

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**IMPACTOS DO RUÍDO URBANO E BARREIRAS ACÚSTICAS: ESTUDO DE  
CASO EM ESCOLAS DA REDE MUNICIPAL DE MACEIÓ, ALAGOAS**

LORENA BISPO DE OLIVEIRA FIRMINO

MACEIÓ- AL  
2019

**LORENA BISPO DE OLIVEIRA FIRMINO**

**IMPACTOS DO RUÍDO URBANO E BARREIRAS ACÚSTICAS: ESTUDO DE  
CASO EM ESCOLAS DA REDE MUNICIPAL DE MACEIÓ, ALAGOAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Arquitetura e Urbanismo da Universidade  
Federal de Alagoas como requisito à obtenção  
do título de Mestra em Arquitetura e  
Urbanismo.

**Orientadora:** Profa. Dra. Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
Universidade Federal de Alagoas

MACEIÓ-AL

2019

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
Bibliotecário: Marcelino de Carvalho

- F525i      Firmino, Lorena Bispo de Oliveira.  
             Impactos do ruído urbano e barreiras acústicas : estudo de caso em escolas da rede municipal de Maceió, Alagoas / Lorena Bispo de Oliveira Firmino. – Maceió, 2019.  
             166 f. : il. color.
- Orientadora: Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica.  
             Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2019.
- Bibliografia: f. 140-148.  
             Anexos: f. 150-166.
1. Ruído - Medição. 2. Ruído urbano. 3. Espaço externo da escola. 4. Muros. 5. Acústica arquitetônica. I. Título.

CDU: 725.81

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

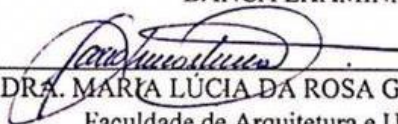
LORENA BISPO DE OLIVEIRA FIRMINO

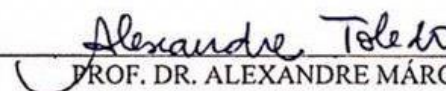
IMPACTOS DO RUÍDO URBANO E BARREIRAS ACÚSTICAS: ESTUDO DE  
CASO EM ESCOLAS DA REDE MUNICIPAL DE MACEIÓ-AL

Dissertação de mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e  
Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas,  
como requisito final para obtenção do grau de  
Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

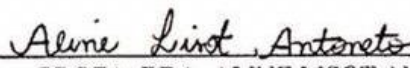
APROVADA em 11/06/2019.

BANCA EXAMINADORA

  
PROFA. DRA. MARIA LÚCIA DA ROSA GONDIM OITICICA (Orientadora)  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo- UFAL

  
PROF. DR. ALEXANDRE MÁRCIO TOLEDO  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo- UFAL

  
PROF. DRA. JULIANA OLIVEIRA BATISTA  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo- UFAL

  
PROFA. DRA. ALINE LISOT ANTONETO  
Universidade Estadual de Maringá- UEM

## AGRADECIMENTOS

Como grande amante da música popular, começo esses agradecimentos com a frase da música de Paul McCartney: *"I'm so grateful for everything you've ever givin' me, how can I explain what it means to be loved by you? / Eu sou muito grato por tudo que vocês me deram, como posso explicar o que significa ser amado por vocês?"*. Desta forma, darei meus sinceros agradecimentos, aqueles que passaram, de certa maneira, todas os momentos desse caminho, fazendo o que fizeram com todo carinho possível.

A **Deus**, que me propiciou uma força sublime de crer que eu poderia prosseguir, mesmo em meio à tanta indecisão e um turbilhão de emoções no meio do percurso.

À minha família, **Regina, Marcelo e Alice**, que me apontaram a importância da ética moral numa sociedade com tão pouca equidade e o quão eu deveria ser benevolente para/com os outros. Além de terem lutado para proporcionar-me todas as condições para que eu realizasse este percurso da melhor maneira.

À minha orientadora **Professora Lucinha**, pela sua generosidade sem medidas em me receber como uma segunda mãe, repartindo seus conhecimentos, sendo solícita às dúvidas e com observações pertinentes na elaboração do meu trabalho. Se tornando uma mulher a quem estimo e tenho como exemplo a seguir. Meu mais honesto agradecimento!

Ao **Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro**, pela equipe que encontrei, pelo suporte e pela vibração positiva de sempre, em especial **Carol, Stela e Bianca**.

Aos meus colegas **Camila, Jéssica, Leila e Aloísio** pelo compartilhamento, inclusive de carro, que proporcionaram mais alegrias às viagens até a UFAL. Também sou muito grata pelas partilhas e desabafos além da área acadêmica. Pela assistência em todos os momentos que precisei, desde dúvidas da ABNT, até as levantadas de ego para que fosse possível prosseguir com o trabalho.

À **Lia**, pela sua atenção, disposição quase que 24 horas, broncas e dedicação em me ajudar, me ouvir reclamar e me ensinar a ser uma profissional e pessoa melhor. Aprendi com você a ter mais ambições na vida. Sua força e astúcia são invejáveis, você merece o mundo.

Aos meus amigos **Felipe, Bruno, Marina e Michael**, pelas conversas, conselhos, por me perceberem como realmente sou e por fazerem minha vida mais agradável, por compartilharem *rolês*, viagens, risadas, alegrias e tristezas. Nos momentos que necessitei, vocês me trouxeram bem-estar.

À todas as **pessoas envolvidas nesse trabalho** que serviram como portas de ligação e partilharam de informações para fazer esse estudo realizável. À **Universidade Federal de Alagoas**, pela pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**, pelo subsídio ao projeto feito. Reconheço,

por fim, ao **Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo** e todo o seu corpo docente.

## RESUMO

Do ponto de vista acústico, os espaços urbanos são complexos porque envolvem uma pluralidade de fontes de ruído. Os problemas ambientais gerados por essas fontes, comprometem a qualidade sonora nos espaços que são expostos ao ruído urbano, como as residências, as escolas e os hospitais. O Ministério da Saúde avalia que quando o ruído é intenso e a exposição a ele é continuada, podem ocorrer alterações estruturais no ouvido interno, relacionadas ao tempo de exposição ao ruído. Além das deficiências auditivas e alguns distúrbios e doenças, o ruído pode afetar o comportamento perceptivo, motor e cognitivo, causando déficits de aprendizado nas escolas. O ponto de parada de ônibus é o local estabelecido na via pública onde se dá a parada do veículo de transporte coletivo para o embarque ou desembarque de viajantes. Esses equipamentos favorecem os altos índices de ruído ambiental com aglomeração de pessoas e veículos em suas proximidades. Como medidas de proteção do indivíduo ao ruído urbano, as barreiras acústicas vêm funcionando de maneira exemplar nos dias atuais. O objetivo dessa pesquisa foi investigar o ruído urbano em escolas localizadas próximas a abrigos de ônibus, tendo como estudo de caso edificações públicas escolares de ensino médio e fundamental do município de Maceió, estado de Alagoas. A metodologia adotada foi constituída etapas que envolveram tabulação, mapeamentos das escolas de ensino fundamental e médio da rede municipal da cidade assim como a contabilização dos pontos de paradas de ônibus localizadas a menos de 50 metros de cada escola. Dentre elas, os muros se apresentaram híbridos (opacos e vazado) ou não possuíam muros; 3 escolas foram selecionadas por possuírem paradas de ônibus localizadas na mesma calçada de uma de suas fachadas. Para as mensurações, foram realizados os procedimentos de medições dos níveis de pressão sonora na região externa da edificação escolar, inclusive nos abrigos encontrados. O levantamento dos dados acústicos foi realizado em dias de semana e em horários comerciais, por serem os horários com maior fluxo de ônibus, evitando-se acontecimentos atípicos de fins de semana e feriados. Os dados obtidos nas medições foram adquiridos por meio do medidor de nível de pressão sonora da 01dB – Metravib. Após a etapa de medições do nível de pressão sonora, simulações acústicas foram efetuadas através do *software* para mapeamento e predição acústica Cadna-A. Com isso, foram realizadas comparações entre simulações de mapas sonoros com dois cenários diferentes para um mesmo recorte espacial, sendo um cenário com a situação real do abrigo, e o segundo com a situação do abrigo proposto com a função de uma barreira. Como resultado, foi possível observar que nos três casos as escolas sofrem com os impactos dos ruídos urbanos, acrescidos dos índices provocados pelos abrigos dos pontos de parada de ônibus. Os valores de LAeq medidos nos abrigos de ônibus variaram de 67 a 77 dB ponderados em (A). Com a síntese das análises, foi possível compreender que um planejamento prévio para a locação de equipamentos escolares e urbanos, de uma maneira geral é imprescindível, pois foi visto que, assim como os semáforos, lombadas e faixas de pedestre, os pontos de parada de ônibus também são fatores influenciadores nos índices do ruído urbano.

**Palavras-chave:** Mapa de ruído. Escolas. Muros.

## ABSTRACT

From the acoustic point of view, urban spaces are complex because they involve a plurality of noise sources. The environmental problems generated by these sources compromise sound quality in spaces that are exposed to urban noise, such as residences, schools and hospitals. The Ministry of Health assesses that when noise is intense and exposure to it is continued, structural changes in the inner ear may occur, related to the time of exposure to noise. In addition to hearing impairments and some disorders and diseases, noise can affect perceptual, motor and cognitive behavior as learning deficits in schools. The bus stop is the place stipulated on the public road where the collective transportation vehicle stops for the embarkation or disembarkation of travelers. These equipment corroborate with crowding of people and vehicles in their vicinity, which causes in the addition of noise to the ambient sound. As measures of protection of the individual to the urban noise, the acoustic barriers see functioning in an exemplary way in the present days. The descriptive objective of this research was to investigate the urban noise of schools located near shelters of bus stop, having as a case study public building of secondary and elementary school of the municipality of Maceió, state of Alagoas. The methodology adopted consisted of six stages: 106 municipal primary and secondary schools were tabulated; Of these, 86 were mapped in AutoCAD by geoprocessing; A total of 18 schools were counted with bus stops located less than 50 meters from the school, but in 8 of them, the walls were hybrids (opaque and leaked) or had no walls; Finally, 3 schools were selected for having bus stops located on the same sidewalk of one of their façades. For the measurements, the procedures of measurement of the sound pressure levels in the external region of the school building were carried out, including in the present shelters. The survey of acoustic data was performed on weekdays and at business hours, as the schedules were the busiest, avoiding atypical events at weekends and holidays. The data obtained in the measurements were acquired through the sound pressure meter of the 01Db - Metravib. After the step of sound pressure level measurements, acoustic simulations were performed through the Cadna-A acoustic prediction mapping and prediction software. Thus, comparisons were made between simulations of sound maps with two different scenarios for the same spatial clipping, being a scenario with the actual situation of the shelter, and the second with the situation of the proposed shelter with the function of a barrier. As a result, it was possible to observe that in all three cases the schools suffer from the impacts of urban noise, plus the indices provoked by shelters at bus stops. With the synthesis of the analyzes, it was possible to understand that a previous planning for the leasing of school and urban equipment, in a general way is indispensable.

**Keywords:** Urban noise. Schools. Bus stop point.



*“Aquilo que pensamos ser o silêncio é, na realidade, um ruído.”*

*Nattiez, (1984)*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura geral da dissertação.....	23
Figura 2- Crescimento Urbano no Brasil.....	26
Figura 3 - Contornos de audibilidade para tons puros .....	30
Figura 4- Reações fisiológicas correlacionadas com níveis de ruído ambiente .....	33
Figura 5 - Influência de diferentes fontes geradoras do ruído veicular .....	51
Figura 6- Características recomendadas para um abrigo de ponto de parada.....	57
Figura 7 - Abrigos de ônibus em Dubai .....	58
Figura 8 - Abrigos de ônibus Estações Tubo em Curitiba .....	58
Figura 9 - Projeto de abrigo de ônibus ecologicamente correto em Florianópolis .....	59
Figura 10 - Dinâmica de funcionamento da barreira acústica .....	60
Figura 11- Estratégias de barreiras acústicas .....	61
Figura 12-Esquema com a diminuição do comprimento da barreira, dobrando suas extremidades .....	62
Figura 13 - Exemplos de barreiras acústicas nas cidades do Rio de Janeiro e São Paulo	63
Figura 14 - Atenuação sonora ao ar livre com influência da vegetação .....	63
Figura 15 - Barreira acústica vegetal.....	64
Figura 16 - Redução sonora em função do número de Fresnel .....	65
Figura 17 - Ilustração de um mapa de ruído em diferentes escalas .....	67
Figura 18 - Mapa sonoro de Belém (Estado do Pará) entre 17h e 18h. ....	68
Figura 21 - Abrigo de ônibus ecológico.....	79
Figura 23 - Padrão do abrigo do ponto de parada em concreto.....	80
Figura 24 - Sinalização de ponto de parada de ônibus por placa .....	80
Figura 25 - Desenho técnico de um dos modelos de abrigo metálico utilizado .....	81
Figura 26 – Perspectivas do abrigo proposto .....	82
Figura 27 - Vistas do abrigo de ponto de parada proposto.....	83
Figura 28 - Recorte de mapeamento de escolas e seus respectivos pontos de parada .....	84
Figura 29 - Escolas levantadas e mapeadas no mapa de Maceió- AL.....	86
Figura 31 - Fachada das escolas com muros opacos .....	87
Figura 32 - Escolas com muros híbridos ou sem muros .....	88
Figura 34 - Escolas municipais com muros opacos.....	89

<b>Figura 35 - Mapa de Maceió com destaque para os bairros da Cidade Universitária, Jacintinho e Vergel do Lago. ....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 36 – Mapa do Jacintinho com destaque para a situação da escola E1.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 37- Mapa da Cidade Universitária e mapa de situação da escola E3 .....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 38 - Mapa do Vergel do Lago com destaque para a situação da escola E6 .....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 40 - Equipamento de medição 01dB - Metravib Solo.....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 41 - Pontos de medição na região da E1 – Escola Arnon de Mello .....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 42 - Pontos de medição na região da E3 – Escola Carmelita Cardoso Gama ....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 43 - Pontos de medição na região da E6 – Escola Rui Palmeira .....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 44 - Licença do software Cadna-A para a Unidade Federal de Alagoas.....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 45 - Pontos de medição na região em estudo - E1 .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 46 – Perspectiva do mapa sonoro da área de estudo .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 47 - Mapa sonoro do ruído de fundo da região E1 .....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 48 - Fachada frontal E1.....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 49 - Ilustração da substituição do ponto de parada real pelo ponto proposto... </b>	<b>113</b>
<b>Figura 50 - Destaque para área de comparação entre ponto original e proposto.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 52 - Perspectiva situação escola E3 .....</b>	<b>119</b>
<b>Figura 53 - Mapa sonoro do ruído da região E3 .....</b>	<b>120</b>
<b>Figura 54 - Ilustração da substituição do ponto de parada real pelo ponto proposto na escola E3 .....</b>	<b>120</b>
<b>Figura 55 - Comparação entre as situações (a) e (b) na escola E3 .....</b>	<b>121</b>
<b>Figura 57 - Perspectiva da situação da escola E6.....</b>	<b>127</b>
<b>Figura 58 - Mapa sonoro do ruído de fundo da região E6 .....</b>	<b>128</b>
<b>Figura 59 - Ilustração da substituição do ponto de parada real pelo ponto proposto na escola E6 .....</b>	<b>128</b>
<b>Figura 60 - Comparação entre os cenários (a) e (b) na escola E6.....</b>	<b>129</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Legislação municipal	42
Quadro 2 - Decretos e leis sobre acústica urbana na cidade de Maceió	43
Quadro 3 - Nível de pressão sonora das salas de aula de escolas brasileiras	49
Quadro 4 - Caracterização dos pontos de paradas de cada escola	90
Quadro 5 - Localização dos pontos de paradas de cada escola	92
Quadro 6 – Ficha de caracterização da escola E1	94
Quadro 7 – Ficha de caracterização da escola E3	96
Quadro 8 – Ficha de caracterização da escola E6	98
Quadro 9 - Parâmetros de cálculo global usados nos modelos em estudo	105
Quadro 10- Etapas para a confecção dos mapas sonoros	106
Quadro 11 – Simulações sonoras com muro alto e localizações diferentes do abrigo	114
Quadro 12- Simulações sonoras com muro baixo e localizações diferentes do abrigo	115
Quadro 13 - Simulações sonoras sem muro e localizações diferentes do abrigo	116
Quadro 14 - Simulações sonoras com muro alto	122
Quadro 15 - Simulações sonoras com muro alto e localizações diferentes do abrigo	130
Quadro 16 - Simulações sonoras com muro baixo e localizações diferentes do abrigo	131
Quadro 17 - Simulações sonoras sem muro e localizações diferentes do abrigo	132

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis limites de ruído, segundo a Organização Mundial da Saúde.....	31
Tabela 2 - Limites de níveis de pressão sonora aceitáveis em função da finalidade de uso e ocupação do solo .....	37
Tabela 3 - Limites máximos de emissão de ruído para veículos automotores .....	54
Tabela 4 - Meio de transporte mais usado para locomoção no Brasil .....	56
Tabela 5 - Valores do ruído ambiental em cada ponto de medição .....	111
Tabela 6- Valores do ruído ambiental em cada ponto de medição .....	118
Tabela 7 - Valores do ruído ambiental em cada ponto de medição .....	127

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANTP** – Associação Nacional de Transportes Públicos
- ARSAL** - Agência Reguladora de Serviços Públicos
- BDTD** - Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
- Cadna-A** - Computer Aided Noise Abatement
- CBTU** - Companhia Brasileira de Trens Urbanos
- CNG** - Compressed Natural Gas
- CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CONTRAN** - Conselho Nacional de Trânsito
- CTB** - Código de Trânsito Brasileiro
- DENATRAN** - Departamento Nacional de Trânsito
- DETRAN/AL** - Departamento Estadual de Trânsito de Alagoas
- EIA** - Estudo de Impacto Ambiental
- EIV** - Estudo de Impacto de Vizinha
- GEAS/UFAL** - Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro da Universidade Federal de Alagoas
- IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INCE** - International Institute of Noise Control Engineering
- ISO** - International Organization for Standardization
- MS** - Ministério da Saúde
- NBR** - Norma Brasileira
- NCA** - Nível Critério de Avaliação
- NPS** - Níveis de Pressão Sonora
- NPS** - Nível de Pressão Sonora
- OMS** - Organização Mundial da Saúde
- PAIR** - Perda Auditiva Induzida por Ruído
- PD** - Plano Diretor
- PDTU** - Plano Diretor de Transportes Urbanos
- RBC** - Rede Brasileira de Calibração
- S/R** - Sinal/ Ruído
- SciELO** - Scientific Electronic Library Online
- SEDET** - Secretária de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente
- SEMED** - Secretaria de Educação de Maceió

**SEMPMA** - Secretaria Municipal de Proteção ao Meio Ambiente

**SMTT** - Superintendência Municipal de Transporte e Trânsito

**UV** - Ultraviolet Radition

**VLT** - Veículo Leve sobre Trilhos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>18</b>
1.1 OBJETIVOS .....	21
<b>1.1.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>21</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>21</b>
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	22
<b>2 RUÍDO URBANO .....</b>	<b>25</b>
2.1 CRESCIMENTO URBANO .....	25
2.2 POLUIÇÃO SONORA.....	27
2.3 IMPACTO DO RUÍDO NO HOMEM .....	29
2.4. PARÂMTEROS NORMATIVOS .....	34
<b>2.4.1 Normas ISO – <i>International Organization for Standardization</i> .....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.2 Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) .....</b>	<b>38</b>
<b>2.4.4 Leis brasileiras.....</b>	<b>39</b>
2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	44
<b>3 PROPAGAÇÃO DO RUÍDO .....</b>	<b>47</b>
3.1 RUÍDO DE TRÁFEGO .....	49
<b>3.1.1 Ruídos provocados por veículos pesados .....</b>	<b>53</b>
3.2 BARREIRAS ACÚSTICAS.....	59
3.2 MAPEAMENTO SONORO .....	67
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>72</b>
4.1 ETAPA 01 – SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	73
<b>4.1.1 A cidade de Maceió .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1.2 Localização dos pontos de ônibus monitorados.....</b>	<b>83</b>
<b>4.1.3 Variáveis urbanas do entorno .....</b>	<b>85</b>
<b>4.1.4 Variáveis arquitetônicas .....</b>	<b>86</b>

<b>4.1.5</b>	<b>Localização e classificação de vias e pontos de paradas .....</b>	<b>89</b>
4.2	ETAPA 02 – CARACTERIZAÇÃO E LEVANTAMENTO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	92
4.3	ETAPA 03 – LEVANTAMENTO DE DADOS ACÚSTICOS .....	99
<b>4.3.1</b>	<b>Pontos de medição .....</b>	<b>100</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Softwares .....</b>	<b>102</b>
4.4	ETAPA 04 – MAPAS SONOROS .....	103
<b>5</b>	<b>ANÁLISE E RESULTADOS .....</b>	<b>108</b>
5.1	ESTUDO DE CASO: ABRIGO E ESCOLA ARNON DE MELO - E1.....	109
<b>5.1.1</b>	<b>Medições acústicas: Caso E1 .....</b>	<b>110</b>
5.2	ESTUDO DE CASO: ABRIGO ESCOLA CARMELITA GAMA – E3.....	117
<b>5.2.1</b>	<b>Medições acústicas: Caso E3 .....</b>	<b>118</b>
5.3	ESTUDO DE CASO: ABRIGO ESCOLA RUI PALMEIRA .....	125
<b>5.3.1</b>	<b>Medições acústicas: Caso E6 .....</b>	<b>126</b>
5.4	DISCUSSÃO .....	133
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>136</b>
	REFERÊNCIAS .....	139



INTRODUÇÃO GERAL

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As cidades de grande porte brasileiras atravessam modificações constantes no cenário urbano. Segundo o IBGE (2010), 85,4% da população brasileira reside no meio urbano, o que acarreta em problemas diversos como a violência, as desigualdades sociais e também a poluição ambiental. Ao tratar da temática do crescimento urbano, é relevante retomar o conceito de *urban sprawl* já que sua delimitação teórica ampara a compreensão dos avanços dos fenômenos urbanos e do planejamento regional, ambiental e urbano.

Na década de 1960, o termo surge com significado pejorativo para expor o aumento descontrolado dos agrupamentos urbanos norte-americanas e reporta-se a um modelo de ocupação urbana de baixa densidade (JAMES et al., 2013). Com isso, a poluição acústica se tornou inevitável, e, atualmente, ocupa o segundo lugar de destaque entre as poluições ambientais, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011), tornando-se uma das razões para uma baixa qualidade de vida nas metrópoles (OMS, 2011).

Ao se falar do aumento do ruído nas cidades, pode-se relacionar em parte com o crescimento demográfico da população urbana. As origens do ruído ambiental são de naturezas distintas, assim como suas circunstâncias. Do ponto de vista acústico, os espaços urbanos são complexos pois envolvem uma diversidade de fontes de ruído, com usos diferentes (CORTÊS; NIEMAYER, 2014; BRESSANE et al., 2016).

Segundo Niemeyer e Cortês (2012), os indicadores que influenciam no impacto ambiental são a densidade populacional, alteração nos padrões de uso do solo, geração de tráfego e demanda por transporte público. Observa-se que existe uma carência no combate ao impacto sonoro por meio de políticas públicas e de planejamento urbano. Por outro lado, a Organização Mundial da Saúde afirma que grande parte dos estudos sobre o ruído urbano auxiliam de forma eficiente no controle da poluição sonora (MENDONÇA, 2013).

A preocupação com a poluição sonora surge quando o incômodo passa a ser um problema intolerável. Os espaços edificados mais atingidos nos centros urbanos por conta da poluição sonora são as escolas, os hospitais, os conjuntos residenciais, dentre outros. Todavia, poucas são as práticas efetivas para a identificação e análise das condições de exposição da população ao ruído (VETTORAZZI et al., 2014).

De acordo com Lacerda (2009), as nocividades à audição são atribuídas em função da durabilidade, da repetição e da intensidade do ruído. A interação do ruído com os efeitos

nocivos à saúde humana vai desde a perturbação do sono até o aumento do risco de desordens psiquiátricas e doenças cardiovasculares, onde ruídos acima de 50 decibéis dB ponderados em A podem ser prejudiciais à saúde (OMS, 2011).

O Ministério da Saúde (2006) avalia que quando o ruído é intenso e a exposição a ele é continuada, em média 85 dB por oito horas por dia, há alterações estruturais no ouvido interno, que determinam a ocorrência da Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR), conhecida como perda auditiva do tipo neurossensorial e progressiva relacionadas ao tempo de exposição ao ruído.

Para o controle dos problemas urbanos, cada cidade é contemplada com normas e leis que ajudam a manter o ordenamento dos espaços públicos, assim como dos privados. No Brasil, desde 1990, o Programa Nacional Educação e Controle da Poluição Sonora - SILÊNCIO (1990) está ativo e é controlado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Os objetivos são agenciar cursos técnicos de capacitação de pessoas para conter os problemas da poluição sonora, divulgar os estragos prejudiciais à população como medida educativa, estimular a fabricação de máquinas e equipamentos com menor capacidade de geração de ruídos e, além disso, estabelecer convênios com órgãos e entidades que contribuem de alguma forma para o desenvolvimento do programa (BRASIL, 1990)

Além do programa nacional, algumas normas são estabelecidas pela ABNT. As NBR 10.151 (ABNT, 2000) e NBR 10.152 (ABNT, 2017) regulamentam os Níveis de Pressão Sonora (NPS) máximos para os ruídos ambientais e estabelecem parâmetros para o conforto acústico nas edificações. Atualmente, a NBR 10.151 vigente é referente ao ano de 2019, entretanto esse trabalho foi feito durante a vigência da versão do ano 2000, por isso a versão de 2019 não foi tão abordada.

A cidade de Maceió é respaldada nesse sentido pelo artigo 82 do Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió(2007). Duarte e Viveiros (2007) afirmam que o surgimento do tráfego denso de veículos nos centros urbanos eleva os níveis de poluição sonora consideravelmente. Os sistemas de transportes são fatores influentes para a paisagem sonora urbana, segundo Neumann (2014). Já Rodrigues (2006) declara que os ônibus, no Brasil, são grandes contribuintes para o somatório total do ruído de tráfego urbano.

Além disso, o autor ainda afirma que os terminais de transporte coletivos urbanos estão sujeitos a elevados índices de ruído gerados basicamente pelos motores dos ônibus em

locomoção. A substituição dos ônibus convencionais, movidos a motor de combustão, por ônibus elétricos ou Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) tem sido um recurso para uma possível redução dos níveis sonoros nas cidades, ocorrendo o mesmo em relação aos automóveis.

Além desse benefício, esta alternativa, amortece, inclusive, os índices da poluição atmosférica (PEDROSO, 2012). ). As intervenções que abrandam os ruídos oriundos dos sistemas de transportes devem ser feitas nos próprios veículos e/ou fazer o uso da instalação de barreiras sonoras naturais ou artificiais (SILVA, 2016). As barreiras acústicas são utilizadas habitualmente para atenuação de ruído de tráfego provocado pelo deslocamento dos veículos, máquinas de construção, geradores ou transformadores e veem sendo instaladas desde a década de 1960, no Reino Unido (KOTZEN; ENGLISH, 2009).

Lisot e Soares (2008), afirmam que o preceito fundamental de performance das barreiras é a obstrução a linha de visão entre fonte sonora e receptor, de maneira que modifique o curso das ondas sonoras. De acordo com Gerges (2000), elas devem ser locadas próximas à fonte para combater a passagem do som. Essas barreiras podem ser formadas por muros, taludes, elementos verticais, inclusive, pela própria edificação ou um conjunto delas (GIUNTA, 2013).

Segundo Ko, Chang e Lee ( 2011), o mapeamento acústico é um recurso importante para a análise e monitoramento do ruído ambiental e é cada dia mais utilizado por inúmeros países. Ele proporciona informações do ruído ambiental para facilitar no planejamento urbano ao simular graficamente os níveis de ruído que afetam o meio ambiente. Trabalhos que estudam o ruído urbano por meio de mapeamentos e predição acústica visam dimensionar as numerosas repercussões do ruído nas pessoas e no ambiente.

Esse procedimento tem sido muito usado, pois além viabilizar informações do ruído ambiental para o planejamento urbano, ele oportuniza o acompanhamento e previsões das transformações dos ambientes sonoros, que sofrem efeitos diante da configuração do espaço urbano (GUEDES; BERTOLI, 2014). O ruído em algumas cidades países é encarado com mais atenção, em Londres, por exemplo, é possível conhecer o nível de ruído apenas com o nome da rua ou código postal por meio do mapa de ruído (PINTO; MARDONES, 2009).

A ausência de estudos sobre o tráfego urbano e seus impactos sonoros na cidade de Maceió, mostra a relevância dessa pesquisa. Nos anos de 2011 e 2012, através de dados da Secretária Municipal de Proteção ao Meio Ambiente (SEMPMA), as denúncias relacionadas à poluição sonora tiveram um total de 37 e 26%, respectivamente com relação aos outros oito tipos de poluição ambiental (ALENCAR; ALVES; OITICICA, 2012).

Entre os anos de 2013 e 2015, as poluições ambientais atmosféricas, hídricas e sonoras foram os maiores problemas apontados, de acordo com estudos realizados pelo Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro da Universidade Federal de Alagoas (GEAS/UFAL). Nesse período, foi observado que a poluição sonora obteve destaque como o segundo lugar de reclamações, atingindo de 20 a 22% do total entre as diversas poluições ambientais (OITICICA; FIRMINO; ALMEIDA, 2016).

É necessária uma atitude para minimizar o desconforto acústico e promover a diminuição do impacto sonoro urbano que é provocado por diversas fontes. Deste modo, o presente estudo visa contribuir com discussões com relação aos métodos de gestão urbana que tendem a influenciar acústica ambiental na cidade de Maceió. Além do conforto acústico nas atmosferas escolares, o trabalho inclui a análise das medidas de controle dos impactos ambientais sonoros do ruído de tráfego provocado pelos veículos pesados, como o caso dos ônibus.

Além de desenvolver estudo mais aprofundado com os abrigos de ponto de parada de ônibus, que até então não havia sido estudado na cidade, o estudo levanta questões sobre o funcionamento dos muros das escolas como barreiras acústicas. Esta dissertação, portanto, foca na observação do ruído urbano e sua possível interferência nas edificações escolares, utilizando-se de uma área da cidade de Maceió como esfera experimental.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o impacto do ruído urbano nas escolas localizadas próximas aos pontos de ônibus, por meio de estudo de caso as edificações públicas escolares de ensino médio e fundamental no município de Maceió, capital de Alagoas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar os níveis de ruídos incidentes nos abrigos de ônibus próximos às escolas;
- b) Elaborar o mapeamento sonoro do entorno das edificações estudadas;
- c) Contribuir com futuras investigações em abrigos de ônibus como interventores da poluição sonora;
- d) Avaliar a propagação sonora com o uso de muros como barreiras acústicas;

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho está contemplado com 6 capítulos. O capítulo 1 apresenta o problema da pesquisa, os objetivos, a justificativa e a estrutura da dissertação.

Os capítulos 2 e 3 trazem pesquisas por meio do referencial teórico sobre o contexto da poluição sonora nas cidades e o impacto dela na arquitetura e no homem. No capítulo 2, especificamente, são apresentados os conceitos fundamentais do ruído urbano, informações sobre os efeitos da poluição sonora no ambiente e na saúde do homem, além da legislação vigente sobre o tema.

O capítulo 3 discorre sobre a propagação do ruído urbano, com destaque para os ruídos provocados pelo tráfego de veículos. Também apresenta tipos e métodos de elaboração de barreiras acústicas, além de estudos de mapeamentos sonoros que visam prevenir ou resolver problemas relacionado à falta de planejamento urbano.

O capítulo 4 apresenta o método usado na verificação do impacto ambiental acústico e exhibe características do objeto de estudo que envolvem os abrigos dos pontos de paradas de ônibus de Maceió próximas às escolas. Além disso, descreve os métodos de levantamento de dados e procedimentos dos ensaios em campo. No final, aponta os *softwares* e configurações utilizadas na pesquisa.

No capítulo 5 são apresentados as análises e os resultados do estudo. A partir da verificação dos resultados das medições *in loco* e da modelagem do *software*, foram desenvolvidas as análises e modelagem espacial da situação da poluição sonora nas regiões de estudo com os respectivos cenários dos objetivos desse trabalho. Por fim, encontra-se o capítulo 6, que apresenta a conclusão, as limitações do trabalho e sugestões para trabalhos posteriores. A Figura 1 mostra a estrutura empregada para a realização do presente trabalho.

**Figura 1- Estrutura geral da dissertação**



**Fonte:** Editado pela autora, 2017.

REFERENCIAL TEÓRICO



## 2 RUÍDO URBANO

As cidades urbanas são, geralmente, descritas como ambientes de exposição a elevados índices de ruído, devido ao intenso tráfego existente e, conseqüentemente passam a ser causadores de desconforto à comunidade (MELO et al., 2010; MCALEXANDER; GERSHON; NEITZEL, 2015; GERGES, 2000). ). Na Europa, sobre o combate à poluição sonora foi criada a Diretiva 2002/49/CE que diz respeito à avaliação e à gestão do ruído ambiental, cujo objetivo é definir uma abordagem comum destinada a evitar, prevenir ou reduzir de forma prioritária os efeitos nocivos, incluindo o incômodo, devido à exposição ao ruído ambiente (DIRETIVA, 2002).

Essa mesma Diretiva exige que os estados-membros da federação produzam mapas estratégicos para as principais fontes de ruído ambiental a cada 5 anos, desde 2012. Estratégias como essas são bem-vindas pois, após a implantação do Regulamento, registraram-se progressos significativos na redução do ruído (BILGILI; SHILTON; KINGDOM, 2015; PAVIOTTI, 2002). No Brasil, o reconhecimento e quantificação dos níveis reais de ruído deveriam motivar o poder público a um balanço comparativo da realidade com os padrões estipulados pela ABNT NBR 10151(2000) e com as leis municipais de cada cidade. Kluijver e Stoter (2003) retratam a importância de serem identificadas as fontes geradoras de ruídos, recomendando o estudo e a fiscalização dessas fontes.

Esses procedimentos são importantes pois facultam e promovem a avaliação do impacto sonoro sobre vários ambientes. O estudo do impacto ambiental, aliados a normas reguladoras e a outras ferramentas, permite melhorar a qualidade ambiental das cidades. Segundo Copeland et al ( 2002), um ambiente acústico saudável é um direito comum de todos. Entretanto, a maioria das cidades brasileiras que possui leis urbanísticas e planos diretores é afetada pelo crescimento urbano contínuo e vulnerável aos interesses corporativos.

### 2.1 CRESCIMENTO URBANO

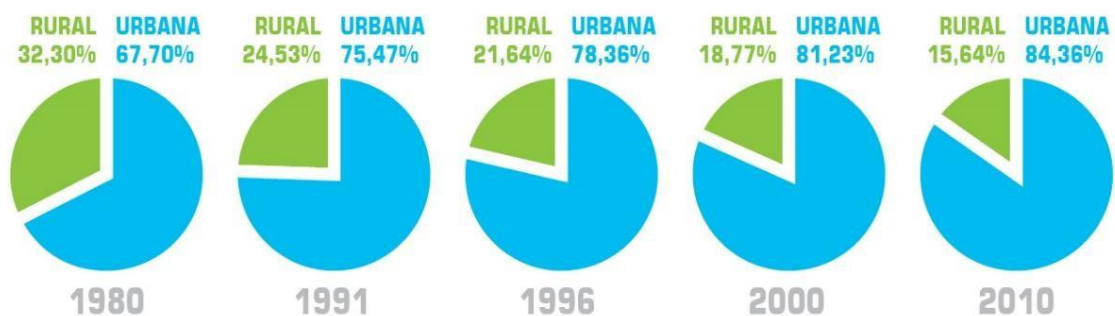
Com relação a esses avanços urbanos, percebe-se um grande número de pesquisas nessa temática. As abordagens do ponto de vista histórico, apontam que, de fato, ocorre o crescimento das áreas urbanas segundo o padrão de expansão periférica no território, o que, de acordo com o debate internacional, parece ser novo são as formas espaciais que essa ocupação urbana passa a assumir (OJIMA, 2008).

Segundo Milton Santos, em seu livro 'A Urbanização Brasileira', esse abalo agudo de crescimento resultou em uma natalidade elevada e mortalidade em descenso, cujos agentes

foram o avanço nos padrões de vida e da urbanização (SANTOS, 1993). Nos anos de 1940 a 1980, a urbanização passou por um processo de estouro, onde a taxa de urbanização era de 26,3% na década de 40 e em 1980 alcança 67,7%.

A Figura 2 apresenta o crescimento urbano no Brasil dos anos 1980 a 2010 mostrando um acréscimo de 16,66% nesses 30 anos. Milton Santos (1993), afirma que um dos principais elementos que fez com que a urbanização brasileira crescesse de maneira exponencial foi o aumento da quantidade de trabalho intelectual. Atualmente, o território brasileiro se depara desmembrado em espaços agrícolas e espaços urbanos, não mais como campo e cidade.

Figura 2- Crescimento Urbano no Brasil



Fonte: (OLIVEIRA, 2015)

Milton assegura que a partir dos anos 50 já podia se notar a tendência ao agrupamento da população e da urbanização. De acordo com Maricato (2012), depois dos anos 50, a fabricação dos automóveis na grande indústria causou modificações expressivas no modo de vida dos consumidores, assim como na habitação das cidades. Ainda segundo a autora, a urbanização da sociedade brasileira trouxe o caminho para a modernidade, todavia, ao mesmo tempo, tarefas desafiadoras para os arquitetos e planejadores urbanos.

Os problemas continuam por conta da especulação imobiliária que persiste em se apropriar dos espaços vazios da cidade, ignorando as características naturais de cada lugar com a eliminação das áreas verdes, transformação de rodovias em avenidas de tráfego intenso, além do descumprimento das leis vigentes. Apesar da grande maioria das cidades brasileiras possuírem leis urbanísticas e planos diretores, o crescimento urbano continua vulnerável aos interesses corporativos.

Lamentavelmente, o próprio poder público estimula a especulação e provoca a produção dos espaços sem planejamento. Os problemas ambientais gerados pela desordem das cidades comprometem a qualidade sonora nos espaços que são expostos ao ruído urbano,

como as residências, as escolas e hospitais. Essas regiões, especificamente, não são imunes ao processo de crescimento das cidades, tampouco, da poluição sonora.

Diante disso, o projeto do desenvolvimento urbano é imprescindível para evitar os efeitos negativos do crescimento urbano sobre o meio ambiente. A poluição sonora ganha destaque nos últimos anos por ser determinante aos prejuízos em diversas áreas urbanas. Com isso, cada dia mais, faz-se necessário medidas preventivas à adequação do ruído no processo de planejamento das cidades (SOUZA, 2011).

## 2.2 POLUIÇÃO SONORA

Como visto no tópico anterior, o crescimento desordenado das cidades e o surgimento das grandes indústrias, as pessoas passaram a conviver em um cenário de poluição. Na legislação, a poluição é definida no art. 3, III, da Lei 6.938/81 (BRASIL, 1981a), como a deterioração da qualidade ambiental consequente de atividades que prejudiquem a saúde, segurança e o bem estar da população; criem circunstâncias adversas às atividades sociais e econômicas; afetem negativamente a biota; prejudiquem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em incompatibilidade com os padrões ambientais definidos.

A poluição sonora ocorre quando o som altera a condição normal de audição em um determinado ambiente (BRITO, 2015). Dentre as diversas fontes dessa poluição, o ruído de tráfego é visto como o poluidor mais eminente (SURIANO et al., 2015). Por ser considerada intrínseca ao crescimento urbano, a poluição sonora passa despercebida. Por esse motivo, ela necessita ser tratada com maior profundidade.

Apesar do crescimento urbano ter trazido grandes avanços às cidades, trouxe também problemas negativos relacionados à poluição sonora, sendo ela responsável pela diminuição da qualidade de vida da população, tornando-se um problema de saúde pública, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011). Segundo Brito (2015), a poluição sonora ocorre quando o som transforma a condição normal de audição no ambiente, ou seja, quando os níveis de som são prejudiciais ao repouso e sossego público.

As fontes responsáveis por essa poluição são diversas e atingem milhões de pessoas. Sabe-se que níveis a partir de 55 dB podem causar os primeiros problemas na qualidade de vida do cidadão, como por exemplo, o estresse auditivo que em determinadas circunstâncias, são tratados como questões banais de caráter subjetivo e pessoal (WHO, 2018). Em outras

ocorrências, o ruído apresenta-se como problema comunitário, sendo considerado ocasionalmente exclusivo às relações de vizinhança.

Nos últimos tempos, logo após pesquisas na área da saúde, física, zoologia e etc, o fenômeno passou a adquirir implicações ambientais, causadoras de perturbações prejudiciais ao meio ambiente, aos homens e animais (ZAJARKIEWICCH, 2010). Segundo os estudos de Zajarkiewicz (2010), a Comunidade Europeia começou a desenvolver programas de combate à poluição sonora desde a década de 70.

Nessa ocasião já se percebiam a poluição sonora como poluição ambiental desde então. Os ruídos causados pelo trânsito, atividades industriais e recreativas se tornaram os principais problemas ambientais na década de 80. Por muito tempo, a poluição sonora foi tida como um subproduto da atividade humana, não tendo seu justo valor na sociedade (NARDI, 2008). No Brasil, com o surgimento do Estatuto da Cidade inicia-se o direito básico elementar das condições mínimas de habitabilidade à população brasileira.

A falta de informação dos efeitos da poluição sonora nos seres humanos e da relação da exposição de ruído com a resposta do organismo dificultam o controle do ruído. Todavia, apesar das dificuldades, a cidade de Fortaleza, capital do Ceará, Brasil, destacou-se no combate ao ruído, tornando-se a pioneira na luta contra a poluição sonora. Fortaleza foi responsável pela primeira carta acústica do Brasil, encarregada por identificar as principais fontes emissoras e suas classificações como: ruído rodoviário, ferroviário, aéreo, industrial, locais de entretenimento e outros (SILVEIRA, 2008).

Os estudos obtidos pela Carta de Fortaleza (2013) serviram de agentes na prevenção da poluição sonora na cidade. Além de Fortaleza, a cidade de Belo Horizonte (MG) também é assegurada por uma lei que dispõe sobre o controle dos ruídos, som e vibrações. Em 2009, o Ministério Público do Recife também lançou uma cartilha sobre o assunto (PERNAMBUCO, 2012). Em São Paulo, Petian (2008), mostrou em sua análise que a poluição sonora se apresenta em quarto lugar dentre os problemas básicos de toda cidade e, em primeiro lugar como incomodante nos locais de trabalho e/ou descanso.

Com essa mostra, pode-se perceber que a poluição sonora deve ser vista como algo agressivo, pelo fato de o ruído ser um poluente invisível e que continua de forma lenta, causando danos à saúde dos indivíduos. Há incontáveis fontes sonoras que impactam no ambiente urbano, do transporte urbano até atividades de lazer, bares e academias, atividades religiosas em templos, dentre outros(OLIVEIRA, 2017).

A construção civil, por exemplo, é uma atividade que tem uma grande capacidade de causar impacto ao meio ambiente, acarretando sérias sequelas às comunidades com os elevados níveis de ruído (BENDER et al., 2005). Dito isso, Niemeyer e Cortês (2012) afirmam que pesquisas de impacto ambiental e de vizinhança hoje requeridas para a inserção de projetos teoricamente maléficos ao meio ambiente têm que conter, sobretudo, a verificação da expansão da densidade populacional, as mutações no tipo de uso do solo, a geração de tráfego e a demanda por transporte público.

Em países variados, a avaliação do impacto sonoro ambiental já é desempenhada com regularidade, quer seja na categoria de prevenção ou de observação (BRUEL & KJAER, 2000). Uma administração apenas consegue garantir uma avaliação eficiente no que diz respeito aos impactos de vizinhança se houver leis ajustadas com clareza. Depois dos estudos de Schafer (2001), tentou-se chamar atenção para o ambiente sonoro através da poluição sonora, enfatizando a magnitude de som.

Os impactos econômicos e outros impactos ambientais conseguem mais atenção, principalmente por serem mais visíveis e fáceis de quantificar. É possível afirmar que grande parte da população sofre com a exposição à poluição sonora sem refletir sobre a presença dela (OMS, 2011; FIEDLER, 2013). A partir disso, é assertivo dizer que é necessário se resgatar o conforto acústico da comunidade urbana.

