

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DO IMPACTO
AMBIENTAL DO RUÍDO DE TRÁFEGO EM TERMINAIS
DE TRANSPORTE COLETIVO URBANO: UM ESTUDO
DE CASO NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA**

Roger Cajazeiras Silveira

**Dissertação submetida ao Programa de
Mestrado em Engenharia de Transportes
da Universidade Federal do Ceará, como
parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em
Engenharia de Transportes.**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Júlio Francisco Barros Neto

**Fortaleza
2008**

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVEIRA, ROGER CAJAZEIRAS

Procedimento de Análise do Impacto Ambiental do Ruído de Tráfego em Terminais de Transporte Coletivo Urbano: um estudo de caso no Município de Fortaleza. / Roger Cajazeiras Silveira

VI, 113 f. :il. Color. ;enc.

Orientador: Dr. Júlio Francisco Barros Neto

Área de Concentração: Transporte Coletivo Urbano

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

1. Terminais de transporte coletivo – Ruído 2. Poluição sonora 3. Ruído urbano I. Barros Neto, Júlio Francisco (orient.) II. Universidade Federal do Ceará – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN III. Título

CDD 388

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVEIRA, R.C. (2008). Procedimento de Análise do Impacto Ambiental do Ruído de Tráfego em Terminais de Transporte Coletivo Urbano: um estudo de caso no Município de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 113 pág.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Roger Cajazeiras Silveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Procedimento de Análise do Impacto Ambiental do Ruído de Tráfego em Terminais de Transporte Coletivo Urbano: um estudo de caso no Município de Fortaleza.

Mestre / 2008

É concedida à Universidade Federal do Ceará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Roger Cajazeiras Silveira

Rua Gustavo Sampaio, N. ° 1029, Apto 404 – Bairro Parquelândia

60.455-000 – Fortaleza/CE – Brasil

e-mail: roger@cefetce.br

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL DO RUÍDO DE
TRÁFEGO EM TERMINAIS DE TRANSPORTE COLETIVO URBANO: UM
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA.

Roger Cajazeiras Silveira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE
TRANSPORTES

Aprovado por:

Prof. Júlio Francisco Barros Neto, D.Sc.
(Orientador – UFC)

Prof. Waldemiro de Aquino Pereira Neto, D.Sc.
(Examinador Interno – UFC)

Prof. João Alencar Oliveira Júnior, D.Sc.
(Examinador Externo – Ministério das Cidades)

Prof.^a Yaeko Yamashita, D.Sc.
(Examinadora Externa – UnB)

FORTALEZA, CE – BRASIL
SETEMBRO DE 2008

“Se tivéssemos de escolher entre conhecimento e virtude, a última seria sem dúvida a melhor escolha, pois é mais valiosa. O bom coração que é fruto da virtude é por si só um grande benefício para a humanidade. O mero conhecimento, não.”

Dalai-Lama

DEDICATÓRIA

À minha esposa Sâmia, pelos anos maravilhosos ao seu lado.

Ao meu filho Davi, por ter me dado a oportunidade de amar incondicionalmente.

Aos meus pais Silveira e Maria Aldemiza pelo grande carinho e amor.

AGRADECIMENTOS

Em Primeiro lugar agradeço a Deus, pela sua imensa bondade, generosidade infinita e pela vida que me foi dada.

Aos meus pais Silveira e Maria Aldemiza pelo amor, dedicação, formação, pelo exemplo de caráter e por se fazerem sempre presentes nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos, especialmente ao George, que sempre me deu coragem e incentivo para o término desse trabalho.

À minha querida esposa Sâmia, minha outra metade, que com muita paciência, compreensão, amor e dedicação soube me motivar e mostrar que sempre estará do meu lado em todas as dificuldades. A você o meu eterno amor.

Ao meu amado filho Davi que com sua inocência de criança me deu alegria e coragem para continuar sempre em frente.

Ao meu sogro Aécio e minha sogra Ivone que em vários momentos dessa jornada me ajudaram para que eu tivesse mais tempo de dedicação ao estudo.

Gostaria de agradecer imensamente ao apoio de minha grande amiga professora Cassandra Ribeiro, pela sua paciência e sabedoria e sem sua ajuda nada disso teria se iniciado.

À SEMAM, Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Controle Urbano, pelo empréstimo dos equipamentos, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

Aos técnicos da SEMAM Júlio, Aurélio e Cláudio que deram o apoio necessário e informações valiosas para o resultado final desse trabalho.

À ETUFOR, Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza S/A, na pessoa do seu presidente José Ademar Gondim, que abriu todas as portas da empresa para que a pesquisa fosse realizada, assim como, seus funcionários que sempre me atenderam bem e que foram extremamente solícitos.

Aos meus amigos de mestrado Alexandre Weber, Bruno Rocha, Harlenn Lopes pelo apoio, amizade, carinho e momentos de descontração.

Ao professor Júlio Francisco Barros Neto, pela orientação e dedicação de forma especial à realização deste trabalho.

Ao meu amigo professor João Alencar Oliveira Júnior, pelo acompanhamento do trabalho e suas criteriosas correções, enriquecendo de forma sucessiva esse trabalho.

Ao amigo Professor Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho, que com o seu jeito sereno de ser, mostrou que a produção de conhecimentos pode ser feita de forma tranqüila.

A todos os professores do curso de Mestrado que, cada um à sua maneira, contribuiu para a realização deste trabalho.

Ao meu colega de trabalho professor Willys Aguiar que em muitos momentos me incentivou a seguir até o final.

À Sra. Ivone Aleixo por sua amizade e pelo suporte na secretaria durante todo o curso.

A todos, que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste estudo, fica o meu mais sincero agradecimento e respeito.

Resumo da Dissertação submetida ao PETRAN/UFC como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL DO RUÍDO DE
TRÁFEGO EM TERMINAIS DE TRANSPORTE COLETIVO URBANO: UM
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA.

Roger Cajazeiras Silveira

Setembro/2008

Orientador: Júlio Francisco Barros Neto

O processo de urbanização das grandes cidades, o aumento das viagens motorizadas e o acréscimo das atividades industriais têm agravado as externalidades ambientais, em particular a poluição sonora. Essa poluição incomoda à população, contribui para a degradação da qualidade de vida, tendo reflexos em todo o organismo e não somente no aparelho auditivo, mas, também, é um problema de saúde pública. A estratégia de terminais de integração objetiva facilitar o deslocamento da população nas grandes cidades, entretanto concentra a operação de ônibus num pequeno espaço, o que gera um elevado nível de ruído. Esse estudo propõe diagnosticar o nível de ruído dentro dos terminais na cidade de Fortaleza, compará-los com a legislação vigente e investigar os parâmetros que influenciam nos níveis de ruído.

Abstract of the Thesis submitted to PETRAN/UFC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.) in Transportation Engineering.

PROCEDURE OF ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE
NOISE OF TRAFFIC IN TERMINALS OF URBAN COLLECTIVE TRANSPORT: A
STUDY OF CASE IN THE MUNICIPAL DISTRICT OF FORTALEZA

Roger Cajazeiras Silveira

September/2008

Advisor: Júlio Francisco Barros Neto

The process of urbanization of large cities and the increase of the number of motorized trips and the increment of the industrial activities has been worsening the environmental impacts, in particular the noise pollution. That pollution troubles the population, contributes to the degradation of life quality and is also a public health problem. The strategy of using integration terminals aims to facilitate the transportation of the population in those cities. However, there is a concentration of the bus operation on a relatively small space, what generates high noise levels. This research intends to diagnose the noise level inside the terminals in the city of Fortaleza. The results will be compared with the existing legislation and the parameters that influence these levels will be studied.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 A RELEVÂNCIA DA DISSERTAÇÃO	3
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO	4
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
CAPÍTULO 2	7
CONCEITOS E DEFINIÇÕES FUNDAMENTAIS	7
2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DO SOM	7
2.2 PROPRIEDADES ACÚSTICAS.....	13
2.2.1 Velocidade do Som	13
2.2.2 Comprimento de Onda.....	15
2.2.3 Freqüência Sonora	15
2.2.4 Intensidade Sonora.....	16
2.3 ASPECTOS GERAIS DO RUÍDO	16
2.3.1 Nível de Intensidade Sonora - NIS	17
2.3.2 Nível de Pressão Sonora – NPS.....	18
2.3.3 Nível Equivalente de Pressão Sonora – L_{eq}	20
2.3.4 Curva de Ponderação Sonora.....	21
2.3.5 Níveis de Pressão Sonora Máximo e Mínimo	22
2.3.6 Níveis Estatísticos do Ruído	22
2.3.7 Emissão e Imissão Sonoras.....	22
2.3.8 Índice de Ruído de Tráfego (IRT)	23
2.3.9 Normas e Legislação sobre Ruídos.....	24
CAPÍTULO 3	28
RUÍDO GERADO PELOS TRANSPORTES URBANOS E SUAS CONSEQÜÊNCIAS	28
3.1 RUÍDO DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO	28
3.1.1 Fortaleza e o Transporte Público de Passageiros por Ônibus.....	30
3.2 FONTES DO RUÍDO DE TRÁFEGO	31
3.2.1 Ruído da Força de Tração do Veículo	32
3.2.2 Ruído do Atrito dos Pneus com o Pavimento.....	32
3.3 IMPACTO DO RUÍDO SOBRE A SAÚDE DO SER HUMANO	32
3.3.1 Efeitos Indiretos ou Não Auditivos	34
3.3.2 Efeitos Diretos ou Auditivos.....	34
3.3.3 Distúrbio do Sono	37
3.4 CONTROLE DO RUÍDO DE TRÁFEGO.....	39
3.5 CUSTO AMBIENTAL DA REDUÇÃO DO RUÍDO	42
CAPÍTULO 4	47
METODOLOGIA	47

4.1	DESCRIÇÃO DOS TERMINAIS DO SITFOR	48
4.1.1	Terminal de Antônio Bezerra	50
4.1.2	Terminal de Messejana	52
4.1.3	Terminal do Conjunto Ceará.....	53
4.1.4	Terminal do Papicu	53
4.1.5	Terminal da Parangaba	54
4.1.6	Terminal do Siqueira	56
4.2	METODOLOGIA DE MENSURAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	57
CAPÍTULO 5		61
RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS DADOS.....		61
5.1	ESTUDO ESTATÍSTICO INICIAL DAS MEDIÇÕES DE RUÍDO NOS TERMINAIS.....	61
5.1.1	Terminal de Antônio Bezerra	62
5.1.2	Terminal de Messejana	64
5.1.3	Terminal do Conjunto Ceará.....	67
5.1.4	Terminal do Papicu	69
5.1.5	Terminal de Parangaba	71
5.1.6	Terminal de Siqueira.....	73
5.2	JUSTIFICATIVA DA RETIRADA DOS DADOS EXTREMOS	76
5.2.1	Terminal de Antônio Bezerra	76
5.2.2	Terminal de Messejana	77
5.2.3	Terminal do Conjunto Ceará.....	77
5.2.4	Terminal do Papicu	78
5.2.5	Terminal de Parangaba	79
5.2.6	Terminal do Siqueira	79
5.3	COMPARATIVO DOS TERMINAIS EM FUNÇÃO DOS DADOS ESTATÍSTICOS E DA LINHA TEMPORAL	80
5.3.1	Terminal do Antônio Bezerra	82
5.3.2	Terminal de Messejana	83
5.3.3	Terminal do Conjunto Ceará.....	84
5.3.4	Terminal do Papicu	84
5.3.5	Terminal da Parangaba	85
5.3.6	Terminal do Siqueira	86
5.4	RELAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE ÔNIBUS ANALISADO NO FATOR DE TEMPO DE UM E TRÊS MINUTOS	88
5.4.1	Terminal do Antônio Bezerra	88
5.4.2	Terminal de Messejana	90
5.4.3	Terminal do Conjunto Ceará.....	92
5.4.4	Terminal do Papicu	94
5.4.5	Terminal da Parangaba	96
5.4.6	Terminal do Siqueira	98
5.5	ANÁLISE DO MODELO DE REGRESSÃO.....	103
5.4.1	Terminal do Antônio Bezerra	106
5.4.2	Terminal de Messejana	108
5.4.3	Terminal do Conjunto Ceará.....	110
5.4.4	Terminal do Papicu	111

5.4.5	Terminal da Parangaba	113
5.4.6	Terminal do Siqueira	114
CAPÍTULO 6		118
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....		118
6.1	ANÁLISE GERAL DOS DADOS COLETADOS NOS TERMINAIS.....	118
6.2	RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		122

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: VISÃO BIDIMENSIONAL DA PROPAGAÇÃO DO SOM A PARTIR DO FOCO DE GERAÇÃO	7
FIGURA 2.2: ESQUEMA DE PROPAGAÇÃO DE UMA ONDA LONGITUDINAL.....	8
FIGURA 2.3: REPRESENTAÇÃO DA REFLEXÃO DO SOM.....	9
FIGURA 2.4: DIFERENÇA ENTRE OS TRÊS FENÔMENOS SUBJETIVOS DA REFLEXÃO – REFLEXÃO, REVERBERAÇÃO E ECO.....	10
FIGURA 2.5: ESQUEMA DA DIVISÃO DO SOM AO ENCONTRAR UM OBSTÁCULO.....	11
FIGURA 2.6: SOM DE BAIXA FREQUÊNCIA (GRAVE) CONTORNANDO UM OBSTÁCULO.....	12
FIGURA 2.7: DIFRAÇÃO DE UM SOM AGUDO CONTORNANDO UM OBSTÁCULO.....	12
FIGURA 2.8: DIFRAÇÃO DE UM SOM AGUDO PROPAGANDO-SE POR TODO AMBIENTE, ATRAVÉS DE UMA ABERTURA.....	13
FIGURA 2.9: REPRESENTAÇÃO DE UMA ONDA LONGITUDINAL.....	15
FIGURA 2.10: FAIXA AUDÍVEL DE FREQUÊNCIAS.....	16
FIGURA 2.11: CURVA DE PONDERAÇÃO A.....	21
FIGURA 2.12: EMISSÃO SONORA.....	23
FIGURA 2.13: IMISSÃO SONORA.....	23
FIGURA 3.1: EVOLUÇÃO DA FROTA DE ÔNIBUS URBANO EM FORTALEZA.....	30
FIGURA 3.2: ANATOMIA DA ORELHA.....	35
FIGURA 3.3: SECÇÃO TRANSVERSAL DO CLÓCLEA.....	35
FIGURA 3.4: BARREIRA ACÚSTICA INSTALADA EM RODOVIA QUE LIGA A CIDADE DE HANOVER, NA ALEMANHA, A SEU AEROPORTO.....	40
FIGURA 3.5: TÚNEL FALSO EM OSAKA, JAPÃO, USADO PARA PROTEGER O PRÉDIO À DIREITA, EVITANDO QUE A IMPLANTAÇÃO DE BARREIRAS MUITO ALTAS CAUSASSEM GRANDE IMPACTO VISUAL.....	40
FIGURA 3.6 A 3.11: TIPOS DE BARREIRAS ACÚSTICAS.....	42
FIGURA 3.12: DISTRIBUIÇÃO 5% DO PIB PELOS DIVERSOS TIPOS DE EXTERNALIDADES..	43
FIGURA 4.1: METODOLOGIA USADA PARA ELABORAÇÃO DO ESTUDO.....	47
FIGURA 4.2: REDE DE TERMINAIS INTEGRADOS DO SITFOR.....	49
FIGURA 4.3: LEIAUTE DA ÁREA DO TERMINAL DE ANTÔNIO BEZERRA.....	51
FIGURA 4.4: LEIAUTE DA ÁREA DO TERMINAL DE MESSEJANA.....	52
FIGURA 4.5: LEIAUTE DA ÁREA DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ.....	53
FIGURA 4.6: LEIAUTE DA ÁREA DO TERMINAL PAPICU.....	54
FIGURA 4.7: LEIAUTE DA ÁREA DO TERMINAL PARANGABA.....	55
FIGURA 4.8: LEIAUTE DA ÁREA DO TERMINAL SIQUEIRA.....	56
FIGURA 4.9: EQUIPAMENTO POSICIONADO NA PLATAFORMA.....	59
FIGURA 5.1: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE (L_{EQ}) NO TERMINAL DE ANTÔNIO BEZERRA.....	62
FIGURA 5.2: FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE NO TERMINAL DE ANTÔNIO BEZERRA.....	63
FIGURA 5.3: NÍVEIS PERCENTIS DA PRESSÃO SONORA EM DB(A) NO TERMINAL DE ANTÔNIO BEZERRA.....	64
FIGURA 5.4: FLUXO DE ÔNIBUS/MIN NO PERÍODO AVALIADO NO TERMINAL DE ANTÔNIO BEZERRA.....	64
FIGURA 5.5: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE (L_{EQ}) NO TERMINAL DE MESSEJANA.....	65

FIGURA 5.6: FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE NO TERMINAL DE MESSEJANA	65
FIGURA 5.7: NÍVEIS PERCENTIS DA PRESSÃO SONORA EM DB(A) NO TERMINAL DE MESSEJANA	66
FIGURA 5.8: FLUXO DE ÔNIBUS/MIN NO PERÍODO AVALIADO NO TERMINAL DE MESSEJANA	66
FIGURA 5.9: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE (L_{EQ}) NO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ	67
FIGURA 5.10: FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE NO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ.....	68
FIGURA 5.11: NÍVEIS PERCENTIS DA PRESSÃO SONORA EM DB(A) DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ	68
FIGURA 5.12: FLUXO DE ÔNIBUS/MIN NO PERÍODO AVALIADO NO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ	69
FIGURA 5.13: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE (L_{EQ}) NO TERMINAL DO PAPICU	69
FIGURA 5.14: FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE DO TERMINAL DO PAPICU	70
FIGURA 5.15: NÍVEIS PERCENTIS DA PRESSÃO SONORA EM DB(A) NO TERMINAL DO PAPICU.....	70
FIGURA 5.16: FLUXO DE ÔNIBUS/MIN NO PERÍODO AVALIADO NO TERMINAL DO PAPICU	71
FIGURA 5.17: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE (L_{EQ}) NO TERMINAL DA PARANGABA	72
FIGURA 5.18: FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE NO TERMINAL DA PARANGABA	72
FIGURA 5.19: NÍVEIS PERCENTIS DA PRESSÃO SONORA EM DB(A) NO TERMINAL DA PARANGABA	73
FIGURA 5.20: FLUXO DE ÔNIBUS NO PERÍODO AVALIADO NO TERMINAL DA PARANGABA	73
FIGURA 5.21: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE (L_{EQ}) NO TERMINAL DO SIQUEIRA	74
FIGURA 5.22: FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE NO TERMINAL DO SIQUEIRA	74
FIGURA 5.23: NÍVEIS PERCENTIS DA PRESSÃO SONORA EM DB(A) NO TERMINAL DO SIQUEIRA	75
FIGURA 5.24: FLUXO DE ÔNIBUS NO PERÍODO AVALIADO DO TERMINAL DO SIQUEIRA ...	75
FIGURA 5.25: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES MÁXIMO E MÍNIMO DOS TERMINAIS	81
FIGURA 5.26: AMPLITUDE DOS TERMINAIS	82
FIGURA 5.27: LINHA TEMPORAL DO TERMINAL DE ANTÔNIO BEZERRA	83
FIGURA 5.28: LINHA TEMPORAL DO TERMINAL DE MESSEJANA.....	83
FIGURA 5.29: LINHA TEMPORAL DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ	84
FIGURA 5.30: LINHA TEMPORAL DO TERMINAL DO PAPICU.....	85
FIGURA 5.31: LINHA TEMPORAL DO TERMINAL DE PARANGABA.....	86
FIGURA 5.32: LINHA TEMPORAL DO TERMINAL DO SIQUEIRA	86
FIGURA 5.33: LINHA TEMPORAL DOS TERMINAIS NA SITUAÇÃO CRÍTICA	87
FIGURA 5.34: NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DO ANTÔNIO BEZERRA.....	89
FIGURA 5.35: NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DO ANTÔNIO BEZERRA	90

FIGURA 5.36: NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DE MESSEJANA	91
FIGURA 5.37: NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DE MESSEJANA	92
FIGURA 5.38: NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ.....	93
FIGURA 5.39: NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ.....	94
FIGURA 5.40: NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DO PAPICU	95
FIGURA 5.41: NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DO PAPICU	96
FIGURA 5.42: NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DA PARANGABA	97
FIGURA 5.43: NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DA PARANGABA	98
FIGURA 5.44: NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DO SIQUEIRA	99
FIGURA 5.45: NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN X NÍVEL SONORO EQUIVALENTE DO TERMINAL DO SIQUEIRA	100
FIGURA 5.46: MÉDIA DO FLUXO DE ÔNIBUS POR MINUTO DOS TERMINAIS	102
FIGURA 5.47: NÍVEL EQUIVALENTE MÁXIMO (L_{EQMAX}) NOS TERMINAIS	102
FIGURA 5.48: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LINEAR DO TERMINAL DE ANTÔNIO BEZERRA	107
FIGURA 5.49: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LOGARÍTMICA DO TERMINAL DE ANTÔNIO BEZERRA	107
FIGURA 5.50: DIAGRAMA DE DISPERSÃO DA RAIZ QUADRADA DO TERMINAL DE ANTÔNIO BEZERRA.....	108
FIGURA 5.51: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LINEAR DO TERMINAL DE MESSEJANA	108
FIGURA 5.52: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LOGARÍTMICA DO TERMINAL DE MESSEJANA	109
FIGURA 5.53: DIAGRAMA DE DISPERSÃO DA RAIZ QUADRADA DO TERMINAL DE MESSEJANA	109
FIGURA 5.54: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LINEAR DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ	110
FIGURA 5.55: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LOGARÍTMICA DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ	110
FIGURA 5.56: DIAGRAMA DE DISPERSÃO DA RAIZ QUADRADA DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ	111
FIGURA 5.57: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LINEAR DO TERMINAL DO PAPICU	111
FIGURA 5.58: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LOGARÍTMICA DO TERMINAL DO PAPICU	112
FIGURA 5.59: DIAGRAMA DE DISPERSÃO DA RAIZ QUADRADA DO TERMINAL DO PAPICU	112
FIGURA 5.60: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LINEAR DO TERMINAL DA PARANGABA.....	113
FIGURA 5.61: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LOGARÍTMICA DO TERMINAL DA PARANGABA	113
FIGURA 5.62: DIAGRAMA DE DISPERSÃO DA RAIZ QUADRADA DO TERMINAL DA PARANGABA	114
FIGURA 5.63: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LINEAR DO TERMINAL DO SIQUEIRA	114

FIGURA 5.64: DIAGRAMA DE DISPERSÃO LOGARÍTMICA DO TERMINAL DO SIQUEIRA.. 115

FIGURA 5.65: DIAGRAMA DE DISPERSÃO DA RAIZ QUADRADA DO TERMINAL DO
SIQUEIRA 115

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: VELOCIDADE DO SOM EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.....	14
TABELA 2.2: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DE ALGUMAS FONTES.....	18
TABELA 2.3: RELAÇÃO ENTRE PRESSÃO SONORA E NÍVEL SONORO.....	19
TABELA 2.4: VARIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA COM A DISTÂNCIA DE MEDIÇÃO.....	25
TABELA 2.5: NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO NCA PARA AMBIENTES EXTERNOS.....	26
TABELA 3.1: LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA RUÍDO CONTÍNUO OU INTERMITENTE.....	33
TABELA 4.1: RESUMO DOS DADOS OPERACIONAIS DOS TERMINAIS.....	57
TABELA 5.1: HORÁRIO DAS MEDIÇÕES DOS TERMINAIS.....	62
TABELA 5.2: RESUMO DOS DADOS DOS TERMINAIS.....	76
TABELA 5.3: PERCENTUAL DE DADOS PERDIDOS COM A RETIRADA DE OUTLIER.....	76
TABELA 5.4: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO TERMINAL DO ANTÔNIO BEZERRA.....	77
TABELA 5.5: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO TERMINAL DE MESSEJANA.....	77
TABELA 5.6: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ.....	78
TABELA 5.7: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO TERMINAL DO PAPICU.....	78
TABELA 5.8: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO TERMINAL DE PARANGABA.....	79
TABELA 5.9: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO TERMINAL DO SIQUEIRA.....	79
TABELA 5.10: VALORES RESULTANTES APÓS A RETIRADA DOS EXTREMOS (OUTLIERS) ..	80
TABELA 5.11: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN DO TERMINAL DO ANTÔNIO BEZERRA.....	88
TABELA 5.12: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN DO TERMINAL DO ANTÔNIO BEZERRA.....	89
TABELA 5.13: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN DO TERMINAL DE MESSEJANA.....	90
TABELA 5.14: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN DO TERMINAL DE MESSEJANA.....	91
TABELA 5.15: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ.....	92
TABELA 5.16: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ.....	93
TABELA 5.17: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN DO TERMINAL DO PAPICU.....	94
TABELA 5.18: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN DO TERMINAL DO PAPICU.....	95
TABELA 5.19: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN DO TERMINAL DA PARANGABA.....	96
TABELA 5.20: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN DO TERMINAL DA PARANGABA.....	97
TABELA 5.21: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/MIN DO TERMINAL DO SIQUEIRA.....	98
TABELA 5.22: NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ÔNIBUS/3MIN DO TERMINAL DO SIQUEIRA.....	99
TABELA 5.23 : VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DOS TERMINAIS.....	101
TABELA 5.24: RESULTADOS DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO TERMINAL DE ANTÔNIO BEZERRA.....	106
TABELA 5.25: RESULTADOS DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO TERMINAL DE MESSEJANA	108

TABELA 5.26: RESULTADOS DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO TERMINAL DO CONJUNTO CEARÁ	110
TABELA 5.27: RESULTADOS DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO TERMINAL DO PAPICU .	111
TABELA 5.28: RESULTADOS DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO TERMINAL DA PARANGABA	113
TABELA 5.29: RESULTADOS DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO TERMINAL DO SIQUEIRA	114
TABELA 5.30: VALORES QUE ULTRAPASSARAM OS ESTABELECIDOS PELA OMS, NBR E LEI FEDERAL	117

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AUN	<i>Agricultural University of Norway</i>
BCO	Boletim de Controle Operacional
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
dB	Decibel
dB(A)	Decibel (escala A)
DFA	<i>Damage Function Approach</i>
ETUFOR	Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza
GEIPOT	Grupo Executivo de Integração da Política de Transporte
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
L ₁₀	Nível de Pressão Sonora Equivalente L ₁₀
L ₅₀	Nível de Pressão Sonora Equivalente L ₅₀
L ₉₀	Nível de Pressão Sonora Equivalente L ₉₀
L _{eq}	Nível de Pressão Sonora Equivalente
L _{Máx}	Nível de Pressão Sonora Máximo
L _{Mín}	Nível de Pressão Sonora Mínimo
NBR	Norma Brasileira
NBR 10.151	Avaliação do Nível de Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade
NBR 10.152	Níveis de Ruído para o Conforto Acústico
NCA	Nível de Critério de Avaliação
NIS	Nível de Intensidade Sonora
NPS	Nível de Pressão Sonora

NR	Normas Regulamentadoras
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAIR	Perda Auditiva Induzida pelo Ruído
PMF	Prefeitura Municipal de Fortaleza
R ²	Coefficiente de Determinação
RT	Ruído de Tráfego
SEMAM	Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Controle Urbano
SIL	<i>Sound Intensity Level</i>
SITFOR	Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza
STPP	Sistema de Transporte Público de Passageiros
V.D.A	<i>Verband Der Automobilindustrie</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Entre as diversas manifestações de agressão ao meio ambiente, existe um tipo a ser discutida em maior profundidade, o qual às vezes passa despercebido por nós, que é a poluição sonora, por se considerar inerente ao crescimento urbano.

QUICK e LAPERTOSA (1981) afirmam que *“o problema do ruído dever ser encarado seriamente, não só no ambiente industrial, mas também na comunidade em geral, pois ele afeta as pessoas na sua individualidade e na coletividade, alterando seu comportamento e relacionamento”*.

Com o crescimento desordenado das cidades a contaminação acústica ficou inevitável e ocupa lugar de destaque dentre as externalidades ambientais. O ruído urbano, também conhecido por ruído ambiental, é considerado complexo devido aos diversos elementos que o compõe advindos de várias fontes, sendo necessário uma avaliação de cada um desses, com o objetivo de reduzir ou eliminá-lo. Nas últimas décadas, seus altos níveis têm se transformado em uma das formas de poluição que mais preocupa os urbanistas e arquitetos. Os valores registrados acusam níveis de desconforto tão altos que a poluição sonora, passou a ser considerada como uma das principais formas de poluição ambiental e atingindo um maior número de pessoas. (SILVA, 2002).

A poluição sonora traz diversos prejuízos a vários setores da sociedade, tais como: hospitais, residências, comércio, escolas, dentre outros. Na União Européia 40% da população está exposta aos ruídos provindos do tráfego urbano com valores que excedem a 55 dB(A) no período diurno e 20% com níveis superiores a 65 dB(A) (SOUSA, 2004).

Segundo FIDEL (1978), um levantamento feito nos Estados Unidos mostrou que 46% das pessoas entrevistadas manifestaram-se incomodadas pelo ruído urbano, dentre esses 86% apontaram o ruído de tráfego como a maior causa do incômodo. Uma

pesquisa semelhante realizada na cidade de Londres apontou, também, o ruído de tráfego rodoviário como sendo a maior causa de incômodo para as pessoas nas suas residências e nas ruas, assim como, no trabalho. (GRIFFITHS e LANGDON, 1986).

O ruído proveniente do tráfego de veículos automotores tem uma contribuição significativa para a poluição sonora, principalmente os oriundos de ônibus e caminhões. Escapamento enferrujado, cano de descargas com alterações, acelerações e frenagens de veículos, colaborando para a perda progressiva da audição dos profissionais que trabalham no setor de transporte e dos moradores das grandes cidades que convivem diariamente com essas situações e são suas principais vítimas (ZANNIN *et al.*, 2002).

O alto nível de poluição sonora pode ser revertido aplicando-se medidas de controle de ruído, que envolvam o desenvolvimento de produtos específicos, recursos para identificação e análise das fontes de ruído, previsão da redução de ruídos através de programas de simulação e o desenvolvimento de máquinas menos ruidosas (ENIZ, 2004).

Desta maneira, a realização de pesquisas que busquem conhecer melhor tal tipo de impacto ambiental nos terminais de ônibus, justifica-se por contribuir com a melhoria do planejamento na construção de novos terminais, bem como, na análise das medidas de controle desse impacto existentes ou necessárias afim de melhorar a qualidade do ambiente. Faz-se importante, então, que planejadores, arquitetos, administradores e urbanistas passem a levar em conta os efeitos do ruído para saúde humana na elaboração de políticas públicas, de modo a controlar e prevenir com maior eficiência o ruído em áreas urbanas e, principalmente, nos terminais de transporte público por ônibus.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver e aplicar um procedimento, fundamentado metodologicamente na análise do impacto ambiental do ruído em terminais de transporte urbano público por ônibus, de forma a subsidiar políticas de transportes públicos e ambientais propocionando um melhor controle da poluição sonora provocada pelos ônibus.

1.1 A RELEVÂNCIA DA DISSERTAÇÃO

Uma atenção especial tem sido dada pela comunidade internacional à exposição das populações ao ruído ambiental. Mesmo ciente que o ruído é um agente prejudicial à saúde do homem, o Brasil ainda investe pouco para seu controle (SANTOS e MORATA, 1994).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o limite tolerável ao ouvido humano é de 65 dB(A). Acima disso, nosso organismo sofre estresse, o qual aumenta o risco de doenças e acidentes. Complementa, ainda, que os seres humanos sofrem, no cotidiano, sem se preocuparem e conhecerem os efeitos gerados pela exposição a excessivo nível de pressão sonora. Sendo a poluição sonora a terceira mais grave forma de poluição, ficando atrás somente da poluição do ar e da água, reduzindo cada vez mais a qualidade de vida nas grandes cidades.

Se avaliado qualitativamente o ruído pode trazer alterações físico-psicológicas no ser humano, gerando distúrbios e doenças diversas. Dessa forma, o ruído urbano pode ser considerado um caso de saúde pública, onde é necessário uma avaliação cuidadosa (PAZ, 2004). Na medida, em que o organismo humano tem limites físicos para suportar o ruído, o excesso da exposição a elevadas pressões sonoras pode provocar a Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR), que é uma perda auditiva do tipo neurossensorial e progressiva com o tempo de exposição ao ruído, proporcionando alteração definitiva no sistema auditivo e desencadear outros problemas, como pressão alta, disfunções do aparelho digestivo, nervosismo, agressividade, inclusive na capacidade de aprendizagem e de concentração que podem ser sensivelmente afetadas (BRASIL, 2006).

Segundo PIMENTEL, *et al* (2004), ruídos de 50 dB(A) têm características perturbadoras, enquanto que de 55 dB(A) causam desconforto, já valores de 65 dB(A) geram estresse degradativo do organismo, chegando a 80 dB(A) o organismo responde de diferentes formas, por exemplo, aumento na produção de adrenalina e de hormônios da tireóide, causando uma certa dependência orgânica, por sua vez, valores acima de 85 dB(A) podem causar perdas auditivas irreversíveis, isto é, permanentes.

Devido ao grande volume de tráfego característico nos terminais de transporte públicos, em particular por ônibus, pode-se atribuir aos mesmos a responsabilidade pela maior parcela da poluição sonora, impactando as pessoas que trabalham e transitam nesses locais diariamente, e ciente dos danos que esse ruído pode causar às pessoas, torna-se fundamental tomar medidas preventivas para mitigar tal problema.

Logo, a realização de estudos do impacto ambiental quanto à poluição sonora nos terminais de ônibus justifica-se por contribuir com a melhoria do planejamento na construção de novos terminais, bem como, para subsidiar estudos de medidas de controle desse impacto nos já existentes.

Por se tratar de um inimigo sutil e imperceptível, faz-se necessário, então, aos planejadores, arquitetos, administradores e urbanistas levarem em conta, os efeitos do ruído para saúde humana, para que possam elaborar políticas públicas e projetos, de modo a controlar e prevenir com maior eficiência, o ruído em áreas urbanas e, em particular, nos terminais de transporte público.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo principal desta pesquisa consiste em desenvolver e aplicar um procedimento, fundamentado em uma metodologia de análise do impacto ambiental do ruído em terminais operados por ônibus no município de Fortaleza, para subsidiar políticas de transportes públicos e ambientais de modo a proporcionar um melhor controle da poluição sonora provocadas pelos ônibus nos terminais integrados de Fortaleza.

De maneira a facilitar a obtenção do objetivo principal estabelecido, destacam-se alguns objetivos específicos a serem perseguidos nessa pesquisa, dentre os quais:

- Análise das políticas públicas ambientais do município de Fortaleza, no que tange as ações destinadas a prevenir ou mitigar poluição sonora em terminais de ônibus que operam no Sistema Integrado de Transportes de Fortaleza (SITFOR);

- Medir e analisar estatisticamente os níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) e os níveis percentis (L_{10} , L_{50} , L_{90}) dentro dos terminais nos horários de picos;
- Acompanhar a operação dos terminais e o fluxo de ônibus durante as medições nos horários de maior pico do dia;
- Desenvolver um modelo de previsão de ruído nos terminais que permita servir de ferramenta de simulação no dimensionamento de novos terminais na cidade, ou mesmo, no redimensionamento dos existentes, quanto ao valor limite de ônibus em operação nos terminais de forma a atender a legislação ambiental e de saúde pública;
- Avaliar os seis terminais do SITFOR quanto à poluição sonora, possibilitando propor formas adequadas de mudanças para a redução dos níveis de ruído.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, assim distribuídos:

No capítulo 1 apresenta-se a importância do tema abordado, a justificativa do problema de pesquisa, os objetivos da dissertação e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 destina-se a revisão sobre os aspectos físicos do som, conceitos e definições sobre os principais termos utilizados nessa dissertação.

O capítulo 3 trata da revisão bibliográfica sobre ruído de tráfego e seus efeitos no homem.

No capítulo 4, apresenta-se a descrição metodológica utilizada para o estudo, escolha dos equipamentos utilizados para efetuar as medições de campo, procedimento de coletas e uma breve descrição dos leiautes dos terminais.

No capítulo 5 analisa-se os resultados da pesquisa e discussões dos resultados obtidos. São apresentados todos os dados da pesquisa.

O capítulo 6 finaliza a pesquisa, apresentando-se as principais conclusões da situação dos níveis de ruído nos terminais de transporte coletivo urbano no município de Fortaleza, além de sugerir recomendações para estudos futuros nessa área de pesquisa.

