastamento dá origem a edifícios com larguras menores que 10 m, dimensão pouco comum na realidade arquitetônica de edifícios. Os índices adotados na formulação dos cenários estão condensados na Tabela 7.

**Tabela 7 – Índices adotados para os cenários urbanos analisados**

Relação entre distância entre fachadas frontais e altura de edifícios – proporção WH	WH	$\alpha$
	1 : 0,50	45°
	1 : 0,67	53°
	1 : 0,75	56°
	1 : 1,00	63°
	1 : 1,34	69°
	1 : 1,50	72°
	1 : 2,00	76°
Fórmulas para determinação do afastamento lateral AL e afastamento de fundos AF	0H	
	(1/7)H	
	(1/5)H	
	(1/3)H	
	(1/2)H	

Utilizando-se as relações entre afastamento lateral e altura de edifícios escolhidas, foram criados 94 cenários que estão organizados nas Tabelas 8 a 11. A nomenclatura será efetuada pela letra C, proveniente da palavra cenário, acrescido de um número de referência.



**Tabela 8 – Cenários urbanos com 18 m entre fachadas frontais**

Cenário	Distância entre fachadas frontais W [m]	Afastamento frontal [m]	Proporção WH	Altura dos edifícios H [m]	Fórmulas para AL e AF	Afastamento lateral AL [m]	
C1	18	0	1 : 0,5	9	0H	0,0	
C2					(1/7)H	1,3	
C3					(1/5)H	1,8	
C4					(1/3)H	3,0	
C5					(1/2)H	4,5	
C6			1 : 0,67	12	12	0H	0,0
C7						(1/7)H	1,7
C8						(1/5)H	2,4
C9						(1/3)H	4,0
C10						(1/2)H	6,0
C11			1 : 1	18	18	0H	0,0
C12						(1/7)H	2,6
C13						(1/5)H	3,6
C14						(1/3)H	6,0
C15						(1/2)H	9,0
C16			1 : 1,34	24	24	0H	0,0
C17						(1/7)H	3,4
C18						(1/5)H	4,8
C19			1 : 1,5	27	27	(1/3)H	8,0
C20						0H	0,0
C21						(1/7)H	3,9
C22						(1/5)H	5,4
C23			1 : 2	36	36	(1/3)H	9,0
C24						0H	0,0
C25						(1/7)H	5,1
C26			(1/5)H	7,2			

**Tabela 9 – Cenários urbanos com 24 m entre fachadas frontais**

Cenário	Distância entre fachadas frontais W [m]	Afastamento frontal [m]	Proporção WH	Altura dos edifícios H [m]	Fórmulas para AL e AF	Afastamento lateral AL [m]	
C27	24	3	1 : 0,5	12	0H	0,0	
C28					(1/7)H	1,7	
C29					(1/5)H	2,4	
C30					(1/3)H	4,0	
C31					(1/2)H	6,0	
C32			1 : 0,75	18		0H	0,0
C33						(1/7)H	2,6
C34						(1/5)H	3,6
C35						(1/3)H	6,0
C36						(1/2)H	9,0
C37			1 : 1	24		0H	0,0
C38						(1/7)H	3,4
C39						(1/5)H	4,8
C40						(1/3)H	8,0
C41			1 : 1,5	36		0H	0,0
C42						(1/7)H	5,1
C43						(1/5)H	7,2
C44			1 : 2	48		0H	0,0
C45	(1/7)H	6,9					
C46	(1/5)H	9,6					

**Tabela 10 – Cenários urbanos com 27, 30 e 32 m entre fachadas frontais**

Cenário	Distância entre fachadas frontais W [m]	Afastamento frontal [m]	Proporção WH	Altura dos edifícios H [m]	Fórmulas para AL e AF	Afastamento lateral AL [m]		
C47	27	4,5	1 : 0,67	18	0H	0,0		
C48					$(1/7)H$	2,6		
C49					$(1/5)H$	3,6		
C50					$(1/3)H$	6,0		
C51					$(1/2)H$	9,0		
C52			1 : 1	27	1 : 1	27	0H	0,0
C53							$(1/7)H$	3,9
C54							$(1/5)H$	5,4
C55			1 : 1,34	36	1 : 1,34	36	$(1/3)H$	9,0
C56							0H	0,0
C57							$(1/7)H$	5,1
C58							$(1/5)H$	7,2
C59			1 : 2	54	1 : 2	54	0H	0,0
C60							$(1/7)H$	7,7
C61	30	6	1 : 0,5	15	0H	0,0		
C62					$(1/7)H$	2,1		
C63					$(1/5)H$	3,0		
C64					$(1/3)H$	5,0		
C65					$(1/2)H$	7,5		
C66			1 : 1	30	1 : 1	30	0H	0,0
C67							$(1/7)H$	4,3
C68							$(1/5)H$	6,0
C69							$(1/3)H$	10,0
C70	32	7	1 : 0,75	24	0H	0,0		
C71					$(1/7)H$	3,4		
C72					$(1/5)H$	4,8		
C73					$(1/3)H$	8,0		

**Tabela 11 – Cenários urbanos com 36 m entre fachadas frontais**

Cenário	Distância entre fachadas frontais W [m]	Afastamento frontal [m]	Proporção WH	Altura dos edifícios H [m]	Fórmulas para AL e AF	Afastamento lateral AL [m]
C74	36	9	1 : 0,5	18	0H	0,0
C75					(1/7)H	2,6
C76					(1/5)H	3,6
C77					(1/3)H	6,0
C78					(1/2)H	9,0
C79			1 : 0,67	24	0H	0,0
C80					(1/7)H	3,4
C81					(1/5)H	4,8
C82			(1/3)H	8,0		
C83			1 : 0,75	27	0H	0,0
C84					(1/7)H	3,9
C85					(1/5)H	5,4
C86					(1/3)H	9,0
C87			1 : 1	36	0H	0,0
C88					(1/7)H	5,1
C89					(1/5)H	7,2
C90			1 : 1,34	48	0H	0,0
C91					(1/7)H	6,9
C92					(1/5)H	9,6
C93			1 : 1,5	54	0H	0,0
C94	(1/7)H	7,7				

A Figura 30, que demonstra um recorte gráfico da volumetria do cenário C32, exemplifica como os cenários se configuram espacialmente.

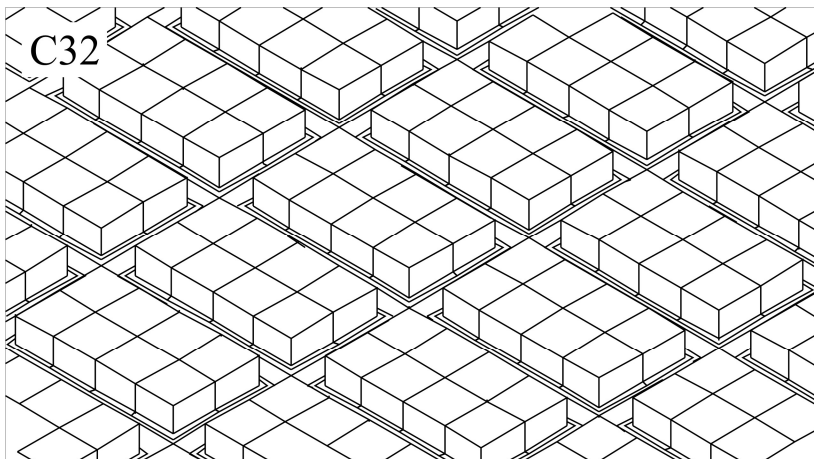


Figura 30 – Recorte gráfico da volumetria do cenário C32, com 24 m entre fachadas frontais, 18 m de altura de edifícios e 0 m de afastamento lateral.

Como já dito, os parâmetros da massa edificada analisados e envolvidos na elaboração dos cenários são: afastamento lateral  $AL$ , altura de edificações  $H$ , distância entre fachadas frontais  $W$  e proporção  $WH$ . Grupos de cenários foram formados para proceder à análise da influência de cada um dos quatro fatores na formulação dos ambientes sonoros para o indivíduo que utiliza os espaços abertos da cidade. Os grupos de comparação são compostos pelos cenários que possuem variação em apenas um dos parâmetros investigados neste trabalho.

Os cenários que possuem os valores de distância entre fachadas frontais e altura dos edifícios iguais foram agrupados, visando investigar o papel do parâmetro afastamento lateral. A Tabela 12 mostra os grupos formados, que serão denominados pelo padrão  $W_{xy}-H/m$ , referindo-se aos valores de distância entre fachadas frontais,  $W$ , e altura de edifícios,  $H$ , fatores comuns no grupo.

**Tabela 12 – Grupos de comparação com alterações nos afastamentos laterais e de fundos**

Grupo	Cenários	Grupo	Cenários	Grupo	Cenários	Grupo	Cenários
W18-H09	C1	W18-H12	C6	W18-H18	C11	W24-H12	C27
	C2		C7		C12		C28
	C3		C8		C13		C29
	C4		C9		C14		C30
	C5		C10		C15		C31
W18-H24	C16	W18-H27	C20	W24-H24	C37	W27-H27	C52
	C17		C21		C38		C53
	C18		C22		C39		C54
	C19		C23		C40		C55
W24-H18	C32	W27-H18	C47	W30-H15	C61	W36-H18	C74
	C33		C48		C62		C75
	C34		C49		C63		C76
	C35		C50		C64		C77
	C36		C51		C65		C78
W30-H30	C66	W32-H24	C70	W36-H24	C79	W36-H27	C83
	C67		C71		C80		C84
	C68		C72		C81		C85
	C69		C73		C82		C86
W18-H36	C24	W24-H36	C41	W24-H48	C44	W27-H36	C56
	C25		C42		C45		C57
	C26		C43		C46		C58
W36-H36	C87	D36-H48	C90				
	C88		C91				
	C89		C92				

Buscando-se avaliar a influência da altura dos edifícios, foram agrupados os cenários que possuem o mesmo valor de distância entre fachadas frontais e a mesma relação empregada para obtenção do afastamento lateral. A Tabela 13 mostra tais grupos, que são denominados pelo padrão  $W_{xy}-L_k$ , referindo-se aos valores de distância entre fachadas frontais,  $W$ , e ao fator que multiplica a altura do edifício

na fórmula para obtenção de afastamento lateral, que será chamado de L.

**Tabela 13 – Grupos de comparação com alterações na altura dos edifícios**

Grupo	Cenários	Grupo	Cenários	Grupo	Cenários	Grupo	Cenários
W18- L1/3	C4	W24- L1/5	C29	W36- L1/5	C76	W24- L1/7	C28
	C9		C34		C81		C33
	C14		C39		C85		C38
	C19		C43		C89		C42
	C23		C46		C92		C45
W18- L1/5	C3	W18- L1/7	C2	W36- L1/7	C75	W18- L0	C1
	C8		C7		C80		C6
	C13		C12		C84		C11
	C18		C17		C88		C16
	C22		C21		C91		C20
	C26		C25		C94		C24
W27- L1/7	C48	W24- L0	C27	W27- L0	C47	W36- L0	C74
	C53		C32		C52		C79
	C57		C37		C56		C83
	C60		C41		C59		C87
			C44				C90
							C93
W18- L1/2	C5	W24- L1/3	C30	W36- L1/3	C77	W27- L1/5	C49
	C10		C35		C82		C54
	C15		C40		C86		C58

Para analisar a influência das distâncias entre fachadas frontais, foram agrupados os cenários que possuem os valores de alturas dos edifícios iguais e mesma relação de determinação de afastamento lateral. A Tabela 14 demonstra esses agrupamentos, que são denominados pelo padrão  $H/m-Lk$ , referindo-se aos valores de altura de edifícios, H, e ao fator que multiplica a altura do edifício na fórmula para obtenção de afastamento lateral, L.

**Tabela 14 – Grupos de comparação com alterações nas distâncias entre fachadas frontais**

Grupo	Cenários	Grupo	Cenários	Grupo	Cenários	Grupo	Cenários
H18- L1/2	C15	H18- L1/3	C14	H24- L1/3	C19	H18- L1/5	C13
	C36		C35		C40		C34
	C51		C50		C73		C49
	C78		C77		C82		C76
H24- L1/5	C18	H36- L1/5	C26	H18- L1/7	C12	H24- L1/7	C17
	C39		C43		C33		C38
	C72		C58		C48		C71
	C81		C89		C75		C80
H36- L1/7	C25	H18- L0	C11	H24- L0	C16	H36- L0	C24
	C42		C32		C37		C41
	C57		C47		C70		C56
	C88		C74		C79		C87
H27- L1/3	C23	H27- L1/5	C22	H27- L1/7	C21	H27- L0	C20
	C55		C54		C53		C52
	C86		C85		C84		C83

Os cenários que possuem mesma proporção WH e mesma relação de determinação de afastamento lateral foram agrupados visando analisar a influência da razão existente no cânion urbano. A Tabela 15 mostra os grupos formados, que são denominados pelo padrão  $1:b-Lk$ , referindo-se aos valores de proporção WH e fator que multiplica H para obtenção de afastamento lateral, L.

O procedimento de análise foi composto pela comparação entre os mapas de contribuição sonora dos cenários que integram os grupos. Como realizado no estudo preliminar, item 4.1.3, os mapas de contribuição sonora foram elaborados a partir da diminuição dos resultados de cada cenário pelo resultado encontrado para a situação sem edifícios, possibilitando a avaliação da contribuição de cada tipo de forma urbana na propagação sonora.

Os parâmetros de cálculo utilizados no SoundPlan para a obtenção dos mapeamentos de contribuição sonora foram: *grid* de 3 m, *field size* de 3x3, *min/max* de 5 dB, *difference* de 0,15 dB, *reflection order* igual a 1 e altura de 1,5 m para os pontos de recepção.



Da mesma forma como realizado no estudo preliminar, os mapas gerados foram recortados em torno apenas da quadra central, visando-se diminuir o espaço ocupado pela apresentação de cada situação. Os mapeamentos de contribuição sonora dos 94 cenários simulados estão dispostos no apêndice A.

**Tabela 15 – Grupos de comparação com foco na proporção WH**

Grupo	Cenários	Grupo	Cenários	Grupo	Cenários	Grupo	Cenários
1:0,5-L0	C1	1:0,5-L1/7	C2	1:0,5-L1/5	C3	1:0,5-L1/3	C4
	C27		C28		C29		C30
	C61		C62		C63		C64
	C74		C75		C76		C77
1:0,67-L0	C6	1:0,67-L1/7	C7	1:0,67-L1/5	C8	1:0,67-L1/3	C9
	C47		C48		C49		C50
	C79		C80		C81		C82
1:0,75-L0	C32	1:0,75-L1/7	C33	1:0,75-L1/5	C34	1:0,75-L1/3	C35
	C70		C71		C72		C73
	C83		C84		C85		C86
1:1-L0	C11	1:1-L1/7	C12	1:1-L1/5	C13	1:1-L1/3	C14
	C37		C38		C39		C40
	C52		C53		C54		C55
	C66		C67		C68		C69
	C87		C88		C89		
1:1,34-L0	C16	1:1,34-L1/7	C17	1:1,34-L1/5	C18	1:0,5-L1/2	C5
	C56		C57		C58		C31
	C90		C91		C92		C65
							C78
1:1,5-L0	C20	1:1,5-L1/7	C21	1:2-L0	C24	1:2-L1/7	C25
	C41		C42		C44		C45
	C93		C94		C59		C60

Os intervalos de níveis sonoros especificados na legenda gráfica que acompanha os mapas, exposta na Figura 31, referem-se a acréscimos, quando o valor é positivo, ou reduções, quando o valor é negativo, aos níveis sonoros que ocorreriam no cenário sem edifícios.

Pode-se afirmar, então, que a introdução das edificações ocasiona tanto efeitos de cunho negativo, com acréscimo para a poluição sonora, como de aspecto positivo, diminuindo os níveis de ruído de tráfego, configurando-se como proteção acústica ao espaço aberto.

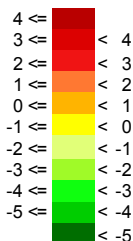


Figura 31 – Legenda gráfica que acompanha os mapeamentos de contribuição sonora.

No item 4.2, que trata da análise dos resultados, a comparação entre mapas foi expressa por número de intervalos apresentados na legenda gráfica. Como exemplo, se em um mapa o pedestre localizado na calçada está no interior de uma mancha que representa a adição entre 3 e 4 dB(A) e em outro mapa o mesmo transeunte está dentro de uma região de adição entre 1 e 2 dB(A), pode-se dizer que houve redução de dois intervalos para tal indivíduo, confrontando-se os dois cenários. Os

intervalos da legenda gráfica foram estabelecidos como sendo de 1 dB(A) buscando detalhar a influência dos parâmetros, sem ainda produzir manchas muito reduzidas em tamanho.

A comparação entre mapas objetivou investigar como a alteração do parâmetro da massa edificada em questão modificou a contribuição da inserção dos edifícios nos níveis sonoros para o usuário da cidade, sendo que as observações foram direcionadas para sete regiões de localização dos indivíduos. No espaço público a primeira localização do sujeito foi na rua, ou seja, foi avaliada a contribuição sonora da forma edificada para um transeunte atravessando a via, por exemplo. As contribuições sonoras para os pedestres que circulam nas calçadas foram analisadas em duas regiões: em frente às fachadas frontais e em frente aos afastamentos laterais entre edifício e limite do lote.

No espaço privado, ou seja, dentro do lote, existiram mais quatro áreas de observação. No afastamento frontal entre edifício e limite do lote foram pensados duas localizações do indivíduo: em frente às fachadas frontais e em frente aos afastamentos laterais, repetindo o posicionamento dos pedestres da calçada, mas agora no interior do lote. As outras duas regiões de investigação se localizaram nos fundos do lote, uma abrangendo a área atrás dos edifícios centrais e a outra englobando a região que fica nos fundos dos afastamentos laterais.

A comparação entre mapeamentos de contribuição sonora foi, portanto, realizada para cada região de localização do usuário da cidade e de acordo com cada parâmetro investigado: afastamento lateral, AL,

altura de edifícios, H, distância entre fachadas frontais, W e proporção WH.

No interior das quadras dos cenários mapeados ocorreram valores de redução sonora elevados, chegando a -15 dB(A) em alguns casos. Analisando-se a legenda gráfica da Figura 31 é possível notar que o limite inferior de contribuição sonora foi considerado como -5 dB(A). Portanto, para se observar com mais clareza o comportamento sonoro dentro da quadra, os resultados de cada cenário foram também mapeados com legenda gráfica contendo apenas valores menores que zero. Esses mapas intermediários serviram como apoio para as observações feitas para as regiões de localização do indivíduo atrás dos edifícios centrais e nos fundos dos afastamentos laterais. Os valores máximos de redução sonora encontrados nos mapas intermediários para as duas regiões citadas foram anotados e convertidos em gráficos que estão dispostos nos apêndices B, C e D, dessa forma, não houve a necessidade da apresentação dos mapeamentos intermediários.

Os apêndices B, C e D contêm gráficos que se constituíram como material de auxílio na interpretação de fenômenos observados na comparação entre mapeamentos de contribuição sonora. Tais gráficos foram utilizados para confirmar os comportamentos verificados nos mapeamentos e demonstrar com mais clareza a interdependência entre parâmetros. No item 4.2, sobre os resultados, os gráficos foram destacados apenas onde se fizeram necessários.

Além dos gráficos realizados por meio da observação dos mapas intermediários com legenda gráfica contendo apenas valores de diminuição, outros gráficos foram obtidos através do cálculo, realizado pelo SoundPlan, do nível sonoro em cinco pontos de recepção a 1,5 m do solo. Tais pontos procuram traduzir as cinco regiões de observação do usuário urbano nas partes em frente aos edifícios. Os pontos A, B, C, D e E estão indicados no modelo genérico da Figura 32.

Para se obter a contribuição sonora para a formulação dos gráficos procedeu-se a realização da mesma operação de subtração ocorrida para os mapas: cada nível sonoro encontrado para um determinado usuário em certo cenário urbano foi subtraído do nível sonoro obtido para a mesma localização de usuário no cenário desocupado de edifícios. Os valores assim calculados, e também os observados para os dois indivíduos nos fundos dos lotes, estão dispostos para cada localização de cidadão nos apêndices B, C e D.

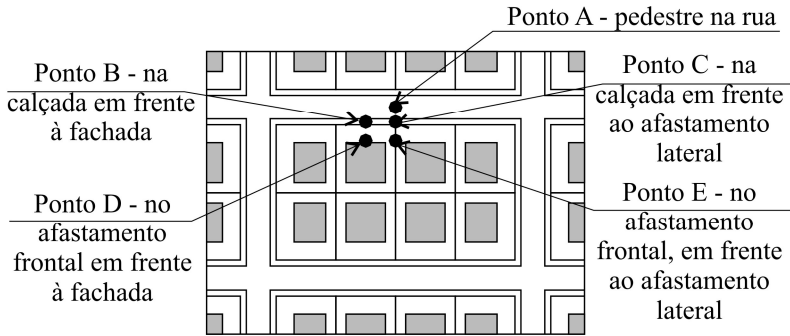


Figura 32 – Pontos de recepção sonora utilizados para a elaboração de gráficos.

No apêndice B tem-se gráficos com os valores encontrados para os 94 cenários organizados de forma a facilitar a compreensão da influência dos parâmetros afastamento lateral, AL, e altura de edificações, H, na contribuição sonora. No apêndice C, os mesmos dados estão agrupados de forma a demonstrar a influência do parâmetro distância entre fachadas frontais, W, enquanto no apêndice D os resultados dos 94 cenários foram organizados de acordo com a proporção WH.

Quando houve necessidade de se confirmar as tendências da influência do parâmetro sobre as contribuições sonoras observadas nos mapeamentos, a análise dos gráficos foi feita de forma qualitativa, portanto, apenas diferenças maiores que 0,5 dB(A) entre cenários foram consideradas para indicação de comportamento.

## 4.2 RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ENTRE MAPAS DE CONTRIBUIÇÃO SONORA

Os resultados da comparação entre os mapeamentos de contribuição sonora e a análise dos gráficos, que buscaram avaliar a influência dos parâmetros selecionados nos níveis sonoros para o usuário dos espaços abertos urbanos, serão apresentados conforme o parâmetro investigado e a localização do indivíduo. As tendências encontradas na maioria dos grupos de comparação serão enfatizadas no texto e serão demonstrados apenas os grupos mais representativos do comportamento encontrado. Como já dito, os mapas de contribuição sonora estão dispostos no apêndice A e os gráficos são apresentados nos apêndices B, C e D, categorizados por pontos de localização do receptor.

Os valores de contribuição sonora de cada cenário praticamente não serão mencionados no texto, já que eles estão expostos nos mapeamentos e nos gráficos. A maioria dos valores citados se refere às comparações entre cenários, de acordo com os grupos listados nas Tabelas 12 a 15, ou seja, são números que representam aumento ou diminuição na contribuição sonora devido à introdução da massa edificada para o usuário da cidade em questão.

Como já mencionado, as alterações identificadas na contribuição sonora entre mapas serão expressas em números de intervalos inteiros de 1 dB(A), como indicado na legenda gráfica dos mapeamentos. Os gráficos foram utilizados para refinar as observações feitas em algumas comparações entre resultados mapeados. As diferenças ocorridas entre as observações dos mapeamentos e dos gráficos se explicam por dois motivos básicos: *a.* as diferenças entre cenários podem se localizar, nos gráficos, dentro de um intervalo inteiro, o que é identificado nos mapas como manutenção da contribuição sonora; *b.* as diferenças entre cenários podem ser menores que 2 dB(A) e se localizarem entre dois intervalos inteiros no gráfico, o que é interpretado nos mapeamentos como diferença de dois intervalos.

#### **4.2.1 Afastamentos laterais**

Após a observação dos grupos de comparação indicados na Tabela 12, é possível indicar tendências do efeito acústico que surge perante o aumento dos afastamentos laterais nos cenários envolvidos. É importante ressaltar que tal aumento se deu através da alteração da fórmula que determina as dimensões dos afastamentos laterais, ou seja, por meio do aumento do fator que multiplica a altura edificada.

Como dito anteriormente, a contribuição sonora para o pedestre no espaço público foi observada na rua, na calçada em frente às fachadas e na calçada em frente aos afastamentos laterais. Os resultados obtidos demonstram que, na maioria das comparações entre mapas, o acréscimo nos afastamentos laterais não provocou mudanças importantes no ambiente sonoro do indivíduo localizado na rua. Como exemplo tem-se o agrupamento W27-H27, exposto nas Figuras 33 a 36. Nos grupos com proporção WH de 1:0,75 e 1:0,5, excetuando-se o W18-H9, ocorreram diminuições de um intervalo na adição sonora em algumas regiões da rua, como em frente aos afastamentos laterais ou próximo à esquina.

O ambiente sonoro do pedestre na calçada em frente às fachadas também não se alterou perante o aumento dos afastamentos laterais,

como pode ser observado na comparação entre as Figuras 33 a 36. Os grupos W30-H15, W32-H24, W36-H36 e W36-H48 são exceções, acontecendo redução de um intervalo na frente da fachada dos edifícios centrais. O gráfico produzido para o ponto B, disposto no apêndice B, demonstra a tendência de manutenção da contribuição sonora enquanto o afastamento lateral aumenta, embora pequenas diminuições, menores que 0,5 dB(A), podem ser percebidas.

Enquanto o afastamento lateral aumentou, por meio do acréscimo do fator que multiplica a altura da edificação, como já mencionado, a adição sonora para o indivíduo localizado na calçada em frente aos afastamentos laterais diminuiu em um intervalo na maioria dos grupos. Como modelo deste efeito, tem-se o grupo W27-H27 demonstrado nas Figuras 33 a 36. Nos grupos onde os cenários não possuíam afastamento frontal a diminuição da adição sonora foi de dois intervalos, o que demonstra que a distância entre fachadas frontais é um parâmetro significativo para este indivíduo, como será discutido no item 4.2.3. Os grupos W27-H18, W36-H24 e W36-H27 não apresentaram alterações visíveis nos mapas.

Nota-se, pelo gráfico do ponto C, que representa o pedestre na calçada em frente ao afastamento lateral, que as maiores reduções na adição sonora ocorreram entre os cenários sem afastamento lateral e os com afastamento lateral de 1/7 da altura, sendo que essa diminuição foi sendo cada vez menor conforme a distância entre fachadas frontais aumenta. Primeiramente, a consideração de afastamento lateral, por menor que seja, já faz com que o pedestre não esteja mais em contato próximo com as reflexões sonoras da fachada. Em segundo lugar, o aumento da distância entre fachadas frontais representa um maior afastamento entre o indivíduo e as reflexões sonoras da fachada, mesmo na situação em que não existe afastamento lateral.

Como já mencionado, a situação acústica dos indivíduos localizados dentro do lote foi observada no afastamento frontal, em dois pontos, atrás dos edifícios centrais e no fundo do lote na direção do afastamento lateral. Nos grupos de comparação compostos por cenários que contam com afastamento frontal foi observado que a contribuição de adição sonora para uma pessoa imediatamente na frente da fachada frontal não se alterou, embora essa região tenha se contraído com o aumento dos afastamentos laterais. O fato pode ser visto na comparação entre as Figuras 33 a 36.

Para um sujeito localizado no afastamento frontal em frente ao afastamento lateral, o aumento deste último acarretou uma redução de dois intervalos na adição sonora, como o ocorrido no grupo W27-H27

demonstrado nas Figuras 33 a 36. Tal afirmação também é verificada no gráfico para o ponto E do apêndice B, sendo que as maiores reduções na contribuição sonora de adição ocorreram entre os cenários sem afastamento lateral e os com afastamento de  $1/7$  da altura do edifício, semelhantemente ao ocorrido para o pedestre na calçada em frente ao afastamento lateral.

Com a comparação entre os mapas, percebe-se que a ampliação dos afastamentos laterais, por meio do aumento do fator que multiplica a altura dos edifícios, provocou o efeito de redução na contribuição de diminuição sonora, ou seja, aumento no nível sonoro para o indivíduo atrás dos edifícios centrais. O exemplo do grupo W27-H27 exposto nas Figuras 33 a 36 demonstra o efeito. O aumento ocorrido no nível sonoro dos grupos nos quais havia afastamento lateral desde  $1/7$  da altura até  $1/2$  da altura edificada foi de 6 intervalos. Os grupos que são compostos por cenários com afastamentos laterais entre  $1/7$  e  $1/3$  tiveram aumento entre 3 e 4 intervalos. Nota-se que a elevação entre dois tipos de afastamento lateral foi quase sempre constante, em torno de 2 intervalos. É importante ressaltar que mesmo com o aumento do nível sonoro, a situação acústica posteriormente ao edifício continuou sendo de diminuição do ruído de tráfego rodoviário.

A tendência de acréscimo no nível sonoro se repete para o indivíduo localizado no fundo do lote, na direção do afastamento lateral, como pode ser averiguado entre as Figuras 33 a 36. A diferença entre os cenários com  $1/7$  da altura da edificação como afastamento lateral e aqueles com  $1/2$  variou entre 9 e 5 intervalos. Essa variação dependeu principalmente da altura dos edifícios, já que quanto maior esse parâmetro, menor foi o acréscimo pela ampliação dos afastamentos laterais. Tal fato se explica pelas razões utilizadas para a determinação do afastamento lateral, que o relacionam com a altura da edificação. Dessa forma, os edifícios mais baixos possuíram menores afastamentos laterais, que provocam grande redução nos níveis sonoros e, portanto, quando o afastamento lateral se amplia, a diferença é maior. Para um edifício mais alto a redução já é menor mesmo com afastamento lateral pequeno, e por isso o aumento no afastamento modifica pouco o ambiente sonoro, quando comparado aos edifícios de menor altura.

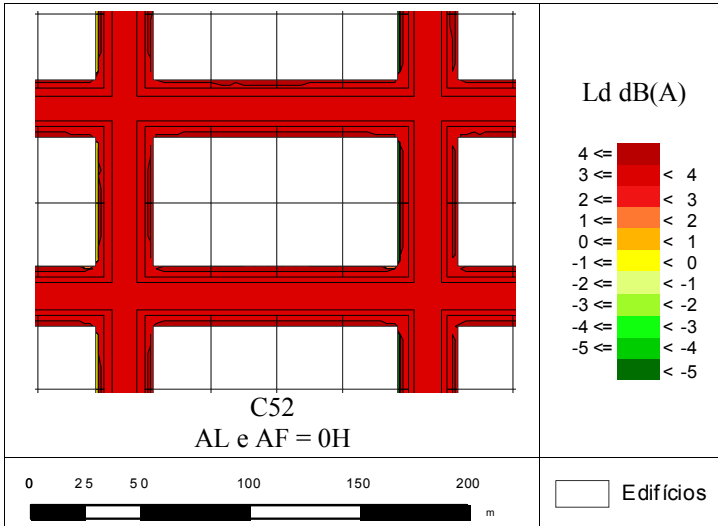


Figura 33 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C52, constituente do grupo W27-H27.

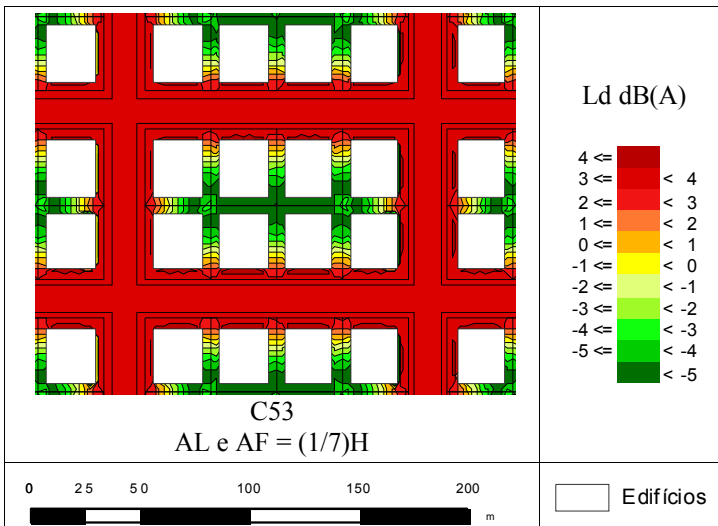


Figura 34 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C53, constituente do grupo W27-H27.



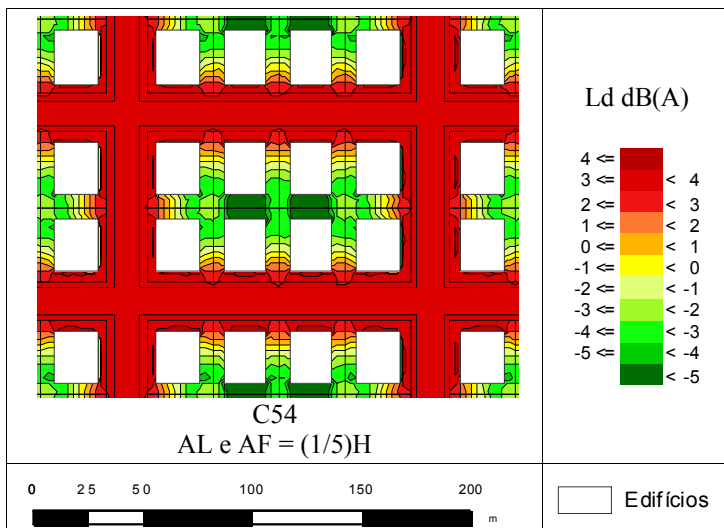


Figura 35 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C54, constituinte do grupo W27-H27.

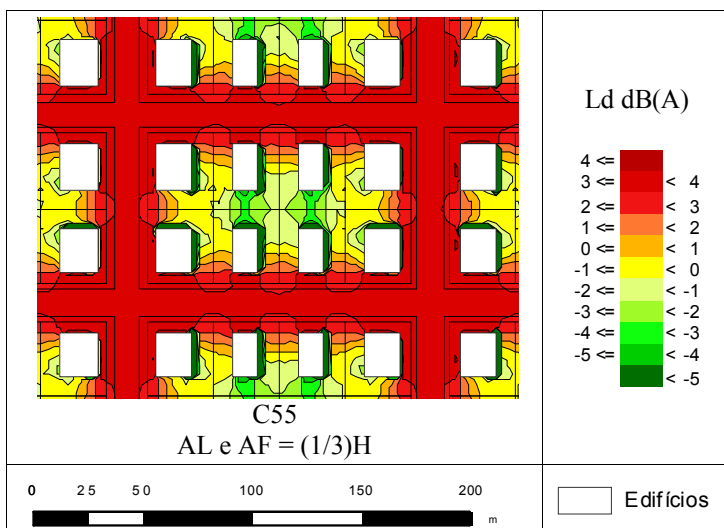


Figura 36 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C55, constituinte do grupo W27-H27.