### 2.3 IMPACTO DO RUÍDO NO HOMEM

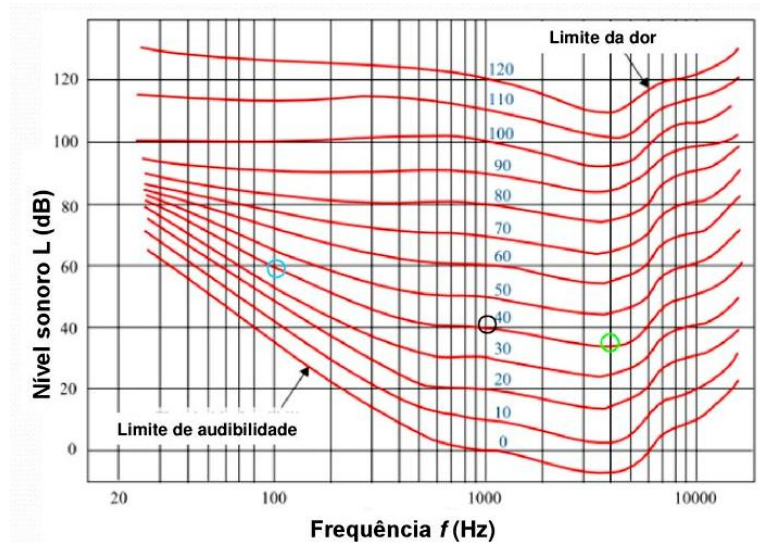
O estímulo sonoro é um fenômeno subjetivo inerente ao homem. Nos dias de hoje, alguns profissionais são expostos a fontes ruidosas em jornadas de trabalho com média 8h por dia, essa exposição diária e prolongada provoca inúmeras manifestações patológicas não-auditivas. O ruído se configura por oscilações da pressão atmosférica em torno da pressão de equilíbrio (RODRIGUES et al., 2002).

Devido à grande variabilidade nas ordens de grandeza incluídas, uma escala logarítmica foi obtida para representar os níveis de pressão sonora. A escala logarítmica necessita de uma base de referência, por essa razão, é seguido o limiar da audição humana como base, sabendo que o ouvido humano é capaz de perceber os sons a partir da ordem de  $20 \mu\text{Pa}$ , ou seja, o ouvido não percebe as frequências como elas realmente são (PORTELA, 2008).

A curva de 90 *phons*, mostra sempre o mesmo valor em qualquer frequência, ou seja 90 *phons*. Entretanto, ela não corresponde ponto a ponto às intensidades sonoras em decibel ou dB/SPL. A Figura 3 ilustra o gráfico de audibilidade humana desenvolvido por Gerges (2000).

Segundo Portela (2008), ainda que existam escalas do limiar da audição, é fundamental destacar que o ouvido humano não é sensível ao som com igualdade em todo um espectro de frequências.

**Figura 3 - Contornos de audibilidade para tons puros**



Fonte: Gerges (2000)

Dito isso, em medições acústicas, para que os níveis de pressão sonora sejam eficientes em reproduzir a abstração de cada audição, foram elaboradas as curvas de ponderação intituladas pelas letras A, B e C. A curva mais característica da sensibilidade auditiva humana é compatível a curva ponderada em A. Em comparação com os poluentes mais próximos, o monitoramento do ruído tem se tornado difícil pelo conhecimento inepto sobre seus impactos nos seres humanos, porém o cenário parece estar se transfigurando na proporção que uma maior quantidade de pesquisas é feita.

A OMS comprovou sete categorias de efeitos adversos para a saúde, que são elas: a deficiência auditiva, interferência na comunicação falada, distúrbios no sono, distúrbios cardiovasculares, distúrbios na saúde mental, prejuízo em desempenhar tarefas e comportamento social negativo e reações de aborrecimento (OMS, 2014). Além desses distúrbios, ruídos podem ser prejudiciais aos profissionais que trabalham com a voz, no caso de professores, por exemplo (SERVILHA; RUELA, 2003).

Na Tabela 1 é possível identificar os níveis máximos recomendados pela OMS para os ambientes de convivência humana. Os principais estudos voltados à saúde dos professores indicaram o distúrbio de voz como uma das mais prevalentes doenças relacionadas ao trabalho (FIORINI; MATOS, 2009). Segundo Gerges (2000), a capacidade de danos à audição em decorrência de ruídos não depende apenas de seu nível, mas também de sua duração.

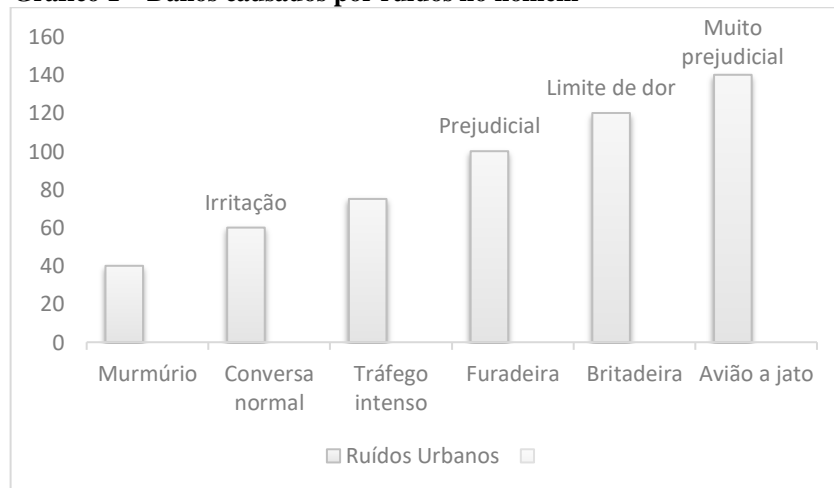
**Tabela 1 - Níveis limites de ruído, segundo a Organização Mundial da Saúde**

Locais	Nível de ruído Limite – dB(A)
Escolas – no interior das salas de aulas.	30
Perturbação do sono – a pessoa não relaxa totalmente durante o sono, não atingindo os estágios mais profundos do sono e reduzindo o tempo.	30
Hospitais – em quartos e apartamentos.	35
Interferência na comunicação – torna difícil a conversa entre duas pessoas, ou dificulta falar ao telefone ou ouvir rádio ou televisão.	50
Estresse leve, com excitação do sistema nervoso e produção de desconforto acústico.	55
Perda da concentração e do rendimento em tarefas que exijam capacidade de cálculo.	60
Risco de perda auditiva – a pessoa exposta pode contrair perda de audição induzida por ruído para exposições de 8 horas diárias.	75
<i>Dados obtidos de Bergund e Lindvall (1995) e Bergund, Lindval, Schwela (1999)</i>	

Fonte: (BERGLUND; LINDVALL; SCHWELA, 2000 adaptado por BARROS, 2016).

É possível observar que os ambientes das salas de aula, os dormitórios e os hospitais são os ambientes com os valores mais restritivos, ou seja, altos índices de ruído nesses locais são extremamente nocivos. As sequelas como aceleração da pulsação, aumento da pressão sanguínea, dilatação de pupilas, aumento da produção de hormônios da tireoide, são fenômenos fisiológicos que surgem de acordo com mudanças de comportamento provocadas pela excessiva exposição ao ruído que acarreta o nervosismo, a fadiga mental, prejuízos no desempenho do trabalho e aumento de conflitos sociais.

No Gráfico 1, observa-se a relação dos ruídos urbanos com os danos causados ao homem. Além das deficiências auditivas e alguns distúrbios e doenças, o ruído pode afetar o comportamento perceptivo, motor e cognitivo como déficits de aprendizado, nas escolas, por exemplo, podendo potencializar problemas a saúde mental (MATHEWS, 2009).

**Gráfico 1 – Danos causados por ruídos no homem**

Fonte: BRUEL & KJAER (2000) (adaptado)

Pesquisas concretizadas em escolas ressaltaram a alusão aos intensos níveis de ruído e suas decorrências negativas para a saúde e para o processo ensino-aprendizagem (DREOSSI; MOMENSOHN-SANTOS, 2005). Stansfeld e Matheson (2003) acreditam no aborrecimento originado pela exposição ao ruído, todavia não asseveram impactos psicológicos mais graves.

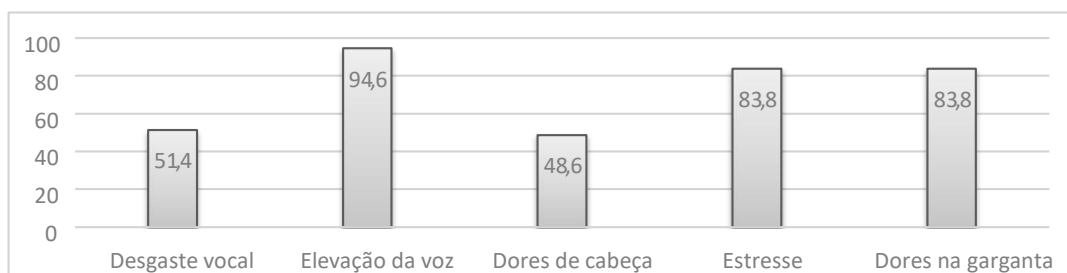
Mathews (2009) afirmam que a poluição sonora pode ocasionar “raiva, insatisfação, desapontamento, retraimento, desamparo, depressão, ansiedade, distração, agitação e/ou exaustão”, entretanto, o aborrecimento também deriva de razões não acústicas, como a sensibilidade ao ruído exclusiva de cada criatura.

Alguns estudos recentes se curvam para uma conclusão de que não procede a ligação objetiva entre ruído ambiental e saúde mental (KAMP; DAVIES, 2008). De acordo com Goines e Hagler (2007) poluição sonora não é a causa de doenças mentais, mas ela pode acelerar e intensificar o desenvolvimento de transtornos mentais latentes. Por meio da revisão de Mathews (2009), também foi possível perceber que muitas pesquisas mantem o foco com relação às sequelas do ruído no sono (ENHEALTH, 2004; GOINES; HAGLER, 2007; MORRELL; TAYLOR; LYLE, 1997; STANSFELD; MATHESON, 2003).

Além disso, acredita-se que o ruído pode condenar o sono despertando o indivíduo continuamente, modificando os padrões de sono e transfigurando as respostas cardiovasculares, como o aumento da pressão arterial, aumento da frequência cardíaca, variações na respiração e arritmias cardíacas. No entanto, as patologias cardiovasculares podem ser influenciadas pela sensibilidade de cada indivíduo ao ruído (ENHEALTH, 2004; GOINES; HAGLER, 2007).

O ruído também pode interferir nas atividades cotidianas, tornando falha a comunicação falada. A classe de professores sofre fisiologicamente com os ruídos dentro e fora da sala de aula. Em uma pesquisa realizada pela Universidade Federal da Paraíba por Gonçalves, Silva e Coutinho(2009) com cerca de 40 professores, 51,4% dos entrevistados afirmaram ter desgastes vocais, 83,8% dores na garganta, 48,6% dores de cabeça e 83,8% estresse (Gráfico 2).

**Gráfico 2 - Problemas com ruído que afetam professores**

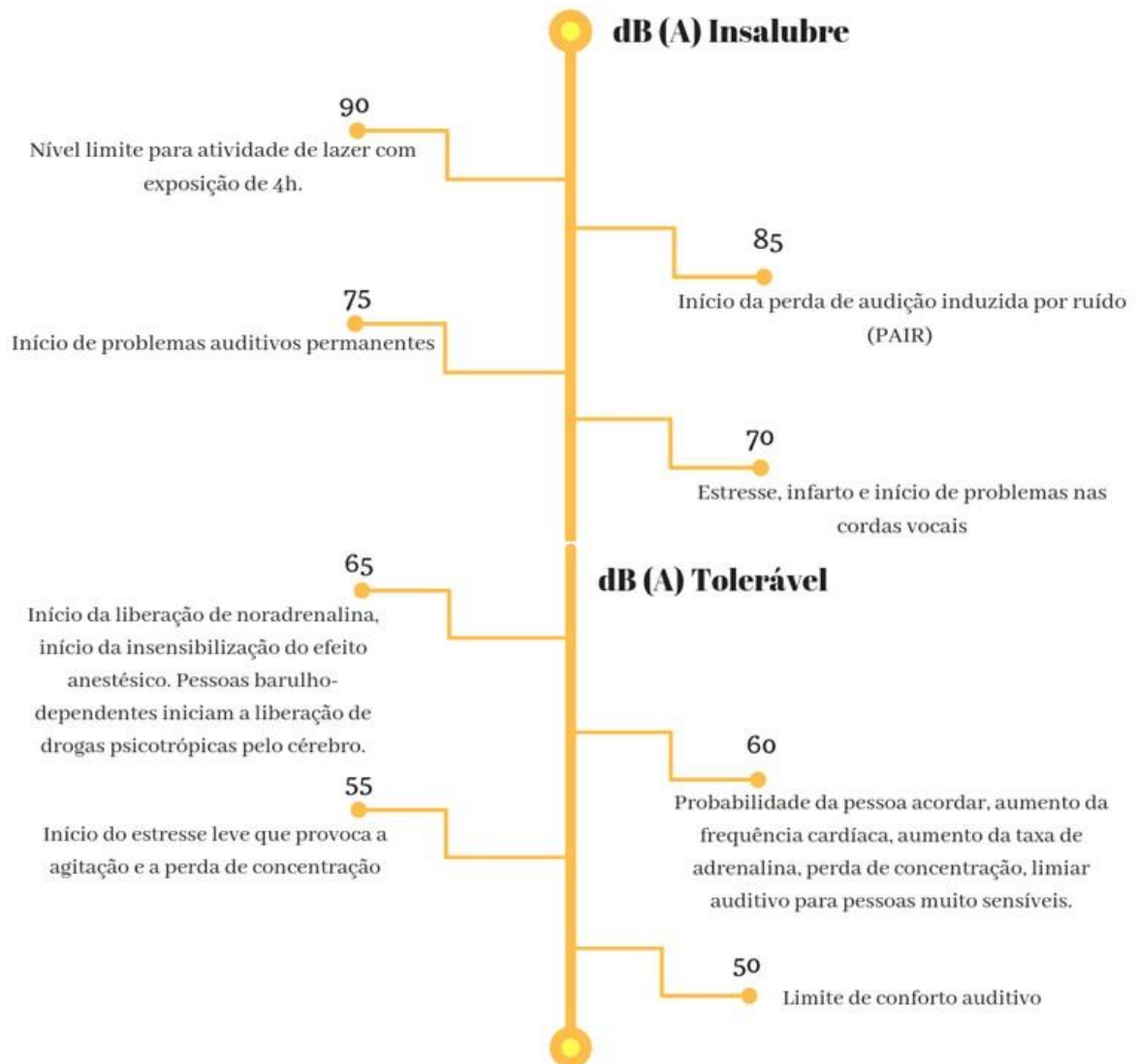


Fonte: GONÇALVES; SILVA; COUTINHO, 2009 (adaptado).



A longa jornada de trabalho, as inadequações físicas e a falta de informações sobre os necessários cuidados com a saúde vocal interferem diretamente na saúde do professor, com desgaste diário acumulado. Assim, pode-se dizer que a profissão de professor se encontra entre as mais afetadas pelo estresse auditivo. Na Figura 4 é possível observar a relação das reações fisiológicas relativas aos níveis de ruídos em ambientes escolares (OITICICA, 2004).

**Figura 4- Reações fisiológicas correlacionadas com níveis de ruído ambiente**



Fonte: OITICICA (2004) (adaptado).

Tse, Flin e Mearns (2006) realizaram uma revisão sistemática com pesquisas sobre a saúde ocupacional dos motoristas de ônibus urbanos desde a década de 1950 e expôs as descobertas iniciais do que um motorista de ônibus é capaz de sofrer em sua jornada de trabalho. Os resultados destacaram disfunções físicas (doença cardiovascular, distúrbios gastrointestinais, problemas musculoesqueléticos, fadiga), psicológicas (depressão, ansiedade,

transtorno de estresse pós-traumático) e comportamentais (abuso de substâncias) ocasionado pelo estresse típico.

Outro estudo sobre os motoristas apontou evidências da influência do tempo de trabalho com a perda auditiva induzida por ruído (PAIR) (RODRIGUES et al., 2002). Apesar das colaborações científicas sobre os impactos do ruído urbano na saúde, os poderes políticos e a população, como um todo, permanecem inconscientes dos prejuízos do ruído, em especial nos ambientes residenciais, que são subestimados, o que acarreta na falta de qualidade acústica arquitetônica das edificações.

Segundo Pedersen e Wayne (2008), na sociedade moderna, as pessoas estão frequentemente expostas ao aumento da carga sonora, propõe-se que ruídos moderados e baixos possam ser reconhecidos como incômodos. Com relação à frequência do som, é dito que o ruído que abarca elementos de frequência mais baixas normalmente causam avaliações negativas mais profundas no indivíduo. Uma grande intensidade desses elementos de baixa frequência pode reforçar as decorrências adversas na saúde e mesmo em níveis baixos de pressão sonora, pode dificultar o repouso do indivíduo (BERGLUND; LINDVALL; SCHWELA, 2000; MATHEWS, 2009).

Os frutos negativos gerados pelo ruído, podem colaborar para uma confusão pública no âmbito urbano atual, fazendo com que os ambientes se tornem mais congestionados e barulhentos. Isso evidencia o valor de investigação da relação entre ruído e a saúde, o que poderia iminentemente atingir prováveis medidas de planejadores políticas em relação aos critérios de ruído em vigência.

#### 2.4. PARÂMTEROS NORMATIVOS

O valor dos estudos da acústica urbana é essencial para a ciência das Leis e Normas que nortearão as ordens para melhorias no planejamento urbano. Desse modo, a legislação deve estabelecer limites de emissões das fontes de ruído para que não haja o risco do próprio mercado dispor esses níveis de acordo com seus interesses. A Organização Internacional para Padronização ISO é uma federação mundial cuja suas normas são definidas pelo comitê técnico.

Para que haja o controle do ruído nas cidades, é fundamental que se estabeleçam limites quanto aos sons indesejados. No Brasil, a Norma Regulamentadora 15, regulamentada pelo extinto Ministério do Trabalho, discorre sobre as atividades insalubres que se desenvolvem num ambiente de trabalho para períodos de exposição de 8 horas. Além da Norma Regulamentadora

15, existem outras normativas que também tem o objetivo de abrandar os problemas da poluição sonora, onde algumas delas estão dispostas a seguir.

#### **2.4.1 Normas ISO – *International Organization for Standardization***

A Norma que tem o objetivo de cumprir os requisitos sobre os cálculos de medição, assim como avaliar os limites do ruído ambiental é a norma ISO 1996-2 (2017) “*Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels*”. Os resultados das medições são combinados com cálculos para correções de resultados diferentes da realidade.

Além disso, essa norma pode ser aplicada para todos os tipos de fontes de ruído ambiental, como ruído de tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo ou ruído industrial. Para levantamentos de ruído de tráfego veicular, a norma ISO 1996-2 (2017) determina que todos os veículos em tráfego devem ser contados, durante todo o período de medição. A contagem dos veículos deve ser realizada de modo a se diferenciar, pelo menos, duas categorias, os veículos leves e os veículos pesados.

De acordo com ela, os veículos pesados são considerados aqueles que excedem 3500 Kg de massa (BALZAN, 2011). Ela também determina que o dia corresponde a um período de 12 horas de 7h às 19h (horário local), o entardecer corresponde a um período de 4 horas de 19h às 23h (horário local), e a noite corresponde a um período de 8 horas de 23h às 7h (horário local); entretanto, permite que o início e o final do período sejam determinados por cada Estado-Membro da União Europeia.

É de suma importância salientar que esses valores são recomendados para as regiões pertencentes ao continente europeu, no caso do Brasil, a faixa de horário do entardecer, por exemplo, não seria aplicada, pois cada região do país comporta-se de maneira distinta. Outra norma internacional que especifica os métodos de descrição acústica é a norma ISO 9613-2 (1996).

Ela prevê o nível equivalente de pressão sonora ponderado em A sob as condições meteorológicas favoráveis à propagação de fontes de emissão sonora conhecidas, para o cálculo da atenuação do som a(s) fonte(s) pode estar em movimento ou estagnada. Termos específicos são fornecidos nos algoritmos para os seguintes efeitos físicos: divergência geométrica; absorção atmosférica; efeito do solo; reflexo de superfícies; triagem por obstáculos.

Essa norma, ISO 9613-2 (1996), também tem foco nas operações dos níveis de ruído de tráfego rodoviário, ferroviário, de construção, com exceção dos ruídos advindos de aeronaves em voo. As diretrizes se dividem em duas partes, a primeira conta com o cálculo da absorção sonora na atmosfera e a segunda parte possui o método geral de cálculo, desenvolvendo arbítrios sobre a acústica e as atenuações do som durante sua propagação em ambientes externos, além disso, ela também prediz o nível equivalente da pressão sonora “na curva de ponderação do ruído em A” nas circunstâncias meteorológicas favoráveis para a propagação.

A norma ISO 10847 (1997) “*Acoustics- In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types*” especifica os métodos para o cálculo da perda por inserção de barreiras acústicas incorporadas em ambientes externos para locais de medição. Com base nela, torna-se admissível a caracterização da perda por inserção em duas formas: o método direto com a diferença de níveis antes e depois da instalação da barreira acústica e o método indireto, por meio do qual se estabelecem os níveis de pressão sonora antes da instalação da barreira.

#### 2.4.3 Normas ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

As normas técnicas ajudam a acrescentar alguns enfoques que a legislação por si só não consegue abranger. Quanto as normas da ABNT relacionadas à poluição sonora, devem ser estudadas visto que são referenciadas como limites de ruído na Resolução CONAMA Nº 01/90 (BRASIL, 1990). A NBR 10151 (2019), nominada “Acústica: avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento”, estabelece procedimentos para medição e avaliação dos níveis de pressão sonora em ambientes externos às edificações, bem como as medições de locais externos às fachadas das edificações.

A norma também define procedimentos para avaliações de ambientes internos, além de estabelecer diretrizes para medições de nível de pressão sonora global, fixando condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independentemente da existência de reclamações. Ela especifica regras para a medição do ruído e um método e para avaliação segundo o nível de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ), em dB, considerando o nível critério de avaliação (NCA).

Na Tabela 2 estão expostos os limites de nível de pressão sonora considerados aceitáveis pela norma.

**Tabela 2 - Limites de níveis de pressão sonora aceitáveis em função da finalidade de uso e ocupação do solo**

<b>Tipos de áreas</b>	<b>Diurno</b>	<b>Noturno</b>
<b>Áreas rurais</b>	45	35
<b>Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas</b>	50	40
<b>Áreas mistas, predominantemente residenciais</b>	55	45
<b>Áreas mistas, com vocação comercial e/ou administrativa</b>	60	50
<b>Áreas mistas, com predominância ou vocação recreacional</b>	65	55
<b>Áreas predominantemente industriais</b>	70	60

Fonte: ABNT NBR 10.151 (2000) versão corrigida (adaptado).

Ela também estabelece condições no que diz respeito aos equipamentos a serem empregados nas medições, assim como a calibração dos mesmos, que têm de ser realizadas conforme esta norma ou de acordo com a Rede Brasileira de Calibração –RBC. Além disso, vale destacar as seguintes observações:

(a) Se o ruído ambiental estiver acima das ao valor da tabela, o NCA passa a assumir o valor do ruído ambiente. Dessa maneira, deve ser analisado o ruído ambiente como o ruído de fundo que já existe mesmo que este exceda os valores de ruído ambiente deliberado.

(b) No exterior das edificações que contêm a fonte, as aferições devem ser realizadas em pontos afastados aproximadamente 1,2 m do piso e, ao menos, dois metros do limite da propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras, como muros, paredes, entre outros Na inviabilidade de atender alguma destas orientações a especificação da condição mesurada deve aparecer no relatório.

(c) O nível corrigido  $L_c$  para ruído com componentes tonais é determinado por meio do  $L_{Aeq}$  acrescido de 5 dB (A).

(d) Os limites de horário para o período diurno e noturno podem ser estabelecidos através das autoridades de acordo com os costumes da população. Porém, o período da noite não deve começar depois das 22h e não deve acabar antes das 7h do dia seguinte. Se o dia seguinte for domingo ou feriado o fim do período noturno não deve ser antes das 9h.

Já a NBR 10.152 (2017), “Acústica – Níveis de Pressão Sonora em Ambientes Internos a Edificações”, que foi revisada desde outubro de 2014 pelo Comitê Brasileiro da Construção

Civil (CB-002) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e entrou em vigência com atualizações no ano de 2017, no dia 24 de novembro, substituindo a NBR 10152 – Níveis de Ruído para Conforto Acústico, que estava em vigor desde 1987, estabelece procedimento para desempenho de medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações; procedimento para determinação do nível de pressão sonora representativo de um ambiente interno a uma edificação; procedimento e valores de referência para avaliação sonora de ambientes internos a edificações, em função de sua finalidade de uso; valores de referência de níveis de pressão sonora para estudos e projetos acústicos de ambientes internos a edificações, em função de sua finalidade de uso.

A nova versão da norma traz valores de referência atualizados para ambientes internos de uma edificação em conformidade com o uso. Em suma, esta norma fixa os níveis de ruído com possíveis parâmetros de conforto acústico em ambientes como: hospitais, escolas, residências, escritórios, auditórios, restaurantes e outras referenciando a NBR 10151 (ABNT, 2000) como norma complementar.

A norma que recomenda a aplicação de barreiras é a NBR 14.313, de maio de 1999. Ela faz orientações com relação à construção de barreiras acústicas em vias de tráfego e indica recomendações de nível de segurança com relação aos condicionantes acústicos, a estabilidade estrutural, materiais e outros.

#### **2.4.2 Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)**

As resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), originada do Congresso Nacional, suprem a carência de normas federais. A Resolução nº 1 de 1990 foi a primeira resolução a lidar com o tema da poluição sonora urbana, e permanece sendo representativa nesse segmento, já que ela tem a intenção de compor princípios essenciais à emissão de ruídos (BRASIL, 1990, 2006).

Um dos pontos importantes é sobre o controle e zoneamento das atividades poluidoras e a “educação nos níveis de ensino escolar e na comunidade com o propósito de que a própria sociedade seja capaz de agir na defesa do meio ambiente. A Resolução CONAMA nº 1 de 1990 foi a primeira a lidar com a poluição sonora urbana e permanece sendo referência nesse segmento, já que possui a intenção de estabelecer princípios e padrões sobre a emissão de ruídos.

Já a Resolução CONAMA nº 02 de 1990 começou com o Programa Nacional de Educação e Combate à Poluição Sonora – Silêncio. Este programa tem a finalidade de preparar

tecnicamente a equipe dos órgãos de meio ambiente e municipais em todo o país, além de manifestar junto à população, exercícios de conscientização dos efeitos insalubres provocados pelo ruído. O Programa propõe ainda a inserção do tema “Poluição Sonora” nos currículos escolares e incentiva a fabricação de máquinas com níveis mais baixos de ruído operacional.

Outro ponto de destaque da resolução é o incentivo à habilitação da Polícia Civil Militar para o combate à poluição sonora urbana. Desse modo, os órgãos de Meio Ambiente são incumbidos pela efetivação do Programa. De acordo com Zajarkiewicz (2010), a pretensão da resolução é de conciliar as normas reguladoras da poluição sonora, com suporte na sua publicação.

Para regulamentação da poluição sonora primeiro são considerados os níveis máximos de pressão sonora em áreas habitadas, dados pela NBR 10.151:2000. Esses dados são determinados em função do horário e do uso e ocupação do solo conforme a NBR 10.152:2017. Dentre os parâmetros estabelecidos, a referida lei de 1990 proíbe a localização de estabelecimentos ruidosos em regiões com aproximação menor que 200 metros de hospitais, casas de saúde ou maternidades, escolas e congêneres (BALZAN, 2011).

#### **2.4.4 Leis brasileiras**

No Brasil, existe a Lei nº 6.938/81, da Política Nacional do Meio Ambiente, no art. 3º, que interpreta o termo ‘poluição sonora’ como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias de energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981).

A poluição sonora está inserida no primeiro e último item da lei citada, dado que o som se propaga por meio de ondas sonoras, ou seja, em forma de energia. Assim sendo, toda energia lançada no meio ambiente que exceda os limites estabelecidos pelos padrões ambientais, polui o meio ambiente. Esses indicadores podem ser vistos nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Resoluções CONAMA e Portarias do CONTRAN, ou na própria legislação de cada cidade ou estado.

Essa lei tem o objetivo de compatibilizar o desenvolvimento econômico-social, com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico. Ela também visa estabelecer critérios para qualidade ambiental e normas relativas ao uso e manejo dos recursos

ambientais. Além disso, a lei é responsável por fomentar o desenvolvimento de pesquisas e de tecnologias nacionais, orientadas para o uso racional dos recursos ambientais (BRASIL, 1981a).

Além dela, pode-se destacar também o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), que foi estabelecido pelo Estatuto da Cidade, Lei Federal nº 10.257/2001. Nele está declarado que é necessário obedecer a seus princípios com o intuito de assegurar a qualidade nos arredores do local de estudo (BRASIL, 2001). Para os alvos do EIV é necessário considerar os impactos que afetam a qualidade de vida dos cidadãos de modo significativo.

Os municípios devem se dedicar à legislação sobre o EIV com a intenção de decidir quais empreendimentos devem ser aprovados em cada região (BRASIL, 2001). Segundo Auler et al (2014), o EIV se anexa ao Plano Diretor, que no Brasil é determinado que municípios com mais de 20 mil habitantes o respeitem. Contudo, o Estatuto da Cidade obriga o EIV para os municípios com menos de 20 mil habitantes, caso estejam em regiões metropolitanas, de interesse turístico ou inseridas em área de ascendência de empreendimentos ou ações com impactos ambientais de escalas regionais.

O EIV encontra-se previsto no Estatuto da Cidade e pode ser definido como “documento técnico a ser exigido, com base em lei municipal, para a concessão de licenças e autorizações de construção, ampliação ou funcionamento de empreendimentos ou atividades que possam afetar a qualidade de vida da população residente na área ou nas proximidades. As observações envolvem os objetos subsequentes, verificadas em na Lei nº 10.257/2001 (BRASIL, 2001):

- I. Adensamento populacional;
- II. Equipamentos urbanos e comunitários;
- III. Uso e ocupação do solo;
- IV. Valorização imobiliária;
- V. Geração de tráfego e demanda de transporte público;
- VI. Ventilação e iluminação;
- VII. Paisagem urbana e patrimônio natural e cultural.

A expressão “impacto de vizinhança” foi adotada pois este estudo tem a obrigação de presumir quais transições aconteceriam na circunvizinhança do novo projeto. Conforme Benny et al (2017), o EIV deve ser elaborado por equipe multidisciplinar, isto é, apesar de ser chamado



de “estudo” não é apenas uma imposição administrativa. O desinteresse a respeito da execução do estudo de impacto sonoro incorporado do aparelho urbanístico do EIV prejudica a elaboração de novas leis que guiem as ocorrências que acontecem nos municípios (ALVES, 2013).

Como citado, os efeitos negativos de um empreendimento podem ser verificados em vários aspectos, um deles é a geração de tráfego e a demanda de transporte público. Seguindo esses parâmetros, é sugerido que o EIV realize ensaios de mobilidade que estudem as seguintes questões:

- a) As possibilidades de tráfego, transporte e circulação;
- b) O acréscimo do número de viagens gerado pelo empreendimento;
- c) A demanda por novas linhas de transporte e paradas de ônibus e as circunstâncias de circulação de pessoas e veículos na área de influência direta do empreendimento;
- d) A implicação das vibrações no solo, motivadas pelo aumento do tráfego viário ou pela movimentação de veículos pesados durante a execução das obras, sobre a estabilidade das construções vizinhas detentoras de interesse histórico, a fim de avaliar as restrições de tráfego necessárias;
- e) Os impasses causados pelas modificações viárias, quanto à acessibilidade, partículas em suspensão, poluição sonora e atmosférica decorrente do maquinário utilizado na fase de implantação e de mais incômodos.

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) está direcionado ao licenciamento ambiental, enquanto o EIV ao urbanístico. Portanto, é essencial para os EIV que haja planejamento prévio também no ramo da acústica. Como ferramentas de análise acústica do espaço urbano, têm-se o mapeamento e a predição do ruído. O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) informa ser de competência dos órgãos de trânsito dos Municípios o planejamento de projetos para a restrição da circulação de veículos e desvio do tráfego, com o objetivo de reduzir emissão de poluentes (BRASIL, 2010).

Tendo em consideração a poluição sonora, é comum o surgimento de empreendimentos habilitados pelo poder Público sem a atenção devida à poluição sonora que podem ser causadas por suas atividades. No caso de Maceió, a legislação sobre poluição sonora inclui as Leis 3.538 de 1985 e 4.956/2000, além do Plano Diretor (PD) e Código de Urbanismo da cidade (MACEIÓ, 2000, 2006). Assim como está disponível no Quadro 1:

**Quadro 1- Legislação municipal**

<b>Legislação</b>
<b>Plano Diretor de Maceió</b>
<b>Código de Urbanismo de Maceió</b>
<b>Lei 3.538/1985</b>
<b>Lei 4.956/2000</b>

Fonte: OLIVEIRA; OITICICA, 2016 (adaptado).

O Plano Diretor é indispensável para cidades com mais de 20 mil habitantes de acordo com a Constituição Federal de 1988, o Estatuto da Cidade ampliou o quadro para abranger as cidades que compõem regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, também se aplica caso o município se integre a área de interesse turístico, ou área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental. A elaboração do Plano diretor deve contar com a atuação da população com a finalidade de assegurar publicidade e aproximação aos documentos processados.

Portanto, é de responsabilidade do município implementar e controlar as questões que tratam da poluição sonora na cidade. A partir do Plano Diretor, pode-se aplicar as normas e regulamentações brasileiras já efetivas ou criar novas leis baseadas nas normas existentes. O Plano Diretor da cidade de Maceió aborda as questões de ruído ambiental quando trata do Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), porém repassa para o município a responsabilidade de determinar quais os tipos de edificações que precisarão desse estudo.

Assim como o Plano Diretor, o Código de Urbanismo de Maceió também determina que será necessário o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) em edificações com áreas superiores a 1000m<sup>2</sup>. O estudo deve se suceder, dentre outras justificativas, para evitar a poluição sonora provocada pelas edificações, como é o caso geralmente das escolas, estádios e ginásios de esportes, casas de shows e similares.

No art. 305 do Código, é determinado que todos os estabelecimentos de qualquer porte que necessitem de meios eletroacústicos deverão ter tratamento acústico (MACEIÓ, 2007). Apesar de existir a norma, o nível de ruído urbano não é identificado ou quantificado a modo de facilitar o combate à poluição sonora. No Quadro 2 abaixo, é possível observar as leis municipais de Maceió que envolvem as leis urbanas com a descrição de suas finalidades.

Quadro 2 - Decretos e leis sobre acústica urbana na cidade de Maceió

<b>Leis Municipais</b>		
<b>Ano</b>	<b>Decreto/ Lei</b>	<b>Finalidade</b>
1985	Lei Municipal nº 3538/1985	Trata de recomendações para controle da poluição ambiental, incluindo a sonora
1996	Lei Municipal nº 4548/1996	Institui que a fiscalização quanto às emissões sonoras será realizada pela Secretária Municipal do Meio Ambiente, independente da competência comum da União, do Estado e demais órgãos que cuidam da matéria
2000	Lei Municipal nº 4956/2000	Disciplina ao município estabelecer a definição dos empreendimentos e atividades dependentes do Estudo de Impacto de Vizinhança
2006	Plano Diretor	Designa ao município estabelecer a definição dos empreendimentos e atividades dependentes do Estudo de Impacto de Vizinhança
2007	Código de Urbanismo	<p>Define os estabelecimentos que deverão passar pelo Estudo de Impacto de Vizinhança, incluindo as casas de cultos e igrejas com área superior a 1000m<sup>2</sup>. Entre os aspectos de escolha das edificações encontra-se o fato de serem causadores de poluição sonora.</p> <p>No Art. 305, consta o que toda edificação construída em Maceió deverá ter. Dentre as exigências, destaca-se que todos os estabelecimentos de qualquer porte, que apresentem sonorização indispensável no exercício de suas atividades, deverão obrigatoriamente ter tratamento acústico adequado, de modo a não provocar poluição sonora ou desconforto ambiental.</p>

Fonte: OLIVEIRA; OITICICA, 2016 (adaptado).

Segundo, Oliveira e Oiticica (2016), a Lei 3.538/1985 é a única com informações nítidas com relação aos níveis de pressão sonora máximos, delimitação de horários diurnos e noturnos e orientação quanto ao procedimento de medições. No entanto, a lei não esclarece os procedimentos de medição. Contrariamente, ela orienta equivocadamente que sejam realizadas as medições na curva de ponderação “B” do sonômetro, uma vez que a ponderação correta para esse procedimento é a curva “A”.

Já a Lei 4.956 entrou em vigor no ano de 2000 e tem como objetivo regularizar as atividades de estabelecimentos comerciais causadores de poluição sonora. Entretanto, a lei não define os valores de níveis de pressão sonora máximos nem horários diurnos e noturnos para que se fiscalizem os recintos poluentes. Mesmo assim, a Lei 4.956/2000 revogou a Lei

3.538/1985, de forma detalhada, desta vez com a correção da curva de ponderação em “A”. O segundo ponto frágil a ser destacado na lei é sobre a delimitação dos horários limites dos turnos diurno e noturno onde há repetições de mesmo horários nos dois turnos (MACEIÓ, 2000).

Essas medidas preventivas de controle são indispensáveis para a adequação do conforto ambiental. Infelizmente, o desconhecimento e comodismo da população não permite que o combate à poluição sonora seja mais eficaz. Além da falta de informação, a população brasileira possui hábitos de uma sociedade ruidosa e ainda assim os sistemas construtivos continuam frágeis acusticamente pela ausência de planejamento satisfatório das cidades.

Em Maceió, a população abusa dos espaços públicos com emissões de ruídos acima das normas e fora dos horários permitidos por lei, de modo a perturbar o sossego público. Além disso, o Plano Diretor de Maceió não possui estudo acústico baseado na realidade da cidade, o que dificulta o controle a poluição. Portanto o estudo da acústica urbana torna-se cada vez mais relevante devido ao crescente número de fontes sonoras.

## 2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo discutiu questões sobre a poluição sonora e trouxe levantamento relacionados ao início do combate dela com a Diretiva 2002/49/CE . Sabe-se que a poluição é consequente da fusão de várias fontes sonoras como os ruídos advindos dos transportes, das indústrias, construção civil, comércio e outros. Apesar da variedade de fontes, percebeu-se que os ruídos advindos do tráfego de veículos estavam atingindo altos índices sonoros (TURNER; LIMITED, 2015).

De maneira crescente, a poluição sonora tem ascendido nas grandes cidades e isso parece ser cada vez mais inevitável. A maneira de conter esse problema atual é com a aplicação das recomendações das normas. O surgimento das normas deveu-se justamente a preocupação com os limites que os ruídos de tráfego estavam atingindo. É possível concluir que o ponto comum sobre esse debate é a irregularidade entre o crescimento populacional e a expansão física dos espaços com a política do uso dos automóveis como principais meios de locomoção nas grandes cidades.

PROPAGAÇÃO DO RUÍDO

### 3 PROPAGAÇÃO DO RUÍDO

Neste capítulo serão abordados aspectos da poluição sonora e propagação sonora ao ar livre. A acústica urbana passa a adquirir evidência no processo de urbanização. Além disso, sabe-se que a forma da malha urbana é um fator importante para a qualidade acústica. Neste capítulo seguem com reflexões nessa temática. Em trabalho recente, Neumann (2014) afirma que cidades com falta de planejamento urbano que permitem a construção de edifícios sensíveis, como escolas, hospitais e habitações, próximos a rodovias ruidosas advêm quando o homem menospreza os sons do ambiente.

Para o estudo desse campo, é indispensável avaliar as relações do homem com o ambiente, seja como usuário ou modificador do espaço. Uma pesquisa realizada na cidade de Curitiba, capital do estado do Paraná, apresentou o resultado de questionários referentes ao ruído ambiental percebido pelos indivíduos quando em suas residências. Com uma amostra de aproximadamente 900 pessoas de idade média de 41,5 anos, as reações subjetivas à poluição sonora descritas despontaram um ambiente urbano poluído acusticamente, onde 74% dos residentes sentiam-se incomodados de alguma forma pelo ruído (BENDER et al., 2005).

Os ambientes sonoros urbanos são interpretados de maneiras individuais, alguns ambientes são melhor acolhidos, do ponto de vista sonoro, que outros, como o exemplo de espaços naturais e sociais. Apesar da complexidade da eliminação do ruído, ele deve ser veementemente prevenido e combatido. Estudos sobre esse tema apontam que o avanço acelerado do número de veículos automotores ocasiona um aumento no número de reclamações dos povos atingidos pelo ruído veicular que esse fato é o maior contribuinte para os elevados padrões sonoros nos grandes centros (MENDONÇA, 2009; BEZERRA, 2014).

Segundo Mendonça et al (2013), esse fato se justifica pelos materiais empregados nas vias serem reflexivos, por serem, geralmente, mais impermeáveis. Segundo Souza (2010), o meio de irradiação é o responsável por influenciar a trajetória da propagação sonora através da forma urbana. Para cada meio urbano, se apresentam características próprias. Portanto, existem inúmeras formas de valorização e interação dos sons nos espaços. É importante trabalhar com planejamento que permite com que as edificações sensíveis não tenham relação próxima com as áreas com excesso de ruído.

Segundo Eniz (2004), as escolas que sofrem com o ruído externo têm seu espaço físico danificado pelos índices elevados de pressão sonora, o que pode comprometer o desempenho escolar, as condições de trabalho, assim como a saúde de alunos e professores. Esses espaços devem ser designados à construção cultural e à educação das pessoas, mas, algumas vezes,

motivados pelo ruído despertam a falta de concentração, a baixa produtividade, dificuldade na aprendizagem e na comunicação.

Conforme afirmam Jaroszewski, Zeigelboim e Lacerda (2007), cada tipo de ruído perturba o desempenho escolar em campos desiguais. Segundo eles, os ruídos exteriores advindos do ruído de tráfego manifestam maior dificuldade em memorizar e descrever determinado assunto. Já os fatores como: ruído de fundo, tempo de reverberação e a relação sinal-ruído afetam de modo direto a comunicação em sala.

Entretanto, o ruído ambiental também é um dos fatores influenciadores para que exista êxito na compreensão da fala, ele deve ser inferior ao nível da linguagem falada (GUIDINI et al., 2012). O nível de fala para uma comunicação oral satisfatória deve ser de 15 dB (A) acima do ruído de fundo. De acordo com a literatura é possível dimensionar a distância ideal entre a fonte emissora e o receptor, onde, no caso de um ambiente com ruído de fundo de 65 dB(A), para que a pessoa que fala emita a voz em normal intensidade, ela deve estar afastada do ouvinte a apenas 30 cm (BERTOLI, 2001).

Com índices elevados de ruído de fundo, os professores terminam, por vezes, elevando a intensidade vocal para asseverar ao aluno melhor absorção de seu discurso por conta dos fortes índices de ruído (AUGUSTYŃSKA et al., 2010). Essa tendência que o orador tem em manter uma relação seguida entre o nível de sua fala e o ruído competitivo chama-se “Efeito Lombard” (DREOSSI; MOMENSOHN-SANTOS, 2005). A OMS indica que para lugares de ensino-aprendizagem, os níveis ideais devem ficar entre 38 e 48dB.

Entretanto, nas pesquisas feitas em escolas, é comum a citação sobre os intensos níveis de ruído e seus resultados nocivos para a saúde e para o método de ensino-aprendizagem (SKARLATOS; MANATAKIS, 2003; DREOSSI; MOMENSOHN-SANTOS, 2005; PROVENZANO; SAMPAIO, 2010; GRILLO; PENTEADO, 2005). Então, para os ambientes escolares, a ABNT determina os valores de níveis de ruído interno, sendo eles de 40 a 50dB(A), e os níveis externos devem se limitar a 50dB(A) durante o dia (LEVANDOSKI, 2013).

No Brasil, professores e alunos são obrigados a conviver com níveis de ruído acima das referências exigidas pelas normas NBR 10.151:2000 e NBR 10.152:2017 da (ABNT) e pela OMS (HANS, 2014; JAROSZEWSKI; ZEIGELBOIM; LACERDA, 2007; LEVANDOSKI, 2013). Em uma revisão de literatura realizada por Levandoski (2013), foram levantados os níveis de pressão sonora em algumas escolas localizadas em três regiões do país, assim como ilustra o Quadro 3.



**Quadro 3 - Nível de pressão sonora das salas de aula de escolas brasileiras**

Região	Cidade	Nível de pressão sonora	Referência
Noroeste	João Pessoa	$L_{Aeq}$ de 68 e 80 dB	(BATISTA et al.2010)
<b>Nordeste</b>	<b>Maceió</b>	<b><math>L_{Aeq}</math> de 60 e 70 dB</b>	<b>(OITICICA; ALVINO; SILVA, 2005)</b>
Sudeste	Capivari	$L_{Aeq}$ de 58 e 74 dB	(CAMARGO, 2007)
Sudeste	-----	$L_{Aeq}$ de 53 e 61 dB	(MUNHOZ, 2004)
Sudeste	São Paulo	$L_{Aeq}$ de 53 e 83 dB	(ZENARI, 2012)
Sul	Urussanga	$L_{Aeq}$ de 59 e 71 dB	(JAROSZEWSKI; ZEIGELBOIM; LACERDA, 2007)
Sul	Curitiba	$L_{Aeq}$ de 65 e 76 dB	(KLODZINSJI; ARNAS; RIBAS, 2005)
Sul	Curitiba	$L_{Aeq}$ de 51,1 e 63,2 dB	(ZANNIN; ZWIRTES, 2009)
Sul	Curitiba	$L_{Aeq}$ de 53,5 dB	(ZANNIN; MARCON, 2007)

Fonte: LEVANDOSKI, 2013 (adaptado).