CAPÍTULO 2

CONCEITOS E DEFINIÇÕES FUNDAMENTAIS

2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DO SOM

Segundo SILVA (2002), o som é definido como sendo uma forma de energia proveniente de um corpo emitindo vibração ou perturbação física, que se propaga em meios elásticos capaz de produzir uma sensação auditiva (Figura 2.1). Por elástico pode-se entender o meio deformado por uma energia, que volta ao seu estado primitivo quando essa deixa de atuar. Ex.: gases, líquidos e sólidos (FERNANDES, 2002).

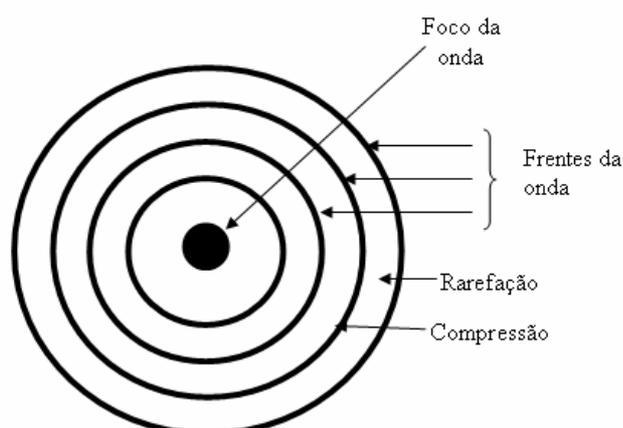


Figura 2.1: Visão bidimensional da propagação do som a partir do foco de geração
Fonte: TAFNER, 1996

Para CALIXTO (2002), o som tem como característica a existência de flutuações de pressão em um ambiente compressível e meio elástico para que ocorra sua propagação. Tais flutuações sofrem movimentos de compressão e expansão das moléculas, essa propagação se dá em forma de ondas a partir do ponto de origem do som. Tal processo ocorre com a excitação por vibração mecânica de uma partícula desenvolvendo um movimento em torno da sua posição de equilíbrio por uma pequena distância. Esse deslocamento é transmitido à partícula adjacente, que o transmite para a

próxima e, assim, sucessivamente, fazendo com que o som se propague em um meio elástico (QUADROS, 2004).

De acordo com FERNANDES (2002), o som é um fenômeno vibratório resultante de variações da pressão no ar. Essas variações de pressão se dão em torno da pressão atmosférica e propagam-se longitudinalmente (Figura 2.2) numa velocidade de 344 m/s e na temperatura de 20°C.



Figura 2.2: Esquema de propagação de uma onda longitudinal.
Fonte: FERNANDES, 2002

FERNANDES (2002), afirma ser o som uma onda mecânica e não se propaga no vácuo, pois na medida em que o mesmo se transmite através de vibrações das moléculas do ar, essas precisam estar próximas, não ocorrendo no vácuo. Sua propagação é mais rápida em sólidos do que nos líquidos, e nesses últimos, mais rápida do que nos gases. Em líquidos e em gases a sua velocidade pode variar em função da temperatura, pois se trata de um fator interveniente na separação e agitação das moléculas. Afirma, ainda, que ao se difundir, os sons seguem os fenômenos gerais da propagação por meio de ondas produzidas pela deformação provocada pela diferença de pressão em diversos meios, alguns desses fenômenos são: reflexão, absorção, transmissão, difração, refração e efeito *Dopler-Fizeau*, conforme relacionado a seguir:

a) Reflexão: quando uma onda sonora que se propaga no ar incide com uma superfície sólida como obstáculo a propagação, retornando ao meio primitivo (Figura 2.3), refletindo-se bem em superfície uniforme e relativamente grande em relação ao comprimento de onda, o que ocasiona novos fenômenos (Figura 2.4) conhecidos como reforço, reverberação e eco (SILVA, 2002):

a.1) Reforço: ocorre quando o som refletido atinge o ouvido antes de terminar sua completa excitação ocasionada pelo som original, ou seja, há uma contribuição para a ação do som direto. Isso acontece porque o intervalo de tempo que os separa é menor que 0,1 s (SILVA, 2002).

a.2) Reverberação: fenômeno no qual o som refletido chega ao observador logo após o som direto, confundindo-os. Isso acontece quando o intervalo de tempo dos sons está entre 0,0 e menor que 0,1 s (SILVA, 2002).

a.3) Eco: o som refletido chega ao tímpano do observador após o som direto, em intervalo de tempo que permite a distinção entre os dois sons (SILVA, 2002).

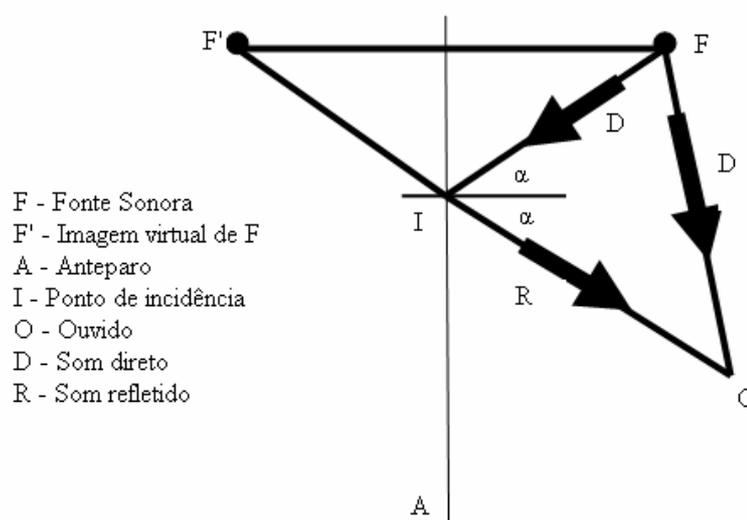


Figura 2.3: Representação da reflexão do som.
 Fonte: NETTO, 2007

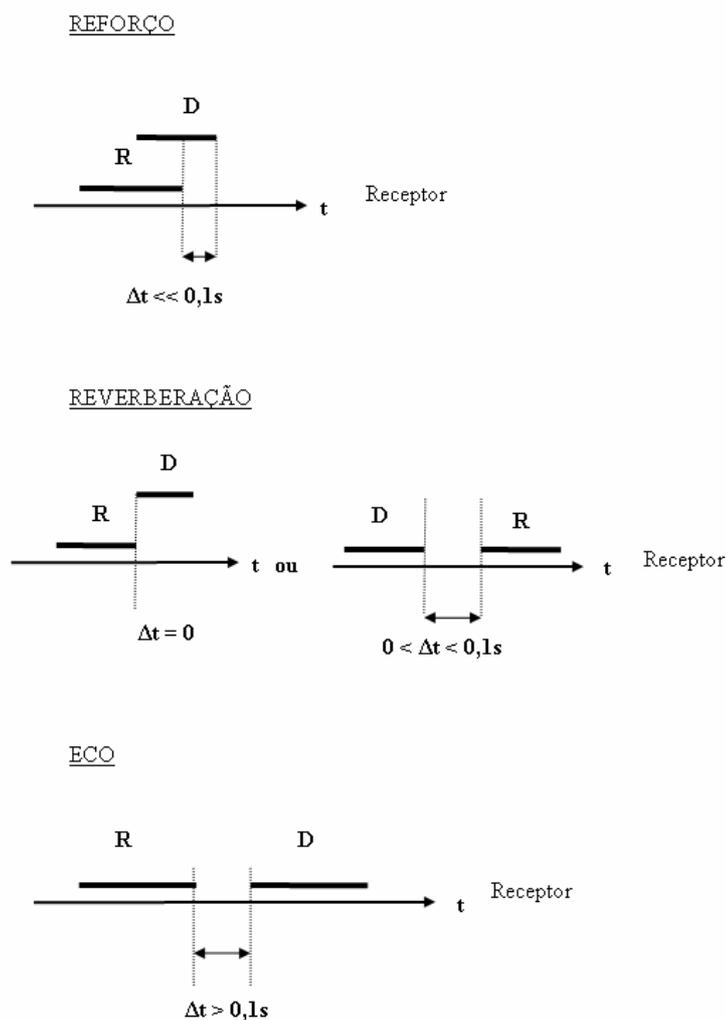


Figura 2.4: Diferença entre os três fenômenos subjetivos da reflexão – reflexão, reverberação e eco.

Fonte: NETTO, 2007

Conforme FERNANDES (2002), a “*absorção é a propriedade de alguns materiais em não permitir que o som seja refletido por uma superfície*”, ou seja, parte da onda sonora incidente é absorvida ou dissipada pelo meio. Porém, quando parte do som incidente atravessa a superfície interposta entre uma onda sonora e o receptor tem-se o fenômeno chamado de transmissão, conforme apresentado na Figura 2.5.

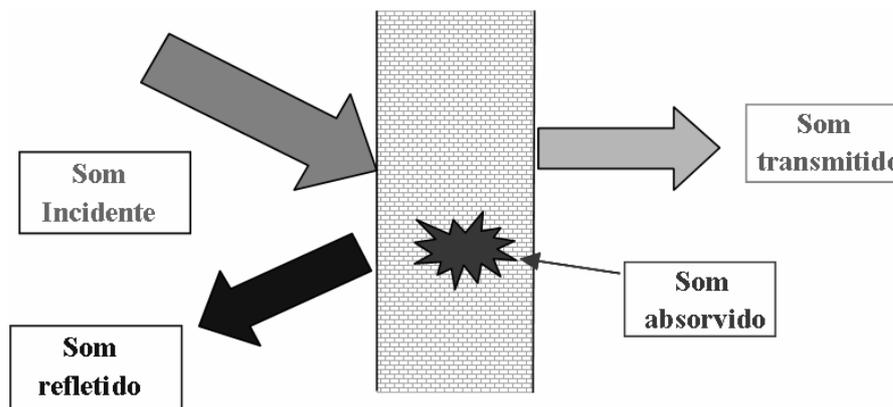


Figura 2.5: Esquema da divisão do som ao encontrar um obstáculo.
Fonte: FERNANDES, 2002

Difração é a capacidade da onda sonora sofrer mudança de direção quando se depara com um obstáculo, contornando-o ou propagando-se por todo ambiente através de uma abertura que passa a funcionar como se fosse um novo centro de propagação sonora (SILVA, 2002). FERNANDES (2002) explica que o som mais grave (baixa frequência e grande comprimento de onda (λ)) atende melhor a esse princípio, ou seja, os sons graves têm maior facilidade em propagar-se no ar e maior capacidade de contornar obstáculos, tais como móveis da sala, paredes acústicas, montanhas, dentre outros. Este fenômeno somente é nítido quando as dimensões da abertura ou do obstáculo forem da ordem de grandeza do comprimento de onda incidente, não sendo muito grande quando comparado com o comprimento de onda, caso contrário apenas as regiões próximas às bordas é que será notado alguma curvatura da onda. Quando o objeto é muito grande tem-se a sombra acústica. A Figura 2.6 mostra como um som de grande comprimento de onda (λ) contorna um obstáculo, enquanto a Figura 2.7 mostra um som de pequeno comprimento de onda (alta frequência) gerando regiões de sombra acústica (S) ao contornar obstáculos.

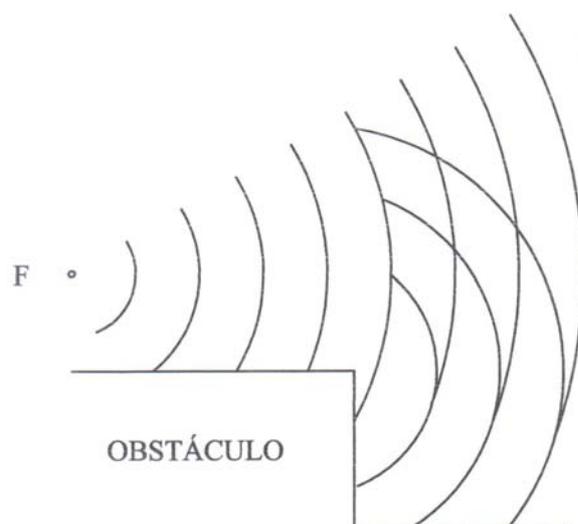


Figura 2.6: Som de baixa frequência (grave) contornando um obstáculo.
 Fonte: FERNANDES, 2002

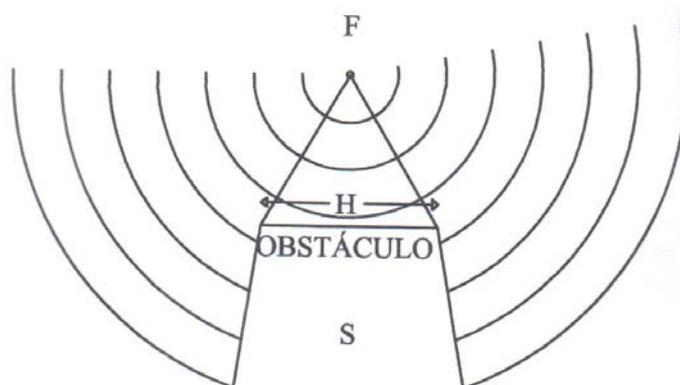
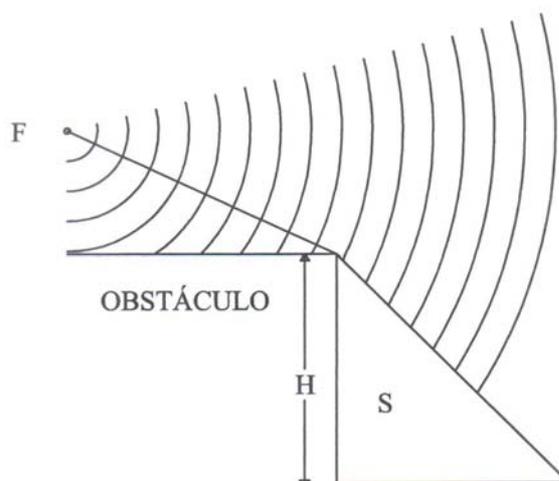


Figura 2.7: Difração de um som agudo contornando um obstáculo
 Fonte: FERNANDES, 2002

Segundo FERNANDES (2002), a difração do som está ligado ao valor da relação entre o tamanho (H) do obstáculo e o comprimento de onda (λ), o que também ocorre quando o som transpassa um orifício conforme Figura 2.8.

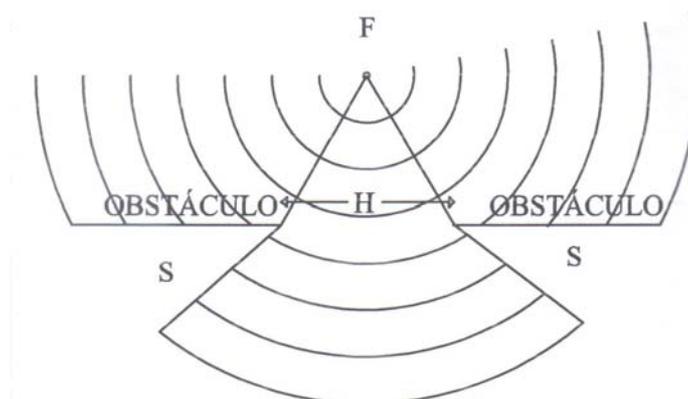


Figura 2.8: Difração de um som agudo propagando-se por todo ambiente, através de uma abertura

Fonte: FERNANDES, 2002

Quando uma onda sonora sofre variação na sua velocidade de propagação ao passar de um meio transparente para outro devido à interferência de um ou mais elementos que compõem o meio, como por exemplo, a temperatura do ar, tem-se o fenômeno da refração. Ocorrendo um movimento da fonte ou do observador (com velocidade menor que a do som) ou quando o meio de propagação se desloca sem ocorrer uma alteração de posição entre a origem do som e o receptor é observada uma diferença entre a frequência do som emitido e recebido. Essa característica é conhecida como Efeito *Doppler-Fizeau* (FERNANDES, 2002; HARRIS, 1998).

2.2 PROPRIEDADES ACÚSTICAS

2.2.1 Velocidade do Som

A velocidade do som é a distância percorrida por uma onda sonora por unidade de tempo e sua propagação é função da densidade e da pressão do ar. Pode ser calculada pela Equação 2.1:

$$V = \sqrt{1,4 \times \frac{P}{D}} \quad (2.1)$$

Em que,

V = velocidade do som (m/s)

P = pressão atmosférica (Pa)

D = densidade (kg/m³)

Em razão da influência da temperatura e considerando o ar como meio de propagação, o aumento de 1°C corresponde a um acréscimo de 0,61 m/s na velocidade do som. A Equação 2.2 apresenta a formulação aproximada do cálculo da velocidade do som em função da temperatura considerando-se um intervalo de temperatura $\pm 30^\circ\text{C}$. (FERNANDES, 2002; SILVA, 2002).

$$V = 331,4 + 0,607 T \quad (2.2)$$

Onde,

V = Velocidade do som (m/s)

T = temperatura (° C)

A Tabela 2.1 mostra a velocidade de propagação do som no ar em função da temperatura, supondo-se uma umidade relativa do ar de 50%.

Tabela 2.1: Velocidade do som em função da temperatura.

Graus Celsius	Velocidade do som (m/s)
-20	319
-10	326
0	332
10	338
20	344
30	350

Fonte: FERNANDES, 2002

2.2.2 Comprimento de Onda

O comprimento de onda pode ser definido como a distância física entre dois picos de onda, ou seja, é o percurso necessário para que ocorra uma oscilação completa. Na Figura 2.9 representado por λ (IAZZETTA, 2007; FERNANDES, 2002).

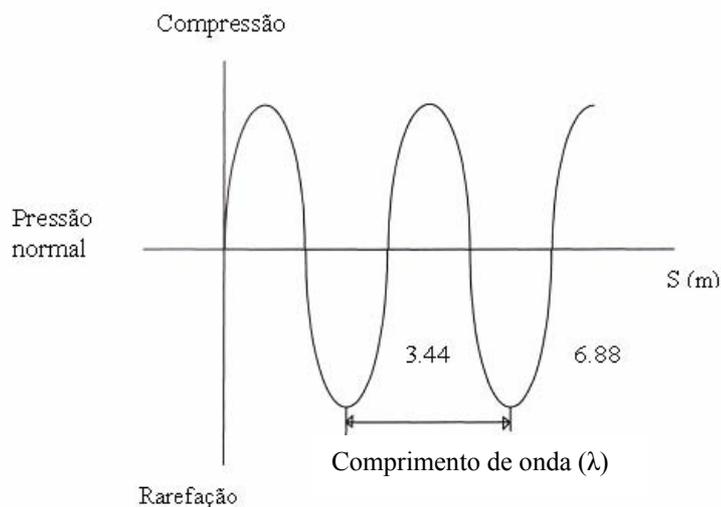


Figura 2.9: Representação de uma onda longitudinal.
Fonte: IAZZETTA, 2007

2.2.3 Freqüência Sonora

A freqüência é a quantidade de oscilações completas por segundo do movimento vibratório do som, isto é, representa o número de idas e voltas completas da partícula vibrante. Normalmente medida em ciclos por segundo (cps) ou Hertz (Hz), que pode ser representada a seguir na Equação 2.3 (SILVA, 2002):

$$F = V \times \lambda \quad (2.3)$$

Onde,

F = Freqüência (Hz)

V = Velocidade do som (m/s)

λ = Comprimento de onda

A faixa de freqüência sonora audível pelo ouvido humano, de um indivíduo jovem e saudável encontra-se no intervalo de 20 a 20.000 Hz. Os sons abaixo de 20 Hz são designados como infra-sons e aqueles acima de 20.000 Hz são chamados de ultra-sons conforme pode ser visto na Figura 2.10 (FERNANDES, 2002; SILVA, 2002).

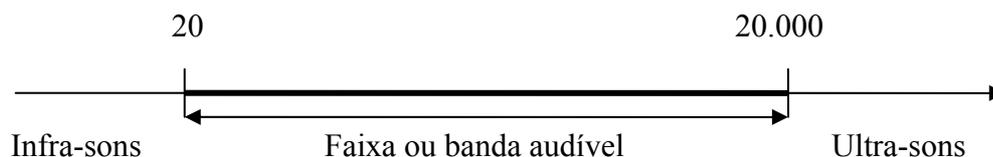


Figura 2.10: Faixa audível de freqüências.
Fonte: FERNANDES, 2007

2.2.4 Intensidade Sonora

A intensidade do som é a quantidade de energia sonora que atravessa uma unidade de área perpendicular a direção em que se propaga. Essa intensidade pode ser calculada em função da potência sonora, pela fórmula (SILVA, 2002):

$$I = \frac{W}{S} \quad (2.4)$$

Onde,

I = intensidade sonora (W/cm²)

W = potência sonora (W)

S = área (cm²)

2.3 ASPECTOS GERAIS DO RUÍDO

Subjetivamente o ruído pode ser definido como um som ou conjunto de sons causando no receptor uma sensação de desconforto, ou seja, é identificado como todo som indesejável. Contudo, essa definição, não é satisfatória, pois o que pode parecer desagradável para um ouvinte, pode não o ser para outro, portanto quase sempre o ruído produzido pelo indivíduo não o incomoda (BENITES, 2004). Segundo GOELZER

(2001), temos o ruído como todo fenômeno acústico não periódico, sem componentes harmônicos e em razão da sua complexidade faz-se necessário o conhecimento de alguns aspectos que serão demonstrados a seguir:

2.3.1 Nível de Intensidade Sonora - NIS

Observa-se que a diferença de intensidade sonora audível pelo ser humano é muito ampla. Essa amplitude varia entre uma faixa de 1 a 1.000.000 de unidades de pressão, o que impossibilita a aplicação de escalas lineares para medição da pressão sonora devido à utilização de números muito grandes. Outra razão para o não uso de escalas lineares é o fato do ouvido humano não responder linearmente, mas logaritmicamente a uma dada excitação (GERGES, 2000).

Com a finalidade de facilitar a leitura de tão grande variação de intensidade sonora audível foi adotado o BEL como unidade de medida da intensidade sonora expresso pelo seu submúltiplo, o Decibel (dB). O nome BEL foi dado em homenagem a Alexandre Graham Bell, pesquisador de acústica e inventor do telefone. Esta unidade não mede uma grandeza absoluta, mas sim uma grandeza relativa, avaliando a razão entre duas quantidades que tem grandezas proporcionais, sendo o número decibéis correspondente a dez vezes o logaritmo da base dez desta relação. Desta forma, define-se o nível de intensidade sonora – NIS (*Sound Intensity Level - SIL*), como sendo (SILVA, 2002):

$$\text{NIS} = 10 \times \log \frac{I}{I_{\text{ref}}} \quad (2.5)$$

Onde,

NIS = Nível de Intensidade Sonora

I = Intensidade sonora medida (Watts/m²)

I_{ref} = Intensidade sonora de referência (10⁻¹² Watts/m²)

2.3.2 Nível de Pressão Sonora – NPS

Segundo SILVA (2002), a pressão sonora mínima para uma frequência de 1.000 Hz para jovens saudáveis é de $20\mu\text{Pa}$ ($2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$). Este valor foi normatizado e tornou-se o valor de referência do limiar da audição com o objetivo de medições dos níveis sonoros. Na outra extremidade ocorre o limiar da dor com uma pressão de aproximadamente 200N/m^2 (GERGES, 2000).

Todos os sons audíveis para o ouvido humano podem ser incluídos dentro de uma escala entre 0 dB, que é considerado como o limiar da audição, e 140 dB sendo o limiar da dor. Na Tabela 2.2, são mostrados alguns sons com os respectivos decibéis do dia a dia (SCHERER, 2005).

Tabela 2.2: Níveis de pressão sonora de algumas fontes.

Tipos de Fontes	NPS dB(A)	Sensação
Chuvisco	30	Muito baixo
Conversa	50	Normal
Ruído de escritório	60	Normal
Aspirador de pó	70	Alto
Ruído de tráfego pesado	80	Alto
Moto a 10m	90	Muito alto
Buzina de veículo a 7m	100	Muito alto
Avião na aterrissagem	150	Insuportável

Fonte: SCHERER, 2005

A Tabela 2.3 mostra alguns valores de comparação entre pressão sonora e o nível sonoro.

Tabela 2.3: Relação entre pressão sonora e nível sonoro.

Pressão Sonora (μPa)	Nível Sonoro (dB)
20	0
65	10
200	20
640	30
2.000	40
6.400	50
20.000	60
60.400	70
200.000	80
600.400	90
2.000.000	100
6.400.000	110
20.000.000	120
60.400.000	130
200.000.000	140

Fonte: SCHERER, 2005

De acordo com CALIXTO (2002), o nível de pressão sonora é dado por uma escala logarítmica, enquanto que as operações de adição e subtração possuem um procedimento específico. Portanto, não é certo adicionar dois níveis sonoros de forma aritmética simplesmente somando os seus valores numéricos. Por exemplo, no caso de soma de dois níveis iguais, o nível resultante será 3 dB a mais que os níveis individuais, ou seja, se duas fontes sonoras emitem igualmente 70 dB a soma das duas será de 73 dB. Desta forma, o NPS é dado pela Equação 2.6 (SCHERER, 2005):

$$\text{NPS} = 10 \log \left[\frac{P}{P_0} \right]^2 \quad (2.6)$$

Onde,

NPS = Nível de Pressão Sonora;

P = Pressão sonora medida ou efetiva (N/m²);

P₀ = Pressão de referência P₀

CALIXTO (2002), afirma que outro fator de grande importância na pressão sonora é a sua redução à medida que a distância da fonte ao receptor é aumentada; isto ocorre por perdas na transmissão do som num meio elástico. Por exemplo, duplicando-se o espaço entre a origem sonora e o observador, na propagação do som através do ar em um campo livre, o nível sonoro é reduzido em aproximadamente 6 dB. Portanto, só existe sentido num determinado valor numérico para um nível de pressão sonora quando se informa a que distância a fonte está do receptor. Assim, um nível de ruído medido será sempre um valor vinculado à distância entre a fonte e o medidor de nível de pressão sonora e, qualquer variação de uma distância predeterminada implicará em erros de medição (SILVA, 2002).

2.3.3 Nível Equivalente de Pressão Sonora – L_{eq}

Segundo GERGES (2000), o dano causado à audição por um determinado efeito sonoro depende não somente de seu nível, mas, também, do tempo de exposição. Devido essa variação ao longo de um determinado período, torna-se necessário obter o valor do ruído contínuo que possua o mesmo potencial acústico que o nível de ruído variável amostrado gerado pela fonte.

Logo, o nível equivalente de pressão sonora pode ser definido como sendo um valor único, que equivale aos níveis variáveis do ruído, durante o período de medição, ou seja, é o nível sonoro médio integrado durante um intervalo de tempo. É dado em dB e expresso como (CALIXTO, 2002):

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left\{ \left(\frac{1}{t} \right) \cdot \left[\int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P(t)}{P_0} \right)^2 dt \right] \right\} \quad (2.7)$$

Onde,

L_{eq} = Nível equivalente de pressão sonora (dB)

t = Tempo total de duração(s)

$P_{(t)}$ = Pressão sonora instantânea N/m^2

P_0 = Pressão sonora de referência = N/m^2

2.3.4 Curva de Ponderação Sonora

O ouvido humano não é igualmente sensível ao som em todas as faixas de frequência e, para se fazer a reprodução da sensibilidade da audição a determinados níveis de pressão sonora medidos utilizam-se curvas de ponderação (QUADROS, 2004). Estas curvas são classificadas em A, B, C e D. Sendo a Curva A a mais indicada para o estudo do ruído em comunidades, ruído de tráfego, conforto acústico etc., por representar melhor a sensação da audição humana (Figura 2.11). Esta é utilizada em normas técnicas em todo o mundo (SCHERER, 2005).

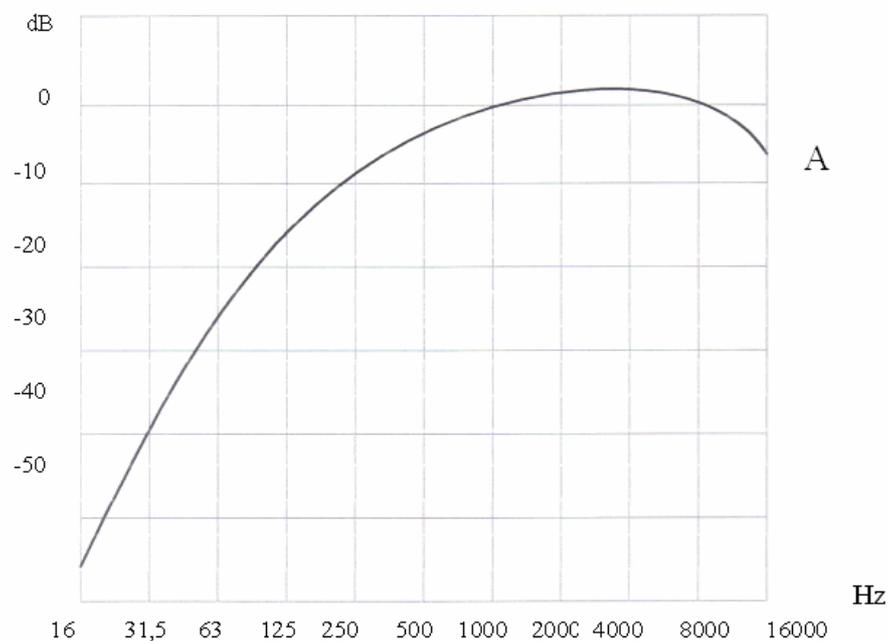


Figura 2.11: Curva de ponderação A

Fonte: V.D.A., 1978

2.3.5 Níveis de Pressão Sonora Máximo e Mínimo

O nível de pressão sonora máximo (L_{Max}) e mínimo (L_{Min}) é o maior e o menor valor assumido do ruído durante um dado ciclo de oscilações periódicas, medido normalmente em tempo de resposta ponderado lento (*Slow*), ou seja, é o nível mais alto e mais baixo do ruído em um certo período de tempo (HARRIS, 1998). A obtenção destes níveis favorece a identificação das flutuações do som dentro de um espectro sonoro e a identificação dos sons estranhos ao evento de interesse (BIES e HANSEN, 2002).

2.3.6 Níveis Estatísticos do Ruído

Os níveis estatísticos do ruído representam os valores dos níveis de pressão sonora ponderados em A que foram ultrapassados ou mascarados em uma porcentagem (N%) do intervalo de tempo analisado. Os de maior importância para ruído gerado pelo tráfego são os que representam 10%, 50% e 90% do tempo total de medição, sendo que o L_{10} pode ser considerado como os picos de ruído durante a medição e o L_{90} como ruído de fundo do ambiente (GERGES, 2000).

2.3.7 Emissão e Imissão Sonoras

Emissão é ruído oriundo de uma fonte sonora, enquanto imissão está relacionada com a pressão sonora captada pelo sistema auditivo ou pelo ponto onde se encontra o observador. Pode-se dizer, ainda, que é a diferença entre a pressão sonora liberada pela fonte menos as perdas entre a transmissão até o receptor, conforme mostrado nas Figuras 2.12 e 2.13. Todavia, é amplamente indeterminada a relação entre a emissão e imissão por causa dos numerosos fatores que afetam a relação entre ambas (V.D.A., 1978).

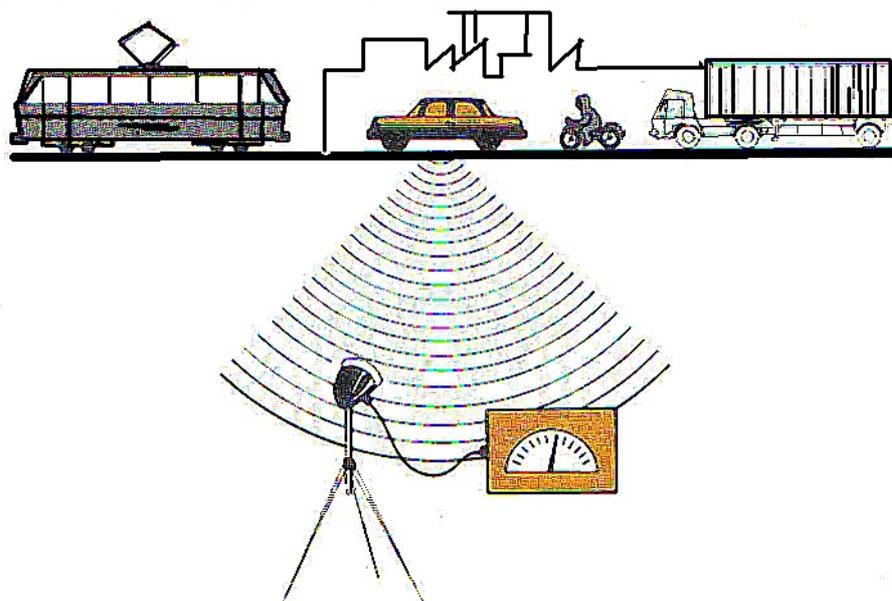


Figura 2.12: Emissão sonora
Fonte V.D.A., 1978

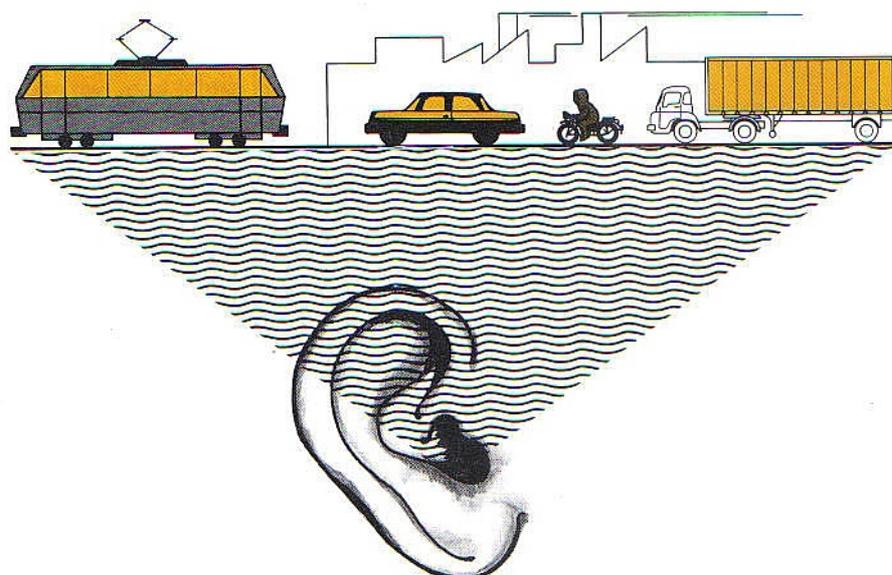


Figura 2.13: Imissão sonora
Fonte V.D.A., 1978

2.3.8 Índice de Ruído de Tráfego (IRT)

Segundo MAIA (2003), o Índice de Ruído de Tráfego (*Traffic Noise Index - TNI*) é uma combinação ponderada do nível sonoro excedido em 10% e 90%. Baseia-se fundamentalmente na hipótese de que a avaliação do distúrbio causado por um ruído

não sofre interferência apenas dos níveis de pico, mas também da diferença entre o pico e o ruído de fundo, ou seja, quanto maior o ruído de fundo, menor o incômodo por um nível de pico.

O índice IRT é um parâmetro desenvolvido no Reino Unido e que mede o grau de incomodo gerado pelo ruído de tráfego em uma pesquisa com duração de 24. A amostragem é feita entre as 06:00 e 24:00 h apenas. As medidas em dB(A) são analisadas e o 90º percentil (L_{10}) é estabelecido para cada hora, não sendo recomendado para medir desconforto proporcionados por curtos períodos de tempo como os picos dos tráfego de ônibus em terminais de transporte urbano públicos, calculado pela expressão (MAIA, 2003):

$$IRT = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \text{ dB(A)} \quad (2.8)$$

Onde:

IRT = Índice de Ruído de Tráfego

L_{10} = Ruído de Pico

L_{90} = Ruído de Fundo

2.3.9 Normas e Legislação sobre Ruídos

Nas últimas décadas, o ordenamento jurídico nacional vem enfatizando a necessidade de conservação do meio ambiente mediante normas, leis e regulamentações que procuram controlar as intervenções humanas e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade de vida da comunidade, que está sendo continuamente agravada nos grandes centros urbanos pela poluição sonora.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece normas, critérios e diretrizes para a preservação do meio ambiente. Através da resolução nº. 001/1990, estabelece que todas as atividades geradoras de ruídos devem cumprir a determinação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e, no caso de emissão ruídos produzidos por veículos automotores, seguir a resolução nº. 204/2006 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), assim disposta “*a utilização, em veículos de qualquer espécie, de equipamento que produza som só será permitida, nas vias*

terrestres abertas à circulação, em nível de pressão sonora não superior a 80 decibéis - dB(A), medido a 7 m (sete metros) de distância do veículo” e para medições a distâncias diferente, deverão ser considerado os valores de nível de pressão sonora indicados na Tabela 2.4:

Tabela 2.4: Variação do nível de pressão sonora com a distância de medição

Nível de Pressão Sonora Máximo - dB(A)	Distância de medição (m)
104	0,5
98	1,0
92	2,0
86	3,5
80	7,0
77	10,0
74	14,0

Fonte: CONTRAN, 2006

São considerados prejudiciais à saúde e ao sossego público os níveis de ruídos superiores aos considerados aceitáveis pelas normas da ABNT: NBR 10.151(2000), que trata da avaliação do nível de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade e da NBR 10.152 (1987) que regulamenta os níveis de ruído para o conforto acústico. A primeira fixa as condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído nas comunidades em ambientes externos, ao passo que a segunda fixa os níveis sonoros compatíveis com o conforto acústico nos ambientes internos.