Diante dos valores levantados na análise, percebe-se que o aumento dos afastamentos laterais modificou muito mais os níveis para

os indivíduos nos fundos do lote do que em frente às edificações. Resumidamente, a tendência encontrada para os indivíduos atrás dos edifícios centrais e nos fundos dos afastamentos laterais foi de aumento do nível sonoro, ou ainda, redução da contribuição de diminuição do ruído de tráfego rodoviário, o que significa que o aspecto de barreira sonora da edificação foi reduzido. O aumento dos afastamentos laterais fez com que as ondas sonoras penetrassem com mais facilidade na quadra, fragilizando a atuação como proteção sonora dos edifícios.

A tendência verificada para os usuários dos espaços na frente das edificações foi de não alteração dos níveis sonoros, sendo que para o indivíduo na calçada em frente ao afastamento lateral houve redução de um intervalo na adição sonora. O aumento do afastamento lateral proporcionou uma área de fuga para as ondas sonoras confinadas no meio urbano que contém o tráfego rodoviário, além de subtrair um trecho de fachada para o pedestre na calçada em frente ao afastamento lateral, o que diminui seu contato com as reflexões sonoras da citada superfície. A Figura 37 demonstra esquematicamente os resultados principais encontrados para a relação entre aumento de afastamento lateral e contribuições sonoras para o usuário da cidade.

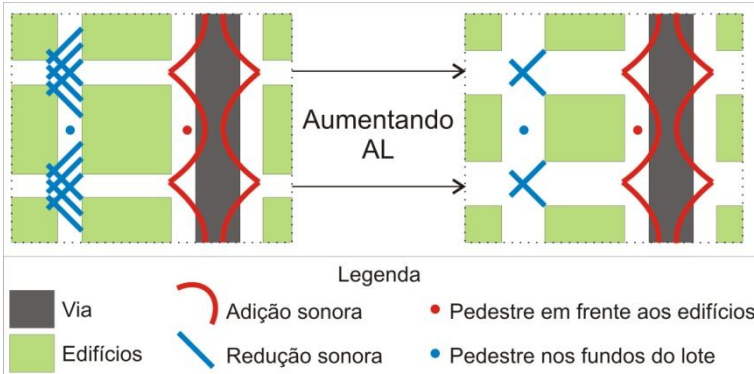


Figura 37 – Planta baixa esquemática demonstrando os principais resultados da influência do afastamento lateral AL nos níveis sonoros para o usuário da cidade.

Observando-se os mapas, nota-se que um indivíduo que percorrer o caminho composto pelo afastamento lateral no sentido da calçada ao fundo do lote terá uma experiência de diminuição em sua percepção sonora do ruído de tráfego, ocorrida principalmente pelo distanciamento entre fonte sonora e receptor. Nesta pesquisa, o termo “zona de

amortecimento” será utilizado para designar essa área, que se estende desde o alinhamento frontal dos edifícios até seu alinhamento posterior.

A distribuição gráfica dessa zona de amortecimento nos cenários agrupados com o objetivo de investigar o parâmetro afastamento lateral demonstrou uma tendência de comportamento: conforme o afastamento lateral aumenta, a frente da zona de amortecimento avança sobre a calçada, na maioria dos casos, como no grupo apresentado nas Figuras 33 a 36. Os grupos W24-H12, W24-H18 e W30-H15 tiveram avanços dessa zona sobre a rua, enquanto nos grupos W27-H18, W32-H24, W36-H18, W36-H24 e W36-H27 o avanço englobou apenas o afastamento frontal. No grupo W18-H12 a frente da zona de amortecimento permaneceu no mesmo local enquanto o afastamento lateral aumentava. Os avanços verificados se relacionam com a tendência de diminuição na contribuição de adição sonora para o pedestre na calçada, em frente ao afastamento lateral.

#### **4.2.2 Altura de edifícios**

A influência da altura dos edifícios nos níveis sonoros para o usuário da cidade foi avaliada segundo os grupos de comparação indicados na Tabela 13. De forma geral, o aumento das alturas dos edifícios piorou a situação de ruído proveniente do tráfego rodoviário para os cidadãos tanto no ambiente público como dentro do lote. É importante destacar a ressalva de que o resultado encontrado para os indivíduos nos fundos dos lotes foi influenciado pela variação conjunta entre altura do edifício e afastamento lateral, lembrando-se que os afastamentos laterais, nos cenários elaborados, possuem relação direta com a altura do edifício. Assim, enquanto a altura dos edifícios aumentou, também ocorreu aumento proporcional no afastamento lateral. O comportamento de contribuição de adição sonora encontrado nos fundos dos lotes reflete, na realidade, a forte influência da determinação vinculada entre afastamento lateral e altura de edifícios.

Para o pedestre que se encontra na via, o acréscimo na adição sonora com o aumento da altura dos edifícios foi de um intervalo, na maioria das comparações. Nos grupos com 36 m de distância entre fachadas frontais e afastamentos laterais de 0 m, 1/7 e 1/5 da altura da edificação, o acréscimo foi de dois intervalos, como pode ser observado no grupo W36-L1/5, utilizado como exemplo e exposto nas Figuras 38 a 42. A avaliação do gráfico produzido para o ponto A, disposto no apêndice B, confirma a tendência de aumento dos níveis sonoros. Uma

questão observada no gráfico é a repetição de um padrão de resultados em “blocos”, já que a tendência de contribuição sonora variou conforme a proporção WH dos cenários, que será discutida no item 4.2.4.

Na maioria dos grupos de comparação, a adição sonora para o pedestre que se encontra na calçada em frente às fachadas frontais aumentou em um intervalo conforme a altura se ampliou. No grupo W36-L0 o aumento foi de dois intervalos. Os conjuntos com 36 m de distância entre fachadas frontais e afastamentos laterais de 1/7 e 1/5 da altura da edificação tiveram um intervalo de aumento próximo às fachadas centrais e dois intervalos próximo às fachadas de esquina, conforme demonstrado pela comparação entre as Figuras 38 a 42. A análise do gráfico para o ponto B, que se encontra no apêndice B, confirma a tendência de aumento dos níveis sonoros enquanto a altura dos edifícios aumenta e indica a repetição do padrão de resultados em “blocos”.

Na maioria das comparações, para o pedestre localizado na calçada em frente ao afastamento lateral, também houve aumento de um intervalo, como entre as Figuras 38 a 42, sendo que no grupo W36-L0 a diferença foi de dois intervalos. Nos conjuntos W18-L1/5 e W27-L1/5 não ocorreram mudanças. Nos grupos W24-L1/5, W18-L1/7, W24-L1/7 e W27-L1/7 o aumento de um intervalo aconteceu até o cenário com 1:1 de proporção WH, sendo que a quantidade de intervalos de aumento foi reduzida nos cenários subsequentes, mais estreitos. O gráfico para o ponto C, exposto no apêndice B, reafirma a tendência de aumento dos níveis sonoros enquanto a altura dos edifícios aumenta. Novamente, o padrão de resultados em “blocos” ocorreu, sendo que a partir dos cenários com proporção 1:1 não houve diferenças importantes. Tal fato se relaciona com a influência da proporção WH, que será discutida no item 4.2.4.

Nos ambientes sonoros internos ao lote o aumento da altura dos edifícios também implicou na ampliação do nível sonoro. Os indivíduos localizados no afastamento frontal em frente às fachadas tiveram um intervalo de acréscimo na adição sonora, como pode ser observado nas Figuras 38 a 42.

A verticalização dos edifícios também acarretou aumento em um intervalo na adição sonora para o sujeito localizado no afastamento frontal em frente ao afastamento lateral. Tem-se como exemplo o grupo W36-L1/5, demonstrado nas Figuras 38 a 42. Nos grupos W24-L1/7 e W27-L1/7 a contribuição sonora continuou a mesma. O comportamento de aumento pode ser observado no gráfico para o ponto E, no apêndice B. Como para os pontos anteriores, o aumento no nível sonoro foi

gradativo nos grupos até os cenários com proporção 1:1, depois se igualando.

A contribuição de redução do ruído encontrada atrás dos edifícios centrais foi diminuída conforme o aumento da altura dos edifícios, como pode ser visto entre as Figuras 38 a 42. Nos grupos com quatro ou mais cenários, o aumento foi entre 5 e 7 intervalos. O acréscimo foi de 3 intervalos nos grupos compostos por três cenários.

O indivíduo nos fundos do afastamento lateral também foi atingido com acréscimos no nível sonoro enquanto a altura das edificações aumentou, como ocorrido para o grupo composto pelas Figuras 38 a 42. Nos grupos com quatro ou mais cenários o aumento foi entre 4 e 9 intervalos, sendo que quanto menor a distância entre fachadas, maior o aumento. Por exemplo, o grupo com 18 m de distância entre fachadas e  $(1/7)H$  de afastamento lateral obteve um aumento de 9 intervalos, já o grupo com 36 m de distância, e mesmo tipo de afastamento lateral, possuiu 6 intervalos de acréscimo. Essa diferença nos acréscimos se relaciona com o fato de que as menores distâncias entre fachadas frontais, pela lógica das proporções WH aplicadas neste estudo, puderam ser acompanhadas de menores alturas de edifícios, que determinam menores afastamentos laterais.

Essa cadeia de pensamento demonstra que, na realidade, o maior aumento que ocorreu entre cenários com menores distâncias entre fachadas frontais foi devido à maior diferença entre a largura dos afastamentos laterais de seus edifícios mais altos e mais baixos, já que os de menor altura ocasionaram reduções nos níveis sonoros bem maiores que os mais altos. Nos grupos com distância entre fachadas frontais maiores, não existem edifícios muito baixos que resultem em afastamentos laterais pequenos e que, conseqüentemente, provoquem contribuição de redução muito elevada. Ainda se observando os mapeamentos, vê-se que nos grupos compostos por três cenários o acréscimo foi entre 2 e 3 intervalos.

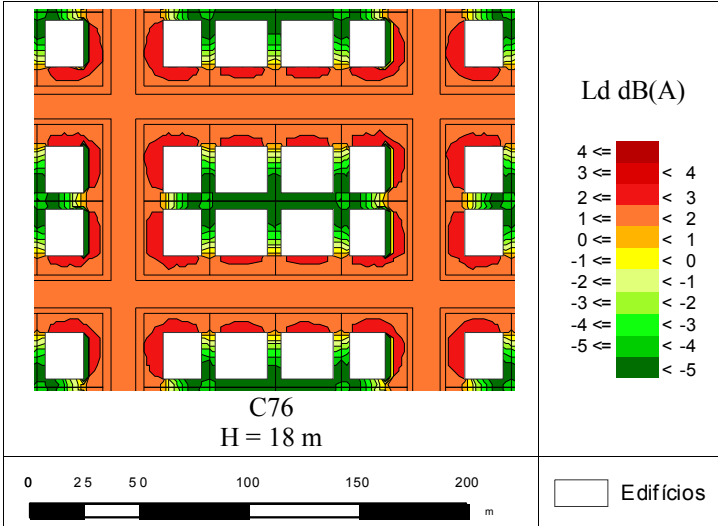


Figura 38 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C76, constituinte do grupo W36-L1/5.

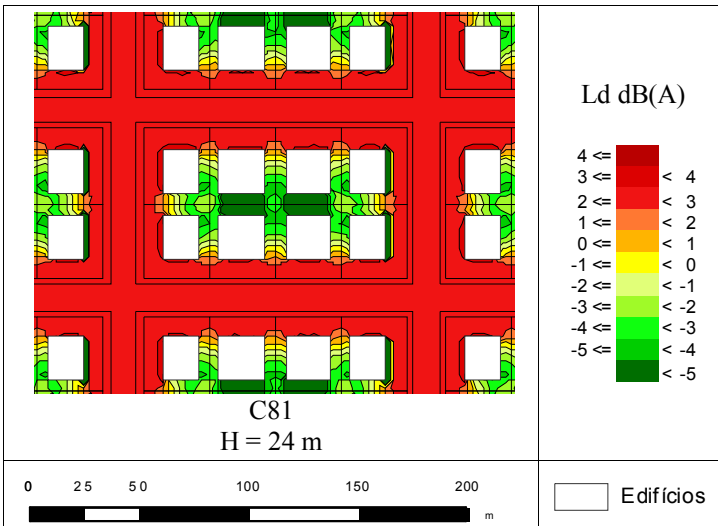


Figura 39 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C81, constituinte do grupo W36-L1/5.

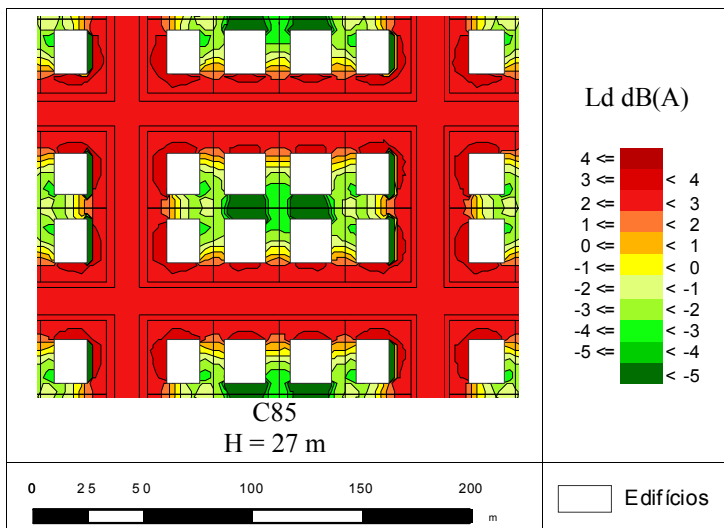


Figura 40 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C85, constituinte do grupo W36-L1/5.

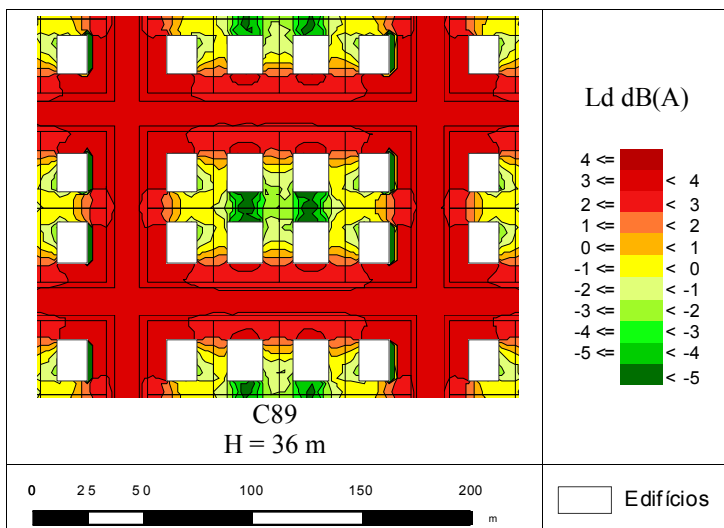


Figura 41 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C89, constituinte do grupo W36-L1/5.

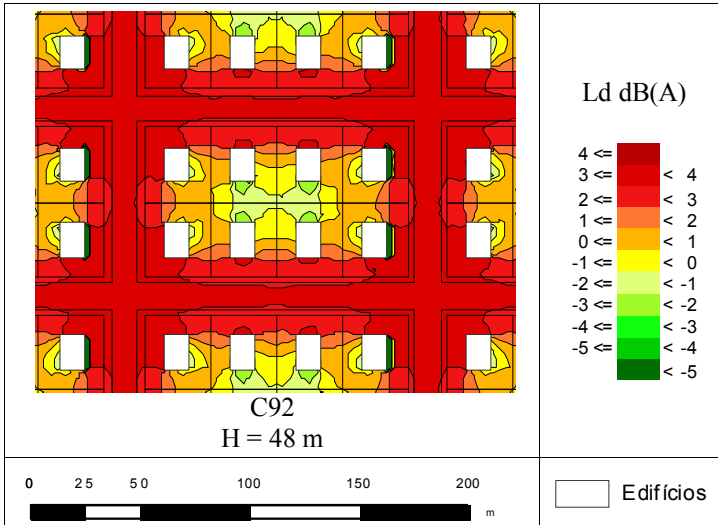


Figura 42 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C92, constituído do grupo W36-L1/5.

Analisando-se os valores de acréscimos, percebe-se que o aumento das alturas das edificações modificou mais os níveis sonoros para os indivíduos nos fundos do lote do que em frente às edificações. Resumidamente, a tendência encontrada para todas as localizações de usuários foi de aumento dos níveis sonoros. Tal comportamento verificado para os indivíduos na frente das edificações ocorreu por causa do maior confinamento das ondas sonoras em decorrência do aumento das edificações. Esse estreitamento do cânion urbano que contém a fonte sonora faz com que se multipliquem as reflexões sonoras das fachadas, aumentando os níveis de pressão sonora. O efeito ocasionado pelo estreitamento do cânion foi predominante mesmo quando o indivíduo se encontrava próximo às regiões de fuga das ondas sonoras, ou seja, próximo ao afastamento lateral.

O aumento da altura dos edifícios diminuiu a redução benéfica dos níveis sonoros nos fundos dos lotes, ou seja, não reforçou o caráter de barreira acústica das edificações. Tal fato se deve à relação que foi utilizada para determinação dos afastamentos laterais nos cenários. Como já mencionado, por essa relação, quanto maior a altura, maior o afastamento lateral. Como visto no item 4.2.1, maiores afastamentos laterais fazem com que as ondas sonoras penetrem com mais facilidade nos lotes. Dessa forma, a grande influência do parâmetro altura nos níveis sonoros dos fundos dos lotes foi, na realidade, a confirmação da



importante ação que o afastamento lateral possui nos níveis de pressão sonora para os sujeitos localizados posteriormente aos edifícios. A Figura 43 demonstra esquematicamente os resultados principais encontrados para a influência do aumento da altura dos edifícios, e a conseqüente ampliação de afastamento lateral, nas contribuições sonoras para o usuário da cidade.

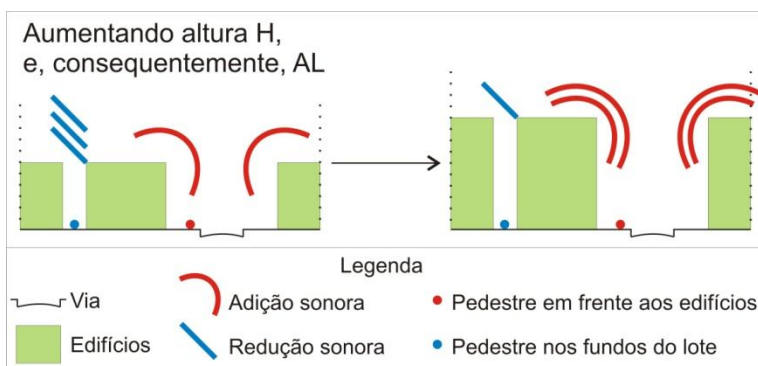


Figura 43 – Corte esquemático demonstrando os principais resultados da influência da altura dos edifícios  $H$  nos níveis sonoros para o usuário da cidade, sendo que o afastamento lateral  $AL$  também variou de forma conjunta com  $H$ .

Observando-se os grupos que investigam o parâmetro altura é possível verificar duas tendências para a distribuição gráfica da zona de amortecimento do afastamento lateral. O primeiro comportamento, encontrado entre as Figuras 38 a 42, é de recolhimento do início de tal zona conforme se aumenta a altura, ocorrido nos grupos W18-L1/3, W36-L1/5, W36-L1/7, W18-L1/2, W24-L1/3 e W36-L1/3. É importante destacar que um fator comum nesses grupos é a presença de afastamentos laterais maiores, que são mais frágeis diante dos níveis sonoros ocorridos na frente dos edifícios. Para os grupos W18-L1/5, W24-L1/5, W18-L1/7, W24-L1/7, W27-L1/7, e W27-L1/5 o mesmo recolhimento acontece, só que apenas até o segundo ou terceiro cenário do grupo, sendo que nos cenários subsequentes ocorre um avanço da zona de amortecimento sobre a calçada. As menores alturas de edifícios e o menor afastamento lateral, comuns entre esses cenários citados, fazem com que menos reflexões sonoras sejam geradas no cânion que contém a rua e que o efeito de amortecimento das ondas sonoras nos afastamentos laterais seja mais efetivo e avance até a calçada durante o aumento da altura do edifício.

### 4.2.3 Distância entre fachadas frontais

Observando-se os mapas de contribuição sonora reunidos conforme os grupos de comparação listados na Tabela 14, investigou-se a influência da distância entre fachadas frontais nos níveis sonoros para o usuário da cidade.

A situação acústica dos pedestres no ambiente público obteve menores adições sonoras enquanto a distância entre fachadas aumentava. Os níveis para o cidadão que atravessa a rua, por exemplo, diminuíram em um intervalo na maioria dos grupos analisados. Como exemplo, o grupo H24-L1/5 é demonstrado nas Figuras 44 a 47. Nos grupos com altura de edifícios igual a 18 m, a diminuição foi de dois intervalos. Apenas nos grupos com edifícios de 36 m de altura não foram verificadas mudanças para este receptor. A avaliação do gráfico produzido para o ponto A, disposto no apêndice C, confirma a tendência de diminuição dos níveis sonoros nos cenários com 12, 18 e 24 m de altura de edifícios, enquanto a distância entre fachadas frontais se amplia. Os cenários com alturas maiores não apresentaram alterações significativas, mesmo com o aumento da distância entre fachadas frontais. Os edifícios mais baixos fizeram parte de situações com proporção WH desde 1:0,5 até 1:1,34, enquanto os edifícios de maior altura participaram apenas dos cenários com cânions mais estreitos, que não modificam muito a contribuição sonora entre si. As duas descrições reforçam as tendências verificadas, já que a contribuição sonora possui relação com a proporção WH dos cenários, o que será discutido no item 4.2.4.

Com o aumento das distâncias entre fachadas frontais, o indivíduo localizado na calçada em frente às fachadas também conseguiu melhorias em sua situação acústica, ocorrendo diminuição de dois intervalos na maioria dos agrupamentos analisados, como é o caso do grupo H24-L1/5 exposto nas Figuras 44 a 47. No grupo H36-L0 a diferença foi de um intervalo. Nos grupos com altura de edifícios igual a 18 m, e que dispunham de afastamento lateral, foi de três intervalos. Em algumas comparações houve diferenças entre o valor da adição sonora ocorrida em frente às fachadas centrais e de esquina: nos grupos H36-L1/5, H36-L1/7 e H27-L0 a redução foi de dois intervalos no meio da calçada e de um intervalo na esquina, já no H18-L0 foi de três intervalos no meio e de dois na esquina. O gráfico para o ponto B, apêndice C, confirma a tendência de diminuição dos níveis sonoros entre 0,5 e 2 dB(A). Como para a localização de pedestre anterior, essa variação na

redução se relaciona com a altura dos edifícios, pois quanto maior a edificação, menor a redução devido ao aumento do afastamento entre fachadas frontais.

A comparação entre o primeiro e o último cenário de cada grupo demonstra que a ampliação do afastamento frontal, embutido na distância entre fachadas frontais, levou a diminuição de um intervalo na adição sonora ocorrida para o pedestre na calçada em frente ao afastamento lateral, para a maioria das comparações. Para os grupos H18-L1/5, H18-L1/7, H24-L0, H27-L0 a redução foi de dois intervalos e para o H18-L0 foi de três. Ainda os grupos H24-L1/3, H24-L1/5, H36-L1/5, H36-L1/7, H27-L1/3 e H27-L1/5 não demonstraram nenhuma redução, com a adição sonora se mantendo constante entre os cenários componentes, como pode ser visto entre as Figuras 44 a 47. A tendência de redução do nível sonoro é confirmada pela análise do gráfico desenvolvido para o ponto C exposto no apêndice C. A redução do nível sonoro pelo aumento da distância entre fachadas frontais para este indivíduo variou de acordo com a existência de afastamento lateral: quando o grupo foi composto por cenários sem afastamento lateral, a diferença entre menor e maior distância entre fachadas frontais foi maior. A diminuição também variou de acordo com a altura dos edifícios, como constatado para os pontos de recepção anteriores, ou seja, quanto maior a altura, menor a redução encontrada. Como exemplo dessa dependência dos outros parâmetros nota-se que para os cenários com 27, 36, 48 e 54 m de altura de edifício e com a presença de afastamentos laterais, o aumento da distância entre fachadas frontais não ocasionou mudanças no ambiente sonoro para o pedestre na calçada em frente ao afastamento lateral.

Os níveis sonoros no ambiente privado do lote se alteraram de formas diferentes, conforme a localização do usuário. Na maioria dos grupos a contribuição de adição sonora para o cidadão no afastamento frontal, próximo às fachadas, apresentou decréscimo de um intervalo, como entre as Figuras 44 a 47, embora nos conjuntos com altura de edifícios igual a 18 m essa redução tenha sido de dois intervalos. Os resultados demonstrados no gráfico para o ponto D, do apêndice C, confirmam a tendência de diminuição dos níveis sonoros. Semelhantemente aos pontos anteriores, essa variação na redução se relaciona com a altura dos edifícios: quanto mais alta a edificação, menor a redução devido ao aumento do afastamento entre fachadas frontais. A inexistência de afastamento lateral nos cenários que compõem os grupos não levou a maiores diferenças, como ocorrido para o pedestre na calçada em frente ao afastamento lateral.

O aumento da distância entre as fachadas frontais dos edifícios acarretou, na maioria dos casos de comparação, diminuição de um intervalo na contribuição de adição sonora para o indivíduo localizado no afastamento frontal em frente ao afastamento lateral, como é o caso do grupo representado nas Figuras 44 a 47. Nos grupos com altura de edifícios igual a 18 m a redução foi de dois intervalos. Essa tendência pode ser observada no gráfico para o ponto E do apêndice C. O valor dessa diminuição se relacionou com a altura dos edifícios, como já mencionado anteriormente: quanto maior a edificação, menor a redução.

Os mapas intermediários com legenda gráfica restrita a reduções sonoras, citados anteriormente, foram utilizados na observação da situação dos indivíduos nos fundos do lote. A contribuição de redução dos níveis sonoros encontrada atrás dos edifícios centrais foi diminuída conforme o aumento da distância entre fachadas frontais. Na maioria dos grupos o aumento no nível sonoro foi de um intervalo. Os acréscimos podem ser observados na comparação entre as Figuras 44 a 47, como exemplo.

O indivíduo nos fundos do afastamento lateral também foi atingido com acréscimos no nível sonoro enquanto a distância entre fachadas frontais aumentou. Na maioria dos grupos houve aumento em um intervalo, como nota-se no exemplo do grupo composto pelas Figuras 44 a 47, sendo que em alguns agrupamentos não houve modificação no ambiente sonoro por causa do aumento da distância entre fachadas frontais.

Observando-se os valores de diferença obtidos nas comparações, percebe-se que o aumento das distâncias entre fachadas frontais modificou com valores absolutos parecidos os níveis sonoros para os sujeitos nos fundos do lote e em frente às edificações. Resumidamente, a tendência encontrada para os indivíduos na parte frontal dos edifícios foi de diminuição do nível sonoro, enquanto o contrário aconteceu para os sujeitos nos fundos dos lotes.

O aumento da distância entre fachadas frontais reduziu o aumento sonoro para os indivíduos na frente das edificações, já que as ondas sonoras ficaram menos confinadas no cânion urbano e, assim, ocorreram menos adições que seriam decorrentes da proximidade entre reflexões sonoras das fachadas frontais.

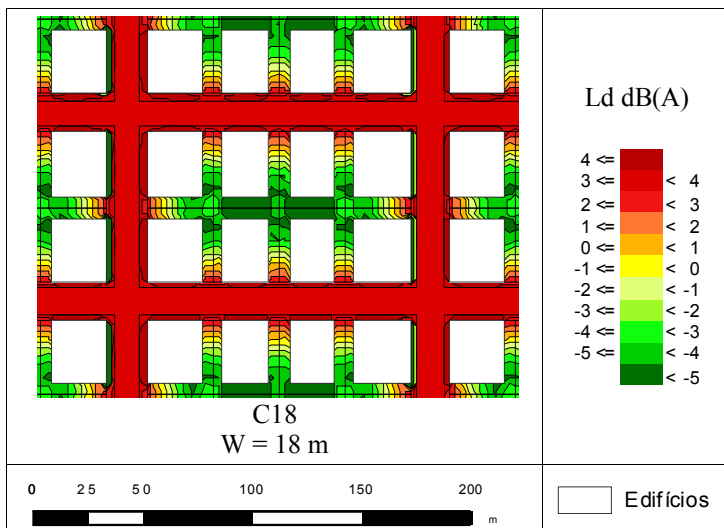


Figura 44 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C18, constituente do grupo H24-L1/5.

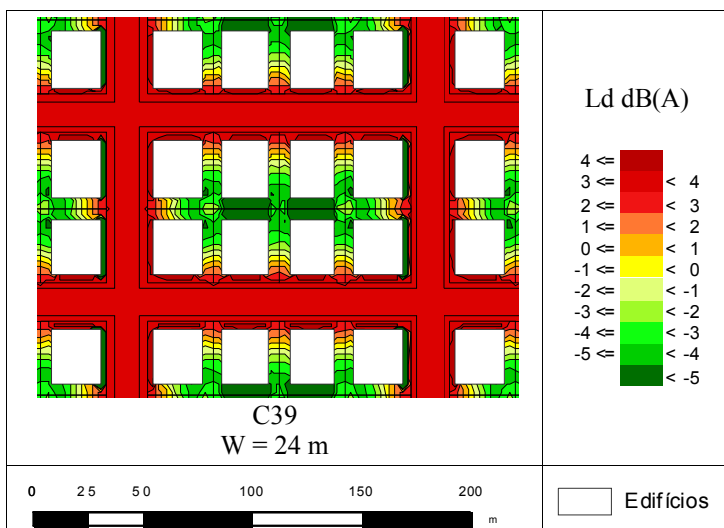


Figura 45 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C39, constituente do grupo H24-L1/5.

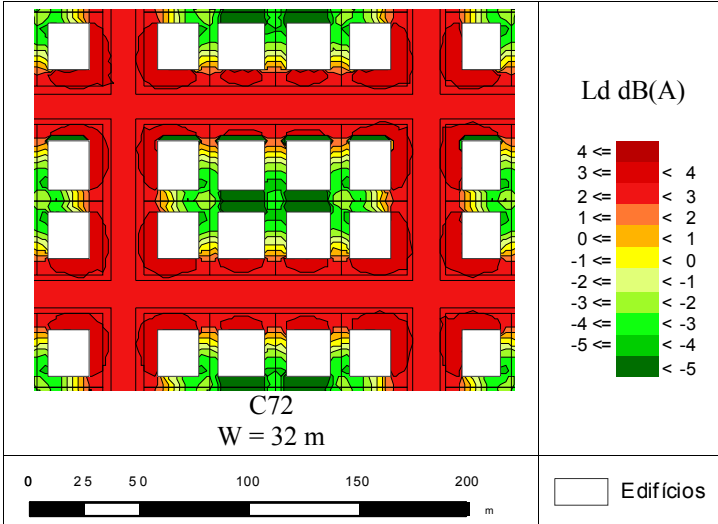


Figura 46 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C72, constituinte do grupo H24-L1/5.

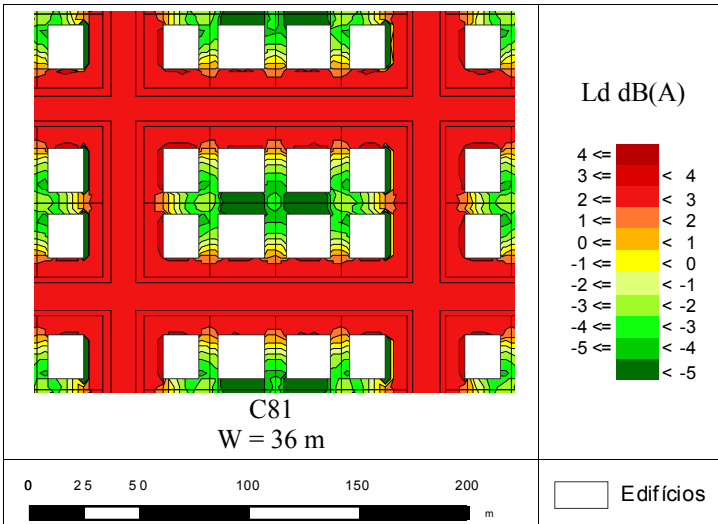


Figura 47 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C81, constituinte do grupo H24-L1/5.

Os acréscimos identificados para os indivíduos localizados nos fundos do lote se relacionam com as profundidades dos edifícios. Da

maneira como os cenários urbanos foram elaborados nesta pesquisa, o aumento da distância entre fachadas frontais e, conseqüentemente, dos afastamentos frontais, acarreta uma diminuição da profundidade dos edifícios. Assim, as ondas sonoras precisam percorrer um caminho menor entre fonte sonora e receptor nos fundos do lote. Além disso, a zona de amortecimento dos níveis sonoros, que se desenvolve no afastamento lateral, se torna menor conforme o afastamento frontal aumenta. Portanto, a diminuição da profundidade dos edifícios faz com que o som passe por uma zona de amortecimento menor. A Figura 48 demonstra esquematicamente os resultados principais encontrados para a relação entre aumento de distância entre fachadas frontais e contribuições sonoras para o usuário da cidade.

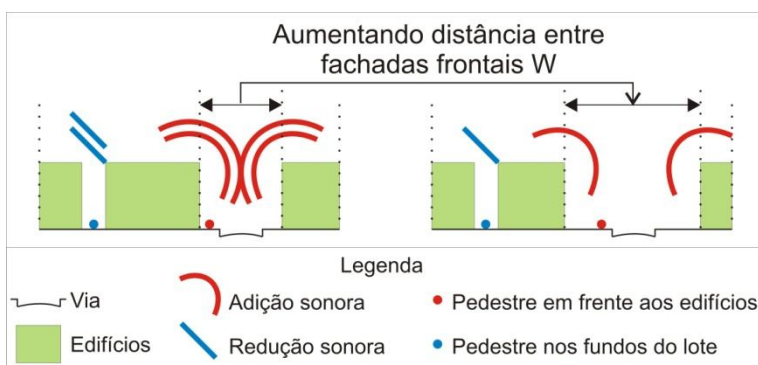


Figura 48 – Corte esquemático demonstrando os principais resultados da influência da distância entre fachadas frontais W nos níveis sonoros para o usuário da cidade.