É observado que há dificuldades para que os valores sugeridos pelas normas sejam atendidos. De acordo com Bertoli (2001), além da influência urbana no ruído das escolas, outros fatores ligados à arquitetura também estão associados, como a qualidade do isolamento das superfícies frente a esse ruído ou salas de aula que apresentam as janelas voltadas para ruas ruidosas são mais propícias a apresentarem NPS elevados. Atualmente, o cuidado com a acústica não é apenas um tema que abrange o condicionamento acústico do ambiente, é também uma temática que envolve o controle e a preservação da qualidade ambiental.

### 3.1 RUÍDO DE TRÁFEGO

Pesquisas executadas com a finalidade de determinação dos níveis de ruído oriundos do tráfego veicular exibem em seus resultados valores sempre acima dos níveis adequados ou indicados pelas normas técnicas específicas (ALI; TAMURA, 2003). Segundo Balzan (2011), em torno de 40% das pessoas da União Europeia estão expostas ao ruído de tráfego com níveis de pressão sonora ultrapassando 55 dB (A) todos os dias, 20% estão expostos a níveis que passam de 65 dB (A) (BERGLUND; LINDVALL; SCHWELA, 2000).

Apesar dos números, a Europa trata a problemática do ruído urbano com maior engajamento, como caso de saúde pública (TURNER; PLAHAY, 2012). Um estudo concebido por Ludlow e Domènech (2009), em Barcelona, demonstrou que o ruído de tráfego veicular se manifestou em zonas rurais. A maior quantidade de tráfego nem sempre caracteriza os maiores

níveis de ruído de acordo com as particularidades do trânsito e as situações geométricas das vias.

A depender da circunstância do território, os níveis sonoros mais fortes podem advir de um fluxo reduzido de veículos. Com a classificação das vias (arteriais, coletoras e locais), por exemplo, é possível conhecer um pouco as características de tráfego de determinadas regiões. Sabe-se que as vias arteriais possuem média de velocidade de 60km/h, as vias coletoras média de velocidade de 40km/h e as vias locais possuem média de velocidade de 30km/h (VALADARES, 1997; GERGES, 2000; BRASIL, 2010).

Nas cidades brasileiras, estudos no campo são recentes (MOURA; MELO; SANTOS, 2016; NARDI, 2008; CALIXTO et al., 2008; PINTO, 2013; PHILLIPE et al., 2012). Valadares (1997), afirma que quanto maior a relação entre a altura dos prédios e o afastamento entre eles, maior a probabilidade de reflexões sonoras, que é o caso do efeito cânion, que trata-se de um efeito acarretado pelo ruído do tráfego de veículos automotores nas ruas, que se transformam em verdadeiras caixas acústicas e fontes transmissoras de ruído, provocando maior incômodo às pessoas expostas (MENDONÇA, 2009).

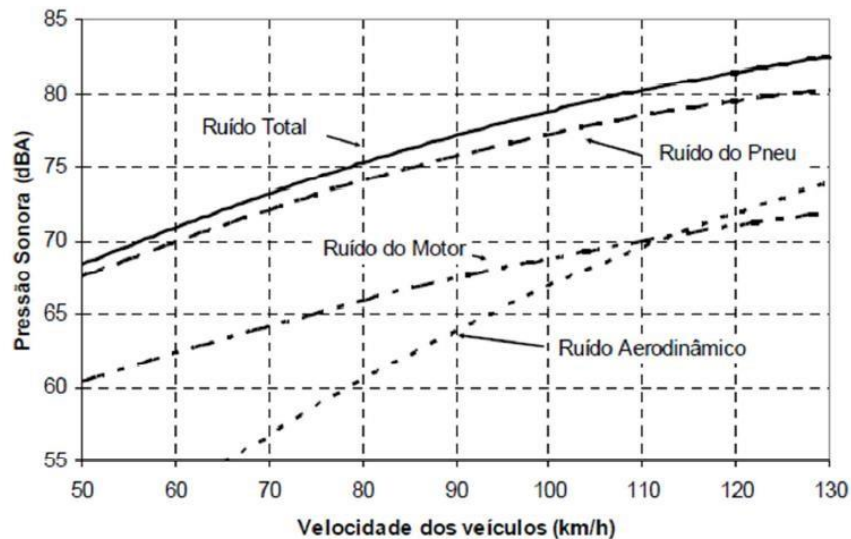
O ruído é emanado com uma capacidade maior quando existe alinhamento vertical da estrada. Dito isso, o uso de barreiras acústicas no decorrer da via pode diminuir o impacto do ruído rodoviário. A inclinação das vias também é um fator influenciador na produção de ruído, pois ruas com declives íngremes tendem a ser mais ruidosas por conta do esforço dos veículos nas subidas e descidas delas (FIEDLER, 2013).

O ruído de uma via possui características de uma fonte sonora linear que possui propagação em forma cilíndrica. Este ruído é a integralidade do ruído gerado por cada veículo individualmente. De acordo com Mendonça (2009), o veículo gera barulho de várias formas, usualmente, intercorre através da emissão de ruídos gerados por motor, escapamento, rotação e atrito de pneus com o solo e do tipo de infraestrutura urbana como: pavimentação, topografia e sistema viário.

As contribuições de cada um desses componentes possuem grande influência no ruído emitido pelo veículo. Considerando uma velocidade média de 70-80 km/h, na Figura 5 é possível notar como esses aspectos são determinantes, e como é importante o conhecimento sobre o ruído pneu/pavimento na análise desses tipos de ruído. Com isso, se é colocado uma provocação complexa ao sector rodoviário, no sentido de desenvolver e testar pavimentos que

diminuem o ruído, trazendo assim, uma colaboração para uma melhoria na qualidade de vida nas comunidades.

**Figura 5 - Influência de diferentes fontes geradoras do ruído veicular**



Fonte: CALLAI, 2011.

Além da velocidade, o tipo do motor influencia nos níveis de ruído. Sabe-se que o motor a diesel gera mais ruído, consoante da compressão do motor ser mais ressaltado. O ruído provocado pelo “contato dos pneus com a pavimentação é resultado de interações entre o pneu em movimento e a superfície do pavimento”(ROGER et al., 2006; SANDBERG, 1997). De acordo com Roger et al (2006), este contato varia segundo as seguintes propriedades: a estrutura do revestimento, a porosidade interna das camadas do revestimento, impedância mecânica do revestimento e, referente ao pneu, o design do padrão dos blocos da banda de rodagem e pressão de enchimento.

Segundo Murguel (2007), quanto menor a rugosidade, menor será o nível de ruído emitido porque há menos vibração. Em determinados contextos, pode-se decidir usar revestimentos que agrupem os fatores da prudência na direção e menos ruído. Mendonça (2009) é possível assegurar que os pavimentos flexíveis, capas betuminosas sobre uma base rígida em vias de grande fluxo viário, possuem rendimentos mais eficientes de mitigação de ruído do que os pavimentos chamados rígidos que são misturas de pedras, das quais as imprecisões oscilam de maneira distinta para todo tipo de pavimentação.

Os estados variados de pavimentação das vias, como: rugosidade do asfalto, paralelepípedos e pistas de concreto, entre outros, geram diferentes níveis de ruído. Crescentemente, os pavimentos silenciosos, que são aqueles que dispõem de capacidades

atenuadoras do ruído, têm sido usados. Baseado em um experimento sucedido na Rodovia dos Bandeirantes e na Pista da Pirelli, em São Paulo, foi possível notar que ao fazer uma camada de gap-graded<sup>1</sup> com asfalto borracha na superfície do pavimento originalmente com microrevestimento asfáltico a frio, foi reduzido de 2 a 3dB, concluindo que a admissão de revestimentos asfálticos podem atenuar o ruído (CALLAI, 2011).

Mendonça (2009) também afirma que todo ruído motivado por veículos automotores, sejam eles ônibus, automóveis, caminhões e motocicletas, de qualquer modo serão representados por uma sobreposição das fontes distintas provocadas pelo próprio veículo como motor (admissão, compressão, ignição e escapamento), dispositivos de transmissão, pneus (calibragem e ranhura) e pelas particularidades como o tipo de estrutura viária por onde trafega. Esse fenômeno também pode ser ampliado pelos intitulados ruídos ocasionais que são reproduzidos por sons de buzinas, pela forma como os motoristas dirigem (troca de marchas com redução e aceleração), regulagens fora de especificação, razões estas que interferem nos resultados de uma análise de ruído.

Veículos de tipos diferentes, produzem níveis de ruídos diferentes. Normalmente, veículos pesados como os caminhões geram mais ruído que os carros, uma vez que eles se conduzem com mais rodas em contato com a autopista. Além disso, continuamente, eles usam freios motor em desaceleração. A principal fonte do ruído de tráfego é o fluxo de veículos pesados, sabendo disso, a necessidade de manutenção desses veículos pesados deve ser constante, pois os sistemas de exaustão ou freios muito gastos provocam ruídos além do comum (FIEDLER, 2013).

O ruído de tráfego é influenciado por inúmeros motivos, o que o torna complexo para análise, mas para isto são utilizados alguns descritores que procuram revelar com maior precisão os níveis de ruído tendo em conta suas alterações existentes. Segundo Torija et al. (2006), é importante conseguir os valores do nível de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ) e dos níveis percentis, para que seja permitido a pesquisa sobre os cuidados com a poluição sonora.

O nível de pressão sonora (NPS) ou ( $L_{eq}$ ), é o descritor mais usado para descrever o nível de pressão sonora medido durante um determinado intervalo de tempo. Para o período de determinação do  $L_{eq}$ , o tempo é estabelecido conforme os propósitos da pesquisa. Pode-se afirmar que o ( $L_{eq}$ ) é habitualmente usado para avaliar níveis de ruído ambiental expressos na

---

<sup>1</sup> Mistura asfáltica de granulometria descontínua (MORILHA JUNIOR, 2004).

curva de ponderação “A” (BISTAFA, 2011). As normas ISO 1996-2 (2007) e NBR 10151 (ABNT, 2000) indicam o  $L_{eq}$  para os ensaios de ruído de tráfego urbano.

Outros estudos certificaram que apenas a análise do  $L_{Aeq}$ , não é suficiente para descrever o ruído de tráfego, tornando-se oportuna a inspeção dos níveis estatísticos, com o fim de denotar as situações acústicas distintas (TORIJA; RUIZ; RAMOS, 2007). Esse parâmetro é conveniente em medições nas quais as fontes sonoras possuem intensidades inconstantes, como na situação do ruído de tráfego.

De acordo com Bistafa (2011), para registros sonoros de ruídos não-estacionários, ou seja, ruídos de tráfego veicular, é normal que se procure um nível médio no decorrer do período de registro, podendo ser oferecido pelo nível de pressão sonora equivalente contínuo ( $L_{eq}$ ). Além dos valores de  $L_{eq}$ , considerando como variáveis independentes serão encontrados os modelos dos níveis de previsão acústicos.

Eles são obtidos a partir dos níveis percentis  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  e  $L_{90}$ , o  $L_{10}$  representa os valores de picos que ocorreram em 10% do tempo e o  $L_{90}$  representa o ruído de fundo no ambiente, ou seja, o nível de ruído que ocorre em 90% do tempo de medição, como é previsto nas normas ISO 1996-2 (2007). O nível percentil  $L_{50}$  representa o nível médio de ruído presente durante 50% de tempo de medição.

Os níveis estatísticos mais usuais são o: o  $L_{90}$ , comumente corresponde ao ruído de fundo e o  $L_{10}$  normalmente corresponde ao ruído de pico. Segundo Bistafa (2011), os níveis estatísticos que avaliam o ruído do tráfego veicular também são ponderados em “A”, assim como no  $L_{eq}$ . Torija, Ruiz e Ramos (2007), entenderam que em medições de longa duração, o  $L_{Aeq}$  e o  $L_{A10}$  podem admitir maiores intervenções dos eventos anômalos, que são definidos como incidentes onde o nível de ruído produzido excede o ruído de fundo, em um algum momento.

Esses eventos são caracterizados por sirenes, ruídos de escapamentos, frenagens e acelerações bruscas, e assim por diante. Eles interferem consideravelmente no  $L_{A10}$ , em consequência da curta duração desses eventos (BALZAN, 2011). Assim, os descritores que representam os picos de ruído são o  $L_{A10}$  e o  $L_{Aeq}$ .

### **3.1.1 Ruídos provocados por veículos pesados**

A principal parcela do ruído existente nos centros urbanos é originária do tráfego veicular. Estudos mostram que na formação do tráfego, os veículos pesados são as fontes sonoras mais fortes (VALADARES, 1997). A ocorrência de ruídos com intensidade para além

de 75 dB é muito presente nos grandes centros, sobretudo nas áreas comerciais e nos corredores de transporte, onde existe grande convergência de veículos motorizados (SILVA, 2016).

Conforme Silva (2016), a emissão dos ruídos provocados pelos ônibus pode ser amplificada por fatores como o volume do tráfego, a velocidade do veículo e a idade dele, visto que os veículos mais velhos são os que contribuem mais com o aumento do ruído. Por intermédio da Resolução 272/2000, no Art. 1º, os limites máximos de emissão de ruídos para veículos automotores em aceleração são os apresentados na Tabela 4. (BRASIL, 2000; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

**Tabela 3 - Limites máximos de emissão de ruído para veículos automotores**

	Categoria Descrição		Nível de ruído dB(A)		
			Ciclo Otto	Diesel Injeção	
				Direta	Indireta
A	Veículo de passageiros até 9 lugares	-----	74	75	74
B	Veículo de passageiros com mais de 9 lugares	Peso Bruto Total até 2.000 kg	76	77	76
	Veículo de carga ou tração e veículo de uso misto	Peso Bruto Total entre 2.000 kg e 3.500 kg	77	78	77
C	Veículo de passageiro ou de uso misto com PBT maior que 3.500 kg	Potência máxima menor que 150kW (204 cv)	78	78	78
		Potência máxima igual ou superior a 150 kW (204 cv)	80	80	80
D	Veículo de carga ou de tração com PBT maior que 3.500 kg	Potência máxima menor que 75 kW (102 cv)	77	77	77
		Potência máxima entre 75 kW (102 cv) e 150 kW (204 cv)	78	78	78
		Potência máxima igual ou superior a 150 kW (204 cv)	80	80	80

Fonte: RESOLUÇÃO CONAMA nº 272 de 2000 (adaptado).

Os sistemas de transporte público deveriam assegurar benefícios à população, como a abreviação no tempo de viagem, nos engarrafamentos e no aumento do conforto e da proteção, entretanto, os ruídos derivados desses sistemas são resultantes das instabilidade do trânsito produzidas pelas desacelerações e acelerações dos veículos motivados pelos “cruzamentos, semáforos, lombadas, faixas de pedestres, pontos de ônibus e pela própria postura dos motoristas” (GUEDES; BERTOLI; MONTALVÃO, 2016).

O tipo de combustível também pode ser um agente influenciador na propagação dos ruídos proveniente dos ônibus. Uma pesquisa avaliou os impactos da substituição do tipo de combustível utilizado em frotas de ônibus e concluiu que o uso do *Compressed Natural Gas* (CNG) manifestou emissões sonoras menores que ônibus que usavam o diesel (RODRIGUES,

2011). Com base no sistema de exaustão de um motor, Gerges (2000) apresentou uma formulação empírica para estimar o nível e ruído no escapamento dos motores a diesel:

$$10 \log (bhp) + 74,5 C_0 [dB(A)] \quad (1)$$

Onde:

bhp = potência de frenagem do motor (hp)

$C_0$  — 17,2 dB para motores com aspiração natural

$C_0$  = 16,7 dB para motores com aspiração turbinados

Além da população de maneira geral, os motoristas desses transportes são os mais atingidos pois estão expostos a jornadas de trabalho de 8 horas ao dia. Eles geralmente são sujeitos a fortes níveis de pressão sonora por conta de defeitos mecânicos no veículo ou pela localização dianteira do motor, além disso, fatores como ruas sem estruturas e a grande movimentação de passageiros também são capazes de amplificar esses níveis (PORTELA, 2008).

Um estudo realizado por Portela e Zannin (2010) mostrou que os motoristas que trabalham com veículos com motor traseiro estão expostos a níveis de ruídos mais fracos que aqueles que trabalham em ônibus com design de motor dianteiro. De acordo com Silva (2016), os procedimentos suavizadores para os ruídos provenientes dos sistemas de transportes rodoviário são execuções de melhoria nos próprios veículos somados à implantação de barreiras acústicas.

De acordo com Guedes (2018), na análise do ruído do tráfego veicular são usados alguns descritores acústicos. O nível sonoro equivalente contínuo ( $L_{eq}$ ) representa uns descritores de ampla aplicação nas medições de ruído ambiental, pois indica oscilações sonoras consideráveis. Por ser um som sequente com um intervalo de tempo exclusivo, possui a mesma energia do som medido, cujo nível varia com o tempo (ISO 1996-1, 2003).

### 3.1.1.1 Sistemas de transportes coletivo

Nas grandes cidades, a expansão do transporte automotor cresce gradativamente a cada ano. Isso auxilia na propagação da poluição sonora e se torna uma questão nas capitais brasileiras (BROWN, 1994). Apesar da amplificação das linhas de metrô no país, os ônibus e vans continuam a ser o meio de transporte coletivo mais utilizado pela população brasileira (IPEA, 2011). Uma pesquisa sobre mobilidade urbana divulgada pelo Instituto de Pesquisa

Econômica Aplicada – IPEA, aponta que 65% da população das capitais usam transporte público como meio de deslocamento, vide Tabela 4 (IPEA, 2011).

**Tabela 4 - Meio de transporte mais usado para locomoção no Brasil**

	<b>Brasil</b>	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Nordeste	Norte
Transporte público	<b>44,3</b>	46,3	50,7	39,6	37,5	40,3
Carro	<b>23,8</b>	31,7	25,6	36,5	13,0	17,6
Moto	<b>12,6</b>	12,4	11,6	6,5	19,4	8,2
A pé	<b>12,3</b>	7,6	8,3	13,7	18,8	16,1
Bicicleta	<b>7,0</b>	2,0	3,8	3,7	11,3	17,9

Fonte: SISPS/ IPEA, 2011.

Segundo o estudo realizado pela Confederação Nacional de Municípios (2018) baseado em dados do Departamento Nacional de Trânsito (Denatran), o Brasil tem 616 mil ônibus e grande parte deles circulam em cidades com mais de 60 mil habitantes. As maiores taxas de ônibus a cada mil habitantes se concentram nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. O levantamento também traz informações sobre o transporte coletivo na cidade de Maceió, onde o número se aproxima de 2.142 ônibus, colocando a cidade em 29º lugar dentre as cidades do país (BRASIL, 2018).

Com relação aos pontos de parada, é possível dizer que são equipamentos urbanos de embarque e desembarque de passageiros usuários do transporte público urbano. A Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) afirma que os pontos de parada são primordiais para o serviço desse tipo de transporte (ANTP, 2015). Tratando da localização desses equipamentos, eles podem ser posicionados longitudinalmente à guia da via ou desviados em baias ou em guia avançada, os quais são definidos através dos fundamentos relacionados à fluidez do trânsito, a proteção dos usuários e à facilidade do estacionamento do ônibus (BRASIL, 2010; ANTP, 2015).

É fundamental que os fatores estabelecidos para a implantação desses equipamentos sejam obedecidos, caso contrário, permite-se que haja impactos ambientais e, conseqüentemente nos pontos de parada. Em especial quando os espaços urbanos são formados por edificações que possuem atividades sensíveis ao ruído, como são os casos dos hospitais e das escolas que devem estar em condições adequadas à sua finalidade (GUEDES, 2018).

### *3.1.1.2 Abrigos de ponto de parada de ônibus*

O ponto de parada, segundo a Associação Nacional de Transportes Públicos (2015) é o local estipulado na via pública onde se dá a parada do veículo de transporte coletivo para o



embarque ou desembarque de viajantes e tem obrigação de possuir atributos próprios que se baseiam na localização e no tipo de via que está designado. Geralmente, os pontos são instalados em lugares de concentração de demanda elevada.

Nasta (2014) afirma que o abrigo de ônibus pertence ao Sistema de Transporte Público (STP) e tem a obrigação de obedecer suas funções fundamentais. Esses abrigos são elementos de identidade urbana, cultural e devem atender as demandas dos usuários da cidade. Além disso, segundo Oliveira, Lança e Bezerra (2015), suas características possuem condições significativos para a qualidade do transporte público, como: a sinalização do local, calçadas largas, existência de cobertura, bancos para sentar, e acesso dos usuários à informações, assim como ilustra a Figura 6.

**Figura 6- Características recomendadas para um abrigo de ponto de parada**



Fonte: GUIMARÃES; OLIVEIRA, 2018.

Ainda de acordo com os autores, as estruturas dos pontos de parada estão continuamente expostas às ações danosas de sol e chuva. Por consequência disso, é fundamental que haja manutenção periódica para garantir o padrão dos abrigos. Quanto a legislação, a Companhia de Engenharia de Tráfego possuem um manual de sinalização urbana que regulamenta o estacionamento e as paradas dos pontos de ônibus. Entretanto, o abrigo enquanto mobiliário urbano não possui parametrização devida.

Sabe-se que esperar o transporte num abrigo é uma obrigação um tanto quanto tediosa, de modo que os projetistas e designers tem o desafio de fazer com que essa tarefa seja mais agradável. Ao redor do mundo, podem ser encontrados inúmeros tipos de abrigos de ônibus, com formas e materiais distintos. Alguns se destacam pela inovação e design irreverente, como

é o caso do abrigo em Dubai que conta com internet wireless e ar condicionado para confortar os usuários (Figura 7).

**Figura 7 - Abrigos de ônibus em Dubai**



Fonte: Gazeta do Povo

No Brasil, os abrigos de ônibus de Curitiba, projetados pelo arquiteto Jaime Lerner, são chamados de Estações Tubo e são tidos como referências, inclusive internacional (Figura 8). Em geral, as prefeituras adotam o método de editais públicos para a criação, instalação e manutenção dos equipamentos. Grandes empresas nacionais e internacionais, geralmente participam desses editais de licitação e fazem consórcios para aprovar determinados editais de interesse (NASTA, 2014).

**Figura 8 - Abrigos de ônibus Estações Tubo em Curitiba**

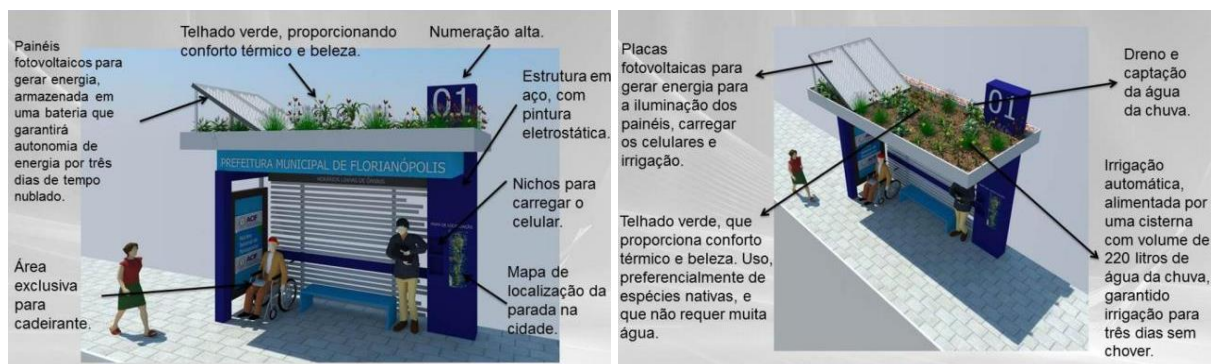


Fonte: Governo de Curitiba

Em Florianópolis, Santa Catarina, foi inaugurado em 2016, o primeiro abrigo de ônibus ecológico. O equipamento foi construído com material reciclável, é iluminado com energia

solar e possui vegetação em sua cobertura. O projeto é do Núcleo de Paisagismo da Associação Comercial e Industrial de Florianópolis (ACIF) (Figura 9)(ACIF, 2016). As adjacências do abrigo de ônibus também necessitam de maior atenção para as melhorias do conforto ambiental, devido ao intenso crescimento da poluição sonora nos centros urbanos (BELLINI, 2008).

**Figura 9 - Projeto de abrigo de ônibus ecologicamente correto em Florianópolis**



Fonte: ACIF( 2016)

### 3.2 BARREIRAS ACÚSTICAS

Os obstáculos que evitam a visualização da fonte sonora pelo receptor são denominados de barreiras acústicas (SOARES et al., 2008). A presença dela dificulta a linha reta de visão entre a fonte sonora e o receptor, dessa forma, uma parte da onda sonora incide na barreira e é transmitida através do material, a outra é absorvida pelo material e a terceira parte é refletida. O som que atinge na zona de sombra tem seu nível reduzido por difração, essa diminuição é chamada de atenuação da barreira (MARILDA DUBOC, 2015).

Conforme Gerges (2000), a Perda de Transmissão (PT) ou Índice de Atenuação Sonora (R), é uma relação logarítmica entre a energia sonora propagada e a energia sonora incidente em uma barreira. Quando os valores da PT são altos, existe um grande isolamento acústico do sistema por conta da propagação da energia acústica para o ambiente vizinho. A situação contrária, ou seja, baixos valores de PT significam um isolamento acústico ruim do sistema.

Gerges (2000), ainda aponta uma formula para calcular essa PT, chamada também de Lei de Massa, retratada na Equação 1, abaixo:

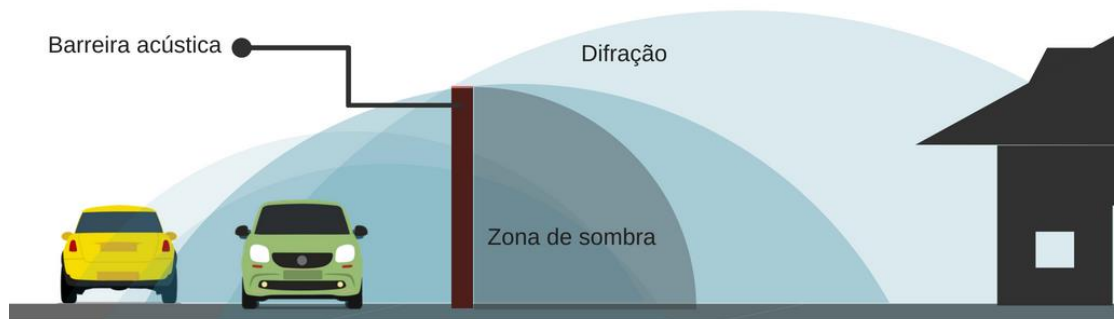
$$PT = TL = 20 \log (M f) - 47,4 \text{ dB} \quad (1)$$

$\log (M f)$  é o logaritmo na base 10 da densidade superficial de massa  $M$  em  $m^2$  do sistema construtivo (densidade aparente), multiplicado pela frequência  $f$  avaliada; 47,4 dB é uma constante. É importante salientar que essa lei se molda apenas para uma faixa determinada de frequências e ela pode se alterar de acordo com o tipo de material. Já, o fenômeno da difração

é um dos pontos mais relevantes para o desempenho acústico da barreira, na medida em que as ondas sonoras passam sobre ela até atingir o receptor.

Pode-se visualizar o efeito da difração da onda sonora quando ela atinge a barreira e forma uma zona de sombra e outra zona clara (Figura 10).

**Figura 10 - Dinâmica de funcionamento da barreira acústica**



Fonte: BISTAFA, 2011 (adaptado)

Com a implantação da barreira acústica, a força do raio direto é reduzida e o ruído que chega no receptor é derivado da difração do topo da barreira. (BISTAFA, 2011; GERGES, 2000). A atenuação a ser obtida provém da altura e da localização da barreira, bem como do comprimento da onda acústica (RODRIGUES, 2013; PIRES, 2014). De acordo com Kotzen e English (2009), quando a barreira acústica tem altura pouco maior que a linha de visão entre fonte sonora e receptor, acontece atenuação do ruído igual a 5dB.

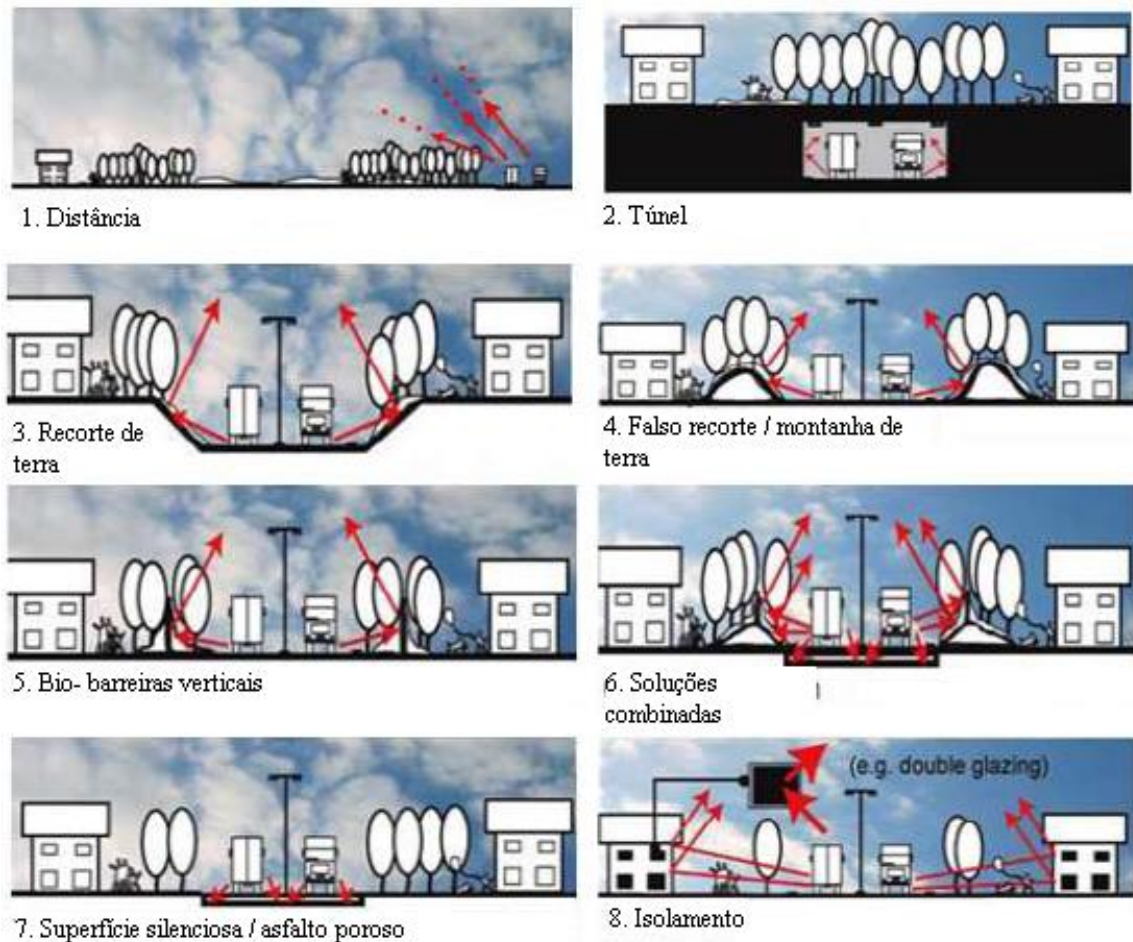
Pires, (2014), afirma que quando as distâncias entre a barreira e o receptor são pequenas, a atenuação do ruído é máxima, por esse motivo que, geralmente, as barreiras são instaladas o mais próximo da via possível. Segundo Moraes (2017), uma barreira acústica é eficaz quando ela protege a região de maior recepção da energia sonora irradiada pela fonte, considerando as condições visuais, econômicas, estruturais e de segurança.

No contexto urbano, no caso das rodovias e ferrovias, as finalidades das barreiras acústicas variam em função das circunstâncias as quais elas estão inseridas e sua principal função é proteger a população dos ruídos excessivos, visto que esses cenários são caracterizados por apresentarem níveis de pressão sonora acima dos limites impostos pela legislação. Elas possuem recursos importantes na manutenção da qualidade do ambiente e são estruturas muito usadas nos grandes eixos rodoviários para atenuar o impacto do ruído gerado pelo tráfego, seja ele terrestre ou aéreo (RODRIGUES, 2013).

Entretanto, seu desempenho também é decisivamente influenciado por outros fatores externos como as condições meteorológicas, o tipo de solo, etc. Na Figura 11 é possível

observar os tipos de estratégias para obstrução dos ruídos com o uso de barreiras acústicas utilizadas para a redução do ruído de tráfego.

**Figura 11- Estratégias de barreiras acústicas**

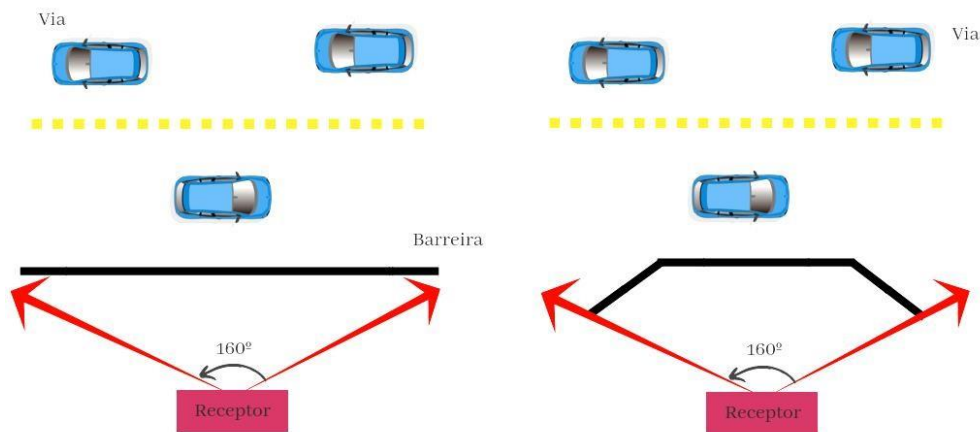


Fonte: BARBOSA, 2015.

É importante destacar que a difração do som não ocorre apenas no topo da barreira, mas também em suas extremidades, por isso o posicionamento e o comprimento dela são tão importantes. Entretanto, para que ocorra a difração das ondas sonoras, é necessário que o tamanho da barreira seja comparável ao comprimento da onda, ou seja, se o comprimento da barreira for muito maior que o comprimento da onda, não ocorrerá a difração.

O grau de difração dependerá da natureza da onda e da frequência. As ondas de baixa frequência se espalham em um ângulo maior do que as de alta frequência (STORK.; BERG, 1995). O comprimento também é um fator influenciador da difração. Quando a barreira não pode atingir o comprimento adequado, elas podem ser encurtadas com a condição de inclinação com ângulo de  $160^\circ$  a partir do receptor, nas extremidades, como mostra a Figura 12 (KOTZEN; ENGLISH, 2009).

**Figura 12-Esquema com a diminuição do comprimento da barreira, dobrando suas extremidades**



Fonte: Rodrigues (2013)

Além disso, elas se diferem por barreiras absorventes ou barreiras refletoras, quando combinadas, são chamadas de barreiras mistas. De acordo com Rodrigues (2013), uma barreira que não possui nenhum tratamento absorvente, como fibras minerais, é considerada refletora. Para que um dispositivo de redução do ruído fique absolutamente caracterizado quanto às suas particularidades específicas é preciso que se realizem ensaios laboratoriais e *in situ* de determinação da absorção, do isolamento sonoro aéreo, de difração e reflexão (FREITAS, 2007).

Segundo Barbosa a colocação do material acústico absorvente no exterior da barreira é capaz de abrandar o efeito das reflexões múltiplas, o que pode elevar a probabilidade de difração. Com relação aos ângulos, a forma côncava vai refletir o som de volta à fonte, já a forma convexa, refletirá o som para o céu (RODRIGUES, 2013). O tipo de material utilizado depende do local onde vai ser instalada a barreira acústica.

Conforme o autor, essas composições estão relacionadas ao contexto na qual ela será implantada. Dito isso é necessário a definição da função como barreira refletora ou absorvente. Os materiais acústicos que cobrem as barreiras podem ser em concreto, alvenaria, madeira, acrílico, metal e plástico. O design da barreira é um processo complicado, pois além de obstáculo sonoro, a barreira é um obstáculo visual, onde na maioria das vezes, sua estética é pouco reconhecida.

No entanto, o comércio de acabamentos tenta reduzir essa desvantagem apresentando cores em suas provisões e enquadramentos à paisagem, assim como está ilustrado na Figura

13, como as barreiras acústicas localizadas na cidade do Rio de Janeiro e São Paulo, respectivamente.

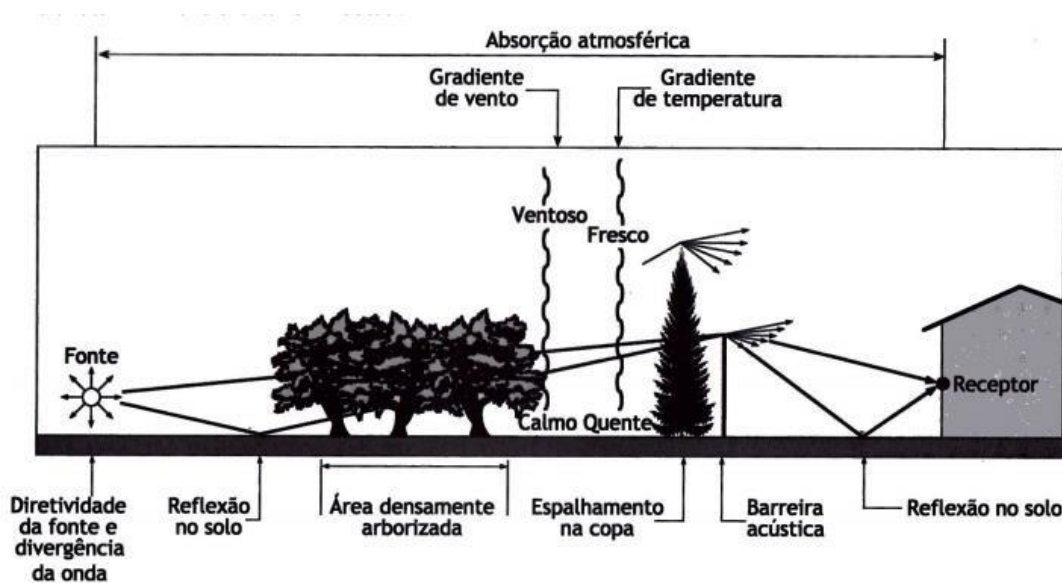
**Figura 13 - Exemplos de barreiras acústicas nas cidades do Rio de Janeiro e São Paulo**



Fonte: Portal Metálica, 2011; ISOLTOP, 2018.

Em ambientes externos, também é possível a aplicação de materiais transparentes para que ocorra a conservação do aspecto visual. As cortinas arbóreas também podem ser consideradas como barreiras naturais, devido a absorção e a dispersão. Elas contribuem tanto para o ambiente quanto para o aspecto visual (AGUILERA, 2007). Segundo Bistafa (2011), um cinturão verde interposto entre a fonte e o receptor executa a função de uma barreira acústica vazada, contudo, sabe-se que a capacidade de atenuação sonora nessas situações baseia-se muito mais na densidade, largura e altura da vegetação do que as formas irregulares e as espécies existentes. A Figura 14 ilustra a dissipação do som provocada pelas árvores.

**Figura 14 - Atenuação sonora ao ar livre com influência da vegetação**



Fonte: Anderson e Kurze (1971) *apud* Bistafa (2001).

Bistafa (2011) diz que para que o cinturão seja eficaz na proteção de uma comunidade é que a extensão de vegetação seja densamente ocupada com árvores que se destaquem, no mínimo, 5 metros além da linha de visão da fonte sonora. Segundo Gerges (2000), os resultados

alcançados pela vegetação não têm grande êxito, em geral, a eficiência da vegetação é superior nas altas frequências, particularmente quando a vegetação é densa.

No entanto, a barreira composta de vegetação se adequa como isolador visual do receptor, o que pode promover um efeito psicológico propício. Aguilera (2007) diz que o movimento das folhagens despertado pelos ventos, acarretam sons agradáveis que também são capazes de mascarar moderadamente os sons mais incômodos. Por esses fatores, acredita-se que é comum que se perceba a vegetação como um aspecto de atenuação apreciável (Figura 15). Ainda segundo ele, as barreiras de terra também podem ser utilizadas.

**Figura 15 - Barreira acústica vegetal**



Fonte: Bracústica, 2018.

Apesar da barreira ser um componente que pode ser eficaz no controle do ruído em edifícios e capaz de atenuar a difusão do som, ela expõe outra desvantagem que é a da divisão de espaços que ela cria, onde as áreas de sombras também podem causar resultados negativos com relação ao clima, por exemplo (RIBEIRO, 2009). Deste modo, assim como declaram Kotzen e English (1999), com exceção da redução do ruído, a barreira deve ser aceita pelos habitantes do local onde ela for introduzida, com o objetivo de ser incorporada ao seu entorno.

Existem ainda os sistemas de barreiras ajardinadas, Hornikx e Van Renterghem (2012) perceberam que as curvas de absorção da vegetação para esse tipo de barreira podem necessitar totalmente do teor de água existente nas plantas, do ângulo empregado às fachadas ou telhado, das propriedades acústicas do material oculto pela vegetação e da densidade do substrato. De acordo com eles, para um substrato com maior quantidade de umidade, a impedância da vegetação aumenta e um efeito menor é atingido.

Todavia, para que as barreiras acústicas exerçam bem na contenção do ruído na fonte, é necessária uma estruturação correta no ato do projeto e na execução dela. É imprescindível que



a barreira não possua aberturas em suas áreas de contato com o solo ou em sua superfície (BISTAFA, 2011; OITICICA; BERTOLI, 2011). Os métodos de avaliação de atenuação de ruído são fundamentados no fenômeno da difração.

Através de relações entre potências de fontes sonoras, níveis de pressão do receptor e a influência dos caminhos de propagação sonora é possível estimar a propagação do som. Para o cálculo da perda por inserção de uma barreira pode-se utilizar a fórmula de Maekawa representada na Equação 2 abaixo:

$$\Delta L = 10 \log_{10}(3 + 20N) \quad (2)$$

Onde:

$\Delta L = L_0 - L_B$  = nível sem barreira menos nível com barreira

O  $N$  é o número de Fresnel que é usado para calcular a atenuação sonora por perda de inserção de uma barreira acústica, ou seja, a capacidade de redução do sinal sonoro original pela barreira. Para isso, aplica-se as equações apresentadas na Equação 3 e 4 (PIERCE, 1974; AGUILERA, 2007; KOTZEN; ENGLISH, 2009; LISOT, 2013).

$$N = 2\delta/\lambda \quad e \quad \delta = a + b - c \quad (3)$$

$$N = \pm 2 \frac{\delta}{\lambda} = \pm 2 \frac{f\delta}{c} \quad (4)$$

Onde:

$\delta$  é a diferença dos trajetos por cima da barreira e através da barreira;

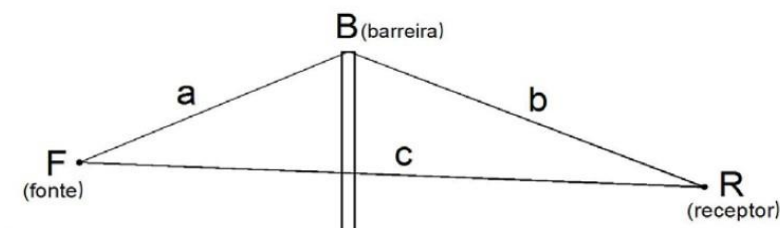
$\lambda$  é o comprimento da onda

$a$  é a distância da fonte ao topo da barreira (FB)

$b$  é a distância entre o receptor e o topo da barreira (BR)

$c$  é a distância entre a fonte e o receptor (FR)

**Figura 16 - Redução sonora em função do número de Fresnel**



Fonte: (MORAIS, 2017)

Com a equação e um ábaco com valores de atenuação é possível obter a estimativa do comportamento da barreira. Vale ressaltar também que a velocidade do som depende do meio onde a fonte sonora está inserida, o sinal pode ser positivo ou negativo, de acordo com a linha representada pela letra “c”, se posiciona acima ou abaixo do ponto de difração (PEDRO et al., 2014; MORAIS, 2017)

No Brasil, de acordo com Barbosa (2015), a primeira barreira acústica construída no Brasil foi na Rodovia dos Bandeirantes, no Estado de São Paulo, com 200 metros de comprimento, no ano de 1999, onde o conjunto de edifícios localizados próximos a ela sofreram reduções no nível de ruído da ordem de 8(dB) a 10(dB). Pires (2014) afirma que anterior a implantação de uma barreira acústica é necessário um estudo de previsão para conhecer as possibilidades de redução de ruído, pois o primeiro passo é a tentativa de redução do ruído na fonte ou até mesmo no receptor.

Em suma, Rodrigues (2013), aponta algumas considerações acústicas sobre as barreiras que estão apresentadas a seguir resumidamente:

- (a) Em condições normais, uma barreira acústica reduz o nível de ruído de 10 a 15 dB na zona de sombra;
- (b) Quando a barreira intercepta a linha de visão entre a rodovia e o receptor, ela consegue atingir redução do nível de ruído em 5 dB;
- (c) Para cada metro de altura acima do nível de interceptação da linha de visão, a barreira consegue atingir uma redução adicional do nível de ruído de aproximadamente 1,5 dB;
- (d) O comprimento da barreira deve ter aproximadamente 4 vezes a distância entre o receptor e a barreira;
- (e) A barreira acústica deve ter densidade mínima de 20kg/m<sup>2</sup>

Em regiões mais críticas como ambientes escolares ou de hospitais, as barreiras acústicas podem ser uma boa opção para proteção desses equipamentos (BUNN, 2013). Além disso, é necessário que elas sejam vistas não apenas como muros, mas como elementos dos cenários nos quais elas são implantadas, para que exista harmonia com o entorno. A simulação de barreiras acústicas é uma forma adequada de verificar a eficiência da aplicação de uma barreira em determinada situação de projeto.