A norma NBR 10.151 (2000) especifica que as medições devem ser feitas em pontos afastados por no mínimo 1,20 m do piso e pelo menos 1,5 m do limite de quaisquer outras superfícies refletoras. Pode-se ver na Tabela 2.5 os níveis ruídos para ambientes externos conforme os horários diurno e noturno. A mesma norma determina que os períodos diurno e noturno possam ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos da população. Sendo que o período noturno não deve começar depois das 22h e não deve terminar antes das 7h. Porém, se o dia seguinte for domingo ou feriado, o término do período noturno não deve ser anterior às 9h.

Tabela 2.5: Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos.

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

Fonte: NBR 10.151, ABNT (2000)

A Resolução nº. 002/1990 do CONAMA criou o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – Programa SILÊNCIO, objetivando promover cursos para capacitar os técnicos quanto ao recebimento de denúncias e à tomada de providências de combate à poluição sonora, bem como, conscientizar e alertar a população quanto aos efeitos prejudiciais causados pelo excesso do ruído, além de incentivar a produção de equipamentos com menor geração de ruído, entre outros, sendo gerenciado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (BRASIL, 1990b).

A Resolução do CONAMA nº. 252/1999, considera que o ruído além dos limites admissíveis, principalmente oriundo do tráfego de veículos rodoviário, podendo causar prejuízo a saúde física e mental, afetando a audição, sendo imprescindível a redução dos níveis sonoros nas grandes concentrações urbanas do Brasil (BRASIL, 1990).

Na Portaria nº. 3.214/1978, com fundamento na Norma Regulamentadora nº. 15, Anexo nº. 1, do Ministério do Trabalho são estabelecidas todas as condições de insalubridade por ruído no ambiente do trabalho. Essa portaria estabelece os limites de exposição ao ruído em relação ao tempo. Por exemplo, para um ruído de 85 dB o tempo seria de 8h enquanto para um de 100 dB a exposição seria no máximo 1h (Brasil, 2005).

O Código de Trânsito Brasileiro - CTB coíbe os ruídos gerados pelos motoristas ao volante, por exemplo: no art. 227, é proibido usar buzina entre às vinte e duas e às

seis horas; no art. 228, a proibição é do uso de equipamento no veículo com volume ou frequência alta; e no art. 229, os motoristas não podem usar indevidamente no veículo aparelho de alarme ou que produza sons e ruídos que perturbem o sossego público.

A Lei Municipal nº. 5.530/1981 dispõe sobre o código de obras e posturas do Município de Fortaleza. Determina o procedimento adequado para a coleta de dados de ruído e salienta o uso do modo *Slow* (resposta lenta) conforme se observa em seu art. 629º, que “*Para a medição dos níveis de som considerados na presente lei, o aparelho medidor de nível de som, conectado à resposta lenta, deverá estar com o microfone afastado, no mínimo, de 1,50m (hum metro e cinqüenta centímetros) da divisa do imóvel que contém a fonte de som e ruído, e à altura de 1,20m (hum metro e vinte centímetros) do solo.*” (PMF, 1981).

A Lei Municipal nº. 8.097/1997, dispõe sobre medidas de combate à poluição sonora. Apesar de não tratar especificamente do ruído causado pelo tráfego, consta em seu art.1º. a redação “é vedado a emissão de sons de quaisquer espécie, produzidos por quaisquer meios que perturbem o bem-estar e o sossego público” e no seu artigo 3º trata sobre o nível máximo de sons no ambiente urbano (alto falante, rádios, etc.) definindo 70 dB para o período diurno considerado entre 6h da manhã até as 10 h da noite e 60 dB para o período noturno (PMF, 1997).

CAPÍTULO 3

RUÍDO GERADO PELOS TRANSPORTES URBANOS E SUAS CONSEQÜÊNCIAS

3.1 RUÍDO DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO

De acordo com ROO (1999), o ruído oriundo do tráfego rodoviário é considerado a maior parcela de ruído provocado por meios de transportes no mundo, e é um dos maiores poluentes ambientais. Em Madri, 81% da população consideraram o ruído ambiental como um poluente prejudicial a qualidade de vida e, o tráfego terrestre foi apontado por 32% da população como a principal fonte poluente (LÓPEZ, 1998). Segundo estudos realizados pela Organização Mundial de Saúde – OMS em 2000, nas últimas décadas, os níveis de ruído aumentaram de forma desproporcional e calcula-se que 9 milhões de espanhóis suportem níveis médios de ruído acima do recomendado pela OMS, com valor limite de 65 dB(A). A população de 15 países da União Européia está exposta a níveis de ruído de tráfego acima do limite de tolerância, sendo os mais expostos aos efeitos da poluição sonora a Holanda (34,7%), a Itália (34,1%) e Portugal (27,4%). No Brasil foi realizado um estudo na cidade de Curitiba onde 73% das pessoas indicaram o ruído oriundo do trânsito como sendo a maior causa de desconforto (ZANNIN, 2002).

Essa preocupação quanto à poluição sonora causada pelo tráfego rodoviário vem se tornando um problema urbano em muitos países. Pode-se mencionar como exemplo a Austrália, que possui elevada taxa de urbanização nas áreas metropolitanas e, por isso direciona seus estudos na avaliação dos níveis de ruído incidentes nas fachadas dos edifícios com o objetivo de formular medidas preventivas para a solução da poluição sonora (BROWN, 1994).

NIEMEYER e SLAMA (1998) comentam que na maioria dos centros urbanos onde o tráfego de veículos é intenso, também, está repleto de prédios formando verdadeiros corredores. O mais agravante é que o material utilizado nas fachadas como

vidros, cerâmicas, dentre outros, possuem baixo coeficiente de absorção favorecendo em muito a reflexão das ondas sonoras entre os prédios, “aprisionando-as” e refletindo repetidas vezes, contribuindo ainda mais para o aumento da intensidade sonora e da sensação de desconforto auditivo.

Dessa forma, o ruído de tráfego rodoviário é o resultado de uma contribuição de todos os ruídos produzidos por fontes individuais, ou seja, por veículos motorizados de vários tipos (carros, caminhões, ônibus etc.), condições de manutenção, conduta do motorista, das características do tráfego, das vias e das condições atmosféricas (COELHO, 1995).

GERGES (2000) nos lembra que nem sempre os maiores volumes de tráfego obrigatoriamente correspondem a maiores níveis de ruído, e que outros fatores podem causar altos níveis de sons indesejáveis mesmo com um fluxo pequeno de veículos, porém uma maior quantidade de veículos normalmente provoca elevados níveis sonoros. Um bom exemplo deste fato é o automóvel, que individualmente faz menos barulho do que a maioria dos outros grupos de veículos, principalmente caminhões, mas favorece de forma significativa na emissão de ruído geral de tráfego, devido à frota operada.

O fato dos caminhões serem mais ruidosos decorre da sua força motriz - motores a *diesel*, pois o processo de combustão resulta em maior nível sonoro. Outra explicação é que desenvolvem velocidades médias menores, gerando um ruído de baixa frequência. Sabendo-se que tal tipo de ruído se propaga por grandes distâncias, urge a necessidade de limitação deste tipo de veículo em áreas urbanas, principalmente à noite (SOUSA, 2004).

No Brasil, este fato é agravado porque aproximadamente 60% da produção é escoada no modo rodoviário, o que torna necessário uma legislação mais eficaz na fabricação de veículos mais silenciosos, bem como, o impedimento à circulação de veículos com emissões de ruído acima do nível permitido em áreas residenciais e nas proximidades de hospitais, escolas, teatros, igrejas, etc., somado a tudo isso temos as péssimas condições do pavimento nas cidades (GEIPOT, 2001). Outro fator que contribui para o aumento da poluição sonora nos centros urbanos é que uma grande

parte dos ônibus brasileiros é montado sobre chassis de caminhões, fazendo com que sejam tão ruidosos quanto os caminhões (SOUSA, 2004).

O ruído de tráfego (RT) é, então, uma parcela do ruído ambiental, sendo uma resultante do somatório de diversos tipos de ruído provenientes de fontes em trânsito, por exemplo, automóveis, ônibus, trens etc. (JOHNSON e SANDERS, 1968).

3.1.1 Fortaleza e o Transporte Público de Passageiros por Ônibus

Nos grandes centros urbanos o aumento de transporte automotor vem crescendo a cada ano, contribuindo muito para o aumento da poluição sonora e tornando-se um problema em várias capitais brasileiras (GERGES, 2004; SATTLER, 1999; BROWN, 1994). Não sendo diferente na cidade de Fortaleza quando no ano de 2000 possuía uma frota de 353.620 veículos. Em 2006, a frota era de 497.967 veículos, um aumento de 144.347 veículos, ou seja, de aproximadamente 30%. Fortaleza conta com uma população de 2.425.755 habitantes, totalizando 4,9 hab/veículo. A distribuição da frota em categorias resulta em indicadores tais como: 5,3 habitantes para cada veículo de uso “individual” (automóvel, motos e motonetas) e 234 veículos de uso “individual” para cada veículo público de uso coletivo (frota de ônibus e transporte complementar). (ETUFOR, 2006).

A evolução da frota de ônibus urbano da cidade de Fortaleza também cresceu (Figura 3.1) para atender a demanda de passageiros que aumentou nesses últimos anos (11%) (ETUFOR, 2007).

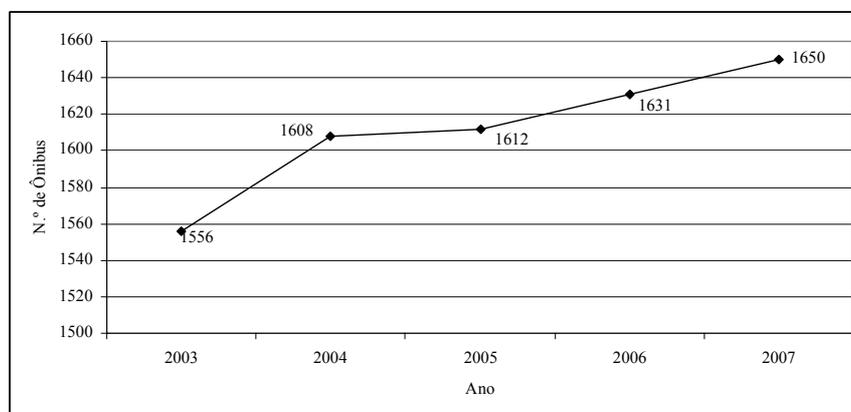


Figura 3.1: Evolução da frota de ônibus urbano em Fortaleza
Fonte: ETUFOR, 2007.

A mobilidade por transporte público em Fortaleza é garantida por quatro tipos serviços: o serviço de transporte por ônibus, o transporte complementar (vans), o serviço de táxi e o de mototáxi. Esses serviços são geridos pela administração municipal através da Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza (ETUFOR). A prefeitura publica regularmente o anuário estatístico com informações sobre o sistema de transporte público de passageiros por ônibus. O sistema de transporte coletivo por ônibus do município de Fortaleza encontra-se dividido em dois subsistemas: o Sistema Seletivo e o SITFOR. O Sistema Seletivo é composto por linhas de veículos de pequena capacidade voltadas para o atendimento basicamente turístico com tarifa superior ao valor cobrado no outro subsistema. O SITFOR é o Sistema Integrado de Transportes de Fortaleza que compreende o transporte por ônibus com integração física e tarifária operando com mais de 900 mil passageiros/dia, incluindo os terminais abertos e fechados. Ao todo, o sistema opera com 219 linhas de ônibus regulares, sendo 158 integradas nos terminais fechados e 61 não integradas. A frota atual é de aproximadamente 1.630 veículos, com uma idade média de 5,2 anos. Esse sistema beneficia a população em seu deslocamento, mas traz como desvantagem a concentração da demanda em sete terminais de ônibus, que podem prejudicar o bem-estar dos usuários e da população residente no seu entorno, devido ao ruído de tráfego dos ônibus nos terminais do SITFOR etambém em sua área de entorno.

3.2 FONTES DO RUÍDO DE TRÁFEGO

ROO (1999) afirma que nos veículos rodoviários as fontes geradoras de ruído são produzidas pelos seguintes fatores: a) propriedades mecânicas e acústicas do veículo; b) propriedades mecânicas e acústicas dos pneus; c) propriedades mecânicas e acústicas da superfície de rolamento; d) forma de dirigir do condutor do veículo.

Nos Estados Unidos e em alguns países asiáticos os limites e os métodos adotados nos testes acústicos dos veículos para aprovação são similares e seguem as especificações da Norma ISO 362. Já na Europa a partir de 1970, os métodos utilizados obedecem aos regulamentos da União Européia e do Conselho Econômico das Nações Unidas na Europa, esses têm mostrado uma redução no nível de ruído ao longo do tempo, por exemplo, na Europa caiu de 82 dB(A) para 74 dB(A) para carros de passeio e de 91 dB(A) para 80 dB(A) para caminhões. Todavia observa-se que a redução do

ruído de tráfego diário nas estradas e áreas urbanas não acompanha os decréscimos verificados nos veículos (ROO, 1999).

3.2.1 Ruído da Força de Tração do Veículo

Esta parcela é determinada basicamente pelas propriedades mecânicas e acústicas do veículo, relacionando-se com a topografia, com as condições do pavimento e a situações do tráfego (Murgel, 1998). Duas situações podem ser apontadas para a contribuição do ruído ocasionado pela força de tração. A primeira, quando o veículo está em movimento e onde o sistema mecânico do veículo gera o ruído, podendo ser influenciado pela condição da via, que pode potencializá-lo, e a segunda quando o mesmo permanece parado, sendo as fontes atuantes o motor e o sistema de escapamento ver Figuras 2.12 e 2.13 (VDA, 1978).

3.2.2 Ruído do Atrito dos Pneus com o Pavimento

De acordo com MURGEL (1998), o atrito ocasionado pelo pneu e o pavimento gera o ruído que mais contribui para a poluição sonora no tráfego. Alguns fatores que colaboram para este fenômeno é a rugosidade do pavimento, a velocidade desenvolvida pelo veículo, o tipo de pneu dentre outros. Estudos realizados mostram que a utilização do betume com borracha na confecção de pavimentos reduz significativamente a poluição sonora. Por exemplo, nos Estados Unidos e Portugal, o betume com borracha ocasionou uma redução no ruído pelo contato pneu/pavimento em aproximadamente 6 a 8 dB(A). Para se ter uma noção desta redução, tem-se que reduzir em 50% o volume de tráfego de uma determinada estrada para obter 3 dB(A) de diminuição do ruído de circulação (COSTA, 2007).

3.3 IMPACTO DO RUÍDO SOBRE A SAÚDE DO SER HUMANO

O ruído afeta o organismo humano de diversas maneiras, dentre as quais, distúrbios no sistema auditivo, bem como, o comprometimento da atividade física, fisiológica e mental do indivíduo (CARMO, 1999).

Os efeitos do ruído nos seres humanos dependem basicamente da intensidade; do tempo de exposição; da idade e da frequência. Em geral apresentam correlação com outros fatores, por exemplo, indivíduos com uma saúde debilitada podem sofrer mais com as ações do ruído em seu organismo do que aqueles que possuem um bom estado geral de saúde (SOUZA, 1992). Um indivíduo exposto continuamente a ruídos acima de 85 dB(A) com uma exposição de acima de 8h pode sofrer de perdas auditivas permanentes e o aumento de apenas 5 dB pode representar a necessidade de redução do tempo de exposição ao ruído pela metade, conforme se observa na Tabela 3.1 a seguir.

Tabela 3.1: Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.

Nível de ruído dB(A)	Máxima exposição diária permitida
85	8 h
86	7 h
87	6 h
88	5 h
89	4 h 30 min
90	4 h
91	3 h 30 min
92	3 h
93	2 h 40 min
94	2 h 15 min
95	2 h
96	1 h 45 min
98	1 h e 15 min
100	1 h
102	45 min
104	35 min
105	30 min
106	25 min
108	20 min
110	15 min
112	10 min
114	8 min
115	7 min

Fonte: Brasil, 2005.

Segundo MEDEIROS (1999), outros órgãos do corpo humano podem ser afetados indiretamente por ativação ou inibição do sistema nervoso central e periférico da pessoa. O corpo responde de diferentes formas quando exposto a níveis de pressão sonora elevados, como por exemplo: dilatação da pupila; aumento da produção de hormônios da tireóide; aumento de batimento cardíaco; contração dos vasos sanguíneos; aumento da produção de adrenalina; baixo rendimento no trabalho; ansiedade; tensão;

irritabilidade; insônia; alteração nos ciclos menstruais; impotência; nervosismo; baixa concentração; cansaço; aumento da pressão sanguínea; acidentes e outros (BRITO, 1999).

Na literatura é comum encontrar uma classificação para os efeitos danosos sobre o corpo humano. Aquela que produz efeitos indiretamente ou também chamados de não auditivos, que atua de uma maneira mais geral sobre as funções orgânicas e a segunda são as que produzem danos diretamente ou auditivos (CARMO, 1999).

3.3.1 Efeitos Indiretos ou Não Auditivos

Os efeitos indiretos acontecem quando a energia sonora desloca-se por meio de vibrações pelas partes do corpo (extra-auditivos), geralmente ocasionado por ruídos de baixa frequência. Embora os ruídos de baixa frequência causem menos incômodo ao ouvido humano, também acarretam lesões dependendo da intensidade da pressão sonora e da predisposição individual. Estes barulhos geram vibrações na parede torácica e alterações no ritmo respiratório, podendo prejudicar o senso de equilíbrio, proporcionar fadiga, náuseas, distúrbios no sono, interferências com a comunicação oral, distúrbios nas funções fisiológicas, interferência no desempenho de tarefas, distúrbios na saúde mental, efeitos sociais e comportamentais, irritabilidade, nervosismo, ansiedade, depressão, taquicardia, alteração da pressão arterial, dores de cabeça, perda de apetite e dores de estômago (SOUSA, 2004; SELIGMAN, 1993; SMITH, 1991; WEBB, 1978; BURNS, 1973).

3.3.2 Efeitos Diretos ou Auditivos

De acordo com OLIVEIRA (2001), os efeitos do ruído sobre o organismo humano são considerados diretos ou auditivos quando captados pelo ouvido como principal meio de propagação da onda sonora, gerando uma degeneração das células ciliadas do cóclea, conforme ilustram as Figura 3.2 e 3.3.

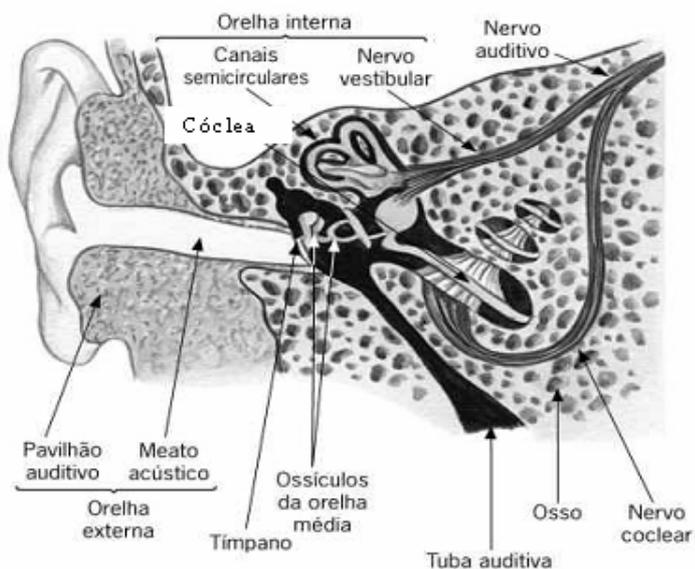
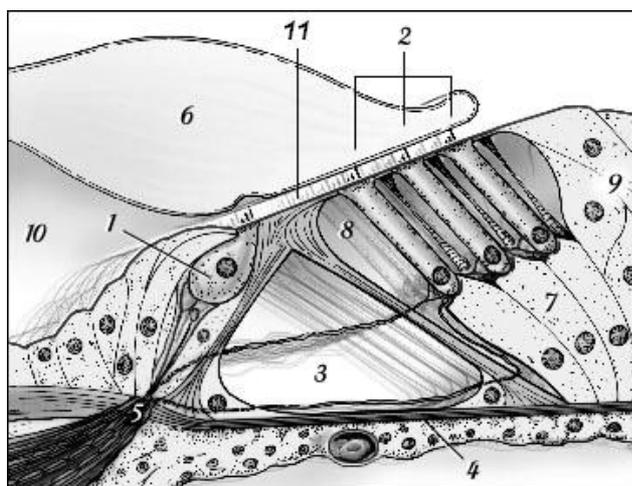


Figura 3.2: Anatomia da orelha
 Fonte: CÉSAR e CEZAR, 2002



- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Células Ciliadas interiores (CCI) | 7. Células de Deiters |
| 2. Células Ciliadas exteriores (CCE) | 8. Espaço de Nuel |
| 3. Tunel de Corti | 9. Células de Henson |
| 4. Membrana Basilar | 10. Sulco da Espiral Interior |
| 5. Habenua Perforata | 11. Membrana Reticular |
| 6. Membrana Tectorial | |

Figura 3.3: Secção transversal do clóclea
 Fonte: BLATRIX e PUJOL, 2002

Exposições sonoras elevadas e contínuas podem provocar várias limitações auditivas, como a alteração da sensibilidade e alterações na seletividade de frequência. Esta última provoca um aumento no tempo mínimo necessário para resolver uma ocorrência sonora, o que gera limitações da capacidade no portador dessa deficiência em reconhecer sons (SAMELLI, 2004; BAMFORD e SAUNDERS, 1991).

O zumbido é um dos sintomas que causa muito desconforto, sendo essa manifestação do organismo a indicação do mau funcionamento no processamento de sinais auditivos envolvendo elementos perceptuais e psicológicos e que mais habitualmente são relatados pelas pessoas que sofrem com a perda auditiva (KANDEL, SCHWARTZ e JUSSEL, 2003; VESTERAGER, 1997). Para se ter uma idéia MC SHANE, HYDE e ALBERTI (1988) após uma realização de uma pesquisa em 3.466 trabalhadores solicitantes de indenização, detectaram uma prevalência de zumbido em 49,8% dos trabalhadores. Destes, 29,2% disseram que esse sintoma era o problema principal. Além do zumbido pode-se dizer que os efeitos diretos geram também uma perda da audição.

3.3.2.1 PAIR – Perda Auditiva Induzida por Ruído

A Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR) é provocada pela exposição a um longo período de tempo ao ruído. Caracteriza-se como uma perda auditiva do tipo neurossensorial, geralmente bilateral e progressiva com o tempo de exposição ao ruído, ocasionando uma alteração definitiva e irreversível no sistema auditivo (FERREIRA, 1998). Outras denominações são utilizadas para PAIR como: perda auditiva por exposição ao ruído no trabalho; perda auditiva ocupacional; surdez profissional; disacusia ocupacional; perda auditiva induzida por níveis elevados de pressão sonora; perda auditiva neurossensorial por exposição continuada a níveis elevados de pressão sonora de origem ocupacional (BRASIL, 2006).

MARQUES (1998), no estudo com 92 motoristas de ônibus da cidade de São Paulo, constatou que 55,4% apresentavam problemas indicativos de PAIR, bem como estavam relacionados à idade dos avaliados e ao tempo de serviço. Outro estudo realizado por Barbosa (2001), com trabalhadores da companhia de Engenharia de

Tráfego (CET-SP), constatou que 28,5% apresentavam curvas audiométricas indicativas de PAIR.

Em 1998, o Comitê Nacional de Ruído e Conservação Auditiva definiu como características da PAIR (SOUSA, 2004):

1. Ser sempre neurossensorial, uma vez que a lesão é no órgão de Corti na orelha interna;
2. Ser geralmente bilateral, com padrões similares. Em algumas situações, observam-se diferenças entre os graus de perda das orelhas;
3. Geralmente, por não produzir perda maior que 40 dB(A) nas frequências baixas e que 75 dB(A) nas altas;
4. A sua progressão cessa com o fim da exposição ao ruído intenso;
5. A presença de PAIR não torna a orelha mais sensível ao ruído; à medida que aumenta o limiar, a progressão da perda se dá de forma mais lenta;
6. A perda tem seu início e predomínio nas frequências de 6, 4 e/ou 3 kHz, progredindo, posteriormente, para 8; 2; 1; 0,5 e 0,25 kHz;
7. Em condições estáveis de exposição, as perdas em 3, 4 ou 6 kHz, geralmente atingirão um nível máximo, em cerca de 10 a 15 anos;
8. O trabalhador portador de PAIR pode desenvolver intolerância a sons intensos, queixar-se de zumbido e de diminuição de inteligibilidade da fala, com prejuízo da comunicação oral.

3.3.3 Distúrbio do Sono

Pesquisas realizadas em pessoas durante o período de sono verificou-se que o ruído atua de inúmeras formas, podendo encurtar o tempo total e aumentar a quantidade de vezes que o indivíduo acorda nesse período, afetando vários estágios do sono, bem como, a diminuição do período de sono profundo (NELSON, 1987).

Estudos realizados nos mostram que para picos de ruído entre 40 a 65 dB(A) acontecem variações do ritmo cardíaco e contração dos vasos sanguíneos, principalmente entre 60 a 65 dB(A). Notou-se que nos jovens esse sintoma é mais relevante que nos mais velhos. O aparecimento dessas reações foi identificado em crianças quando o índice de ruído atingiu o nível de 50 dB(A), já em jovens adultos o nível foi de 55 dB(A) e para os idosos o nível foi de 65 dB(A). Uma aparente adaptação a ruído de baixos níveis foi verificada, mas após vários anos, os déficits no sono em ruído acima de 60 dB(A) são acumulativos, modificando sua estrutura como se fosse de pessoas envelhecidas. Pessoas de 35 anos sob estas condições podem apresentar um sono degradado como se tivessem 55 anos que não ficaram expostas ao barulho (CERNE, 1979; NELSON, 1987).

Um levantamento realizado sobre o sono, pelo Departamento de Psicobiologia da Escola Paulista de Medicina, nas regiões do país (exceto na região Nordeste) com quatrocentos motoristas de ônibus do sexo masculino, demonstraram que 60% dos motoristas de ônibus rodoviários apresentaram pelo menos uma queixa ou problema de sono. Este índice é elevado devido às situações de trabalho em que os motoristas estão submetidos com jornadas irregulares, pequeno tempo de folga e local impróprio para dormir, influenciando no estado de alerta que deve ser apresentado pelos motoristas no horário de trabalho. Também foi constatado que 16% dos motoristas assumiram que dormem/cochilam enquanto dirigem, com uma média de 8 cochilos por viagem. (MELLO *et al.*, 2000).

O risco de acidentes envolvendo motorista aumenta muito com a sonolência diurna excessiva reduzindo sua atenção no trânsito (GEORGE; SLILEY, 1999). Pesquisas mostram que 50% dos avaliados apresentava diminuição do tempo de sono nas 24 horas antecedentes às viagens e a privação de sono agregada a um grande espaço de tempo dirigindo estavam ligadas ao aumento do risco de acidentes automobilísticos (PHILIP *et al.*, 1999).

3.4 CONTROLE DO RUÍDO DE TRÁFEGO

O objetivo principal do controle da poluição sonora deve ser o de garantir ao homem nos diversos ambientes externos e internos, os limites toleráveis estabelecidos, ou seja, fazer com esse indivíduo tenha um ambiente acústico aceitável, levando-se em consideração critérios econômicos e técnicos (MOTA, 1997; HARRIS, 1998).

Um dos principais métodos de controle do barulho é a intervenção na fonte por meio do aperfeiçoamento do equipamento e manutenção rigorosa, como a regulação das descargas dos veículos. Outra maneira bastante eficaz de redução é o afastamento entre a fonte e o receptor. Quanto maior for esta distância maior será a atenuação (MOTA, 1997).

São ainda medidas de mitigação da poluição sonora: a) Isolamento dos ambientes internos; b) Criação de barreiras à propagação dos ruídos; c) Disciplinamento do uso e ocupação do solo; d) Planejamento acústico; e) Disposição adequada de vias de grande movimento, localizando-as em separado de áreas residenciais; f) Melhoria no transporte público para incentivar seu uso e conseqüentemente a diminuição do número de veículos circulando nos grandes centros urbanos; g) Disciplinar a circulação de veículos de carga dentro das cidades; h) Substituição do pavimento por outro que torne o contato pneu/via menos ruidoso, podendo chegar a redução de mais 3 dB(A); i) Limitação da velocidade; j) Comportamento de baixo ruído por parte dos motoristas, por exemplo, uso desnecessário da buzina, freiadas bruscas, etc.; l) Controle da exposição (MOTA, 1997; HARRIS, 1998).

É muito comum o uso de barreiras acústicas na Europa (Figura 3.4), Estados Unidos, Austrália e leste asiático principalmente no Japão (Figura 3.5) e em Hong Kong. As barreiras estão dispostas ao longo das rodovias que cruzam áreas residenciais. No Brasil, o uso destes sistemas não é comum de se observar em rodovias, devido ao fato de que as estradas brasileiras foram construídas sem a preocupação ambiental e tais soluções necessitam de estudos prévios com projetos detalhados, além do custo para implantação, que se torna mais elevado depois da rodovia construída.



Figura 3.4: Barreira acústica instalada em rodovia que liga a cidade de Hanover, na Alemanha, a seu aeroporto

Fonte: CICHINELL, 2007



Figura 3.5: Túnel falso em Osaka, Japão, usado para proteger o prédio à direita, evitando que a implantação de barreiras muito altas causassem grande impacto visual

Fonte: CICHINELL, 2007

Vários são os tipos de materiais usados na construção de barreiras acústicas (Figuras 3.6 a 3.11), pois a escolha de sua composição tem relação direta com a parcela de som absorvida. Essa composição deve observar a Norma Brasileira NBR – 14.313

(Barreiras Acústicas para Vias de Tráfego – Características Construtivas), que estabelecem as principais características construtivas, tais como: resistência estrutural às intempéries; facilidade de manutenção; e valor de 25 dB(A) como o mínimo de redução sonora da barreira. A eficácia da barreira dependerá da composição dos efeitos da transmissão sonora, da refração e da perda da reflexão do som (CICHINELL, 2007).



Figura 3.6: Barreira de concreto ondulada, parcialmente absorvente



Figura 3.7: Barreira curva em concreto e acrílico, na Suíça



Figura 3.8: Barreira metálica, localizada em estrada entre Pádua e Veneza, na Itália



Figura 3.9: Barreira acústica metálica, instalada próxima a Zurique, na Suíça



Figura 3.10: Base de concreto e material transparente, na suíça



Figura 3.11: Barreira mista executada em concreto e acrílico

Figura 3.6 a 3.11: Tipos de barreiras acústicas
Fonte: CICHINELL, 2007

3.5 CUSTO AMBIENTAL DA REDUÇÃO DO RUÍDO

O grande aumento no número de usuários de transporte rodoviário tornou este setor como o principal contribuinte ao aumento dos problemas ambientais e de saúde pública da Europa (EEA, 1999). Estes problemas podem ser mensurados sob forma de valores monetários e denominam-se custos externos de transporte. Estes são um importante indicador para compor os aspectos ambientais da política de transporte e de apoio à decisão (MARRANA, 2003).

MARRANA (2003) afirma que as externalidades provocadas pela poluição sonora ocasionada pelo tráfego afetam o bem-estar de terceiros sem haver uma compensação, pode-se citar, por exemplo, a população que reside nas mediações de um terminal ruidoso de ônibus, suportando a poluição sonora. Essas externalidades são de maneira tal que um dos objetivos da política de transportes é de aproximar o valor desses aos custos impostos à sociedade. Estudos da Comissão Europeia mostra que o valor global dos custos externos associados ao setor de transporte chegar a 250 bilhões de euros, representando 5% do PIB do conjunto dos países da União Europeia, vide Figura 3.12. Embora minoritário, tal percentual representa um passivo ambiental da ordem de 12,5 bilhões de euros/ano.

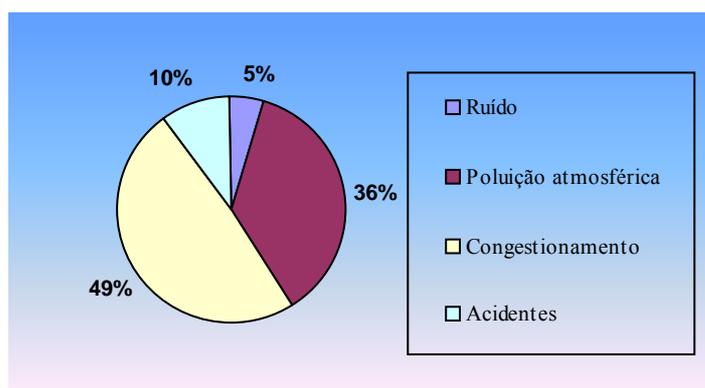


Figura 3.12: Distribuição 5% do PIB pelos diversos tipos de externalidades
Fonte: MARRANA, 2003

Para minimizar os efeitos do ruído oriundo do setor transporte é necessário realizar estudos de impacto ambiental, entendido como qualquer alteração no ambiente, ou seja, é quando este sofre modificações provocadas pela ação do homem (MOTA, 1997).

Sabe-se que as medidas para a redução do ruído são dispendiosas e é necessário avaliar o ganho social para justificar os elevados custos. Tendo-se uma estimativa econômica da melhora proporcionada pela diminuição da poluição sonora torna-se possível a combinação de medidas que prevêm benefícios mais altos com menores custos, ou seja, uma avaliação de custo-benefício (*Agricultural University of Norway*, 2002).

A Comunidade Européia busca desenvolver métodos ambientais de estimação para calcular o valor econômico da mitigação do ruído. Estes métodos trabalham com a aproximação de função do dano (*Damage Function Approach - DFA*) que é dividido em seis etapas (AUN, 2002):

1. Redução das emissões de ruído devido às medidas mitigadoras, descrevendo mudanças ao longo do tempo, localização, frequência, nível e fonte do ruído;
2. Identificação do padrão de dispersão do ruído;
3. Uso de modelos de dispersão de ruído para calcular as exposições em diferentes localizações geográficas;

4. Elaboração de respostas de exposição por indicadores como os níveis de aborrecimento, doenças do coração, qualidade do sono e outros impactos da poluição sonora;
5. Estimativa da quantidade de pessoas insatisfeitas pelo ruído por ano, que muda a cada ano, para calcular-se o impacto global do ruído;
6. Emprego de técnica de estimação econômica para fixar o valor econômico de uma unidade, por exemplo, valor monetário por pessoas insatisfeitas devido ao ruído por ano. Podem ser usadas duas aproximações de estimação diferentes:
 - Transferência de dados de estudos de estimação existentes;
 - Criação de um novo método usando técnicas de estimacões ambientais.

Segundo HUNT (2001), o ponto de partida da estimação de custos do ruído é a identificação dos componentes que influenciam no bem-estar do indivíduo. Estes devem ser somados para se fazer uma avaliação geral. Três componentes podem ser avaliados:

1. Custo básico – são os custos médios pagos pelo indivíduo ou sua família com a utilização dos serviços de saúde e outros recursos alocados fora do seu orçamento pessoal;
2. Custo de oportunidade – é o custo de oportunidade perdida, por exemplo, a redução para a capacidade no trabalho;
3. Custo de utilidade – são outros custos socioeconômicos que incluem qualquer restrição ou redução das atividades, desconforto ou inconveniência ocasionado pelo ruído.

A metodologia de avaliação de custos difere entre países e até mesmo em setores do mesmo país. Porém, nos países europeus é comum a utilização de duas aproximações principais do valor. A primeira é a utilização do valor econômico do decibel por ano, medido pela depreciação do índice de sensibilidade e, a segunda é a utilização de um valor econômico por ano por pessoa que sofre com a ação do ruído (AUN, 2002).