A tendência de avanço da zona de amortecimento do afastamento lateral foi também observada nos grupos que investigam a influência da distância entre fachadas frontais. Na maioria dos grupos, com o aumento do parâmetro em questão, ocorreu o avanço da zona sobre a rua, com o intervalo de adição sonora imediatamente menor do que o que existia na via tomando todo seu espaço. O grupo H24-L1/5, demonstrado nas Figuras 44 a 47, é um desses casos. Nos grupos com altura de edifícios igual a 36 m, o avanço foi mais contido, indo apenas até a calçada. Já para os grupos com altura de edifícios igual a 18 m o avanço da zona de amortecimento até a rua foi mais importante, com a introdução de dois intervalos. Os avanços da zona de amortecimento ocorrem devido à união entre dois efeitos: *a*. menos reflexões sonoras por fachadas sendo adicionadas ao ambiente urbano, ocasionado pelo aumento da distância

entre fachadas frontais e *b*. o afastamento lateral se torna uma área de fuga para as ondas sonoras. Assim, o efeito de escape proporcionado pelo afastamento lateral reforça o efeito da ampliação da largura do cânion urbano que contém a rua.

#### 4.2.4 Proporção WH

A influência da proporção WH nos níveis sonoros para os usuários dos espaços urbanos abertos foi observada de duas maneiras. Na primeira delas, os mapas de contribuição sonora dos cenários que possuem mesma relação para determinação de afastamento lateral foram ordenados conforme a proporção WH de cada um, ou seja, formaram-se conjuntos nos quais a citada proporção vai se tornando mais estreita, como no exemplo encontrado nas Figuras 49 a 55. A segunda forma de análise foi realizada pelos grupos demonstrados na Tabela 15, que contém cenários de mesma proporção WH.

Observando-se a situação sonora do pedestre localizado na via, percebe-se que os valores de adições sonoras nos cenários que possuem proporção de 1:0,5 foram entre 1 e 3 dB(A), para os de 1:0,67 foram entre 2 e 3 dB(A) e para os de 1:0,75 foram entre 2 e 4 dB(A). Todos os outros cenários, ou seja, aqueles com proporções de 1:1; 1:1,34; 1:1,5 e 1:2 introduziram entre 3 e 4 dB(A) no ambiente sonoro da rua. Os exemplos de mapeamentos das Figuras 49 a 55 revelam a questão. Percebe-se que quanto mais estreito o cânion urbano que contém a fonte sonora, maior é a contribuição de adição sonora para o pedestre na via. Analisando-se a questão com mais detalhe pelo gráfico do ponto A, no apêndice D, as observações realizadas pela comparação entre os mapeamentos se confirmam e também nota-se que os cenários com proporção de 1:1; 1:1,34; 1:1,5 e 1:2 demonstraram adições sonoras iguais, de 3,2 dB(A). Os valores encontrados possuem relação direta com a adição efetuada pelo fator *multiple reflections* no nível de emissão da fonte sonora em cada cenário. Os resultados da equação 5, apresentada anteriormente, fornecem adições de 2 dB(A) para os cenários com proporção WH de 1:0,5; de 2,7 dB(A) para os de razão 1:0,67; de 3 dB(A) para as situações de 1:0,75; e aumento de 3,2 dB(A) para as proporções 1:1; 1:1,34; 1:1,5 e 1:2. Em resumo, a tendência encontrada é a de que quanto mais estreito o cânion urbano, maior a adição sonora para o pedestre na via, sendo que acima da proporção 1:1 o aumento se torna constante. As tendências identificadas na comparação entre cenários alinhados de forma a haver estreitamento de



proporção WH se repetem para o restante dos pontos de localização dos indivíduos em frente aos edifícios.

Aplicando a segunda forma de análise para o pedestre localizado na via, observou-se que entre cenários com mesma proporção WH ocorreu diminuição de um intervalo de adição sonora nos mapeamentos. Essa redução se relaciona com o aumento do conjunto distância entre fachadas frontais e altura de edificações. As Figuras 56 a 58 ilustram a diminuição. Como mencionado anteriormente, os afastamentos laterais foram dimensionados conforme relações entre eles e a altura das edificações. Assim, a dimensão dos afastamentos laterais nos cenários que empregam mesma fórmula não será a mesma, se eles possuírem alturas de edificações diferentes. Conclui-se que a redução entre os cenários de mesma proporção possui relação com o aumento simultâneo de todos os parâmetros investigados anteriormente, já que as variáveis distância entre fachadas frontais e altura de edifícios estão atreladas pela proporção WH, e os afastamentos laterais estão associados à altura das edificações. A redução de nível sonoro encontrada entre os cenários de mesma proporção ocorre para todos os indivíduos dispostos em frente aos edifícios.

Uma particularidade ocorre quando se observam os gráficos para os pontos de receptor em frente aos afastamentos laterais. Para os pontos C e E, que representam os usuários na calçada e no afastamento frontal em frente ao afastamento lateral e cujos gráficos estão no apêndice D, os cenários sem afastamento lateral se destacam dos que o possuem, como já observado anteriormente, pois o indivíduo fica em contato mais próximo com as reflexões sonoras sobre a superfície do edifício e, portanto, recebe maior adição sonora.

A contribuição sonora perante a inserção da massa edificada para os indivíduos localizados atrás dos edifícios centrais e nos fundos do afastamento lateral foi de diminuição do ruído, como dito anteriormente. A proporção do ambiente que contém a fonte sonora influenciou no ambiente sonoro desses sujeitos de forma parecida como nos pontos de recepção anteriores, ou seja, quanto mais estreito o cânion urbano, maior o nível sonoro, mesmo que ainda a contribuição seja de redução, como pode ser notado nas Figuras 49 a 55. A estabilidade de aumento no nível sonoro encontrada nos cenários com proporção WH acima de 1:1 para os pontos anteriores não ocorreu para o ambiente dos fundos do lote.

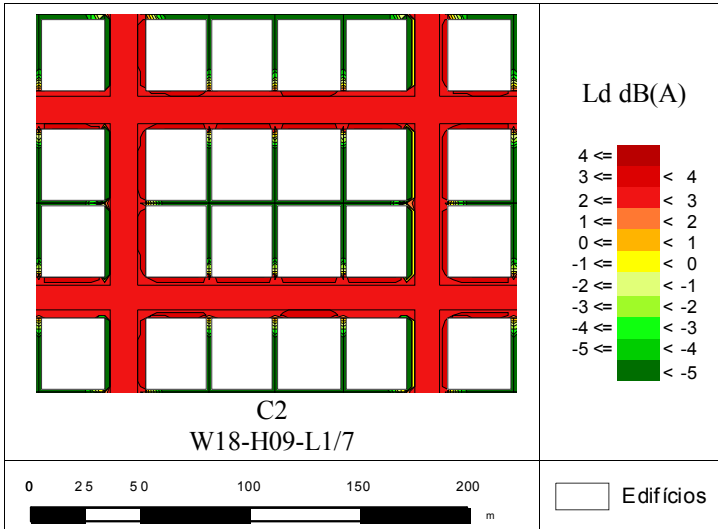


Figura 49 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C2, que possui proporção WH = 1:0,5.

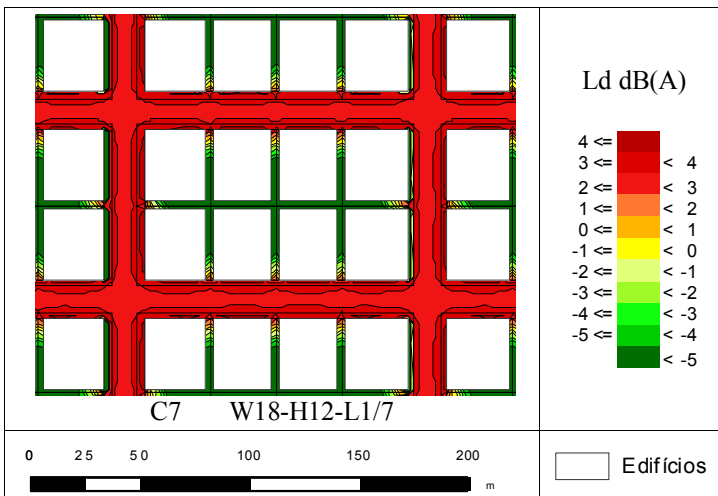


Figura 50 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C7, que possui proporção WH = 1:0,67.

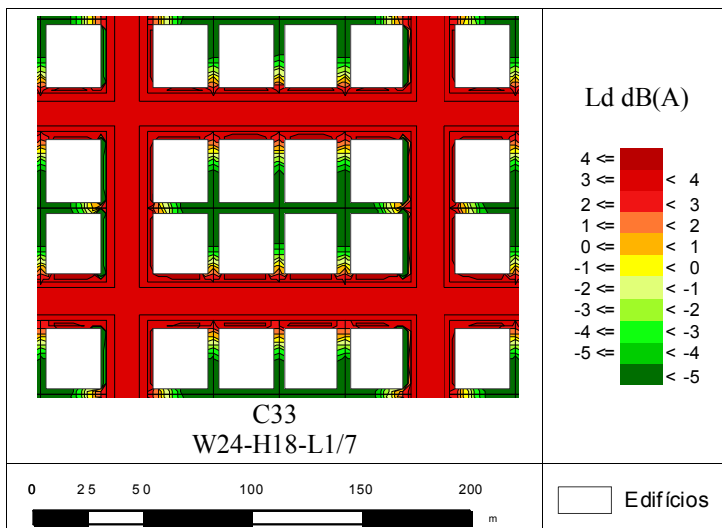


Figura 51 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C33, que possui proporção WH = 1:0,75.

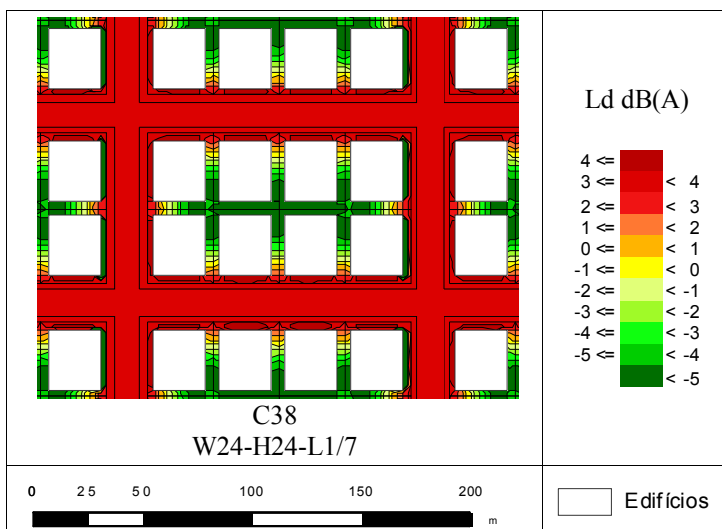


Figura 52 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C38, que possui proporção WH = 1:1.

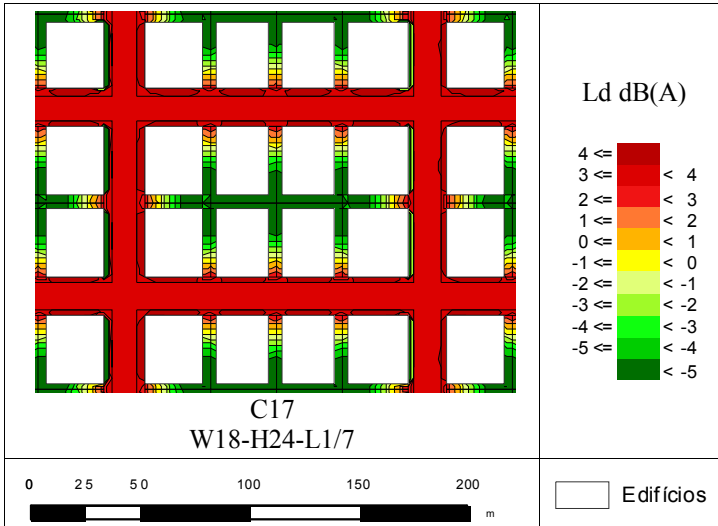


Figura 53 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C17, que possui proporção WH = 1:1,34.

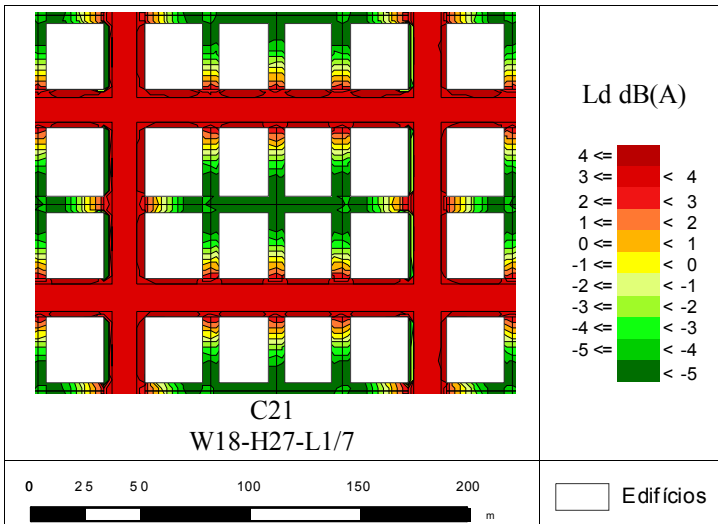


Figura 54 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C21, que possui proporção WH = 1:1,5.

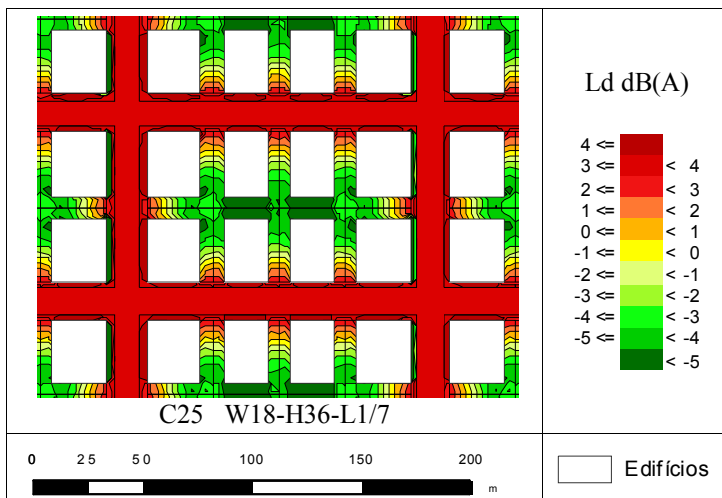


Figura 55 – Mapeamento de contribuição sonora de C25, WH = 1:2.

Considerando-se a segunda forma de avaliação, a comparação entre cenários de mesmo WH revela aumento do nível sonoro para os indivíduos atrás dos edifícios centrais e nos fundos dos afastamentos laterais, conforme os três parâmetros investigados anteriormente crescem simultaneamente, o que pode ser visto nas Figuras 56 a 58.

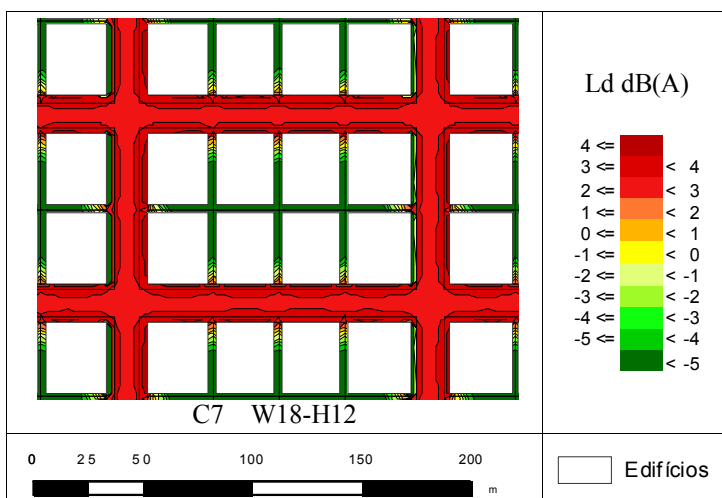


Figura 56 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C7, constituinte do grupo 1:0,67-L1/7.

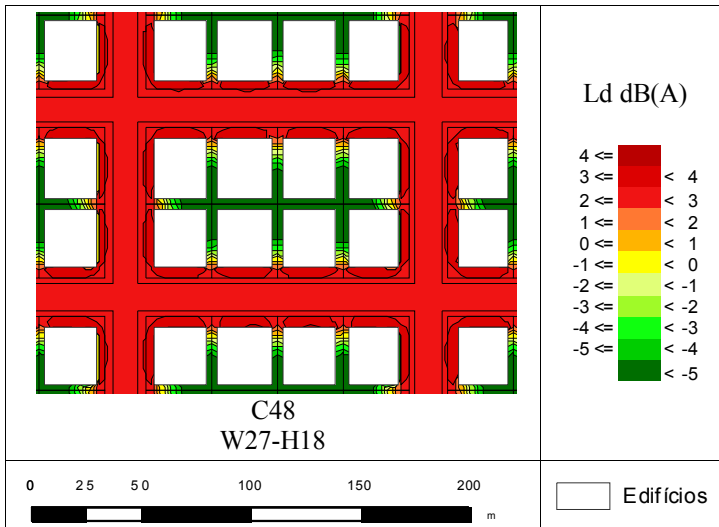


Figura 57 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C48, constituinte do grupo 1:0,67-L1/7.

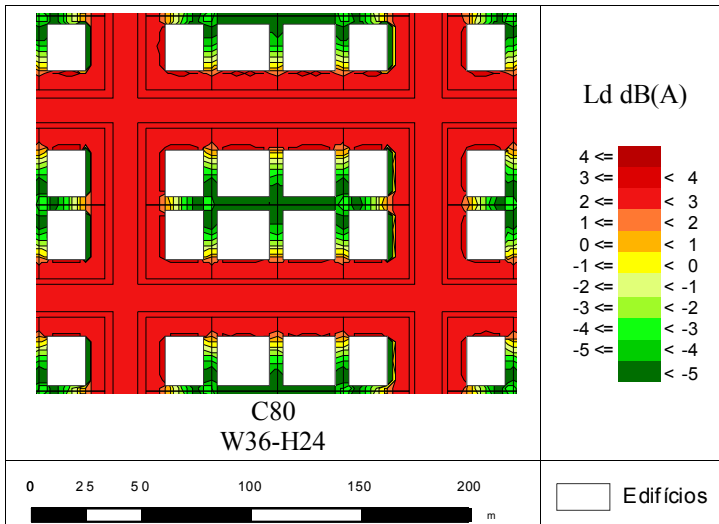


Figura 58 – Mapeamento de contribuição sonora do cenário C80, constituinte do grupo 1:0,67-L1/7.

Resumidamente, pela primeira forma de se analisar a razão WH, o estreitamento do cânion que contém a rua, ou seja, a alteração da proporção WH desde 1:0,5 até 1:2, aumentou o nível sonoro tanto para os indivíduos em frente às edificações, como para os localizados nos fundos dos lotes. A diferença esteve na ocorrência de estabilidade acima da proporção 1:1 apenas para os indivíduos na parte frontal dos edifícios.

O aumento da adição sonora em frente aos edifícios se relaciona com a maior proximidade entre as fachadas de edifícios cada vez mais altos conforme a proporção fica mais estreita. A menor distância entre fachadas mais altas faz com que as ondas sonoras se concentrem dentro do ambiente urbano da rua, aumentando os níveis sonoros para os pedestres. Esse aumento acaba por interferir na proteção sonora dos fundos dos lotes, já que sua energia acústica é suficiente para penetrar na quadra.

Pela segunda forma de avaliação empregada, observando-se os mapas dos cenários de mesma proporção WH, percebeu-se que o aumento simultâneo de três parâmetros avaliados na pesquisa: afastamento lateral AL, altura de edificação H e distância entre fachadas frontais W, provoca efeitos acústicos diferentes para o indivíduo na frente do edifício e nos fundos dos lotes. Para o primeiro tem-se que o aumento da distância entre fachadas frontais e dos afastamentos laterais fazem com que as ondas sonoras se propaguem com mais facilidade, deixando o interior do cânion, e assim, a contribuição de adição sonora é reduzido. O aumento da altura da edificação poderia colocar em risco essa observação, devido suas reflexões sonoras, mas não foi predominante. Já para os indivíduos nos fundos dos lotes, o aspecto de barreira sonora do edifício, que poderia ser potencializado com o aumento da altura das edificações, acabou sendo boicotado com o aumento da distância entre fachadas frontais e afastamentos laterais. Esses dois últimos parâmetros aumentaram a permeabilidade da quadra às ondas sonoras, fazendo com que o estreitamento do cânion aumentasse o nível sonoro nos fundos dos lotes. A Figura 59 demonstra esquematicamente os resultados principais encontrados para a relação entre proporção WH e contribuições sonoras para o usuário da cidade.

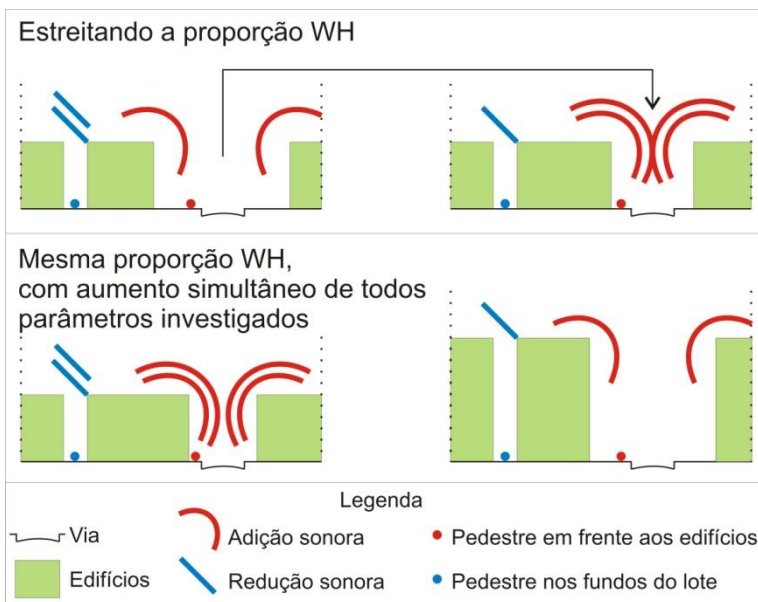


Figura 59 – Cortes esquemáticos demonstrando os principais resultados da influência da proporção WH nos níveis sonoros para o usuário da cidade.

A investigação da influência da proporção WH também demonstrou a tendência de avanço da zona de amortecimento do afastamento lateral. Nas situações com proporções de 1:0,5; 1:0,67 e 1:0,75 o avanço da zona se estendeu até a rua. Aparentemente, a pequena adição sonora ocorrida nesses cenários com cânions mais largos se uniu ao fator de amortecimento dos afastamentos laterais. Já nas situações com razões WH de 1:1; 1:1,34; 1:1,5 e 1:2 o avanço foi até as calçadas. A adição sonora imposta pelos cânions mais estreitos é maior e faz com que a zona de amortecimento não alcance a rua.

A Tabela 16 demonstra o resumo geral da influência dos quatro parâmetros investigados nas contribuições sonoras, de acordo com cada localização de usuário e as Figuras 60 e 61 demonstram esquemas que buscam interpretar graficamente os principais resultados da pesquisa. Percebeu-se que, nos cenários simulados, o parâmetro afastamento lateral, AL, foi o que mais modificou os níveis sonoros para os sujeitos dos fundos dos lotes. A distância entre fachadas, W, foi o fator que mais



alterou o ambiente urbano em frente aos edifícios, embora essas modificações tenham sido normalmente de apenas um intervalo.

Analisando-se a distribuição das manchas de mesmo valor nos mapeamentos, percebe-se que, na maioria dos cenários, as zonas de maior adição sonora estão localizadas junto às fachadas frontais dos edifícios. As zonas de maior diminuição nos cenários que possuem afastamento lateral e de fundos encontram-se atrás dos edifícios centrais. Já nos cenários em que não existem tais afastamentos, as zonas de menor adição se encontram nas vias e calçadas.

Realizando-se uma comparação entre as localizações de usuários na parte anterior dos edifícios, observa-se que, de maneira geral, o cidadão no afastamento frontal em frente às fachadas foi atingido com os maiores níveis sonoros, como já dito. Em segundo lugar tem-se o indivíduo na calçada em frente às fachadas, e em terceiro aquele localizado no centro da via. Os cidadãos na calçada em frente aos afastamentos laterais receberam adições sonoras menores do que os dos indivíduos na calçada em frente às fachadas. Comparado aos pedestres na calçada em frente ao afastamento lateral, o indivíduo localizado internamente ao lote, no afastamento frontal em frente ao afastamento lateral, recebeu menores adições sonoras quando as situações dispunham de afastamento lateral. Já entre os cenários sem afastamento lateral a situação se inverte.

Os resultados obtidos na comparação entre as localizações de indivíduos na parte anterior dos edifícios demonstram que o distanciamento entre receptor e reflexões sonoras das fachadas frontais é um aspecto predominante na formulação de tais níveis sonoros.

A comparação entre os sujeitos nos fundos dos lotes mostra que quanto mais protegido pelo edifício, maior é a contribuição de redução dos níveis de ruído. Avaliando-se os mapas gerados, vê-se que a proteção sonora atrás do edifício central é maior do que a no fundo do afastamento lateral central à quadra, em torno de 2 dB(A). Comparando-se os do fundo do afastamento lateral mais próximo à esquina essa diferença sobre para 3 dB(A).

Em todos os mapeamentos, pode-se observar que os lotes de esquina são os mais frágeis diante do aumento dos parâmetros. Nesses lotes as ondas sonoras penetram com mais facilidade para o interior da quadra, diminuindo a contribuição de redução sonora, podendo até mesmo ocorrer acréscimo ao nível de ruído como nos cenários C69, C86 e C92. Os lotes centrais são um pouco mais protegidos.

**Tabela 16 – Quadro resumo dos efeitos nos níveis sonoros segundo parâmetro investigado e localização do usuário dos espaços abertos urbanos**

Parâmetros:	Afastamento lateral AL	Altura dos edifícios H *	Distância entre fachadas frontais W	Proporção WH		
	Aumento	Aumento	Aumento	Estreitamento	Igual	
Localização do indivíduo	Na rua	Não há alteração	Aumento	Redução	Aumento	Redução
	Na calçada em frente à fachada	Não há alteração	Aumento	Redução	Aumento	Redução
	Na calçada em frente ao afastamento lateral	Redução	Aumento	Redução	Aumento	Redução
	No afastamento frontal em frente à fachada	Não há alteração	Aumento	Redução	Aumento	Redução
	No afastamento frontal em frente ao afastamento lateral	Redução	Aumento	Redução	Aumento	Redução
	Atrás dos edifícios centrais	Aumento significativo	Aumento significativo	Aumento	Aumento	Aumento
	Nos fundos dos afastamentos laterais	Aumento significativo	Aumento significativo	Aumento	Aumento	Aumento
Efeito nos níveis sonoros						

\* a influência da altura dos edifícios foi comprometida pela interferência da variação dos afastamentos laterais.

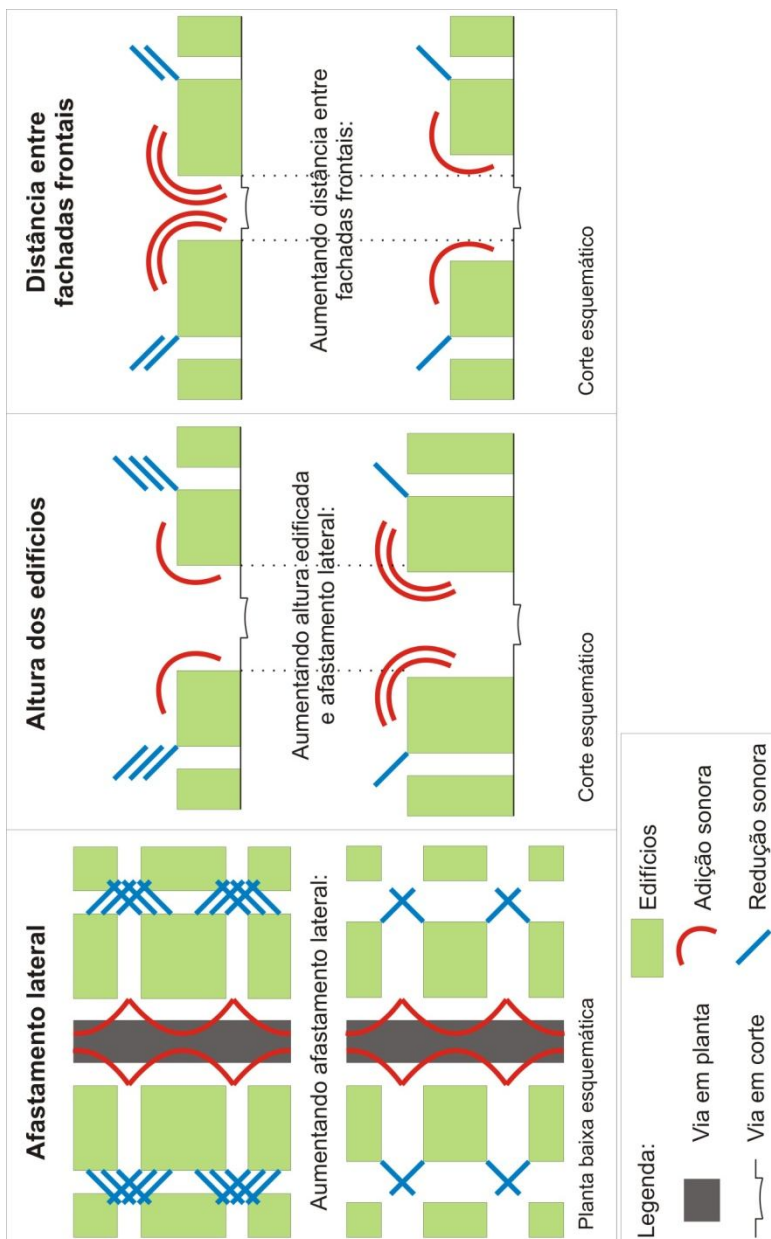


Figura 60 – Esquemas gráficos dos principais resultados quanto a afastamento lateral, altura de edificações e distância entre fachadas frontais.

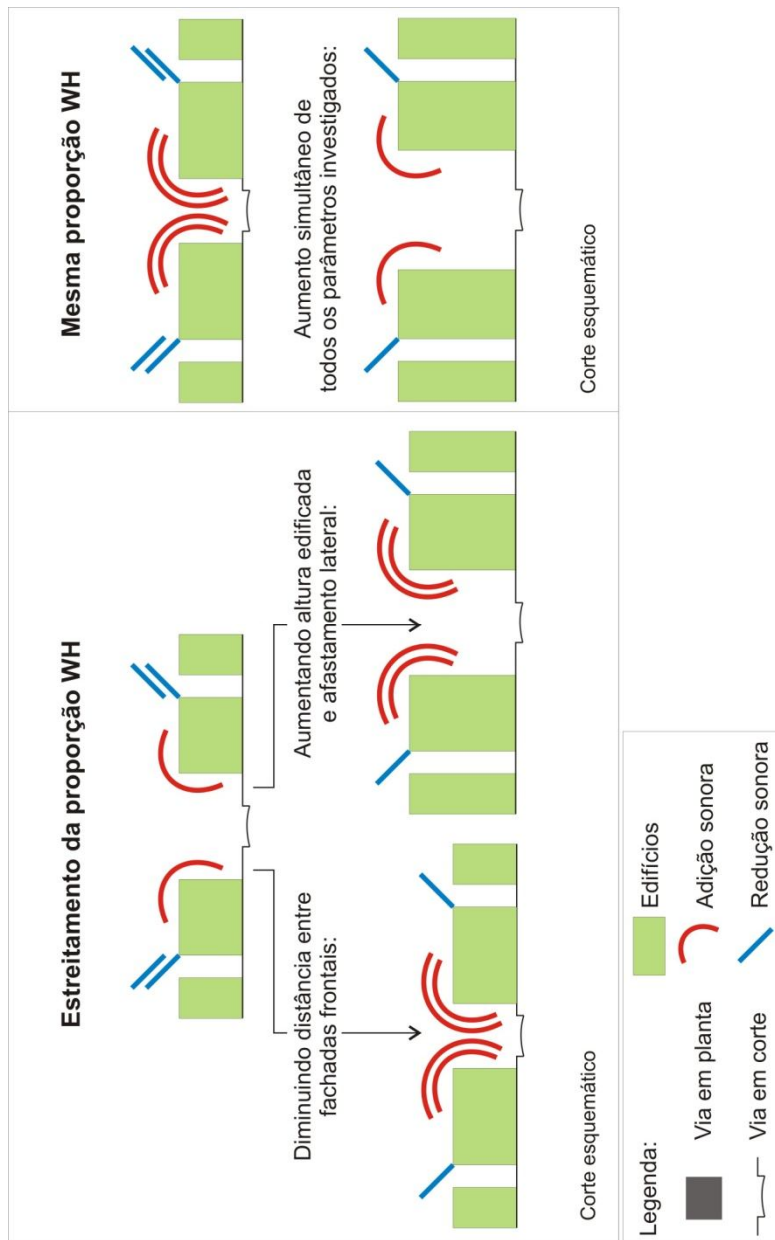


Figura 61 – Esquemas gráficos dos principais resultados quanto a proporção WH.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nota-se que na produção científica sobre a influência de elementos de arquitetura em níveis sonoros urbanos, foram pouco avaliados os parâmetros de massa edificada quanto à sua volumetria e relação com o entorno. Outra questão levantada é a pouca utilização do mapeamento sonoro como ferramenta para investigações desse tipo. Além disso, a maioria dos estudos possui o habitante como receptor sonoro de interesse, preocupando-se com a incidência sonora na edificação. Assim, a contribuição da presente pesquisa está na avaliação da influência de parâmetros da massa edificada, concentrando-se em sua volumetria e relação com o entorno, utilizando mapas de ruído como ferramenta de análise e voltando-se aos níveis sonoros que incidem no usuário da cidade, vendo a forma edificada como um dos elementos definidores da acústica urbana.