### 3.2 MAPEAMENTO SONORO

Diante das complicações da poluição sonora, pode-se declarar que o mapa de ruído (ou mapa acústico) é um recurso importante para as áreas urbanas as pesquisas feitas a partir dele são valorosas para a avaliação do universo urbano, proporcionando plausíveis as discussões sobre as leis urbanas vigentes. De acordo com Pinto (2013), isso assegura melhores orientações acústicas em favor do combate à poluição sonora.

De acordo com Gerges (2000), com os índices de emissão sonoros mensurados em conjunto com as referências do tráfego e as características do local de estudo, é possível se gerar um mapa. Por meio do método predicional, são reproduzidas curvas isofônicas, que são curvas similares às curvas topográficas dos mapas convencionais com zonas que contém níveis semelhantes de pressão sonora. Tais níveis de intensidade sonora são limitados por tonalidades, padrões assim como mostra a Figura 17 (PINTO, 2013).

Figura 17 - Ilustração de um mapa de ruído em diferentes escalas



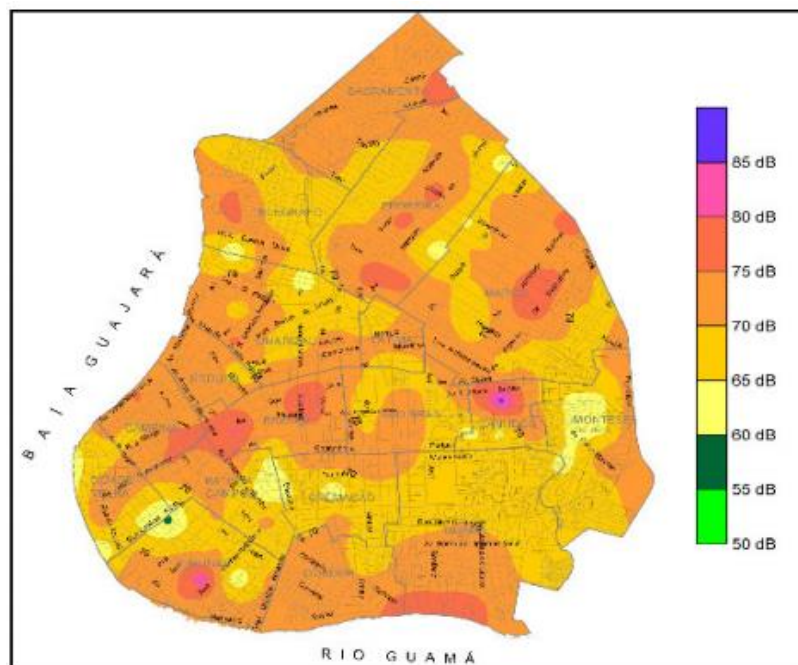
Fonte: Pinto e Mardones, 2009; Câmara Municipal do Porto, 2014.

Segundo Nardi (2008), durante a segunda metade da década de 90, os mapas de ruído tiveram lugar na Europa. A União Europeia possui a Diretiva 2002/49/CE que tem o intuito de preservar e impedir os efeitos nocivos da exposição ao ruído urbano. Com isso, a produção dos mapas é necessária em determinados pontos de relevância das cidades. Portanto, a utilização de mapas estratégicos de ruído é recurso de gestão ambiental sonora urbano.

A Diretiva também apresenta quadros estabelecidos pela lei que instituem estratégias nítidas com finalidade de proteção dos ambientes urbanos. Além disso, é exigido que as autoridades incumbidas pela elaboração dos mapas e planos sobre o ruído advertam e consultem os indivíduos de modo persuasivos (DIRETIVA 2002/49/CE, 2002). A exemplo dessa organização, em Londres, conforme Pinto e Mardones (2009) é possível saber o nível do ruído de uma rua apenas com o código postal.

No Brasil, apesar deste recurso não ser amplamente propagado tem sido aproveitada para medir o ruído ambiental em algumas regiões do país (PINTO; MARDONES, 2009; ZANNIN; SANT'ANA, 2011; BRASILEIRO, 2017; COSTA; LOURENÇO, 2011; CANTIERI et al., 2010). Há aproximadamente dez anos, havia apenas um arquivo da efetivação de estudos com mapeamento sonoro em uma cidade inteira, que era a cidade de Belém do Pará, da Figura 18 (MORAES; SIMÓN; GUIMARÃES, 2009).

Figura 18 - Mapa sonoro de Belém (Estado do Pará) entre 17h e 18h.



Fonte: Moraes, Simón e Guimarães, 2009.

As pesquisas nessa temática são crescentes, apesar de terem se desenrolado em maior quantidade nos meios acadêmicos do que pela iniciativa do poder público (SOUZA, 2012). Conforme as afirmações de Brasileiro (2017), além do trabalho realizado em Belém- PA, o projeto criado pela Prefeitura Municipal de Fortaleza chamado “Carta Acústica de Fortaleza” também merece destaque. O projeto foi criado em 2009 com o objetivo de transfigura-lo num dispositivo para contenção dos níveis de pressão sonora em excesso, a fim de melhorar a qualidade de vida da população.

Então, no ano de 2015, em parceria com a Vrije Universiteit de Bruxelas, foi criado o mapa colaborativo de ruído de Fortaleza, onde cada indivíduo da cidade contribui de forma ativa nas atualizações do mapa. Após isso, no ano de 2016, foi sancionado o Projeto de Lei nº 75/13 no estado de São Paulo, o qual definiu a substancialidade da elaboração do mapa sonoro da cidade de São Paulo (BRASILEIRO, 2017).

Para a efetivação do mapeamento sonoro também é importante seguir algumas referências. A ISO 9613-2/1996, contém metodologias utilizadas para o mapeamento sonoro e recomenda que a identificação dos limites de cada curva por cor tenha intervalos de 5dB. O Grupo de Trabalho que Analisa a Exposição ao Ruído da Comissão Europeia - *European Comission Working Group Assessment of Exposure to Noise* (WG-AEN) também apresentam algumas recomendações adicionais (ENGEL, 2012).

Hoje em dia, alguns softwares são capazes de produzir os mapas sonoros como o *Cadna-A*, o *ENM*, *fluidyn*, o *GlpSynoise*, *IMMI*, *LIMA*, *Mithra*, *Predictor*, *Noisemap* e *SoundPLAN*. Segundo Guedes (2005), todos esses programas possuem as seguintes funções: criar mapas de ruído com base em predições a partir dos dados reais; identificar as fontes sonoras; propor e demonstrar os efeitos das soluções adotadas para a redução do ruído; hierarquizar as fontes sonoras pelo nível de pressão sonora e monitorar e controlar o ambiente sonoro de uma área geográfica.

No momento em que os mapas são efetivados com base nos programas computacionais, eles podem ser modificados e atualizados já que possibilitam o acompanhamento do progresso dos ambientes sonoros. Em análises macroscópicas dos mapas acústicos, gerados pelos softwares, também é possível reconhecer as fontes de ruído mais importantes e analisar as zonas expostas a níveis sonoros relativamente fortes (NARDI, 2008).

Com o mapa, é provável se inteirar dos níveis de pressão sonora, seja em qual for o ponto da região moldada, a partir das leituras feitas diretamente nele. Para que os programas de simulação consigam gerar os mapas, são necessários alguns dados de entrada, como: levantamento físico da área, contagem volumétrica de veículos, velocidade dos veículos, dimensionamento e tipo de pavimentação das vias, locação dos semáforos e áreas verdes, além do posicionamento e a altura dos edifícios (PINTO, 2013).

Ele pode ser definido como uma predição de ruído, ou seja, predefinições de ambientes atuais ou futuros. A predição é desempenhada por meio de expressões matemáticas ou utilizam-se dos programas computacionais pois ela é elaborada sem os dados de entrada da contagem do tráfego (GUEDES, 2005; PINTO, 2013). Segundo Bruel e Kjaer (2000), o cálculo pode ser a única maneira praticável em casos como: a) quando os níveis medidos forem mascarados pelo ruído de fundo; b) sempre que os níveis futuros precisam ser previstos; c) quando há necessidade de cenários comparativos de redução de ruído; d) no momento em que os mapas de ruído de contorno precisam ser produzidos; e) quando não existe acesso à medição.

Sendo assim, mensurar a problemática da poluição sonora é gradativamente necessário, assim como calcular as ações que permitem o planejamento futuro. Nesse sentido, o mapa de ruídos se põe como ferramenta apta para essa temática, visto que ele é capaz de apontar a distribuição geográfica da poluição, expondo a localização pontos agudos de emissões de ruídos, possibilitando, assim a inserção de medidas de gestão e contenção dos ruídos em ambientes urbanos.

Medidas de planejamento do uso do solo com a preocupação na diminuição do isolamento das áreas residenciais passa a ser uma das alternativas para a redução da poluição sonora nas grandes cidades, utilizando-a como a ferramenta de estudo e diagnóstico através dos estudos de mapeamento acústico. As campanhas educativas com o intuito de combater a poluição sonora devem continuar em execução mesmo com estabelecimentos adequadamente isolados acusticamente dos ruídos, pois é necessário desacostumar a população maceioense aos altos níveis de ruídos urbanos.

Neste capítulo foi possível conhecer a realidade da área de estudo, quanto a poluição sonora, tráfego de veículos e os equipamentos urbanos exclusivos para abrigar passageiros à espera do transporte público na cidade de Maceió. Com isso, foi possível refletir sobre medidas de mitigação do ruído, inclusive, o uso das barreiras acústicas como elementos de atenuação de ruído do tráfego de veículos.

MATERIAIS E MÉTODOS

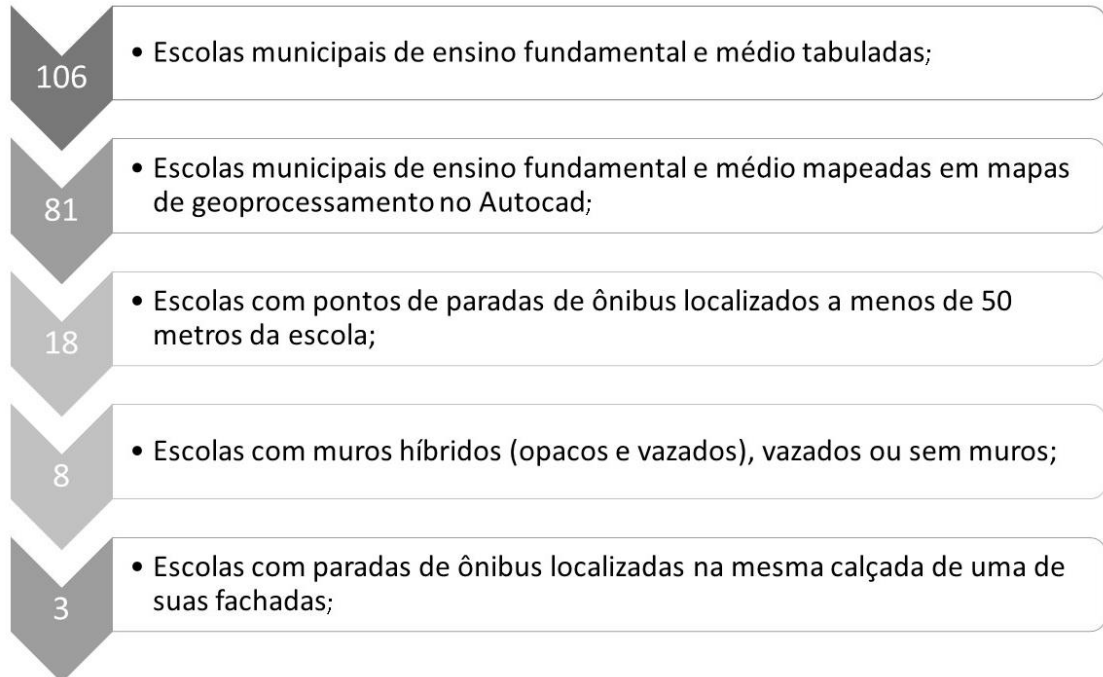
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Partindo do pressuposto de poder melhorar a funcionalidade dos abrigos de ônibus localizados próximos às escolas com o objetivo de mitigar o impacto da poluição sonora nesses estabelecimentos, esse trabalho propõe avaliar o impacto ambiental causado pelo tráfego de veículos pesados e o desempenho de abrigos de paradas de ônibus com possibilidades de serem agentes atenuadores nas proximidades das instalações escolares.

Com relação à classificação da pesquisa aplicada, as abordagens foram enquadradas por aspectos quantitativos. O objetivo descritivo do estudo trata de procedimentos técnicos de estudo de caso. Para a aplicação da metodologia, os fatores considerados consistiram na avaliação dos níveis sonoros equivalentes aos ruídos de fundo unidos aos ruídos provocados pelos veículos que transitam com proximidade dos pontos de paradas de ônibus.

. Para sintetizar o processo de seleção dos objetos de estudos foi elaborado o esquema exposto na Figura 19 onde estão apresentadas a amostra inicial avaliada e as etapas e variáveis definidas.

**Figura 19 - Etapas do processo para a seleção dos objetos de pesquisa**



**Fonte:** Elaborada pela autora.

Os resultados obtidos foram comparados aos padrões determinados pela legislação que estabelece níveis de conforto acústico em comunidades. Os procedimentos foram reunidos em quatro etapas. A listagem das etapas propostas é apresentada a seguir.



## 4.1 ETAPA 01 – SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Essa etapa foi delineada por uma pesquisa das escolas da rede pública situadas na cidade de Maceió -AL que poderiam ser alvos de impactos ambientais provocados pelos ruídos dos pontos de paradas de transporte público devido à proximidade das vias de rota dos ônibus. Essa investigação resultou do suporte teórico para a seleção das variáveis relacionadas ao ruído existentes nos pontos.

Na investigação, 106 de paradas foram identificados próximos às escolas municipais de ensino médio e fundamental de Maceió. Diante dessa variante, foi possível estabelecer o recorte das áreas de estudo. Inicialmente, foi realizado um levantamento da situação e localização das escolas existentes na cidade. Mediante essa localização, foi possível chegar ao número das 106 escolas com características específicas, alguns parâmetros descritos a seguir foram avaliados para a seleção do o objeto de estudo.

### 4.1.1 A cidade de Maceió

A cidade Maceió é a capital do estado de Alagoas e situa-se na região nordeste do Brasil (Figura 20). O ruído urbano veicular, assim como em toda cidade em desenvolvimento, o ruído urbano também se faz presente. A cidade possui 200 anos de existência e aproximadamente 1 milhão 115 mil habitantes em sua totalidade, segundo os dados do IBGE (2010). O primeiro estudo a apurar a situação da poluição sonora em Maceió foi realizado pelo Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro (GEAS) da UFAL nos períodos de 2011 a 2015, com o objetivo de caracterizar o perfil sonoro na cidade, mediante o levantamento das ocorrências das denúncias de poluição ambiental e sonora.

Figura 20- Localização geográfica do Nordeste, do Estado de Alagoas e de Maceió no mapa do Brasil

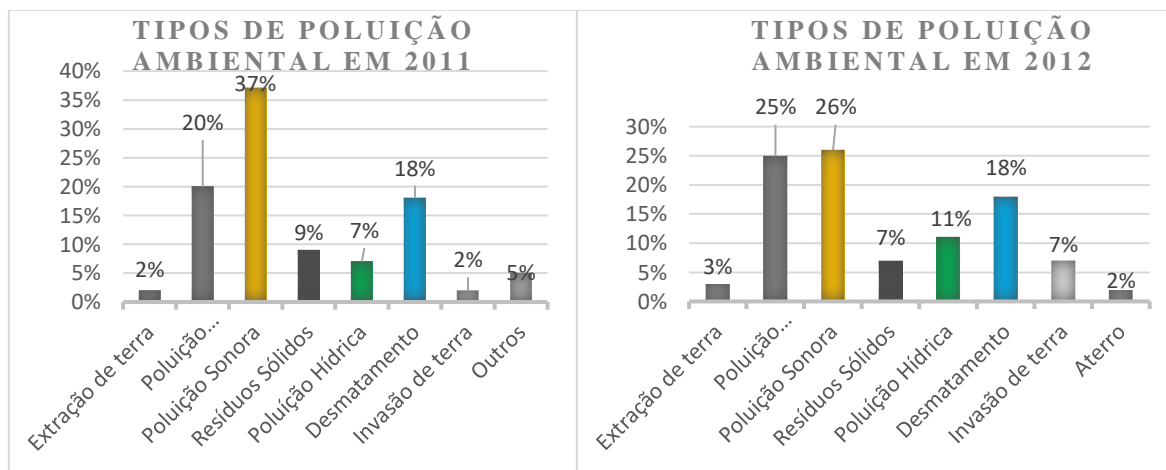


Fonte: Autora, 2019.

Observou-se que a poluição sonora chegou a ser o segundo fator mais poluente nos últimos anos, ficando atrás apenas da poluição hídrica (OITICICA; FIRMINO; ALMEIDA, 2016). Até 2015, o órgão responsável por auferir os dados da poluição sonora em Maceió era a antiga Secretaria de Proteção ao Meio Ambiente (SEMPMA). Após reformulação da Prefeitura atual (2016) esses dados passaram a ser monitorados pela Secretaria de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente (SEDET).

Em pesquisas realizadas por Alencar, Alves e Oiticica (2012) entre os anos de 2011 e 2012 e a continuação desenvolvida por Oiticica, Firmino e Almeida (2016) apontaram a poluição sonora como grande parte das queixas relacionadas à poluição ambiental no período de 2011 e 2012 como indica nos Gráficos 3 e 4. Nesses anos (2011 e 2012), a poluição sonora ficou com 37% e 26% respectivamente.

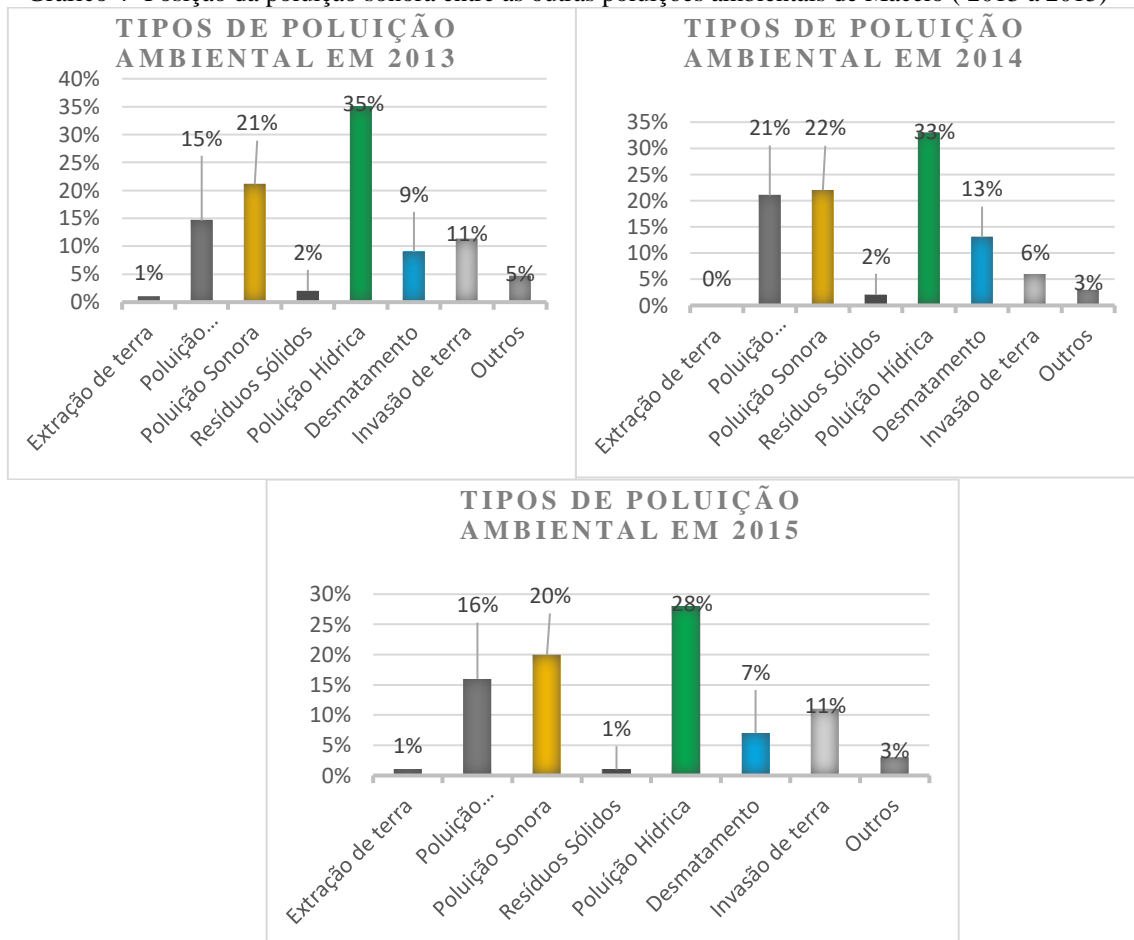
Gráfico 3- Posição da poluição sonora entre outras poluições ambientais em Maceió (2011 e 2012)



Fonte: Alencar, Alves e Oiticica, 2012, adaptado.

Entre os anos de 2013 a 2015, a poluição sonora obteve alguns avanços, ao reduzir os números de queixas recolhidos, passando a ter o segundo lugar entre os demais tipos de poluição e passou a ficar atrás apenas da poluição hídrica (Gráfico 4) com os valores de 21.1%, 22% e 20% no período desses três anos. Nota-se que houve uma redução nos índices com relação aos anos anteriores, entretanto foi mantido uma média com pouca variação.

Gráfico 4- Posição da poluição sonora entre as outras poluições ambientais de Maceió ( 2013 a 2015)

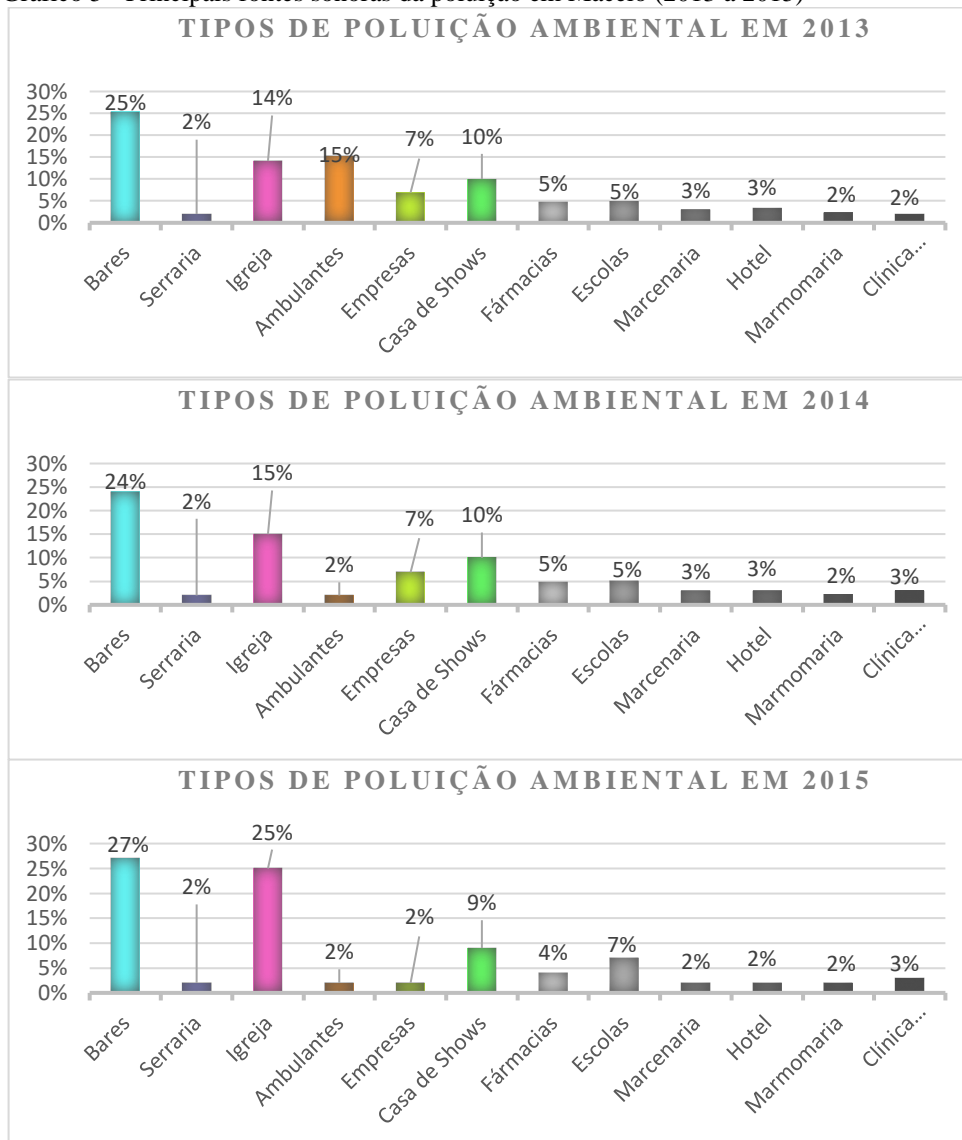


Fonte: Oiticica, Firmino e Almeida, 2016, adaptado.

Percebeu-se que nos últimos anos, a poluição sonora permaneceu em destaque dentre as reclamações dos cidadãos. Sabe-se que o município tem a responsabilidade de fiscalizar e aplicar instrumentos de prevenção, assim como prevê o Plano Diretor do Município. O impacto do Estudo de Impacto de Vizinhança, quando usado com regularidade, pode através de mapas sonoros, por exemplo, ter a capacidade de abrandar os índices dos incômodos à sociedade maceioense.

Com a utilização das cartas acústicas, estratégias usadas no combate à poluição sonora, seria possível adquirir resultados sonoros menos impactantes à população, a depender de suas implicações. Os principais problemas com relação à poluição sonora, segundo as pesquisas realizadas nesses anos demonstram que os mesmos foram oriundos de diferentes tipos de estabelecimentos, tais quais: bares, oficinas, igrejas e casas de shows e eventos (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Principais fontes sonoras da poluição em Maceió (2013 a 2015)



Fonte: Oiticica, Firmino e Almeida, 2016

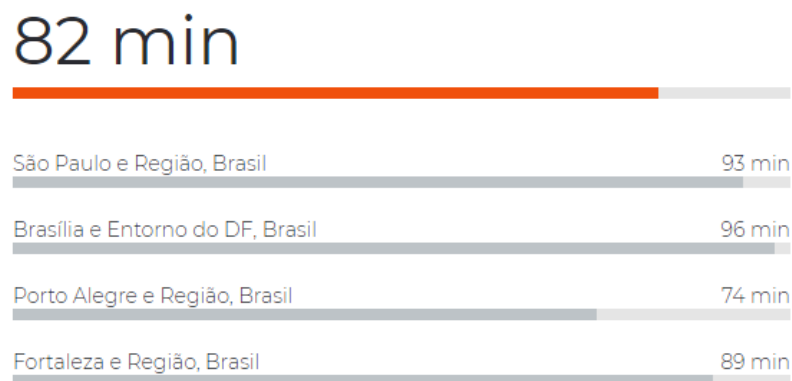
Os ruídos advindos pelo tráfego não aparecem na pesquisa por não ser um item dentro das reclamações feitas pelos maceioenses. Entretanto, como elucidado em outras pesquisas, os ruídos de tráfego agregam valores em níveis de pressão aos outros tipos de poluição sonora urbana. Com relação aos sistemas de transporte, a mobilidade urbana da cidade é assegurada pelos transportes públicos, garantidos pelos serviços dos ônibus, os transportes complementares (vans), o veículo leve sobre trilhos (VLT) e o trem, além dos táxis, moto táxis e diversos aplicativos de condutores de automóveis.

Esses serviços são geridos pela administração municipal da Superintendência Municipal de Transporte e Trânsito (SMTT). Os meios de transportes públicos na cidade de Maceió são operacionalizados pelas empresas: Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) de Maceió, pela SMTT Maceió e pela Agência Reguladora de Serviços Públicos (ARSAL). Em 2013, os

números de veículos levantados pela SMTT foram de aproximadamente 266 mil veículos na cidade.

De acordo com os dados do Departamento Estadual de Trânsito de Alagoas (DEETRAN), no período de 2014 a 2016, os registros relatam que a frota passou de 272 para 305 veículos. Com relação ao transporte público rodoviário, a cidade é contemplada com aproximadamente 120 linhas de ônibus diferentes. Segundo os dados estatísticos do Moovit, aplicativo gratuito de mobilidade urbana com foco em informações de transporte público e de navegação, o tempo que as pessoas gastam viajando com o transporte público em uma semana é, em média, de 82 minutos em Maceió, vide Gráfico 6.

Gráfico 6 - Tempo gasto em média viajando com o transporte público



Fonte: MOOVIT, 2018

Com relação ao tempo de viagens, a cidade de Maceió apenas não consome mais tempo de locomoção do que as grandes cidades como São Paulo, Brasília e Fortaleza. Cerca de 34 cidades foram levantadas e Maceió apresenta um dos índices mais altos, segundo o aplicativo com relação ao tempo médio de espera de uma pessoa num ponto de parada de ônibus ou trem em dia útil. A estimativa é de 32 minutos, seguido apenas de Salvador e Teresina com 33 minutos e Manaus com 34 minutos, como mostra o Gráfico 7 abaixo.

Gráfico 7 - Pessoas que utilizam o transporte público por mais de 2h do dia e tempo de espera em minutos num ponto de parada ou estação



Fonte: Moovit App, 2018.

Em 2015 a Prefeitura Municipal de Maceió abriu a licitação de transporte público urbano, sendo vencedoras as concessionárias Viação Real Alagoas, Viação Cidade de Maceió, Auto Viação Veleiro e Viação São Francisco. As frotas estão ativas desde o ano de 2016 e é composta por 661 ônibus das empresas de ônibus permissionárias: Real Alagoas (261 ônibus), Cidade de Maceió (167 ônibus), São Francisco (139 ônibus) e Veleiro (94 ônibus). Cada empresa possui sua respectiva frota e é responsável por ela (SMTT, 2016).

#### 4.1.1.1 Pontos de parada de ônibus de Maceió

A SMTT Maceió tem 106 rotas de Ônibus em Maceió e 1781 paradas de Ônibus. Os equipamentos urbanos de transporte como os abrigos dos pontos de parada de ônibus são de responsabilidade da SMTT. Esses pontos atendem os transportes que circulam pela capital alagoana e pela região metropolitana. Com relação a tipologia, atualmente, o município conta com 7 modelos de abrigos diferentes, sendo estes dispostos em 3 tipos de materiais, eucalipto, metal e concreto descritos a seguir:

- (a) Abrigos de eucalipto: implantados nas regiões que possuem concentração de maresia, orla marítima (Figura 21);

Figura 191 - Abrigo de ônibus ecológico



Fonte: ASCOM SMTT, 2015.

(b) Abrigos metálicos: distribuídos pela cidade em 4 modelos distintos, ilustrados na Figura 22.

Figura 22 - Abrigo de ponto de parada de ônibus em metal



Fonte: Autora, 2018; ASCOM, 2018.

(c) Abrigos de concreto: distribuído pela cidade em 2 modelos, seno um de concreto pré-moldado e outro de concreto moldado *in loco* (Figura 23). Esse tipo de abrigo possui longa

vida útil, além de proporcionar bom custo benefício, sendo este tipo o mais resistente com relação aos demais, segundo a SMTT.

Figura 203 - Padrão do abrigo do ponto de parada em concreto



Fonte: Autora, 2018

Apesar de terem o objetivo de oferecer estrutura e conforto, nem todos os pontos de parada de ônibus possuem se quer a estrutura de abrigo, alguns deles são sinalizados apenas com placas, vide Figura 24.

Figura 214 - Sinalização de ponto de parada de ônibus por placa



Fonte: Gazeta de Alagoas, 2017; Autora 2018.

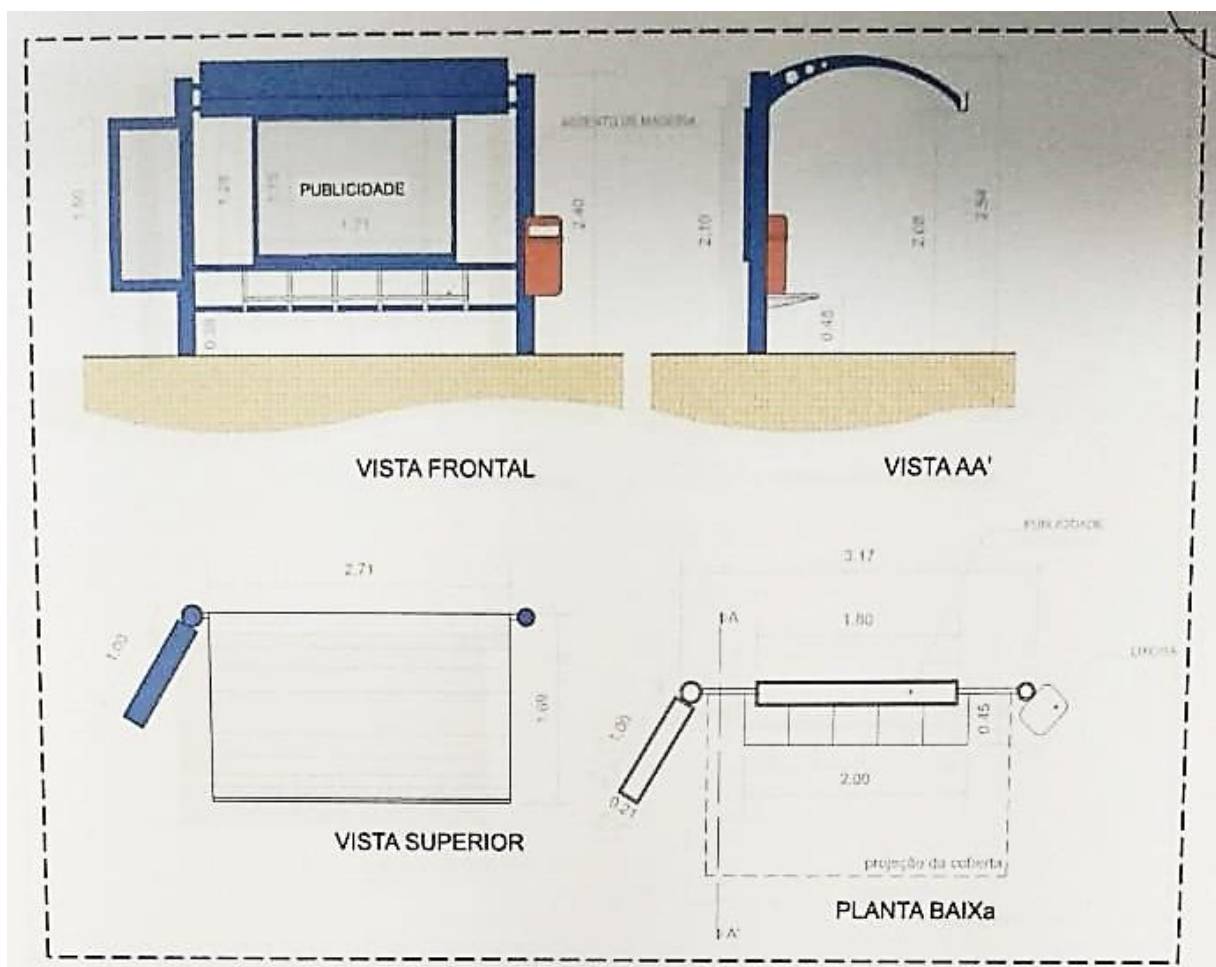
Segundo os dados da SMTT (2019) no momento presente, a superintendência está em trâmite licitatório. Para o processo, é realizada uma concessão, onde, durante o tempo vigente, o município permite a exploração publicitária por parte da empresa ganhadora da licitação em contrapartida ao fornecimento de novos abrigos e manutenção dos mobiliários existentes. O



local de implantação dos abrigos é definido pela superintendência que busca atender a demanda solicitada pela própria população.

Os abrigos, segundo a administração do departamento de Projetos e Transportes da SMTT, podem ter de 3 a 16 metros de extensão com cobertura em policarbonato e proteção. Na Figura 25, estão dispostos os desenhos técnicos de um dos abrigos de padrão metálico. Recentemente, alguns abrigos de pontos de ônibus estão sendo substituídos por abrigos com coberta feita em policarbonato com proteção UV, com acréscimo de mais um item, o painel luminoso.

Figura 225 - Desenho técnico de um dos modelos de abrigo metálico utilizado



Fonte: SMTT, 2019.

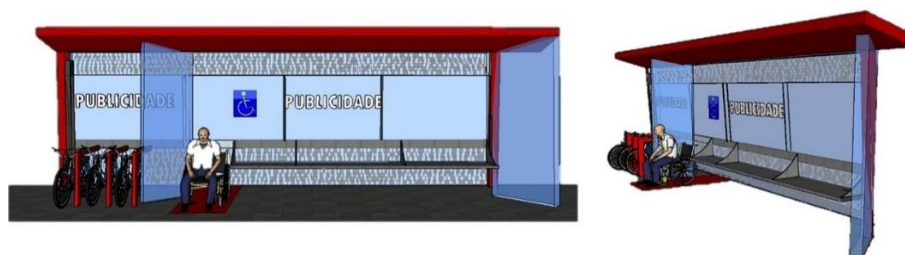
Apesar de terem o objetivo de oferecer estrutura e conforto, nem todos os abrigos dos pontos de parada conseguem desempenhar sua função. Na maioria dos casos, o formato desse mobiliário urbano não promove a proteção adequada contra os efeitos climáticos. Além disso, alguns mobiliários não recebem a devida manutenção. Outro fator negativo é que muitos abrigos não comportam a quantidade de passageiros que o usufruem.

No período da noite, a iluminação, muitas vezes, não é adequada e os materiais utilizados, em alguns casos, não condizem com a região ou clima, como os metais que absorvem muito calor, ou podem ser desgastados com as intempéries. Dentro das adequações utilizadas a presença de fontes naturais de energia, aproveitamento da radiação solar estão se tornando uma solução aplicável e acessível para a implantação em coberturas. Segundo Kumazawa e Saturi (KUMAZAWA; SATURI, 2015), fazer uso de placas fotovoltaicas captadoras de energia solar na implantação dos projetos de coberturas para abrigos de pontos de paradas de ônibus é uma alternativa interessante.

Dentro dos abrigos de ônibus, alguns problemas são recorrentes como é o caso da ergonomia. A partir do progresso da ciência, tecnologia e da legislação sobre o assunto, pode-se afirmar que há uma urgência de melhoria da qualidade acústica nas cidades, levando em consideração a grande quantidade de locais incapazes de impedir a propagação da poluição sonora.

Para que pudesse analisada as situações das escolas selecionadas localizadas em áreas urbanas do município de Maceió, foi necessário elaborar um modelo de um abrigo de ponto de parada padrão com suposta capacidade de barrar os ruídos advindos do tráfego dos veículos, modelo este representado na Figura 26.

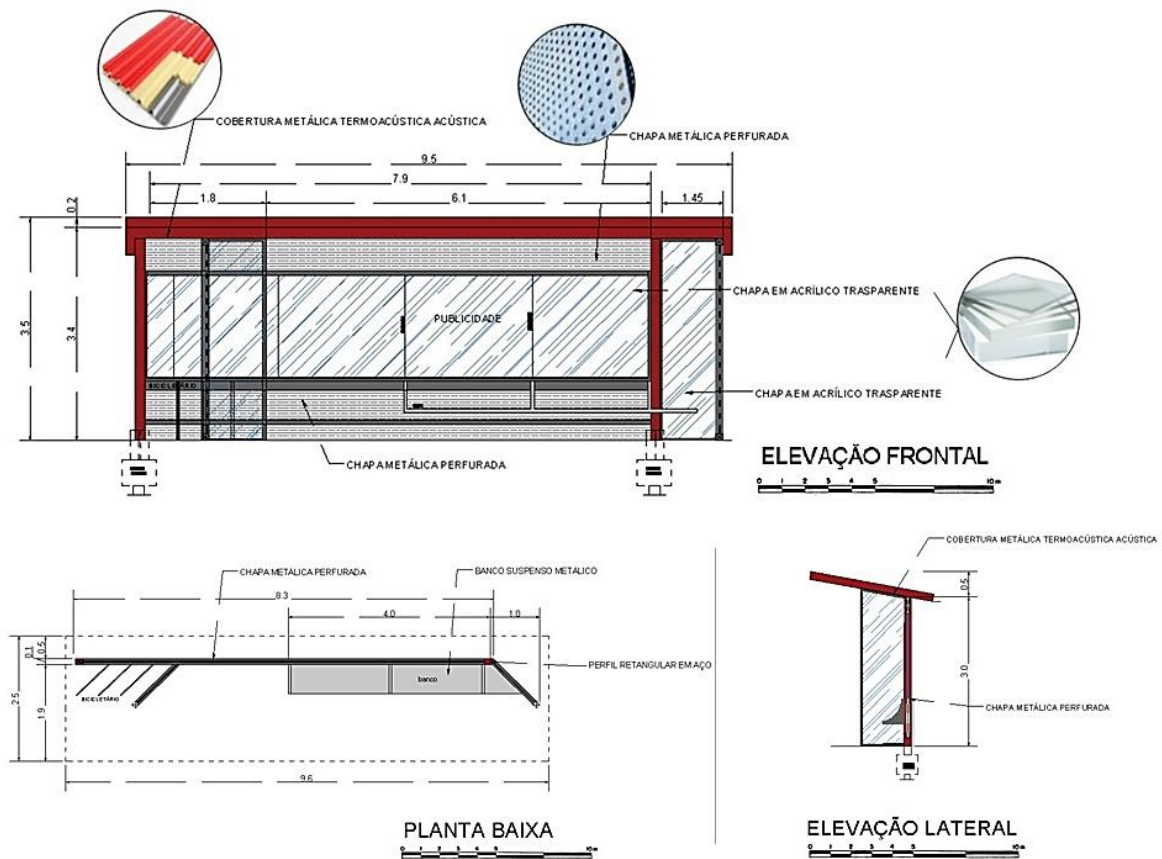
Figura 2623 – Perspectivas do abrigo proposto



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a coberta, foi adotada uma cobertura termoacústica do tipo “sanduíche”, que possui qualidades de absorção acústica, com camadas que são preenchidas com telha de aço galvanizado perfurada, lã de rocha e telha em aço galvanizado zipado, sem emendas para que garanta a vedação e proteção contra intempéries. O painel vertical, utilizado como um tipo de barreira acústica é composto por chapa metálica perfurada e chapa acrílica transparente, como ilustra a Figura 27.

Figura 2724 - Vistas do abrigo de ponto de parada proposto



Fonte: Elaborado pela autora.

O abrigo possui essa forma com painéis inclinados em  $160^\circ$  para encurtar o comprimento do mesmo. A discussão dos resultados é apresentada a seguir, a partir da contagem de veículos transeuntes nas áreas e dos valores de ( $L_{Aeq}$ ) medidos e, dados usados para a elaboração dos mapas sonoros.

#### 4.1.2 Localização dos pontos de ônibus monitorados

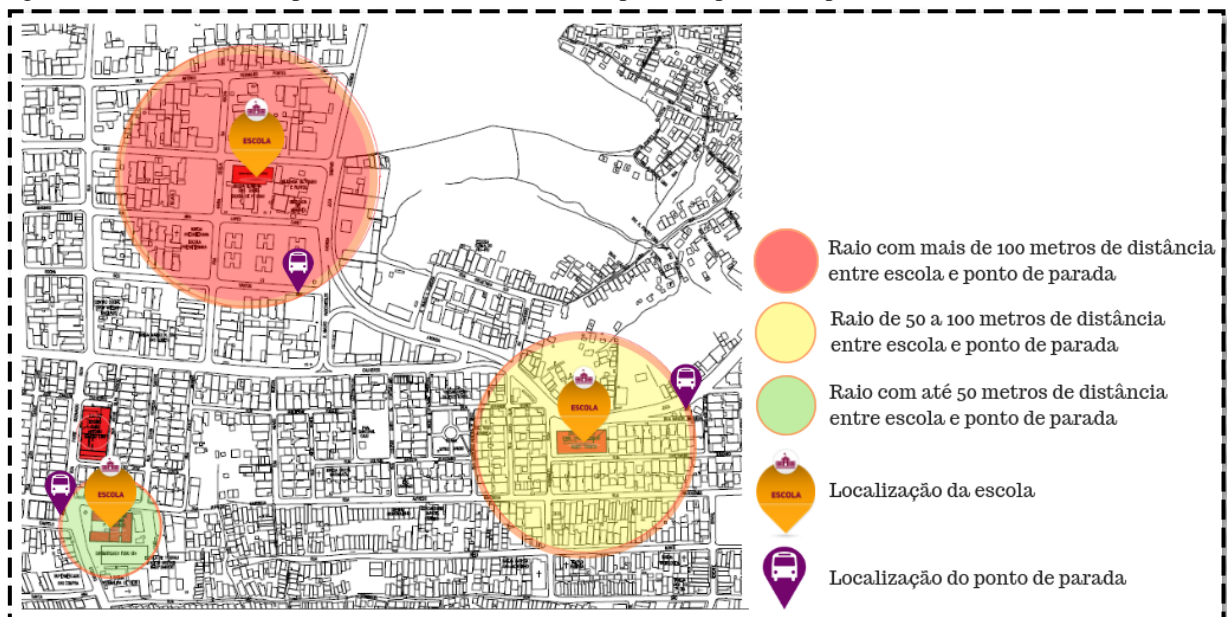
Para se delinear um recorte referenciando a posição geográfica, buscaram-se as regiões cujos pontos de parada de ônibus estivessem em áreas habitacionais, próximos a estabelecimentos do tipo hospitais e escolas cujos níveis de pressão sonora pudessem apresentar valores acima dos estabelecidos pela norma NBR 10151:2009. Esse fato viabilizou a seleção dos pontos de paradas instalados próximos às escolas.