Os valores econômicos recomendados para os custos de ruído variam por diversos fatores, dentre eles o cultural. SOGUEL (1991) estimou na cidade de Neuchatel (Suíça) o valor de 3,95 euros por dB(A) por domicílio por mês, chegando a 47 euros por domicílio por ano. Para o Reino Unido uma melhoria de um decibel corresponde 33 euros por domicílio. Na Noruega o valor é de 1.250 euros por pessoa “altamente aborrecida” pelo ruído, assumindo que o aumento de um decibel corresponde 2% de aumento da insatisfação de uma pessoa em relação ao barulho. Isto resulta em um valor de 25 euros por decibel por pessoa exposta ao ano. Na Suécia este valor chega a 1.480 euros (SOGUEL, 1991). LAMBERT (2000) informa que na França, o Departamento de Estradas utiliza o valor econômico de aproximadamente 147 euros por pessoa aborrecida por ano.

Em Portugal, um estudo feito sobre o impacto ambiental ocasionado pela implantação da rede de metrô na cidade do Porto mostra que haverá até o ano de 2030, vantagens sociais e ambientais da ordem de três bilhões de euros com os 2.500 veículos que deixarão de estacionar, diariamente, no centro da cidade do Porto, com os dois milhões de horas nos deslocamento casa/trabalho, com a não emissão de 11 milhões de partículas poluentes, provenientes da circulação rodoviária e, somente com os benefícios oriundos da redução da poluição sonora, o ganho chega a seis milhões de euros (SILVA, 2006).

Na Alemanha, o ruído é uma das causas de maior desvalorização das moradias situadas no entorno do centro urbano. Desta forma, pessoas com um maior poder aquisitivo deslocam-se para locais mais afastados, favorecendo ainda mais o crescimento urbano (SILVA, 2002).

Nos EUA foi atribuída uma quantia para compensação a exposição ao ruído em US\$ 2.000,00/pessoa, e como se tem 6 milhões expostas isso significaria um custo total de US\$ 12 X 10⁹ em indenizações (GERGES, 2004).

No Brasil os estudos ainda são incipientes sobre custo de ruído, porém as questões econômicas ajudam a motivar a agenda de pesquisa, pois o pagamento de benefícios a doentes e acidentados tem-se apresentado crescente. Além disso, os prejuízos extrapolam o campo econômico e ganham uma dimensão social, pois ao

prejudicar a saúde humana demandam verbas públicas e privadas para o atendimento médico-hospitalar.

No capítulo seguinte serão abordados os métodos e materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho. Será descrita de maneira breve os terminais do sistema integrado de transporte de Fortaleza (SITFOR).

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

A pesquisa bibliográfica que consubstanciou o *Estado da Arte* sobre os impactos ambientais em terminais de transporte público operados pelo modo ônibus forneceu o suporte teórico para seleção das variáveis pertinentes ao ruído excessivo no interior dos terminais de transporte público na cidade de Fortaleza, sendo esse o problema a ser analisado na pesquisa.

A metodologia de mensuração adotada foi a recomendada pela NBR 10.151, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2000) e pela Lei Municipal de Fortaleza n.º 5.530, de 17/12/1981 para a realização de medições do nível de pressão sonora em seis dos sete terminais da cidade de Fortaleza sendo, também, avaliado o fluxo de ônibus. O Terminal da Lagoa não foi avaliado, uma vez que será desativado e sua demanda relocada para o Terminal da Parangaba, segundo informações prestadas pela Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza S.A. – ETUFOR, que gerencia o Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza (SITFOR).

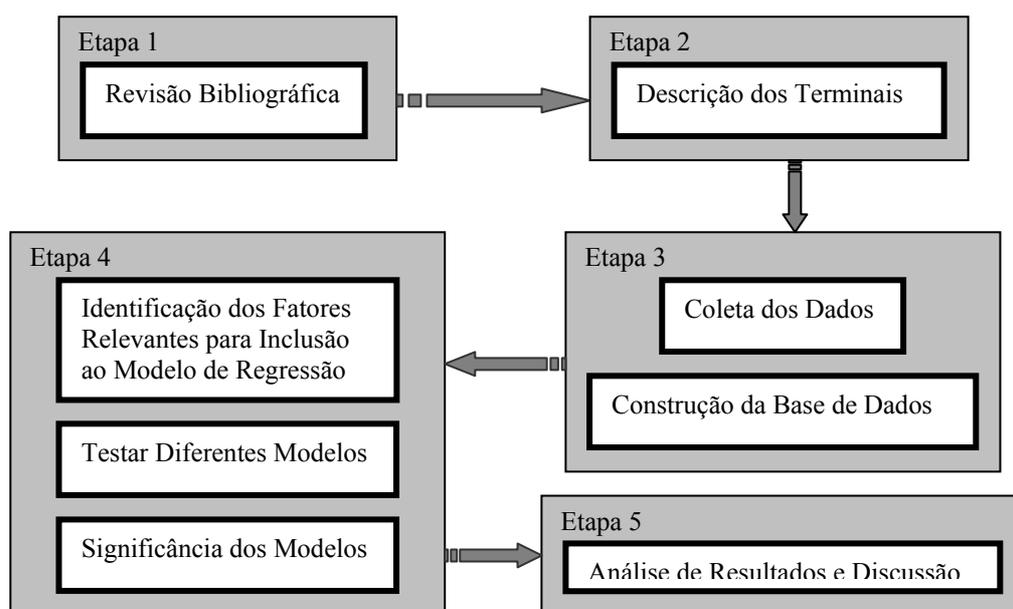


Figura 4.1: Metodologia usada para elaboração do estudo

A metodologia usada no desenvolvimento desta estudo, apresentada na Figura 4.1 consiste nas seguintes etapas:

Etapa 1. Revisão bibliográfica apresentando as definições fundamentais dos termos utilizados nessa dissertação, bem como, um estudo do ruído do tráfego e seus efeitos no homem;

Etapa 2. Descrição dos terminais apresentando a localização, frota de ônibus operante, demanda de passageiros, o número de plataformas, tipo de piso e leiaute;

Etapa 3. Identificação do local e direcionamentos dos receptores para o maior fluxo de pessoas e ônibus e definição do horário da análise (picos). Coleta dos dados com o objetivo de construir uma base dos dados;

Etapa 4. Análise exploratória dos dados, identificação dos valores extremos em busca de medidas central e de dispersão ao longo da linha temporal, construção dos gráficos de: níveis sonoros equivalentes; frequência; percentis; valores máximos e mínimos; amplitude e média do fluxo de ônibus para cada terminal. Testar os diferentes modelos de regressão e avaliar a significância do modelo e identificação dos fatores relevantes para utilização no modelo de regressão descartando os valores extremos;

Etapa 5. Discussão dos resultados e identificação de melhorias adicionais.

4.1 DESCRIÇÃO DOS TERMINAIS DO SITFOR

A cidade de Fortaleza localiza-se no litoral do Estado do Ceará, com uma população de 2.431.415 habitantes distribuídos em uma área de 313,8 km² a uma altitude média de 21 metros (IBGE, 2007).

Com o aumento das atividades de gerenciamento e operação do sistema de transporte em Fortaleza foi criada mediante a promulgação da lei municipal n.º 7.481, de 23/12/1993, a Empresa de Trânsito e Transporte Urbano S/A (ETTUSA), empresa de economia mista (98,69% do capital pertencente à Prefeitura Municipal de Fortaleza e 1,31% do capital acionário de titularidade das empresas operadoras), e vinculada à Secretaria de Transportes do Município (STM). Com a extinção da STM, a ETTUSA

assumiu as atribuições referentes ao planejamento, gerenciamento e fiscalização do Sistema de Transporte Público de Passageiros (STPP) do Município de Fortaleza. Assim permaneceu até julho de 2006, quando foi criada a ETUFOR – Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza S/A, em substituição à ETTUSA. As ações que pertenciam a outros sócios foram resgatadas pela Prefeitura de Fortaleza e, desde então, a gestão de transportes do município é totalmente pública (ETUFOR, 2006).

Em 1992, o SITFOR entrou em operação com a inauguração do Terminal de Antônio Bezerra e de Messejana, desde então proporciona maior facilidade no deslocamento dos usuários dentro da cidade através da integração física e tarifária em terminais de integração, ou seja, os passageiros podem realizar transferências para quaisquer linhas alimentadora, circulares e inter-bairros integradas nos terminais. Isso possibilita o acesso a vários pontos da cidade com o pagamento de uma única tarifa. A rede de linhas do SITFOR baseia-se em dois tipos de linhas: as que fazem a integração bairro-terminal e as que integram o terminal ao centro da cidade ou ainda a outro terminal e atualmente possui sete terminais integrados (Antônio Bezerra, Papicu, Parangaba, Lagoa, Siqueira, Messejana e Conjunto Ceará) distribuídos espacialmente na cidade, conforme pode ser visto na Figura 4.2 (ETUFOR, 2006).

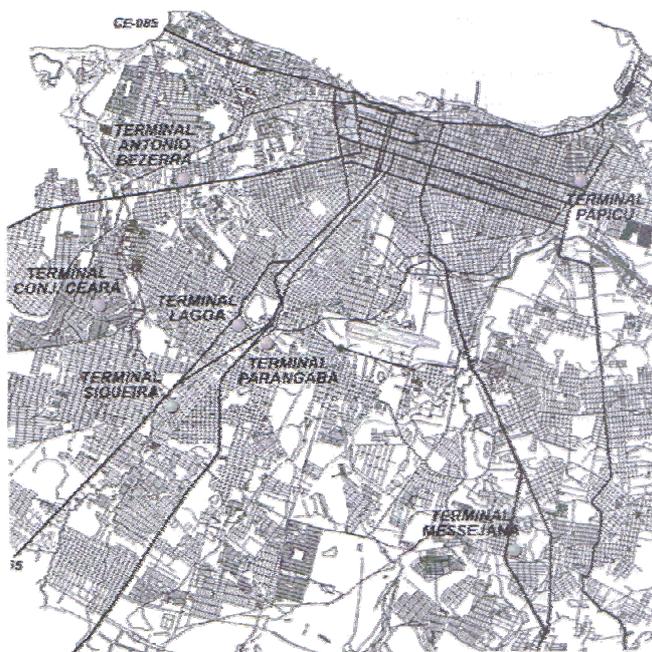


Figura 4.2: Rede de Terminais Integrados do SITFOR
Fonte: ETUFOR, 2006

A recente implantação da integração temporal permite à população pagar uma só passagem e circular por toda a cidade sem ter que passar pelos terminais de integração dentro de um determinado intervalo de tempo entre o desembarque e o embarque. Diferenciando-se do antigo sistema no qual o usuário obrigatoriamente tinha realizar o transbordo nos terminais de integração. Espera-se com essa integração diminuir o tempo de viagens, reduzir o custo de transporte, atenuar o tempo de embarque e desembarque dos passageiros, bem como, baixar o fluxo de passageiros dentro dos terminais, e posteriormente, a diminuição no número de ônibus devido à diminuição da demanda nos terminais o que, provavelmente, implicará em menores níveis de poluição sonora, tornando este estudo importante para uma posterior comparação com os dados coletados. Haverá alteração na operação do SITFOR com a implantação do programa de Transporte Urbano de Fortaleza (Transfor), que prevê a construção de corredores com faixa exclusiva para ônibus, o que reduzirá o tempo de percurso gerando uma melhoria da qualidade de vida dos usuários do SITFOR e dos moradores próximos aos terminais e atividades comerciais (PMF, 2006).

A seguir será mostrada uma breve descrição de cada um dos terminais estudados, com os respectivos leiautes para se tenha noção da configuração de cada terminal com a localização dos aparelhos de coleta de dados.

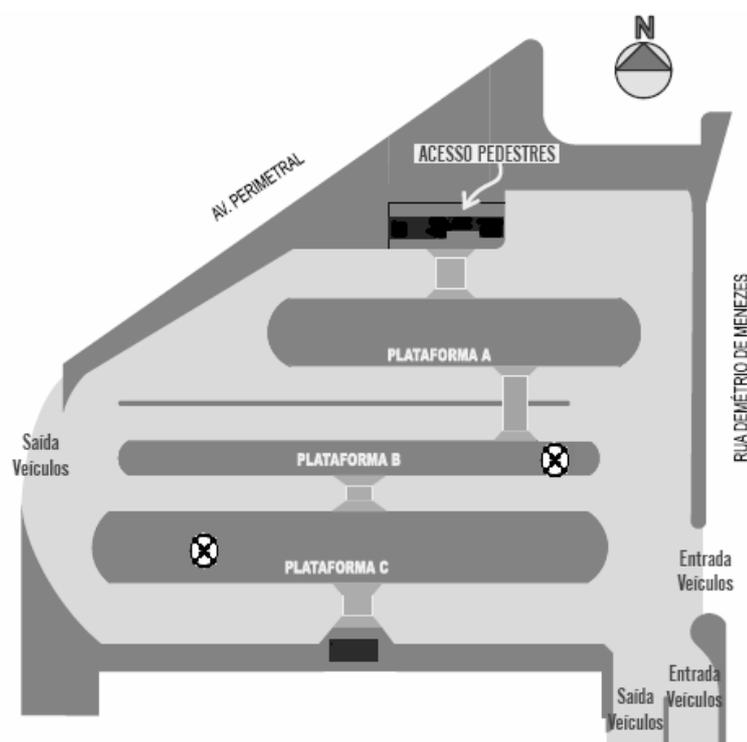
4.1.1 Terminal de Antônio Bezerra

Localizado na Av. Cel. Carvalho, no bairro de Antônio Bezerra, entrou em operação em 01/07/1992. Atende a uma frota de 366 ônibus em 35 linhas com demanda de 234.999 passageiro/dia, correspondendo a 20% do total de usuários do SITFOR. Em suas dependências são oferecidos os serviços de 2 caixas rápidos, 16 lanchonetes e 6 lojas de variedades localizadas no centro das plataformas de embarque e desembarque (Figura 4.3) ocasionando, segundo técnicos da ETUFOR, transtornos para os passageiros devido a falta de espaço adequado para o deslocamento dos passageiros. Com a introdução do Transfor pretende-se resolver esse problema colocando os boxes para as laterais do terminal (ETUFOR, 2006).

Esse terminal possui três baias onde ficam distribuídos os pontos de paradas. Na inauguração o seu pavimento era somente de paralelepípedo, modificada após três anos

de uso, para paralelepípedo com a utilização de um novo rejunte (bripar) e foi implantado piso em concreto nas curvas onde é maior a frenagem e, por conseguinte a tensão no pavimento, com o objetivo de preservar mais a faixa de rodagem dos ônibus, o que reduz o ruído, pois um pavimento mal conservado obriga ao motorista, frear e acelerar, produzindo ruído desnecessário nesses pontos. Possui, ainda, duas entradas de ônibus, uma na Av. Mister Hull e outra na Av. Demétrio de Menezes.

Os dois equipamentos foram colocados com os microfones direcionados para o sul, por ser considerado o lado da plataforma com o maior fluxo de ônibus e de pessoas, sendo um na plataforma B bem da extremidade e o outro na plataforma C próximo a lombada com uma distância aproximada de 30m entre os aparelhos, distância que foi seguida para todos os terminais com algumas pequenas variações (Figura 4.3), e o terceiro aparelho fez medidas de pequena duração mais próximo da fonte de ruído obedecendo à distância mínima estabelecida por lei em alguns pontos de todos os terminais. O horário de coleta foi de 17h 24min até às 18h 26min.



Obs.: ⊗ - Localização do decibelímetro

Figura 4.3: Leiaute da área do Terminal de Antônio Bezerra.

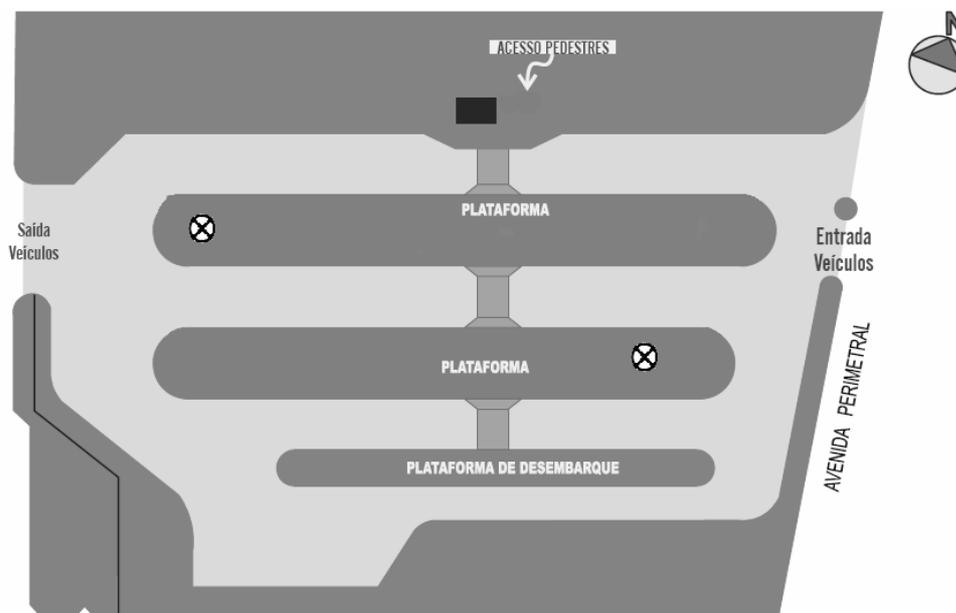
Fonte: ETUFOR, 2006

4.1.2 Terminal de Messejana

Sua localização está na Av. Perimetral, em Messejana, e foi inaugurado no dia 01/07/1992, atualmente opera uma frota de 229 ônibus em 34 linhas com uma demanda de 139.586 passageiros/dia, correspondendo a 12% do total de usuários do sistema. Possui 2 caixas rápido, 17 lanchonetes e duas bancas de revistas (ETUFOR, 2006).

Esse terminal tem uma área para ampliação que hoje é utilizada para estacionamento de ônibus, possui três plataformas, duas delas são cobertas em concreto armado utilizada para embarque e desembarque e uma a céu aberto apenas utilizada para desembarque nos dias de sol, com previsão de ser providenciada a cobertura em breve. Seu perímetro é gradeado o que contribui para influência do ruído devido ao tráfego externo, possui um pavimento em paralelepípedo com bripas.

Os dois equipamentos foram colocados com os microfones direcionados para o sudeste nas duas plataformas cobertas conforme Figura 4.4, seguindo o mesmo raciocínio para medições feitas no Terminal do Antônio Bezerra nos horários de 17h 29min até às 18h 37min.



Obs.: ⊗ - Localização do decibelímetro

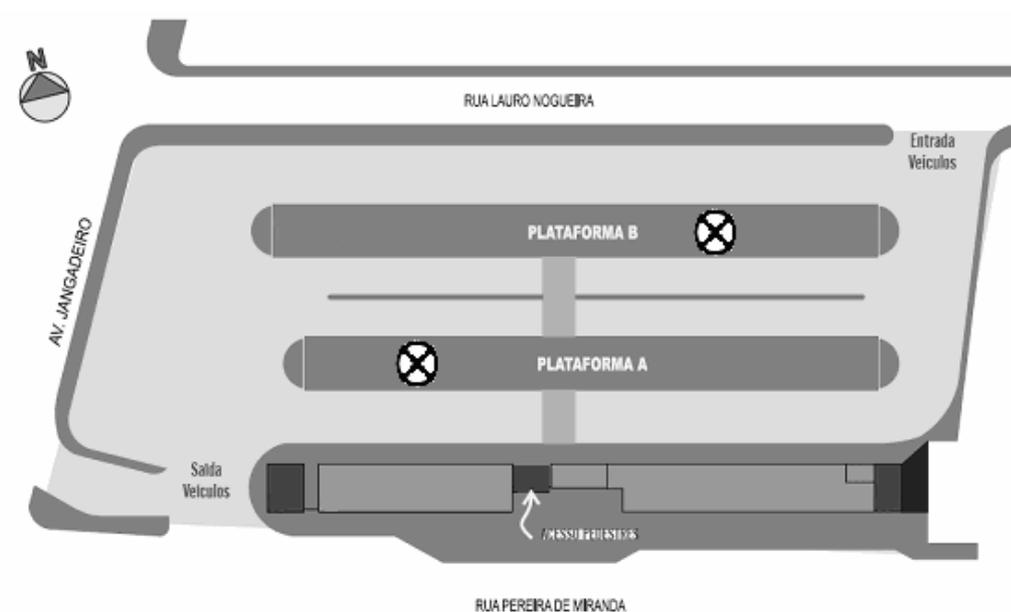
Figura 4.4: Leiaute da área do Terminal de Messejana.

Fonte: ETUFOR, 2006

usuários do sistema, atende 40 linhas de ônibus, e é o terminal com a maior demanda (ETUFOR, 2006).

Oferece em suas dependências um posto para atendimento aos estudantes, dois caixas rápidos, uma casa lotérica, 29 lanchonetes, sete lojas de variedades, duas bancas de revistas e conta com dois salões de beleza. Possui uma só saída pela Av. Jangadeiro e, duas plataformas de embarque com coberta em concreto armado que funcionam com ônibus nos dois sentidos. Possui piso em paralelepípedo com bripap.

Os dois equipamentos foram colocados com os microfones orientados para sudoeste, ficando o primeiro aparelho na plataforma A e o segundo na plataforma B e no horário entre 17h 46min e 18h 53min conforme Figura 4.6.



Obs.: ⊗ - Localização do decibelímetro

Figura 4.6: Leiaute da área do Terminal Papicu.

Fonte: ETUFOR, 2006

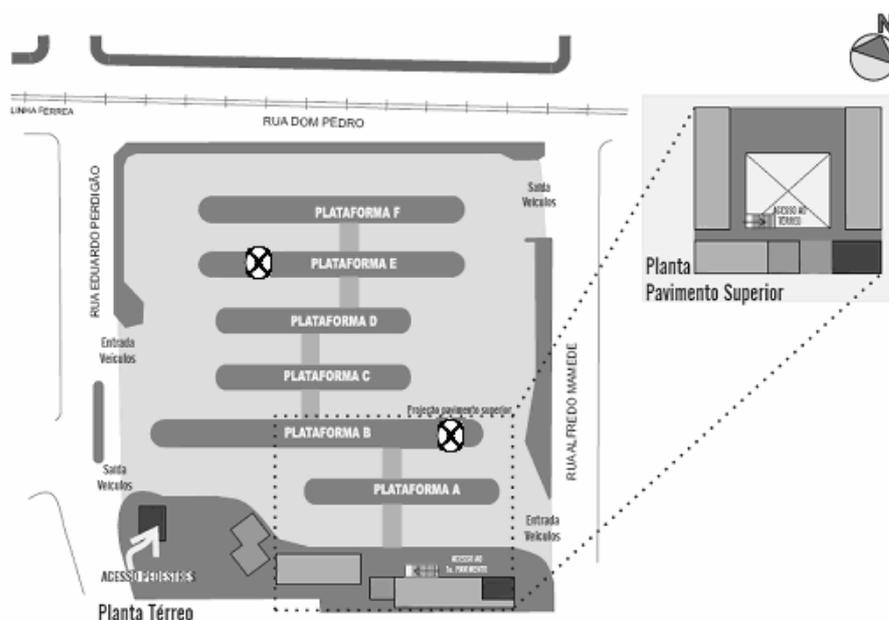
4.1.5 Terminal da Parangaba

Esse terminal difere dos demais por ter um primeiro piso, onde estão localizadas algumas lojas de variedades. Possui ainda um posto de atendimento ao estudante, vinte e duas lojas de variedades, dois caixas rápido, uma casa lotérica, dez lanchonetes,

quatro *lan house* e uma farmácia popular. Está localizado à Av. Pedro Ramalho, na Parangaba, começou sua operação em 07/08/1993 e opera hoje com uma frota de 377 ônibus e uma demanda de 231.120 passageiro/dia, e corresponde a aproximadamente 20% do total de passageiros do sistema, utilizando-se de 46 linhas de ônibus, sendo o segundo terminal de maior demanda. (ETUFOR, 2006).

Esse terminal tem uma área reservada para estacionamento de ônibus, possui seis plataformas de embarque e desembarque todas cobertas em concreto, com pavimentação em paralelepípedo com bripar nos corredores e concreto nas curvas e duas entradas de veículos. Próximo ao mesmo está implantada a linha férrea (tronco sul da Companhia Brasileiras de Trens urbanos - CBTU), com trens de cargas e passageiros contribuindo para o aumento do ruído em seu interior uma vez a divisória lateral é vazada.

Os dois equipamentos foram colocados com os microfones orientados para sudeste, ficando o primeiro aparelho na plataforma B e o segundo na plataforma E no horário de 17h 34min às 18h 41min conforme Figura 4.7.



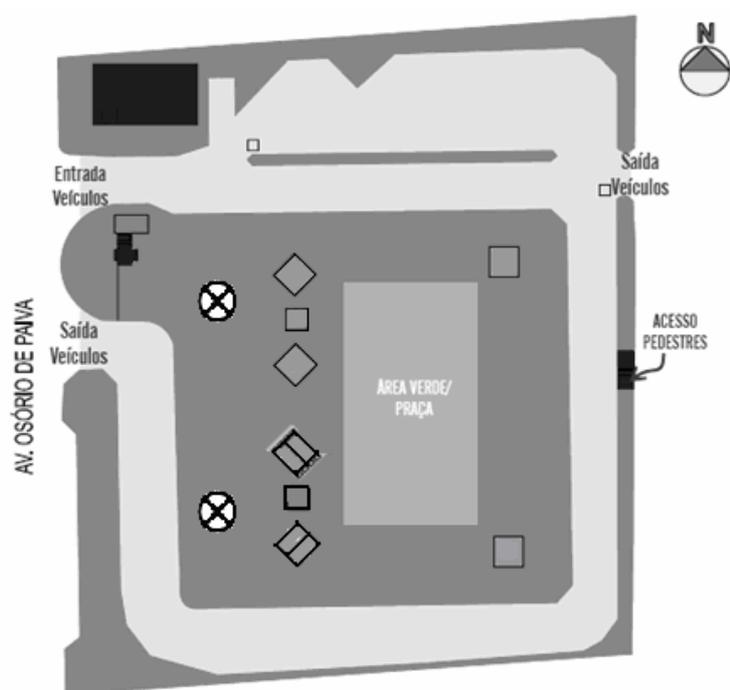
Obs.: ⊗ - Localização do decibelímetro

Figura 4.7: Leiaute da área do Terminal Parangaba.

Fonte: ETUFOR, 2006

4.1.6 Terminal do Siqueira

Esse terminal foi inaugurado em 22/11/1995, opera de 317 ônibus distribuídos em 34 linhas transportando 180.781 passageiros/dia. Localizado na Av. General Osório de Paiva, no bairro do Siqueira, dispõe em suas instalações de dois caixas rápidos, cinco boxes para lanchonetes e lojas de variedades. É o único que possui um formato do tipo ferradura onde existe uma praça central e os ônibus a circulam, no seu centro existe uma área verde, conforme mostra a Figura 4.8 (ETUFOR, 2006).



Obs.: ⊗ - Localização do decibelímetro

Figura 4.8: Leiaute da área do Terminal Siqueira.

Fonte: ETUFOR, 2006

Esse terminal tem uma área reservada para estacionamento de ônibus, dispõe somente uma entrada e duas saídas de ônibus e sua cobertura é em estrutura metálica é o menor terminal dos sete existentes na cidade e tem piso em paralelepípedo com bripar.

Os dois equipamentos foram colocados com os microfones orientados para oeste nos horário de 17h 36min às 18h 44min.

Resumidamente, pode-se afirmar que o Terminal do Papicu atende a maior demanda passageiros transportados por dia de 303.129, sendo acompanhado pelo Terminal do Antônio Bezerra com 234.999 passageiros. O Terminal do Conjunto Ceará detém a menor demanda passageiros transportados/dia. Entretanto, quando se analisa o número de ônibus, o Terminal do Papicu continua sendo o de maior número com 494 ônibus, na segunda posição o Terminal da Parangaba com 377 e em terceiro o Terminal Antônio Bezerra com 366 veículos. A frota operante, o número de linhas e a demanda atendida nos demais terminais podem ser observados na Tabela 4.1, a seguir:

Tabela 4.1: Resumo dos dados operacionais dos terminais

Terminal	Nº de ônibus (dia)	Nº de Linhas	Passageiro/ dia transportado
Antônio Bezerra	366	35	234.999 (20,1%)
Messejana	229	34	139.586 (11,9%)
Conjunto Ceará	129	17	79.122 (6,8%)
Papicu	494	40	303.129 (25,9%)
Parangaba	377	46	231.120 (19,8%)
Siqueira	317	34	180.781 (15,5%)
Total		206	1.168.737

Fonte: ETUFOR, 2006.

4.2 METODOLOGIA DE MENSURAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

A coleta dos dados foi realizada por meio de três equipamentos digitais que mensuram o nível de pressão sonora, disponibilizados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Controle Urbano (SEMAM/PMF). Dois eram do modelo 5010, fabricados pela empresa *Instrutherm*, do tipo 2 e com precisão de 1,5 dB, dotado de protetor de vento e tripé com valores expressos em dB(A). Este armazena e integra as medições durante o período de coleta e fornece a média equivalente das leituras para um determinado período de tempo (L_{eq}). Optou-se por utilizar esses dois aparelhos, em pontos com maior concentração de ônibus e pessoas (Figuras 4.3 a 4.8), que ficaram fixos nas plataformas em horários de pico característico para cada terminal no período da tarde. Utilizou-se, também, o modelo 5030, do tipo 2, fabricado pela mesma empresa, com mesma precisão e acessórios do Modelo 5010 e, também, armazena e

integra medidas expressas em L_{eq} , usado para obter medidas de pequenas durações em alguns pontos dos terminais. Esses aparelhos foram assim distribuídos para se obter uma melhor caracterização do ruído e a contribuição de fontes externas dos terminais.

Conforme dito, todas as medições de ruído foram realizadas seguindo as orientações da Norma Técnica NBR 10.151, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2000), e da Lei Municipal de Fortaleza Nº. 5.530, de 17/12/1981, que fixam as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades e recomenda posicionar o aparelho de medição a uma distância mínima de 1,20 m do pavimento e distante pelo menos 1,50 m de qualquer superfície refletora (paredes ou muros). O Nível de Pressão Sonora (NPS) foi medido em dB com ponderação A no instrumento de medição e em resposta lenta (*slow*) índice que tem o tempo de integração de 1s, facilitando as medições quando existe muita variação de ruído no ambiente e quando se deseja medir níveis sonoros médios. A importância desta ponderação A ocorre devido traduzir a sensibilidade do ouvido humano em resposta a estímulo sonoro, por exemplo, ao ruído (SILVA, 2002).

Todos os dados foram obtidos em condições satisfatórias, ou seja, sem chuva, com temperatura e vento dentro do padrão necessário para uma boa coleta de dados, com os aparelhos portando um protetor de vento (bolo de esponja) e apenas no período do pico da tarde entre 17h 15min às 18h 30min, por ser o de maior demanda de ônibus no dia variando o horário de terminal para terminal, mas sempre com medições aproximadamente de uma hora no mês de outubro de 2007 em dias úteis típicos da semana (de segunda a sexta-feira), para que os resultados não fossem influenciados por qualquer evento alheio ao cotidiano. Segundo os técnicos da SEMAM, o espaço de 1 hora seria suficiente para uma coleta satisfatória de dados e conseqüentemente para a boa caracterização do nível de ruído.

O nível de pressão sonora foi medido em horários de picos para se ter a pior situação da poluição sonora dentro dos terminais, por tal razão não foram medidas nos horários de entre picos. Os dois equipamentos (modelo 5010) foram posicionados em plataformas (Figura 4.9) com o maior fluxo de pessoas e ônibus, seguindo o mesmo raciocínio para se obter a posição mais crítica em relação ao ruído dentro dos terminais,

além de se ter um terceiro aparelho fazendo medições de curta duração em locais distribuídos em todos os terminais.



Figura 4.9: Equipamento posicionado na plataforma

O objetivo do terceiro equipamento foi avaliar os ruídos em vários locais internos dos terminais por um período pequeno de tempo, por exemplo, a contribuição da passagem do ônibus, o alerta sonoro de ré dos veículos e a passagem do trem no Terminal de Parangaba, durante a coleta de dados. Os resultados foram organizados em tabelas e gráficos que serão mostrados no capítulo seguinte.

Para facilitar e tornar correto o uso do medidor de nível de pressão sonora durante a coleta de dados da pesquisas, procedeu-se um treinamento com o aparelho, antes das medições em campo, com o suporte técnico da SEMAM.

Foram agrupados os dados obtidos nos dois aparelhos (modelo 5010) e a partir desses dados foram gerados os gráficos e toda a análise.

Utilizou-se o L_{eq} (Nível de Pressão Sonora Equivalente) por melhor representar a exposição sonora em cada terminal, uma vez que leva em consideração a média das ocorrências sonoras num certo ponto (WHO, 2001). Também foram obtidos o L_{min} , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{max} .

Para que se pudesse verificar a relação entre o ruído e o fluxo de ônibus, obteve-se junto a ETUFOR, a quantidade de ônibus circulando nos terminais nos mesmos horários e dias das coletas dos dados. Essa contagem de ônibus dentro dos terminais é feita diariamente pelos controladores de linhas, funcionando como postos de controle, que anotam horário de chegada e saída dos veículos num documento chamando BCO (Boletim de Controle Operacional), esses dados são encaminhados à ETUFOR, que digita esses dados no SITFOR, essa informação é o que o sistema denomina de “*verificado*”, ou seja, o horário exato em que o ônibus passou pelo controlador de linha (posto de controle).

Elaboraram-se os gráficos dos níveis sonoros equivalentes e da frequência de ocorrências dos níveis sonoros que mostra a quantidade de vezes que um nível foi observado durante o tempo de medição (1 hora), bem como, os gráficos dos níveis percentis com destaque para o L_{10} , L_{50} e L_{90} , das linhas temporais para observar o horário mais crítico dentro do período de medição e do fluxo de ônibus/min para cada terminal. Optou-se por trabalhar com o fluxo de ônibus por minuto e não por hora para que se tivesse um melhor acompanhamento do comportamento desse fluxo e poder compará-lo com o nível sonoro equivalente (L_{eq}) para expressar através de um modelo de regressão a possível relação existente.

A partir dos dados obtidos realizou-se uma análise exploratória inicial, identificando-se os dados extremos (*outliers*), que foram removidos para não comprometer a análise. Em seguida, foi feita a comparação entre os terminais em função dos dados estatísticos e da linha temporal e um confronto entre o número de ônibus dentro dos terminais e o valor do nível sonoro equivalente (L_{eq}) em função do tempo, e finalmente a tentativa de ajuste de um modelo de regressão.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS DADOS

Neste capítulo, estão descritos os resultados das medições realizadas dentro dos terminais da cidade de Fortaleza com síntese dos dados para melhor compreensão da dinâmica do ruído nos locais monitorados. Conforme descrito no capítulo anterior foram usados três equipamentos, sendo dois fixos durante a medição direcionados para fonte de ruído e, um em medições de pequena duração. Esses aparelhos foram assim distribuídos para se obter uma melhor caracterização do ruído e identificar qual é a contribuição das fontes de ruído internas e externas nos terminais.

A seguir será mostrado o resultado dos terminais enfatizando-se o terminal com a pior situação, ou seja, com maiores problemas de poluição sonora.

5.1 ESTUDO ESTATÍSTICO INICIAL DAS MEDIÇÕES DE RUÍDO NOS TERMINAIS

Inicialmente, agrupou-se os dados obtidos nos dois equipamentos de maior período de medição em cada terminal. Designou-se os números de 1 a 6 para identificação dos terminais, por exemplo: a) Terminal do Antônio Bezerra (n.º 1), b) Terminal de Messejana (n.º 2), c) Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3), d) Terminal do Papicu (n.º 4), e) Terminal da Parangaba (n.º 5) e f) Terminal do Siqueira (n.º 6). Os valores dos níveis sonoros equivalentes (L_{eq}) em todos os terminais foram medidos em dB com ponderação A no instrumento de medição e em resposta lenta (*slow*) obtidos a cada segundo durante aproximadamente 1 (uma) hora de medição, tendo uma pequena variação no horário de coleta das medições de um terminal para outro o que pode ser visto na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Horário das medições dos terminais

N ° Terminal	Terminal	Horário das medições	
		Início	Final
1	Antônio Bezerra	17h24min	18h26min
2	Messejana	17h29min	18h37min
3	Conjunto Ceará	17h26min	18h32min
4	Papicu	17h46min	18h53min
5	Parangaba	17h34min	18h41min
6	Siqueira	17h36min	18h44min

5.1.1 Terminal de Antônio Bezerra

Este terminal apresentou seu maior L_{eq} (L_{eqMax}) em 79,2 dB(A) e seu menor L_{eq} (L_{eqMin}) em 74,4 dB(A). Observa-se na Figura 5.1 a existência de elevados valores no início das medições (79,2 dB(A)), provavelmente no ajuste do aparelho ou algum ruído externo como avião, estando estes valores bem acima da média geral que é de 76,3 dB(A) e da mediana de 76,5 dB(A) que já estão influenciados, uma vez que na média e na mediana foram aplicados todos os dados. Este terminal apresentou uma amplitude, que é a diferença entre a maior e a menor medição, de 4,8 dB(A) com a utilização dos valores extremos (*outliers*).