Como identificado no trabalho, atualmente, a massa edificada da maioria das cidades brasileiras tem a tendência de seguir os índices urbanísticos constantes nas legislações urbanas municipais. Tal fato ocorre devido à utilização máxima do potencial construtivo nos empreendimentos imobiliários.

A formação da massa edificada pelos índices urbanísticos de Florianópolis, na zona ARP-7, demonstrou clara interdependência de parâmetros. Após a análise do plano diretor da referida cidade, optou-se por elaborar os cenários urbanos tendo como base a mais evidente interdependência encontrada: a relação entre altura edificada e afastamentos.

Assim, chegou-se aos quatro parâmetros de interesse na análise: altura das edificações, afastamento lateral, distância entre fachadas frontais, que engloba os afastamentos frontais, e a proporção entre distância entre fachadas frontais e altura de edifícios, ou proporção WH.

Noventa e quatro cenários urbanos foram elaborados com alterações nos quatro fatores destacados e, posteriormente, mapas acústicos foram produzidos no *software* SoundPlan. O mapeamento sonoro foi uma ferramenta útil e versátil na investigação da influência dos parâmetros nos níveis de pressão sonora sobre o usuário da cidade, possibilitando, inclusive, a manipulação de resultados, obtendo-se os mapeamentos de contribuição sonora devido à introdução da massa edificada de cada cenário. A apresentação dos resultados em forma de contribuição sonora foi importante para demonstrar graficamente o

ponto principal da pesquisa: a influência que a massa edificada possui nos níveis sonoros urbanos, para o cidadão.

## 5.1 CONCLUSÕES

A comparação entre os mapas sonoros permitiu observar a influência dos quatro parâmetros escolhidos na determinação dos ambientes sonoros no nível do indivíduo que transita pelos espaços abertos urbanos:

- i. O aumento dos afastamentos laterais provocou manutenção ou redução do nível sonoro para os cidadãos localizados na parte frontal dos edifícios, enquanto que houve acréscimo no nível sonoro para os indivíduos situados nos fundos do lote;
- ii. O acréscimo das distâncias entre fachadas frontais ocasionou diminuição no nível sonoro para os cidadãos em frente às edificações, enquanto que para o sujeito localizado nos fundos do lote houve aumento no nível sonoro;
- iii. A ampliação da altura dos edifícios e o estreitamento da proporção WH possuíram mesmo efeito sobre qualquer localização de usuário: aumento no nível sonoro, ou seja, tais alterações foram nocivas para a situação acústica para os indivíduos nos ambientes urbanos abertos. É importante ressaltar que o comportamento sonoro encontrado para o aumento da altura dos edifícios foi influenciado pela tendência identificada para o afastamento lateral, pois o dimensionamento deste último parâmetro esteve atrelado à altura do edifício e possuiu maior influência nos níveis sonoros nos fundos dos lotes.

A alteração no afastamento lateral foi o fator que mais modificou os níveis sonoros para os indivíduos nos fundos do lote. Conclui-se que para se proteger as áreas mais silenciosas dos lotes, utilizando-se os índices urbanísticos testados, deve-se potencializar o aspecto de barreira acústica desempenhado pelos edifícios com o uso de afastamentos laterais mínimos. A relação de  $1/5$  e  $1/7$  da altura edificada, encontrada no Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis (PMF, 1998), que produz afastamentos normalmente pequenos, é uma boa alternativa, do ponto de vista acústico, para as cidades que empregam em seus índices urbanísticos a dependência entre afastamento lateral e altura. Uma das limitações quanto à construção dos cenários urbanos foi a igualdade entre afastamentos de fundos e laterais, o que levou à impossibilidade de se investigar a influência do afastamento lateral nulo na proteção sonora para o indivíduo no fundo do lote. Dessa forma, o papel do afastamento

lateral nulo para a situação acústica no interior da quadra é uma indicação para trabalho futuro.

Pelos índices urbanísticos utilizados, o aumento da altura dos edifícios determina afastamento lateral maior. Por isso, a opção mais correta para se proteger o fundo do lote, quando o afastamento lateral é dependente da altura edificada, não é aumentar a altura da edificação e sim usar afastamento lateral mínimo, como já mencionado.

Pelos resultados, percebe-se que o contato próximo com as reflexões sonoras das fachadas frontais é nocivo para o conforto acústico dos cidadãos. O parâmetro que mais influenciou os níveis de pressão sonora a que estão expostos os indivíduos quando posicionados na frente dos edifícios foi a distância entre fachadas frontais. Dessa forma, sempre que possível, é interessante distanciar as fachadas frontais dos pontos onde haverá concentração de pessoas. Nota-se que, além da clássica prerrogativa de se distanciar o receptor humano da fonte sonora, é importante também haver um espaçamento mínimo entre o sujeito e as fachadas frontais, que podem ser entendidas como reforçadoras de ruído.

Como observado, quanto mais estreito o ambiente urbano que contém a rua, maiores os níveis sonoros para os indivíduos que transitam pelos espaços urbanos abertos, sendo que acima da proporção 1:1 o acréscimo se torna constante. O ângulo  $\alpha$  de  $70^\circ$  exigido em Florianópolis ultrapassa a razão citada. Dessa forma, para o conforto acústico dos transeuntes seria mais interessante o alargamento dos cânions urbanos com o distanciamento entre fachadas frontais. Isoladamente, a elaboração de novos edifícios pode procurar trabalhar com o máximo de afastamento frontal possível, resguardando acusticamente os pedestres.

Pensando-se na distribuição dos ambientes de convívio social dentro dos lotes edificadas é possível notar que o afastamento de fundos, sendo normalmente a área mais silenciosa, deve ser protegido e receber atividades que não gerem muito ruído. As atividades sociais mais ruidosas devem ser projetadas com o máximo de cuidado visando não perturbar as áreas mais silenciosas e, também, não agravar a situação acústica de regiões que recebem mais adições sonoras como a entrada dos afastamentos laterais e os afastamentos frontais.

Observando-se os mapeamentos obtidos, percebeu-se que os edifícios, mesmo quando fragilizados por afastamentos laterais maiores, fizeram com que houvesse redução nos níveis sonoros para os sujeitos nos fundos dos lotes. É interessante perceber que a área do afastamento de fundos, ao invés de ser vista como espaço residual, como acontece

em muitos projetos de edifícios, deveria possuir nível de importância compatível com sua potencialidade de ambiente acusticamente protegido. Esse pensamento deve ser compartilhado na implantação dos edifícios em todos os lotes que compõem uma quadra. Por exemplo, a inserção de um novo edifício pode ser realizada com uma implantação que favoreça, juntamente com os outros edifícios já construídos, a proteção acústica do interior da quadra.

É necessário frisar que houve interferência do afastamento lateral nos resultados sobre a influência da altura dos edifícios, já que os dois parâmetros são interligados no planejamento urbano de Florianópolis. Assim, destaca-se uma das limitações deste trabalho: a utilização do mesmo conceito de interdependência entre parâmetros para determinação da massa edificada encontrado nos índices urbanísticos da zona ARP-7 da referida cidade. Outra limitação do estudo foi a escolha por se trabalhar apenas com volumes edificados básicos, com fachadas planas e que possuem reflexão sonora elevada.

Por fim, ressalta-se que no meio urbano existem inúmeros outros condicionantes e variáveis que devem ser considerados para formulação de planejamento urbano ou elaboração arquitetônica de um edifício. Assim, a aplicação das conclusões alcançadas para a relação entre os parâmetros: altura de edifícios, afastamento lateral, distância entre fachadas frontais e proporção WH, com os níveis sonoros para os indivíduos deve ser aliada e equilibrada com respostas a outras questões como conforto lumínico e térmico, funcionalidade, estética, estrutura, economia, entre outros.

A escolha por se fazer a análise dos resultados por meio de mapeamento de contribuição sonora, ou seja, subtraindo-se os resultados de cada cenário pelos valores do cenário sem edifícios, possibilitou a visualização dos efeitos acústicos de cada forma urbana de maneira simples e direta. Nos mapas assim obtidos fica evidente a responsabilidade que as diretrizes dos planejadores urbanos possuem na acústica urbana. Esta pesquisa também demonstra que as decisões projetuais arquitetônicas são importantes não só para o conforto acústico dos habitantes dos edifícios, mas, também, para a configuração dos ambientes acústicos para o cidadão usufruindo dos espaços abertos das cidades.

As modificações no ambiente sonoro verificadas pelas alterações dos parâmetros aqui investigados são, em sua maioria, constituída por pequenas diferenças, entre 1 e 3 dB(A). Tais valores não possuem impacto na percepção sonora do usuário dos espaços abertos urbanos, mas podem ser somados a contribuições sonoras de outras ações de



planejamento urbano, como distanciamento das vias mais ruidosas de áreas residenciais, localização distanciada de usos comerciais e industriais, utilização de pavimentação menos ruidosa para as vias, entre outros. Dessa forma, durante o planejamento de uma área urbana, a contribuição sonora da massa edificada pode se aliar a outras advindas de decisões de projeto e alcançar diminuições no ruído ambiental que efetivamente possuam impacto de melhoria na percepção sonora do ser humano. O planejamento urbano conduzido de forma a resguardar acusticamente o cidadão localizado nos espaços abertos é uma forma barata de prevenção dos mais diversos problemas que surgem da poluição sonora e também de criação de zonas mais silenciosas pela cidade.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As questões levantadas durante o trabalho apontam outros caminhos de investigação, desdobramentos que surgem a partir da investigação principal da pesquisa.

- Analisar como a ferramenta constituída por mapas sonoros, pode ser estendida aos profissionais que trabalham com formulação de espaços, seja de arquitetura ou urbanismo, enriquecendo suas decisões projetuais;
- Avaliar a influência do afastamento lateral nulo nos níveis sonoros para o indivíduo localizado nos fundos dos lotes;
- Investigar a influência de outros índices urbanísticos constantes no plano diretor de Florianópolis, como taxa de ocupação e índice de aproveitamento, na conformação sonora urbana;
- Avaliar como outras formas de planejamento urbano contidas em planos diretores de outras cidades influenciam os níveis sonoros para os cidadãos;
- Investigar como a inserção e distribuição de grandes áreas verdes urbanas, como parques, podem alterar os ambientes sonoros para seus usuários e, também, para os cidadãos localizados nas regiões do entorno;
- Avaliar a propagação sonora, por meio de mapeamento sonoro, de cenários urbanos nos quais as fachadas dos edifícios possuam certo grau de absorção sonora, seja com a adoção de reentrâncias ou com o uso de materiais menos reflexivos do que o indicado nesta pesquisa;

- Analisar como vazios urbanos, que representam uma “pausa” na massa edificada das cidades, como praças, calçadas, largos, entre outros, podem alterar a configuração sonora dos ambientes do entorno;
- Avaliar a influência de parâmetros da massa edificada de forma conjunta com o conforto acústico, conforto lumínico e conforto térmico, para o usuário da cidade;
- Investigar como a hierarquização do fluxo de veículos nas vias de cenários urbanos pode influenciar os níveis sonoros para o cidadão;
- Analisar a influência da produção de edifícios de tipologia de torre sobre base ampliada, criados por índices urbanísticos presentes no Plano Diretor do Distrito Sede de Florianópolis, na situação acústica urbana para o indivíduo nos espaços abertos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 10.151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ALUCCI, M. P.; CARNEIRO, C. D. M.; BARING, J. G. A. **Implantação de conjuntos habitacionais - Recomendações para adequação climática e acústica**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo / Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo. São Paulo. 1986.

ARANA, M. *et al.* Strategic noise map of a major road carried out with two environmental prediction software packages. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 163, n. 1, p. 503-513, 2010.

ASENSIO, C. *et al.* GPS-based speed collection method for road traffic noise mapping. **Transportation Research Part D**, v. 14, n. 5, p. 360-366, 2009.

AUSEJO, M. *et al.* Study of precision, deviations and uncertainty in the design of the strategic noise map of the macrocenter of the city of Buenos Aires, Argentina. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 15, n. 2, p. 125-135, 2010.

BARRIGÓN MORILLAS, J. M. *et al.* An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. **Applied Acoustics**, v. 63, n. 10, p. 1061-1070, 2002.

BENTO COELHO, J. L. **A paisagem sonora como instrumento de design e engenharia em meio urbano**. XXIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. Salvador, BA: Sobrac. 2010.

BOTTELDOOREN, D.; VAN RENTERGHEM, T. **Modelling outdoor sound propagation: a careful balance between physical rigour and engineering practice**. Euronoise. Edinburgh, Scotland: [s.n.]. 2009.

BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH. **Handbook user's manual**. Disponível em: <<http://www.soundplan.com>>. Acesso em: 21 de outubro de 2010.

CARVALHO, H.; CORBELLA, O.; GONÇALVES DIAS, F. Repercussões negativas no clima da cidade de João Pessoa PB devidas ao escalonamento dos edifícios na sua orla marítima. **Arquitextos**, São Paulo, v. 07.082, mar 2007.

CHO, D. S.; KIM, J. H.; MANVELL, D. Noise mapping using measured noise and GPS data. **Applied Acoustics**, v. 68, n. 9, p. 1054-1061, 2007.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 001**: de 08 de março de 1990. Disponível em: <<http://www.mpes.gov.br>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2011.

COSTA, S.; LOURENÇO, R. Geoprocessing applied to the assessment of environmental noise: a case study in the city of Sorocaba, São Paulo, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2010.

CYMBALISTA, R. **Estudo de Impacto de Vizinhança**. Disponível em: <<http://www.polis.org.br/publicacoes/dicas/>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2011.

CZYZEWSKI, A.; KOTUS, J. Universal system for diagnosing environmental noise. **Management of Environmental Quality**, v. 15, n. 3, p. 294 - 305, 2004.

DEL RIO, V. **Introdução ao desenho urbano no processo de planejamento**. São Paulo: Pini, 1990.

DOYGUN, H.; KUSAT GURUN, D. Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaraş, Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 142, n. 1, p. 65-72, 2008.

DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: Correlações e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 7-20, abr./jun. 2003.

EL DIEN, H. H.; WOLOSZYN, P. Prediction of the sound field into high-rise building facades due to its balcony ceiling form. **Applied Acoustics**, v. 65, n. 4, p. 431-440, 2004.

EL DIEN, H. H.; WOLOSZYN, P. The acoustical influence of balcony depth and parapet form: experiments and simulations. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 5, p. 533-551, 2005.

FORSSÉN, J.; ÖGREN, M. Thick barrier noise-reduction in the presence of atmospheric turbulence: measurements and numerical modelling. **Applied Acoustics**, v. 63, n. 2, p. 173-187, 2002.

FORSSÉN, J.; THORSSON, P. **Road traffic noise propagation to na inner yard - Measurements before and after the construction of gap filling buildings**. Euronoise 2009. Edinburgh, Scotland: [s.n.]. 2009.

GHIAUS, C. *et al.* Urban environment influence on natural ventilation potential. **Building and Environment**, v. 41, n. 4, p. 395-406, 2006.

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros,

MG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 73-91, jan./mar. 2009.

GUEDES, I. C. M. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: Um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE)**. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. 115 p.

HINCU, G. Computer assisted evaluation of traffic noise level. **Electronic Journal Technical Acoustics**, v. 19, 2003.

HOLSTON, J. **Cidade Modernista: Uma crítica de Brasília e sua utopia**. São Paulo: Companhia das Letras, 1993.

HORNIKX, M.; FÓRSSÉN, J. The 2.5-dimensional equivalent sources method for directly exposed and shielded urban canyons. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, n. 5, p. 2532-2541, 2007.

HORNIKX, M.; FORSSÉN, J. Noise abatement schemes for shielded canyons. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 2, p. 267-283, 2009.

HOTHERSALL, D. C.; HOROSHENKOV, K. V.; MERCY, S. E. Numerical modelling of the sound field near a tall building with balconies near a road. **Journal of Sound and Vibration**, v. 198, n. 4, p. 507-515, 1996.

KING, E. A.; RICE, H. J. The development of a practical framework for strategic noise mapping. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 8, p. 1116-1127, 2009.

KINSLER, L. E. *et al.* **Fundamentals of acoustics**. 3<sup>a</sup> ed. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1982.

KORTE, C.; GRANT, R. Traffic noise, environmental awareness and pedestrian behavior. **Environment & Behavior**, v. 12, n. 3, p. 408-420, 1980.

KREBS, A. P. **Legislação urbana e (des)construção da urbanidade: Uma análise observacional dos efeitos das leis municipais na perspectiva de um técnico**. Mestrado em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2002.

KRÜGER, E. L. Impacto do adensamento e da orientação solar de cânions urbanos na demanda por condicionamento térmico de edificações sob condições de clima desértico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 65-87, jan./mar. 2008.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. 3<sup>a</sup> ed. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian / Fundação para ciência e tecnologia, 2004.

LEDER, S. M.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Janela de céu preferível: proposição de um parâmetro para controle da disponibilidade de luz natural no meio urbano. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 89-104, jan./mar. 2008.

LEE, P. J. *et al.* Effects of apartment building façade and balcony design on the reduction of exterior noise. **Building and Environment**, v. 42, n. 10, p. 3517-3528, 2007.

LEE, S.; CHANG, S. I.; PARK, Y. Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea. **Applied Acoustics**, v. 69, n. 8, p. 704-714, 2008.

LI, K. M. *et al.* A simple formula for evaluating the acoustic effect of balconies in protecting dwellings against road traffic noise. **Applied Acoustics**, v. 64, n. 7, p. 633-653, 2003.

MAEKAWA, Z. Noise reduction by screens. **Applied Acoustics**, v. 1, n. 3, p. 157-173, 1968.

MORAES, E. L.; LARA, N. **Mapa acústico de Belém**. VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ENCAC. 2005. p. 1241-1250.

MORAES, E. L.; SIMÓN, F.; GUIMARÃES, L. H. **Mapa de predicción del ruido ambiente en Belém - Brasil**. X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Natal: ENCAC. 2009. p. 1609-1618.

NARDI, A. S. L. V. **Mapeamento sonoro em ambiente urbano. Estudo de caso: área central de Florianópolis**. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2008.

NICOL, F.; WILSON, M. The effect of street dimensions and traffic density on the noise level and natural ventilation potential in urban canyons. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 5, p. 423-434, 2004.

ÖGREN, M.; FORSSÉN, J. Modelling of a city canyon problem in a turbulent atmosphere using an equivalent sources approach. **Applied Acoustics**, v. 65, n. 6, p. 629-642, 2004.

ÖHRSTRÖM, E. Longitudinal surveys on effects of changes in road traffic noise - annoyance, activity disturbances, and psycho-social well-being. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 115, n. 2, p. 719-729, 2004.

ÖHRSTRÖM, E. *et al.* Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. **Journal of Sound and Vibration**, v. 295, p. 40-59, 2006.

ÖHRSTRÖM, E. *et al.* Annoyance due to single and combined sound exposure from railway and road traffic. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, n. 5, p. 2642-2652, 2007.

OLDHAM, D. J.; MOHSEN, E. A. A model investigation of the acoustical performance of courtyard houses with respect to noise from road traffic. **Applied Acoustics**, v. 12, n. 3, p. 215-230, maio 1979. a

OLDHAM, D. J.; MOHSEN, E. A. The acoustical performance of self-protecting buildings. **Journal of Sound and Vibration**, v. 65, n. 4, p. 557-581, agosto 1979. b

OLDHAM, D. J.; MOHSEN, E. A. A technique for predicting the performance of self-protecting buildings with respect to traffic noise. **Noise control engineering**, v. 15, n. 1, p. 11-19, julho 1980.

OLIVEIRA, L. P.; ROMERO, M. B. **Reflexões sobre a relação W&H - Considerações sobre a altura, espaçamento e profundidade das edificações na malha urbana e suas conseqüências**. IX Encontro Nacional e V Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, MG: [s.n.]. 2007.

OYEDEPO, O.; SAADU, A. Evaluation and analysis of noise levels in Ilorin metropolis, Nigeria. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 160, n. 1, p. 563-577, 2010.

PANERAI, P.; CASTEX, J.; DEPAULE, J.-C. **Urban forms: The death and life of the urban block**. [S.l.]: Architectural Press, 2004.

PARLAMENTO EUROPEU. **Directiva 2002/49/CE**: do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. Disponível em: < <http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2011.

PEREIRA, E. M. **Leis que desenham cidades**. Anais do 15º Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico - IV International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design - GRAPHICA 2001. São Paulo: [s.n.]. 2001.

PEREIRA, R. C.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 103-115, out./dez. 2008.

PICCOLO, A.; PLUTINO, D.; CANNISTRARO, G. Evaluation and analysis of the environmental noise of Messina, Italy. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 4, p. 447-465, 2005.

PINTO, F. N. C.; MARDONES, M. M. Noise mapping of densely populated neighborhoods - example of Copacabana, Rio de Janeiro - Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 155, n. 1, p. 309-318, 2009.

PMF. **Lei Complementar Nº 60**, de 11 de maio de 2000 – Código de Obras e Edificações de Florianópolis. Disponível em <<http://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2011. a

PMF. **Lei nº 1224/74** – Código de Posturas Municipal. Disponível em <<http://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2011. b

PMF. **Plano Diretor do Distrito Sede**. IPUF: Prefeitura Municipal de Florianópolis. Lei Complementar nº 001/97. 1998.

PMF. **Termo de referência nº 01-2003**: Diretrizes para realização dos estudos de impacto de vizinhança exigidos pela Lei nº 120.257/01. 2003

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**: Estatuto da Cidade. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/programas-urbanos/legislacao>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2011. a

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL. **Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002**: Código Civil Brasileiro. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/leis/2002/L10406.htm>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2011. b

REYNOLDS, D. D. **Engineering principles of acoustics - Noise and vibration control**. Boston: Allyn and Bacon, 1985.

SALOMONS, E. *et al.* Engineering modeling of traffic noise in shielded areas in cities. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 126, n. 5, p. 2340-2349, 2009.

SCALCO, V. A.; PEREIRA, F. O. R.; RIGATTI, D. Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 171-187, abr./jun. 2010.

SCHIFF, M.; HORNIKX, M.; FORSSÉN, J. Excess attenuation for sound propagation over an urban canyon. **Applied Acoustics**, v. 71, n. 6, p. 510-517, 2010.

SHARLAND, I. **Woods practical guide to noise control**. 1ª ed. ed. Salford, U.K.: Woods Acoustics, 1972.

SOMMERHOFF, J.; RECUERO, M.; SUÁREZ, E. Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. **Applied Acoustics**, v. 65, n. 7, p. 643-656, 2004.

SZCZODRAK, M.; KOTUS, J.; CZYZEWSKI, A. **Dynamic noise mapping in the city of Gdansk**. Euronoise. Edinburgh, Scotland: [s.n.]. 2009.



THORSSON, P. J.; ÖGREN, M. Macroscopic modeling of urban traffic noise - influence of absorption and vehicle flow distribution. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 2, p. 195-209, 2005.

TAI, K.; LIN, M.; CHEN, Y. Noise mapping in urban environments: A Taiwan study. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 7, p. 964-972, 2009.

VAN LEEUWEN, H. J. A.; DE VOS, P. **The implementation of a simplified Harmonoise/Imagine method for making noise maps for large areas**. Euronoise. Edinburgh, Scotland: [s.n.]. 2009.

VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D. Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. **Journal of Sound and Vibration**, v. 317, n. 3-5, p. 781-799, 2008.

VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D. The importance of roof shape for road traffic noise shielding in the urban environment. **Journal of Sound and Vibration**, v. 329, n. 9, p. 1422-1434, 2010.

VAN RENTERGHEM, T.; SALOMONS, E.; BOTTELDOOREN, D. Parameter study of sound propagation between city canyons with a coupled FDTD-PE model. **Applied Acoustics**, v. 67, n. 6, p. 487-510, 2006.

WALERIAN, E.; JANCZUR, R.; CZECHOWICZ, M. Sound level forecasting for city-centers. Part 1: sound level due to a road within an urban canyon. **Applied Acoustics**, v. 62, n. 4, p. 359-380, 2001.

WALLA, R. S. *et al.* Directional guidance from audible pedestrian signals for street crossing. **Ergonomics**, v. 47, n. 12, p. 1318-1338, 2004.

WG-AEN. **Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure - Final draft, version 2**. European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise. [S.l.], p. 129. 2006.

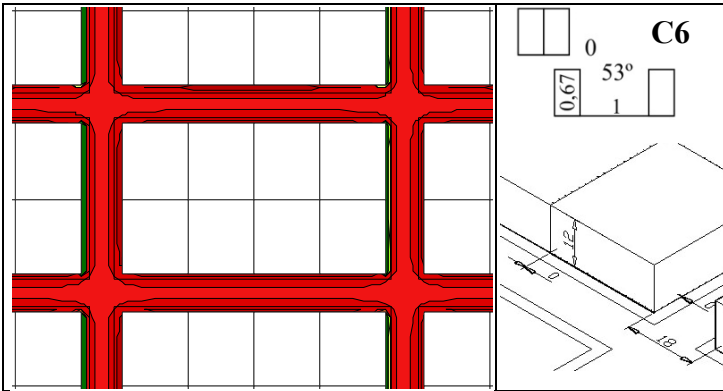
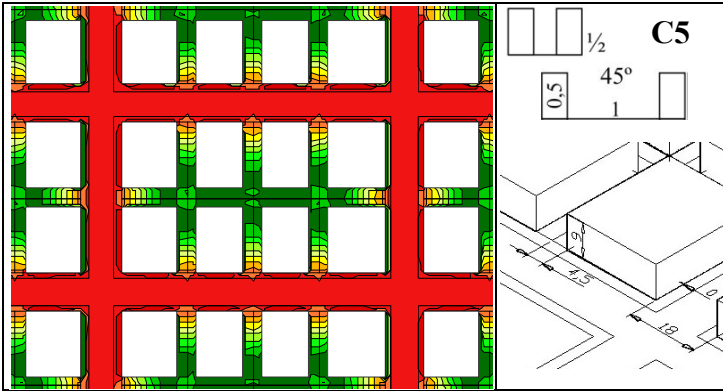
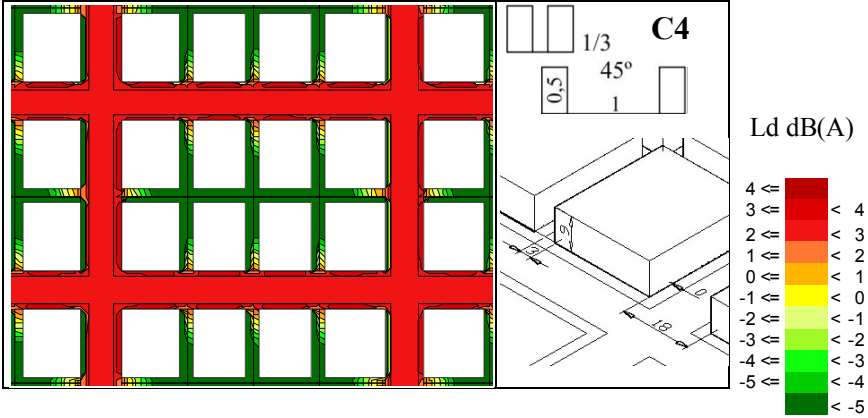
YANG, W.; KANG, J. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 2, p. 211-229, 2005.

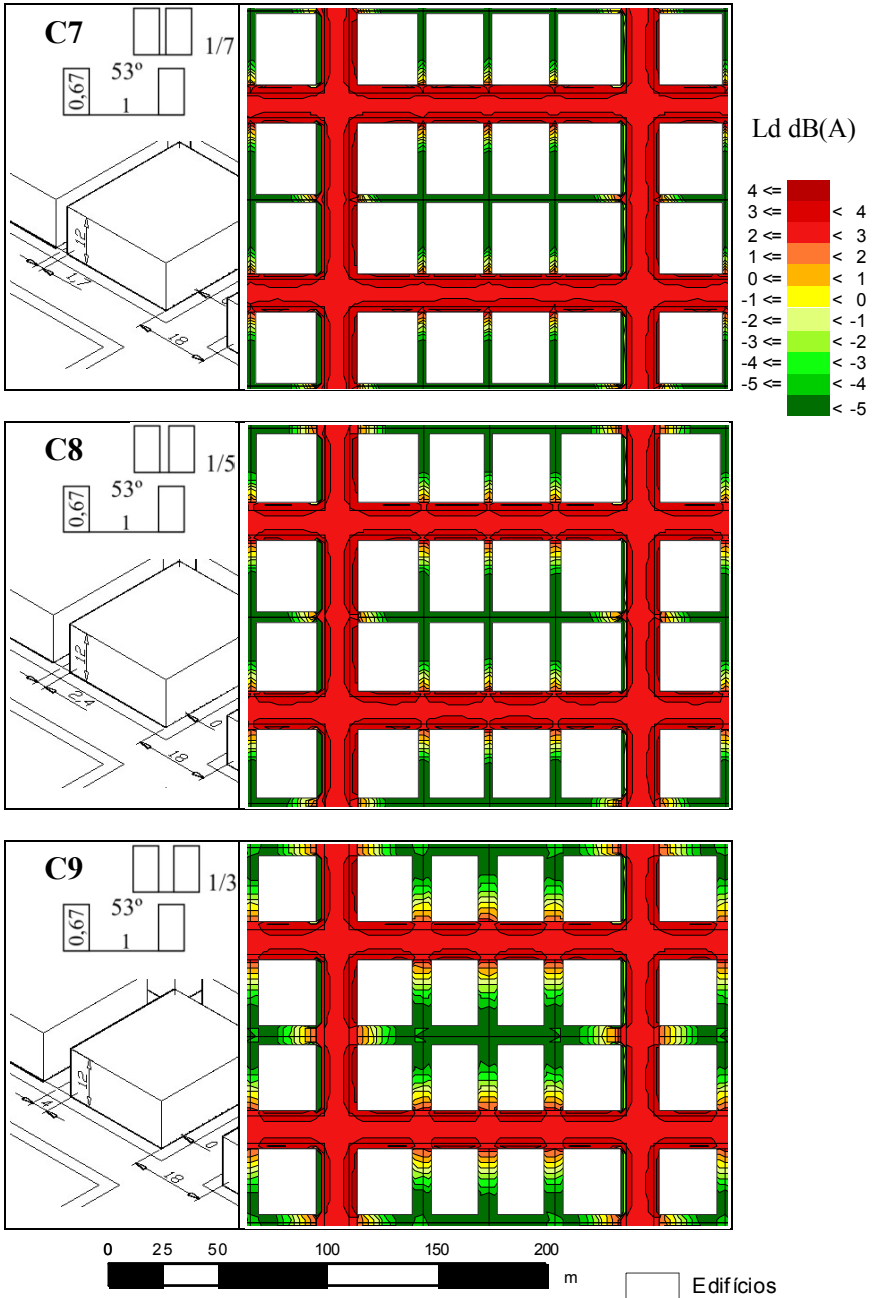
YILMAZ, G.; HOCANLI, Y. Mapping of noise by using GIS in Şanlıurfa. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 121, n. 1, p. 103-108, 2006

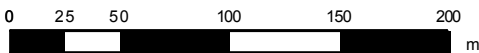
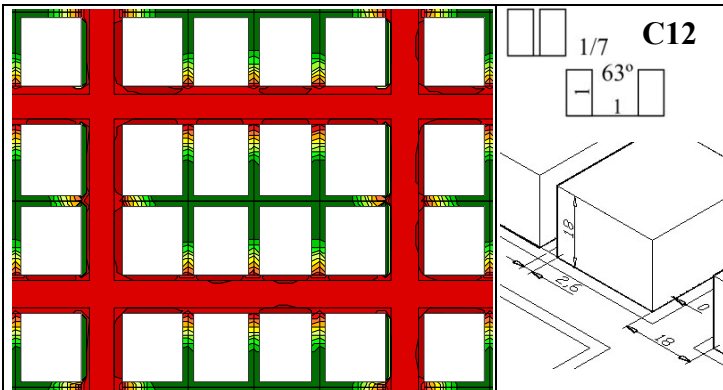
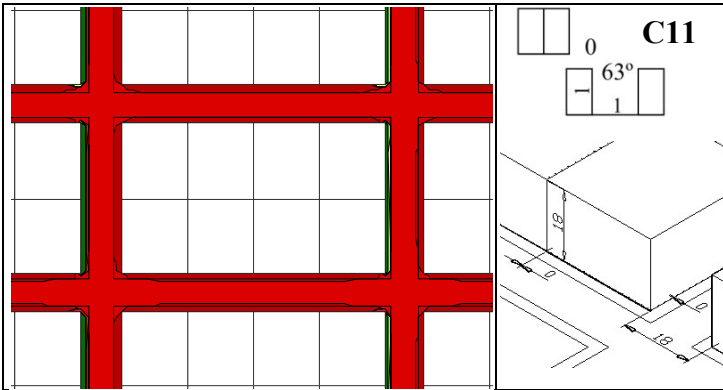
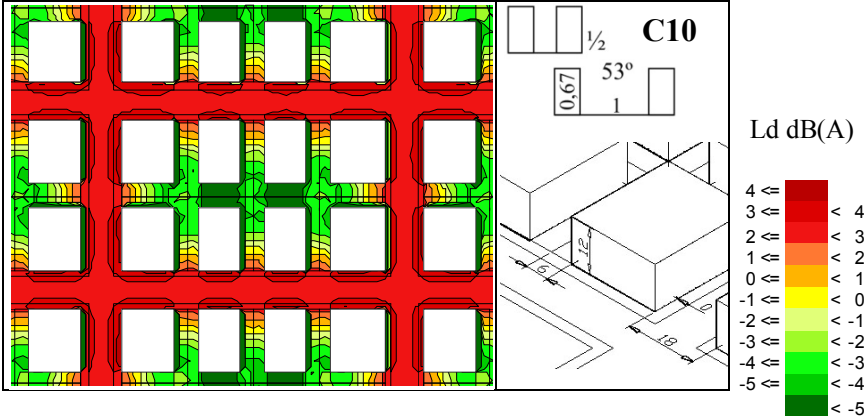
## **7 APÊNDICE A**