A pesquisa realizada baseou-se em uma busca no site da Secretaria de Educação de Maceió (SEMED) por listas de escolas municipais de ensino médio e fundamental situadas em regiões urbanas da cidade de Maceió-AL. O levantamento realizado encontrou 106 escolas

municipais, entretanto, apenas 81 foram localizadas em mapas e tabuladas no Microsoft Excel 2013 (Apêndice 1). Após a tabulação, as escolas foram mapeadas com o uso das plantas de geoprocessamento de cada bairro da cidade através do software *AutoCad* 2016.

Para complementar o mapeamento das escolas, os pontos de parada localizados próximos a elas também foram mapeados no *AutoCad* com o auxílio do mapa do aplicativo *CittaMobi*. Ao localizar as escolas e os pontos de paradas, foram delimitadas áreas para o levantamento médio das distâncias entre elas. Com isso, estabeleceu-se como categorização de distâncias médias entre escolas e pontos de paradas raios de 50 a 100 metros, com mais de 100 metros e com até 50 metros, que seriam os pontos de paradas próximos às escolas, como ilustra a Figura 28.

Figura 258 - Recorte de mapeamento de escolas e seus respectivos pontos de parada



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

As investigações a serem considerados para a etapa seguinte foram os que continham raios com até 50 metros de distância entre escola e ponto de parada, com a justificativa de que essas regiões seriam as mais sensíveis, suscetíveis a poluição sonora, enfoque do presente trabalho. A partir daí outras variáveis foram adotadas para que o recorte pudesse ser estabelecido com critérios mais restritos.

### 4.1.3 Variáveis urbanas do entorno

Em busca de viabilizar e selecionar o objeto de estudo foram coletadas informações em registradas em formulário com variáveis que indicam, além das localizações, características das escolas e pontos de paradas de ônibus, descritas a seguir:

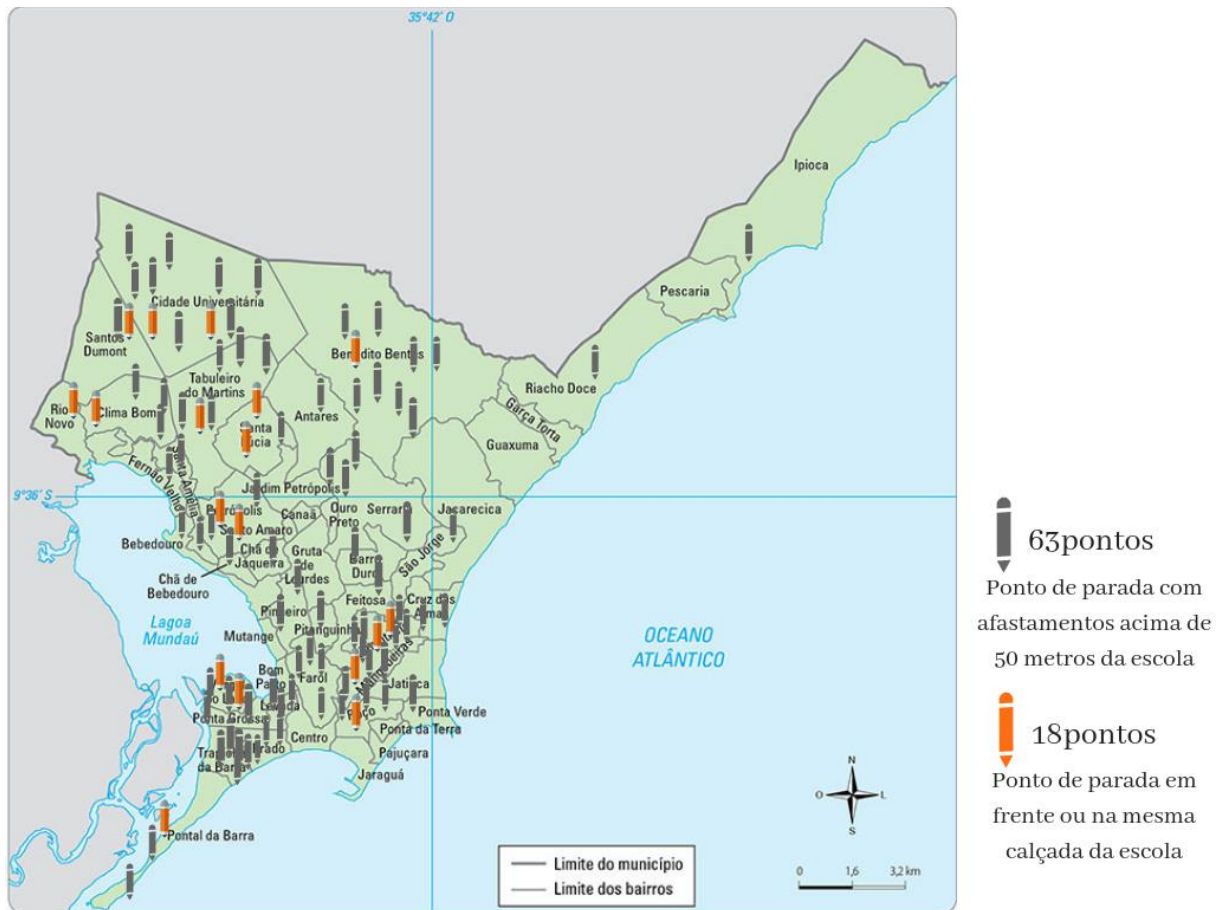
- a) O endereço da escola;
- b) O tipo de via, sendo elas arteriais (média de velocidade de 60km/h), coletoras (média de velocidade de 40km/h) ou locais (média de velocidade de 30km/h);
- c) Estrutura do abrigo do ponto de parada;
- d) Os afastamentos da escola (recuos);
- e) A presença de vegetação nas proximidades;
- f) O fluxo do tráfego de ônibus que passam no local em um período determinado;
- g) O número de pavimentos da escola;
- h) A existência ou não de semáforos, lombadas ou faixas de pedestres.
- i) Estrutura do abrigo do ponto de parada;

O formulário apresentado com as variáveis encontradas pode ser visualizado no Apêndice A. Com esses dados, foi possível caracterizar aspectos importantes para serem definidos e selecionadas as amostras que representassem maior impacto sonoro relacionando as vertentes entre tráfego-escola-ponto de parada. Um dos principais aspectos para a verificação do impacto ambiental nas escolas para a seleção dos objetos de estudo, foi a relação da distância média entre escolas e pontos de parada de ônibus.

Para a seleção dos dados a serem investigados, optou-se por verificar os pontos de parada que hipoteticamente poderiam gerar maior impacto sonoro nas escolas, os quais seriam caracterizados por aqueles que estão localizados em frente ou na mesma calçada das escolas. Para aplicar os critérios de seleção, foi investigado um universo total com o número de 81 escolas com pontos de paradas próximos às escolas, ou seja, que possuíam menos de 50 metros de distância.

Como é possível observar na Figura 29, das 81 situações, 18 delas possuíam ponto de parada de ônibus em frente da escola, ou na mesma calçada lateral.

**Figura 269 - Escolas levantadas e mapeadas no mapa de Maceió- AL**



Fonte: Elaborada pela autora (2018)

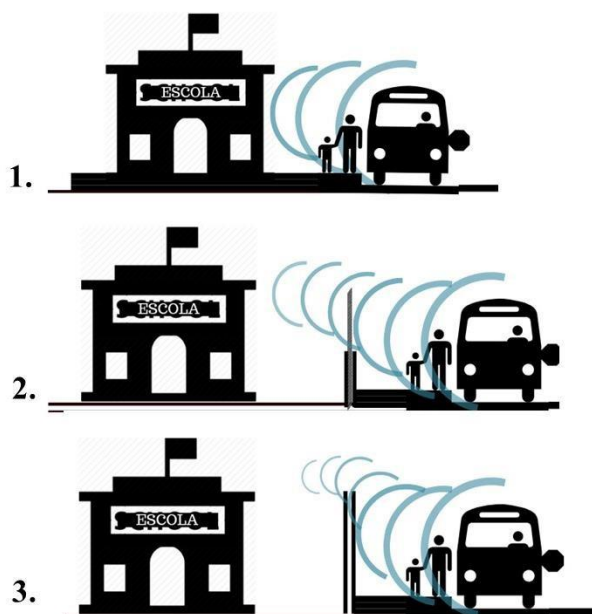
Com isso, o número de situações de escolas e pontos de parada a serem investigados diminuiu para 18. Sendo essas avaliadas nos próximos critérios de seleção estabelecidos a seguir.

#### 4.1.4 Variáveis arquitetônicas

Para a definição do recorte das variáveis arquitetônicas, observou-se que as 18 escolas apresentavam fachadas diferentes, a maior parte das situações apresentavam escolas com muros opacos com alturas que variam entre 2,7 a 3,7 metros de altura. Outras situações se apresentavam com muros híbridos, ou seja, parte vazada e parte opaca, onde, possuem aproximadamente 1,1 metro de muro opaco e 1,40 metros com grades.

Foram encontradas ainda situações com a ausência de muros e afastamentos, a fachada o elemento de separação entre o ambiente interno e a rua sendo a alvenaria dos ambientes a própria fachada, assim como ilustra o esquema da Figura 30.

Figura 30 - Tipos de fachadas das escolas levantadas



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Com o objetivo de avaliar situações de maior vulnerabilidade a exposição do ruído urbano, optou-se por prosseguir com os estudos das escolas que apresentassem muros híbridos ou que não possuíssem muros e afastamentos. Com isso, 10 escolas foram desconsideradas (Figura 28) pois foi possível identificar que 8 escolas se enquadravam nessas características, sendo 6 com muros híbridos e 2 escolas sem a presença de muros e afastamentos (Figura 31).

Figura 3127 - Fachada das escolas com muros opacos



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

As 8 situações encontradas, destacadas na Figura 32, se diferenciam por serem consideradas frágeis com relação a exposição dos ruídos pelo fato de possuírem muros vazados, ou nem possuírem muros ou afastamentos, características que dificultam a atenuação dos sons urbanos. Esses fatores se acentuam quando há a existência de pontos de parada de ônibus muito próximas a edificação.

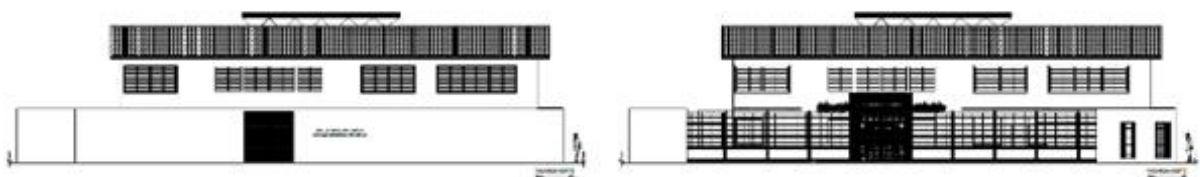
**Figura 3228 - Escolas com muros híbridos ou sem muros**



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Desde 2016, a prefeitura de Maceió vem reformando algumas escolas e substituindo os muros opacos por muros híbridos, ou seja, muros opacos e vazados (Figura 33). Na Figura 34, é possível visualizar alguns exemplos desses muros.

**Figura 33 - Escola Municipal Arnon de Melo antes e depois da reforma**



Fonte: Elaborado pela autora, 2019; SEMED, 2019.



**Figura 294 - Escolas municipais com muros opacos**



Fonte: Prefeitura de Maceió, 2018.








#### **4.1.5 Localização e classificação de vias e pontos de paradas**

Nessa etapa, foram aprofundados os levantamentos das escolas e seus respectivos pontos de parada de acordo com o resultado da investigação dos 8 pontos localizados próximos as edificações escolares. Desta maneira, foi possível obter informações relacionadas a classificação das vias, a estrutura de pavimentação delas, o fluxo viário, o número aproximado de veículos de ônibus que passam por cada ponto de parada no período de uma hora, além da localização de cada uma, assim como demonstra a Tabela 6 com escolas nomeadas com nomenclaturas indo de E1 a E8.

Ao verificar o fluxo de tráfego na via da E1, que se encontra na Rua José Jorge de Melo Gonçalves do Conjunto José da Silva Peixoto, é caracterizada por uma via do tipo local, não semaforizada, em asfalto. A E2 situada no bairro do Pontal da Barra, na rua Senador Arnon de Mello, em frente à praça Dr. Caio Porto apresenta via com tráfego rápido e é destinada a coletar e distribuir o trânsito dentro do próprio bairro.

A via da E3 está localizada na Av. Principal da UFAL, a escola possui fachada frontal voltada para uma via local de paralelepípedo, onde estão localizados dois pontos de paradas próximos a ela, entretanto, há um terceiro ponto de parada situado na mesma calçada de sua fachada lateral cuja via é caracterizada por uma via arterial em asfalto. Além da situação apresentar essa configuração com duas vias, a via local é caracterizada por ser a via de acesso principal a Universidade Federal de Alagoas, o que explica o número em destaque das frotas de ônibus com um número aproximado de 20 veículos nos 3 pontos avaliados no período de uma hora.

Quadro 4 - Caracterização dos pontos de paradas de cada escola

Referência do ponto de parada	Escola	Localização	Classificação da via / Tráfego (lento, moderado ou rápido)	Quantidade de ônibus por hora	Estrutura da via / Perfil da escola	
E1	Escola Municipal Arnon de Mello		Conjunto José da Silva Peixoto - Jacintinho	Local / Tráfego rápido	4	Asfalto / 2 pavimentos
E2	Escola Municipal Silvestre Péricles		Praça Dr. Caio Porto – Pontal da Barra	Local / Tráfego rápido	6	Asfalto / 2 pavimentos
E3	Escola Municipal Maria Carmelita Gama		Av. Principal da UFAL - Cidade Universitária	Local-Arterial / Tráfego rápido	20	Paralelepipedo- Asfalto / 2 pavimentos
E4	Escola Municipal João Sampaio		Rua Perimetral 5 - Petrópolis	Local / Tráfego rápido	10	Paralelepipedo / 1 pavimento
E5	Escola Municipal Zaneli Caldas		Praça da Maravilha, 87 - Poço	Coletora / Tráfego rápido	12	Asfalto / 2 pavimentos
E6	Escola Municipal Rui Palmeira		Av. Monte Castelo, 1029 - Vergel do Lago	Coletora-Local / Tráfego rápido	21	Asfalto / 2 pavimentos
E7	Escola Petrônio Viana		Conjunto Carminha – Benedito Bentes	Local / Tráfego rápido	2	Paralelepipedo / 1 pavimento

E8	Escola Municipal Hévia Valéria		Av. Dr. José Ailton – Cidade Universitária	Coletora / Tráfego rápido	6	Asfalto / 2 pavimentos
----	--------------------------------	---	--	---------------------------	---	------------------------

Fonte: Elaborada pela autora.

A via onde está situada a E4 localiza-se no bairro de Petrópolis, na rua Perimetral 5 de pavimentação do tipo paralelepípedo, sendo classificada como via local. Esta situação apresentou um número de 10 ônibus por hora porque o ponto avaliado se caracteriza por um Terminal de ônibus do bairro do Petrópolis. No caso da E5, a via é classificada como coletora e localiza-se na Rua da Praça Maravilha, caracterizada com pavimentação do tipo asfáltico.









Já a E6, possui via classificada como coletora, e localiza-se na Avenida Monte Castelo que apresenta características de tráfego rápido, porém observa-se um fluxo intenso de ônibus com 21 veículos por hora nos dois pontos avaliados. Além disso, a avenida permite a acessibilidade de várias vias secundárias e locais e suporta tráfego de aproximadamente 40 km/h de velocidade e é revestida em asfalto. Além do intenso tráfego dos transportes públicos, o volume de motocicletas também apresenta volume intenso.

A E7 está situada no Conjunto Carminha, é caracterizada como via local, revestida em paralelepípedo e possui fluxo rápido de veículos com o número de 2 ônibus por hora no ponto avaliado. No caso da E8, ela está inserida no bairro da Cidade Universitária, em uma via coletora, Av. José Ailton dos Santos, no conjunto Village Campestre, revestida em asfalto. A mesma apresentou o número de 6 ônibus por hora e possui tráfego rápido.

Para viabilizar o recorte desse trabalho, definiu-se investigar regiões que pudessem favorecer o estudo do desempenho do abrigo do ponto de ônibus como barreira acústica. Dessa forma, 3 situações mostraram pontos de paradas com localização supostamente propícias para a proteção de fachadas, sendo elas as situações E1, E3 e E6 (Quadro 4). Com isso, as cinco situações restantes não serão mais avaliadas nesse momento da pesquisa, sendo elas: E2, E4, E5, E7 e E8.

Com o recorte definido, as situações E1, E3 e E6 serão avaliadas com maior detalhe com relação aos impactos ambientais sonoros (Quadro 4).

**Quadro 5 - Localização dos pontos de paradas de cada escola**

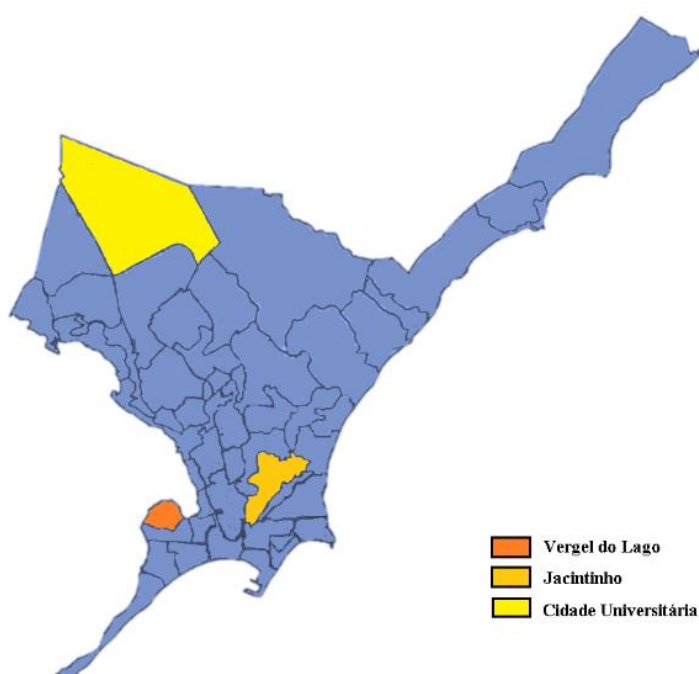
Referência do ponto de parada	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Localização do ponto de parada								
	Calçada frontal e adjacente frontal	Calçada adjacente frontal	Calçada frontal e adjacente frontal e lateral	Calçada adjacente lateral	Calçada adjacente frontal	Calçada lateral e adjacente lateral	Calçada adjacente lateral	Calçada adjacente frontal

Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.2 ETAPA 02 – CARACTERIZAÇÃO E LEVANTAMENTO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Essa etapa foi definida pela realização de um levantamento dos mapas dos bairros onde estão localizadas as escolas selecionadas (E1, E3 e E6), determinando a localização dos pontos de paradas de ônibus e escolas. O mapa da cidade de Maceió - AL apresentado na Figura 35 indica com destaque os bairros das áreas de estudos selecionados, são eles: o bairro da Cidade Universitária que hospeda a escola E3, o Jacintinho com a escola E1 e o bairro do Vergel do Lago com a escola E6.

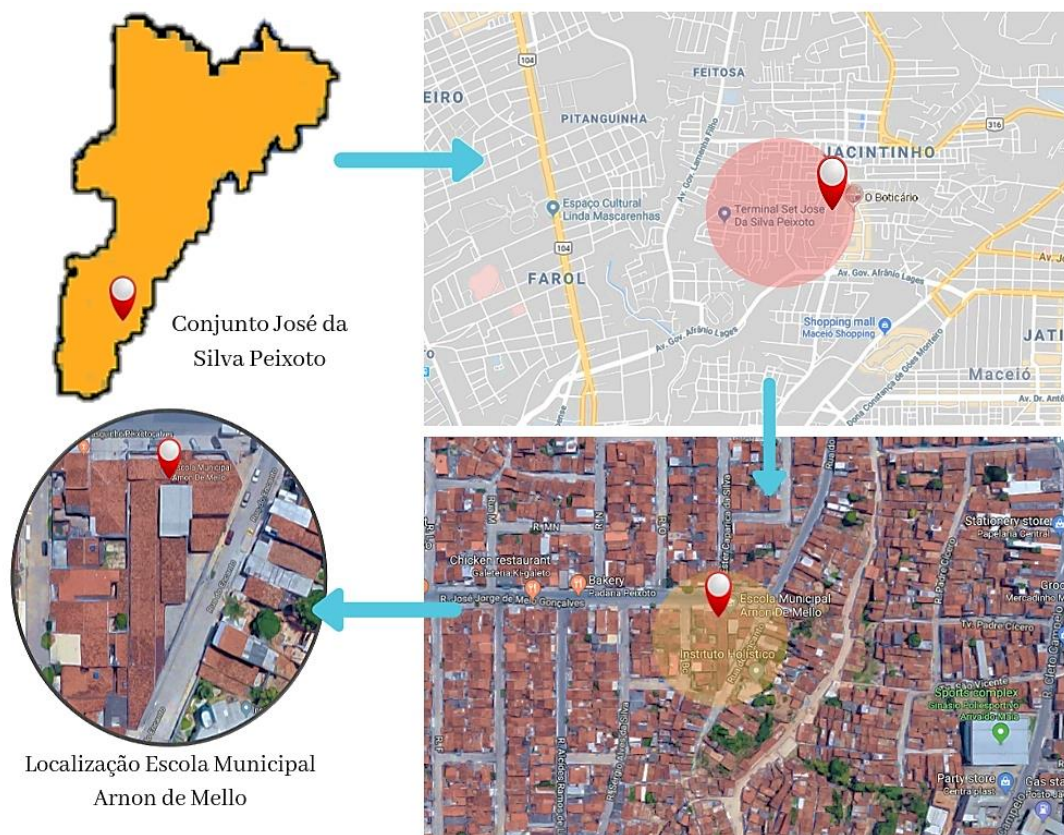
Figura 305 - Mapa de Maceió com destaque para os bairros da Cidade Universitária, Jacintinho e Vergel do Lago.



Fonte: Google Maps, 2019;

A região selecionada da Escola Municipal Arnon de Melo (E1) se encontra no Conjunto José da Silva Peixoto, bairro de Jacintinho (Figura 36), um dos bairros mais populosos da cidade com aproximadamente duzentos mil habitantes. O bairro tem características mistas com comércio e residências, com diversidade de comércio e serviços que funcionam inclusive em finais de semana. A escola Arnon de Melo (E1) é responsável pelo ensino fundamental de crianças e de jovens e adultos das áreas circunvizinhas. Ela possui o total de 461 alunos matriculados, 65 funcionários e 8 salas de aula. Está localizada na Rua A do Conjunto José da Silva Peixoto e apresenta dois pontos de parada de ônibus em suas proximidades, sendo um exatamente na calçada frontal da escola.



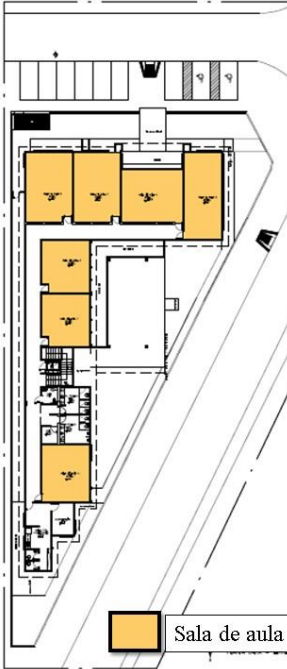


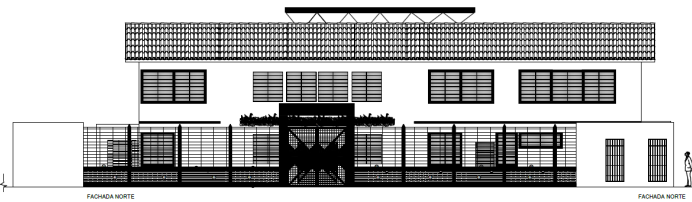

Figura 316 – Mapa do Jacintinho com destaque para a situação da escola E1



Fonte: Adaptado de Google Maps, 2019.

Após a identificação geográfica, foi elaborado um Quadro 4, no qual está inserido o gabarito de alturas das edificações da região de estudo da escola E1; plantas baixas dos pavimentos térreo e superior com destaques para os ambientes nos quais os níveis de ruído de fundo devem ser inferiores a 50 dB ponderados em A, como é o caso das salas de aula, que estão representadas pela cor amarela e a biblioteca, representada pela cor violeta; informações sobre as vias e arquitetura da escola; imagens dos pontos de parada de ônibus presentes na área e imagens da fachada frontal da escola em estudo.

Quadro 6 – Ficha de caracterização da escola E1

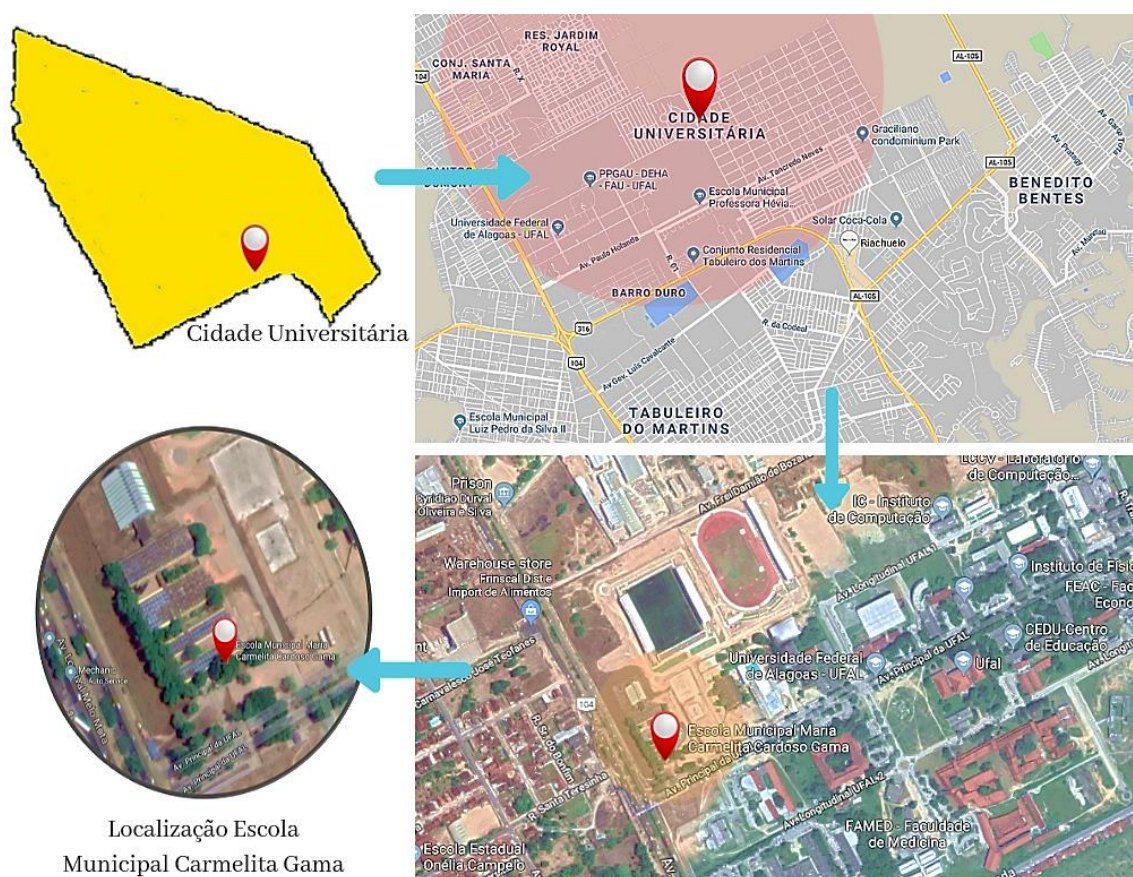
<b>E1</b>		
 <p> <span style="color: yellow;">●</span> Escola  <span style="color: orange;">●</span> 1 pavimento  <span style="color: red;">●</span> 2 pavimentos   Ponto de parada         </p> <p><b>Gabarito com alturas das edificações</b></p>	 <p><b>Planta baixa- pavimento térreo</b></p>	 <p><b>Planta baixa- Pavimento Superior</b></p>
<p><b>Tipo de via:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coletora com pistas de sentido duplo;</li> <li>- Velocidade dos veículos de até 50km/h.</li> </ul>	 <p><b>Tipologia dos pontos de parada localizados próximos à escola</b></p>	
<p><b>Estrutura da via:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pavimento asfáltico em bom estado de conservação;</li> <li>-Superfície plana;</li> <li>-Lombada próxima a 10 metros da escola.</li> </ul>	 <p><b>Fachada frontal</b></p>	
<p><b>Volumetria:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escola com 2 pavimentos com janelas voltadas para a rua;</li> <li>- Margeada por edificações de até 2 pavimentos.</li> </ul>	 <p><b>Vista da escola</b></p>	

Fonte: Elaborado pela autora.

A segunda região selecionada pertence ao bairro da Cidade Universitária. Este bairro surgiu em função da criação do Hospital Universitário na década de 50. Hoje ele conta com cerca de doze complexos habitacionais e possui uma das maiores extensões territoriais do município. A escola localizada nessa região é a Escola Municipal Carmelita Cardoso Gama (E3).

Ela é responsável pelo ensino nos níveis infantil e fundamental, possui 18 salas, 67 funcionários e cerca de 640 alunos no total. A E3 localiza-se no cruzamento entre a Av. Principal da UFAL e a Av. Lourival Melo Mota. Ao redor dela, notou-se a presença de três pontos de paradas de ônibus circunvizinhas, onde o fluxo de veículos de transporte coletivo é de 20 por hora. Na figura 37 é possível observar sua localização no mapa do bairro.


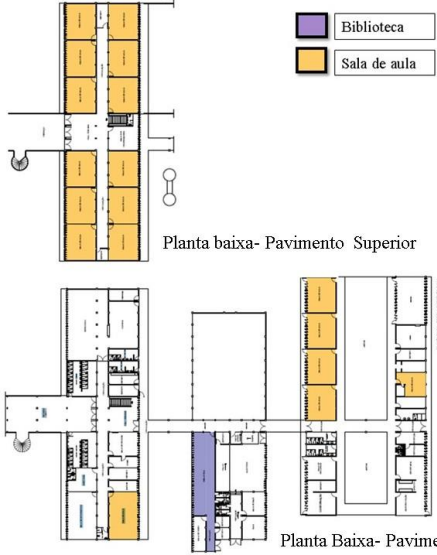

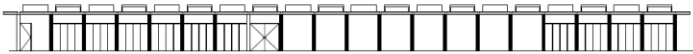


Figura 327- Mapa da Cidade Universitária e mapa de situação da escola E3



Fonte: Adaptado de Google Maps, 2019.

No Quadro 7, estão o gabarito da região, a planta baixa térrea e o pavimento superior do terceiro bloco da escola E6, com os destaques para as salas de aula em amarelo e a biblioteca em violeta, além das imagens e informações sobre vias e pontos de paradas de ônibus encontrados.

Quadro 7 – Ficha de caracterização da escola E3

<b>E3- Escola Carmelita Gama</b>	
 <p style="text-align: center;"><b>Gabarito com alturas das edificações</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>Planta baixa pavimento térreo e superior</b></p>
<p><b>Tipo de via:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Local com pistas de único sentido; Velocidade dos veículos de até 30km/h.</li> </ul> <p>Arterial com pista de único sentido; Velocidade dos veículos de até 70 km/h</p> <p><b>Estrutura da via:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paralelepípedo em bom estado de conservação; superfície plana; lombada próxima a 10 metros da escola.</li> <li>- Pavimento asfáltico; superfície plana; Sinal semafórico a 20 metros da escola;</li> </ul> <p><b>Perfil da escola:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escola com 3 blocos, sendo um com dois pavimentos;</li> <li>- Recuos espaçados de primeiro andar com janelas das salas de aula situadas no fundo do terreno;</li> <li>-Espaçamento de aproximadamente 20 metros de outras edificações;</li> </ul>	 <p style="text-align: center;"><b>Tipologia dos pontos de parada localizados próximos à escola</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Fachada frontal</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Vista da escola</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Vista da Avenida Durval de Góes Monteiro</b></p>

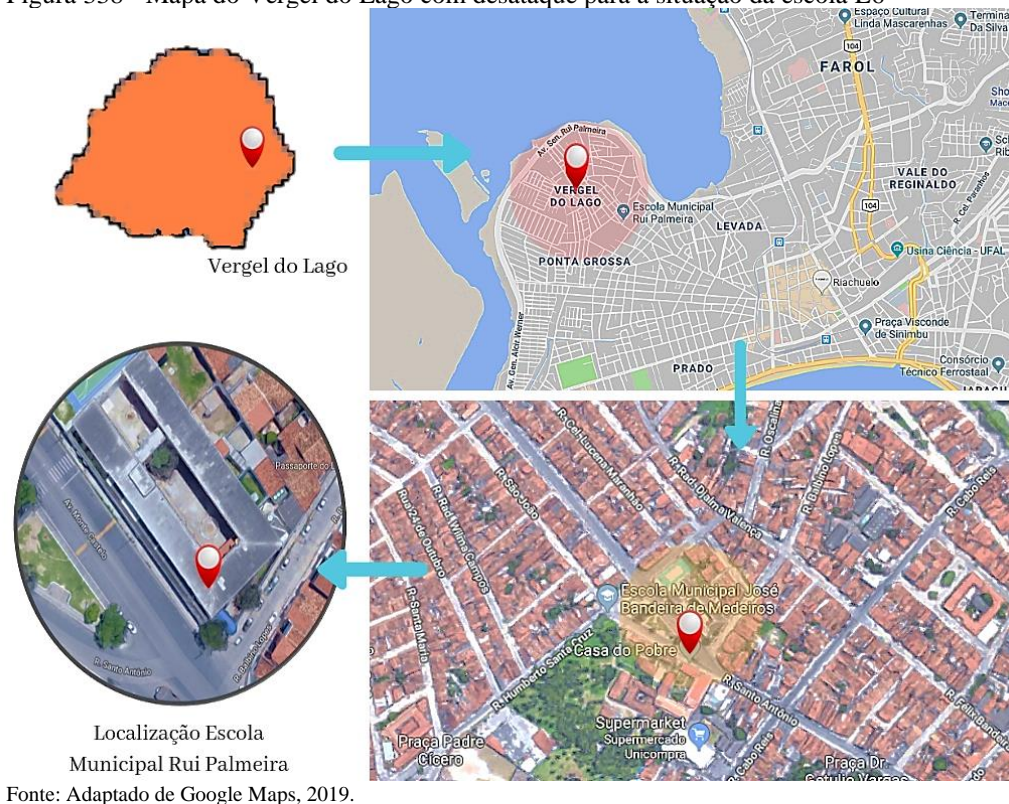
Fonte: Elaborado pela autora.



A terceira situação selecionada foi a Escola Municipal Rui Palmeira (E6) localizada na zona sul de Maceió-AL, no bairro do Vergel do Lago, o sétimo mais populoso. O bairro possui cerca de 32 mil habitantes e é margeado pela Lagoa Mundaú, responsável por promover o sustento de grande parte das famílias da região através da pesca. A escola possui mais de 50 anos de existência e é considerada uma das mais antigas da rede municipal de ensino.



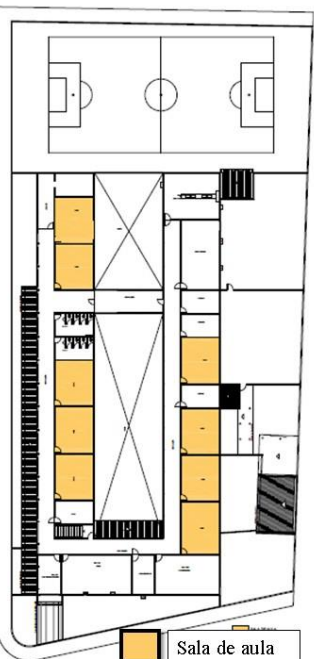

Além disso, ela conta com 67 funcionários e atende a quase 800 alunos. A mesma encontra-se inserida em área urbana na Avenida Monte Castelo com vias de acabamento em asfalto. Nas imediações da escola, foram identificados dois pontos de parada de ônibus, um na mesma calçada da edificação, e um segundo ponto do outro lado da avenida, os quais são responsáveis por receber o número de 21 ônibus por hora. Na Figura 38, é possível observar onde ela está inserida dentro do bairro.

Figura 338 - Mapa do Vergel do Lago com desataque para a situação da escola E6



Nessa etapa, foi necessário levantar os dados físicos no contorno das regiões selecionadas para o estudo, como por exemplo: a largura das calçadas, as alturas das edificações, as distâncias das paradas que circunvizinham a escola. Para o levantamento das alturas, foram estabelecidos 3 metros de altura para edificações térreas e 6 metros para edificações com um pavimento, a catalogação foi processada através de visitas *in loco* com complementação da visualização no Google Earth e mapas cadastrais (fornecidos pela Prefeitura de Maceió).

Quadro 8 – Ficha de caracterização da escola E6

<b>E6- Escola Rui Palmeira</b>		
 <p> <span style="color: yellow;">●</span> Escola  <span style="color: orange;">●</span> 1 pavimento  <span style="color: red;">●</span> 2 pavimentos   Ponto de parada         </p> <p><b>Gabarito com alturas das edificações</b></p>	 <p><b>Planta baixa- pavimento térreo</b></p>	 <p><b>Planta baixa- Pavimento Superior</b></p>
<p><b>Tipo de via:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coletora com pistas de duplo sentido;</li> <li>- Velocidade dos veículos de até 50km/h.</li> </ul>	 <p><b>Tipologia dos pontos de parada localizados próximos à escola</b></p>	
<p><b>Estrutura da via:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paralelepípedo em bom estado de conservação; superfície plana;</li> <li>- Pavimento asfáltico; superfície plana; Sinal semafórico a 20 metros da escola;</li> </ul>	 <p><b>Fachada lateral</b></p>	
<p><b>Perfil da escola:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escola com recuos mínimos;</li> <li>- Janelas das salas de aula voltadas circulação voltada para a rua;</li> <li>- Escola margeada por edificações de até 2 pavimentos;</li> </ul>	 <p><b>Vista da escola</b></p>	

Fonte: Elaborado pela autora;

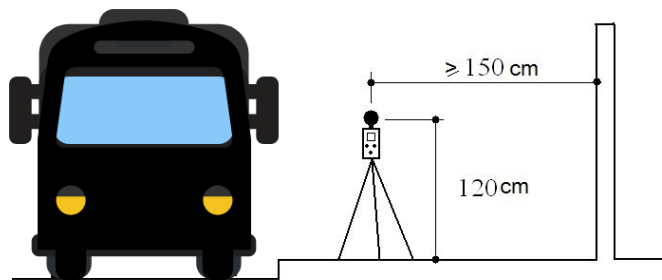
### 4.3 ETAPA 03 – LEVANTAMENTO DE DADOS ACÚSTICOS

As ações executadas posteriormente foram os levantamentos dos dados dos níveis de pressão sonora das áreas em recorte. As medições registraram os ruídos ambientais provocados, principalmente, pelo tráfego de veículos próximos aos pontos de parada de ônibus.

Um fator importante a ser destacado está relacionado à inclinação das ruas. Nos recortes em estudo, as ruas não possuíam inclinação superior a 0,5%, com isso, o funcionamento dos motores dos veículos fora considerado normal, ou seja, não foram forçados como nos casos de ruas com inclinações superiores a 0,5%. Foram realizadas medições dos níveis de pressão sonora (NPS's) em cada rua junto ao perímetro do terreno, sobretudo nos abrigos de ponto de parada.

As normas NBR 10151 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade (ABNT,2019), foram seguidas, adotando-se o posicionamento do sonômetro a 1,20 m do chão e 1,5 m de superfícies refletoras, assim como ilustra a Figura 39.

Figura 39- Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora



Fonte: Elaborado pela autora.

Os levantamentos de dados dos ruídos ambientais foram feitos nas vias que circundam a edificação escolar e nos próprios abrigos dos pontos de parada durante a semana (segundas às sextas-feiras) em horários comerciais específicos estabelecidos de 8h às 18h, por serem os horários como de maiores fluxos de tráfego, evitando-se acontecimentos atípicos de fins de semana e feriados.

De acordo com a ABNT NBR 10151 (2019), o tempo da medição deve ser definido de modo que se permita a caracterização sonora do objeto de estudo. Com isso, foi estabelecido um tempo de medição em cada ponto correspondente a um período 5 minutos. Em cada ponto, foi realizado o total de 3 medições para o cálculo médio de cada ponto. Além disso, durante o

período das medições, foi contabilizado o número de motos, veículos leves e veículos pesados em cada um deles, simultaneamente.

Esses dados levantados foram necessários para nortear e conduzem as simulações computacionais no software CadnaA que, responsável por gerar os mapas acústicos das áreas de estudo. Para as mensurações adotou-se como equipamento o medidor de pressão sonora da 01dB- Metravib Solo (Figura 40), com os resultados em bandas de 1/3 de oitava de frequência, possibilitando obter os valores de  $L_{Aeq}$ .

O equipamento foi calibrado em 94 dB tal qual recomenda-se o manual de instrução, sendo certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), conforme o Certificado de Calibração.

Figura 4034 - Equipamento de medição 01dB - Metravib Solo



Fonte: Site Albiz, 2018; Autora;

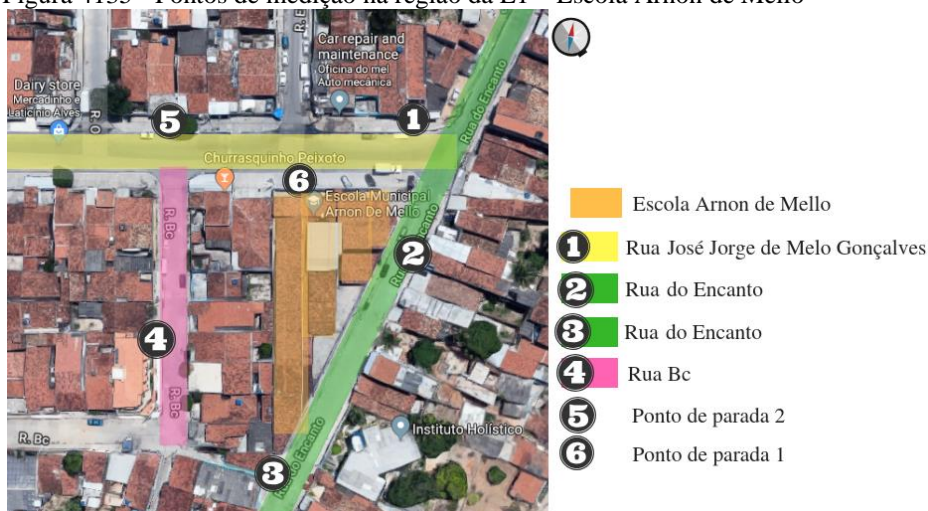
### 4.3.1 Pontos de medição

As medições acústicas feitas nas E1, E3 e E6 foram realizadas nos pontos centrais de cada rua circunvizinha à edificação escolar, acrescentadas as medições nos pontos de parada de ônibus. A seguir, é possível observar a marcação de cada ponto nas respectivas situações:

#### 4.3.1.1 Caso E1 – Escola Municipal Arnon de Melo

Na região de estudo da E1 foram locados um total de 6 pontos de medição dispostos da seguinte maneira: (1) na Rua José de Melo Gonçalves, (2) e (3) na Rua do Encanto, (4) Rua Bc e os (5) e (6) inseridos nos pontos de paradas encontrados próximos à escola. Na Figura 41 é possível identificar o posicionamento dos pontos no recorte do mapa.