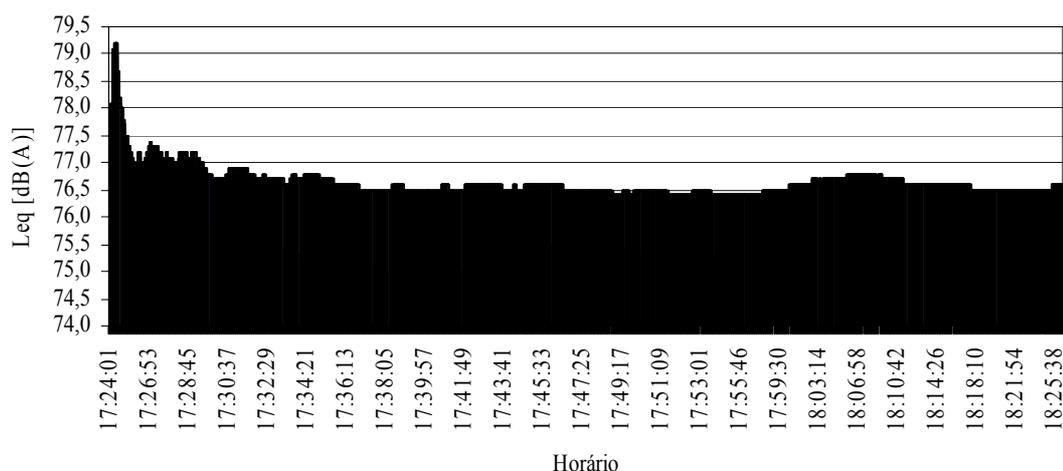


Figura 5.1: Níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) no Terminal de Antônio Bezerra

Verifica-se na Figura 5.2 que a frequência do nível sonoro equivalente ficou predominantemente na faixa entre 76,4 dB(A) e 76,8 dB(A) no horário avaliado, representando 63,20% das medições (ocorrências), entende-se por frequência a quantidade de vezes que um evento aconteceu, ou seja, quantas vezes ocorreu o mesmo nível sonoro equivalente em diversos horários.

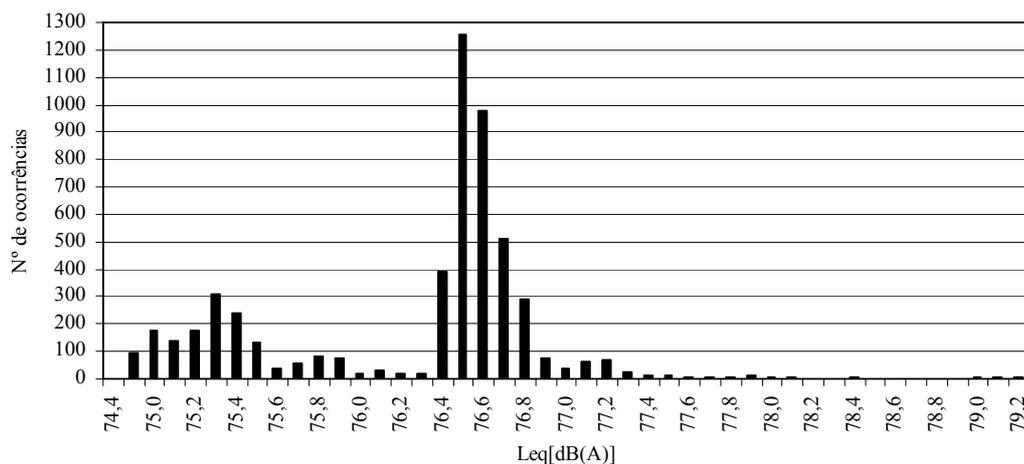


Figura 5.2: Frequência de ocorrências dos níveis de pressão sonora equivalente no Terminal de Antônio Bezerra

A Figura 5.3 mostra o gráfico dos níveis percentis com destaque para os L_{10} , L_{50} e L_{90} que são respectivamente 76,8; 76,5; e 75,2 dB(A), esses patamares descrevem o nível de pressão sonora, em dB(A), que foi excedido durante 10%, 50% e 90% do tempo da amostra, sendo que o L_{10} pode ser considerado como os picos e o L_{90} como ruído de fundo do ambiente e quanto maior for o ruído de fundo, menor o incômodo provocado por um nível de pico (GERGES, 2000). Se avaliado o Índice de Ruído de Tráfego (IRT), que mede o incômodo gerado pelo ruído de tráfego, este terminal obteve 51,6 dB(A) valor considerado baixo, uma vez que pelas recomendações da OMS esse valor pode chegar até 65 dB(A), o que era de se esperar, visto que a diferença do L_{90} e L_{10} é muito pequena (1,6 dB(A)).

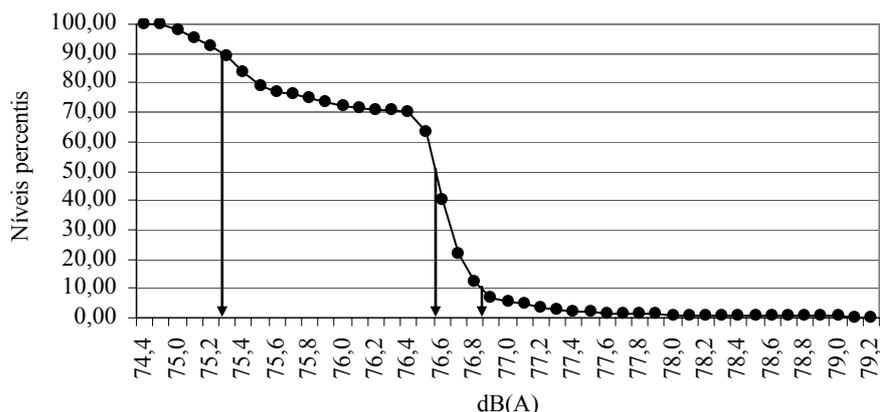


Figura 5.3: Níveis percentis da pressão sonora em dB(A) no Terminal de Antônio Bezerra

Conforme pode ser visto na Figura 5.4 o número de ônibus dentro do terminal no horário avaliado variou entre um e nove veículos/min, sendo que em aproximadamente 27% do tempo o terminal esteve com cinco ônibus/min e em 22% com três ônibus/min, tendo um pico somente uma vez, com um total de nove veículos/min no terminal, ocorrido às 18h 00min, tendo uma média de 4,30 ônibus/min.

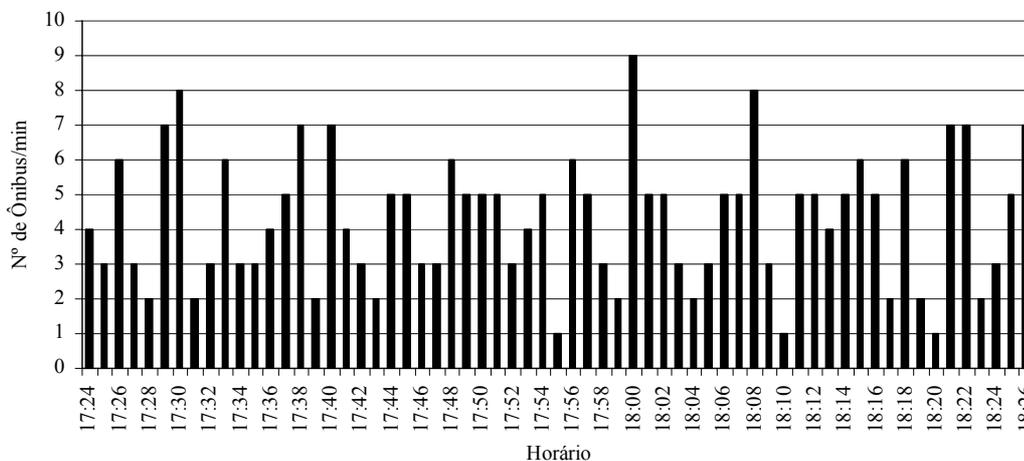


Figura 5.4: Fluxo de ônibus/min no período avaliado no Terminal de Antônio Bezerra

5.1.2 Terminal de Messejana

O maior nível sonoro nesse terminal (L_{eqMax}) foi 76,3 dB(A) e seu menor valor (L_{eqMin}) foi 71,0 dB(A) apresentando uma amplitude de 5,3 dB(A) com a média em 74,6 dB(A) e mediana de 74,7 dB(A). Nesse terminal nota-se uma maior elevação do nível

sonoro no início do período de medição devido o tempo de normalidade do aparelho. (Figura 5.5)

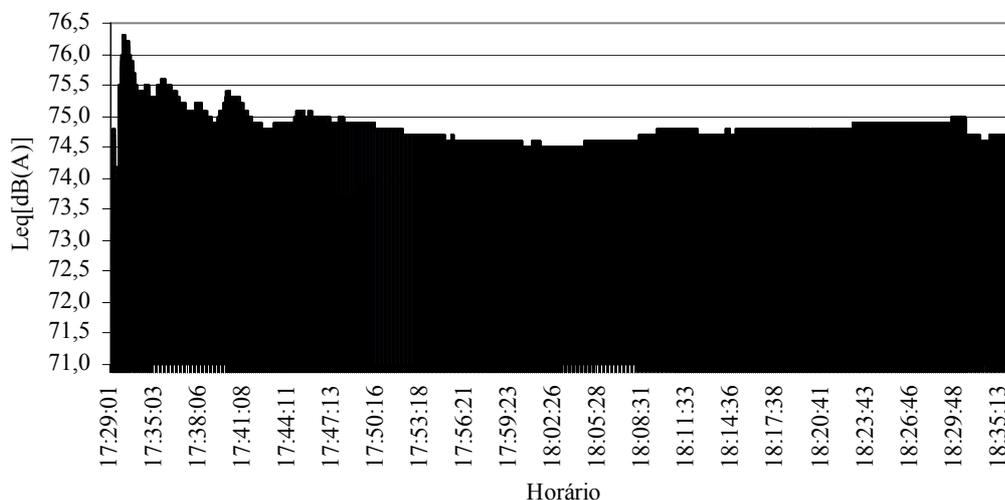


Figura 5.5: Níveis de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq}) no Terminal de Messejana

Durante o período de medição do ruído nesse terminal 55% das medições ficaram entre 74,6 dB(A) e 74,9 dB(A) dentre estas 63% então concentradas em 74,8 dB(A) e em 74,7 dB(A) conforme pode ser observado na Figura 5.6.

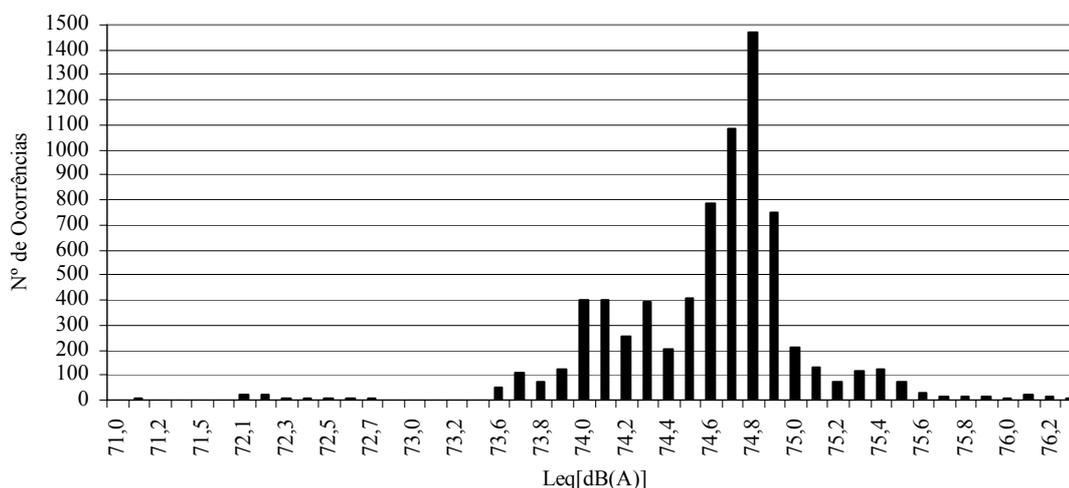


Figura 5.6: Frequência de ocorrências dos níveis de pressão sonora equivalente no Terminal de Messejana

Neste terminal conforme apresenta a Figura 5.7 o níveis percentis L_{10} , L_{50} e L_{90} são respectivamente 75,0; 74,7; e 74,0 dB(A). Verifica-se que 80% dos valores

encontrados estão com diferença máxima de 1dB(A). Nota-se que o IRT é igual a 48 dB(A).

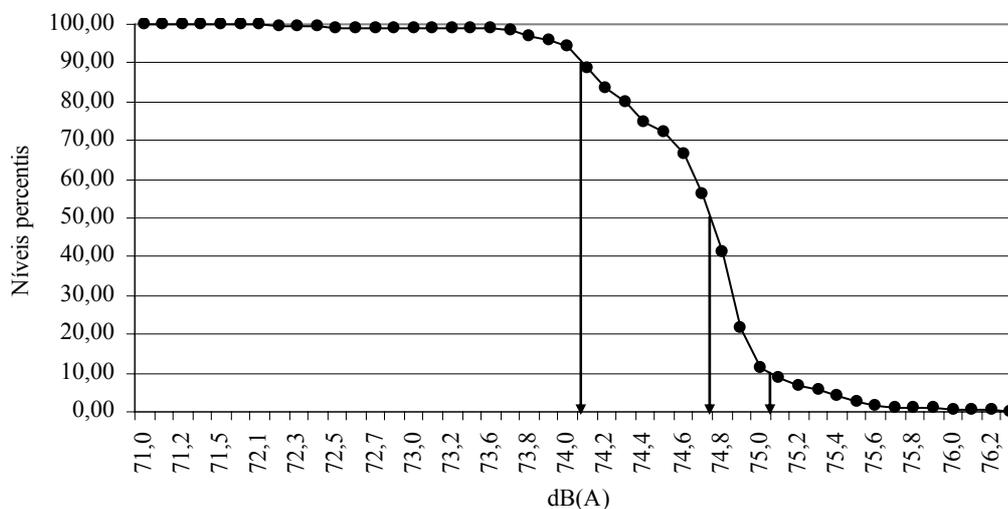


Figura 5.7: Níveis percentis da pressão sonora em dB(A) no Terminal de Messejana

A Figura 5.8 mostra que o maior número de ônibus/min dentro deste terminal no horário avaliado foi de sete veículos/min o que aconteceu somente uma vez às 18h 18min e que 29% do tempo observado o terminal apresentava três ônibus/min, obtendo uma média de 2,94 veículos/min.

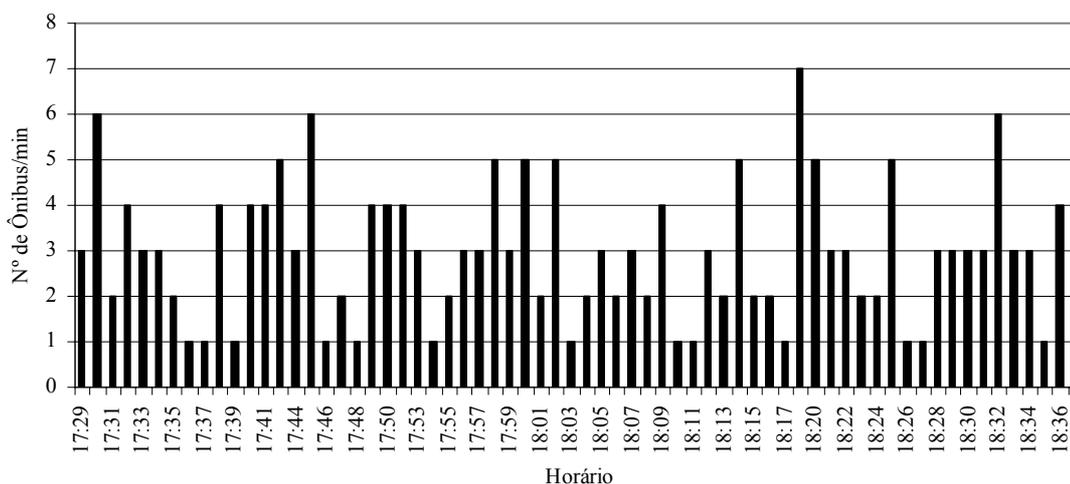


Figura 5.8: Fluxo de ônibus/min no período avaliado no Terminal de Messejana

5.1.3 Terminal do Conjunto Ceará

Observa-se na Figura 5.9 a existência de uma variação nos 10 min iniciais, este fato ocorreu provavelmente devido a uma aproximação da fonte ruidosa ao receptor, como, por exemplo, criança gritando no microfone do aparelho, ou pessoas conversando próximo ao aparelho, apesar do uso de cones de isolamento do aparelho alguns destes fatos foram observados durante as medições. O maior nível de pressão sonora equivalente (L_{eqMax}) desse terminal foi 75,9 dB(A) e seu menor valor (L_{eqMin}) foi 71,8 dB(A) apresentando uma amplitude de 4,1 dB(A). A média ficou em 74,5 dB(A) e mediana de 74,6 dB(A).

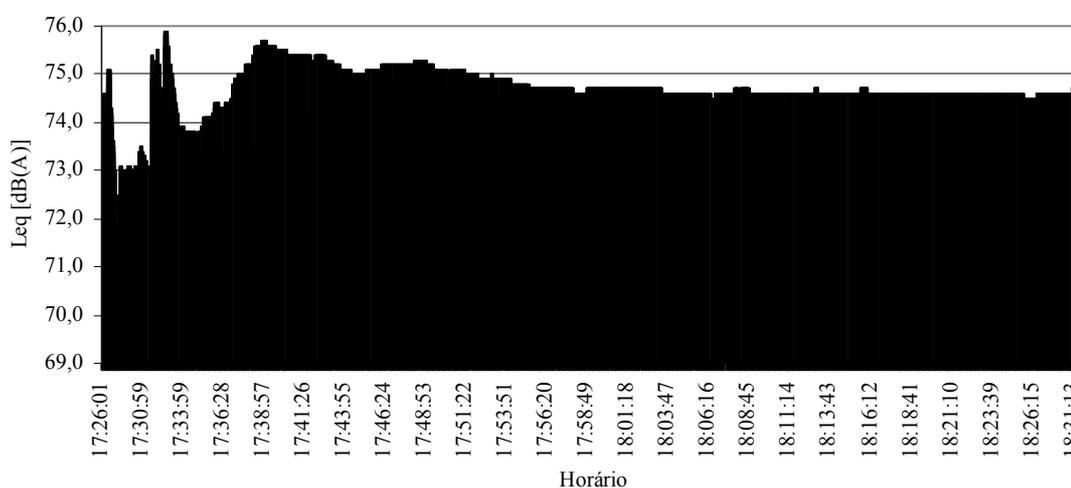


Figura 5.9: Níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) no Terminal do Conjunto Ceará

Durante o período de medição do ruído neste terminal foram feitas 7.224 medições sendo que 4.556 (63%) ficaram entre 74,5 dB(A) e 74,8 dB(A) dentre estas 2.735 (60%) está concentrada em 74,6 dB(A) conforme pode ser observado na Figura 5.10.

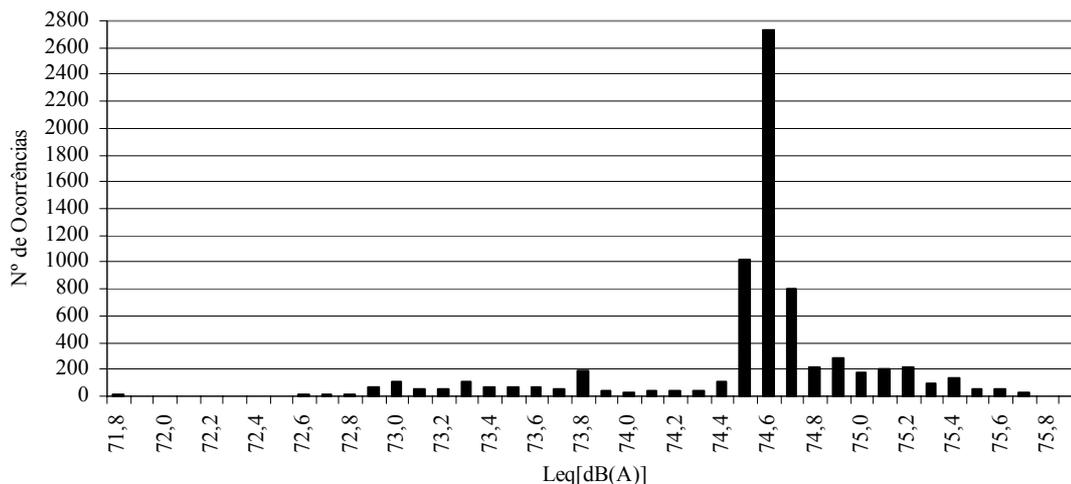


Figura 5.10: Frequência de ocorrências dos níveis de pressão sonora equivalente no Terminal do Conjunto Ceará

A Figura 5.11 mostra o L_{10} , L_{50} e o L_{90} com 75,1, 74,6 e 73,8 dB(A), respectivamente, apresentando uma diferença de 1,3 dB(A) entre o L_{10} e o L_{90} . O IRT nesse terminal foi de 49 dB(A) que é considerado baixo, ou seja, existe pouco incômodo proveniente do tráfego. A OMS estabelece valores de 65dB(A) como o limite do incômodo.

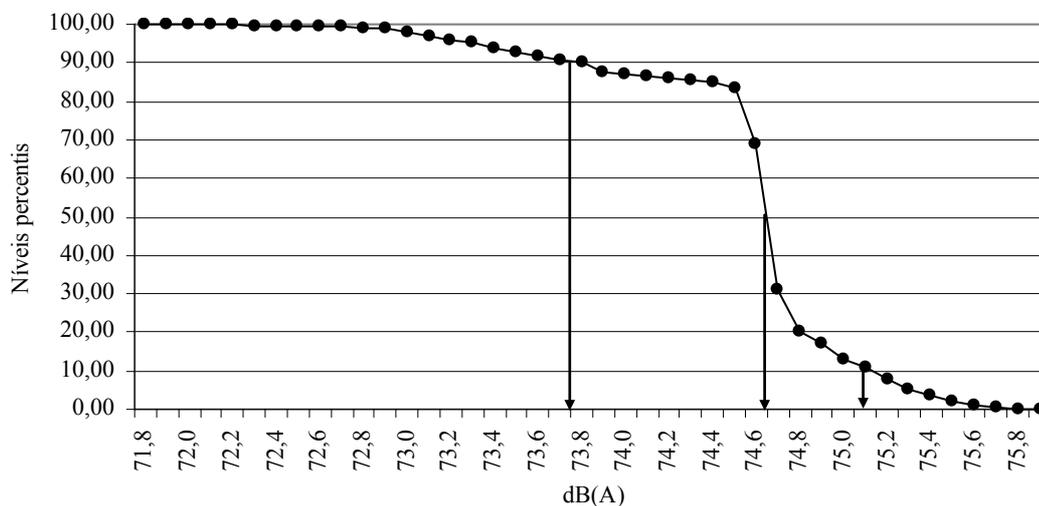


Figura 5.11: Níveis percentis da pressão sonora em dB(A) do Terminal do Conjunto Ceará

Observa-se na Figura 5.12 que a maior quantidade de ônibus/min dentro do terminal do Conjunto Ceará (n.º 3) foi de 6 veículos/min e ocorreu às 17h 40min, sendo

que 45% do período avaliado o terminal apresentava somente 1 veículo/min, apresentou uma média de 1,90 ônibus/min.

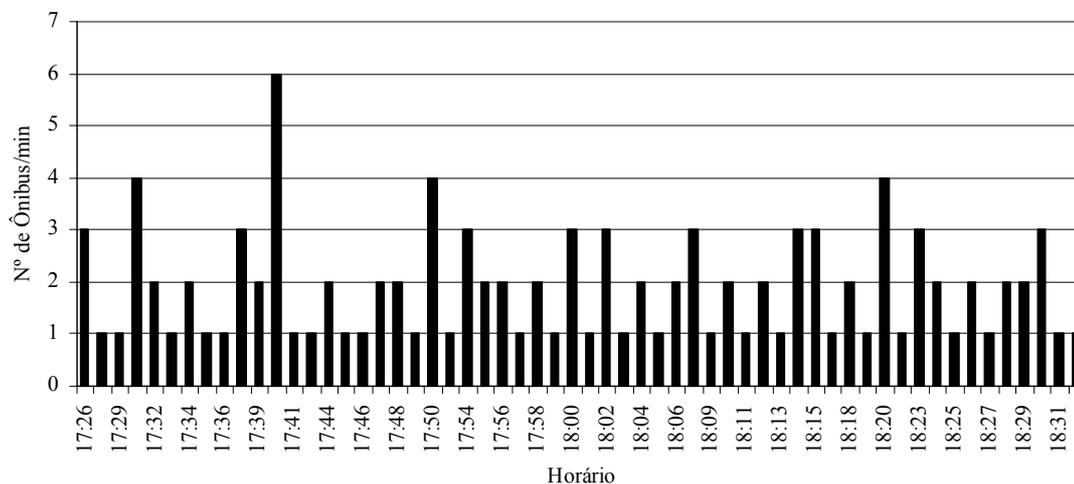


Figura 5.12: Fluxo de ônibus/min no período avaliado no Terminal do Conjunto Ceará

5.1.4 Terminal do Papicu

Neste terminal observa-se que em quase toda a medição os níveis de ruído medidos estiveram acima de 76 dB(A) tendo uma redução somente próximo ao final da medição (Figura 5.13), sendo um dos terminais mais ruidosos do conjunto avaliado e apresentou o maior nível sonoro de 77,6 dB(A) e seu menor valor foi 72,8 dB(A) apresentando uma amplitude de 4,8 dB(A). A média ficou em 76,0 dB(A) e mediana de 76,6 dB(A).

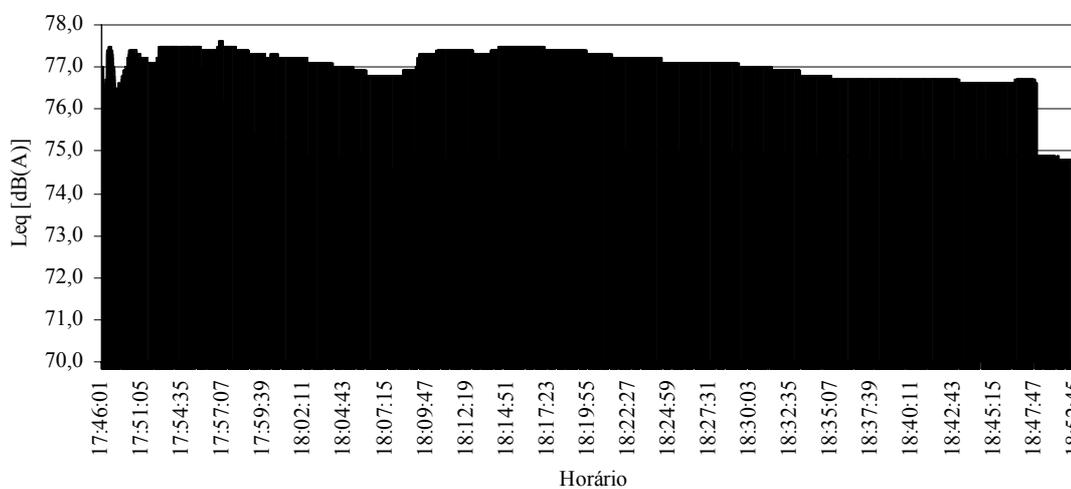


Figura 5.13: Níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) no Terminal do Papicu

Na Figura 5.14 observa-se a existência de duas faixas de maior frequência sendo a primeira entre 74,7 dB(A) e 75,1 dB(A) representando 43% do total das medições e a segunda entre 76,6 dB(A) e 77,5 dB(A) com 52% do total de 7.355 medições. Este fato pode ser explicado devido a posição dos dois aparelhos de medição, provavelmente o primeiro aparelho foi colocado em um local menos ruidoso que o aparelho dois.

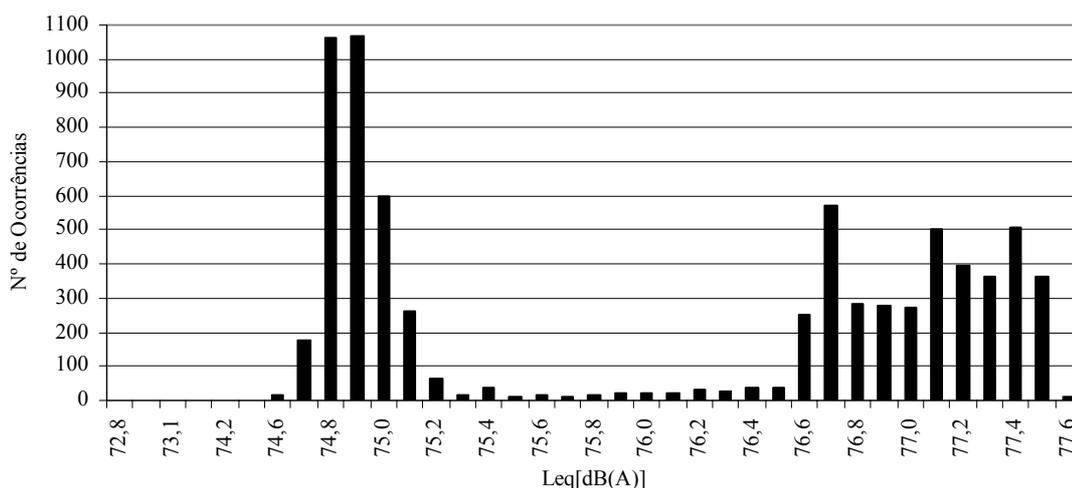


Figura 5.14: Frequência de ocorrências dos níveis de pressão sonora equivalente do Terminal do Papicu

A Figura 5.15 mostra o gráfico dos níveis percentis com destaque para os L_{10} , L_{50} e L_{90} que são 77,4; 76,6; e 74,8 dB(A), respectivamente, apresentando uma diferença entre o L_{10} e o L_{90} de 2,6 dB(A). Neste caso o IRT foi de 55,2 dB(A) sendo maior que os terminais de Parangaba (n.º 1), de Messejana (n.º 2) e do Conjunto Ceará (n.º 3), mas ainda com valores abaixo do estabelecido pela OMS (Organização Mundial da Saúde) que é de 65 dB(A).

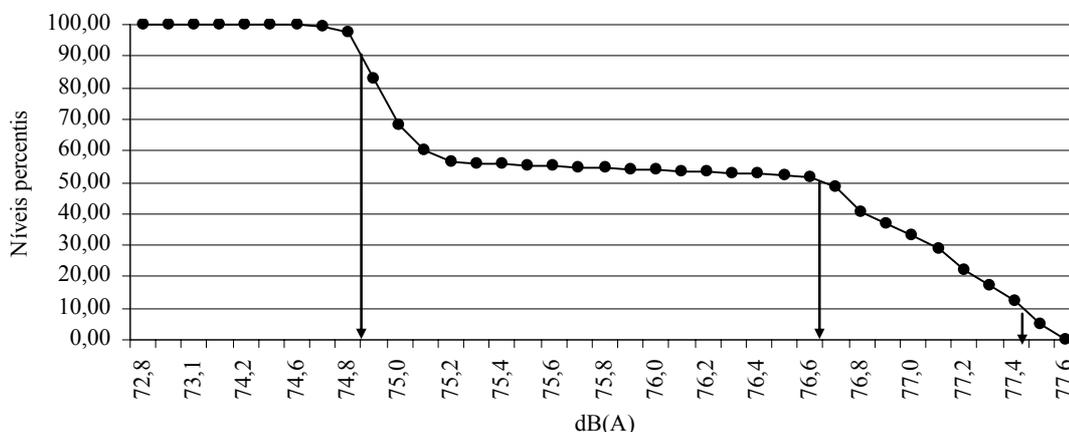


Figura 5.15: Níveis percentis da pressão sonora em dB(A) no Terminal do Papicu

O maior número de veículo/min neste terminal foi 10 ônibus/min que ocorreu somente uma vez às 18h 25min e a maior incidência foi 24% com 4 ônibus/min, com uma média de 4,72 ônibus/min.

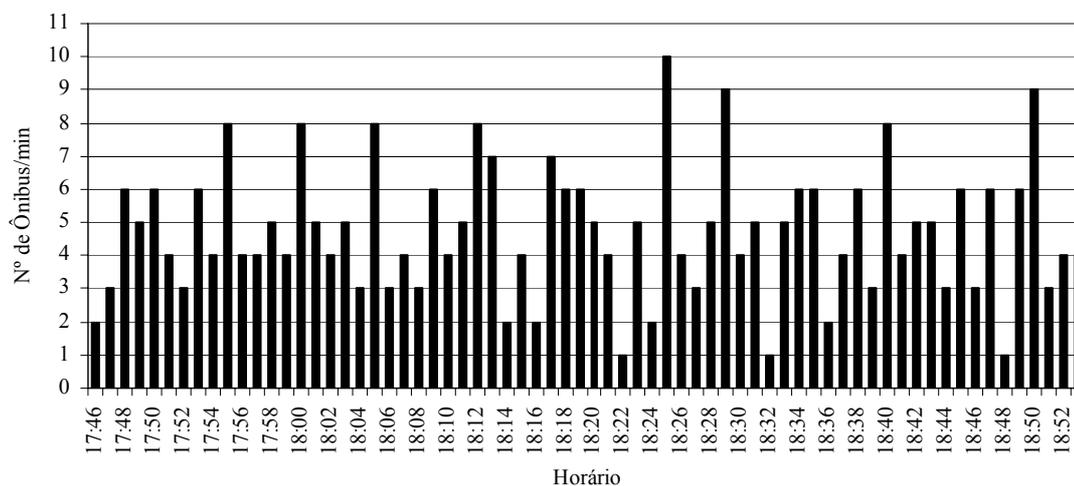


Figura 5.16: Fluxo de ônibus/min no período avaliado no Terminal do Papicu

5.1.5 Terminal de Parangaba

Os valores encontrados para níveis sonoros equivalentes L_{eq} para este terminal foram os piores de todos os terminais avaliados, apresentando seu maior valor (L_{eqMax}) em 80 dB(A) e seu menor valor (L_{eqMin}) em 75,5 dB(A). Neste terminal observa-se que em quase toda a medição os níveis de ruído medidos estiveram acima de 77 dB(A) tendo uma redução somente próximo ao final da medição (Figura 5.17), apresentou também uma amplitude de 4,5 dB(A). A média ficou em 77,0 dB(A) e mediana de 77,6 dB(A).

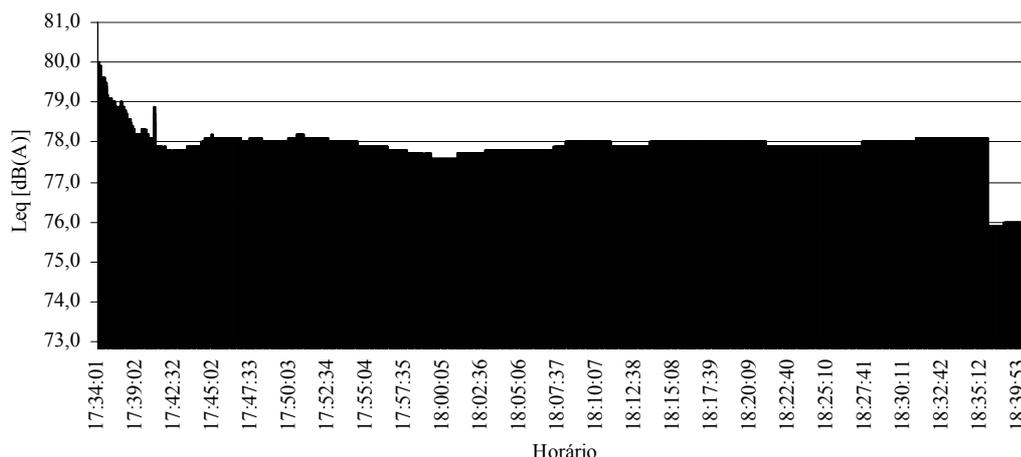


Figura 5.17: Níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) no Terminal da Parangaba

Observa-se também neste terminal a presença de duas concentrações de valores de níveis sonoros, uma entre 75,5 dB(A) e 76,0 dB(A) representando 38% do total das medições e outra entre 77,6 dB(A) e 78,2 dB(A) com 47% do total de 7.303 medições, sendo o maior destaque para 78 dB(A) com 1.126 ocorrências. Este fato pode ser explicado devido a posição dos dois aparelhos de medição, provavelmente o primeiro aparelho foi colocado em um local menos ruidoso que o segundo aparelho.