Mapeamentos de contribuição sonora dos cenários urbanos simulados

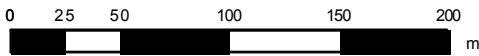
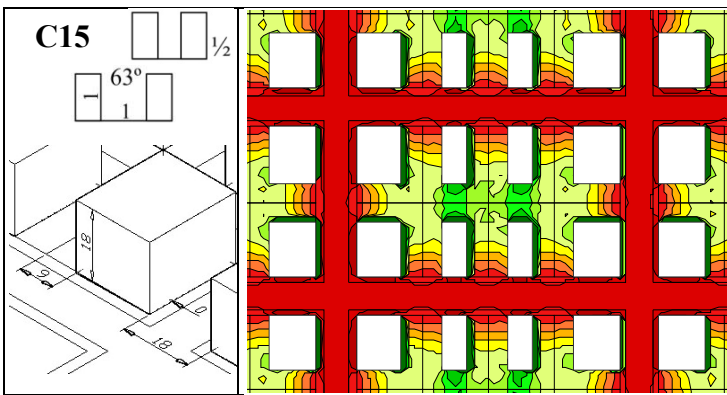
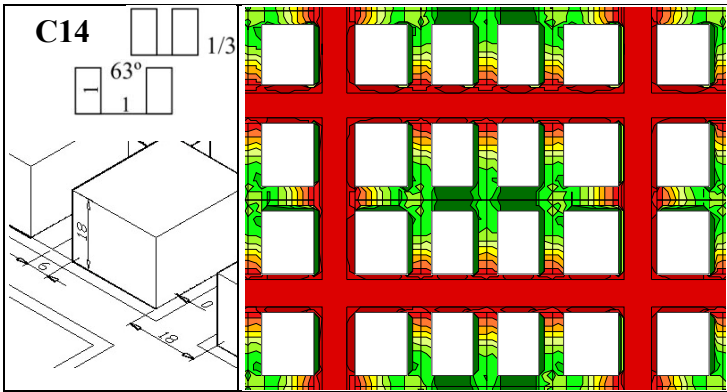
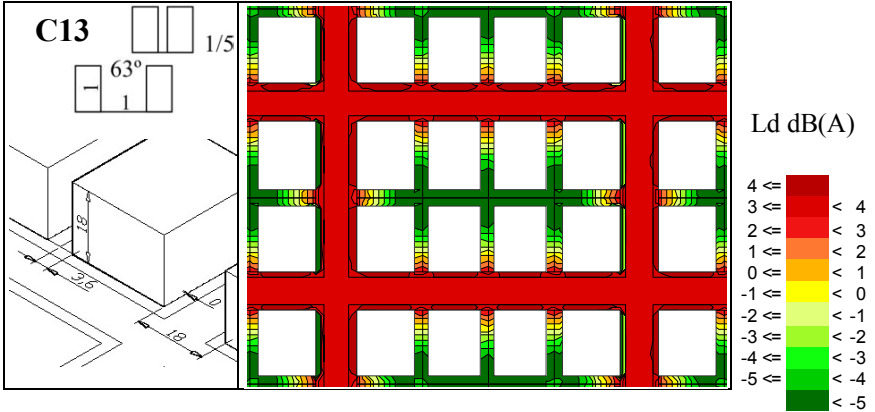




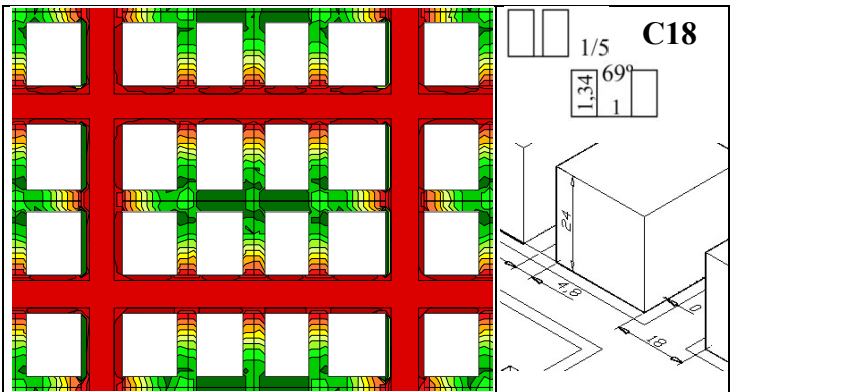
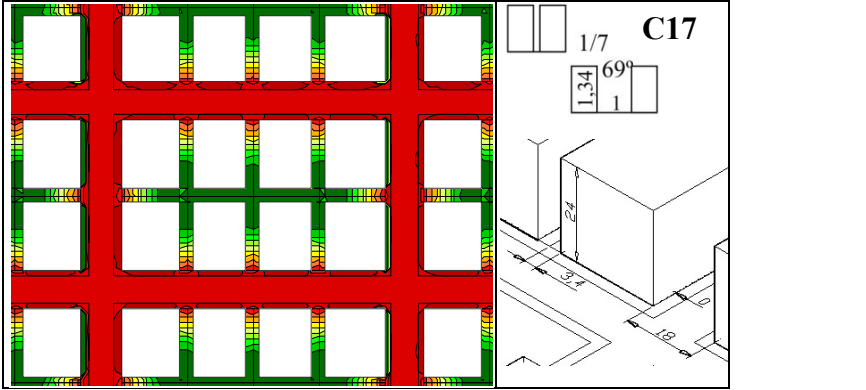
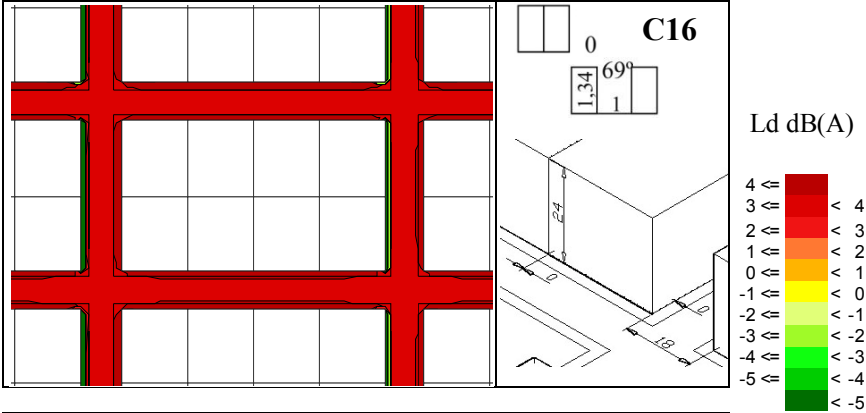




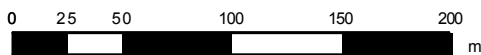
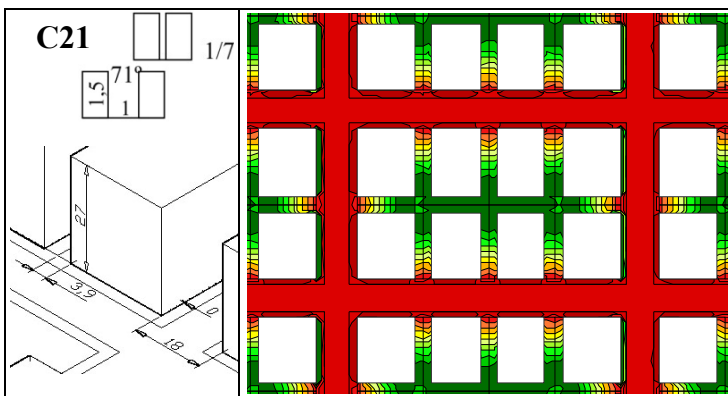
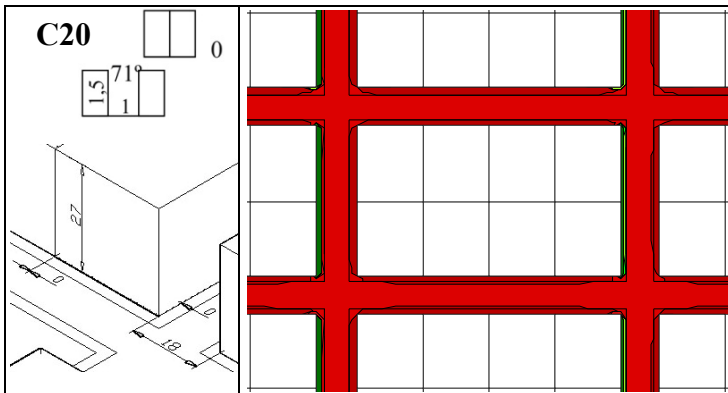
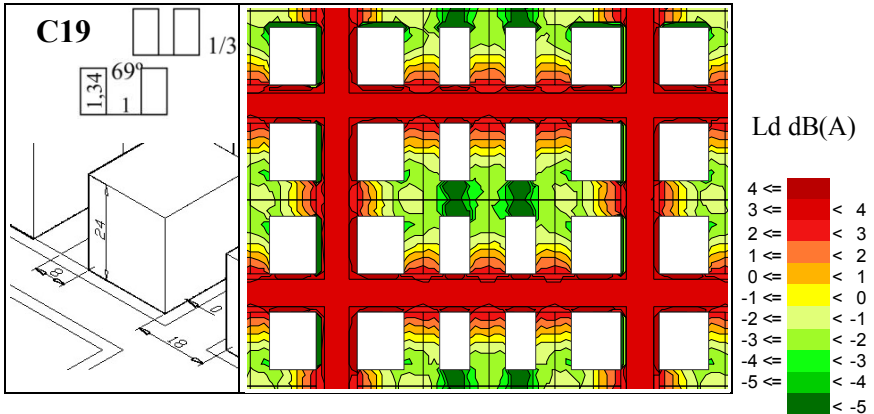
 Edifícios



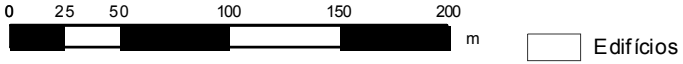
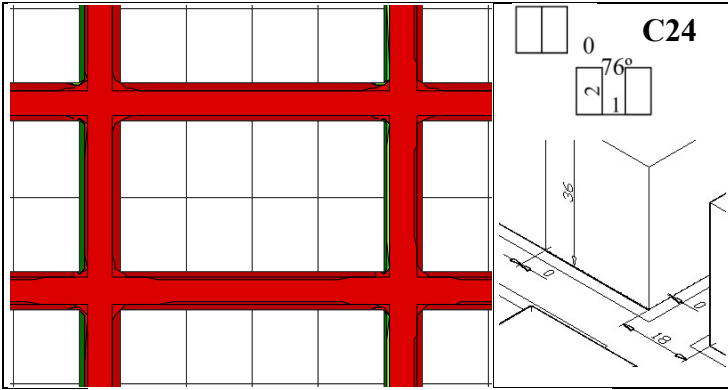
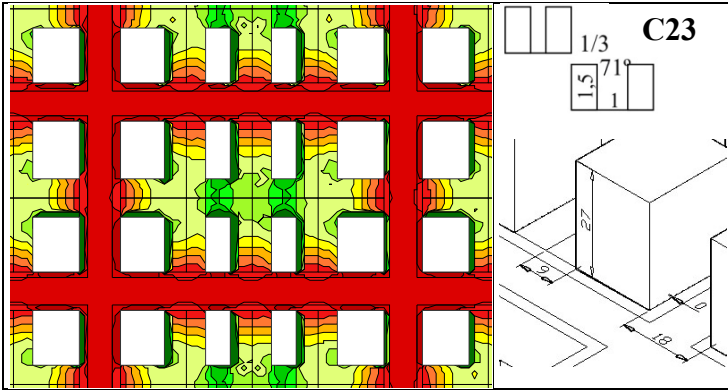
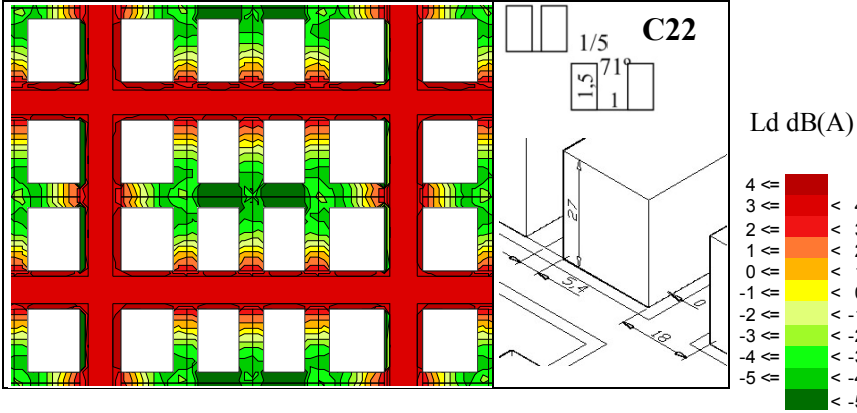
Edificios

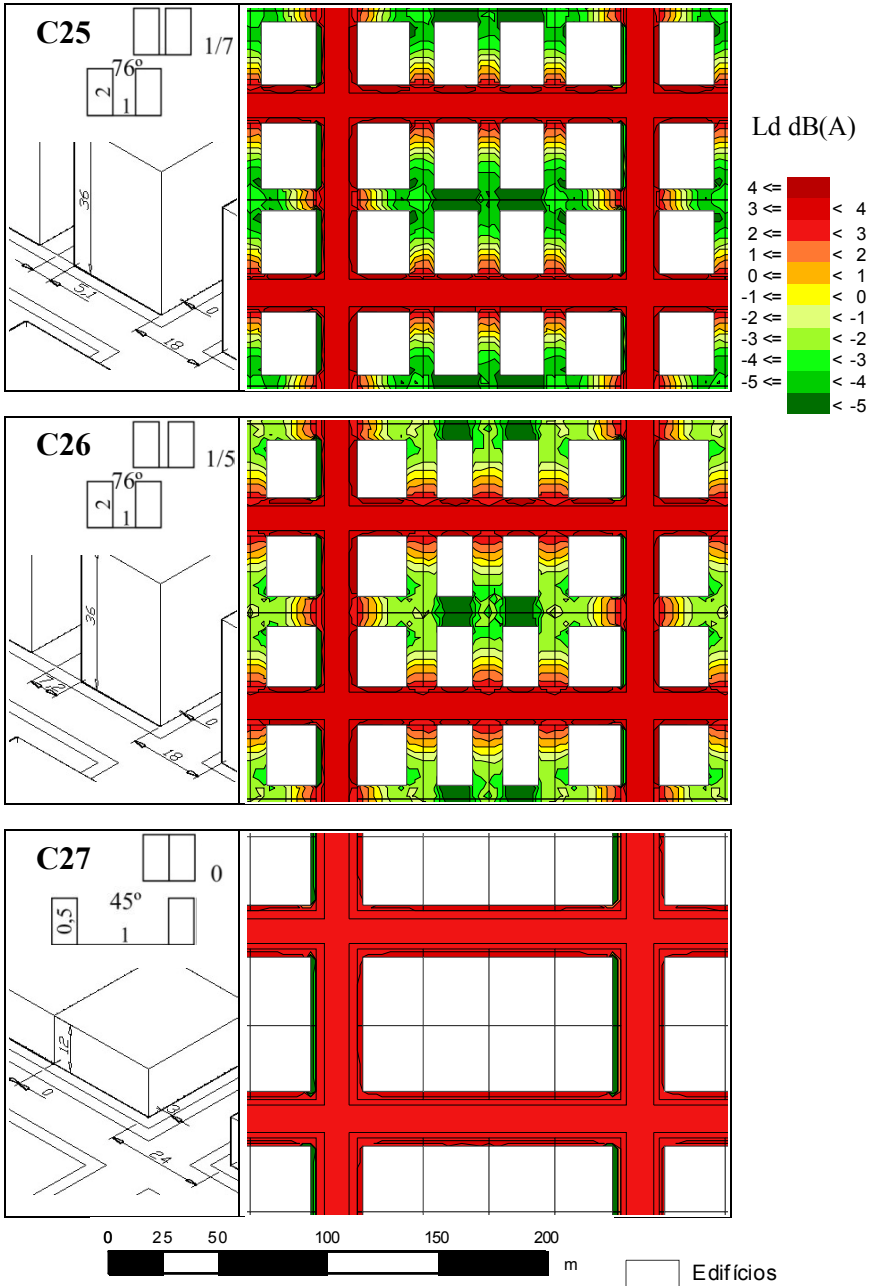


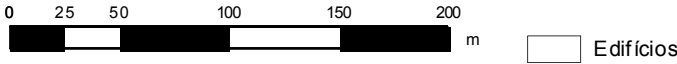
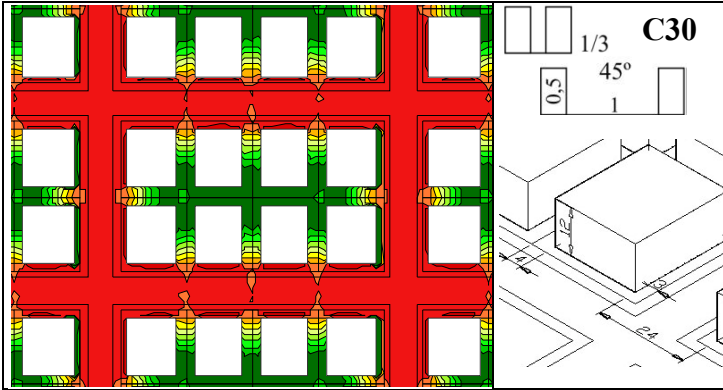
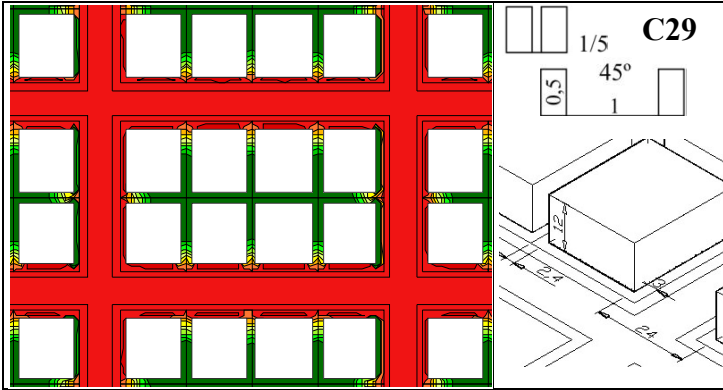
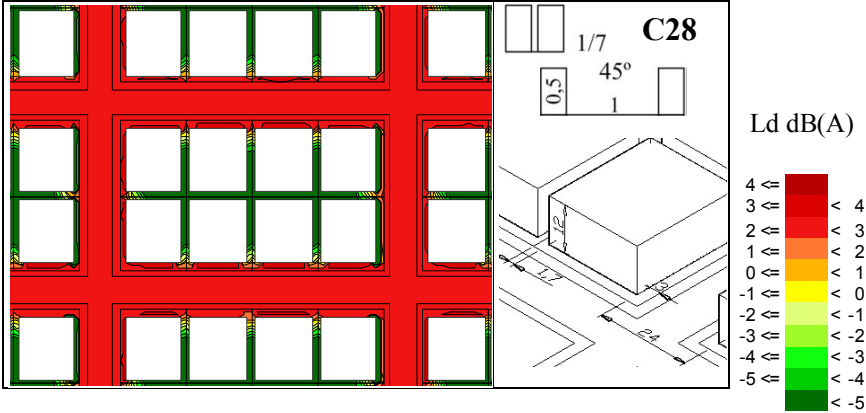


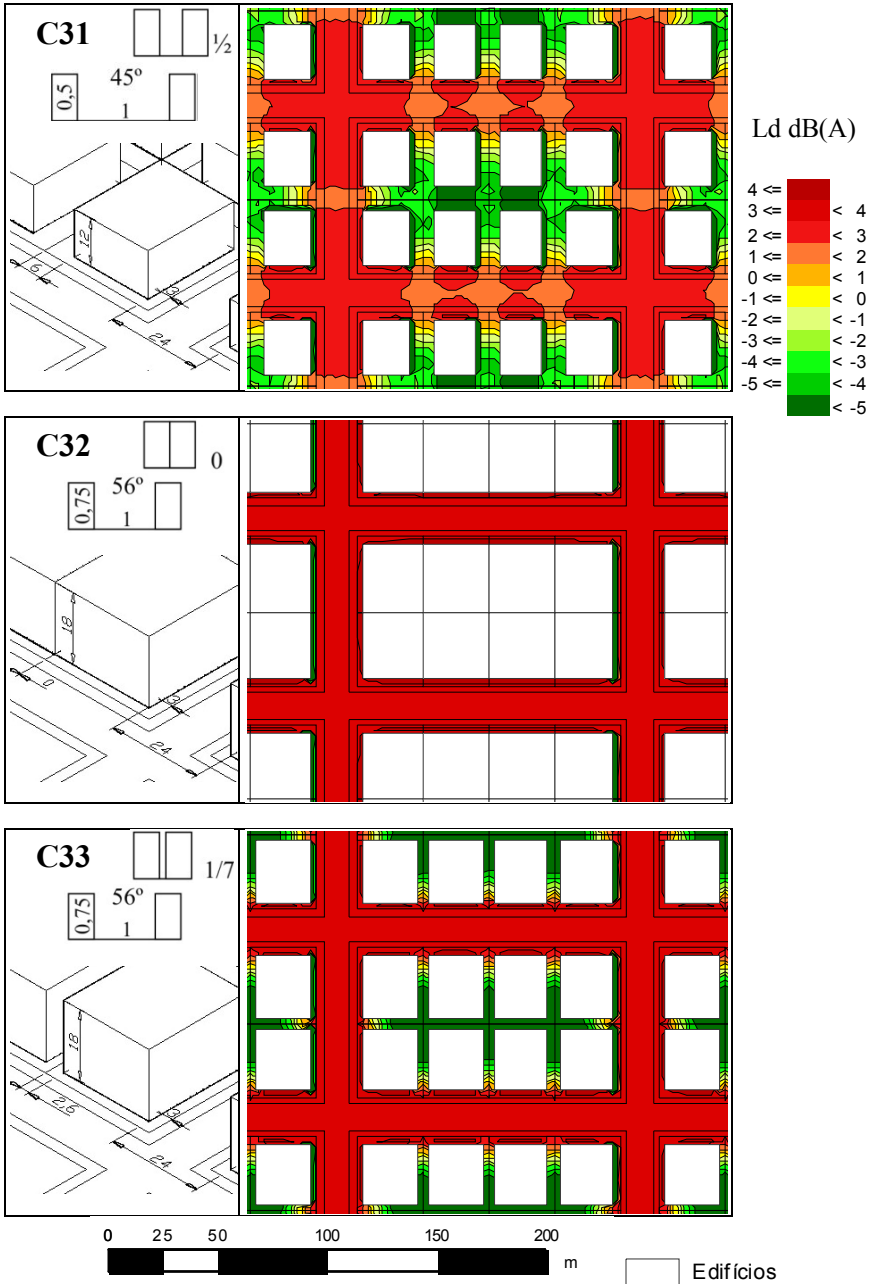


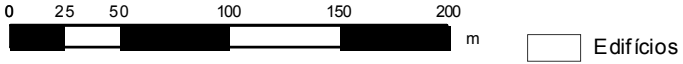
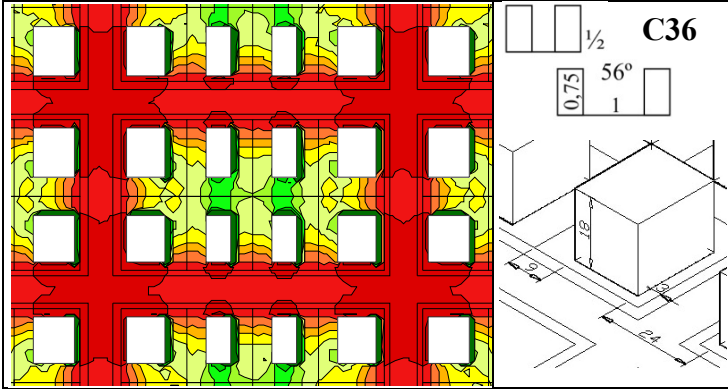
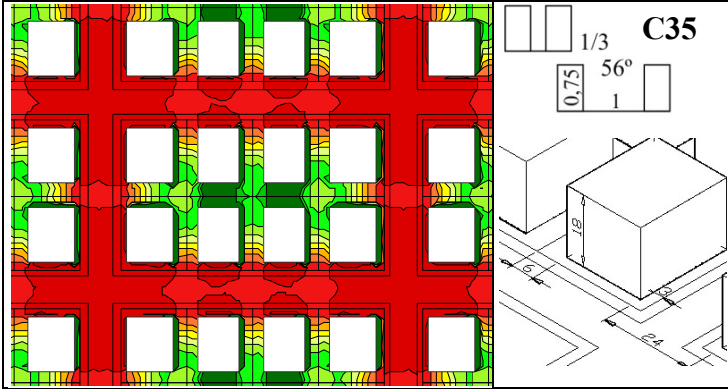
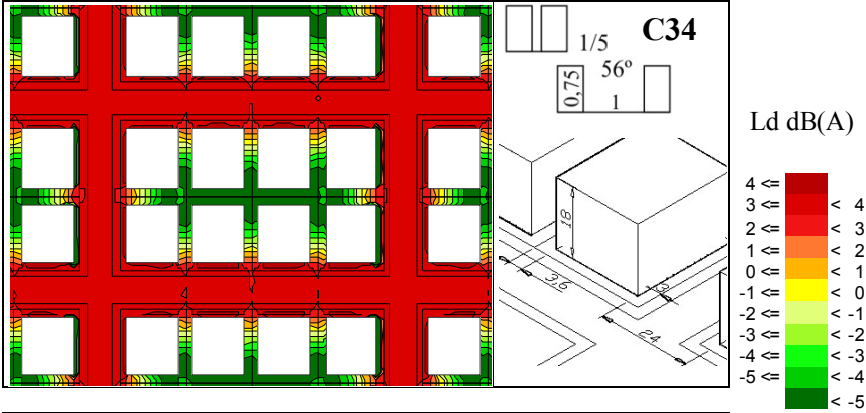
Edificios

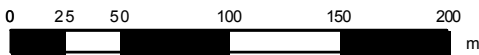
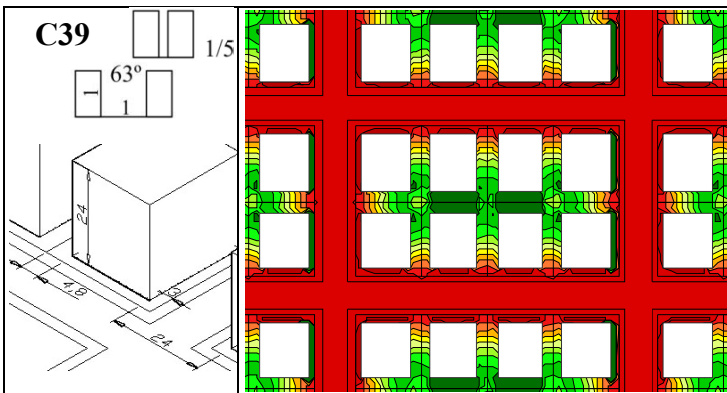
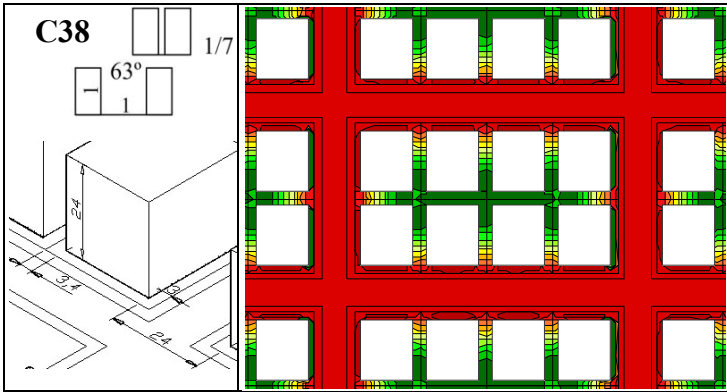
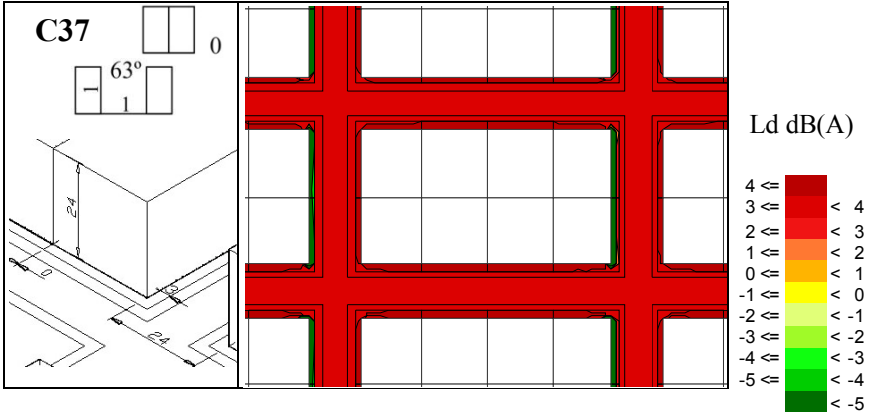





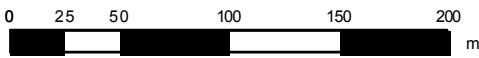
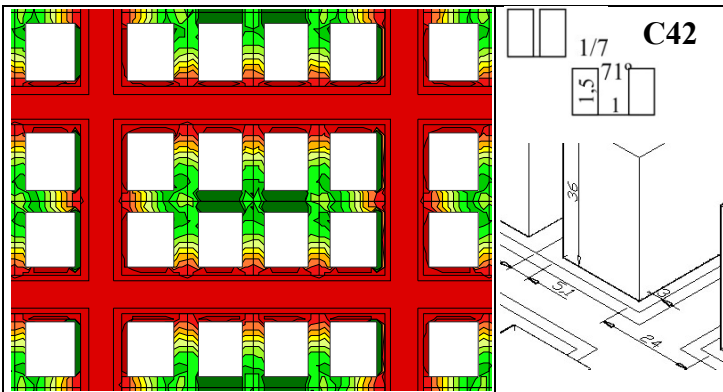
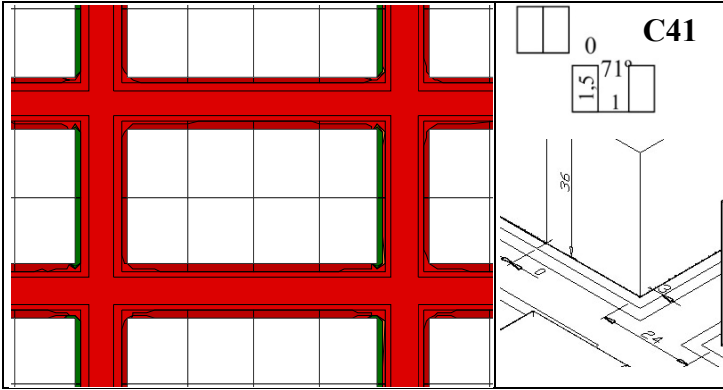
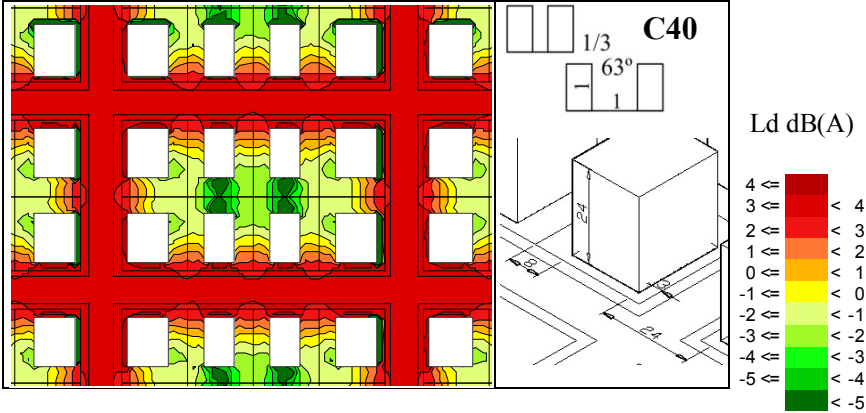






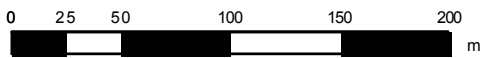
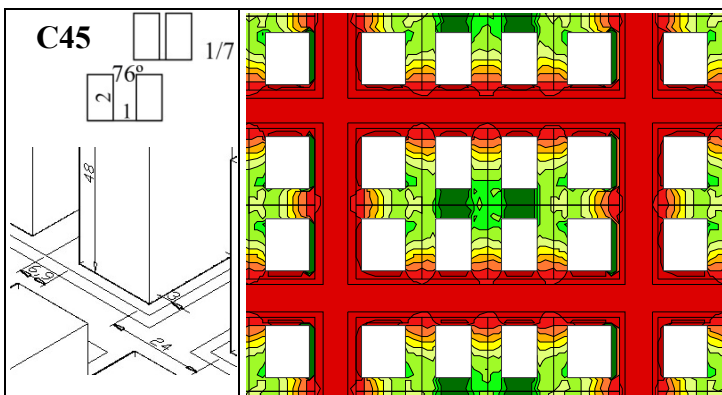
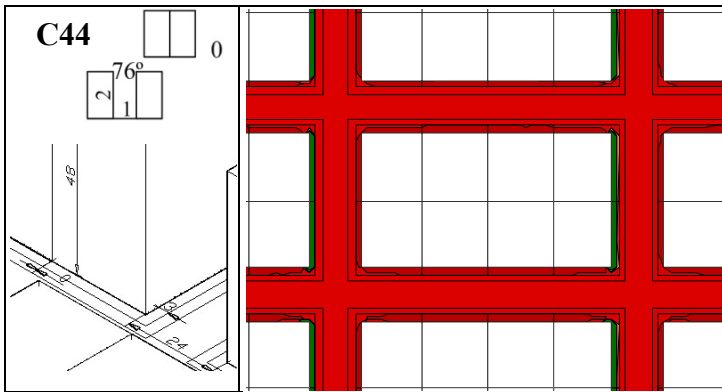
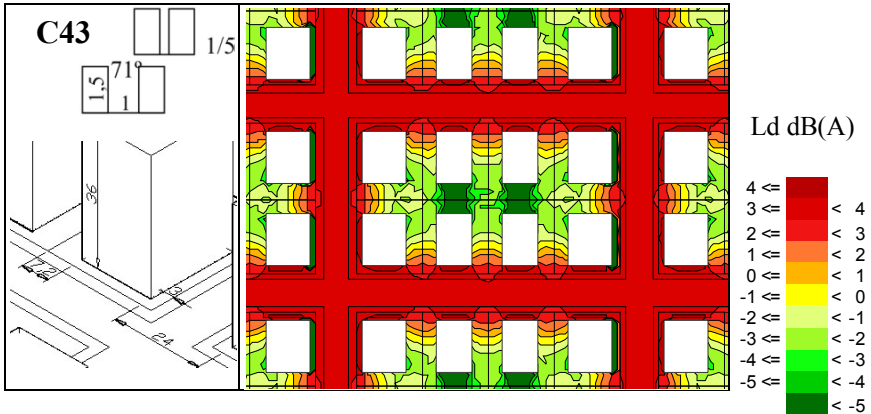