Figura 4135 - Pontos de medição na região da E1 – Escola Arnon de Mello



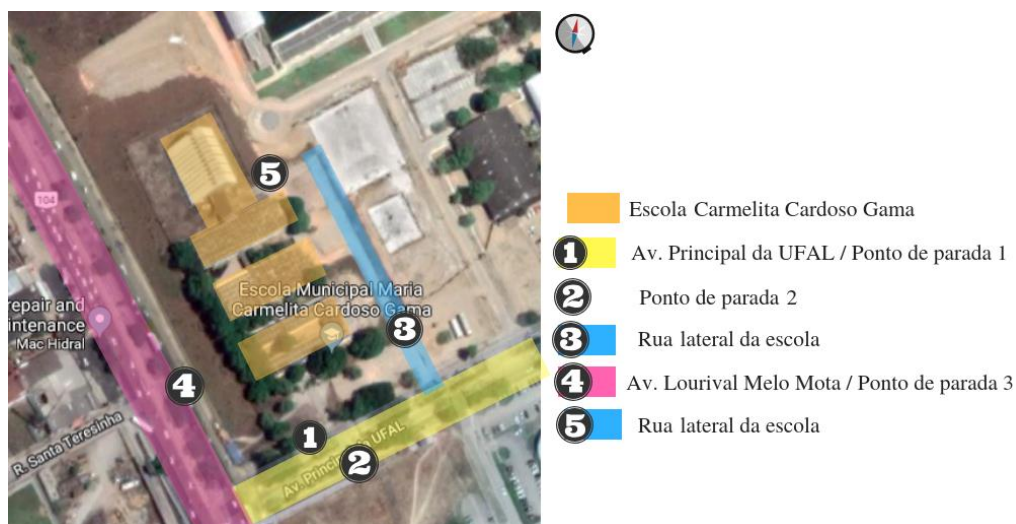
Fonte: Elaborado pela autora.

Nos seis pontos de medições estabelecidos inicialmente, foram medidos os níveis de pressão sonora equivalente em cada um deles, foram encontrados valores em dB do nível médio da pressão sonora ponderados em A (LAeq). No momento da medição de cada ponto foram contabilizados o número de veículos leves, veículos pesados e motos.

#### 4.3.1.2 Caso E3 – Escola Municipal Carmelita Cardoso Gama

No estudo da E3 os pontos foram distribuídos assim como mostra a Figura 42 de tal modo que: (1) e (2) na Av. Principal da UFAL, assim como os respectivos pontos de parada 1 e 2 localizados em frente à escola, (3) e (5) Rua lateral da escola e o ponto (4) na Avenida Lourival Melo Mota, onde se encontra também o ponto de parada 3, localizada na lateral da escola Carmelita Cardoso Gama.

Figura 4236 - Pontos de medição na região da E3 – Escola Carmelita Cardoso Gama

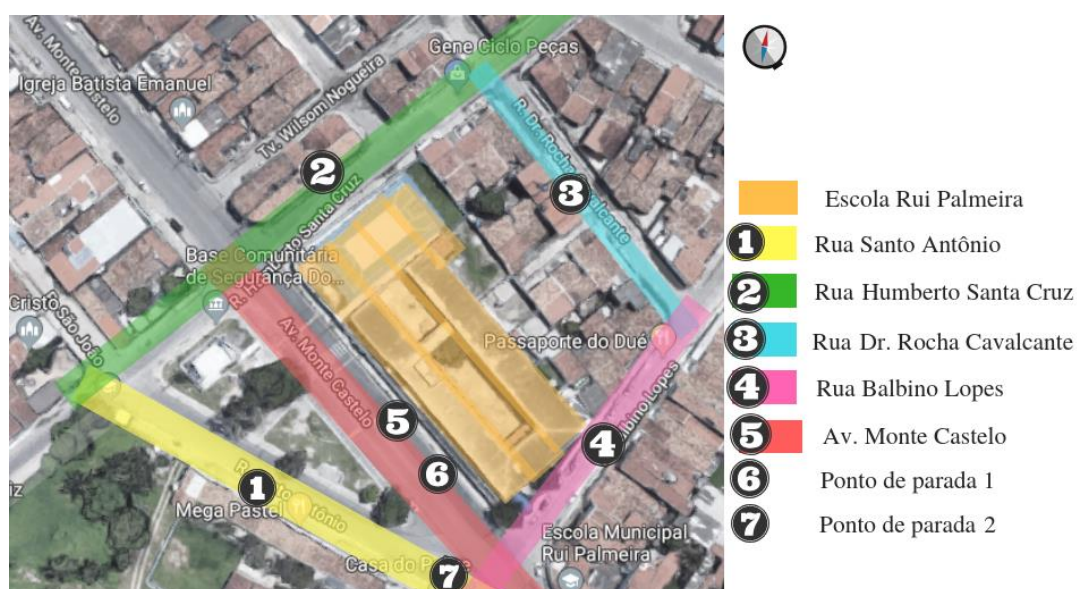


Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.3.1 Caso E6 – Escola Municipal Rui Palmeira

Na terceira situação selecionada (E6), os pontos de medição foram posicionados da seguinte forma: (1) na Rua Santo Antônio, (2) Rua Humberto Santa Cruz, (3) Rua Dr. Rocha Cavalcante, (4) Rua Balbino Lopes, (5) e (6) e (7) na Avenida Monte Castelo, sendo os pontos (6) e (7) os pontos de paradas 1 e 2, sendo o (6) localizado na mesma calçada que a escola Rui Palmeira e (7) em frente à escola. Na Figura 43 é possível identificar esses pontos no mapa.

Figura 373 - Pontos de medição na região da E6 – Escola Rui Palmeira



Fonte: Elaborado pela autora.

Com a efetivação das medições, a transferência de dados foi realizada com o *software* dBati para o computador para que pudessem ser analisados. As informações foram transportadas para o *software* Cadna-A, da Datakustik GMBH, 2005, versão 4.4., para verificação das simulações representadas no subcapítulo a seguir. As questões obtidas nesta etapa serviram para análise da influência dos pontos de parada no ambiente sonoro próximos e distantes das escolas.

#### 4.3.2 Softwares

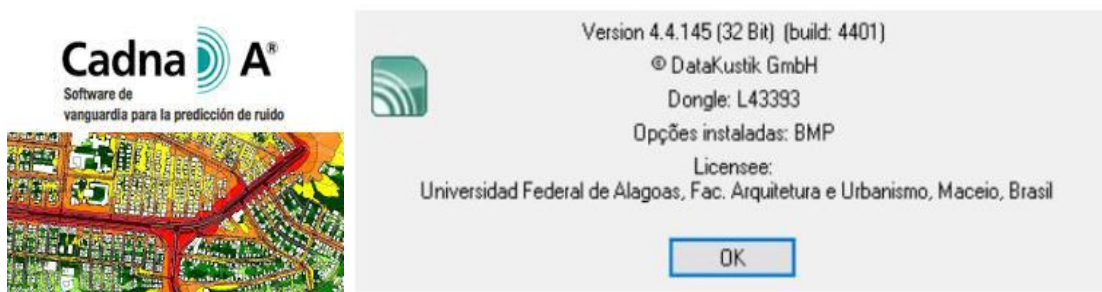
Para a execução do mapeamento das escolas foi usado o *software* Autocad versão de 2017, da Autodesk. A criação desses mapas contou com as referências fornecidas pelo Google Earth com última atualização no ano de 2017. A utilização dos aplicativos Citta Mobi e Moovit auxiliaram a coletar alguns dados estatísticos sobre os transportes urbanos da cidade viabilizando a locação dos pontos de paradas de ônibus no mapa e fazer a contagem da frota dos ônibus em cada ponto.

O CittaMobi, *software* utilizado pela Superintendência Municipal de Trânsito e Transportes de Maceió, é uma empresa de tecnologia líder em gestão e monitoramento de transporte público capaz de contabilizar os dados dos ônibus em tempo real. Nele é possível visualizar as linhas e veículos cadastrados em seu sistema, como também, os pontos de paradas de ônibus mapeados. O Moovit possui as mesmas características do CittaMobi, mas não é restrito apenas às linhas de ônibus, ele é capaz de oferecer dados estatísticos da mobilidade urbana de cada cidade.

Após a fase de medições, foi utilizado o *software* dBTrait que é um *software* dedicado ao pós-processamento de dados de som, vibração e clima que são gerados pelo sonômetro da 01dB. Depois da obtenção dos dados acústicos foi utilizado o software de elaboração de mapas sonoros, Cadna-A, (Computer Aided Noise Abatement) da Datakustik versão 4.4. O programa leva em consideração todos os indicadores propensos a influenciar na transmissão e recepção de ruído.

O Cadna-A é considerado um dos programas mais utilizados nacionalmente e internacionalmente (PINTO; MARDONES, 2009; SURIANO et al., 2013; BARROS, 2016; BRASILEIRO, 2017; OLIVEIRA, 2017). É importante destacar que a licença para o uso do programa pertence ao Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro (GEAS) da Universidade Federal de Alagoas (Figura 44). O *software* é aproveitado para avaliação e cálculo do ruído com capacidade de arquivar e gerenciar inúmeras informações, calculando os níveis de ruído ambiental, fazendo previsões do ruído e comparando com a poluição acústica, mostrando em sistemas de mapas nos quais as áreas coloridas traduzem os intervalos de valores de ruído.

Figura 384 - Licença do software Cadna-A para a Unidade Federal de Alagoas



Fonte: Datakustik, 2018;

#### 4.4 ETAPA 04 – MAPAS SONOROS

Para a confecção dos mapas, foram levantados dados morfológicos das áreas de estudo utilizando processos explicados anteriormente. Para que pudessem ser feitas as simulações acústicas foram importados para o programa Cadna-A (Computer Aided Noise

Abatement) arquivos em formato dxf oriundos do AutoCad. A partir daí, foi configurada a modelagem geométrica mais próxima da realidade com a configuração das alturas das edificações e a largura das ruas dentro do software.

Além disso, foram inseridos dados de LAeq coletados em campo e dados do tráfego (fluxo, composição do veículo e velocidade média). Em cada via, foi colocada a quantidade máxima de veículos, a porcentagem de veículos pesados, acrescentado do LAeq medido em campo, o limite de velocidade médio e o sentido das ruas. Com isso, foi possível observar os seguintes aspectos: as fontes de ruído, as principais vias com seus índices de ruído e a análise do entorno.

As fontes sonoras de ruído podem ser representadas neste software por estradas, indústrias, fontes pontuais ou lineares. No caso, foram usadas fontes lineares para retratar o barulho das vias. Outro fator a ser destacado é que no CadnaA não é necessário fazer medições em todos os pontos da área de recorte porque o software calcula os níveis de pressão sonora interpolando os pontos de pressão sonora medidos a partir das equações da norma ISO 9613, nesse trabalho foi considerada uma malha de 2 por 2 metros.

O programa também considera parâmetros que influenciam na emissão, propagação e recepção de ruído, baseado em um modelo computacional com algumas camadas como: topografia que propaga as curvas de nível, edificações que são as massas edificadas e as rodovias que fazem parte da região. Para os cálculos, foi usado o mapa com a opção de absorção do solo, onde foram adotados os seguintes coeficientes de absorção: concreto 0,2, terra 0,5 e vegetação 0,7.

Nas configurações de cálculos, com relação ao clima, foram adotados valores de temperatura e umidade de 30C° e 70%, respectivamente. Com a modelagem feita, as fontes de ruído puderam ser identificadas e caracterizadas a fim de gerar cálculos de simulação, assim tem-se o mapa base. O método empregado na análise foi a confrontação entre simulações de diferentes cenários sonoros urbanos para um mesmo recorte espacial e que envolveram modificações no tipo de abrigo em cada situação.

As simulações foram realizadas em dois cenários com a inserção dos dados de NPS medidos na envoltória escolar, conseqüentemente, nos pontos de parada de ônibus. O primeiro cenário foi caracterizado com a situação real dos abrigos de ônibus e o segundo com um abrigo modelo sugerido. Depois da efetivação dos procedimentos narrados para a modelagem acústica, efetuou-se a etapa de cálculo das linhas e obtenção dos mapeamentos acústicos do cenário acústico atual e dos cenários hipotéticos.



Os resultados do mapa retratam os intervalos dos valores de ruído. O Quadro 9 está relacionada aos preceitos para o diagnóstico do campo acústico estudado. Esses parâmetros foram utilizados nas simulações.

Quadro 9 - Parâmetros de cálculo global usados nos modelos em estudo

<b>Parâmetro</b>	<b>Valores inseridos no CadnaA</b>
<b>Norma de emissão rodoviária</b>	RLS-90
<b>Norma propagação sonora</b>	ISO 9613
<b>Coefficiente de Incerteza de propagação</b>	3*Log10(d/10)
<b>Malha de cálculo</b>	2x2 m
<b>Número de reflexões</b>	2
<b>Absorção do solo</b>	Concreto - 0,2 Terra - 0,5 Vegetação - 0,7
<b>Absorção das edificações</b>	0,21 <sup>2</sup>
<b>Pavimentação da rodovia</b>	Estritamente RLS-9
<b>Interpolação do Grid</b>	17*17
<b>Distância máxima fonte-receptor</b>	1000,00 m
<b>Distância mínima receptor-refletor</b>	1,00 m
<b>Distância mínima fonte-refletor</b>	0,10 m
<b>Período diurno</b>	6h às 18h
<b>Período noturno</b>	18h às 6h
<b>Temperatura média</b>	30°C
<b>Umidade relativa média</b>	70%

Fonte: Datakustik, 2018 adaptado pela autora;

Os esquemas de coordenadas escolhidas foram feitos com medidas proporcionais à área. Para o mapeamento sonoro também foram utilizados os métodos das medições sonoras utilizadas neste estudo, descritos na norma ISO 9613-2 de 1996. Também foram adotados os valores de absorção e reflexão de acordo com as situações existentes nos cenários modelados. A altura do receptor foi colocada a 1,20m do chão, que é a mesma altura estabelecida nas medições acústicas recomendadas pela NBR 10151 (ABNT,2019).

No Quadro 10 é possível compreender as etapas seguidas para a geração dos mapas. As inserções dos dados sobre o ruído de tráfego foram calculadas de acordo com os valores de  $L_{Aeq}$

<sup>2</sup> O valor de 0,21 corresponde a edificações com “fachada lisa/ barreira refletiva”, corresponde a uma perda de 1dB a cada reflexão das ondas sonoras. Esse é o valor mais conservador proposto pelo CadnaA para fachadas

medidos *in loco* em cada uma das vias onde foram locados os pontos de medição, a velocidade média de cada via, o tipo de superfície do asfalto, a quantidade total de veículos e a percentagem de veículos pesados em cada uma das ruas avaliadas.

Quadro 10- Etapas para a confecção dos mapas sonoros

Etapa	Procedimentos metodológicos
<b>1. Inserir vias, semáforos e viadutos</b>	Para cada via, foram atribuídas as propriedades físicas e o comportamento do fluxo do tráfego (fluxo veicular, velocidade dos veículos, tipo de pavimentação, largura, etc).
<b>2. Inserir edificações</b>	Deve-se ajustar a altura com base do mapa real da região, para que as edificações sejam compatibilizadas sobre a topografia.
<b>3. Delimitar área de simulação e receptores pontuais</b>	Para calibrar o modelo é necessário calcular o <i>Single Point Receivers Sound (SPS)</i> <sup>3</sup> . Compara-se os dados medidos com os dados simulados a fim de calibrar o modelo. Realizar ajustes se necessário.
<b>4. Gerar mapas sonoros</b>	Deve-se atribuir as propriedades da malha de cálculo, e o número de reflexões. Ao término do cálculo, o programa gera os resultados.

.Fonte : adaptado de (FLORÊNCIO, 2018)

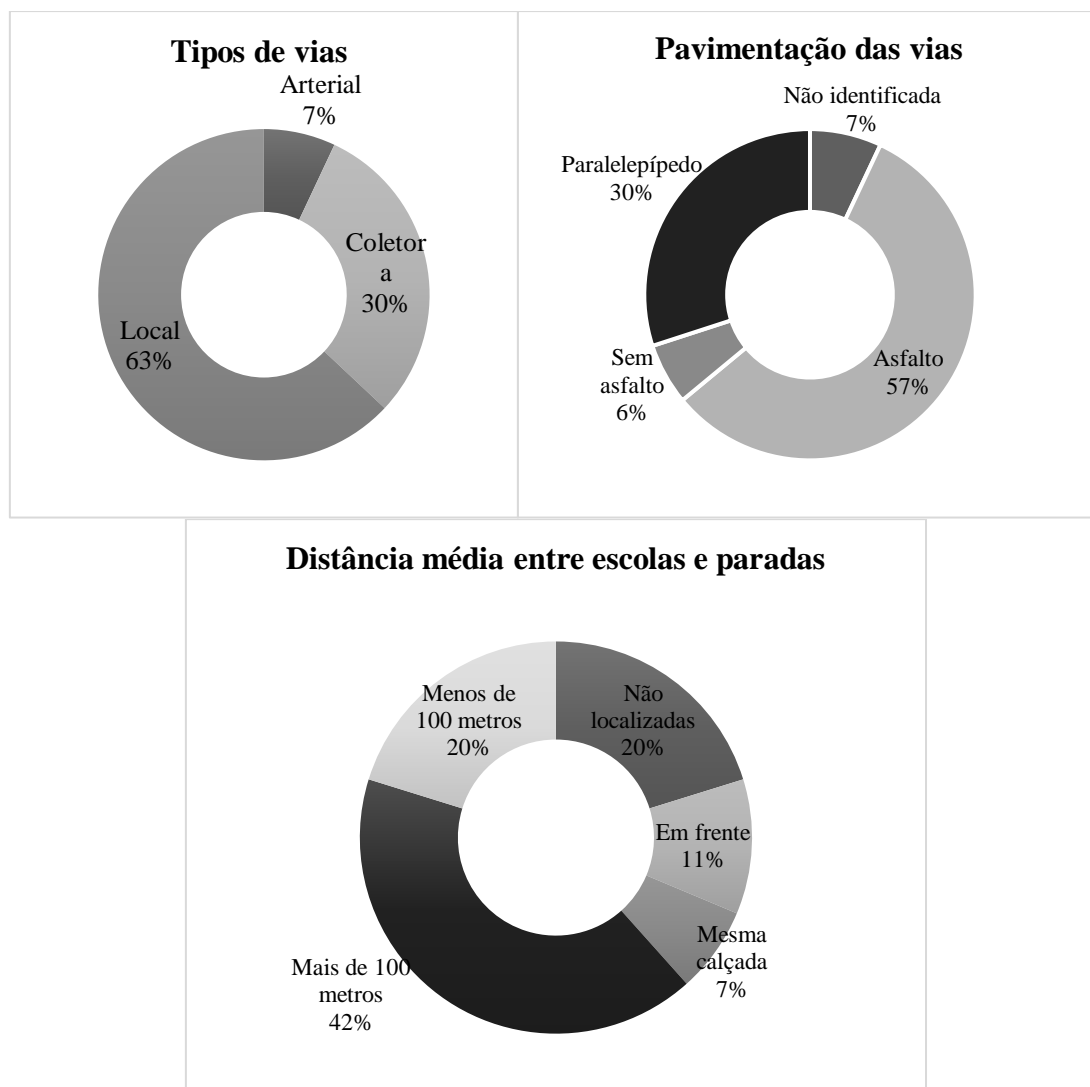
## ANÁLISE E RESULTADOS

## 5 ANÁLISE E RESULTADOS

Na etapa do levantamento dos dados foi observado que apenas 7% das escolas se localizavam em vias arteriais, 30% coletoras e 7% locais, como mostra o Gráfico 9. Investigando as estruturas das vias quanto ao tipo de pavimento, foi observado que, em sua maioria, 57%, caracterizam-se como vias asfaltadas, 30% como ruas com paralelepípedo e 9% das ruas o asfalto de qualquer tipo é inexistente.

Também foi visto que 42% dos pontos de parada estão afastados das escolas em mais de 100 metros de distância, outros 20% localizados a menos de 100 metros. Os pontos de paradas localizadas em frente às escolas foram levantados em 11% do número total e apenas 7% possuíam implantação na mesma calçada que a escola, assim como estão ilustrados no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Dados sobre vias e pontos de paradas levantados



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

### 5.1 ESTUDO DE CASO: ABRIGO E ESCOLA ARNON DE MELO - E1

Além da contabilização do fluxo de tráfego no momento da medição de cada um dos seis pontos inseridos nesse objeto de estudo, foi mapeada a altura das edificações no recorte estudado. Como mostra a Figura 45, edificações de um pavimento são predominantes no recorte estabelecido.

Figura 395 - Pontos de medição na região em estudo - E1

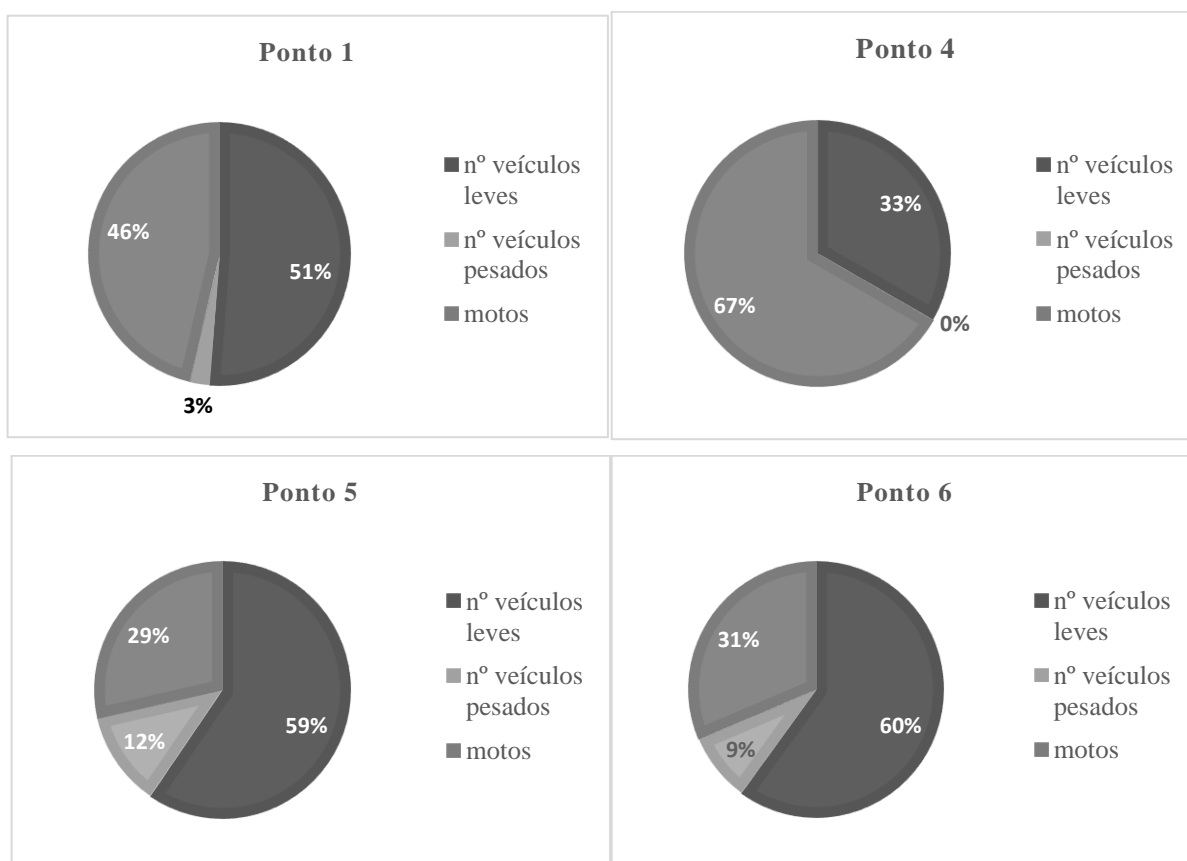


Fonte: Elaborado pela autora, 2018

O Gráfico 8 apresenta os dados relacionados a contagem dos veículos em cada ponto de medição, sendo eles veículos leves (carros), veículos pesados (ônibus e caminhões) e motocicletas. O ponto 2, localizado na rua adjacente a escola Arnon de Mello, Rua do Encanto, está inserida em área residencial, e é uma via local e sem saída para os automóveis, acesso apenas de pedestres. Por esse motivo, justifica-se a ausência de veículo nesse ponto no momento da medição.

A mesma situação acontece com o ponto 3 que se encontra na rua posterior à escola, também não foi contabilizado nenhum veículo transeunte no local no momento da medição, o que pode ser justificado pela estrutura viária inacessível para o trânsito de veículos leves ou pesados devido às suas dimensões.

Gráfico 8- Percentagem do fluxo de veículos nas vias dos pontos 1,4,5 e 6.



Fonte: Elaborado pela autora

O ponto 4 apresentou maiores indicações para as motocicletas e não foi contabilizada a presença de nenhum veículo pesado. Já os pontos 1, 5 e 6, obtiveram maiores percentagens para os veículos leves e pesados, que pode ser justificado pela locação deles na principal rua do Conjunto José da Silva Peixoto, a rua José Jorge de Melo Gonçalves. A rua é classificada como coletora e faz parte do percurso de algumas linhas de ônibus da cidade.

### 5.1.1 Medições acústicas: Caso E1

Após a realização das contagens dos veículos e das medições acústicas *in loco*, foi elaborada a Tabela 5 para sintetizar a coleta desses dados. Na tabela, estão inseridas mais algumas informações como: os tipos de pavimentação da rua, localidade dos pontos onde foram realizadas as aferições; contagem para cada tipo de veículo, sendo eles veículos leves (carros), veículos pesados (ônibus e caminhão) e motos; e os valores de nível de ruído médio ( $L_{Aeq}$ ), máximo ( $L_{máx}$ ) e mínimo ( $L_{mín}$ ) encontrados em cada um dos seis pontos de medição e outras observações que podem ser relevantes para o estudo.

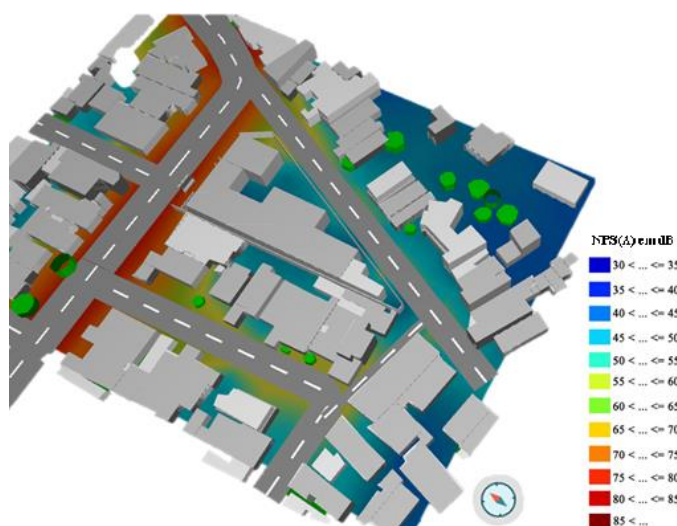
.Tabela 5 - Valores do ruído ambiental em cada ponto de medição

Ponto	Pavimento	Observação	Quant. / Porcent.						LAeq	Lmáx	Lmín	
			Moto		Veículos leves		Veículos pesados					Total
			Nº	(%)	Nº	(%)	Nº	(%)				
1	Asfalto	Rua da Fachada principal da escola	19	46	21	51	1	3	41	<b>66,3</b>	81,2	44,3
2	Paralelepípedo	-	0	0	0	0	0	0	0	<b>53,1</b>	66,2	46,6
3	Paralelepípedo	Rua com Acesso restrito a pedestres	0	0	0	0		0	0	<b>51,6</b>	62,6	43,9
4	Paralelepípedo	-	2	6	1	33	0	0	3	<b>53,7</b>	67,6	44,1
5	Asfalto	Ponto de parada	12	12	25	59	5	29	42	<b>68,7</b>	84,0	53,4
6	Asfalto	Ponto de parada	11	31	21	60	3	9	35	<b>68,7</b>	87,8	45,0

Fonte: Elaborado pela autora.

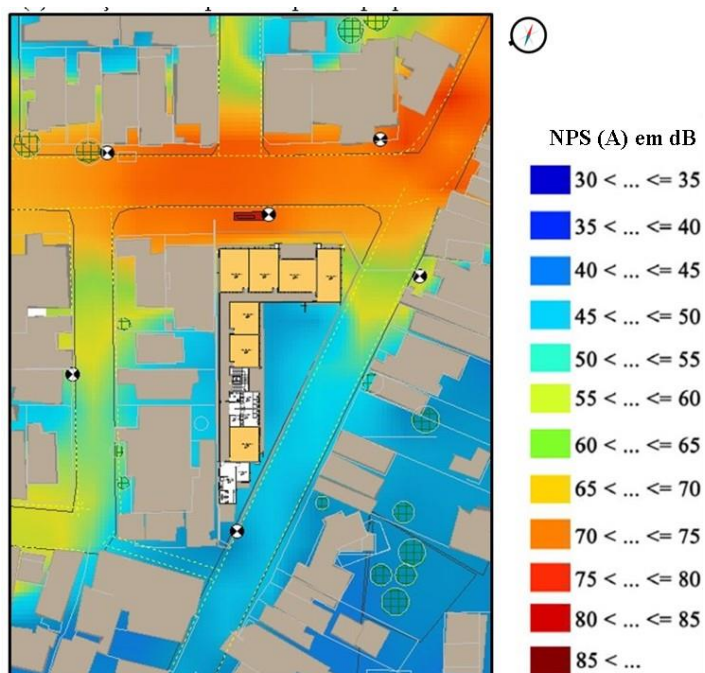
Com os dados relatados na Tabela 6 foi possível desenvolver o mapeamento sonoro da região, como ilustra a Figura 46. Percebeu-se, na Figura 47, que as vias com os maiores níveis sonoros foram as que apresentaram a maior quantidade de veículos por minuto, esses ruídos atingem a fachada principal da escola com  $L_{Aeq}$  de 65 dB. Nos pontos de parada localizado na calçada da escola, os índices de  $L_{Aeq}$  atingem valores de 70 a 75 dB aproximadamente.

Figura 406 – Perspectiva do mapa sonoro da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

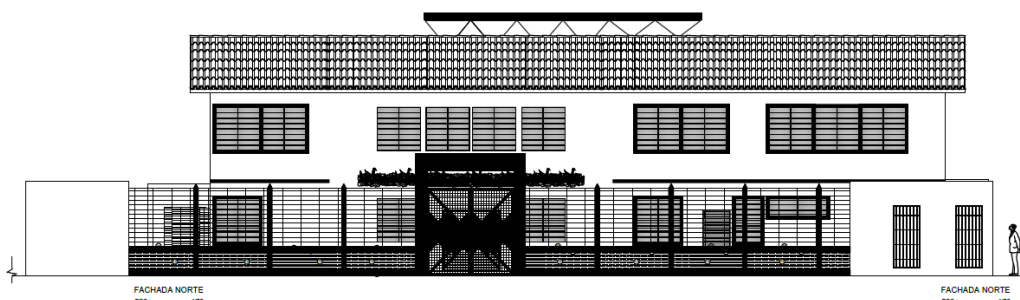
Figura 417 - Mapa sonoro do ruído de fundo da região E1



Fonte: Elaborado pela autora.

A escola E1 possui 80% do muro de sua fachada frontal vazada (Figura 48). Por esse motivo, os índices sonoros intensos alcançam a fachada com níveis de pressão sonora elevados, com o agravamento de possuir janelas voltadas para a rua.

Figura 428 - Fachada frontal E1



Fonte: Elaborado pela autora

O ponto de parada inserido na mesma calçada que a escola é caracterizada pelo padrão azul metálico da prefeitura (Figura 49). As situações são as seguintes: (a) a situação real do ponto de parada de ônibus implantado pela prefeitura e (b) a situação hipotética, com o abrigo proposto de chapas metálicas e acrílicas com aproximadamente 9 metros de extensão.



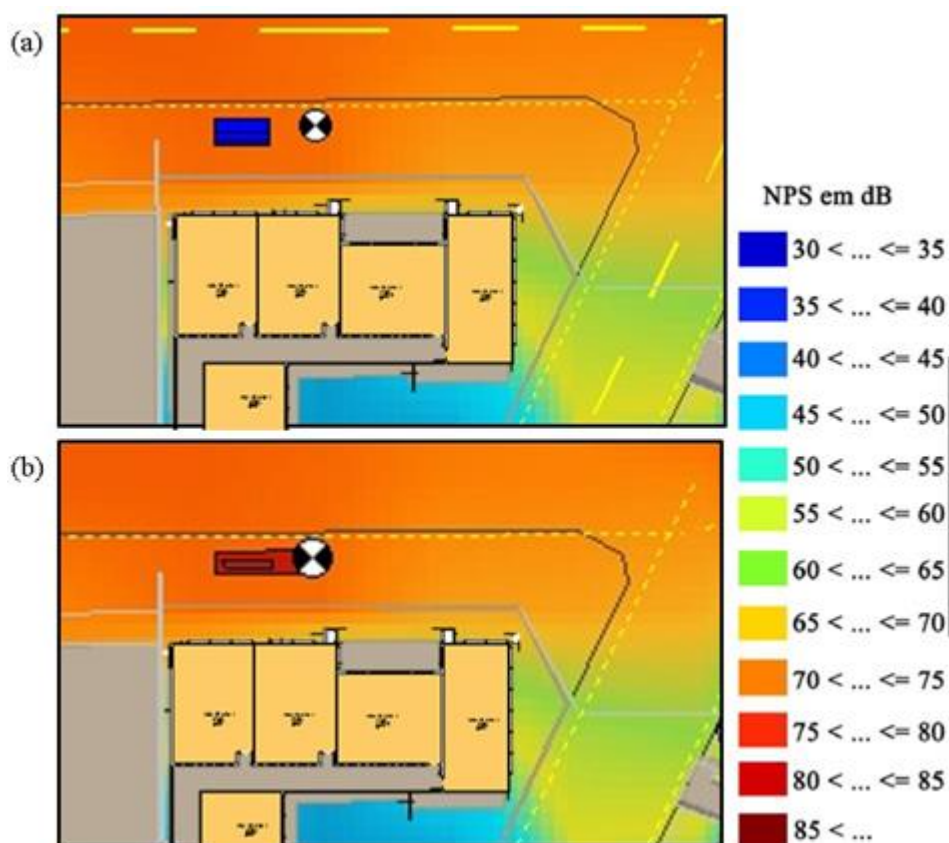
Figura 439 - Ilustração da substituição do ponto de parada real pelo ponto proposto



Fonte: Elaborado pela autora.

Como ilustra o mapa da Figura 50, a diferença entre os cenários com o ponto original (a) e o ponto proposto (b) é insignificante. Este resultado pode ser explicado com a hipótese de que (a) ponto/barreira está localizado afastado da escola, com aproximadamente 4 metros de distância até o muro, fazendo com que as ondas sonoras de grandes comprimentos ultrapassem o ponto que possui uma altura de 3,5 metros.

Figura 5044 - Destaque para área de comparação entre ponto original e proposto



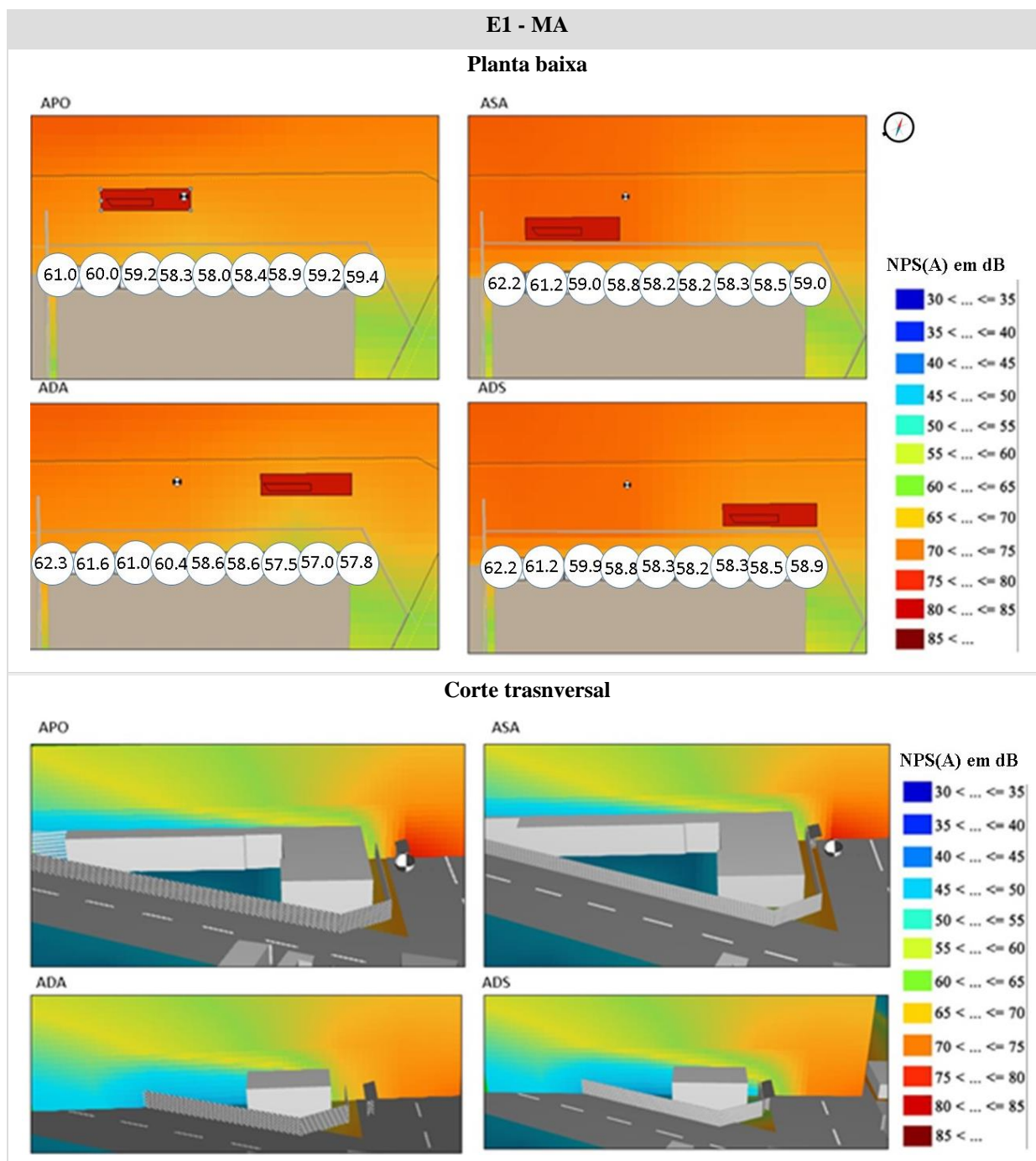
Fonte: Elaborado pela autora, 2019

Com os mapas apresentados anteriormente, não foi possível a obtenção de resultados de grande significância, com isso, outras análises com as variantes do muro e localização do ponto de parada foram levadas em consideração. As variantes foram expostas as seguintes situações:

(APO) abrigo situado na posição original; (ASA) abrigo sem afastamento do muro; (ADA) abrigo deslocado com afastamento do muro; (ADS) abrigo deslocado sem afastamento do muro.

Sendo as 4 situações APO, ASA, ADA e ADS calculadas com muros altos (MA) com altura de 3,00 metros, muros baixos (MB) com alturas de 1,00 metro e a situação sem muros (SM). Os resultados do caso da E1 estão dispostos a seguir nos Quadro 11, 12 e 13.

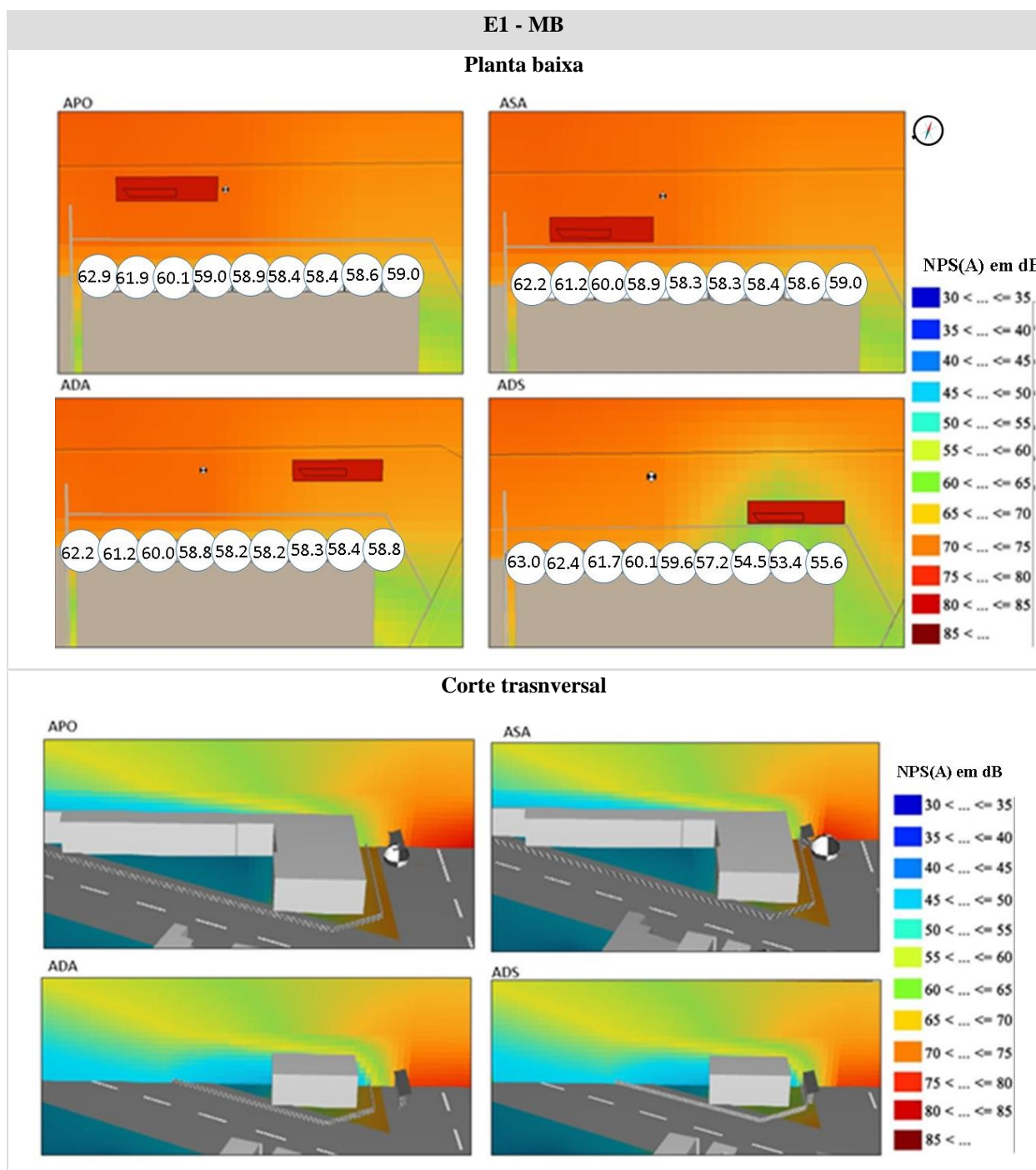
**Quadro 11 – Simulações sonoras com muro alto e localizações diferentes do abrigo**



Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação às análises com a utilização do muro alto, percebeu-se que não houve grandes destaques dentre as situações, o que pode ser justificado pela presença do muro de aproximadamente 3 metros, que funcionou como barreira. Na sequência, foram obtidos os cálculos dos mapas sonoros com o uso de muros com altura de 1,00 metro, dispostos no Quadro 12.

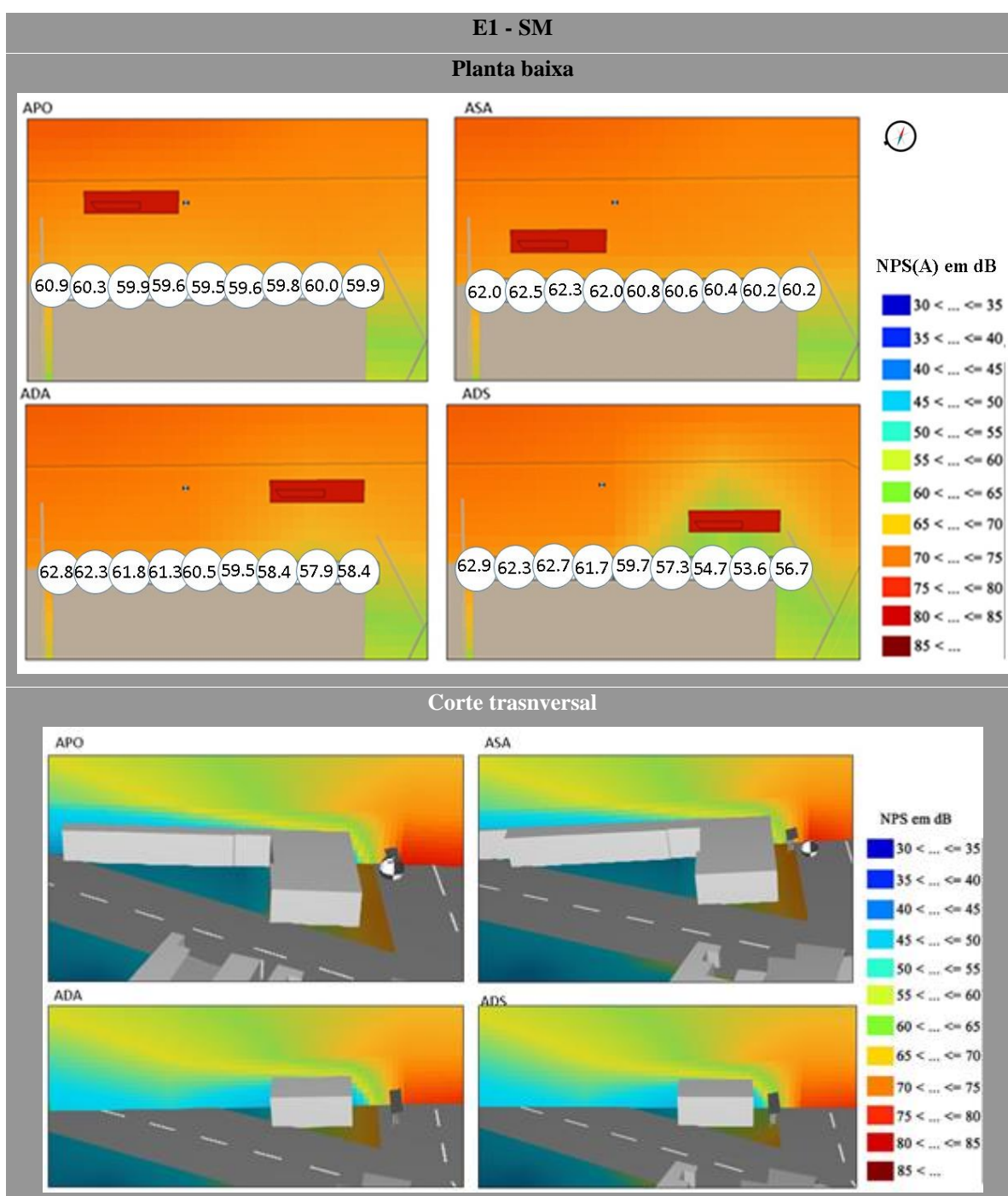
**Quadro 12- Simulações sonoras com muro baixo e localizações diferentes do abrigo**



Fonte: Elaborado pela autora.