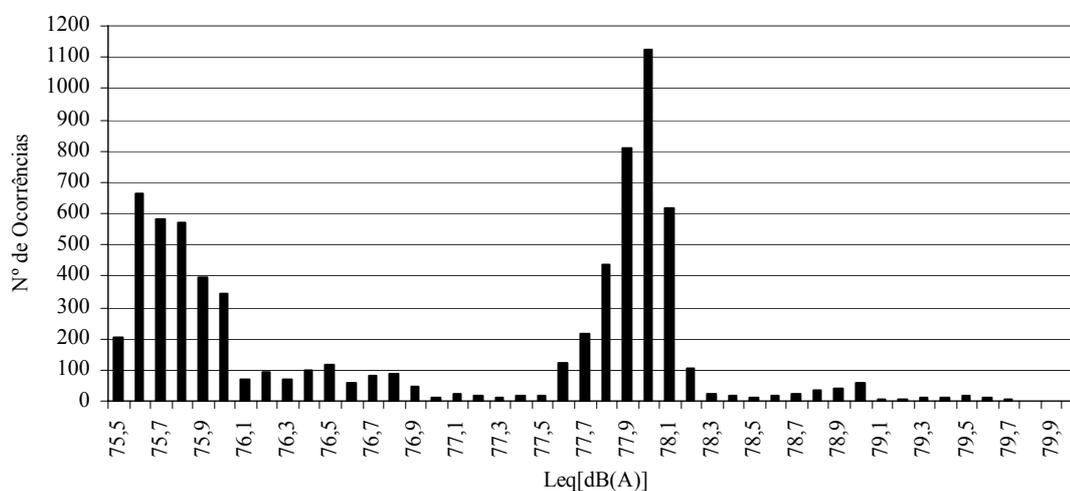


Figura 5.18: Frequência de ocorrências dos níveis de pressão sonora equivalente no Terminal da Parangaba

A Figura 5.19 mostra o gráfico dos níveis percentis com destaque para os L_{10} , L_{50} e L_{90} que são respectivamente 78,1; 77,6; e 75,6 dB(A), apresentando uma diferença entre o L_{10} e o L_{90} de 2,5 dB(A). O IRT foi de 55,6 dB(A), sendo o terminal com o pior

IRT, mesmo assim não apresenta um incômodo significativo, isso ocorre pelo alto valor do ruído de fundo (L_{90})

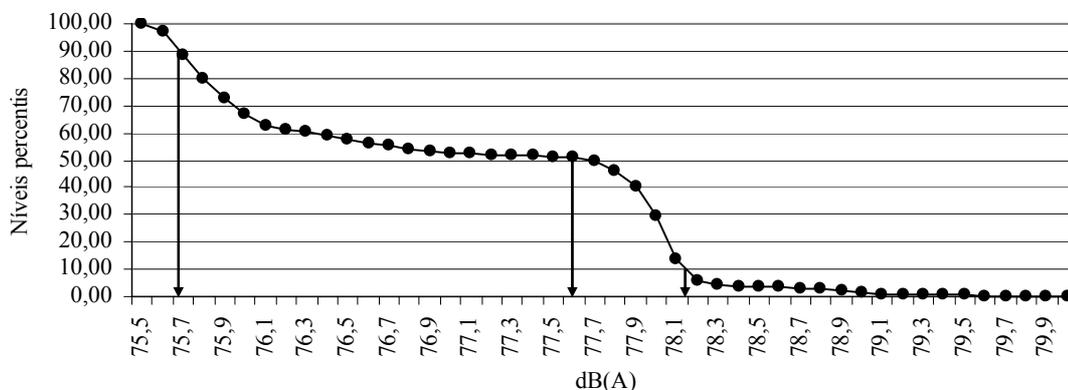


Figura 5.19: Níveis percentis da pressão sonora em dB(A) no Terminal da Parangaba

Este terminal apresentou 11 ônibus/min somente uma vez às 18h 38min permanecendo 25% do tempo com 4 ônibus/min seguido com 24% do período com 5 veículos/min conforme Figura 5.20, com média de 5,06 ônibus/min.

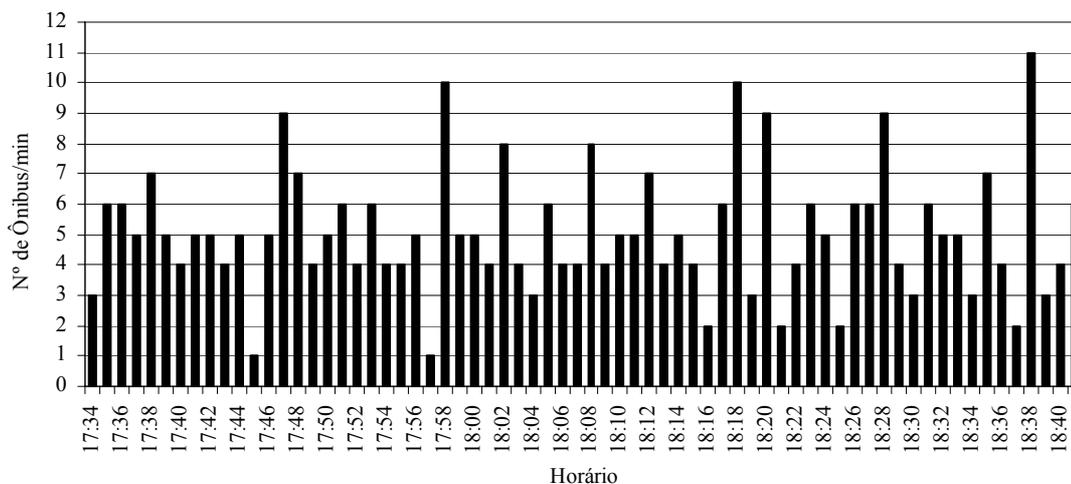


Figura 5.20: Fluxo de ônibus no período avaliado no Terminal da Parangaba

5.1.6 Terminal de Siqueira

Este terminal apresenta uma variação pequena em toda a medição, exceto próximo ao término da medição (18h 36min 04s) onde apresenta picos de níveis sonoros que chegam a 103 dB(A) o que provavelmente será descartado devido ser um dado discrepante (Figura 5.21), este fato aconteceu pela aproximação da fonte ruidosa com o receptor. Devido os dados estarem fora da normalidade, a amplitude foi de 29,4 dB(A)

e, o menor valor (L_{eqMin}) em 74,2 dB(A) e o maior (L_{eqMax}) em 103,6 dB(A). A média ficou em 75,5 dB(A) e mediana de 75,4 dB(A).

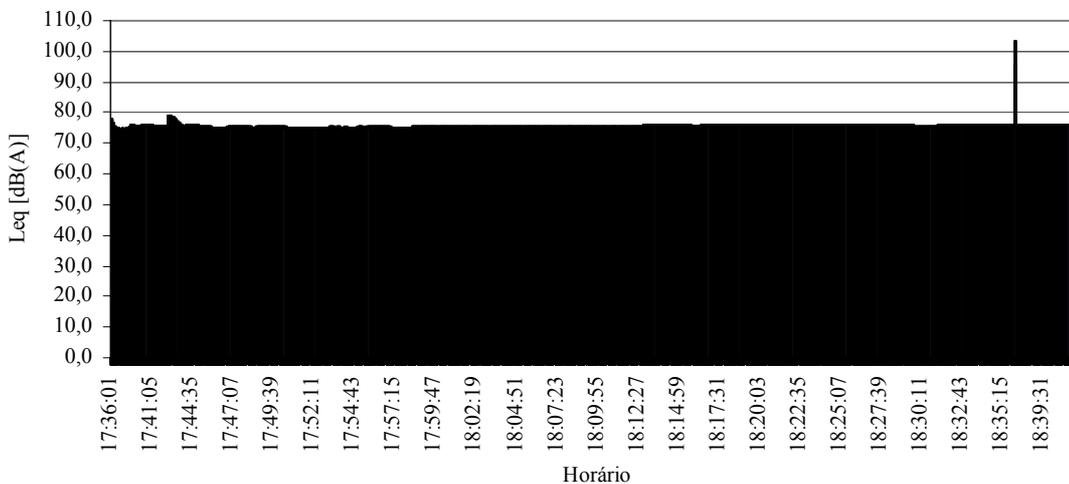


Figura 5.21: Níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) no Terminal do Siqueira

Observa-se neste terminal que os valores de maior ocorrência foram os níveis 75,9 dB(A) com 1.109 ocorrências representando 15%, 75,3 dB(A) com 944 ocorrências representando 13% e 75,0 dB(A) com 852 eventos sendo 12% do total de 7.279 medições. Não existe uma concentração de ocorrência elevada como se verifica na Figura 5.22, diferenciando o Terminal do Siqueira dos outros terminais avaliados.

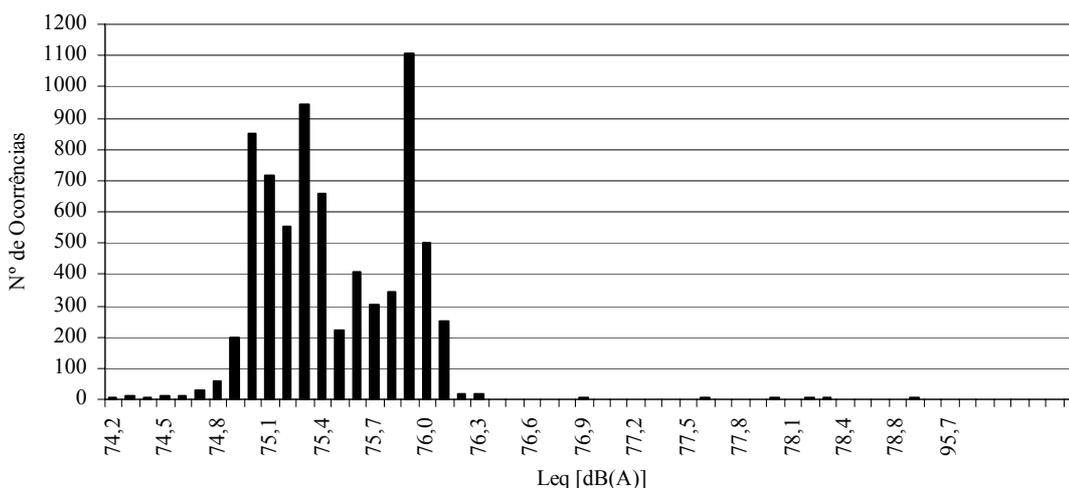


Figura 5.22: Frequência de ocorrências dos níveis de pressão sonora esquivante no Terminal do Siqueira

Conforme pode ser visto na Figura 5.23, que mostra o gráfico dos níveis percentis, o L_{10} , L_{50} e L_{90} são, respectivamente, 76,0; 75,4; e 75,0 dB(A), apresentando uma diferença entre o L_{10} e o L_{90} de somente 1,0 dB(A) com o IRT de 49 dB(A).

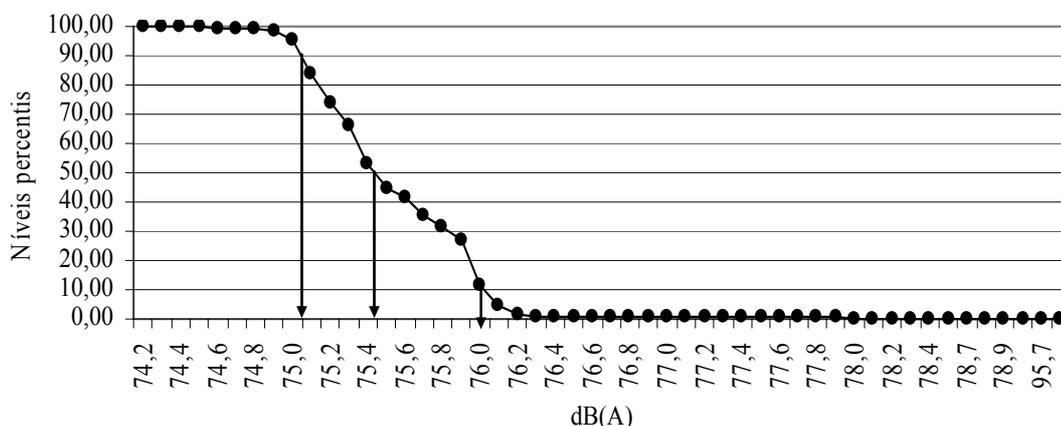


Figura 5.23: Níveis percentis da pressão sonora em dB(A) no Terminal do Siqueira

Este terminal apresentou 8 ônibus/min em dois momentos, um às 17h 45min e o outro às 18h 13min, permanecendo 31% do tempo com 4 ônibus/min com uma média de 4,26 ônibus/min conforme Figura 5.24.

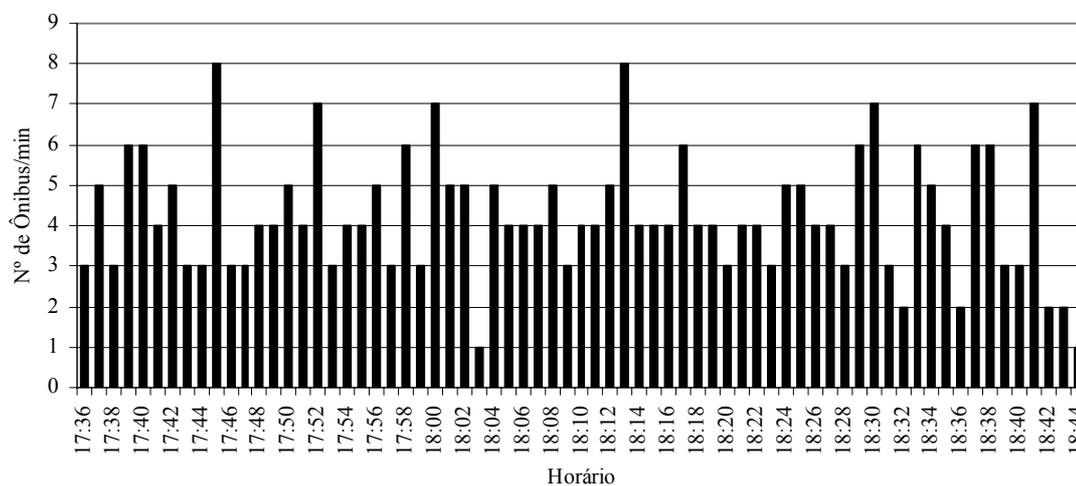


Figura 5.24: Fluxo de ônibus no período avaliado do Terminal do Siqueira

Observa-se na Tabela 5.2 uma relação com do número de ônibus com o incomodo gerado, ou seja, quanto maior o número de ônibus maior é o incomodo provocado, tendo uma pequena diferença do Terminal do Conjunto Ceará que

apresentou o menor número de ônibus/min e incomoda mais do que o Terminal de Messejana, esse fato pode ter ocorrido devido alguma fonte externa.

Tabela 5.2: Resumo dos dados dos terminais

Nº Terminal	Terminal	Nº ônibus/min (máximo)	Nº ônibus/min (mínimo)	IRT dB(A)
5	Parangaba	11	1	55,6
4	Papicu	10	1	55,2
1	Antônio Bezerra	9	1	51,6
6	Siqueira	8	1	49,0
2	Messejana	7	1	48,0
3	Conj. Ceará	6	1	45,7

5.2 JUSTIFICATIVA DA RETIRADA DOS DADOS EXTREMOS

Em quatro dos seis terminais foi necessário o descarte dos valores considerados extremos (*outliers*), só não acontecendo com os terminais do Papicu (n.º 4) e da Parangaba (n.º 5). A identificação dos dados aberrantes (*outliers*) foi feita através da técnica de *boxplot*, o que ocasionou a perda de alguns dados, sendo a maior perda no Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3) conforme Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Percentual de dados perdidos com a retirada de outlier

n.º Terminal	Terminal	Dados perdidos (%)
1	Antônio bezerra	0,94
2	Messejana	5,90
3	Conj. Ceará	24,92
4	Papicu	0,00
5	Parangaba	0,00
6	Siqueira	0,55

5.2.1 Terminal de Antônio Bezerra

Observa-se na Tabela 5.4 uma redução da média, da amplitude e do desvio padrão com a retirada dos dados extremos (*outliers*), bem como uma redução no valor máximo (L_{eqMax}), mas não houve alteração no valor mínimo (L_{eqMin}), o que mostra que

todos os extremos (*outliers*) foram valores elevados, não tendo alteração nos percentis e conseqüentemente no IRT, uma vez que esse depende dos L_{10} e L_{90} .

Tabela 5.4: Análise Exploratória do Terminal do Antônio Bezerra

Estatística	Todos os dados	Sem os extremos (<i>outliers</i>)
	dB(A)	dB(A)
Média	76,3	76,2
Mediana	76,5	76,5
Desvio padrão	0,67	0,63
L_{eq} Mínimo	74,4	74,4
L_{eq} Máximo	79,2	77,9
Amplitude	4,8	3,5
Percentis		
10	76,8	76,8
50	76,5	76,5
90	75,2	75,2

5.2.2 Terminal de Messejana

Com a retirada dos dados extremos (*outliers*) houve uma redução do desvio padrão e uma significativa diminuição da amplitude devido o aumento no valor mínimo (L_{eqMin}) e o decréscimo do valor máximo (L_{eqMax}) o que pode ser visto na Tabela 5.5, entretanto a média, a mediana e os percentis permaneceram sem alteração.

Tabela 5.5: Análise exploratória do Terminal de Messejana

Estatística	Todos os dados	Sem os extremos (<i>outliers</i>)
	dB(A)	dB(A)
Média	74,6	74,6
Mediana	74,7	74,7
Desvio padrão	0,48	0,37
L_{eq} Mínimo	71,0	73,6
L_{eq} Máximo	76,3	75,5
Amplitude	5,3	1,9
Percentis		
10	75,0	75,0
50	74,7	74,7
90	74,0	74,0

5.2.3 Terminal do Conjunto Ceará

Neste terminal houve um aumento da média em 0,1 dB(A) e uma redução do desvio padrão e da amplitude com a aproximação do valor máximo (L_{eqMax}) e mínimo

(L_{eqMin}) (Tabela 5.6). Somente nesse terminal houveram alterações dos percentis devido a grande percentual (24,92%) de dados que foram considerados aberrantes (*outliers*) o que não ocorreu com outros terminais.

Tabela 5.6: Análise exploratória do Terminal do Conjunto Ceará

Estatística	Todos os dados	Sem os extremos (<i>outliers</i>)
	dB(A)	dB(A)
Média	74,5	74,6
Mediana	74,6	74,6
Desvio padrão	0,54	0,13
L_{eq} Mínimo	71,8	74,2
L_{eq} Máximo	75,9	75
Amplitude	4,1	0,8
Percentis		
10	75,1	74,8
50	74,6	74,6
90	73,8	74,5

O IRT recalculado após a retirada dos valores extremos foi de 45,7 dB(A)

5.2.4 Terminal do Papicu

Neste terminal não aconteceu nenhuma mudança nas medidas centrais porque não apresentou valores extremos (*outliers*) e por isso nenhuma alteração foi feita nos dados (Tabela 5.7).

Tabela 5.7: Análise exploratória do Terminal do Papicu

Estatística	Todos os dados	Sem os extremos (<i>outliers</i>)
	dB(A)	dB(A)
Média	76,1	76,1
Mediana	76,6	76,6
Desvio padrão	1,09	1,09
L_{eq} Mínimo	72,8	72,8
L_{eq} Máximo	77,6	77,6
Amplitude	4,8	4,8
Percentis		
10	77,4	77,4
50	76,6	76,6
90	74,8	74,8

5.2.5 Terminal de Parangaba

Conforme ocorreu com o Terminal do Papicu (n.º 4) o Terminal da Parangaba (n.º 5) também não apresentou dados extremos (*outliers*) e por isso não houve a necessidade de alteração em seus dados e, conseqüentemente, nenhuma mudança ocorreu em suas medidas de tendência central o que pode ser visto na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Análise exploratória do Terminal de Parangaba

Estatística	Todos os dados dB(A)	Sem os extremos (<i>outliers</i>) dB(A)
Média	77,0	77,0
Mediana	77,6	77,6
Desvio padrão	1,1	1,1
L _{eq} Mínimo	75,5	75,5
L _{eq} Máximo	80,0	80,0
Amplitude	4,5	4,5
Percentis		
10	78,1	78,1
50	77,6	77,6
90	75,6	75,6

5.2.6 Terminal do Siqueira

Conforme mostra a Tabela 5.9 este terminal apresentou uma diminuição no desvio padrão e uma grande redução da amplitude devido um valor extremo (*outlier*) que teve somente uma ocorrência, mas que pode influenciar em muito a análise.

Tabela 5.9: Análise exploratória do Terminal do Siqueira

Estatística	Todos os dados dB(A)	Sem os extremos (<i>outliers</i>) dB(A)
Média	75,5	75,5
Mediana	75,4	75,4
Desvio padrão	0,59	0,38
L _{eq} Mínimo	74,2	74,2
L _{eq} Máximo	103,6	77,1
Amplitude	29,4	2,9
Percentis		
10	76,0	76,0
50	75,4	75,4
90	75,0	75,0

5.3 COMPARATIVO DOS TERMINAIS EM FUNÇÃO DOS DADOS ESTATÍSTICOS E DA LINHA TEMPORAL

Com os dados resultantes pôde-se fazer uma comparação entre os terminais através de uma análise exploratória de dados, não sendo possível fazer uma análise mais avançada devido a grande concentração dos dados (baixa variabilidade), vista a partir das medidas de dispersão e posição conforme Tabela 5.10.

Tabela 5.10: Valores resultantes após a retirada dos extremos (outliers)

Terminal (N°)	Terminal	L ₁₀	L ₅₀	L ₉₀	Média	Moda	L _{eqMax}	L _{eqMin}	Amplitude	IRT	N° Max. ônibus/ônibus	Média ônibus/min
1	Ant. Bezerra	76,8	76,5	75,2	76,2	76,5	77,9	74,4	3,5	51,6	9	4,3
2	Messejana	75,0	74,7	74,0	74,6	74,6	75,5	73,6	1,9	48,0	7	2,94
3	Conj. Ceará	74,8	74,6	74,5	74,6	74,6	75,0	74,2	0,8	45,7	6	1,90
4	Papicu	77,4	76,6	74,8	76,1	74,9	77,6	72,8	4,8	55,2	10	4,72
5	Parangaba	78,1	77,6	75,6	77,0	78,0	80,0	75,5	4,5	55,6	11	5,06
6	Siqueira	76,0	75,4	75,0	75,5	75,9	77,1	74,2	2,9	49,0	8	4,26

Na Tabela 5.10, nota-se que o Terminal da Parangaba (n.º 5) possui a situação mais crítica com relação ao ruído com L_{eqMax} (valor máximo) igual a 80 dB(A), esse terminal, que será somado com a demanda do Terminal da Lagoa, terá seu desempenho agravado, sendo acompanhado logo em seguida pelo Terminal do Antônio Bezerra (n.º 1) com um L_{eqMax} de 77,90 dB(A), podendo ser considerados os dois terminais de pior índice de poluição sonora, inclusive com o maior ruído de fundo (L₉₀) iguais a 75,6 e 75,2 dB(A), respectivamente.

No entanto, quando se analisa o ruído de pico (L₁₀), o Terminal Parangaba (n.º 5) continua sendo o de pior situação com 78,1 dB(A) seguido do Terminal do Papicu (n.º 4) com 77,4 dB(A) e do Terminal do Antônio Bezerra (n.º 1) com 76,8 dB(A). Todos os terminais avaliados estão com o nível de ruído acima do recomendado pela OMS (65 dB(A)) e acima de 70 dB(A) que é o valor indicado pela NBR 10.151 (ABNT, 2000). A Lei Federal n.º 6.514, de 22/12/1977, recomenda o valor de 100 dB(A) para exposição de 1 hora (BRASIL, 2005), os valores mínimos e máximos obtidos dentro do período avaliado de 1 hora se encontram abaixo desse valor. Todavia, há de considerar, o período acumulado de exposição dos trabalhadores.

A Figura 5.25 apresenta todos os terminais com seus valores mínimos e máximos. Pode-se perceber que o Terminal do Papicu (n.º 4) é o de menor valor mínimo (L_{eqMin}) do ruído em todo o período de medição, mesmo apresentando o terceiro maior valor máximo (L_{eqMax}). Por sua vez, o Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3) apresenta o menor valor máximo (L_{eqMax}) de todos os terminais avaliados porém, tem o mesmo valor mínimo (L_{eqMin}) que o Terminal do Siqueira (n.º 6), embora ocupe a quarta posição quando avaliado pelo valor máximo (L_{eqMax}), o que demonstra que o Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3) não apresenta grandes picos de ruído, ou seja, existe pouca variação da poluição sonora no horário de pico.

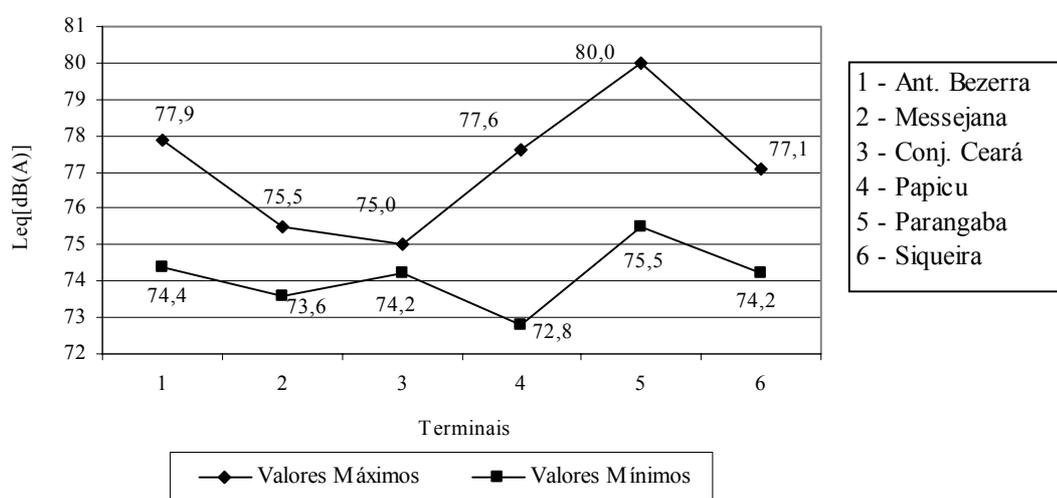


Figura 5.25: Níveis Sonoros Equivalentes Máximo e Mínimo dos terminais

A Figura 5.26 mostra a diferença entre a maior L_{eq} (L_{eqMax}) e o menor L_{eq} (L_{eqMin}), ou seja, a amplitude de variação do L_{eq} de cada terminal, por meio da qual se percebe a variação existente entre os terminais e a pequena amplitude entre os dados obtidos, verificando-se os seguintes valores: o Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3) possui a menor variação de 0,8 dB(A) e; os Terminais do Papicu (n.º 4) e da Parangaba (n.º 5), as maiores, de 4,8 e 4,5 dB(A), respectivamente.

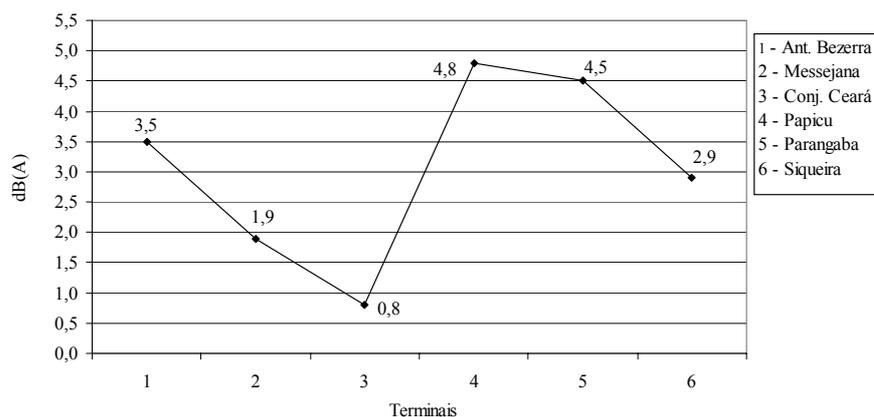


Figura 5.26: Amplitude dos Terminais

O período de medição de aproximadamente uma hora foi dividido em faixas de horários, sendo a primeira faixa do valor mínimo ao primeiro quartil, a segunda do primeiro quartil até a mediana, a terceira da mediana até o terceiro quartil e a quarta faixa do terceiro quartil até o valor máximo para cada terminal. Entretanto, o Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3) foi dividido em três faixas devido a igualdade de valores entre a mediana e o terceiro quartil.

Em seguida foi feita uma análise das linhas temporais para cada terminal para observar o horário mais crítico dentro do período de medição conforme apresentado a seguir (Figuras 5.27 a 5.32).

5.3.1 Terminal do Antônio Bezerra

Observar-se que o período de maior nível de ruído (L_{eqMax}) desse terminal se encontra entre 17h 24min 03s e 18h 11min 09s, tendo uma duração de 47min 06s, sendo esse horário mais crítico dentro do período avaliado (Figura 5.).

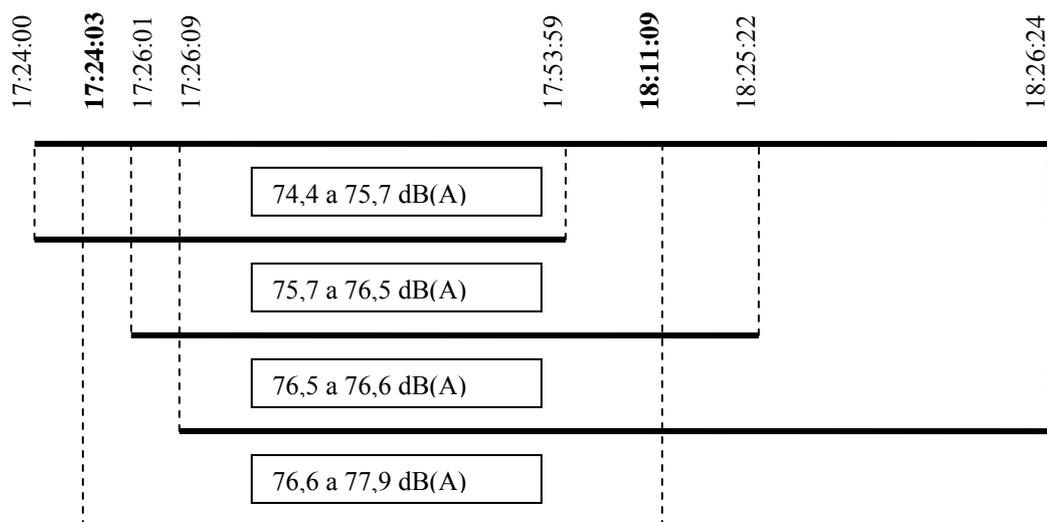


Figura 5.27: Linha Temporal do Terminal de Antônio Bezerra

5.3.2 Terminal de Messejana

Esse terminal apresentou seu maior índice de ruído (L_{eqMax}) de 17h 30min 06s e 18h 30min 28s durando 1h 00min 22s, ou seja, mesmo sendo o segundo terminal com menor nível de poluição sonora (L_{eqMin}) esse nível dura quase todo o período de medição com valores acima dos recomendados pela OMS que é de 65 dB(A)

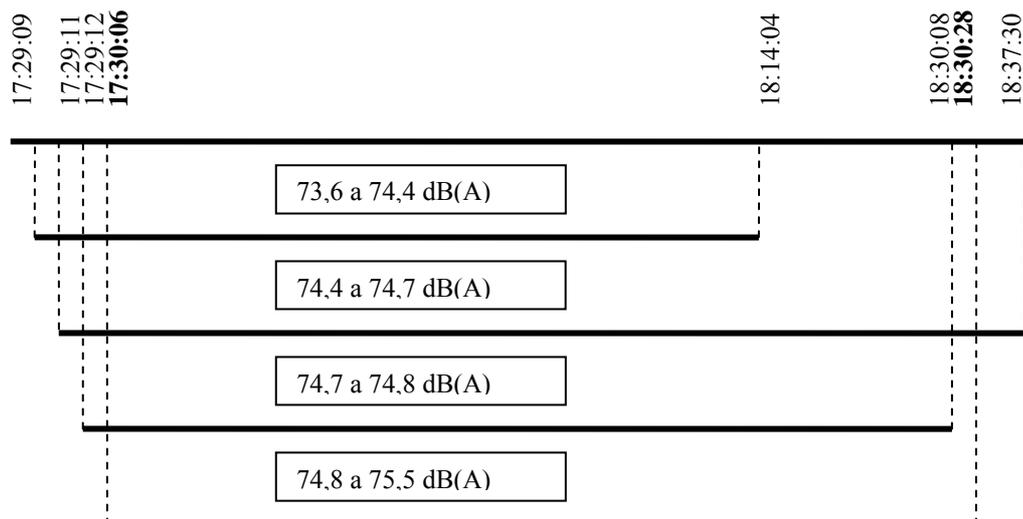


Figura 5.28: Linha Temporal do Terminal de Messejana

5.3.3 Terminal do Conjunto Ceará

Esse terminal tem uma amplitude de variação do L_{eq} muito baixa de 0,8 dB(A) impossibilitando a distribuição do período de medição em 4 faixas sendo possível somente em 3 faixas, visto que o primeiro quartil é igual a mediana. O seu maior índice de ruído foi entre 17h 26min 46s e 17h 52min 57s com 26min 11s de duração.

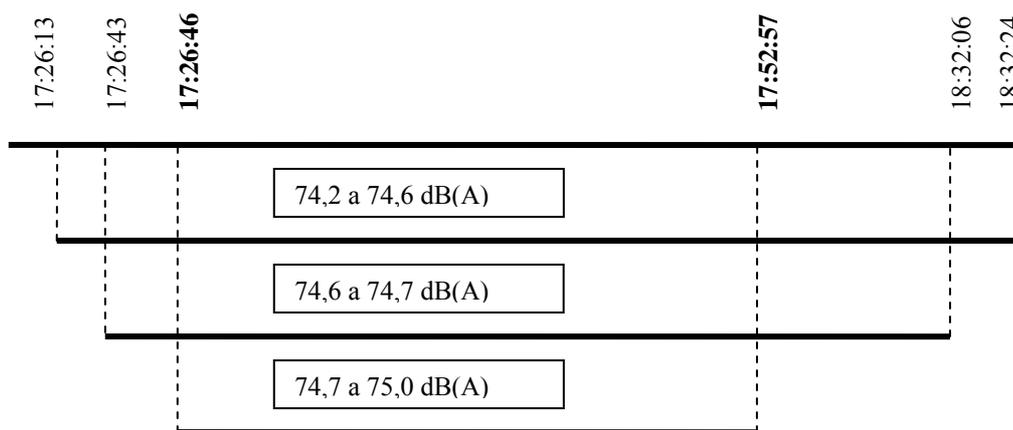


Figura 5.29: Linha Temporal do Terminal do Conjunto Ceará

5.3.4 Terminal do Papicu

Esse terminal é o que apresenta a maior amplitude e igual a 4,8 dB(A), o que demonstra a ocorrência de grandes picos de ruído, tendo seu pior momento entre 17h 46min 42s a 18h 24min 21s com uma duração de 37min 39s conforme se observa na Figura 5.30.