 Edificios

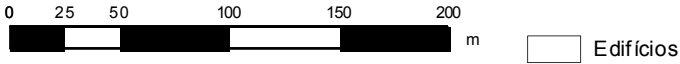
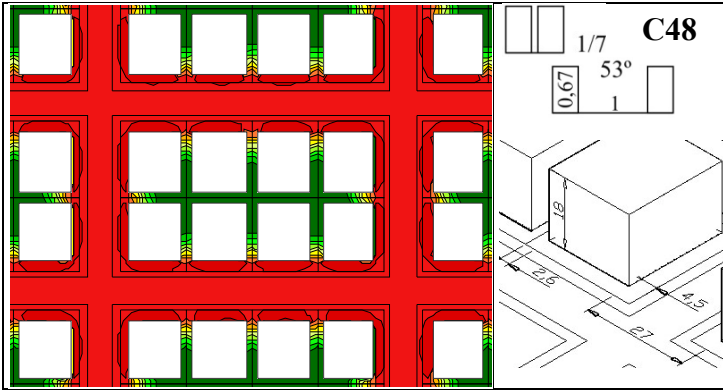
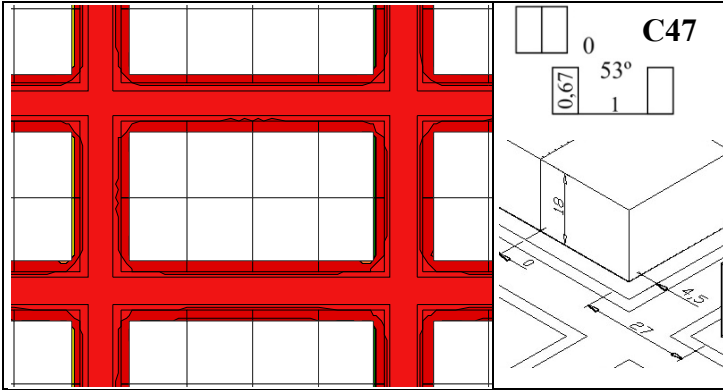
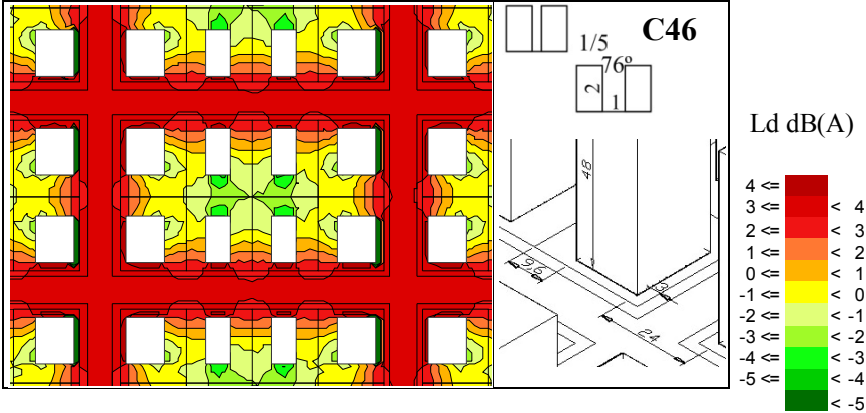


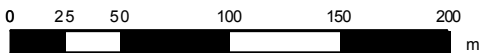
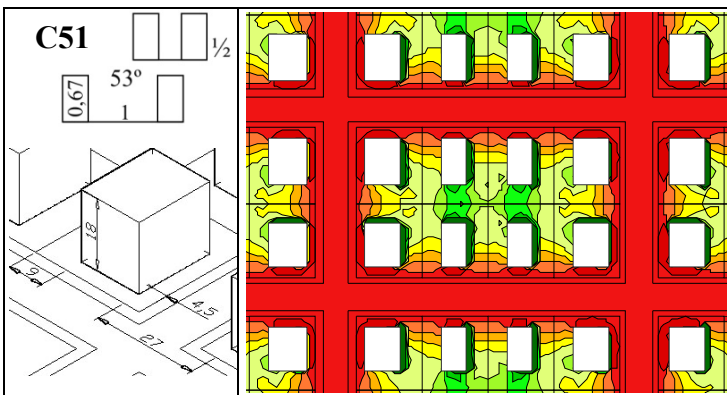
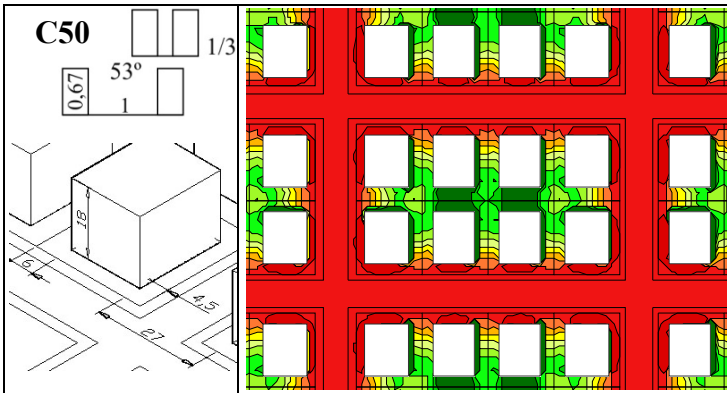
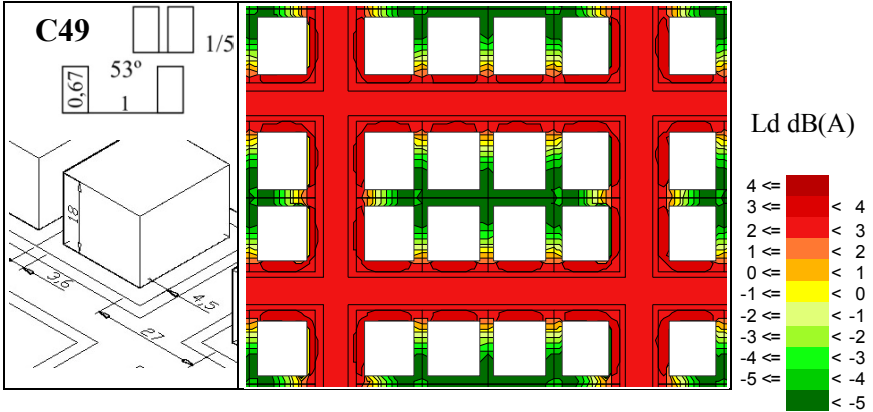
Edificios



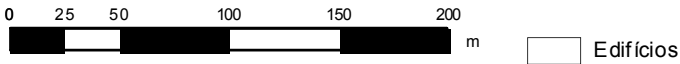
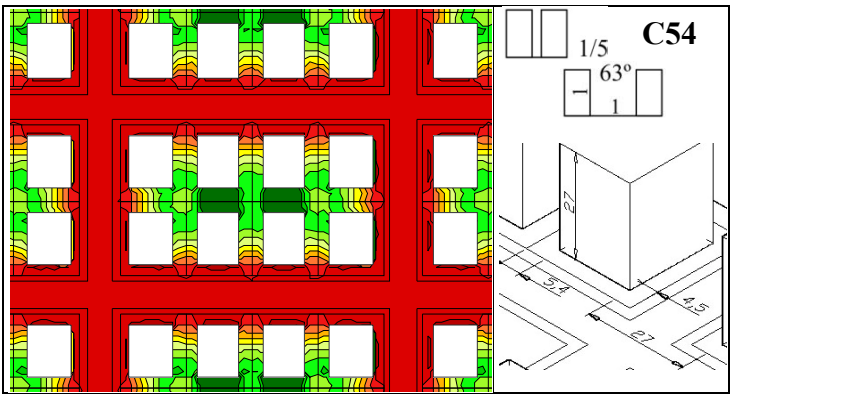
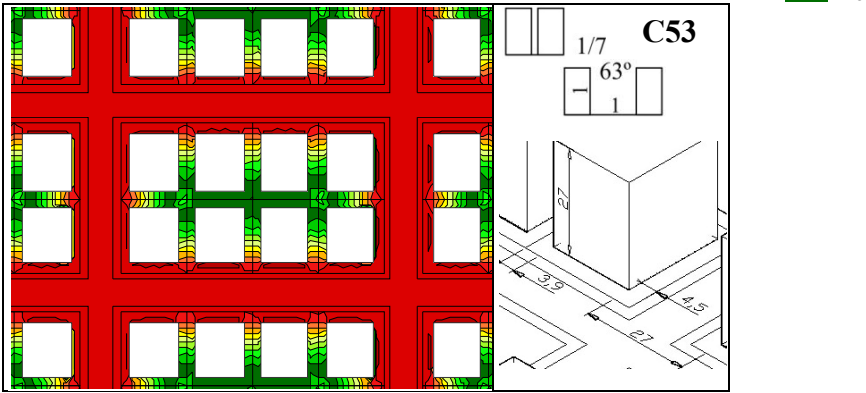
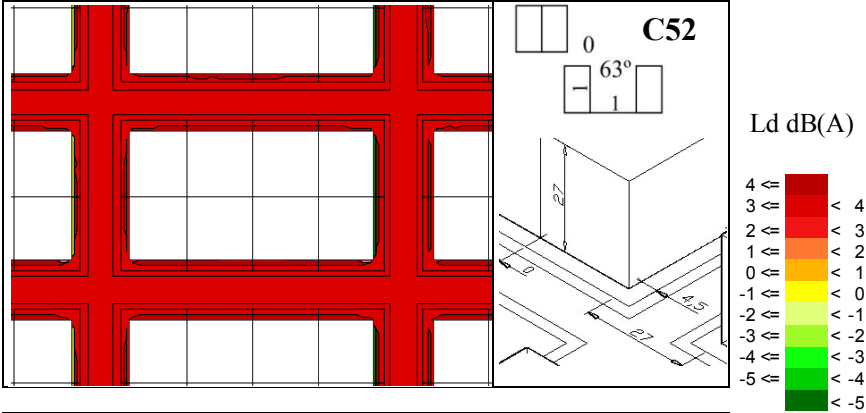


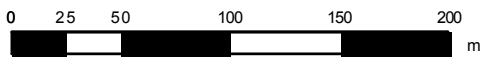
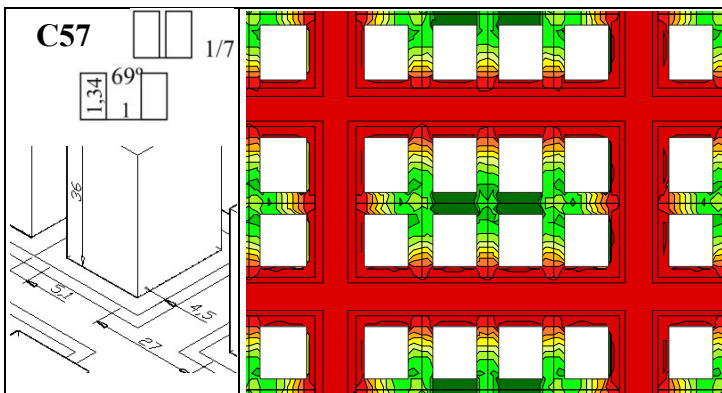
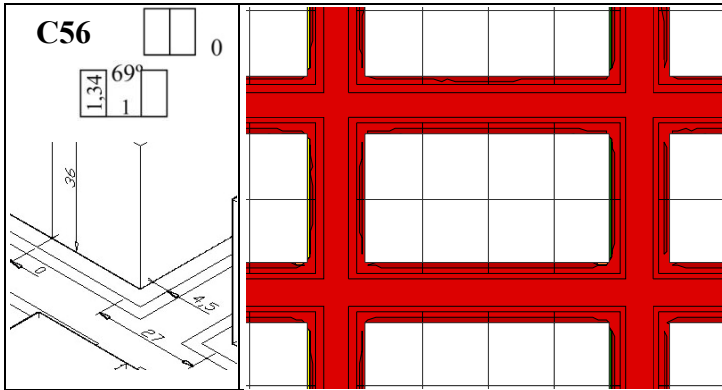
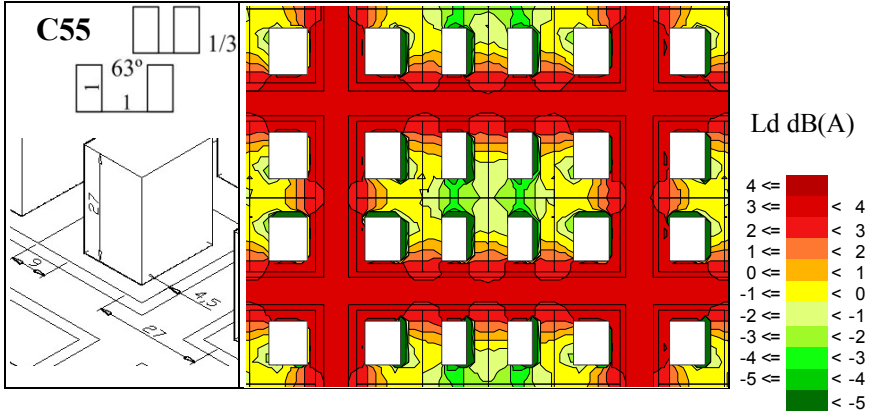
Edifícios



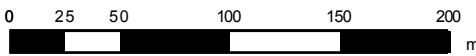
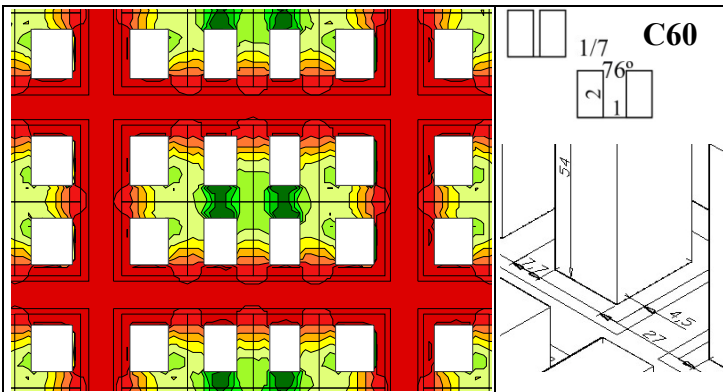
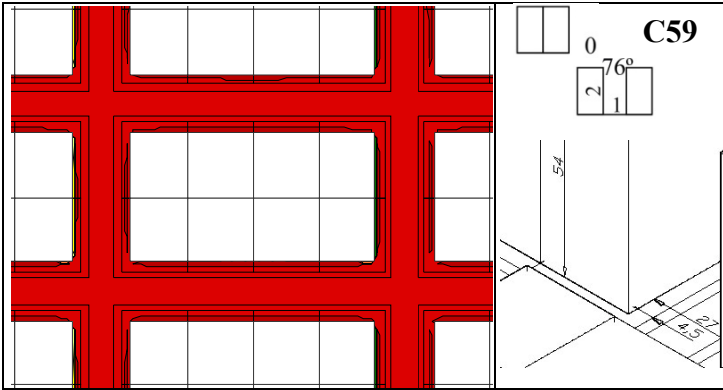
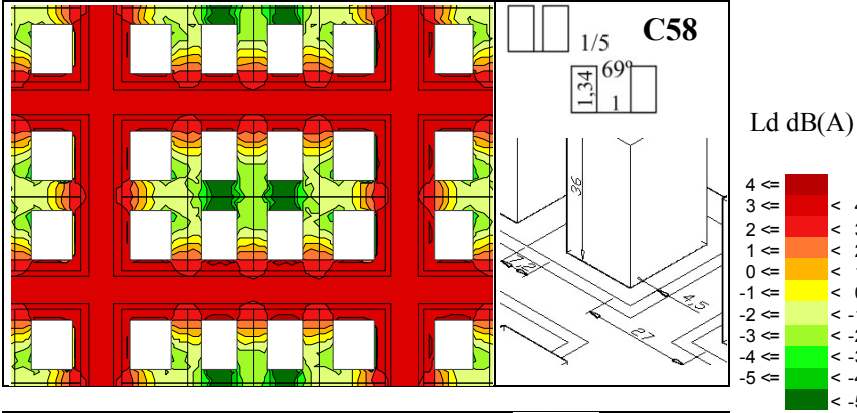


Edificios

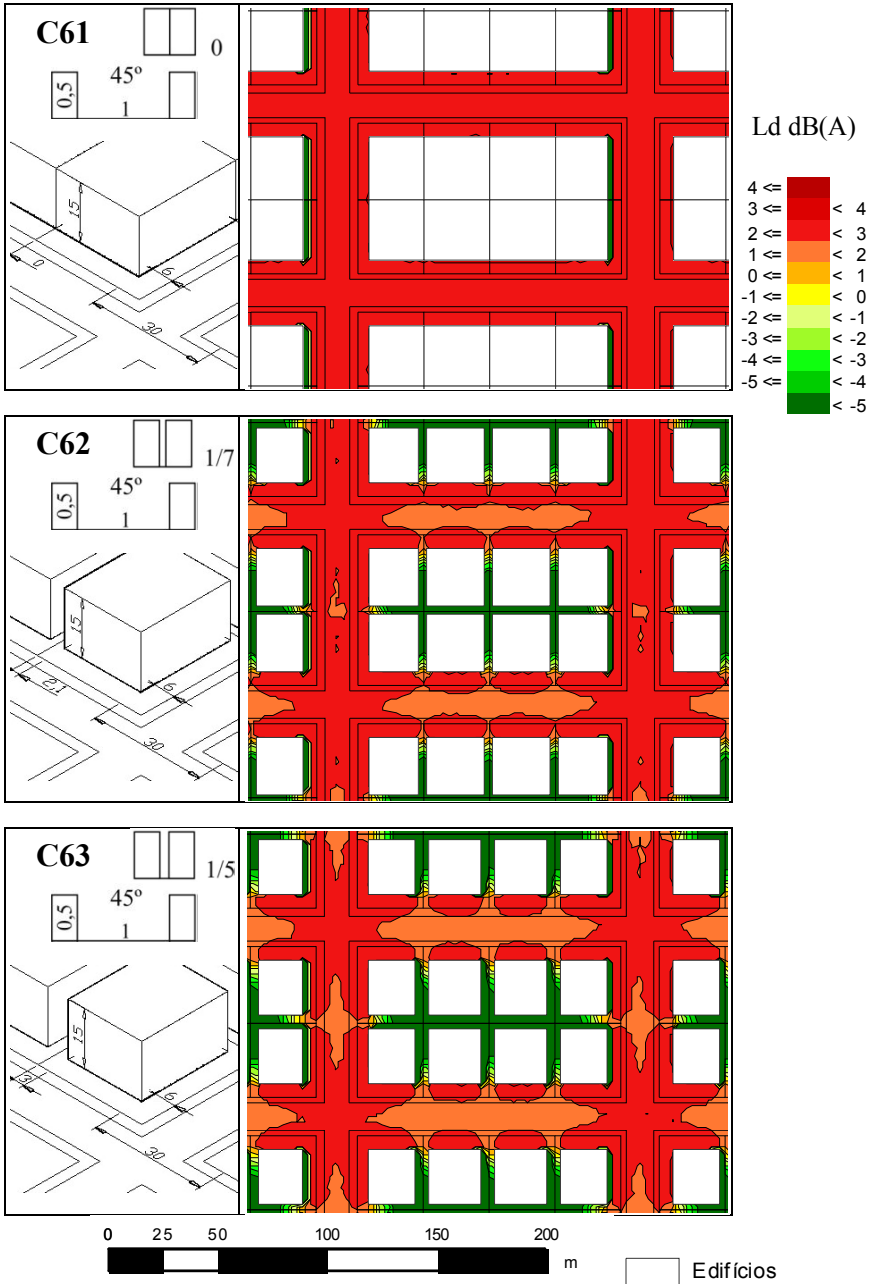


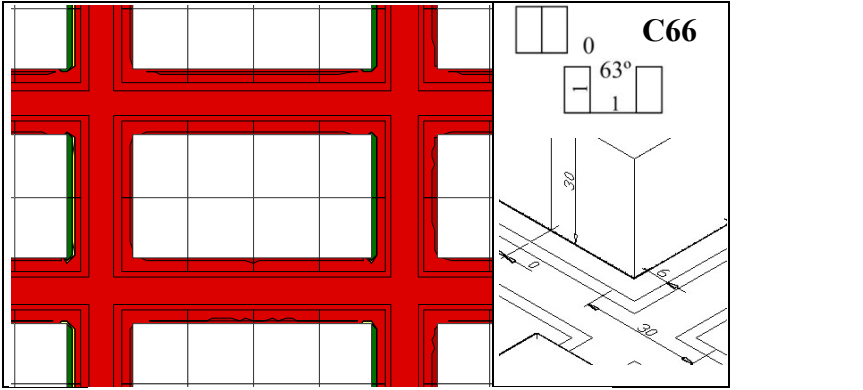
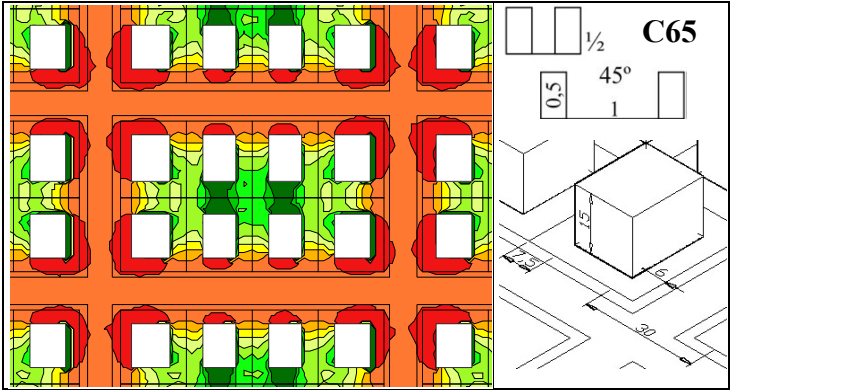
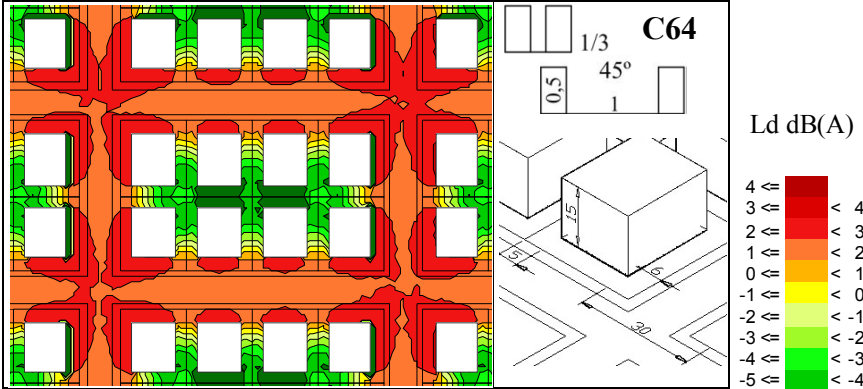


Edificios

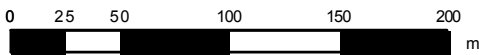
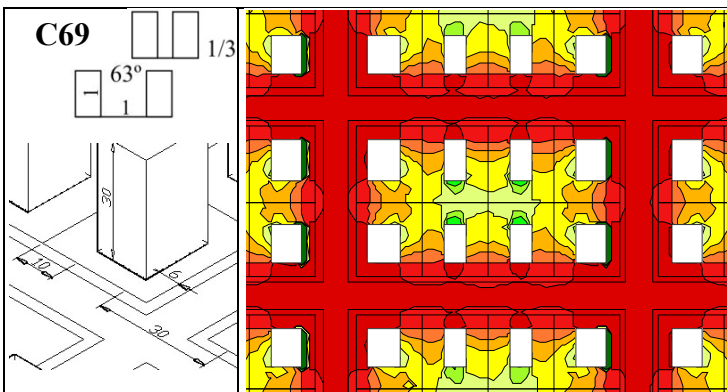
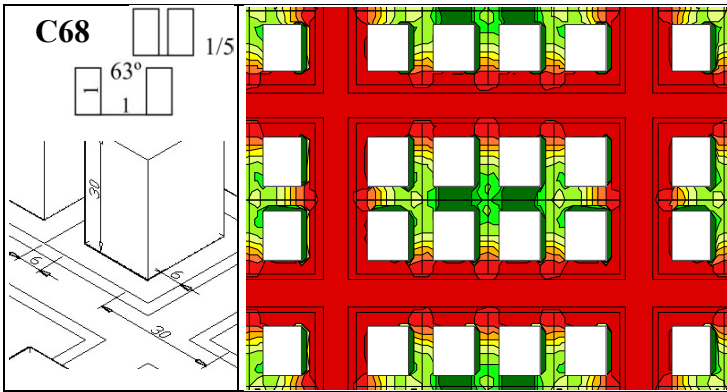
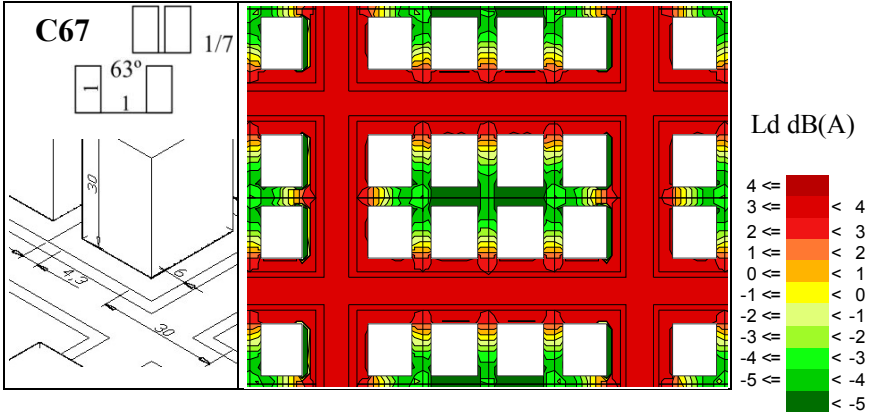


Edificios

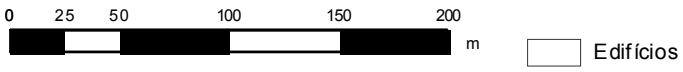
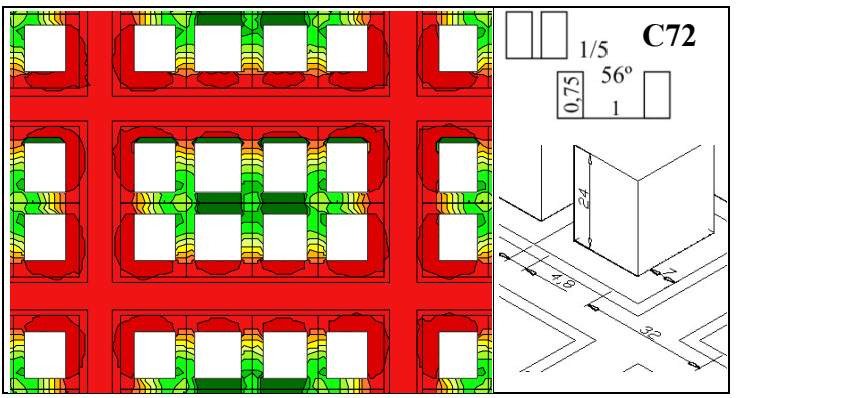
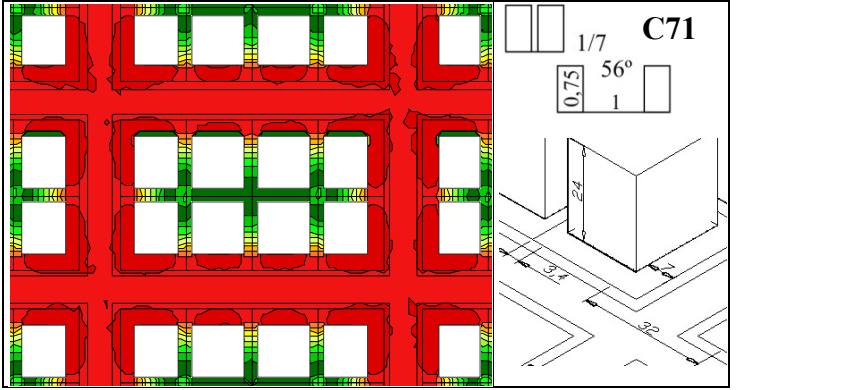
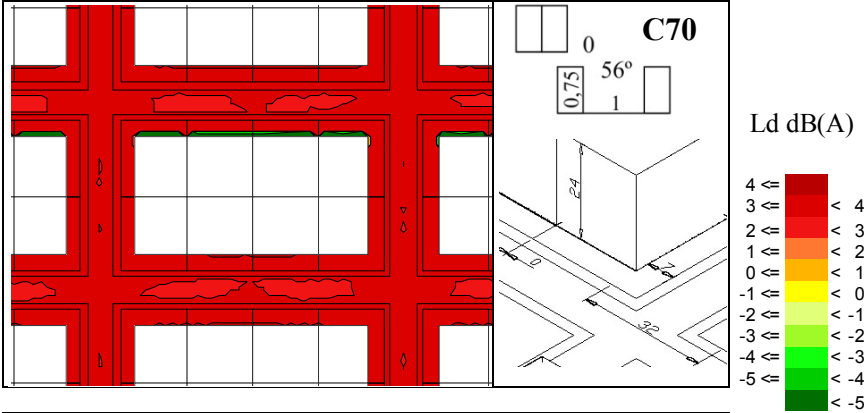


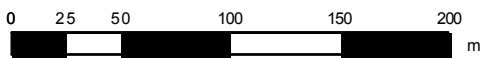
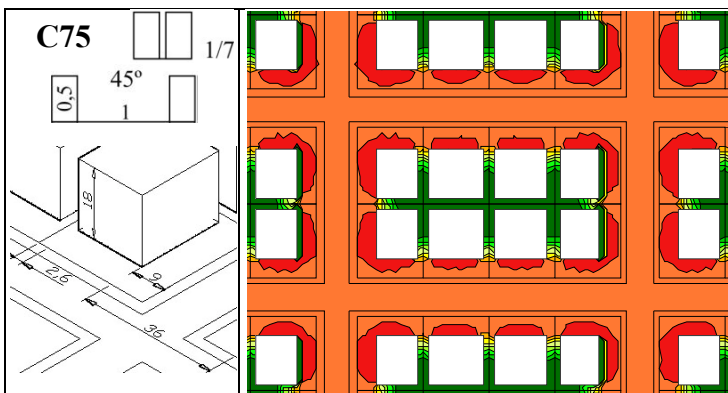
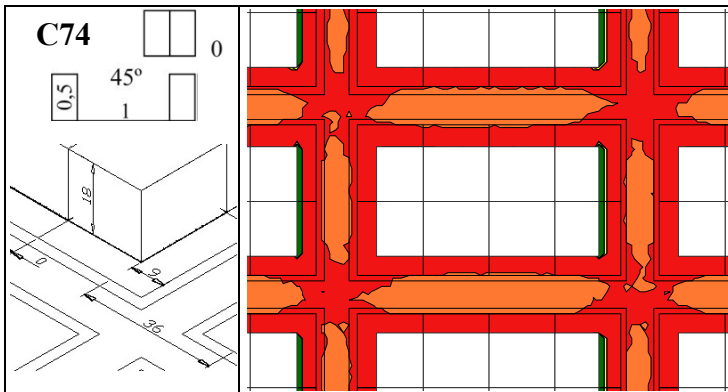
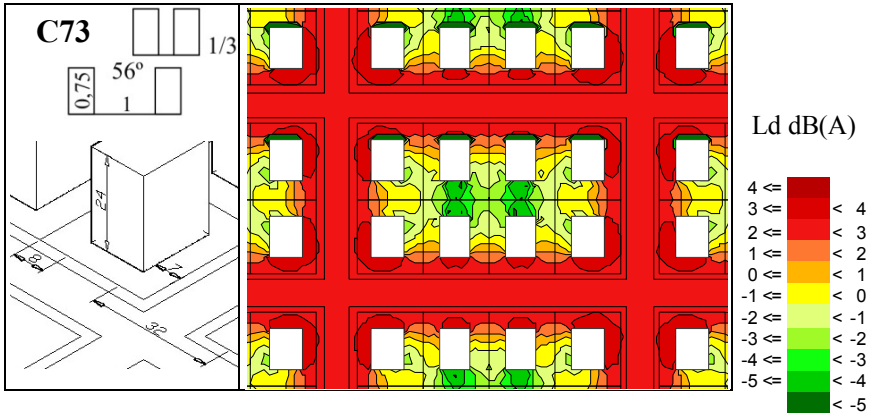