Nos resultados obtidos com o cálculo da propagação do som com o muro baixo (MB), a situação do ADS com o abrigo sem afastamentos, à direita da fachada frontal, obteve melhor desempenho diante das demais, apresentando uma diferença de 3 a 5 dB de atenuação com relação a situação do ADS com o muro alto (MA), que pode ser considerado grande mas não suficiente para o ambiente escolar. O mesmo resultado foi encontrado na situação ADS sem muro (SM), vide Quadro 13.

**Quadro 13 - Simulações sonoras sem muro e localizações diferentes do abrigo**



Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.2 ESTUDO DE CASO: ABRIGO ESCOLA CARMELITA GAMA – E3

No caso E3 foram medidos os níveis de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ) em 5 pontos (Figura 51). Assim como no caso E1, foi contabilizada a quantidade de veículos que transitaram pela região da escola no momento das medições. A edificação escolar não possui outras edificações muito próximas a ela, em contrapartida, ela localiza-se na entrada da Universidade Federal de Alagoas, perto de uma avenida de grande fluxo que é um dos acessos de saída e entrada do município, como também do aeroporto internacional Zumbi dos Palmares.

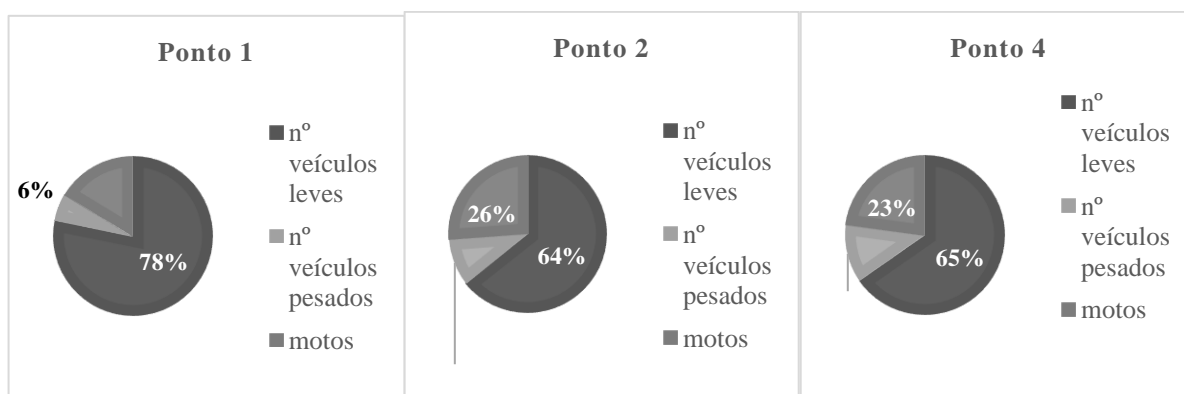
Figura 51 - Pontos de medição na região em estudo E3



A partir dos resultados apresentados nos Gráfico 9, entende-se que os pontos 1 e o 2 obtiveram maiores índices para veículos leves e pesados. Pode-se afirmar que o motivo dessa predominância se dá devido a inserção dos pontos na avenida de no acesso principal à Universidade que também é rota de inúmeras linhas de ônibus. Além disso, ambos se destacam por estarem sob pontos de parada dos ônibus.

Nos pontos 3 e 5, não existiu a presença do tráfego de veículos no momento da realização das medições acústicas, o que pode ser justificado pela localização deles na via sem saída que funciona como acesso e ao estacionamento da escola em estudo. Já o ponto 4, a Avenida Lourival de Melo Mota, por ser classificada como uma via arterial, apresentou fluxo intenso de veículos com predominância dos veículos leves e as motos.

Gráfico 9- Percentagem do fluxo de veículos nas vias dos pontos 1, 2 e 4.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019

### 5.2.1 Medições acústicas: Caso E3

Os valores das medições acústicas desse caso podem ser vistos na Tabela 6. Neles, é possível observar que o ponto 4 inserido na Avenida Lourival Melo apresentou valores muito superiores aos demais com  $L_{Aeq}$  de 73,4 dB, justamente por estar situado via arterial com fluxo intenso de veículos em horários comerciais (8h às 18h). Percebe-se que o ponto 5, como também já foi mencionado, apresentou característica contrária por estar e inserido em uma via de acesso exclusivo a escola, tendo  $L_{Aeq}$  de 54,8 dB.

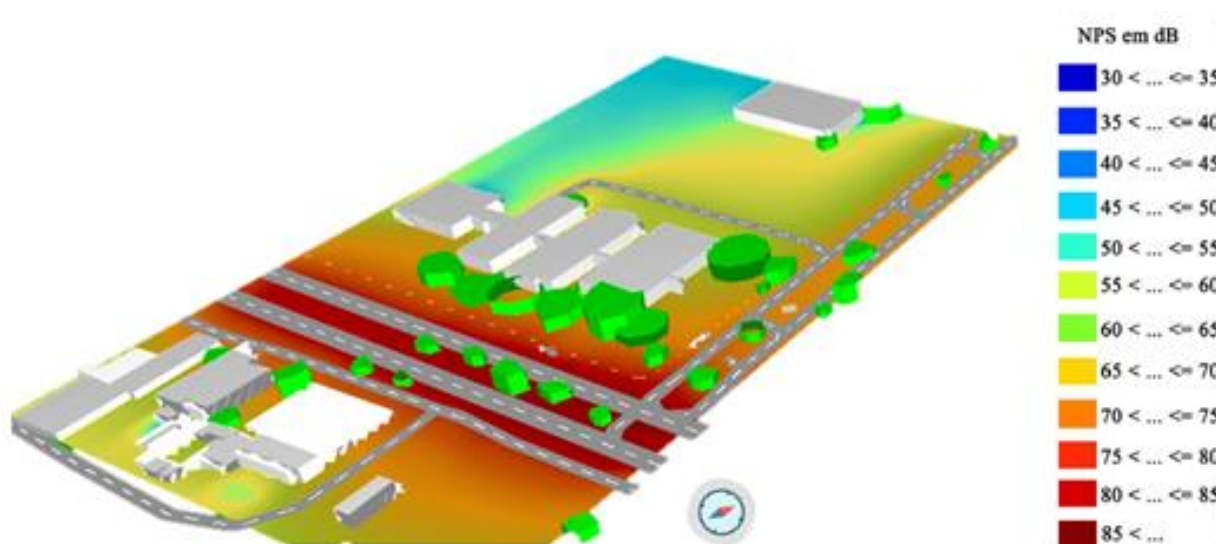
Tabela 6- Valores do ruído ambiental em cada ponto de medição

Ponto	Pavimento	Observação	Quant. / Porcent.							$L_{Aeq}$	$L_{máx}$	$L_{mín}$
			Moto		Veículos leves		Veículos pesados		Total			
			Nº	(%)	Nº	(%)	Nº	(%)				
1	Paralelepípedo	Ponto de parada	9	16	43	78	3	6	55	67,1	82,5	55,1
2	Paralelepípedo	Ponto de parada	11	10	27	64	4	10	42	66,9	79,4	57,2
3	Paralelepípedo	Rua sem saída	0	0	1	100	0	0	0	57,2	65,8	48,6
4	Asfalto	Ponto de parada	56	23	160	65	29	12	245	73,4	88,7	56,2
5	Paralelepípedo	Rua sem saída	0	0	0	0	0	0	0	54,8	63,9	49,2

Fonte: Elaborado pela autora.

Os ruídos com maiores níveis sonoros atingiram uma região da fachada lateral direita da escola E3 com uma média de valores encontrados de  $L_{Aeq}$  entre 65 a 70 dB. Essa escola possui 100% da área de seu muro vazado, portanto não há nenhum tipo de barreira para impedir os ruídos advindos da rua, com exceção da própria fachada da escola (Figura 52). Os pontos de paradas localizados em frente a fachada frontal e lateral tem aproximadamente 35 metros da fachada da escola, sendo distâncias consideráveis para atenuações provocadas pelo solo, ar, temperaturas e demais obstáculos naturais ou não.

**Figura 452 - Perspectiva situação escola E3**



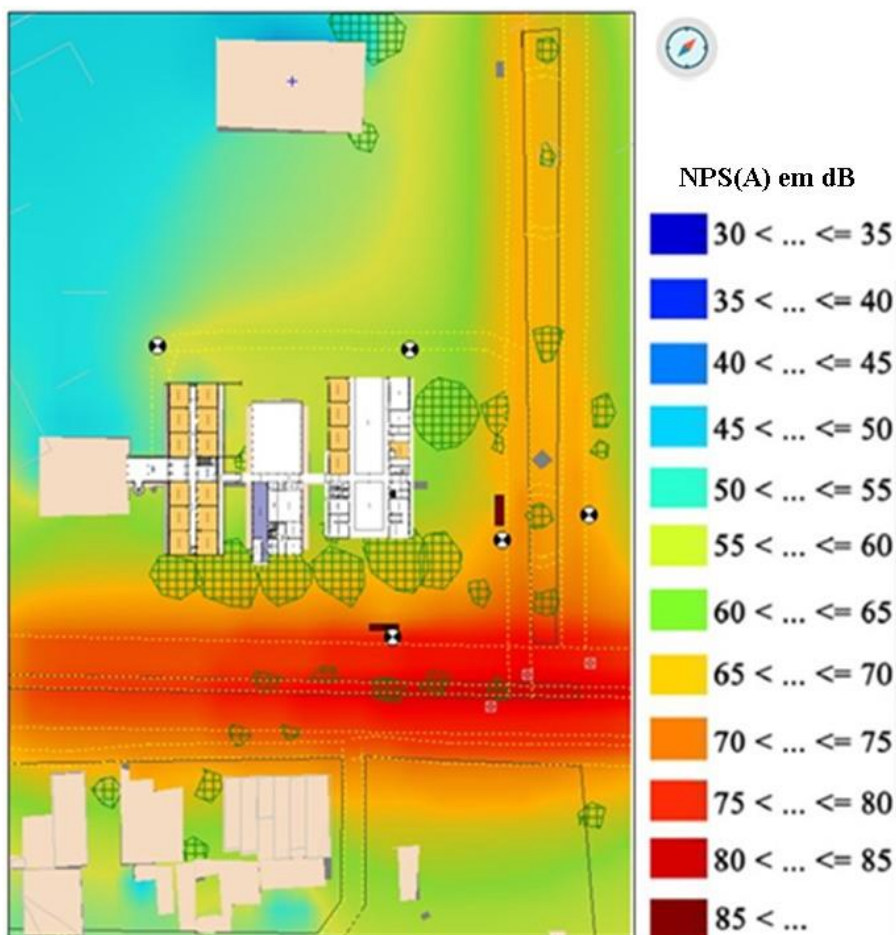
Fonte: Elaborado pela autora.

Na representação gráfica exposta na Figura 53, é possível observar a concentração dos índices elevados de ruído apenas nos sentidos das vias. Na localização dos pontos de parada, os níveis sonoros atingem valores de  $L_{Aeq}$  de 70 a 75dB e nas fachadas das salas de aula os valores em  $L_{Aeq}$  variam entre 55 e 60dB. Apesar de possuir afastamentos espaçados, essa escola não possui muros opacos e enfrenta problemas com os ruídos advindos das vias de tráfego.

Mesmo com a pequena atenuação devido ao afastamento da via até a edificação, os valores ainda são superiores aos valores recomendados pela norma NBR 10151:2019 onde apresentam  $RL_{Aeq}$  de 50 dB no período diurno e 45 dB no período noturno. A vista longitudinal da fachada lateral direita é margeada pela via de acesso principal da UFAL, via esta, caracterizada por ser uma via local.

As diferentes cores apresentadas no mapa representam a propagação dos índices sonoros. Na situação da escola E3 os pontos de parada de ônibus implantados pela prefeitura são todos de concreto.

**Figura 463 - Mapa sonoro do ruído da região E3**



Fonte: Elaborado pela autora.

Para realizar a comparação entre os mapas, foi substituído o abrigo proposto pelo abrigo de concreto (Figura 54).

**Figura 474 - Ilustração da substituição do ponto de parada real pelo ponto proposto na escola E3**



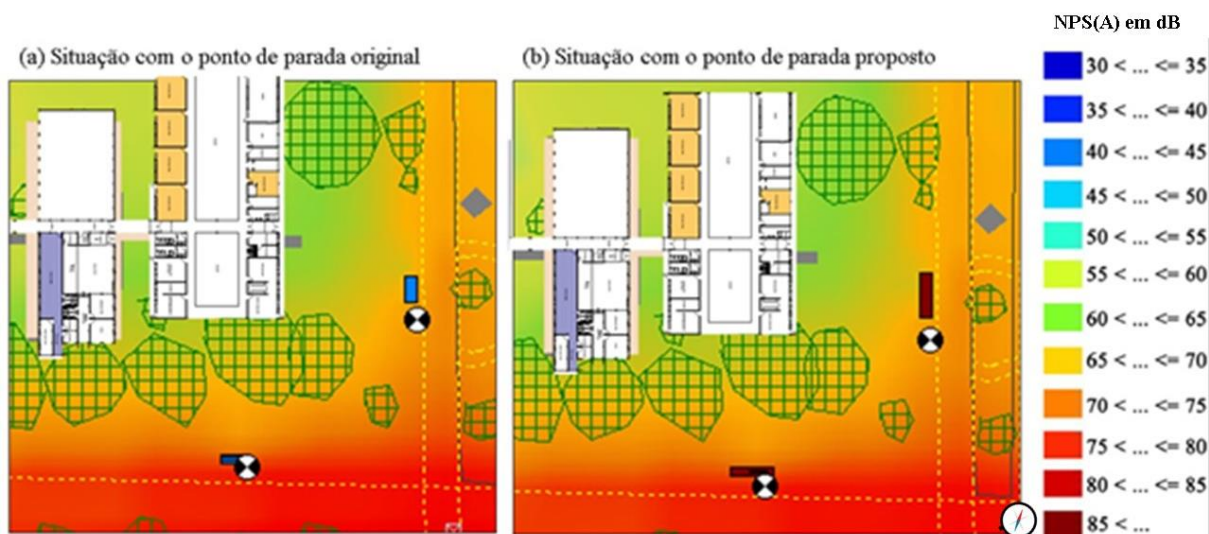
Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 55 ilustra no mapa sonoro a diferença entre os dois cenários (a) a situação real do ponto de parada de ônibus com o abrigo padrão concreto implantado pela prefeitura com 2,50 metros de altura; e (b) a situação hipotética, com o abrigo proposto, com 3,50 metros.



Observa-se que de uma maneira geral, as linhas de propagação não sofreram alteração com a obstrução nos dois cenários (a) e (b).

**Figura 485 - Comparação entre as situações (a) e (b) na escola E3**



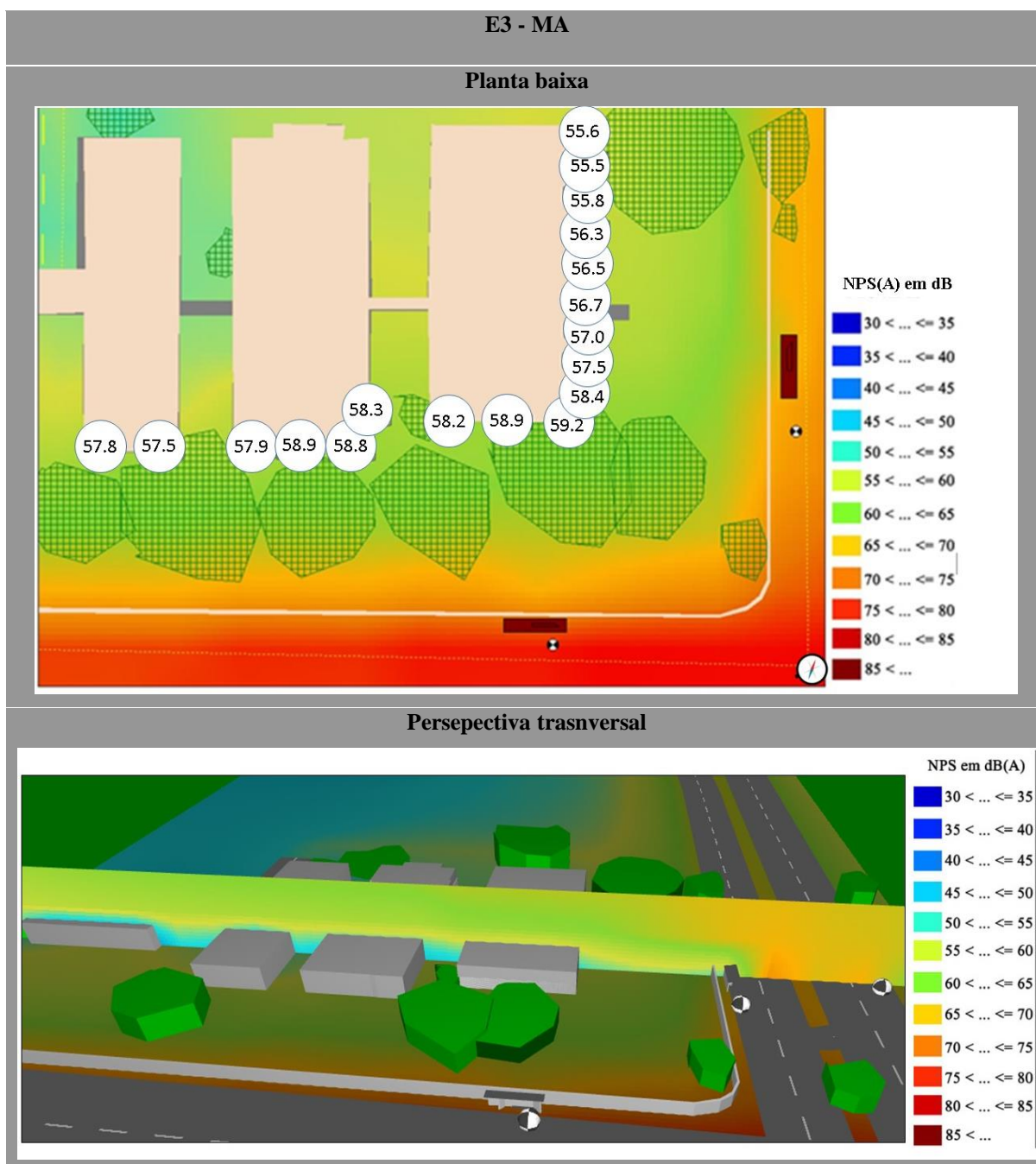
Fonte: Elaborado pela autora.

Para dar prosseguimento a análise, a situação (b) foi submetida a novos cálculos. Diferentemente da escola E1, nesse caso não foram apresentados os resultados com relação aos diferentes posicionamentos do abrigo de ponto parada. Além de não existir espaçamento suficiente na região da calçada para o deslocamento do abrigo, a área de estudo é maior, o que torna insignificante os posicionamentos variados do abrigo.

Com isso, apenas a variável dos muros MA, MB e SM foram fatores influenciadores na propagação sonora, assim como ilustram os Quadro 14, 15 e 16. Em comparação com a situação MA, foi possível perceber que a maior mudança no gráfico sonoro foi com relação ao muro lateral adjacente à Avenida Durval de Góes. Os índices de níveis de pressão sonora não sofreram não ganharam muita intensidade com o muro a 1 metro de altura na fachada lateral.

Com isso, é possível afirmar que a avenida arterial é a maior vilã para a qualidade sonora da edificação escolar em estudo. No Quadro 14, é possível observar que uma situação com muro alto e afastamentos consideráveis com terreno permeáveis são capazes de atenuar gradativamente os ruídos advindos das avenidas. A situação de MA, de acordo com o gráfico abaixo, a Avenida Durval de Góes está apresentando valores de  $L_{Aeq}$  de aproximadamente 80dB, e nas regiões das fachadas valores perto de 60dB. Na situação original, os valores de NPS(A) eram próximos a 65dB. Com relação a situação original, em MA conseguiu uma atenuação de até 5 dB em  $L_{Aeq}$ .

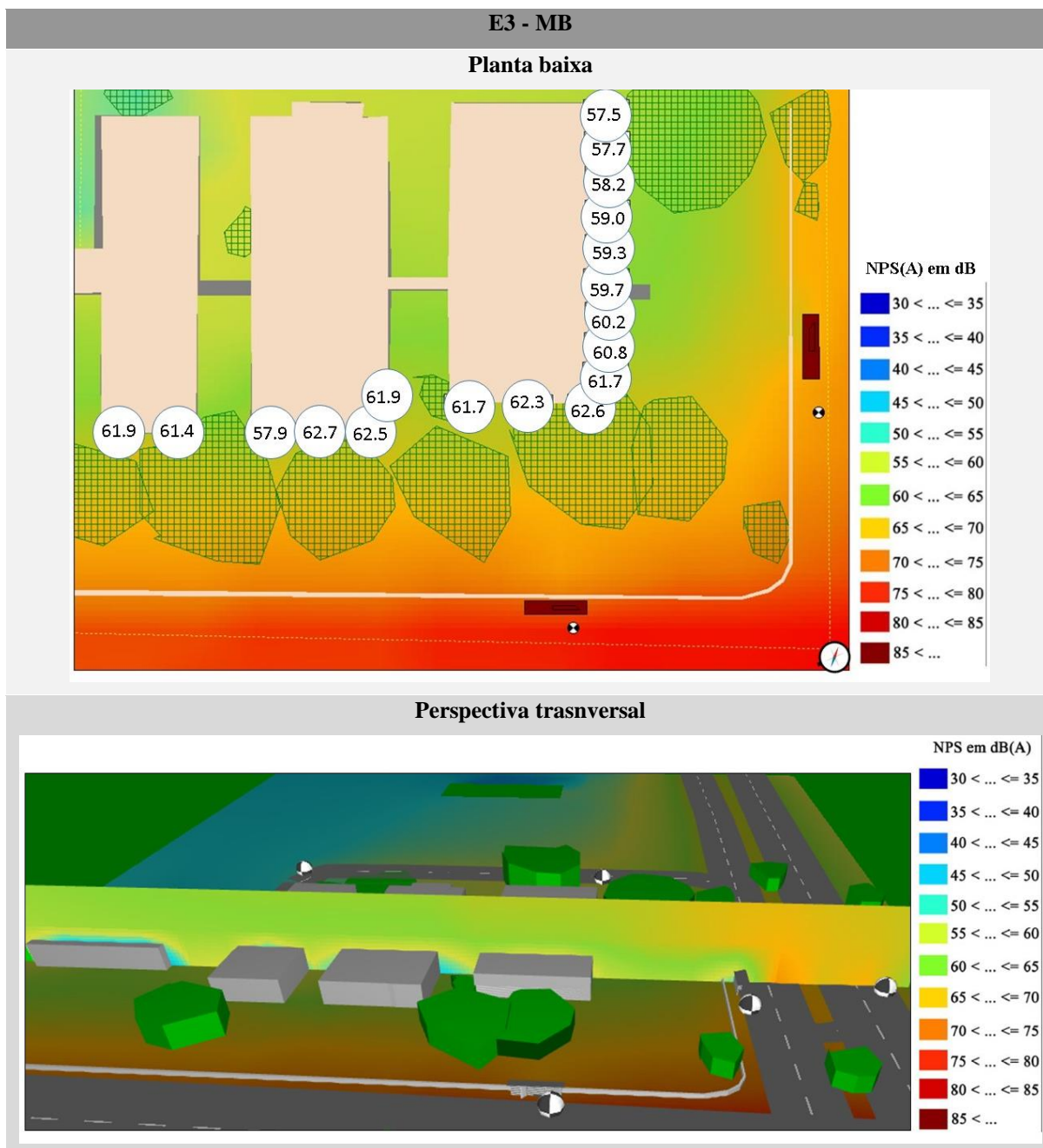
Quadro 14 - Simulações sonoras com muro alto



Fonte: Elaborado pela autora.

. No cenário com muro alto, as fachadas da escola indicaram valores em  $L_{Aeq}$  de 55 a 59 dB. A situação real da escola apresenta uma grade apoiada sobre muro com 30 cm. Portanto, a situação real apresenta resultados equivalente aos cenários de MB e SM. No cenário com muro de 1,00 metro de altura exposto no Quadro 15, as fachadas apresentam níveis de pressão sonora que variaram de 57 a 62 dB ponderados em A.

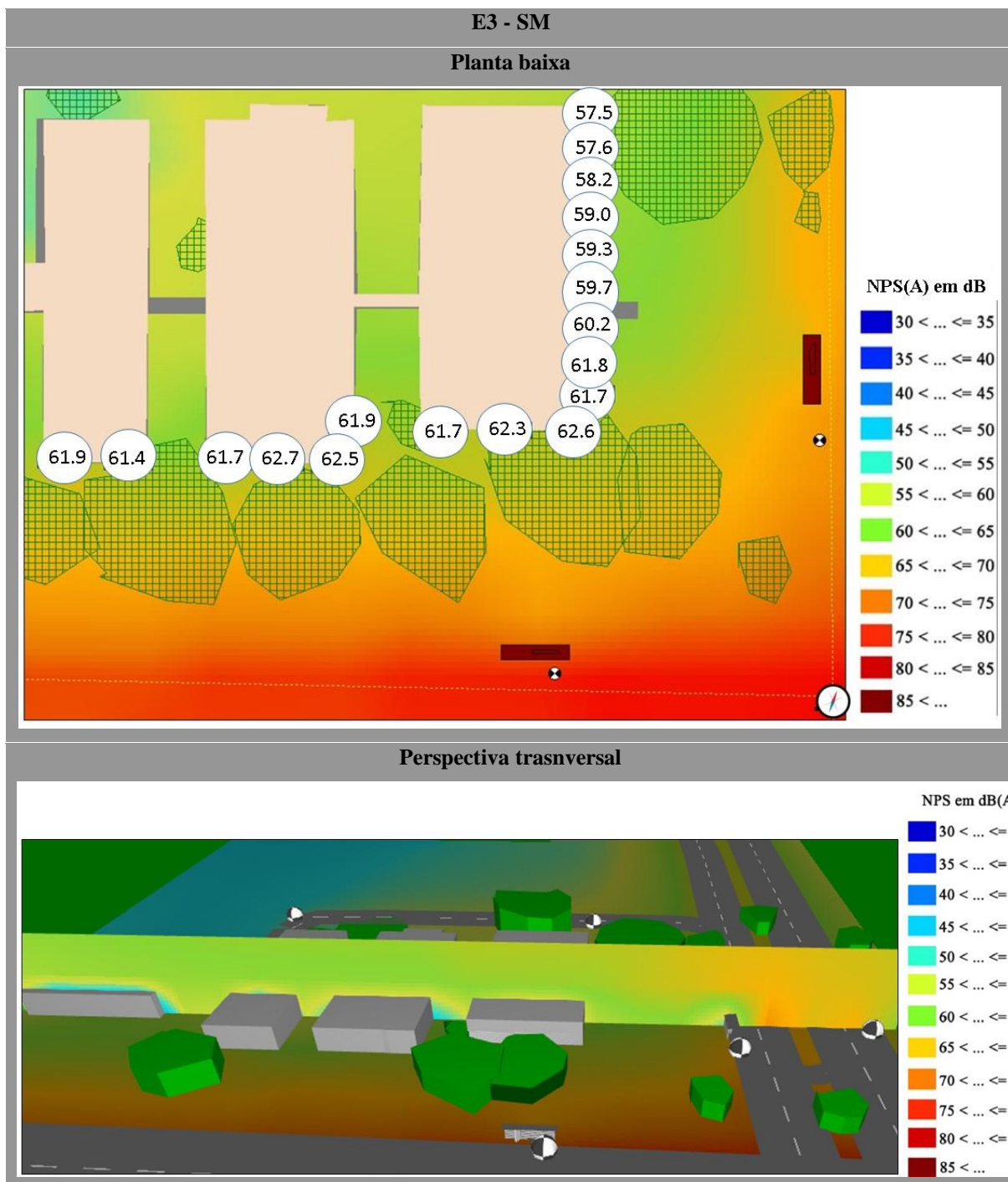
Quadro 15 - Simulações sonoras com muro baixo



Fonte: Elaborado pela autora.

É possível afirmar que a edificação sendo projetada em blocos apresenta-se como uma proposta interessante por provocar zonas de sombra acústica. Percebe-se também um aumento de 3dB no  $L_{Aeq}$  com o MB em relação ao MA, principalmente na fachada lateral. O cenário com a ausência dos muros (SM) mostrou valores muito semelhantes ao cenário de MB, o que se justifica pelo grande afastamento existente entre o muro e a edificação, facilitando a permeabilidade do som nessas áreas “vazias” (Quadro 16).

Quadro 16 - Simulações sonoras com sem muro



Fonte: Elaborado pela autora, 2019

Foi possível perceber que houve diferença na propagação do som do primeiro cenário (MA) para/com os demais, pois o som advindo das vias, tanto arteriais quanto coletoras sofreram difração com o muro alto se apresentando como barreira. Nessas situações, os abrigos de ponto de parada exerceram funções coadjuvantes. Além disso foi possível observar a importância dos afastamentos entre a rua e a edificação com a dissipação sonora ao ar livre.

### 5.3 ESTUDO DE CASO: ABRIGO ESCOLA RUI PALMEIRA

No último caso avaliado, a escola E6 teve seus pontos de medição marcados ao redor da área de estudo, totalizando em 7 pontos. Em cada um deles, foi medido o nível de pressão sonora e contabilizados o número de veículos. A disposição dos pontos está exposta na Figura 56 com o gabarito da área.

**Figura 56 - Pontos de medição na região em estudo – E6**



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

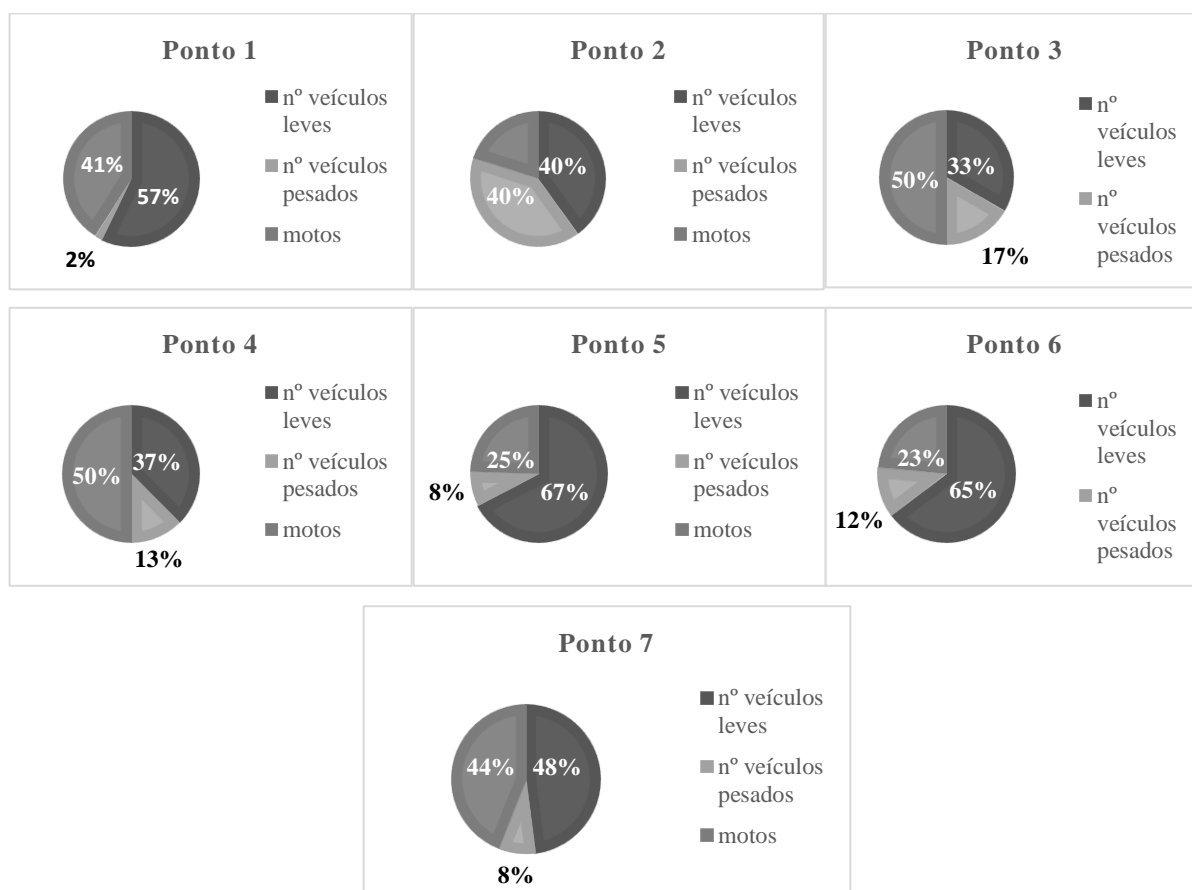
No ponto 1, o fluxo de veículos pesados foi de apenas 2% enquanto no segundo ponto foi observada a presença de alguns caminhões trafegando pela via que resultou em 40% do tráfego de veículos. Os pontos 3 e 4 tiveram os maiores índices quanto a presença de motos com 50%, pois na rua Dr. Rocha Cavalcante foi identificada a existência de uma oficina de motos em atividade, resultando no alto fluxo desses veículos, e conseqüentemente nos índices elevados de ruído.

O ponto com o maior índice de veículos leves foram os pontos 5, 6 e 7 com 67%, 65% e 48% respectivamente. Esses índices justificam-se pela localização desses pontos na Avenida coletora Monte Castelo, avenida que é também caracterizada por ser corredor por onde passam também os ônibus. Com relação a localização do ponto de parada de ônibus inserido na calçada da escola, pode-se declarar que a distância do ponto de parada, caracterizado por uma placa de

sinalização é de aproximadamente 2 metros até o muro da escola e de 6 metros de distância a rua lateral Balbino Lopes.

No Gráfico 10, é possível visualizar o fluxo do tráfego de veículos na região de estudo com a porcentagem dos veículos leves indicados pelos carros, veículos pesados definidos pelos ônibus, caminhões e similares e todos os tipos de motocicletas que trafegaram em cada via e pontos estudados no recorte definido da escola E6.

**Gráfico 10 - Percentagem do fluxo de veículos nas vias dos pontos 1 ao 7**



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3.1 Medições acústicas: Caso E6

Na Tabela 7 estão contabilizados os números totais dos veículos leves, pesados e motos que trafegaram pela região de estudos, assim como os níveis de pressão sonora em cada ponto apontado, os tipos de pavimentação e as características de cada ponto. Os maiores índices de  $L_{Aeq}$  encontrados foram exatamente nos pontos que se encontravam os abrigos de ônibus. Com os dados obtidos na tabela, os mapas sonoros foram gerados e estão dispostos a seguir.

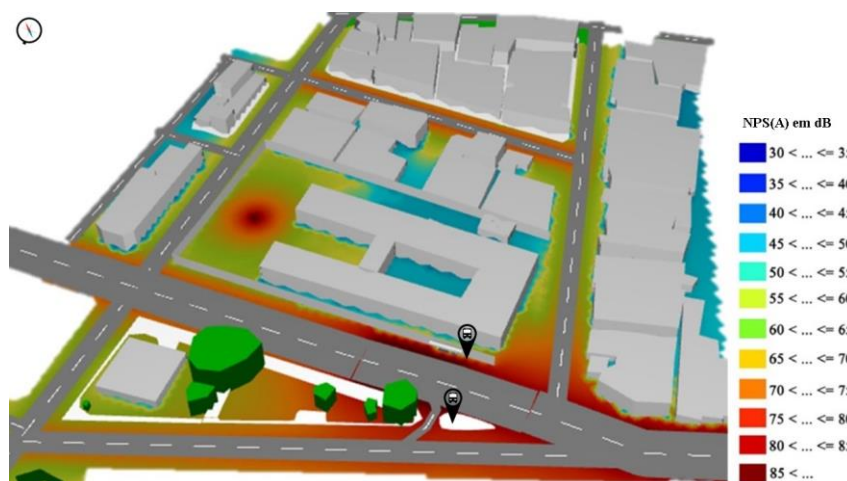
Tabela 7 - Valores do ruído ambiental em cada ponto de medição

Ponto	Pavimento	Observação	Quant. / Porcent.						LAeq	Lmáx	Lmín	
			Moto		Veículos leves		Veículos pesados					Total
			Nº	(%)	Nº	(%)	Nº	(%)				
1	Asfalto	Rua secundária a avenida principal	23	41	32	57	1	2	56	65,5	80,6	53,1
2	Asfalto	-	2	20	4	40	4	40	10	59,5	66,1	54,9
3	Asfalto	Presença de oficina de motos	6	50	4	33	2	17	12	68,2	81,1	45,4
4	Asfalto	-	8	50	6	37	2	13	16	61,0	72,2	50,2
5	Asfalto	-	12	25	33	67	4	8	49	67,4	77,9	53,6
6	Asfalto	Ponto de parada	15	26	33	58	9	16	57	77,8	80,0	58,4
7	Asfalto	Ponto de parada	33	55	24	40	3	5	60	73,1	84,8	54,0

Fonte: Elaborado pela autora.

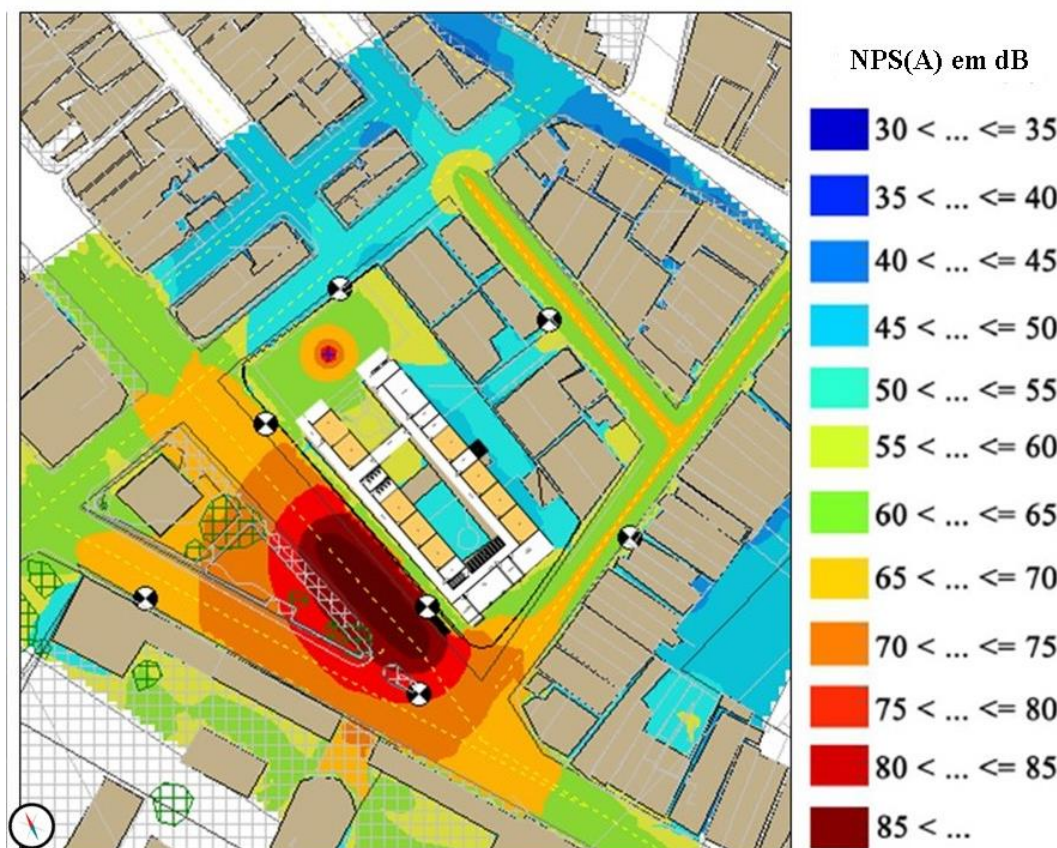
Na Figura 57 é possível observar a região de estudo em perspectiva. Nos espaços onde estão localizados os pontos de parada de ônibus, foram encontrados níveis sonoros que atingiram níveis entre 75 e 80 dB ( $L_{Aeq}$ ). Com o mapa da Figura 58, é possível perceber que os níveis de ruído na área interna da escola atingiram uma média 50 a 55 dB ( $L_{Aeq}$ ), com exceção da área que apresenta valores entre 60 e 65 dB que é a parte em que o muro híbrido da escola é vazado.

Figura 497 - Perspectiva da situação da escola E6



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 508 - Mapa sonoro do ruído de fundo da região E6



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 58 apresenta a representação da substituição dos abrigos para a realização da simulação dos dois cenários: (a) o ponto de parada de ônibus da situação original caracterizado apenas por uma placa de sinalização em aço; e (b) o abrigo de ponto de parada de ônibus proposto .

Figura 519 - Ilustração da substituição do ponto de parada real pelo ponto proposto na escola E6



Fonte: Elaborado pela autora

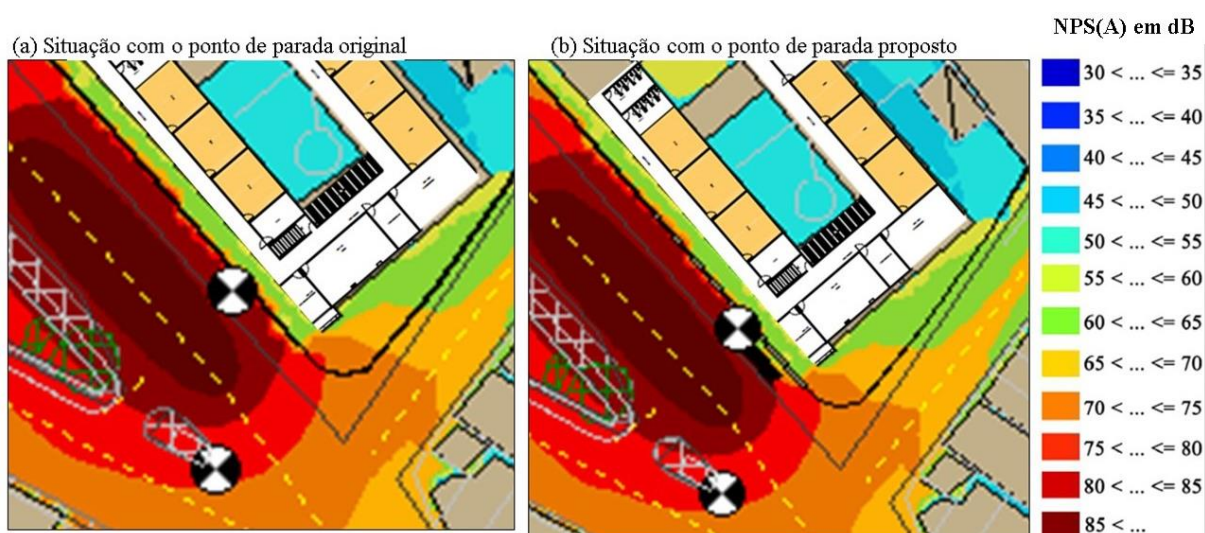
Na Figura 60, é possível observar a implantação do abrigo proposto e a comparação das simulações com presença dele. Na região da fachada frontal, a escola apresenta muro



vazado, com isso verifica-se a região exata por onde os ruídos penetram. A motivação da semelhança entre os dois mapas é justamente por conta do muro vazado existente nos dois cenários.