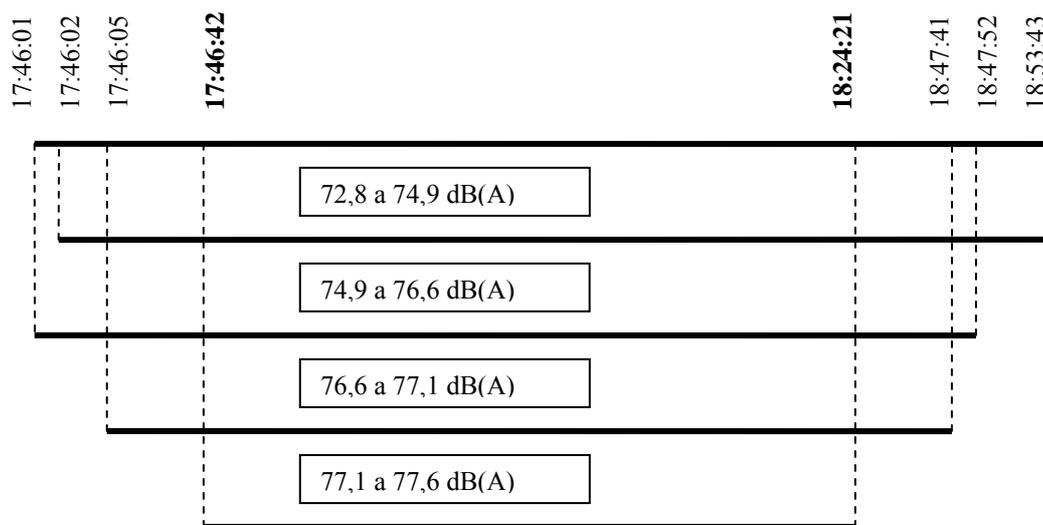


Figura 5.30: Linha Temporal do Terminal do Papicu

5.3.5 Terminal da Parangaba

Esse terminal apresenta a segunda maior amplitude de 4,5 dB(A) bem próximo do Terminal do Papicu (n.º 4) com a diferença de possuir tanto o valor mínimo (L_{eqMin}) como o máximo (L_{eqMax}) mais elevado, apresenta seu ponto mais crítico entre 17h 34min 01s a 18h 35min 32s uma duração de 1h 01min 31s conforme Figura 5.31. Observa-se que o pico das medições começou no mesmo instante que o início da coleta dos dados o que sugere que quando iniciado os trabalhos de coleta já se tinha entrado no horário de pico. Este terminal sofre uma influência na elevação do índice do ruído devido ao fluxo de trens em sua proximidade, que será agravada com o recebimento da demanda e número de ônibus do Terminal Lagoa, o que requer alterações no leiaute do Terminal para a redução do ruído.

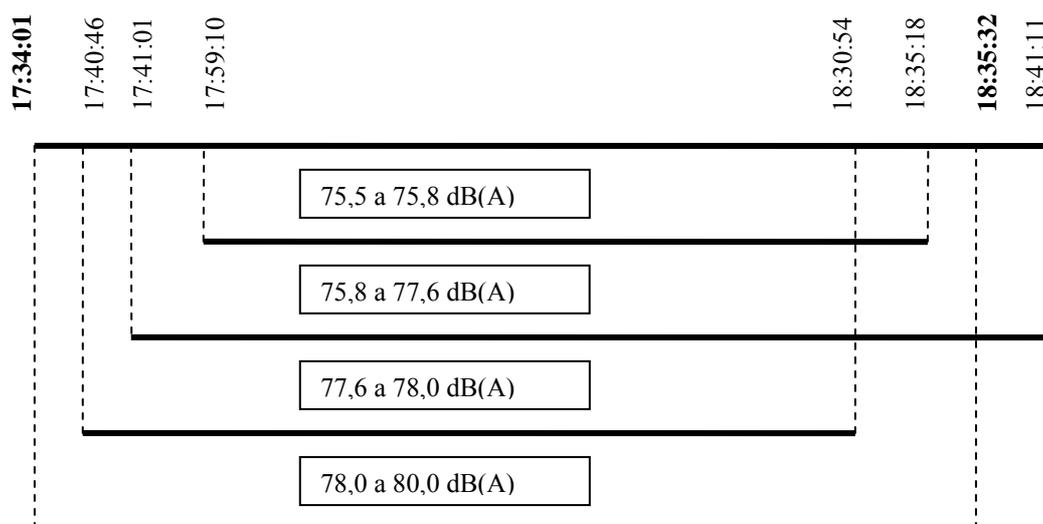


Figura 5.31: Linha Temporal do Terminal de Parangaba

5.3.6 Terminal do Siqueira

Verifica-se que neste terminal o pico das medições encontra-se entre 17h 36min 08s a 18h 44min 17s com uma duração de 1h 08min 09s, ou seja, as medições foram interrompidas provavelmente antes do término do horário de pico o que pode ser observado na Figura 5.32.

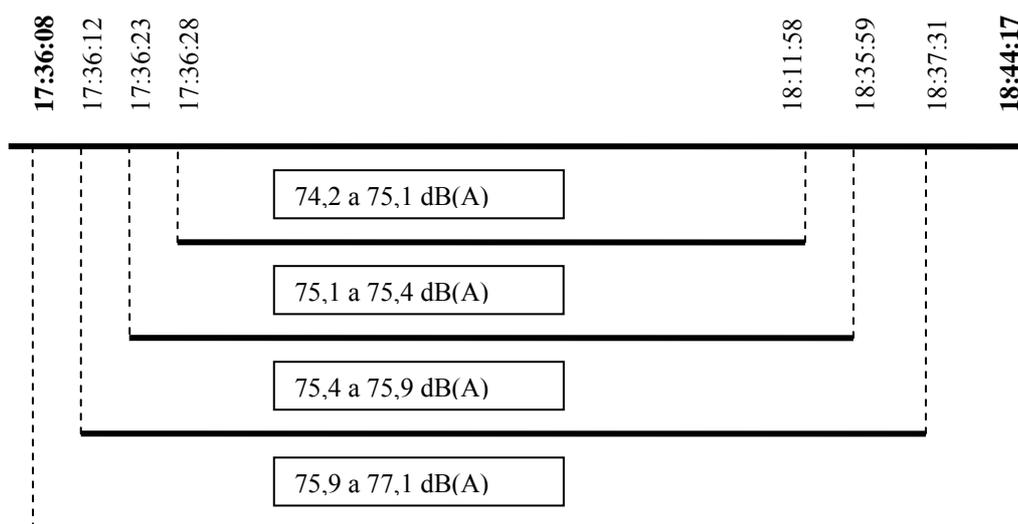


Figura 5.32: Linha Temporal do Terminal do Siqueira

Comparando as linhas temporais de todos os terminais avaliados (Figura 5.33) observa-se que existe um horário crítico comum a todos eles, ou seja, um horário onde o ruído é mais intenso que vai de 17h 46min 42s até 17h 52min 57s, sendo aproximadamente seis minutos de duração onde todos os terminais estão em seu pico de nível sonoro. Ressalta-se o caso do Terminal da Parangaba (n.º 5), considerado o terminal com maior nível de ruído e o único com pavimento superior destinado a pequenas lojas (mini-shopping), recebe, também, contribuição extra de ruído proveniente da passagem do trem de passageiros e cargas que trafega no tronco-sul e passa na sua lateral numa distância inferior a 15 m, esse fato pôde ser notado nos dados obtidos pelo terceiro aparelho que fez medições de pequena duração. A medição feita em um dos pontos de coleta de dados com ônibus estacionados e funcionando gerou um nível de 69,7 dB(A) contra 80,6 dB(A) com a passagem do trem, uma diferença de 10,9 dB(A) de contribuição na elevação do nível sonoro dentro do terminal.

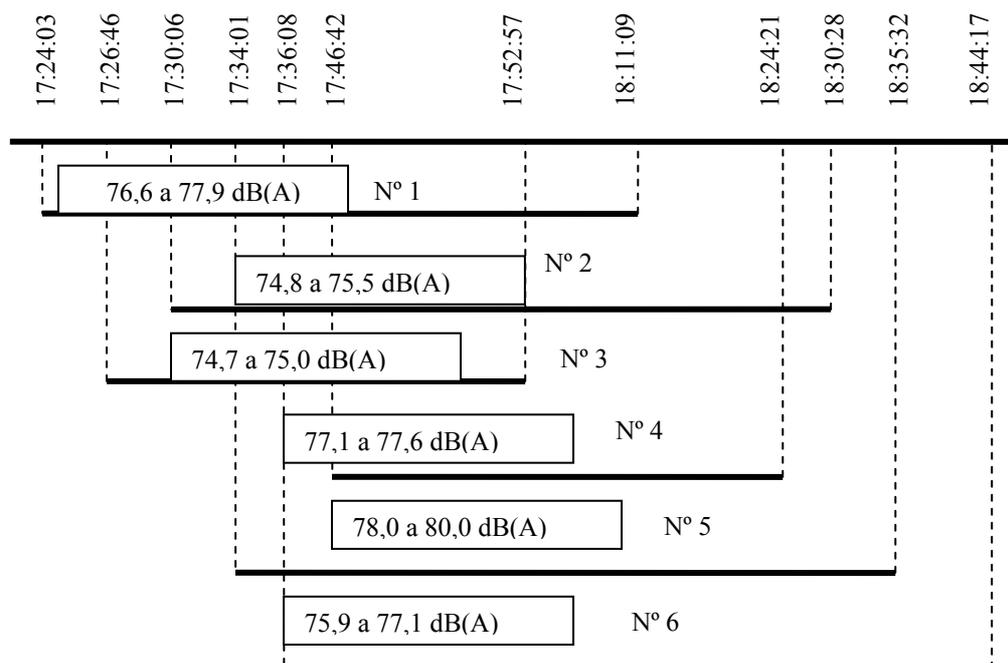


Figura 5.33: Linha Temporal dos Terminais na Situação Crítica

5.4 RELAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE ÔNIBUS ANALISADO NO FATOR DE TEMPO DE UM E TRÊS MINUTOS

Tem como objetivo verificar uma possível influência do números de ônibus em relação aos níveis sonoros equivalentes (L_{eq}) em fatores de tempo de 1 e 3 minutos para identificar um comportamento específico ou uma tendência independente da regressão.

5.4.1 Terminal do Antônio Bezerra

Observa-se na Tabela 5.11 que 27% e 22% do tempo avaliado o Terminal do Antônio Bezerra passou com 5 e 3 ônibus respectivamente e que mesmo no período em que o terminal possui 5 ônibus o nível sonoro equivalente máximo (L_{eqmax}) foi menor do que quando o terminal estava com 3 ônibus.

Tabela 5.11: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/min do Terminal do Antônio Bezerra

Nºônibus/ min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
1	76,4	76,5	76,7	3	5%
2	74,9	76,4	77,2	9	15%
3	75,0	76,3	78,0	13	22%
4	75,0	76,5	79,2	5	8%
5	75,0	76,3	76,8	16	27%
6	75,2	76,4	77,4	6	10%
7	74,9	76,2	76,9	5	8%
8	75,7	76,5	76,9	2	3%
9	76,5	76,6	76,6	1	2%
Total				60	100%

Na Figura 5.34 pode-se observar a ocorrência do maior nível sonoro equivalente (79,2 dB(A)) quando o Terminal do Antônio Bezerra possui 4 ônibus. Nota-se que há uma aproximação dos valores mínimos e máximos quando o terminal possui 1 e 9 ônibus, não sendo observado nenhuma relação entre o número de ônibus e o nível sonoro equivalente.

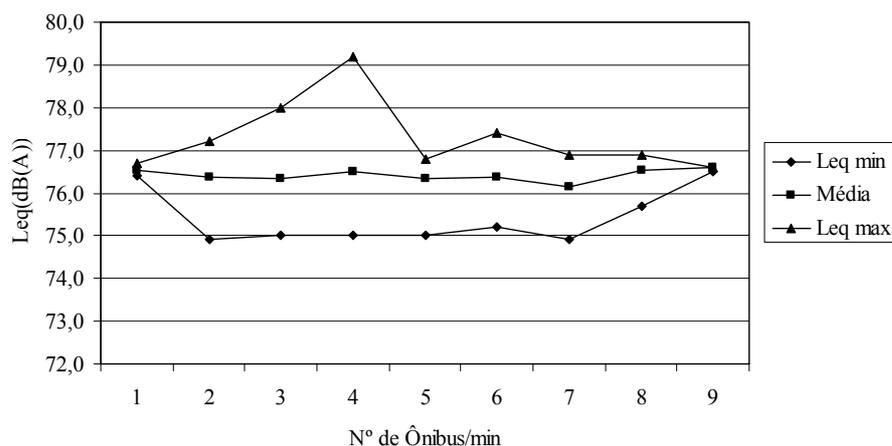


Figura 5.34: Número de ônibus/min x nível sonoro equivalente do Terminal do Antônio Bezerra

A tabela 5.12 mostra os níveis mínimo, média e máximo respectivamente quando agrupado a cada 3 minutos. Nota-se que 30% do tempo de medição o Terminal do Antônio Bezerra possui 12 ônibus mesmo assim, não foi o que apresentou o maior índice de ruído ficando o maior nível sonoro quando o terminal estava 9 ônibus.

Tabela 5.12: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/3min do Terminal do Antônio Bezerra

Nº ônibus/ 3min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
9	74,4	77,6	79,2	1	5%
10	75,3	76,9	78,0	2	10%
11	75,8	76,5	77,4	2	10%
12	75,0	76,1	77,2	6	30%
13	74,9	75,8	76,7	3	15%
14	74,9	75,7	76,6	2	10%
16	74,9	75,8	76,6	2	10%
17	75,0	76,0	76,6	2	10%
Total				20	100%

Na Figura 5.35 o menor nível sonoro acontece quando o Terminal do Antônio Bezerra permanece com 9 ônibus ocorrendo pouca variação do nível sonoro equivalente (L_{eq}) a partir de 12 ônibus dentro do terminal. Observa-se que enquanto o número de ônibus praticamente dobrou o nível sonoro equivalente sofreu uma variação 4.8 dB(A).

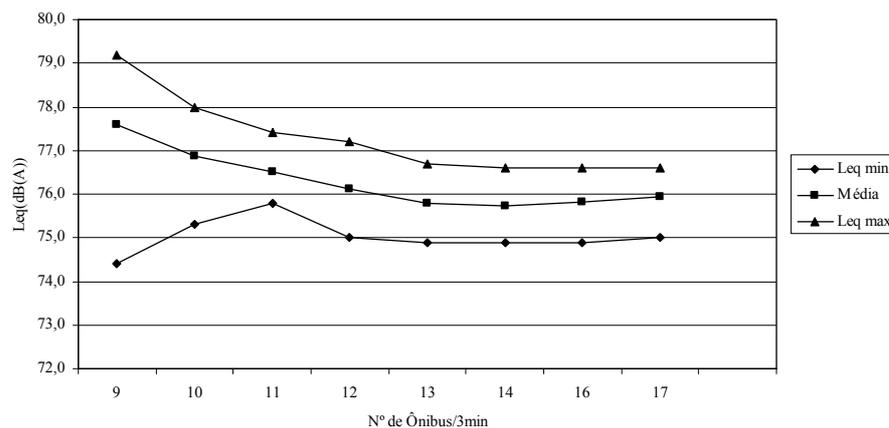


Figura 5.35: Número de ônibus/3min x nível sonoro equivalente do Terminal do Antônio Bezerra

5.4.2 Terminal de Messejana

Observa-se que o Terminal de Messejana passa 65% com no máximo 3 ônibus em seu interior e somente uma ocorrência com 7 ônibus conforme mostrado na Tabela 5.13.

Tabela 5.13: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/min do Terminal de Messejana

Nºônibus/ min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
1	72,1	74,6	75,5	12	20%
2	71,0	74,6	76,2	13	22%
3	72,3	74,6	75,5	14	23%
4	73,8	74,7	75,6	10	17%
5	74,0	74,6	74,9	7	12%
6	73,8	75,0	76,3	3	5%
7	74,7	74,8	74,8	1	2%
Total				60	100%

O menor nível equivalente mínimo (L_{eqmin}) acontece quando permanecem dois ônibus dentro do Terminal de Messejana e o seu nível sonoro equivalente máximo (L_{eqmax}) ocorre quando o mesmo está com 6 ônibus tendo praticamente o mesmo valor quando apresenta 7 ônibus.

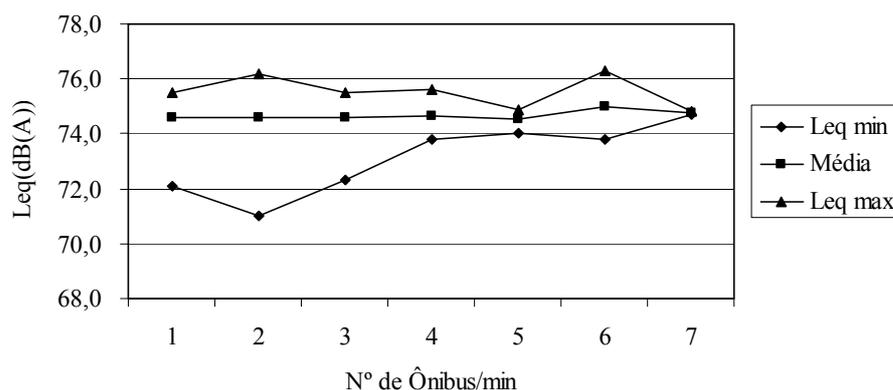


Figura 5.36: Número de ônibus/min x Nível Sonoro Equivalente do Terminal de Messejana

Quando a avaliação passa a ser a cada 3 minutos (Tabela 5.14) 45% do tempo o Terminal de Messejana fica entre 9 a 11 ônibus e 30% entre 6 a 8. Somente 5% do período apresenta 14 ônibus e mesmo assim o nível sonoro equivalente não foi o maior.

Tabela 5.14: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/3min do Terminal de Messejana

Nº ônibus/ 3min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
4	72,3	75,2	76,3	1	5%
5	75,2	75,4	75,6	1	5%
6	71,0	74,6	75,6	2	10%
7	73,6	74,5	75,1	2	10%
8	73,6	74,4	75,0	2	10%
9	74,0	74,3	74,7	3	15%
10	74,0	74,4	74,8	3	15%
11	74,3	74,7	74,8	3	15%
12	74,7	74,8	74,9	1	5%
13	74,8	74,9	74,9	1	5%
14	74,8	74,9	74,9	1	5%
Total				20	100%

Observa-se na Figura 5.37 que o nível sonoro equivalente mínimo (L_{eqmin}), quando avaliado a cada 3 minutos, tem o seu maior valor quando o Terminal de Messejana apresenta 5 ônibus e seu menor com 6 ônibus, a partir do sétimo ônibus os valores estão sempre aumentando diferente do nível máximo que reduz com o aumento do número de ônibus, tendo praticamente valores iguais quando o número de ônibus chega a 14, tendo seu valor de L_{eq} mais baixo (71dB(A)) quando o 6 ônibus no terminal.

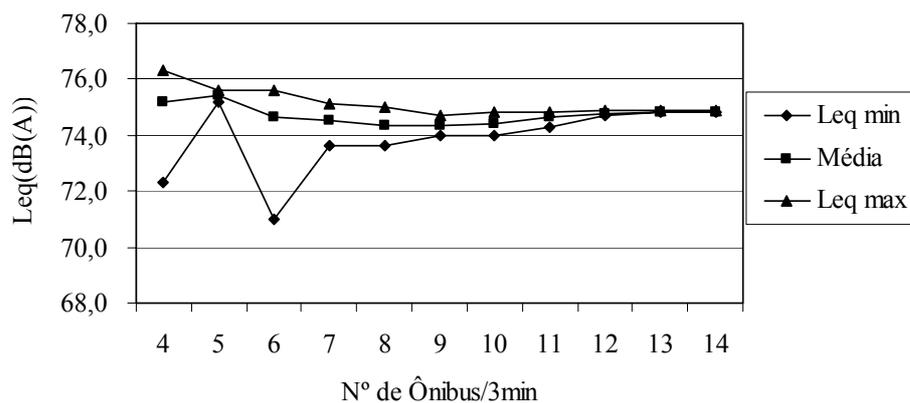


Figura 5.37: Número de ônibus/3min x Nível Sonoro Equivalente do Terminal de Messejana

5.4.3 Terminal do Conjunto Ceará

Esse terminal apresenta o maior parte do período com apenas 1 ônibus (42%) e 88% do tempo avaliado possui no máximo 3 ônibus em suas dependências e somente em um momento possui 6 ônibus conforme pode ser visto na Tabela 5.15.

Tabela 5.15: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/min do Terminal do Conjunto Ceará

Nº ônibus/ min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
1	71,8	74,5	75,7	25	42%
2	72,0	74,5	75,9	17	28%
3	72,9	74,4	75,7	11	18%
4	72,9	74,3	75,1	4	7%
5	74,5	74,7	75,1	2	3%
6	73,6	74,6	75,5	1	2%
Total				60	100%

O L_{eqmin} representa melhor a relação número de ônibus com o aumento do nível sonoro equivalente, ou seja, o L_{eqmin} aumenta com o aumento do número de ônibus tendo uma redução quando esse número passa de 5 para 6 veículos, mesmo assim, observa-se que nesse Terminal do Conjunto Ceará que existe pouca variação do nível sonoro não caracterizando uma relação com o número de ônibus.

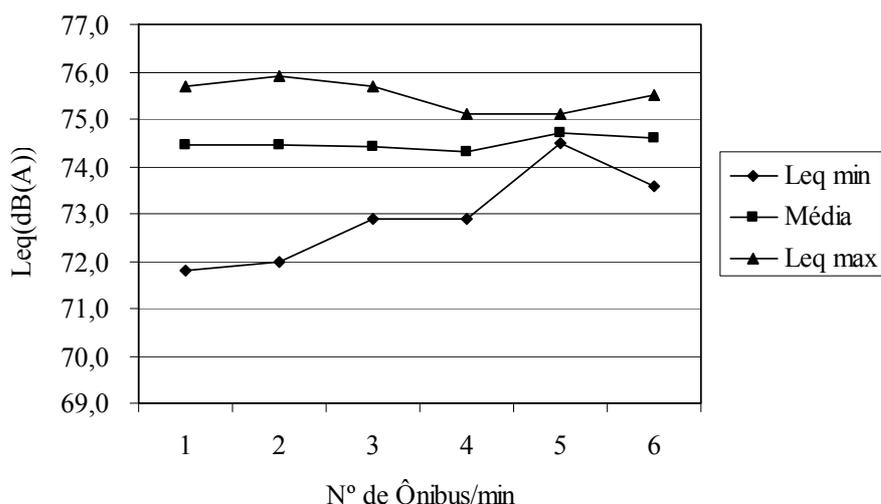


Figura 5.38: Número de ônibus/min x Nível Sonoro Equivalente do Terminal do Conjunto Ceará

Conforme observa-se na Tabela 5.16 70% do tempo avaliado o Terminal do Conjunto Ceará permanece entre 4 a 6 ônibus e 15% apresenta com 10 veículos e nessa condição não há uma redução do nível sonoro equivalente, dessa forma não se pode fazer uma relação entre o número de ônibus com o L_{eq} .

Tabela 5.16: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/3min do Terminal do Conjunto Ceará

Nº ônibus/ 3min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
3	71,8	73,3	75,1	1	5%
4	72,9	73,9	75,9	4	20%
5	73,9	74,8	75,4	4	20%
6	74,4	74,6	74,9	6	30%
8	74,4	74,6	74,7	1	5%
10	74,5	74,6	74,7	3	15%
11	74,5	74,5	74,6	1	5%
Total				20	100%

Nota-se na Figura 5.39 que entre 6 e 11 ônibus no Terminal do Conjunto Ceará os valores do nível sonoro equivalente ficam bem próximos e enquanto o L_{eqmin} aumenta com a maior quantidade de ônibus o L_{eqmax} diminui, não identificando a relação número de ônibus com o nível sonoro equivalente.

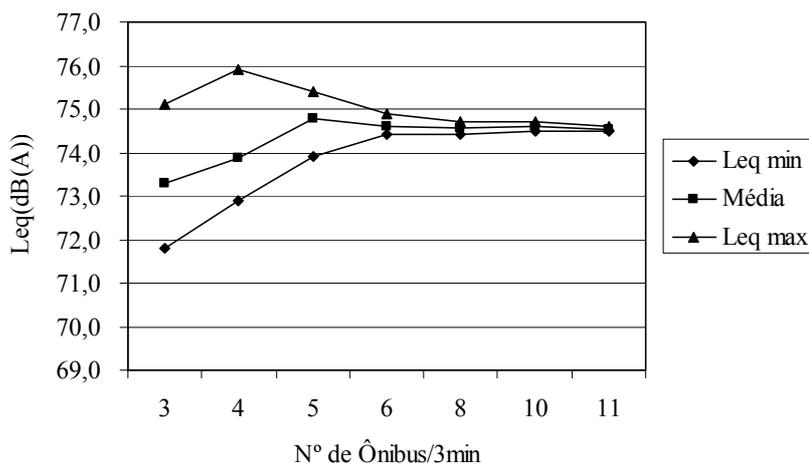


Figura 5.39: Número de ônibus/3min x Nível Sonoro Equivalente do Terminal do Conjunto Ceará

5.4.4 Terminal do Papicu

A Tabela 5.17 mostra 73% do período o Terminal do Papicu apresenta entre 3 a 6 ônibus com uma baixa variabilidade do nível sonoro equivalente que pouco foi influenciado com o aumento do número de ônibus dentro do terminal.

Tabela 5.17: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/min do Terminal do Papicu

Nºônibus/ min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
1	74,9	76,0	77,2	2	3%
2	74,2	76,1	77,5	5	8%
3	74,7	76,1	77,4	8	13%
4	74,6	76,3	77,6	14	23%
5	74,8	76,1	77,4	12	20%
6	72,8	76,2	77,5	10	17%
7	74,8	76,1	77,5	2	3%
8	74,8	76,2	77,5	5	8%
9	74,9	76,0	77,1	1	2%
10	75,0	76,1	77,1	1	2%
Total				60	100%

Observa-se na Figura 5.38 um comportamento constante do nível sonoro equivalente no período de avaliação do Terminal do Papicu o que prova que não tem

influência no número de ônibus apresentando uma redução (72,8 dB(A)) quando o mesmo apresenta 6 ônibus.

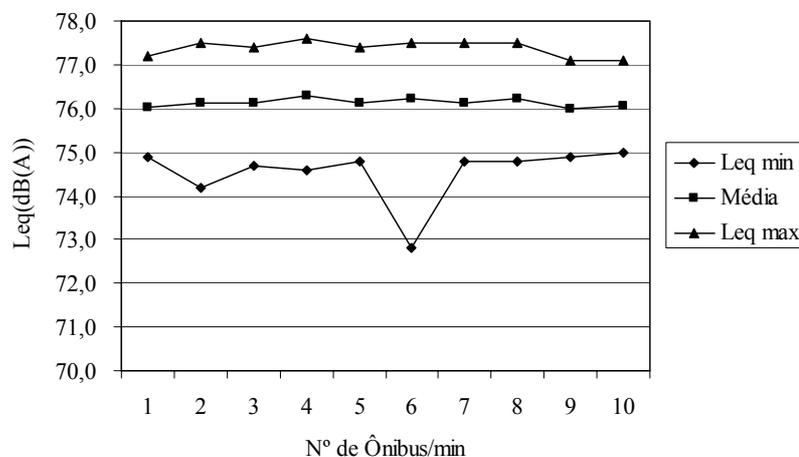


Figura 5.40: Número de ônibus/min x Nível Sonoro Equivalente do Terminal do Papicu

A Tabela 5.18 mostra que 50% do tempo o Terminal do Papicu ficou entre 11 a 14 ônibus permanecendo constante em todo o período de medição não possuindo nenhuma relação com o número de ônibus.

Tabela 5.18: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/3min do Terminal do Papicu

Nº ônibus/3min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
8	74,8	76,1	77,4	1	5%
11	74,9	76,5	77,4	2	10%
13	72,8	76,3	77,5	4	20%
14	74,6	75,9	77,1	4	20%
15	74,9	76,2	77,4	3	15%
16	74,6	75,8	76,9	1	5%
17	74,8	76,0	77,4	4	20%
18	74,9	75,8	76,9	1	5%
Total				20	100%

Pode-se observar na Figura 5.41 que o nível sonoro equivalente máximo (L_{eqmax}) sofre uma oscilação em quase todo o período de medição não apresentando uma relação com o aumento do número de ônibus dentro do Terminal do Papicu, conforme identificado anteriormente.

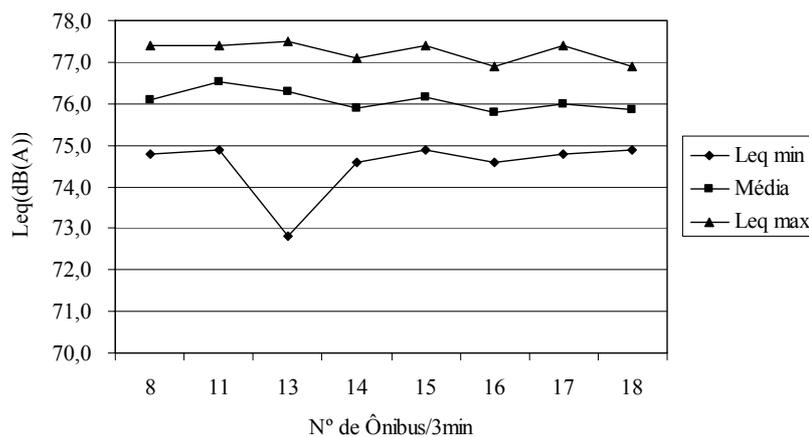


Figura 5.41: Número de ônibus/3min x Nível Sonoro Equivalente do Terminal do Papicu

5.4.5 Terminal da Parangaba

O Terminal da Parangaba apresenta a maior parte do tempo entre 4 e 5 ônibus representando 52% do período e com uma baixa variabilidade (0,9 dB(A)) do nível sonoro equivalente máximo (L_{eqmax}) conforme Tabela 5.19.

Tabela 5.19: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/min do Terminal da Parangaba

Nº ônibus/ min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
1	76,0	77,1	78,1	2	3%
2	75,6	76,6	78,0	4	7%
3	75,5	76,8	78,1	4	7%
4	75,6	76,9	78,3	16	27%
5	75,6	77,1	78,9	15	25%
6	75,5	76,9	78,1	8	13%
7	75,6	76,8	78,1	3	5%
8	75,6	76,8	78,0	2	3%
9	75,5	76,9	78,1	3	5%
10	75,5	76,8	78,0	2	3%
11	76,0	76,0	76,0	1	2%
Total				60	100%

Na Figura 5.42 o L_{eqmax} sofre uma pequena elevação quando o Terminal da Parangaba possui com 5 ônibus tendo uma redução quando o mesmo apresenta 11

ônibus ficando com o valor igual ao do L_{eqmin} , tendo em todo período uma constância nos seus valores mostrando a independência com o número de ônibus.

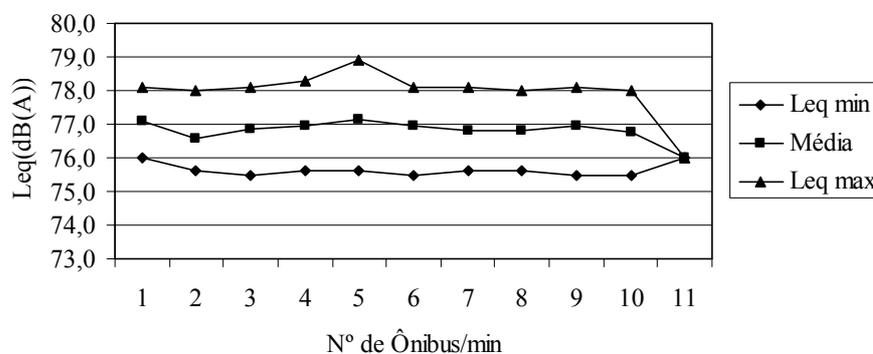


Figura 5.42: Número de ônibus/min x Nível Sonoro Equivalente do Terminal da Parangaba

Quando avaliado a cada 3 min o Terminal da Parangaba apresenta 25% e 20% do tempo com 16 e 14 ônibus respectivamente apresentando pouca variação do nível sonoro equivalente.

Tabela 5.20: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/3min do Terminal da Parangaba

Nº ônibus/ 3min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
12	75,6	76,8	78,0	2	10%
13	75,6	76,9	78,1	3	15%
14	75,6	77,0	78,2	4	20%
15	75,7	77,0	78,1	2	10%
16	75,5	76,8	78,0	5	25%
17	75,7	76,7	78,1	2	10%
19	75,7	76,9	78,1	1	5%
22	75,7	76,8	77,9	1	5%
Total				20	100%

Na Figura 5.43 a relação número de ônibus e nível sonoro não é percebida, pois se observa pouca variação do L_{eq} com o aumento do número de ônibus.

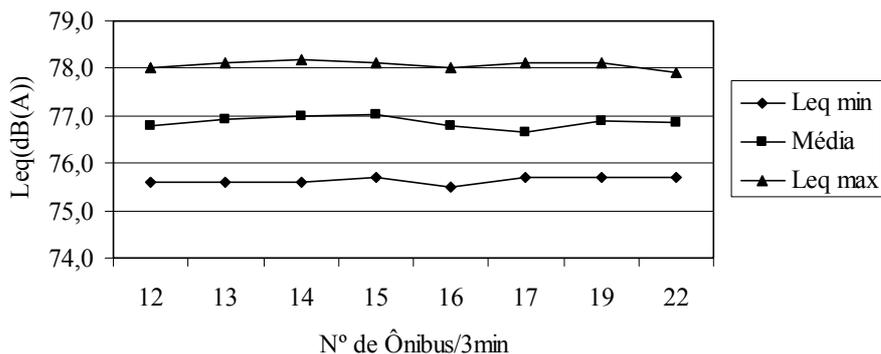


Figura 5.43: Número de ônibus/3min x Nível Sonoro Equivalente da Parangaba

5.4.6 Terminal do Siqueira

A Tabela 5.21 mostra 78% do tempo avaliado o Terminal do Siqueira apresenta entre 3 e 5 ônibus. Observa-se um maior número de ocorrência (35%) quando o Terminal apresenta 4 ônibus.

Tabela 5.21: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/min do Terminal do Siqueira

Nº ônibus/ min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
1	75,0	75,4	75,7	1	2%
2	75,3	75,6	75,9	1	2%
3	74,5	75,5	79,0	14	23%
4	74,9	75,5	76,0	21	35%
5	74,2	75,3	75,9	12	20%
6	75,0	75,6	76,3	6	10%
7	74,8	75,2	75,8	3	5%
8	74,9	75,4	76,0	2	3%
Total				60	100%

Em todo o período de avaliação o Terminal do Siqueira apresenta um comportamento constante provando que não existe uma influência do número de ônibus com o nível sonoro equivalente (Figura 5.44).

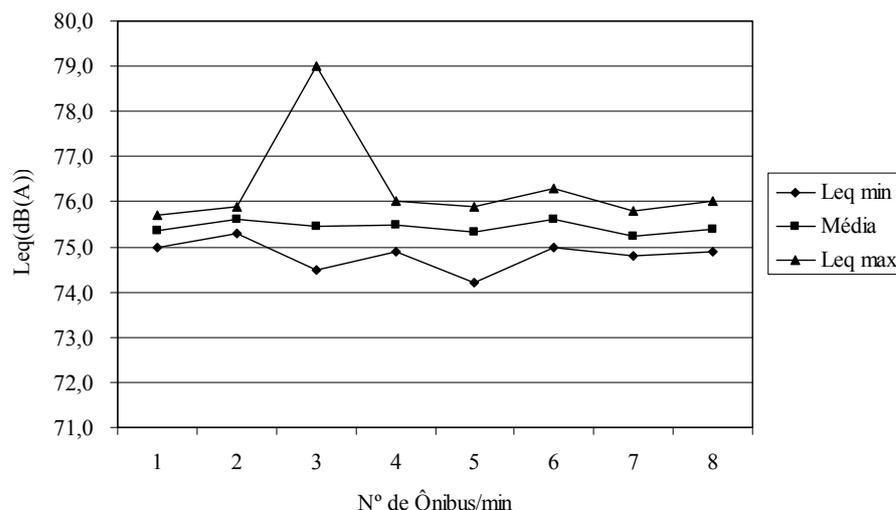


Figura 5.44: Número de ônibus/min x Nível Sonoro Equivalente do Terminal do Siqueira

O Terminal do Siqueira mostra um maior número de ocorrência quando o mesmo está com 11 ônibus (25%) chegando ao um total de 17 ônibus. Nota-se que o aumento do número de ônibus foi de 70% enquanto a variação do nível sonoro equivalente foi de aproximadamente 7% mostrando a total independência.