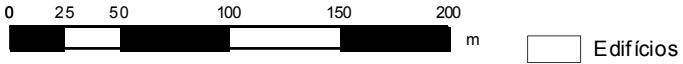
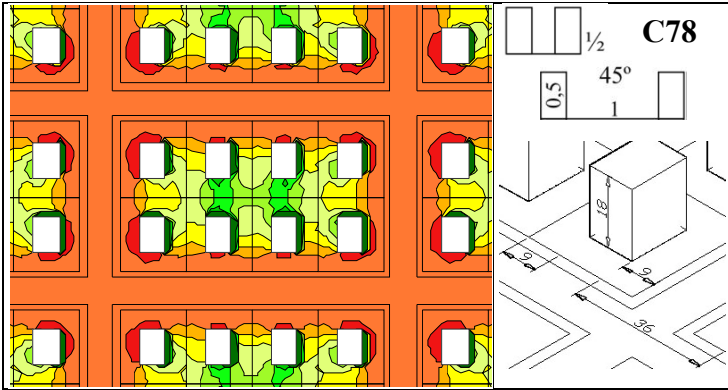
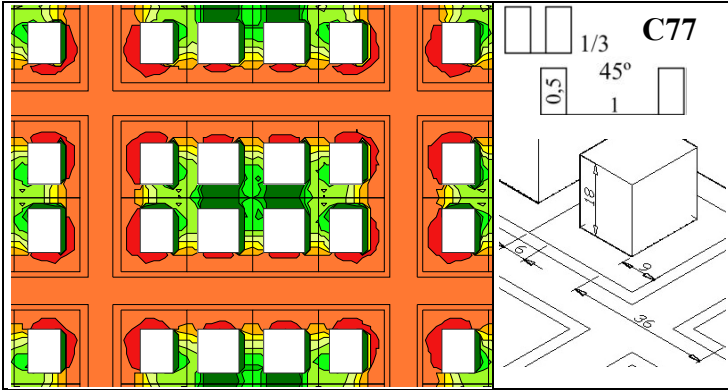
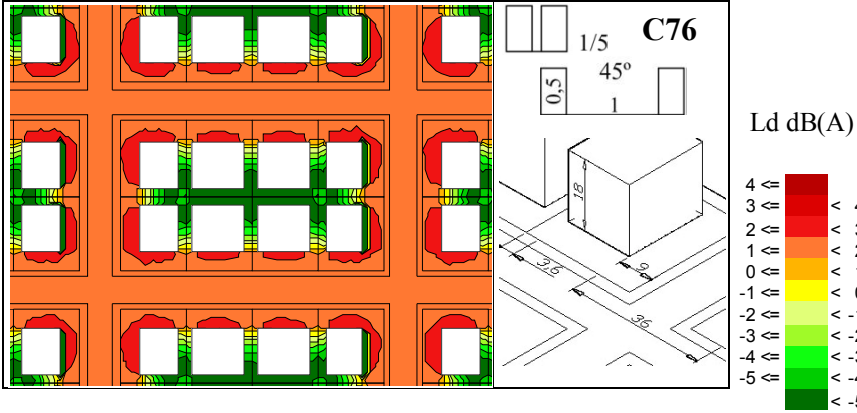


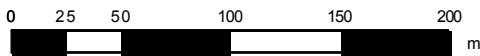
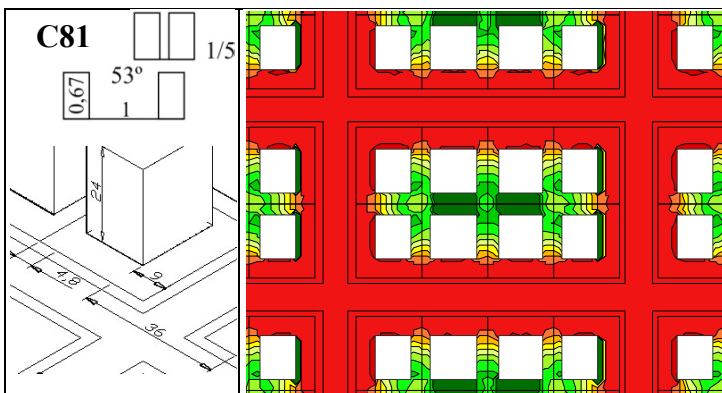
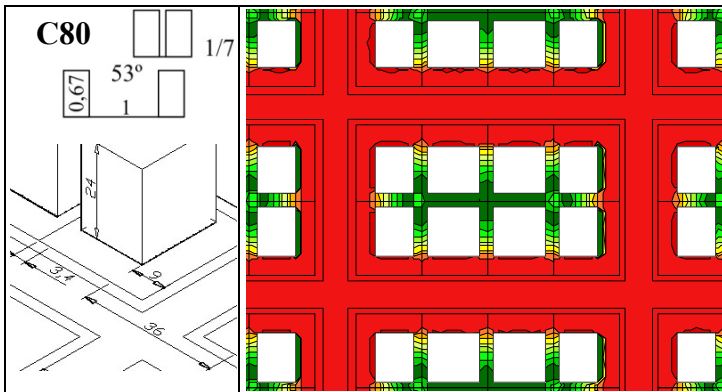
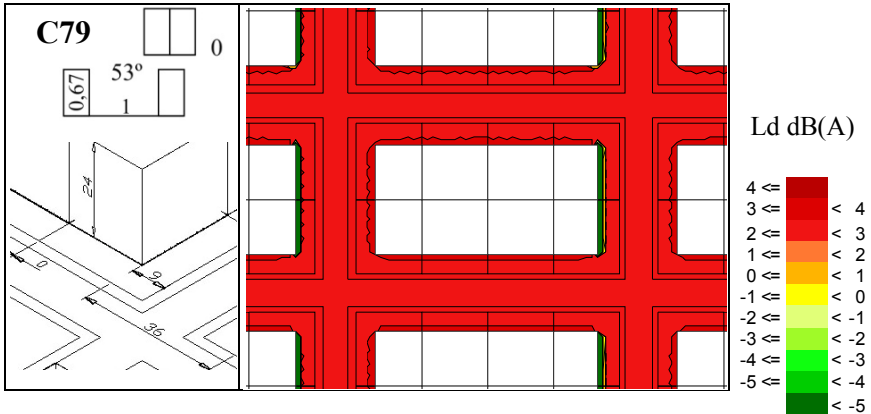
Edificios



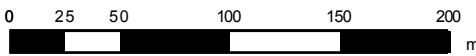
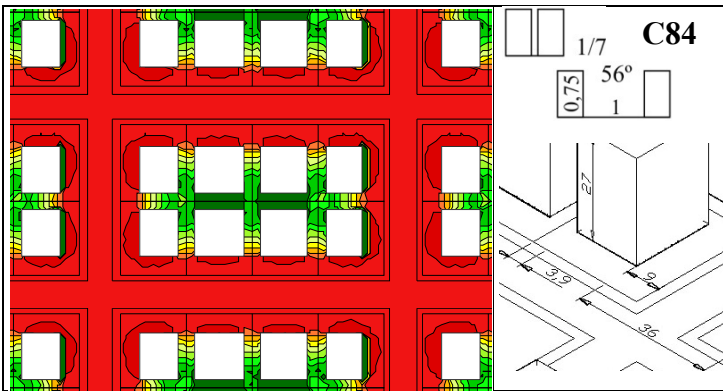
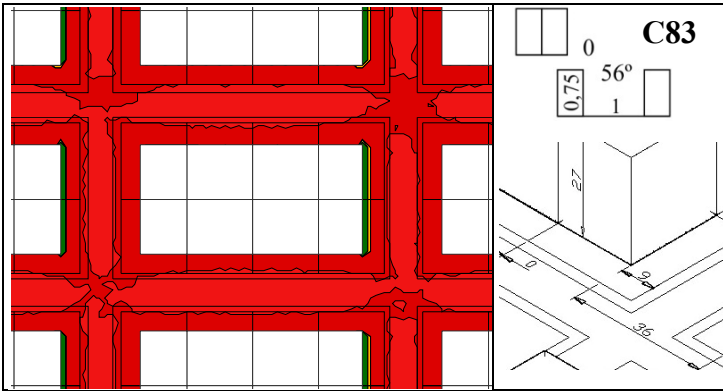
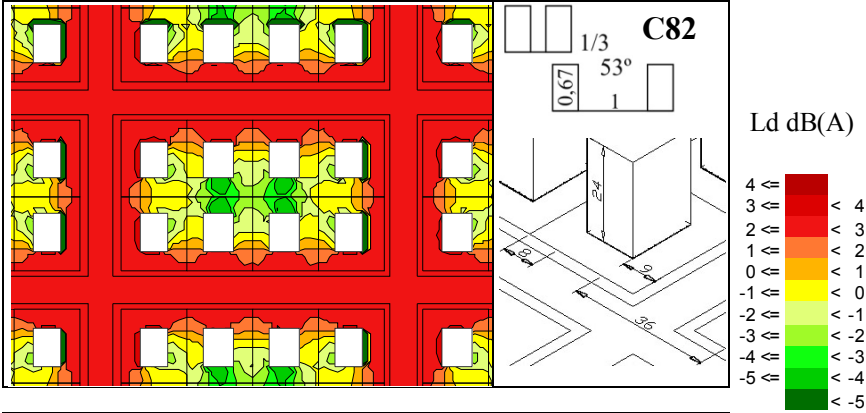


Edificios

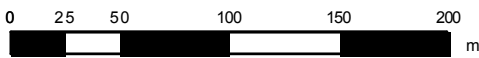
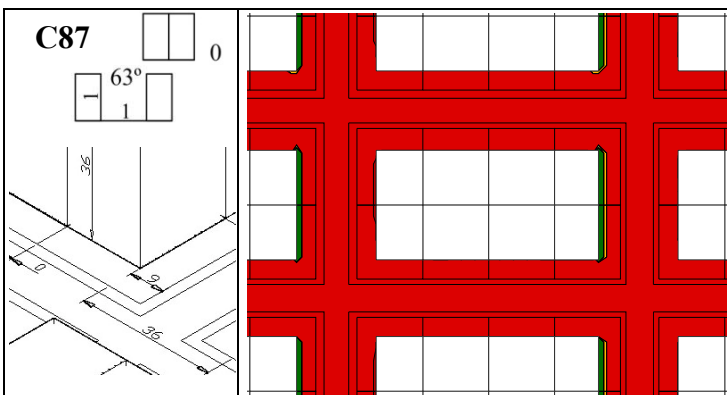
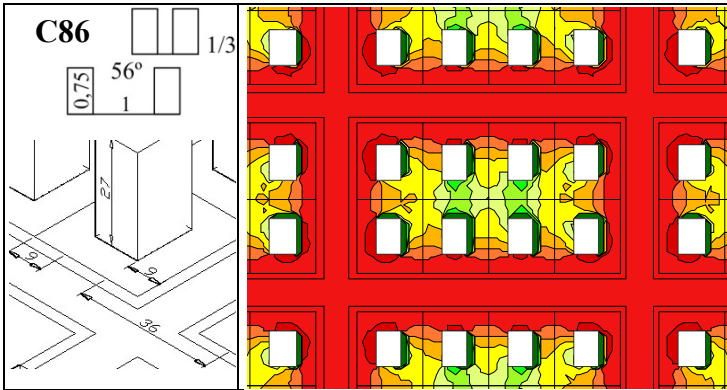
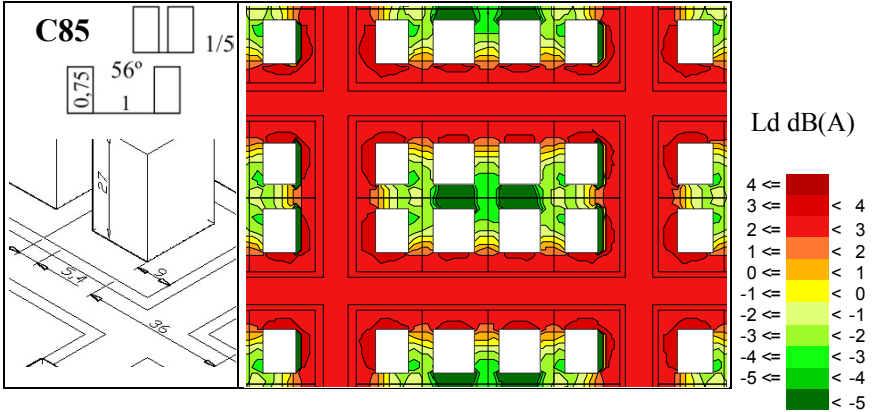





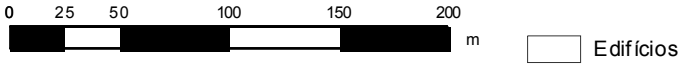
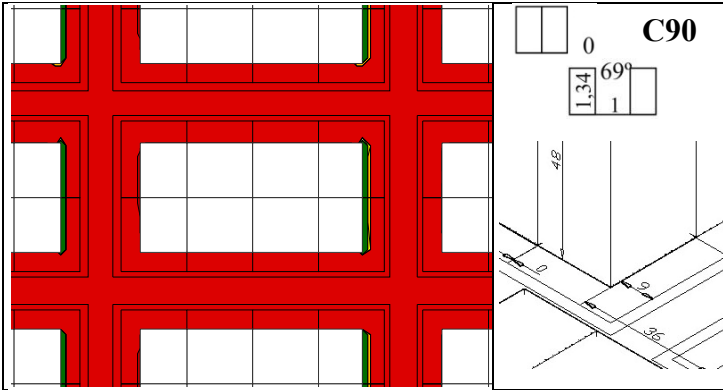
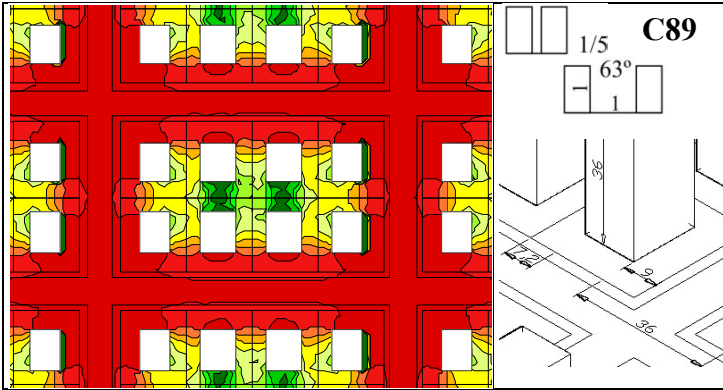
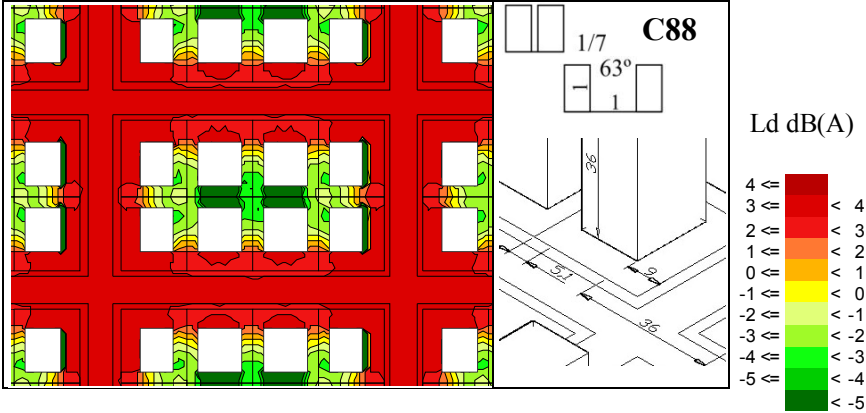
Edificios



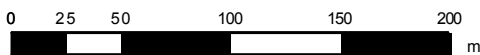
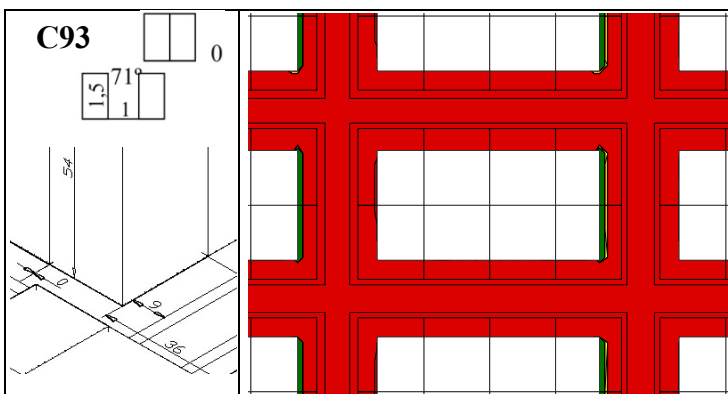
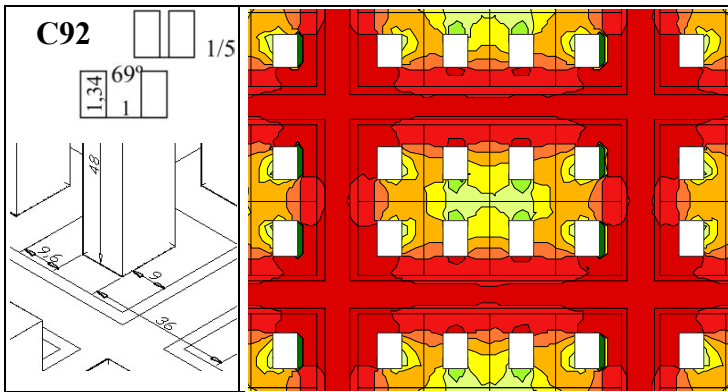
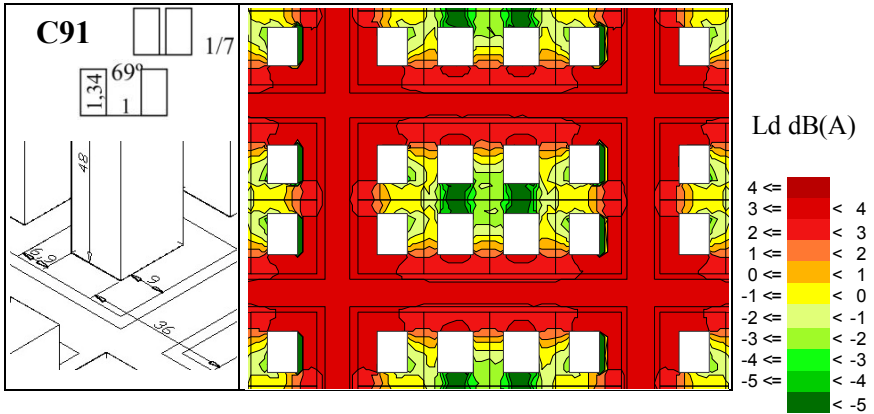
Edificios




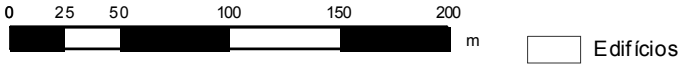
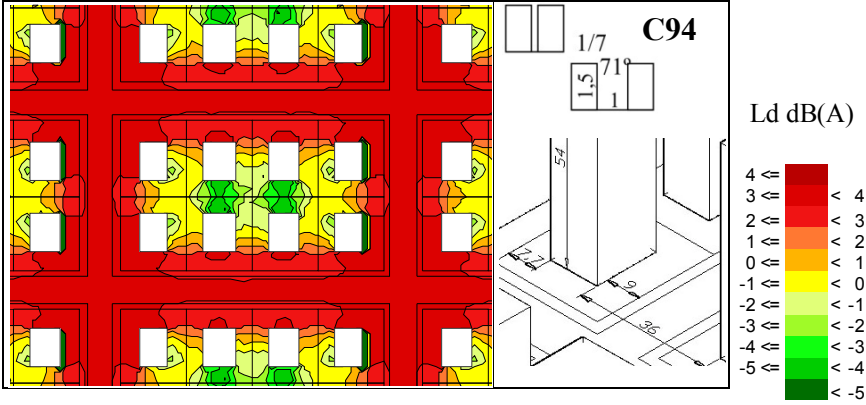
 Edifícios







 Edifícios

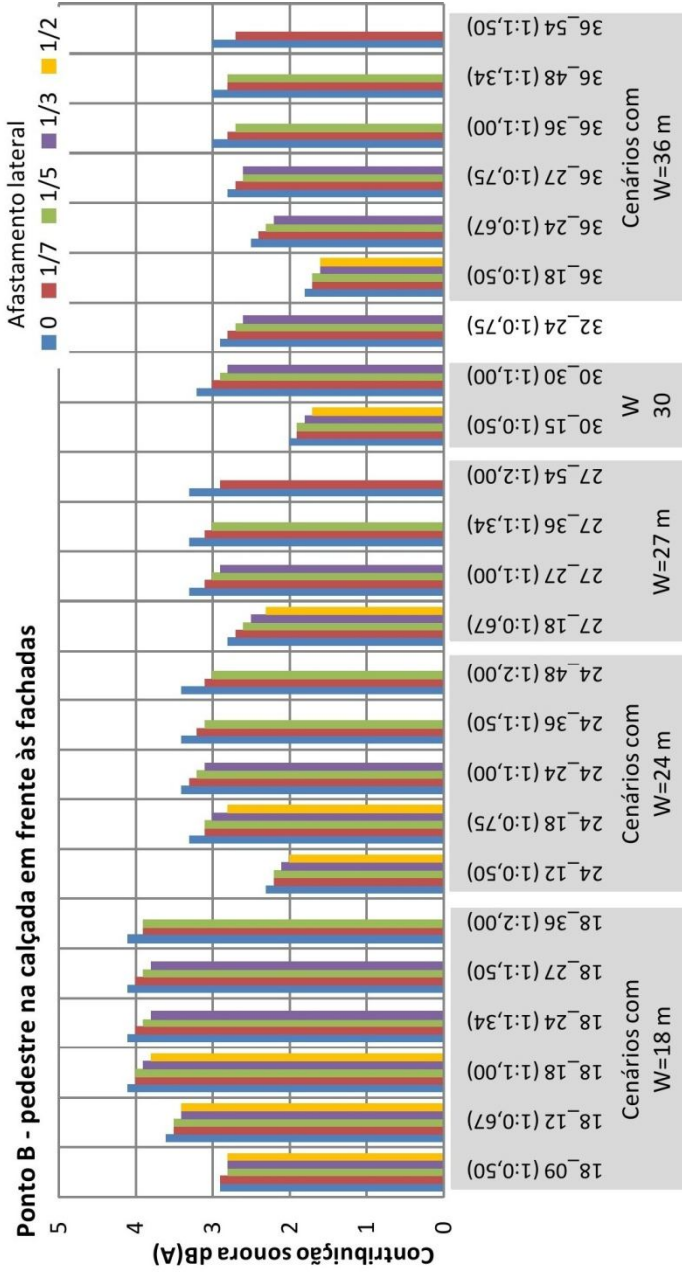


## **8 APÊNDICE B**

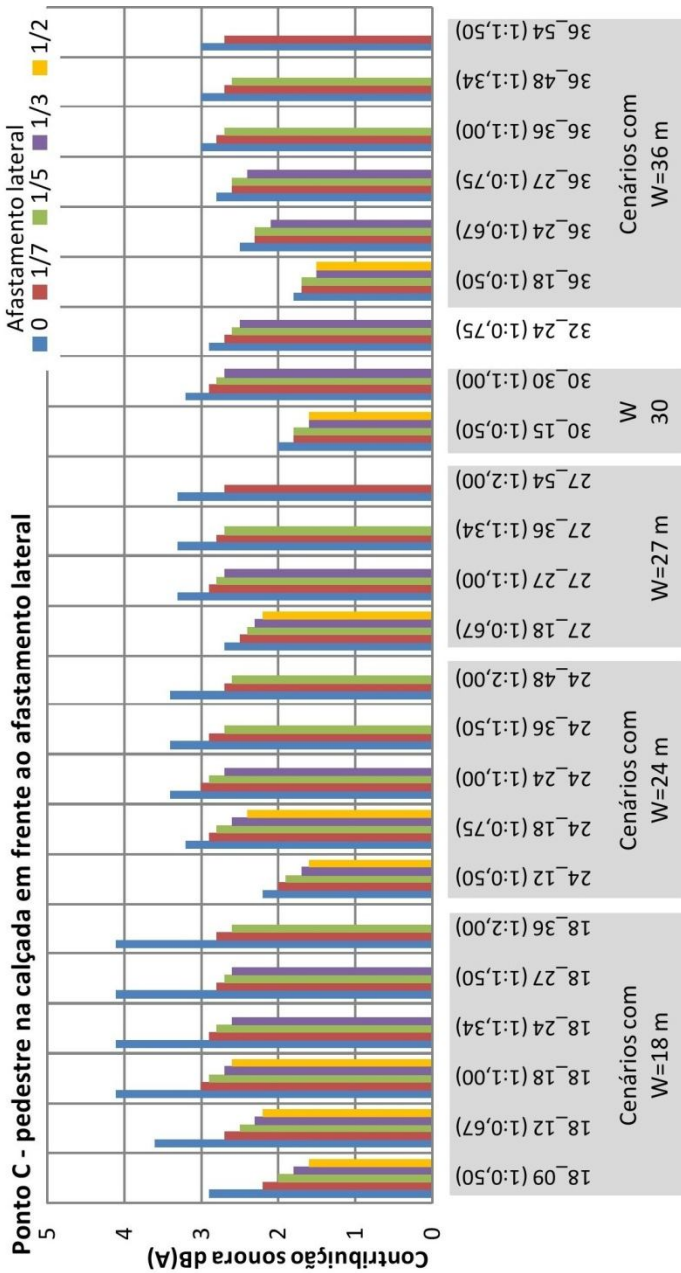
Gráficos para observação da influência de: afastamento lateral e altura de edificações



Gráficos para observação da influência de: Afastamento lateral e Altura de edificações

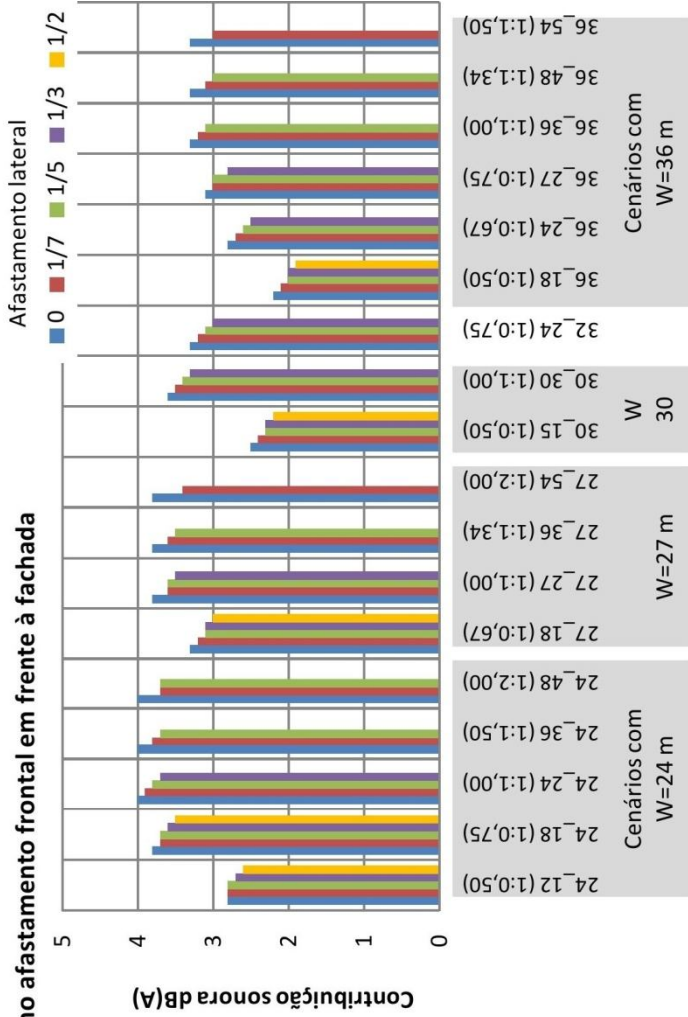


Gráficos para observação da influência de: Afastamento lateral e Altura de edificações



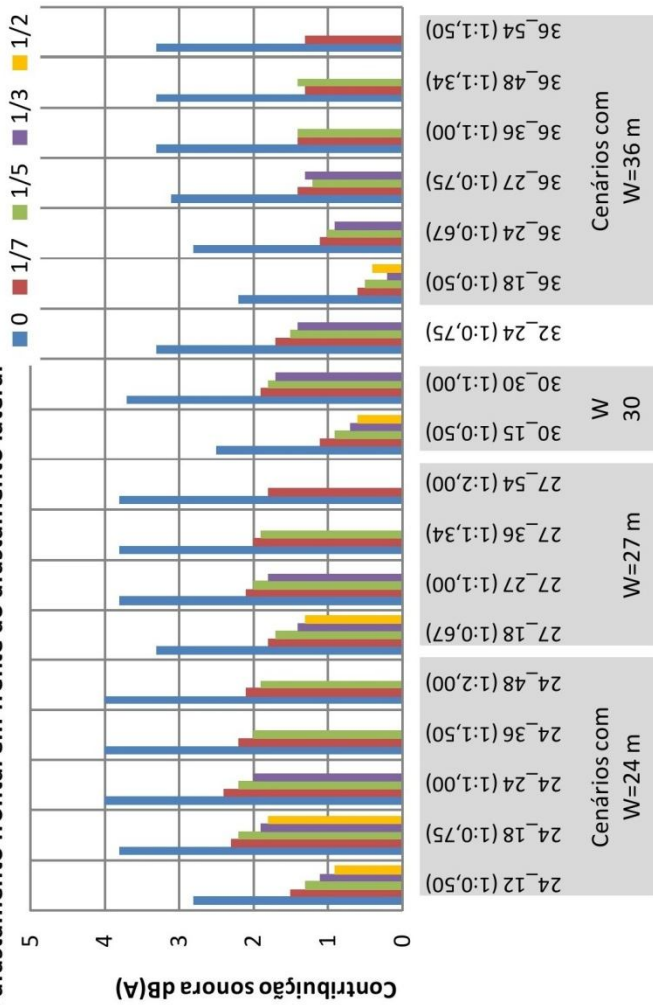
Gráficos para observação da influência de: Afastamento lateral e Altura de edificações

**Ponto D - pedestre no afastamento frontal em frente à fachada**



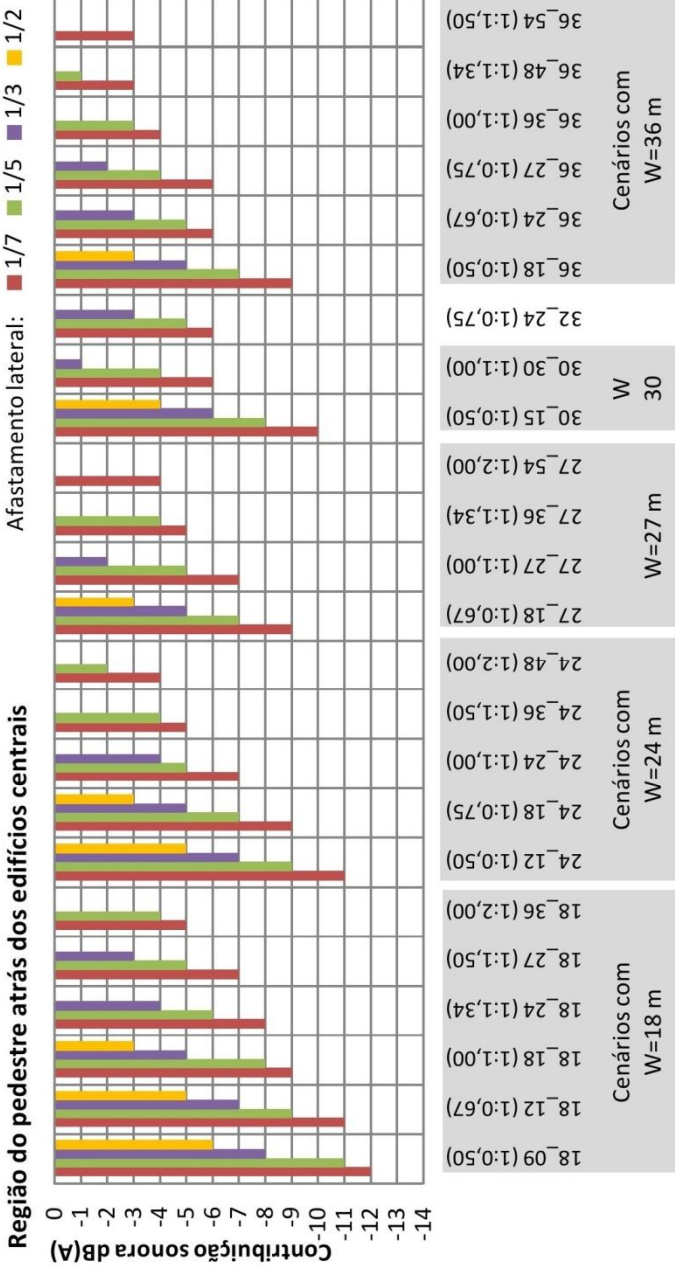
Gráficos para observação da influência de: Afastamento lateral e Altura de edificações

**Ponto E - pedestre no afastamento frontal em frente ao afastamento lateral**

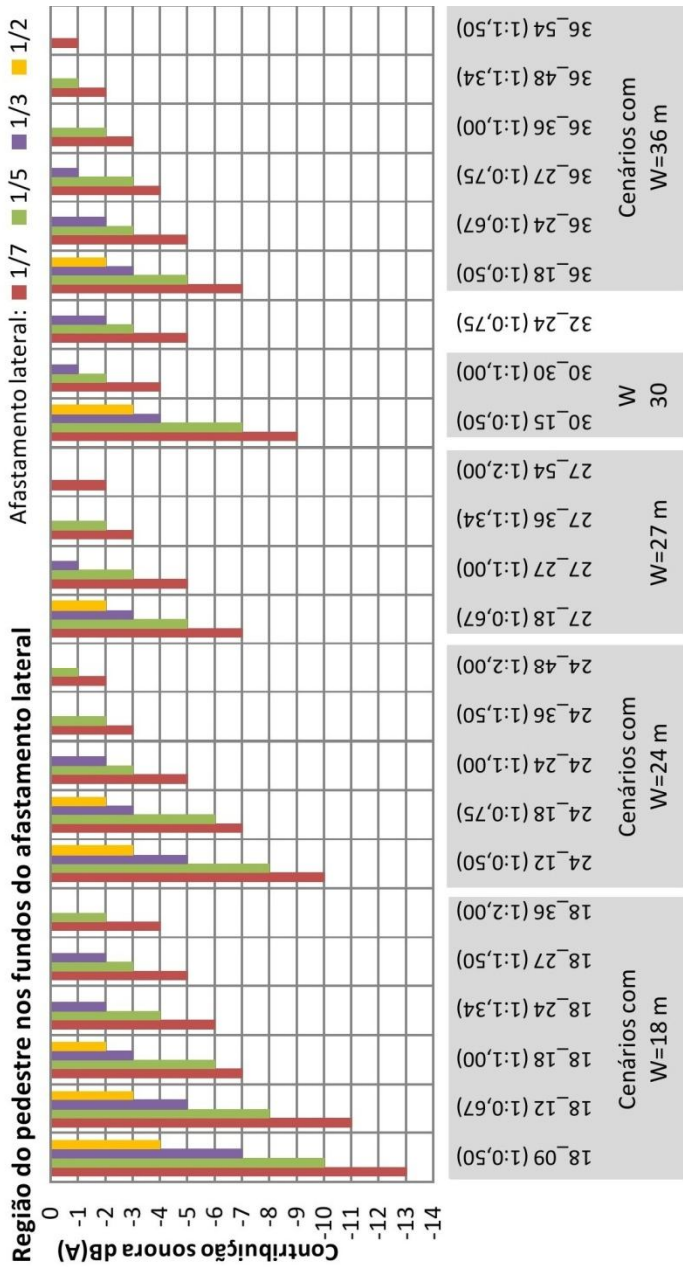




Gráficos para observação da influência de: Afastamento lateral e Altura de edificações