O ponto de parada na situação (b) se apresentou como barreira, embora não de forma suficiente para que exercesse a mesma função que o muro opaco. Percebe-se que o muro funciona como a barreira da própria edificação, pois as linhas de propagação se dissipam ao serem obstruída por ele, quando na rua os valores de  $L_{Aeq}$  são de aproximadamente 75dB e na área da escola o valor cai para 60dB

**Figura 6052 - Comparação entre os cenários (a) e (b) na escola E6**



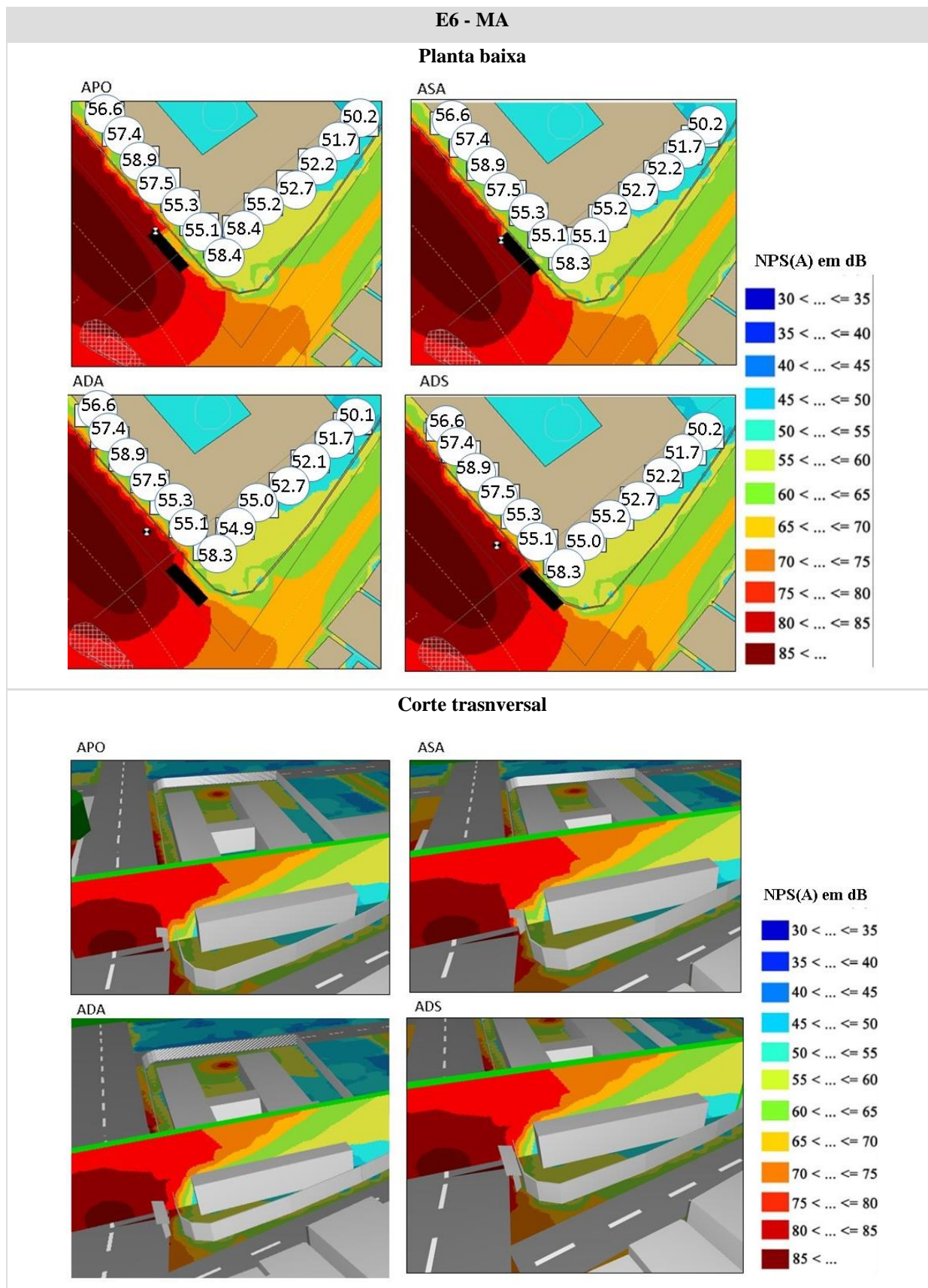
Fonte: Elaborado pela autora.

Para complementação dos dados, assim como nos casos anteriores, foram aplicadas as variáveis de cálculo no *software* com posicionamentos diferentes dos abrigos e tipos de muros distintos, apresentados nos Quadros 16, 17 e 18 com as seguintes situações: (APO) abrigo situado na posição original; (ASA) abrigo sem afastamento do muro; (ADA) abrigo deslocado com afastamento do muro; (ADS) abrigo deslocado sem afastamento do muro.

Todos os cenários apresentados a partir dessas variantes foram analisados com cenários com muros de diferentes alturas, sendo (MA) muros altos, (MB) muros baixos e (SM) sem muros. Os resultados obtidos com a variante MA apresentaram níveis de pressão sonora em  $L_{Aeq}$  semelhantes nas quatro posições em que os abrigos foram simulados, variando entre 50 e 58 dB (Quadro 15).

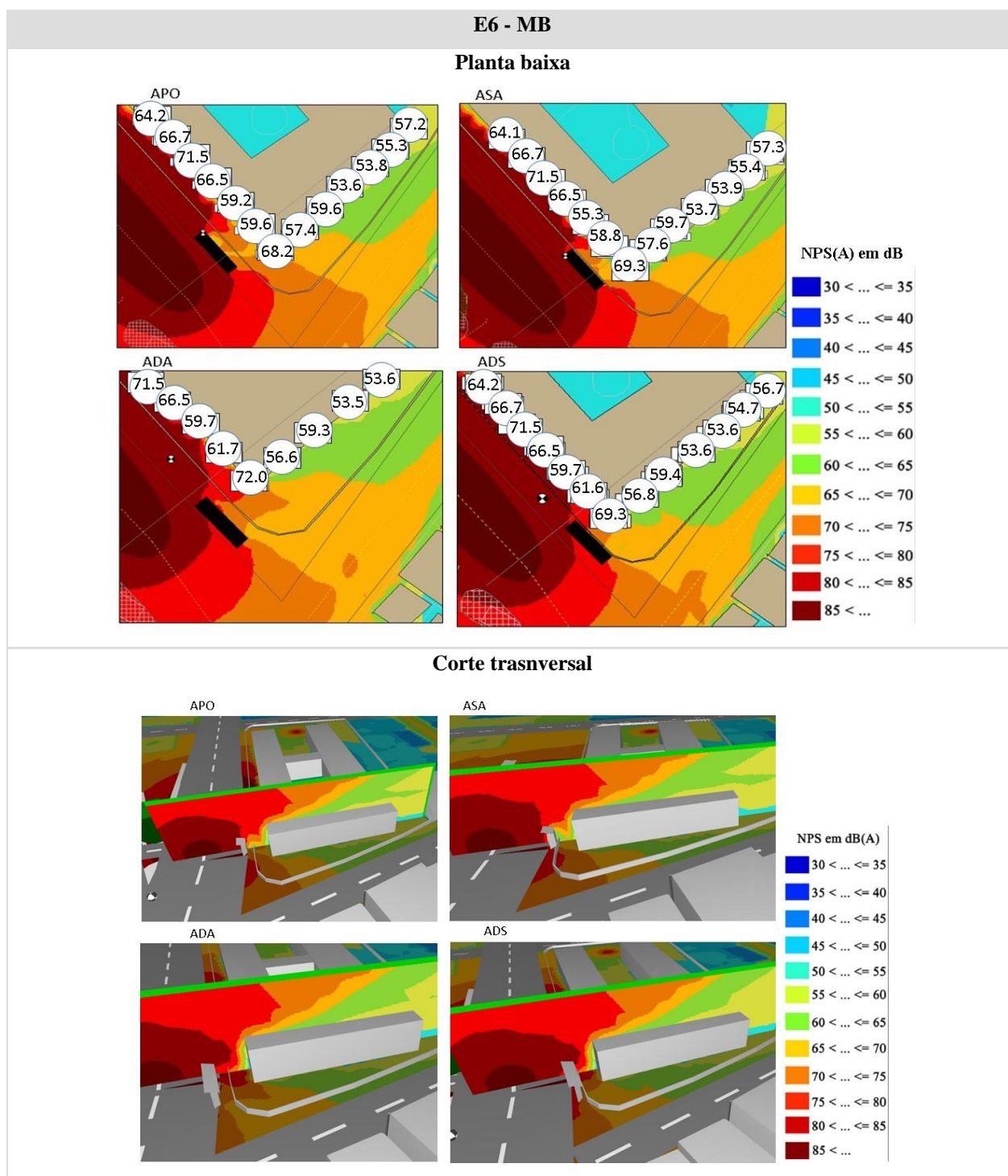
Na situação dos cenários com MB, notou-se que o abrigo com deslocamento e afastamento (ADA), provocou maior espalhamento das ondas sonoras de ruído, sendo a situação de maior prejuízo para a edificação escolar.

Quadro 15 - Simulações sonoras com muro alto e localizações diferentes do abrigo



Já os resultados de APO, por estar localizado em frente a propagação dos índices sonoros mais elevados, sobressaiu-se como a melhor situação atenuante, pois apresentou 4dB ( $L_{Aeq}$ ) de diferença com relação ao cenário ADA.

**Quadro 16 - Simulações sonoras com muro baixo e localizações diferentes do abrigo**

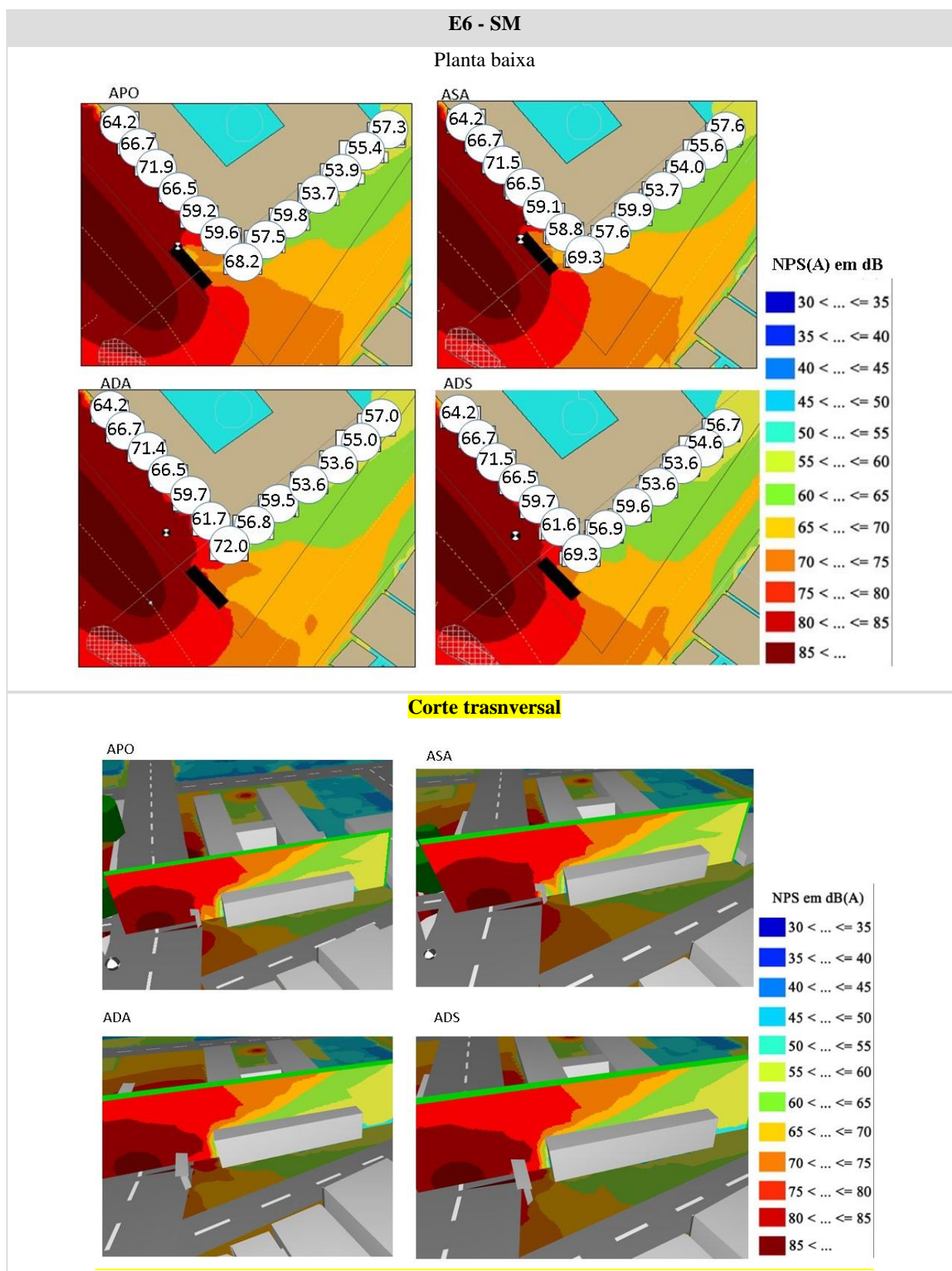


Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como na situação de muro baixo, na situação sem a presença do muro é possível observar que o ponto de parada conseguiu agir como uma barreira acústica, embora o resultado

não tenha sido satisfatório para a qualidade sonora da edificação escolar. No Quadro 17, verifica-se que no cenário de APO apresentou a melhor resposta dentre eles.

**Quadro 17 - Simulações sonoras sem muro e localizações diferentes do abrigo**



Fonte: Elaborado pela autora.

Os desempenhos dos quatro cenários distintos foram semelhantes as situações com MB. O abrigo ADA serviu de barreira de desvio para levar os índices mais elevados de ruído para a fachada. O abrigo potencializou a dissipação dos ruídos, entretanto o muro opaco também desempenhou função de barreira.

#### 5.4. DISCUSSÃO

Os diagnósticos foram feitos com base nos mapeamentos acústicos relativos aos planos, horizontal (Grid Noise Map) e vertical (Vertical Grid Noise Map) no software Cadna-A versão 4.4. Nos três estudos de caso analisados, foi percebido que os índices mais elevados de ruído foram nas vias arteriais e coletoras, com a exceção da situação E6, que apresentou índices elevados em uma via local por abrigar uma oficina de motos. Essas vias mais ruidosas obtiveram índices que chegaram a atingir um  $L_{Aeq}$  de aproximadamente 85 dB.

Sobre os ruídos que chegaram até as janelas das salas de aula das escolas, foram encontrados valores de  $L_{Aeq}$  de 55 a 70 dB, que ultrapassaram os muros vazados existentes nos 3 estudos. Ainda que se considerasse o isolamento da parede da fachada frontal, a escola E1, por exemplo, possivelmente não atingiria os 50 dB ( $L_{Aeq}$ ) recomendados pela norma NBR 10151(2017) para o horário diurno nas salas de aula localizada nessa fachada.

No caso da escola E3, apesar de possuir um afastamento de 35 metros da avenida arterial, o menor valor em  $L_{Aeq}$  encontrado nas proximidades das 18 salas de aula foi de 55dB, ou seja, a parede da fachada obrigatoriamente deveria possuir isolamento de 5dB para que as salas conseguissem apresentar o nível de ruído limite recomendado pelas normas de acústica estudadas (NBR 10151, 2017).

A escola E6 possui salas que envolvem um pátio interno que funcionaram como barreiras com relação ao pátio. Das 15 salas de aula, apenas 5 destas parecem ter maiores prejuízos com ruídos de fundo superiores a 55dB em  $L_{Aeq}$ . Além do átrio existente, as salas de aula são isoladas por circulação, o que as deixou protegidas dos ruídos advindos das ruas. Outro fator observado em todos os casos, foi a interferência do muro opaco na propagação do ruído, como se observa nas análises realizadas.

O muro opaco exerceu maior função de barreira que os próprios pontos de parada. Isso pode ser justificado porque os abrigos são barreiras finitas, ou seja, ele possui uma escala muito inferior proporcionalmente a edificação escolar. Tanto nas dimensões horizontais quanto verticais. A probabilidade de um muro possuir altura maior que um abrigo de ônibus é muito maior.

Nos três estudos, o muro opaco com altura superior a 3 metros desempenhou o papel de barreira acústica, reduzindo quase 10dB ( $L_{Aeq}$ ) entre a face externa do muro até a parte externa da fachada da edificação. Além da análise do desempenho acústico dos muros, foi observado quais as variáveis que influenciam no desempenho acústico de um equipamento urbano utilizado como barreira.

Por fim, com as simulações, percebeu-se que independente das barreiras, das condições de isolamento das escolas, elas sofrem com os impactos sonoros urbanos, mesmo apresentando recuos favoráveis à atenuação do som, como no caso da situação da E3. Também é importante enfatizar a responsabilidade dos pontos de parada nesses no acréscimo desses impactos em dB. Com isso, percebeu-se que o problema maior é na gestão de distribuição desses pontos de parada.

Assim, é recomendável que seja resolvido o problema da fonte de ruído, ou seja, o combate dos ruídos que envolvem a circunvizinha escolar. Sugere-se, portanto, um estudo sobre localização das paradas de ônibus que se encontrem próximos a edificações escolares, de forma que o seu posicionamento contribua para uma maior qualidade acústica e diminuição dos ruídos desses locais.

**CONCLUSÃO**

## 6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi avaliado o impacto do ruído urbano, mais especificamente do ruído provocado pelos pontos de parada de ônibus sobre as escolas do município de Maceió. Com a síntese das análises realizadas, através das medições e simulações acústicas foi possível compreender que um planejamento prévio para a locação de equipamentos escolares e urbanos, de uma maneira geral, é imprescindível.

Apesar da especificidade de cada região estudada, percebeu-se que, assim como os semáforos, lombadas e faixas de pedestre, os pontos de parada de ônibus também são fatores influenciadores nos índices do ruído urbano. Durante o processo de desenvolvimento da metodologia foi possível conhecer de forma mais aprofundada a situação das escolas existentes, o que serviu para o norteamento das estratégias de análises.

Com a análise dos resultados, notou-se que as escolas, de maneira geral, sofrem com os ruídos urbanos. Portanto, os resultados respondem a hipótese levantada de que os pontos de ônibus acarretam maiores prejuízos do ponto de vista do conforto acústico urbano. Dessa maneira, além dos requisitos de conforto acústico no interior da edificação, a serem atendidos por parte do arquiteto, é fundamental que o urbanista e os governantes cumpram seus papéis de gestores e planejadores da cidade, e elaborem estratégias para o maior conforto da população.

Este é o primeiro estudo que analisa a utilização um equipamento urbano vinculado a acústica urbana no Estado de Alagoas. O estudo traz informações sobre as características dos abrigos de pontos de paradas de ônibus da cidade de Maceió –AL e investiga novas funcionalidades que podem ser adicionadas aos abrigos de ônibus para que eles possam fazer parte do sistema de mobilidade urbana da cidade e serem agentes ativos nos projetos de planejamento urbano e ambiental das cidades.

Observou-se que pontos de parada de ônibus podem desempenhar um papel capaz de atenuar a propagação dos sons. Em contrapartida, foi percebido que os abrigos de ponto de parada são capazes de atenuar os sons urbanos minimamente, a depender de sua localização desenho urbano do entorno, foi possível encontrar atenuações de até 5 dB. No processo para a execução deste trabalho, o maior desafio foi a geração dos resultados das simulações por meio do software disponível, por possuir algumas limitações operacionais.



De qualquer forma, foi possível compreender a complexidade de estudos urbanos na área da acústica ambiental. Esse trabalho visou contribuir com avaliações sonoras na cidade de Maceió, de modo a proporcionar debates para refletir a maneira de como os sons urbanos são menosprezados. Além disso, o presente estudo levanta subsídios importantes para a geração e orientação de políticas, programas, ações e estratégias públicas de planejamento urbano.

Para trabalhos futuros, recomenda-se um estudo mais detalhado dos abrigos de pontos de paradas de ônibus, com o objetivo de que esses mobiliários auxiliem no conforto acústico urbano de alguma maneira. Também foi possível concluir que existe deficiência nos estudos desses equipamentos quanto à sua implantação, visto que esse trabalho teve o foco no apontamento dos impactos causados por ele.



## REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. NBR10.151: *Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade* – Procedimento. 4. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2000.
- ABNT, A.B. NBR 10.152 – *Níveis de ruído para conforto acústico*. 4. Rio de Janeiro. 2017.
- ACIF. *Associação Comercial e Industrial de Florianópolis*. Disponível em: <<https://www.acif.org.br/>>. Acesso em: 10 nov 2017
- AGUILERA, P. L. G. *Potencial de uso da tecnologia de barreiras acústicas para redução da poluição sonora: estudo de caso no Lactec*. 2007.
- ALENCAR, B. S.; ALVES, A. de S. M.; OITICICA, M. L. G. da R. *Perfil da poluição sonora na cidade de Maceió – AL*. 2012.
- ALI, S. A.; TAMURA, A. *Road traffic noise levels, restrictions and annoyance in Greater Cairo, Egypt*. Applied Acoustics, v. 64, n. 8, p. 815–823, 2003.
- ALVES, A. *Desenvolvimento de uma ferramenta para análise do estudo de impacto de vizinhança na área de emissões sonoras*. 2013. Universidade Federal de Santa Maria, 2013.
- ANTP, A. N. de T. P. *Análise de modelos de concessão e governança para sistemas de transporte público coletivo de passageiros por ônibus na cidade de São Paulo*. In: Série Cadernos Técnicos. p. 1–61.
- AUGUSTYŃSKA, D. et al. *Assessment of teachers' exposure to noise in selected primary schools*. Archives of Acoustics, v. 35, n. 4, p. 521–542, 2010.
- AULER, M. M. et al. *Do estudo de impacto de vizinhança e de sua impostergável regulamentação e implementação no município de Curitiba: análise comparativa e recomendações*. Projeto Cidade em Debate, p. 1–46, 2014.
- BALZAN, K. L. *Avaliação do ruído de tráfego veicular em área central de Chapecó – Sc*. p. 1–128, 2011.
- BARBOSA, A. L. S. *Estudo de barreiras acústicas para a atenuação do ruído aeronáutico no aeroporto de Congonhas em São Paulo*. Universidade de São Paulo, 2015.
- BARROS, C. P. G. De. *O impacto do ruído de canteiro de obra na qualidade acústica da circuvizinhança. Estudo de caso: Recorte do bairro da Jatiúca, cidade de Maceió AL*. 2016. Universidade Federal de Alagoas, 2016.
- BELLINI, F. A. T. *Abrigos de ônibus em São Paulo: análise da produção recente*. 2008.
- BENDER, A. et al. *Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora. Ambiente e Sociedade*, v. 8, n. 2, p. 1–13, 2005.
- BENNY, S. et al. *Estudo de impacto de vizinhança: caderno técnico de regulamentação e implementação*. Brasília: Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos, 2017. v. 4
- BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D. *New WHO guidelines for community noise*. Noise & Vibration Worldwide, 2000. .

BERTOLI, S. R. *Avaliação Do Conforto Acústico De Prédio Escolar Da Rede Pública : O Caso De Campinas*. Unicamp, n. 1, p. 1–8, 2001.

BEZERRA, M. *Forma urbana e qualidade ambiental da circulação de veículos nas cidades*. Revista arq.urb, v. 11, p. 82–94, 2014. Disponível em: <<http://www.usjt.br/arq.urb/numero-11/7-mariacarmo.pdf>>. Acesso em: 11 dez 2018.

BILGILI, S.; SHILTON, S. J.; KINGDOM, U. *Assessment and management of environmental noise*. 2011, p. 381–386, 2015. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=URISERV:l21180&from=EN&isLegisum=true>>. Acesso em: 22 jan. 2019.

BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. 2ª edição ed. 2011.

BRASIL, C. N. de M. *A frota de veículos nos Municípios em 2018*. Disponível em: <[www.cnm.org.br](http://www.cnm.org.br)>. Acesso em: 17 set. 2018. Acesso em: 13 abr. 2017

BRASILEIRO, T. da C. *Mapeamento sonoro: estudo do ruído urbano no bairro Castelo Branco, em João Pessoa-PB*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

BRESSANE, A. et al. *Sistema de apoio à avaliação de impactos da poluição sonora sobre a saúde pública*. Cadernos de Saúde Pública, v. 32, n. 5, p. 1–11, 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2016000500703&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2016000500703&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 14 fev 2018

BRITO, C. R. de. *O ruído e suas consequências: um estudo de caso com moradores do entorno da praça do conjunto Eldorado em Manaus*. 2015.

BROWN, A. L. *Exposure of the Australian population to road traffic noise*. Applied Acoustics, v. 43, n. 2, p. 169–176, 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0003682X94900604>>. Acesso em: 25 fev. 2019

BRUEL & KJAER. *Environmental noise*. 2000.

BUNN, F. *Avaliação da poluição sonora gerada pelo tráfego ferroviário na Cidade de Curitiba*. Universidade Federal do Paraná, 2013.

CALIXTO, A. et al. *Evaluation of transportation noise in urbanised areas: A case study*. Archives of Acoustics, v. 33, n. 2, p. 185–199, 2008.

CALLAI, R. C. *Estudo do ruído causado pelo tráfego de veículos em rodovias com diferentes tipos de revestimentos de pavimentos*. Universidade de São Paulo, 2011.

CANTIERI, E. et al. *Elaboração de um mapa de ruído para a região central da cidade de Curitiba – PR* Elaboration of a Noise Map in Curitiba Downtown. v. X, p. 71–95, 2010.

COPELAND, D. et al. *Soundscape*. The Journal of Acoustic Ecology, v. 3, n. 1, p. 1–36, 2002. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=URISERV:l21180&from=EN&isLegisum=true>>. Acesso em: 16 mai. 2017.

CORTÊS, M. M.; NIEMAYER, M. L. *O potencial da utilização da ferramenta de mapa de ruído em diferentes escalas de análise*. Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, v. 0, n. 11, p. 87–98, 2014. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/12087>>. Acesso em: 17 jun. 2018.

COSTA, S. B.; LOURENÇO, R. W. *Geoprocessing applied to the assessment of environmental noise a case study in the city of Sorocaba*, São Paulo, Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, 2011.

DÉBORA NOGUEIRA PINTO, F. *Avaliação do mapa sonoro de tráfego veicular no município de Natal /RN*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018.

DIRETIVA 2002/49/CE. *Diretiva 2002/49/CE do Parlamento europeu e do conselho da União Européia relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente*. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, v. L 189/12, p. 48, 2002. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0025:PT:PDF>>. Acesso em: 18 jul. 2017.

DREOSSI, R. C. F.; MOMENSOHN-SANTOS, T. *O ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura*. Pró-Fono Revista de Atualização Científica, v. 17, n. 2, p. 251–258, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/pfono/v17n2/en\\_v17n2a13.pdf](http://www.scielo.br/pdf/pfono/v17n2/en_v17n2a13.pdf)>. Acesso em: 29 ago. 2018.

DUARTE, E. de A. C.; VIVEIROS, E. B. *Desempenho acústico na arquitetura residencial brasileira: paredes de vedação*. Ambiente Construído, v. 7, n. 3, p. 159–171, 2007.

ENGEL, M. S. *Caracterização da poluição sonora, através de medições, mapeamentos e entrevistas de percepção sonora na linnha verde em Curitiba - Paraná*. Universidade Federal do Paraná, 2012.

ENHEALTH, C. *The health effects of environmental noise – other than hearing loss*. Australian Government, 2004.

ENIZ, A. de O. *Mestrado poluição sonora em escolas do distrito federal*. Universidade Católica de Brasília, 2004.

FIEDLER, P. E. K. *Poluição sonora nos eixos estruturais de transporte da cidade de Curitiba - PR*. Universidade Federal do Paraná, 2013.

FIORINI, A.; MATOS, E. *Ruído na escola: queixas de saúde eo incômodo em professores do ensino público*. Distúrbios da Comunicação Humana, v. 21, n. 2, p. 187–197, 2009. Disponível em: <<http://revistas.pucsp.br/index.php/dic/article/view/6951>>. Acesso em: 20 set. 2017.

FREITAS, E. F. *Desempenho de Barreiras Acústicas – dois métodos de avaliação*. p. 15–26, 2007.

GERGES, S. *Ruído – Fundamentos e Controles*. 2 ed. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

GIUNTA, M. B. *Análise de modelagen de previsão acústica e mapeamento sonoro para a cidade de São Carlos- SP*. Universidade Federal de São Carlos, 2013.

GOINES, L.; HAGLER, L. *Noise Pollution : A Modem Plague*. v. 100, n. 3, p. 287–294, 2007.

GONÇALVES, V. D. S. B.; SILVA, L. B. Da; COUTINHO, A. S. *Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade de fala dos professores*. Produção, v. 19, n. 3, p. 466–476, 2009.

GRILLO, M. H. M. M.; PENTEADO, R. Z. *Impacto da voz na qualidade de vida de professore(a)s do ensino fundamental*. Pró-Fono Revista de Atualização Científica, v. 17, p. 311–320, 2005.

GUEDES, I. C. M. *Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE)*. Universidade Estadual de Campinas, 2005.

GUEDES, I. C. M. *Modelo probabilístico para investigação da influência de pontos de ônibus no ruído*

do tráfego veicular urbano. p. 4–5, 2018.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R. *Mapa acústico como ferramenta de avaliação de ruído de tráfego veicular em Aracaju – Brasil*. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 5, n. 2, p. 40–51, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/viewFile/8634537/2458>>. Acesso em: 21 out. 2018.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R.; MONTALVÃO, J. *Environmental Acoustics & Community Noise*: Monte Carlo simulations to estimate the impact of vehicle traffic noise dynamics in the vicinity of a bus stop based on real sound signals Simulações de Monte Carlo para estimar o impacto da dinâmica: FIA2016-103, 2016.

GUIDINI, F. R. et al. *Correlações entre ruído ambiental em sala de aula e voz do professor*. Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, v. 17, n. 4, p. 398–404, 2012.

GUIMARÃES, G. dos S.; OLIVEIRA, G. L. Implantação de telhado verde em uma parada de ônibus em Manaus / AM. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 01, p. 82–98, 2018. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/parada-de-onibus>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

HANS, R. F. *Avaliação de ruído em escolas*. Revista Tecnologia e Tendências, v. 9, p. 9–20, 2014.

HORNIKX, M.; VAN RENTERGHEM, T. *The potential of vegetation for reducing road traffic noise at urban quiet sides*. Proceedings - European Conference on Noise Control, p. 949–954, 2012. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84866000235&partnerID=tZOtx3y1>>. Acesso em: 03 dez. 2018.

IBGE. *População nos Censos Demográficos*. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 27 set. 2017.

ISO 9613-2. *Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation*. v. 1996.

JAMES, P. et al. *Managing Metropolises by Negotiating Mega-Urban Growth*. Institutional and Social Innovation for Sustainable Urban Development., p. 217–232, 2013.

JAROSZEWSKI, G. C.; ZEIGELBOIM, B. S.; LACERDA, A. *Ruído escolar e sua implicação na atividade de ditado*. Revista CEFAC, p. 122–132, 2007.

KAMP, I. Van; DAVIES, H. *Environmental noise and mental health*: Five year review and future directions. 2008.

KLUIJVER, H. de; STOTER, J. *Noise mapping and GIS*: Optimising quality and efficiency of noise effect studies. Computers, Environment and Urban Systems, v. 27, n. 1, p. 85–102, 2003.

KO, J. H.; CHANG, S. II; LEE, B. C. *Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS*: A case study in the city of Chungju, Republic of Korea. Applied Acoustics, v. 72, n. 8, p. 544–550, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.09.002>>.

KOTZEN, B.; ENGLISH, C. *Environmental Noise Barriers*: a guide to their acoustic and visual design. 2ª ed, 2009.

KUMAZAWA, M. D. S.; SATURI, L. T. *Diretrizes para o projeto de mobiliário urbano - abrigo de ônibus* - Franca SP. Revista Design e Tecnologia, v. II, p. 12–36, 2015.

- LACERDA, A. *Características do zumbido em trabalhadores expostos a ruído*. n. March, 2009.
- LEVANDOSKI, G. *Qualidade de vida e conforto acústico em ambientes educacionais*. p. 130, 2013.
- LISOT, A. *Modelo em escala reduzida ao ar livre como ferramenta de validação de simulação computacional de barreiras acústicas*. 2013.
- LISOT, A.; SOARES, P. F. *Ressonadores de Helmholtz em barreiras acústicas: avaliação do desempenho na atenuação do ruído de tráfego*. p. 1–12, 2008.
- LUDLOW, J. D. G.; DOMÈNECH, F. D. *La revalorización de los sonidos urbanos, Ciutat Vella, Barcelona*. Tecniacústica Cádiz, 2009.
- MACEIÓ, P. de M. *Plano Diretor*. p. 1–172, 2006.
- MACEIÓ, P. M. *Código de Urbanismo e Edificações de Maceió*. p. 1–172, 2007.
- MARICATO, E. *Metropoles desgovernadas*. EcoDebate, 2012.
- MARILDA DUBOC. *Controle ativo de ruído em barreira acústica*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- MATHEWS, R. The effect of Community Noise on health and well-being. 2009. Disponível em: <<http://aut.researchgateway.ac.nz/handle/10292/1202>>. Acesso em: 24 jan 2019.
- MCALEXANDER, T. P.; GERSHON, R. R. M.; NEITZEL, R. L. *Street-level noise in an urban setting: Assessment and contribution to personal exposure*. Environmental Health: A Global Access Science Source, v. 14, n. 1, p. 1–10, 2015.
- MELO, R. et al. *Previsão do nível de ruído gerado pelo tráfego de veículos na cidade de João Pessoa, Brasil*. n. July, 2010.
- MENDONÇA, A. B. D. *Relações entre índices urbanísticos da forma urbana e a acústica ambiental*. Universidade Federal de São Carlos, 2013.
- MENDONÇA, A. B. D. et al. *Classes de quadras urbanas determinadas pelos níveis de ruídos*. Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management, n. 2, p. 63–77, 2013.
- MENDONÇA, E. C. de. *Ruído em Santa Maria - RS A contribuição do tráfego veicular em área mista (Residencial / Comercial)*. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
- MOOVIT. *Moovit*. Disponível em: <<https://moovitapp.com/>>. Acesso em: 9 jul. 2018.
- MORAES, E. L.; SIMÓN, F.; GUIMARÃES, L. H. *Mapa de predicción del ruido ambiente en Belém - Brasil*. In: 1, Anais.2009.
- MORAIS, L. R. de. *Estudo de barreiras acústicas no controle do ruído aeroportuário*. 91, 2017.
- MORILHA JUNIOR, A. *A trilha pioneira do asfalto borracha*, 2004. .
- MORRELL, S.; TAYLOR, R.; LYLE, D. *A review of health effects of aircraft noise*. 1997.
- MOURA, V. R. de; MELO, G. da S. V. de; SANTOS, W. S. *Ruído e configuração espacial urbana: um estudo de caso na cidade de Belém do Pará*. PARC Pesq. em Arquit. e Constr., v. 7, n. Campinas, SP, p. 237–251, 2016.

- MURGUEL, E. *Fundamentos de acústica ambiental*. 2007.
- NARDI, A. S. L. V. *Mapeamento sonoro em ambiente urbano*. Estudo de caso: área central de Florianópolis. 2008.
- NASTA, A. P. *Design , ergonomia e sustentabilidade ambiental em sistemas de abrigos de ônibus*. 2014.
- NEUMANN, H. R. *Qualidade ambiental urbana: a paisagem sonora da Rua Teodoro Sampaio - São Paulo*. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2014.
- NIEMAYER, M. L.; CORTÊS, M. M. *Avaiiação do incômodo sonoro da linha vermelha do bairro de São Cristóvão, Rio de Janeiro*. SOBRAC, n. 1, 2012.
- OITICICA, M. L. G. da R.; BERTOLI, S. R. *Contribuição acústica do peitoril ventilado para ambientes com climatização natural*. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, v. 1, n. 1, p. 1–10, 2011.
- OITICICA, M. L. G. R. ; FIRMINO, L. B. . ;ALMEIDA, C. V. *Poluição sonora na cidade de Maceió-AL entre os anos de 2013 a 2015*. Pluris, 2016.
- OITICICA, M. L. G. R. O estresse do professor acentuado pela precariedade das condições acústicas das salas de aula. p. 2539–2546, 2004.
- OJIMA, R. *Novos contornos do crescimento urbano brasileiro: o conceito de demografia*, p. 46–59, 2008.
- OLIVEIRA, A. *Em 30 anos, a população urbana mundial deve ultrapassar as 6 bilhões de pessoas*. Disponível em: <<https://urbe.me/lab/em-30-anos-a-populacao-urbana-mundial-deve-ultrapassar-as-6-mil-milhoes-de-pessoas/>>. Acesso em: 8 mar. 2018.
- OLIVEIRA, P. L. DE. *Habitar entre sons e ruídos: impactos sonoros provocados por templos na paisagem sonora do Loteamento Village Campestre, Maceió-AL*. Universidade Federal de Alagoas, 2017.
- OLIVEIRA, P. L. DE; OITICICA, M. L. G. R. *Legislações e acústica urbana: ouvindo os templos na cidade de Maceió*. PLURIS, 2016.
- OLIVEIRA, M. H. B. C. de C.; LANÇA, J. F.; BEZERRA, B. S. *Ônibus sob a ótica do usuário*. Revista dos Transportes Públicos - ANTP, v. Ano 38, n. 3º quadrimestre, p. 1–8, 2015.
- OMS. *Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe*. World Health Organization, p. 1–106, 2011.
- OMS. *CID 10 - Classificação estatística internacional de doenças e problemas relacionados à saúde*. In: Anais.2014.
- PAVIOTTI, M. *Environmental Noise Directive 2002 / 49 / EC*. 2002.
- PEDERSEN, E.; WAYE, K. P. *Wind turbines - Low level noise sources interfering with restoration: Environmental Research Letters*, v. 3, n. 1, p. 1–5, 2008.
- PEDRO, R. et al. *Atenuação sonora de barreiras acústicas*. 2014.
- PEDROSO, G. *Avaliação comparativa de sustentabilidade de sistemas VLP ( Veículo Leve sobre Pneus e VLT ( Veículo Leve sobre Trilhos )*: um estudo exploratório. 2012.



- PERNAMBUCO, M. P. de. *Cartilha poluição sonora*. 2012.
- PETIAN, A. Incômodo em relação ao ruído urbano entre trabalhadores de estabelecimentos comerciais no município de São Paulo. 2008.
- PHILLIPE, Á. et al. *Utilização de modelos matemáticos na análise do ruído de tráfego em uma travessia urbana*. 2012.
- PIERCE, A. D. *Diffraction of sound around corners and over wide barriers*. The Journal of the Acoustical Society of America, v. 55, n. 5, p. 941–955, 1974. Disponível em: <<http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1914668>>. Acesso em: 25 fev. 2018.
- PINTO, D. N. *Mapeamento acústico como ferramenta para previsão de ruído urbano na área de influência do Estádio Arena das Dunas, Natal/ RN.* Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.
- PINTO, F. A. de N. C.; MARDONES, M. D. M. *Noise mapping of densely populated neighborhoods - example of Copacabana, Rio de Janeiro - Brazil*. Environmental Monitoring and Assessment, v. 155, n. 1–4, p. 309–318, 2009.
- PIRES, M. A. T. *Barreiras acústicas , avaliação da sua eficácia*. 2014.
- PORTELA, B. S. *Análise da exposição ocupacional ao ruído em motoristas de ônibus urbanos : avaliações objetivas*. Universidade Federal do Paraná, 2008.
- PORTELA, B. S.; ZANNIN, P. H. T. *Analysis of factors that influence noise levels inside urban buses*. Journal of Scientific and Industrial Research, v. 69, n. 9, p. 684–687, 2010.
- PROVENZANO, L. C. F. A.; SAMPAIO, T. M. M. *Prevalência de disfonia em professores do ensino público estadual afastados de sala de aula*. Rev. CEFAC, v. 12, n. 1, p. 97–108, 2010.
- RIBEIRO, N. M. P. *Barreiras sonoras em alta velocidade ferroviária*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- RODRIGUES, A. J. da C. *Barreiras acústicas , uma solução para controlar o ruído em meio urbano*. p. 95, 2013.
- RODRIGUES, F. *Análise de ruído em terminais de transporte coletivo urbano : análise de ruído em terminais de transporte coletivo urbano : 2006*.
- RODRIGUES, H. et al. *Perda auditiva induzida por ruído e hipertensão em condutores de ônibus*. v. 36, n. 6, p. 693–701, 2002.
- RODRIGUES, M. C. *Estudo da influência dos parâmetros de injeção de combustível no ruído emitido por motores Diesel , fazendo uso do planejamento multivariado de experimentos*. 2011.
- ROGER, N. et al. *Silvia-sustainable road surface for traffic noise control*. Technical report, Brussel, 2006.
- SANDBERG, U. *Influence of road surface texture on traffic characteristics related to environment, economy and safety: A state-of-the-art study regarding measures and measuring methods*. 1998.
- SANTOS, M. *A urbanização brasileira*. 1993
- SCHAFER, R. M. *A afinação do mundo*, 2001. . Disponível em: <[http://monoskop.org/images/9/93/Schafer\\_R\\_Murray\\_A\\_afinacao\\_do\\_mundo.pdf](http://monoskop.org/images/9/93/Schafer_R_Murray_A_afinacao_do_mundo.pdf)>. Acesso em: 26

mar. 2018.

SERVILHA, E. A. M.; RUELA, I. de S. *Riscos ocupacionais à saúde e voz de professores especificidades das unidades de rede municipal de ensino*. Rev. CEFAC, p. 1–6, 2003.

SILVA, M. M. F. *Estimativa da poluição emitida pelos ônibus das linhas troncais da cidade de Uberlândia, MG*. Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

SILVEIRA, R. C. *Procedimento de análise do impacto ambiental do ruído de tráfego em terminais de transporte coletivo urbano: um estudo de caso no município de Fortaleza*. 2008. Mestrado Universidade Federal do Ceará, 2008. Disponível em: <[http://www.det.ufc.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=197&Itemid=137](http://www.det.ufc.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=197&Itemid=137)>. Acesso em: 27 abr.2017.

SKARLATOS, D.; MANATAKIS, M. *Effects of classroom noise on students and teachers in Greece*. p. 539–544, 2003.

SMTT. *Melhorias no transporte público – Prefeitura de Maceió – Juntos Construimos um Novo Tempo*. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/smtt/simm/>>.

SMTT. *Superintendencia Municipal de Transporte e Trânsito*. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/smtt/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

SOARES, P. F. et al. *Isolação sonora em paredes, divisórias e atenuadores: valores teóricos versus valores práticos*. 2008.

SOUZA, D. F. M. de. *Mapeamento acústico do ruído de tráfego rodoviário do bairro Imbuí, Salvador - BA*. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

SOUZA, T. P. de C. P. de. *Crescimento do ruído urbano e seus impactos no conforto acústico de espaços hospitalares*. Universidade da Amazônia, 2011.

SOUZA, R. B. E. *O som nosso de cada dia análise do comportamento da acústica urbana a partir de modificações na forma urbana*. Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

STANSFELD, S. A.; MATHESON, M. P. *Noise pollution: non-auditory effects on health*. British Medical Bulletin, v. 68, n. August, p. 243–257, 2003.

STORK., R.; BERG, D. *Física do som*. 1995]

SURIANO, M. T. et al. Mapeamento sonoro e classificação acústica de quadras urbanas. **XII ENCAC**, n. 1, p. 1–10, 2013.

SURIANO, T. et al. *Ferramenta de apoio à decisão para o controle da poluição sonora urbana*. A decision-support tool for the control of urban noise pollution. redalyc, 2015.

TORIJA, A. J. et al. *Estudio de la relación entre el laeq y los niveles percentiles para la descripción del ruido ambiental*. p. 1–6, 2006.

TORIJA, A. J.; RUIZ, D. P.; RAMOS, A. *Obtaining of a factor to describe the anomalous sound events in traffic noise measurements*. 19 th International Congress On Acoustics Madrid, n. September, p. 2–7, 2007.

TSE, J. L. M.; FLIN, R.; MEARNNS, K. *Bus driver well-being review: 50 years of research*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, v. 9, n. 2, p. 89–114, 2006.

TURNER, S.; LIMITED, A. *Is noise a problem for the Citizen*. p. 1049–1051, 2015.

TURNER, S.; PLAHAY, T. *The Environmental Noise Directive – 10 years on*. Euronoise, 2012.

VALADARES, V. M. *Ruído de tráfego veicular em corredores de transporte urbano estudo de caso em Belo Horizonte - MG*. Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

VETTORAZZI, E. et al. *Elemento de controle térmico , lumínico e acústico*. n. 1, 2014.

WHO. *Global estimates on prevalence of hearing loss*. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 29, n. 6, p. 775–792, 2012. Disponível em: <[http://www.who.int/pbd/deafness/WHO\\_GE\\_HL.pdf](http://www.who.int/pbd/deafness/WHO_GE_HL.pdf)>. Acesso em: 27 abr. 2018.

WHO. *Environmental noise guidelines for the european region*. In: World Health Organization. p. 181.2018.

ZAJARKIEWICCH, D. F. B. *Poluição sonora urbana : principais fontes . Aspectos jurídicos e técnicos*. 2010a. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2010.

ZANNIN, P. H. T.; SANT'ANA, D. Q. De. *Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project - A case study in Brazil*. *Applied Acoustics*, v. 72, n. 8, p. 479–486, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.09.014>>. Acesso em: 08 mai. 2018.