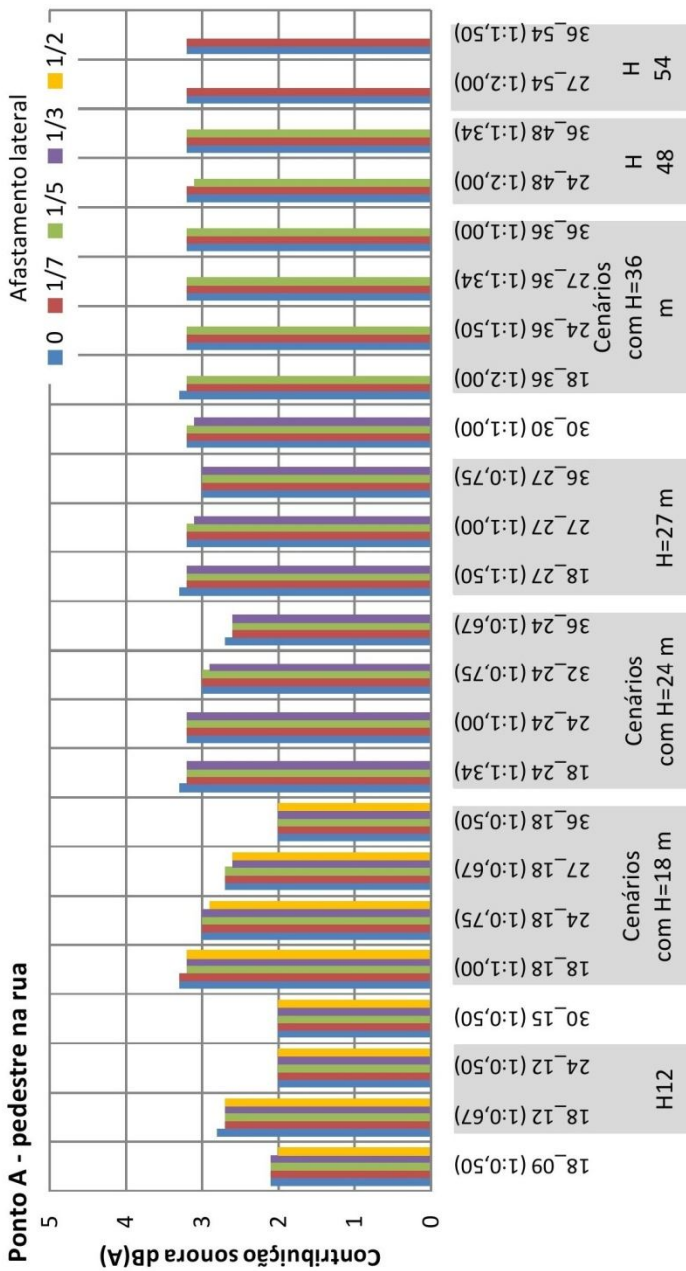
Gráficos para observação da influência da: Afastamento lateral e Altura de edificações



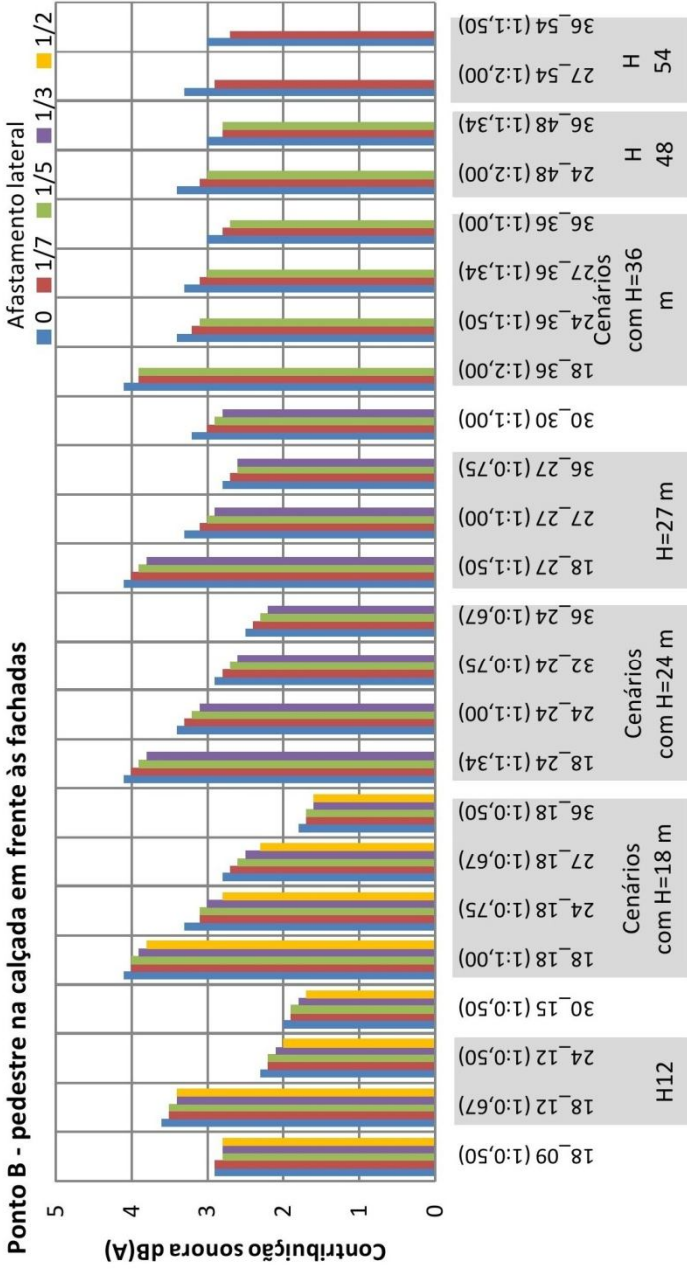
## 9 APÊNDICE C

Gráficos para observação da influência da distância entre fachadas  
frontais

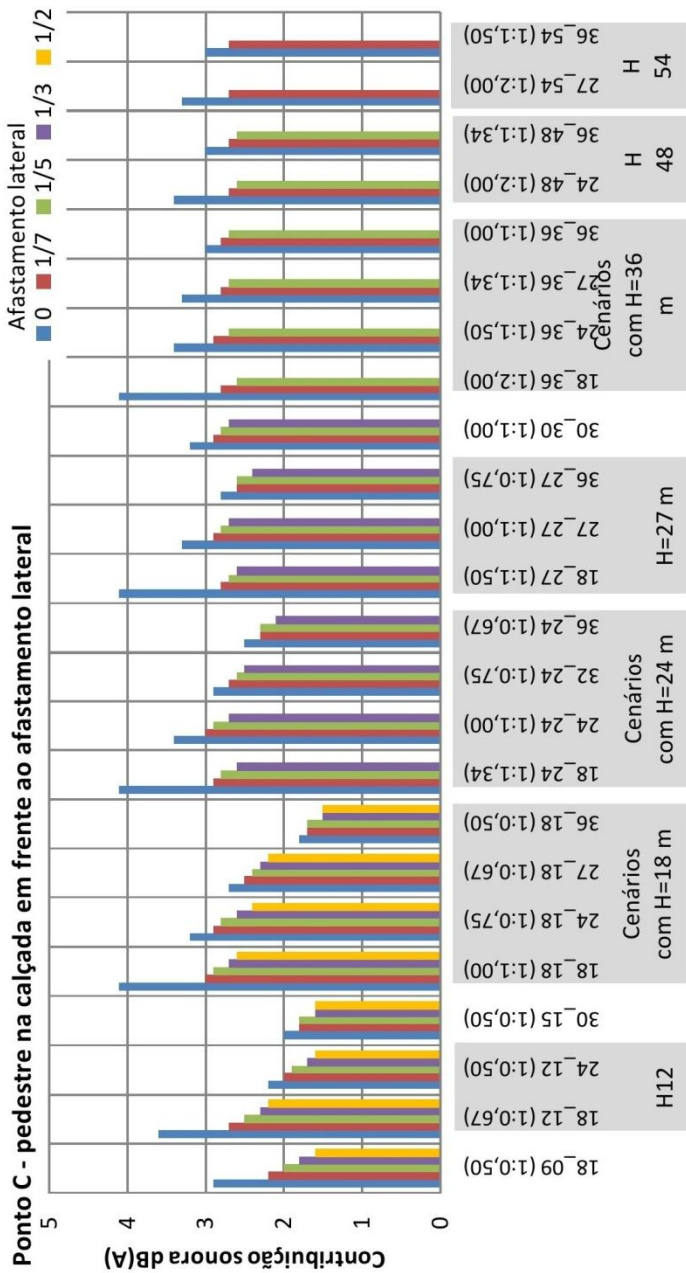
Gráficos para observação da influência da distância da influência entre fachadas frontais



Gráficos para observação da influência da Distância entre fachadas frontais

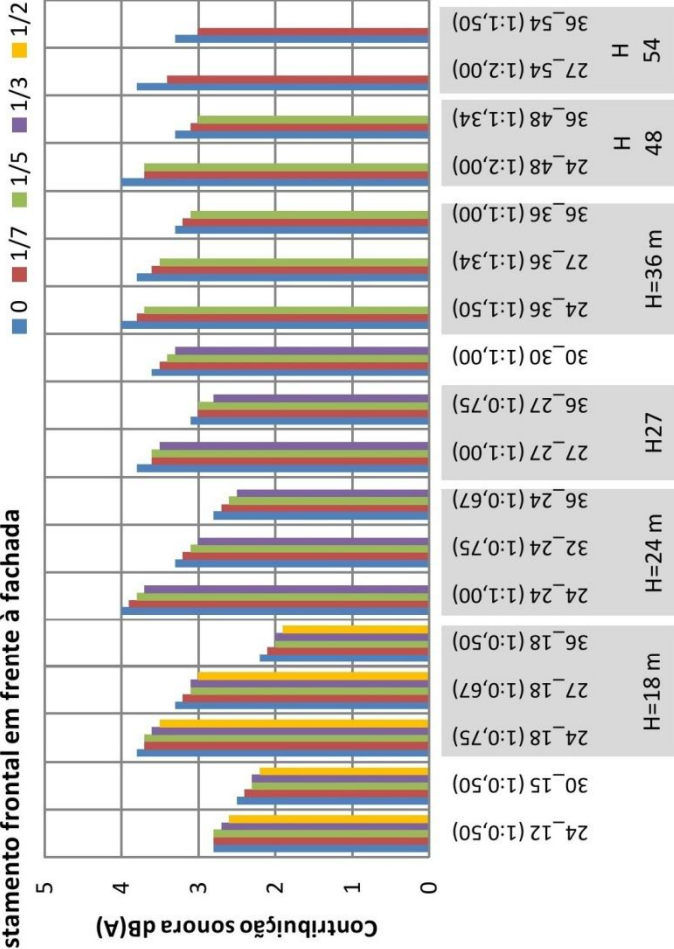


Gráficos para observação da influência da Distância da Distância entre fachadas frontais

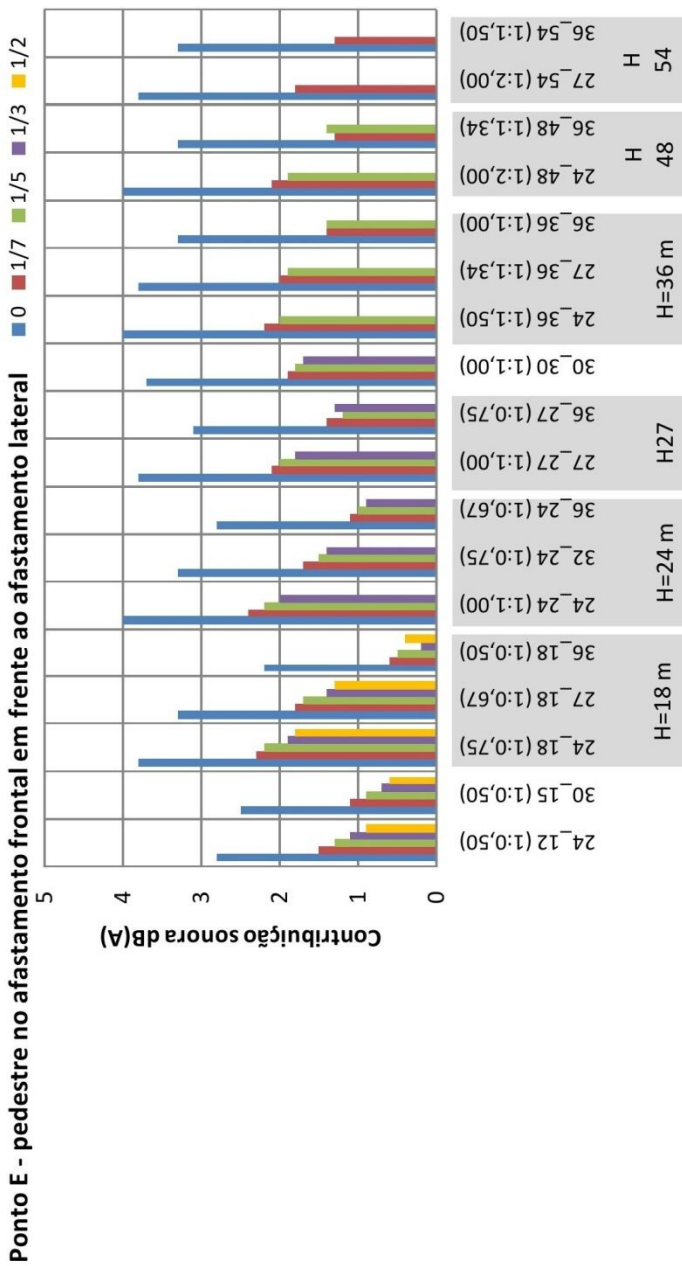


Gráficos para observação da influência da Distância da fachada entre fachadas frontais

**Ponto D - pedestre no afastamento frontal em frente à fachada**

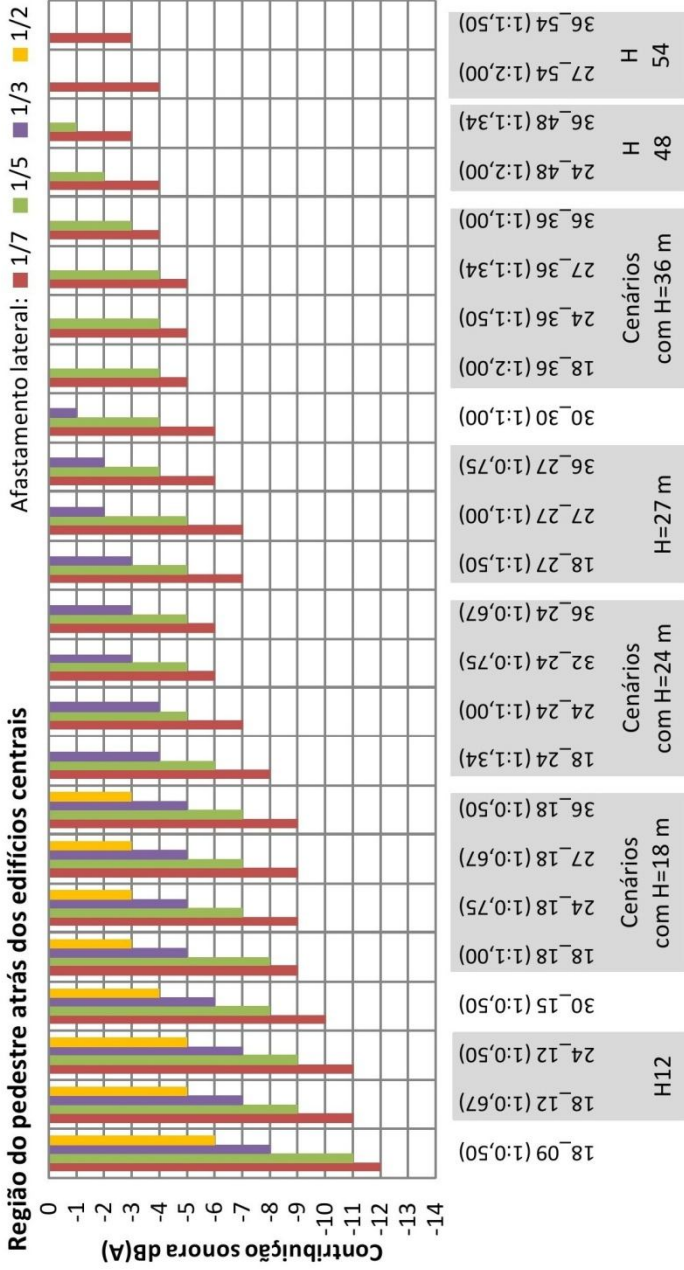


Gráficos para observação da influência da distância da Distância entre fachadas frontais

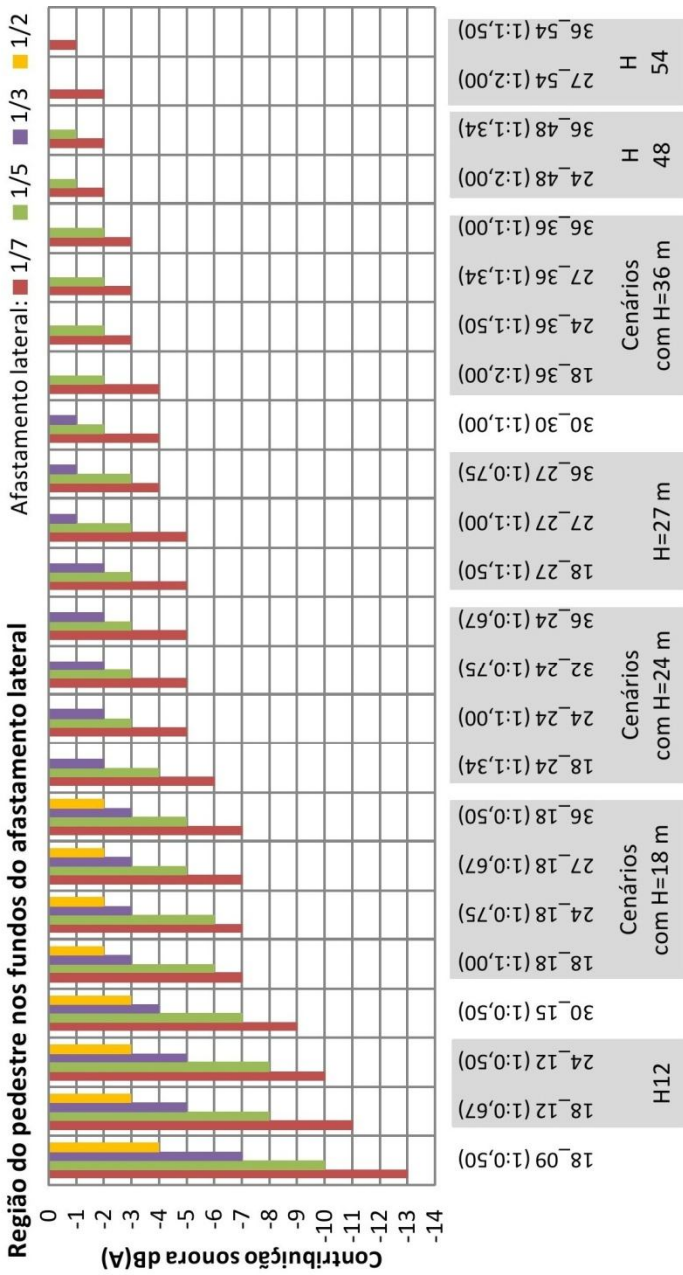




Gráficos para observação da influência da Distância entre fachadas frontais



Gráficos para observação da influência da Distância da Fachada Frontais

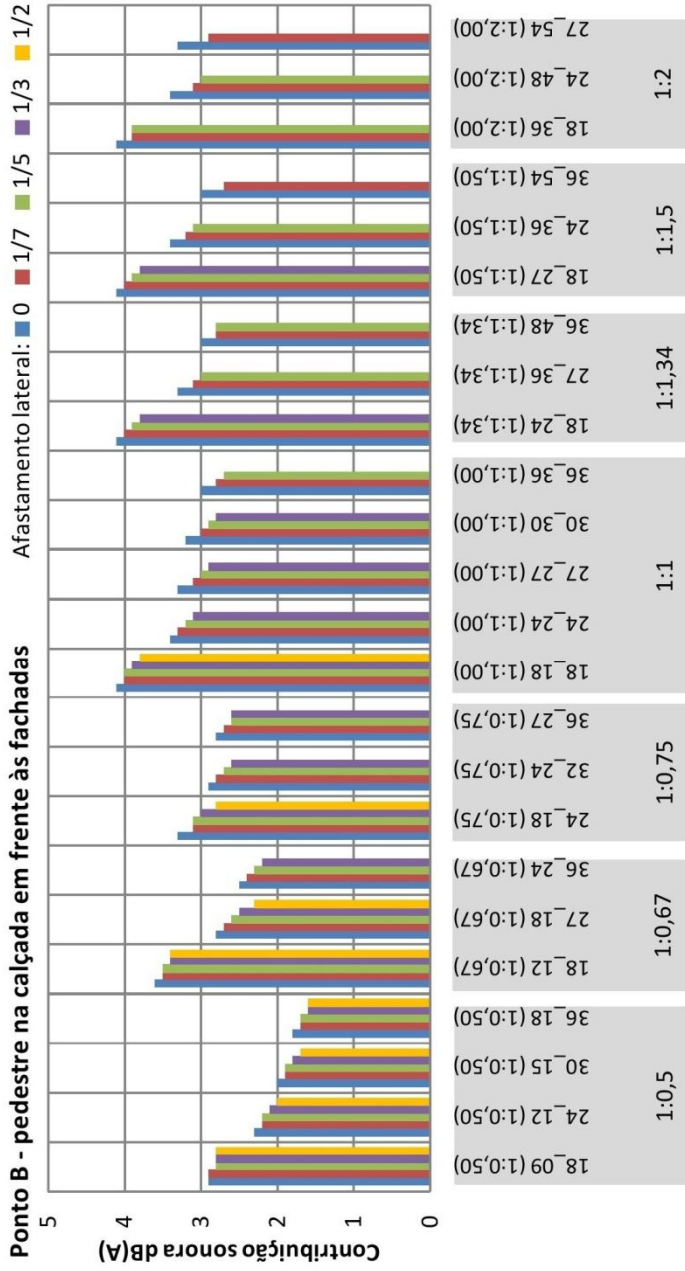


## 10 APÊNDICE D

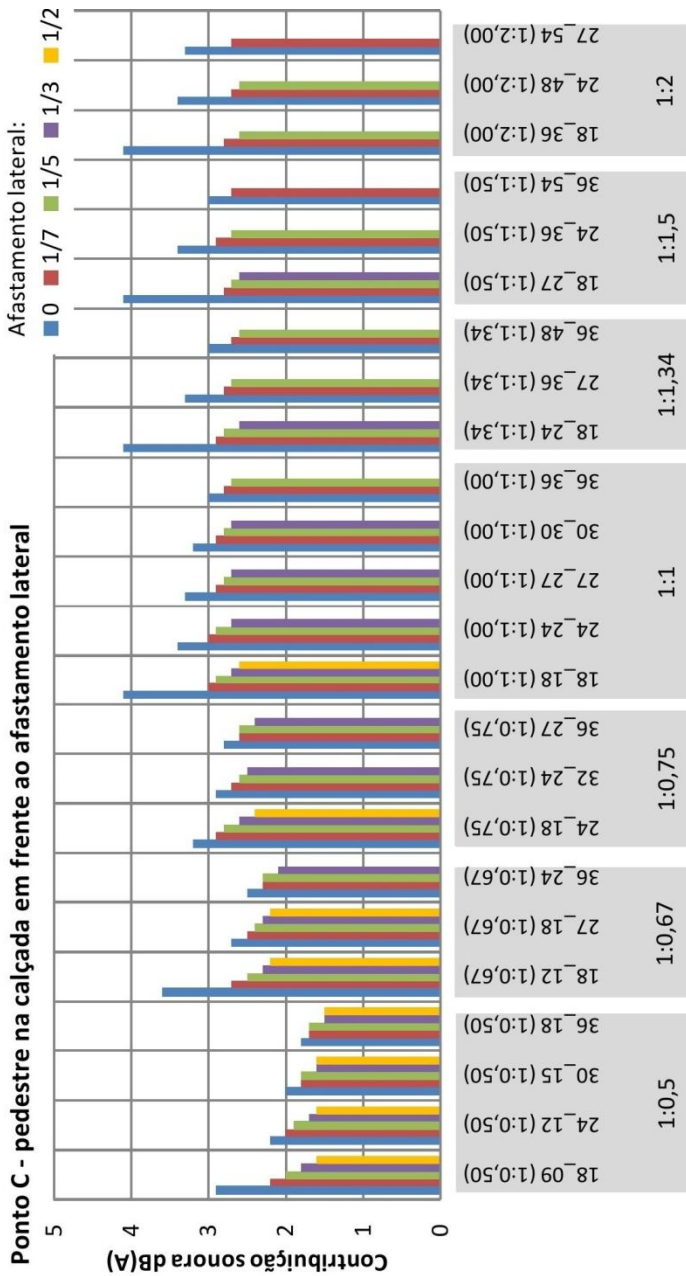
Gráficos para observação da influência da proporção WH



Gráficos para observação da influência da proporção WH

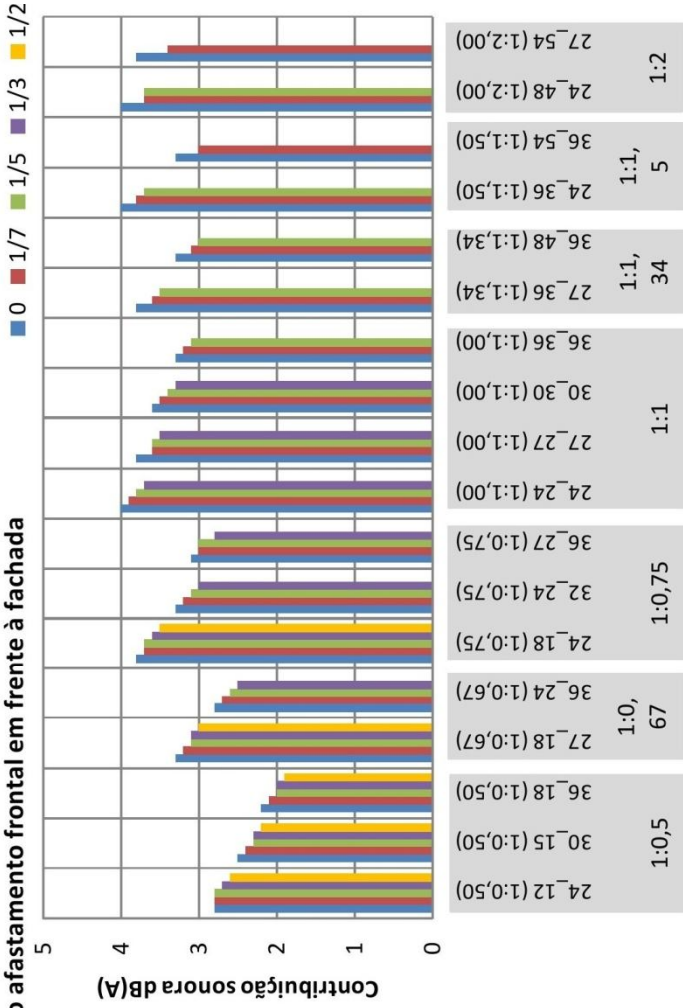


Gráficos para observação da influência da proporção WH

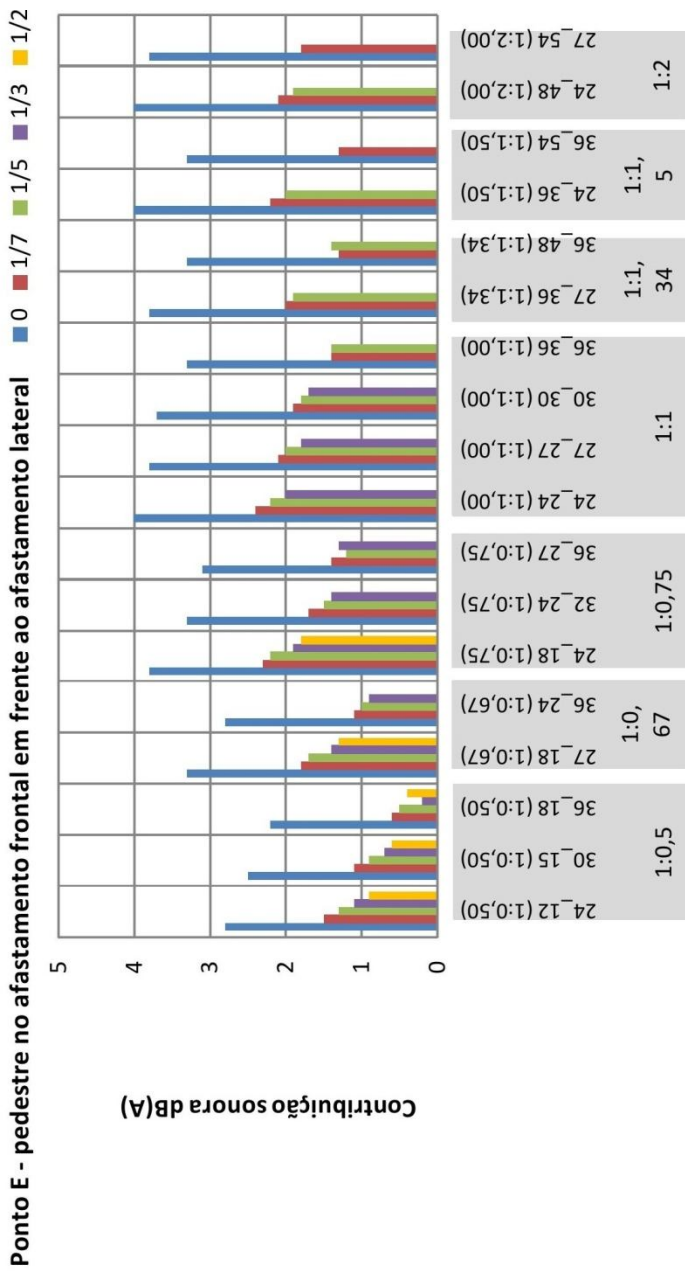


Gráficos para observação da influência da proporção WH

**Ponto D - pedestre no afastamento frontal em frente à fachada**

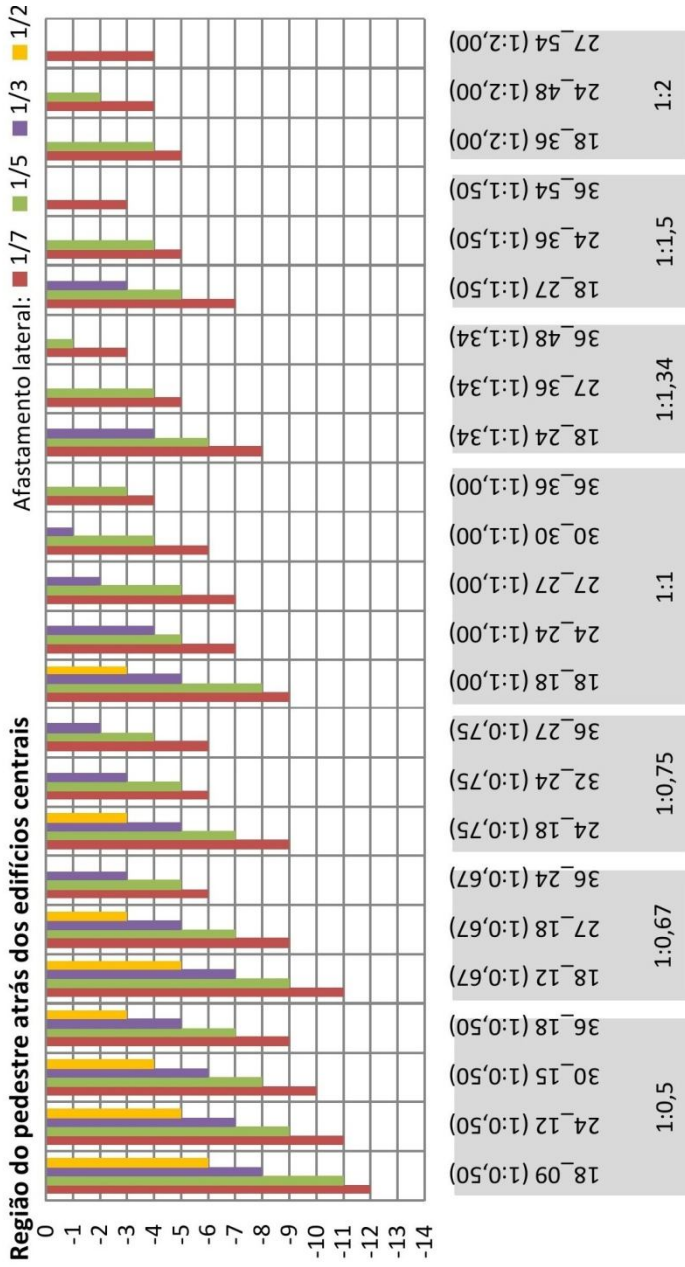


Gráficos para observação da influência da proporção da WH





Gráficos para observação da influência da proporção WH



Gráficos para observação da influência da proporção WH