Tabela 5.22: Níveis Sonoros Equivalentes em relação ao número de ônibus/3min do Terminal do Siqueira

Nº ônibus/ 3min	Leq min	Média	Leq max	Nº de ocorrências	Ocorrências (%)
10	74,9	75,1	75,4	1	5%
11	74,2	75,4	79,0	5	25%
12	74,9	75,4	76,0	2	10%
13	74,8	75,3	76,0	4	20%
14	74,9	75,4	76,0	4	20%
15	75,2	75,6	75,9	1	5%
16	74,9	75,1	75,4	1	5%
17	75,1	75,6	76,0	2	10%
Total				20	100%

O Terminal do Siqueira quando avaliado a cada 3 min apresenta um comportamento semelhante quando avaliado a cada minuto, mostrando a não relação do nível sonoro equivalente com o número de ônibus, tendo um comportamento praticamente constante.

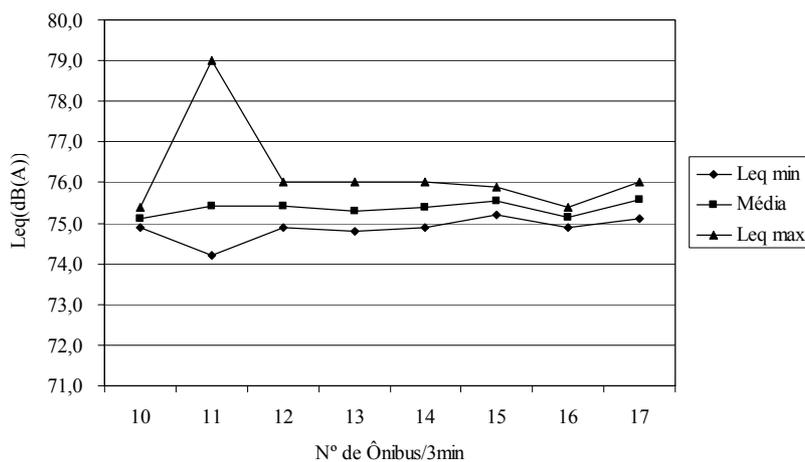


Figura 5.45: Número de ônibus/3min x nível sonoro equivalente do Terminal do Siqueira

Observa-se que em todos os terminais avaliados tanto a cada minuto como a cada 3 minutos não foi possível a identificação de nenhuma relação entre o número de ônibus e o nível sonoro equivalente. Esse fator é devido a área de captação do aparelho, ou seja, quando os terminais possuíam um maior número de ônibus e mesmo assim o nível sonoro equivalente permanecia baixo pode ter ocorrido devido a distância do ônibus em relação ao aparelho e por esse motivo o mesmo não registrava um aumento significativo no nível sonoro.

Sabe-se que a maior fonte de ruído nos terminais são oriundos dos ônibus como pôde ser observado nos dados obtidos pelo terceiro aparelho de medição. Por exemplo, no Terminal do Antônio Bezerra (n.º 1) a medição sem ônibus circulando próximo ao ponto de coleta de dados chegou a 63,9 dB(A), mas com a passagem do ônibus esse valor sobe para 73,9 dB(A), uma diferença de 10 dB(A). No Terminal de Messejana (n.º 2) essa diferença entre medições chega a 11,1 dB(A) [70,5 dB(A) com ônibus e 59,4 dB(A) sem ônibus], e no Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3) é de 5,8 dB(A) [73,6 dB(A) com ônibus e 67,8 dB(A) sem ônibus].

Observa-se uma discrepância entre os valores do ruído obtidos com a passagem do ônibus próximo ao ponto de coleta de dados nos terminais, com o Terminal de Messejana (n.º 2) chegando a ter valores de 5,3 dB(A) a mais do que o Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3), atribui-se a esse fato o comportamento inadequado do motorista ao conduzir o ônibus com freiadas bruscas, ou fortes aceleradas, por exemplo. Percebe-

se então que provavelmente o condutor do veículo dentro do Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3) teve um comportamento mais adequado que o do motorista que trafega dentro do Terminal de Messejana (n.º 2). Outros fatores também podem acarretar tais diferenças, citam-se: a condição de manutenção e modelo do veículo.

Um outro elemento que contribui para a poluição sonora dentro do terminal, mas muito importante para a segurança do usuário é o alerta sonoro de ré. Por exemplo, no Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3) ocorreu um aumento de 2,2 dB(A) quando a medição foi feita com o acionamento do alerta sonoro ligado.

Vale a pena salientar que todos dados comentados até este momento são em relação ao nível equivalente (L_{eq}), porém durante as medições obtiveram-se níveis pontuais de ruído conforme apresentado na Tabela 5.23. Verifica-se que o Terminal do Papicu (n.º 4) apresentou o maior pico de ruído com 90,6 dB(A) em seguida aparece o Terminal da Parangaba (n.º 5) com 89,8 dB(A).

Tabela 5.23 : Valores Máximos e Mínimos dos Terminais

Nº Terminal	Terminal	Valor Max dB(A)	Valor Min dB(A)	amplitude
1	Antônio Bezerra	88,5	66,9	21,6
2	Messejana	87,0	66,9	20,1
3	Conjunto Ceará	88,2	61,3	26,9
4	Papicu	90,6	66,2	24,4
5	Parangaba	89,8	70,2	19,6
6	Siqueira	86,9	64,1	22,8

A Figura 5.46 mostra a média do fluxo de ônibus por minuto de todos os terminais da qual pode ser observado que o terminal com o maior fluxo é o do Parangaba (5,06 ônibus/min) e o de menor fluxo é o do Conjunto Ceará (1,90 ônibus/min).

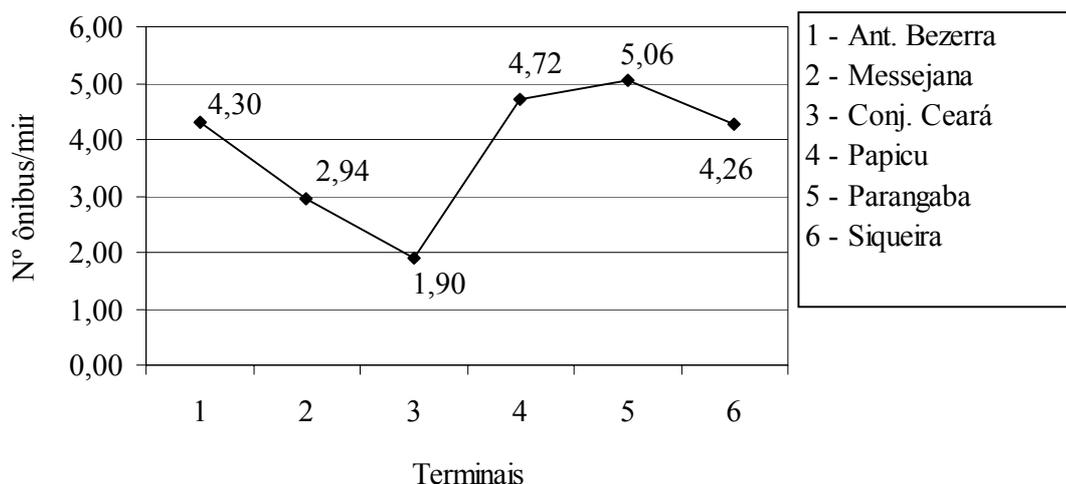


Figura 5.46: Média do fluxo de ônibus por minuto dos terminais

A Figura 5.47 apresenta o máximo nível equivalente dos terminais, o qual se observa no Terminal da Parangaba (n.º 5) com o maior nível sonoro, por isso, é o pior terminal em relação a poluição sonora. Já o Terminal do Conjunto Ceará (n.º 3) apresenta melhores condições de ruído.

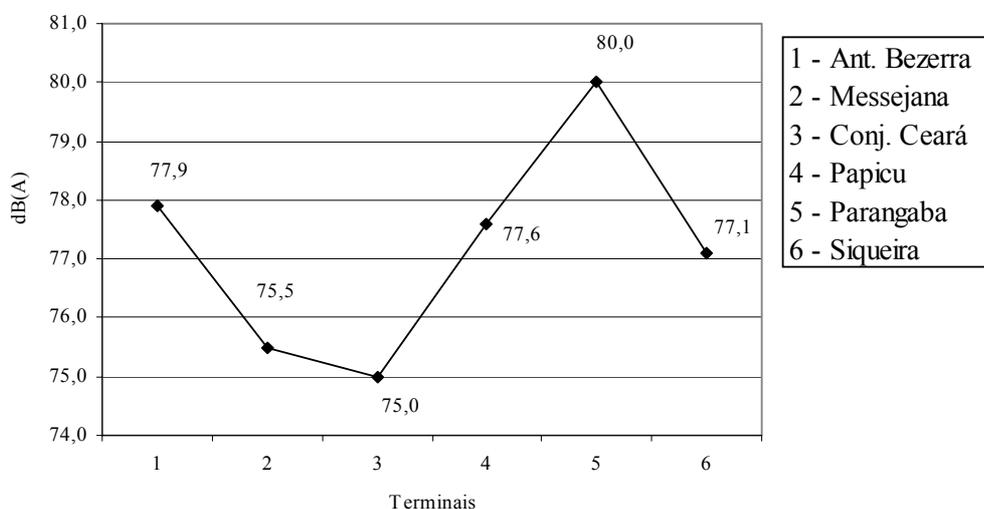


Figura 5.47: Nível Equivalente Máximo (L_{eqMax}) nos terminais

Comparando as Figuras 5.46 e 5.47, pode-se confirmar que o terminal com pior situação de ruído é também o que apresenta o maior fluxo de ônibus, o que comprova a relação entre a poluição sonora e o fluxo de ônibus. Isso acontece com quase todos os terminais, mas somente no Terminal do Papicu (n.º 4), ao avaliar o L_{eq} e o fluxo de ônibus, aquele assume a terceira e segunda posições, respectivamente. Este fato pode

ser explicado possivelmente pelo comportamento do motorista de ônibus no Terminal do Antônio Bezerra (n.º 1) quando comparado com condutor do ônibus do Terminal do Papicu (n.º 4) ser pior em conduzir o ônibus.

5.5 ANÁLISE DO MODELO DE REGRESSÃO

Conforme MONTGOMERY *et al.* (2003), a análise de regressão é uma metodologia estatística que utiliza a relação entre duas ou mais variáveis. Pode-se usar em situações quando o Y que é a variável dependente, ou resposta e o X que é a variável independente ou regressoras são variáveis aleatórias distribuídas conjuntamente em coletas de dados com diferentes medições em uma mesma unidade experimental. A relação entre as variáveis é caracterizada por um modelo matemático chamado de equação de regressão, sendo esse modelo de regressão ajustado a um conjunto de dados. Em algumas situações sabe-se a verdadeira relação funcional entre Y e X , porém na maioria dos casos essa relação é desconhecida, tendo que se escolher uma função apropriada, em geral, um modelo polinomial como função aproximadora.

Para se determinar a relação entre uma única variável regressora ou independente (X) e uma variável resposta ou dependente (Y) e sabendo-se que a verdadeira relação entre Y e X seja representada por uma linha reta, o valor esperado de Y para cada observação de X pode ser descrita pelo modelo de regressão linear simples conforme Equação 5.1.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (5.1)$$

Em que,

Y = Variável dependente

β_0 = Intercepto

β_1 = Coeficiente de inclinação

X = Variável independente

ε = Erro aleatório com média zero

Para se estimar os parâmetros desconhecidos β_0 e β_1 na equação 5.1 utiliza-se o procedimento do método de mínimos quadrados, isto é, estima-se o β_0 e β_1 de modo que

a soma dos quadrados dos desvios entre as observações (Y, X) e a reta de regressão seja mínima e a soma dos quadrados dos desvios das observações em relação à verdadeira reta de regressão é dada por:

$$L = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2 \quad (5.2)$$

Em que,

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad (5.3)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i X_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \quad (5.4)$$

Onde,

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (5.5)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (5.6)$$

Assim, as Equações 5.3 e 5.4 são os estimadores de mínimos quadrados do parâmetro intercepto (β_0) e do parâmetro de inclinação (β_1) , respectivamente. O modelo linear simples ajustado é:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X \quad (5.7)$$

A análise de regressão muitas vezes é usada erroneamente, por esse motivo deve-se ter o cuidado na seleção de variáveis que serão utilizadas para a construção do modelo de regressão e na determinação da forma da função aproximadora. As relações de regressão são válidas apenas para valores da variável independente dentro da amplitude dos dados originais.

Algumas vezes não se utiliza o intercepto no modelo, mas em geral a hipótese $Y=0$ e $X=0$ não é justificada, um melhor ajuste seria com a inclusão do intercepto, por causa da amplitude limitada dos dados na variável independente. A verificação da adequação de um modelo de regressão linear simples ocorre através do teste de hipóteses estatísticas sobre os parâmetros do modelo e a construção de intervalos de confiança.

Utiliza-se o coeficiente de determinação (R^2) para julgar a adequação de um modelo de regressão. Sabe-se que esse estima o poder de explicação do modelo, sendo que quanto mais próximo de 1 maior o ajuste do modelo aos dados observados, variando de $0 \leq R^2 \leq 1$.

Muito embora o coeficiente de determinação (R^2) seja relativamente fácil de interpretar, ele não pode ser testado estatisticamente. Contudo, a raiz quadrada do coeficiente de determinação, que é o coeficiente de correlação (R), pode ser testada estatisticamente, pois está incluída em uma estatística de teste que é distribuída segundo uma distribuição t , quando a correlação populacional $\rho=0$.

O coeficiente de correlação linear (R) é usado para determinar se há relacionamento entre 2 variáveis, utiliza-o para detectar padrões lineares (somente os lineares), medindo o grau de relacionamento linear entre os valores emparelhados X e Y em uma amostra.

Além disso, o sinal aritmético associado com o coeficiente de correlação, que é sempre o mesmo sinal associado com β na equação de regressão, indica a direção da relação X e Y (positivo = direta; negativo = inversa). Por tais razões o coeficiente de correlação é mais freqüentemente usado como medida de relação entre as variáveis.

O coeficiente de correlação é dado por:

$$R = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_{XX}} \cdot \sqrt{S_{YY}}} \quad (5.8)$$

Em que:

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N} \quad (5.9)$$

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N} \quad (5.10)$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N} \quad (5.11)$$

As variáveis usadas para a elaboração da equação foi o número de ônibus por minuto (independente) e a média do Nível Sonoro Equivalente (L_{eq}) por minuto (dependente) no período, desta forma, tenta-se expressar a relação do nível sonoro em relação ao número de ônibus.

A seguir serão apresentados os valores dos coeficientes de determinação, da significância do modelo e dos parâmetros dos modelos inclusive com os diagramas de dispersão para cada terminal não apenas na relação linear, mas também logarítmica e de raiz quadrada para a obtenção da curva.

5.4.1 Terminal do Antônio Bezerra

Tabela 5.24: Resultados dos modelos de regressão do Terminal de Antônio Bezerra

Modelos	Coeficiente de determinação (R^2)	Significância	Estimativas	
			A	B
Linear	0,001	0,811	76,4	-0,006
Logaritmo	0,003	0,655	76,4	-0,044
Raiz quadrada	0,002	0,733	76,4	-0,036

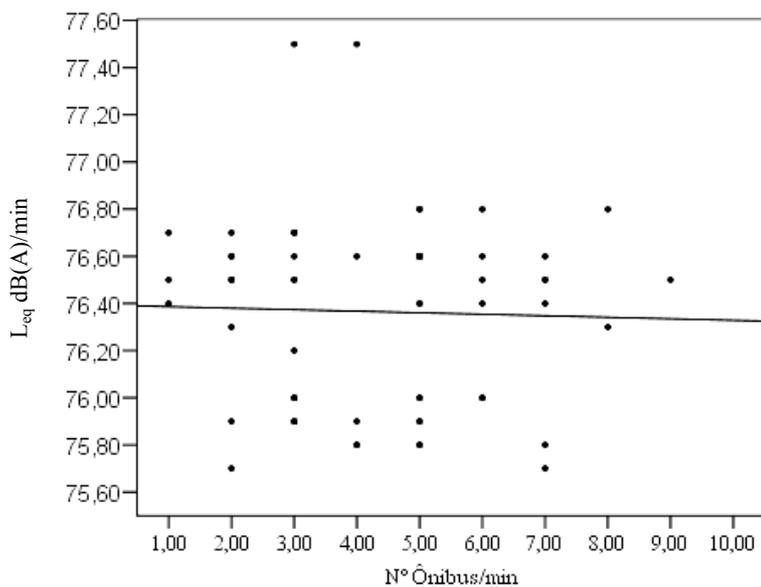


Figura 5.48: Diagrama de Dispersão Linear do Terminal de Antônio Bezerra

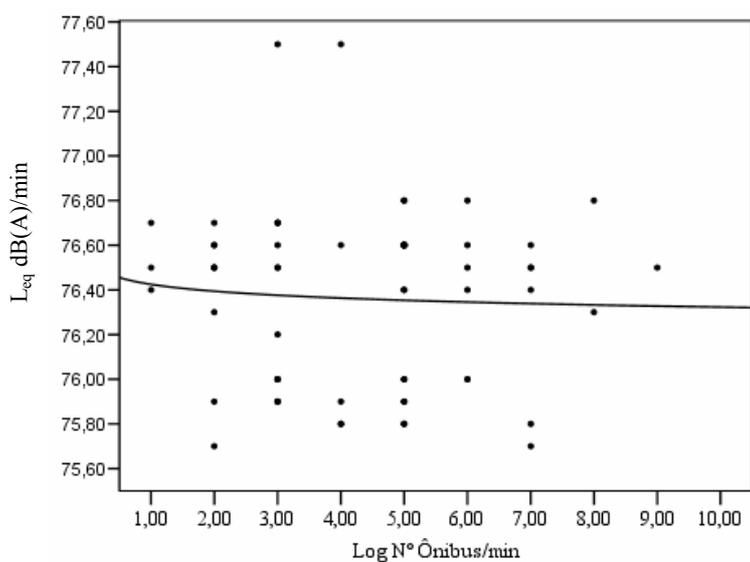


Figura 5.49: Diagrama de Dispersão Logarítmica do Terminal de Antônio Bezerra

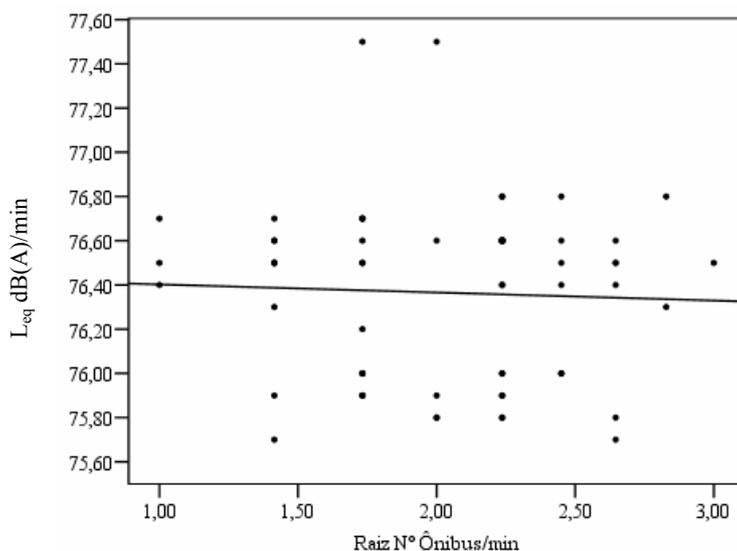


Figura 5.50: Diagrama de Dispersão da Raiz Quadrada do Terminal de Antônio Bezerra

5.4.2 Terminal de Messejana

Tabela 5.25: Resultados dos modelos de regressão do Terminal de Messejana

Modelos	Coeficiente de determinação (R ²)	Significância	Estimativas	
			A	B
Linear	0,000	0,952	74,6	0,001
Logaritmo	0,000	0,963	74,6	-0,003
Raiz quadrada	0,002	0,733	74,6	-0,036

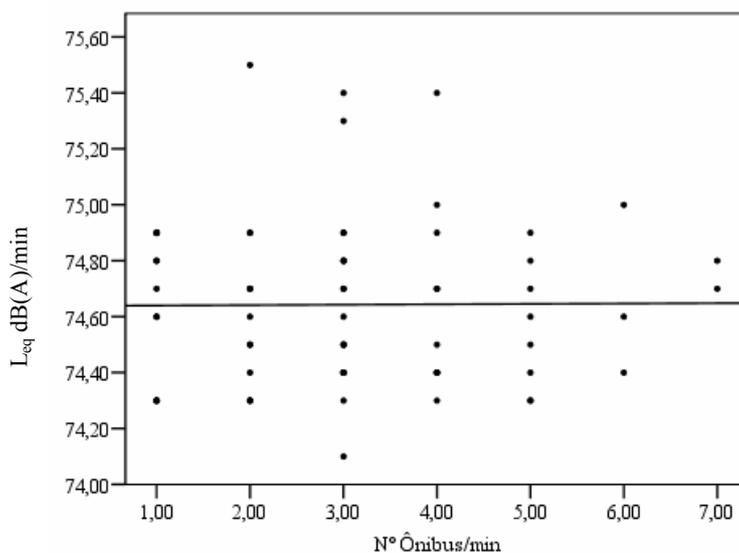


Figura 5.51: Diagrama de Dispersão Linear do Terminal de Messejana

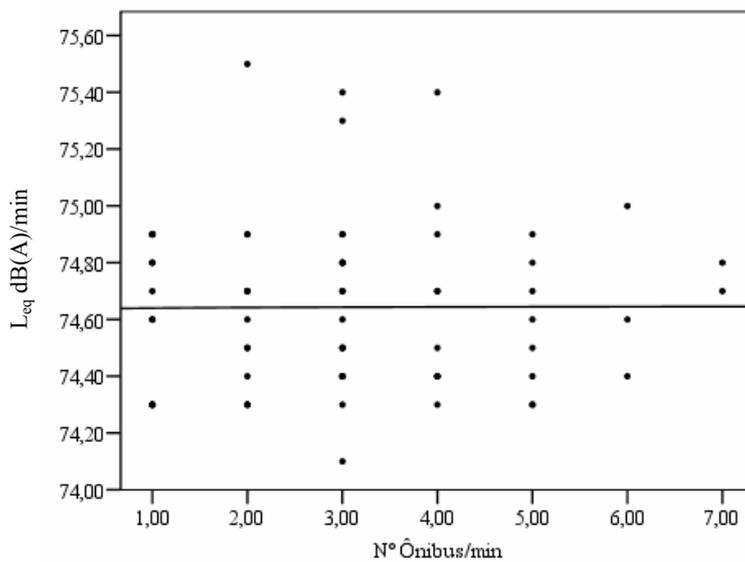


Figura 5.52: Diagrama de Dispersão Logarítmica do Terminal de Messejana

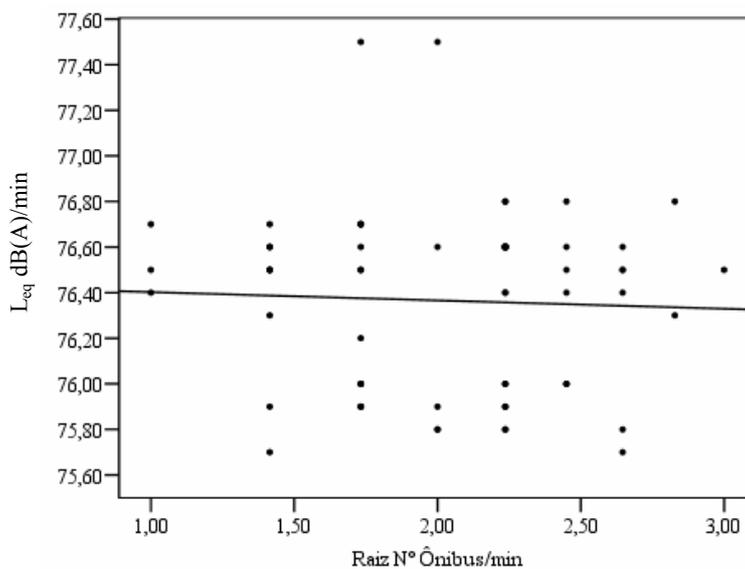


Figura 5.53: Diagrama de Dispersão da Raiz Quadrada do Terminal de Messejana

5.4.3 Terminal do Conjunto Ceará

Tabela 5.26: Resultados dos modelos de regressão do Terminal do Conjunto Ceará

Modelos	Coeficiente		Estimativas	
	de determinação (R ²)	Significância	Constante	B ₁
Linear	0,000	0,884	74,6	0,003
Logaritmo	0,000	0,975	74,6	0,001
Raiz quadrada	0,000	0,934	74,6	0,004

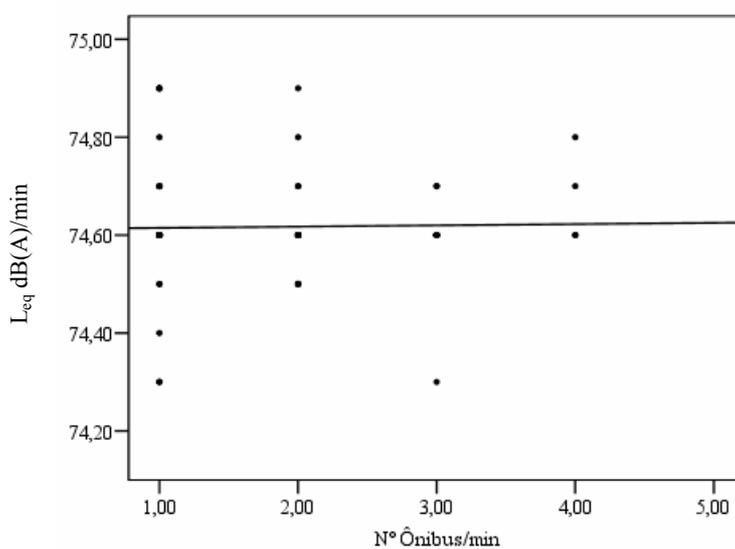


Figura 5.54: Diagrama de Dispersão Linear do Terminal do Conjunto Ceará

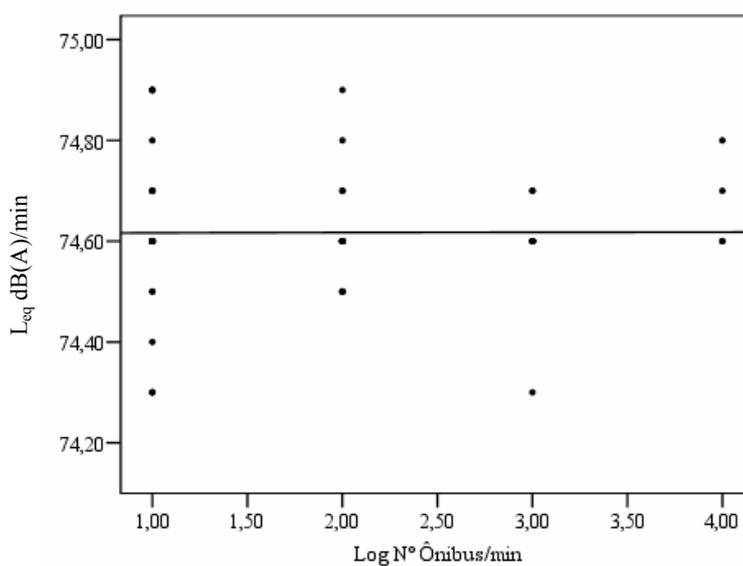


Figura 5.55: Diagrama de Dispersão Logarítmica do Terminal do Conjunto Ceará

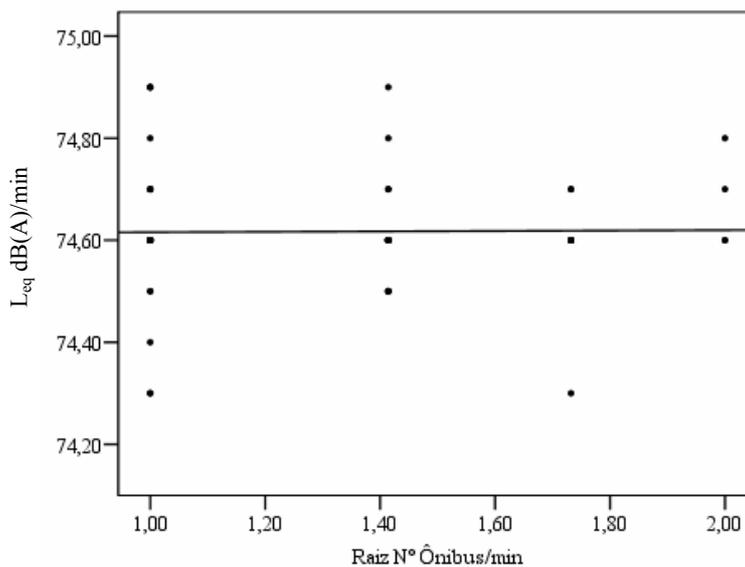


Figura 5.56: Diagrama de Dispersão da Raiz Quadrada do Terminal do Conjunto Ceará

5.4.4 Terminal do Papicu

Tabela 5.27: Resultados dos modelos de regressão do Terminal do Papicu

Modelos	Coeficiente de determinação (R ²)	Significância	Estimativas	
			A	B
Linear	0,002	0,702	76,0	0,014
Logaritmo	0,010	0,424	75,9	0,114
Raiz quadrada	0,005	0,556	75,9	0,088

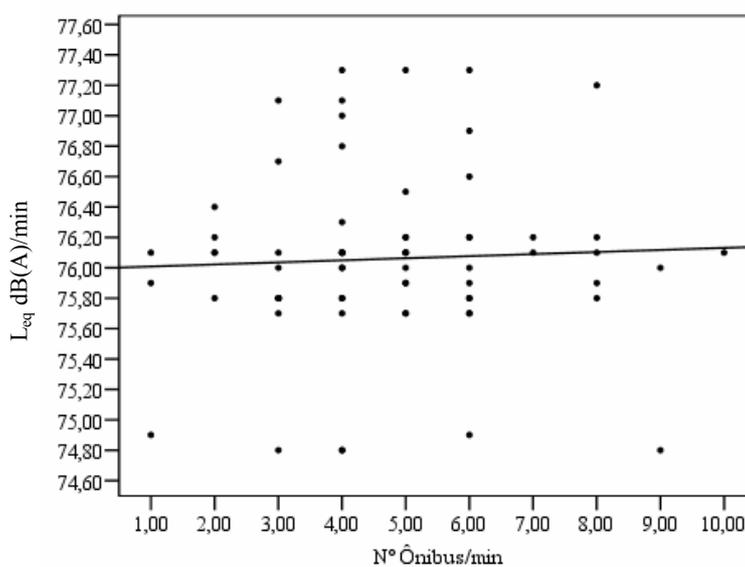


Figura 5.57: Diagrama de Dispersão Linear do Terminal do Papicu

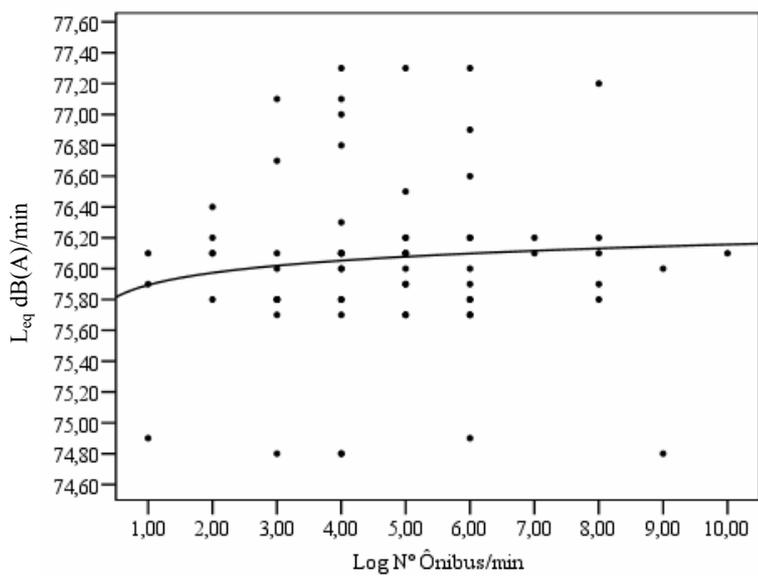


Figura 5.58: Diagrama de Dispersão Logarítmica do Terminal do Papicu

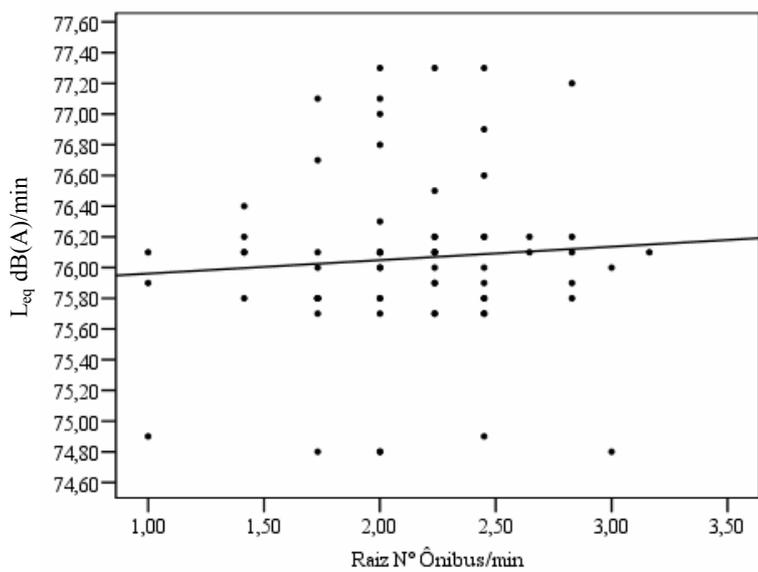


Figura 5.59: Diagrama de Dispersão da Raiz Quadrada do Terminal do Papicu

5.4.5 Terminal da Parangaba

Tabela 5.28: Resultados dos modelos de regressão do Terminal da Parangaba

Modelos	Coeficiente de determinação (R ²)	Significância	Estimativas	
			A	B
Linear	0,000	0,894	77,1	-0,005
Logaritmo	0,001	0,770	77,0	0,053
Raiz quadrada	0,000	0,920	77,0	0,018

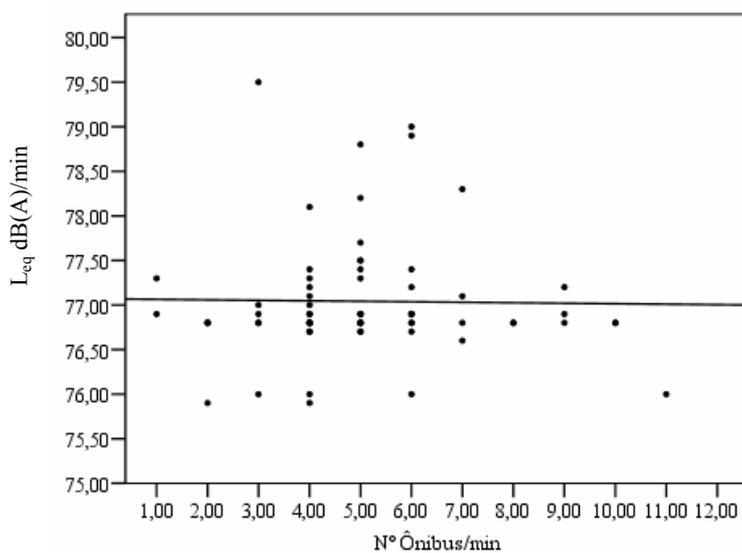


Figura 5.60: Diagrama de Dispersão Linear do Terminal da Parangaba

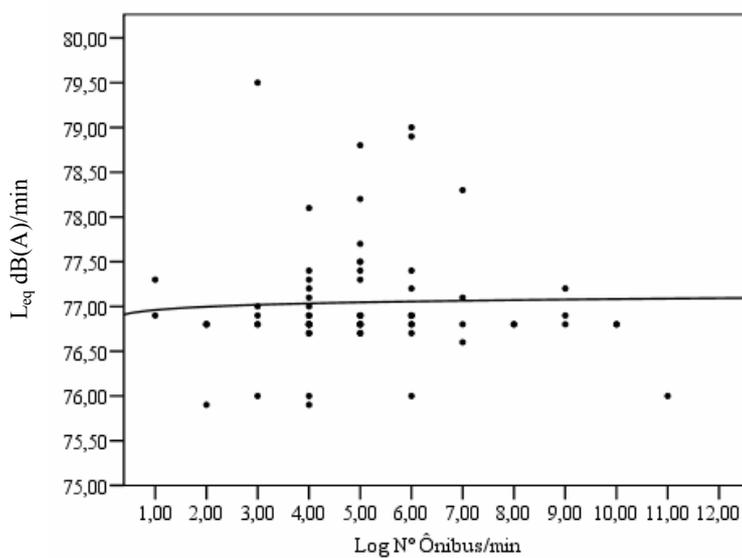


Figura 5.61: Diagrama de Dispersão Logarítmica do Terminal da Parangaba

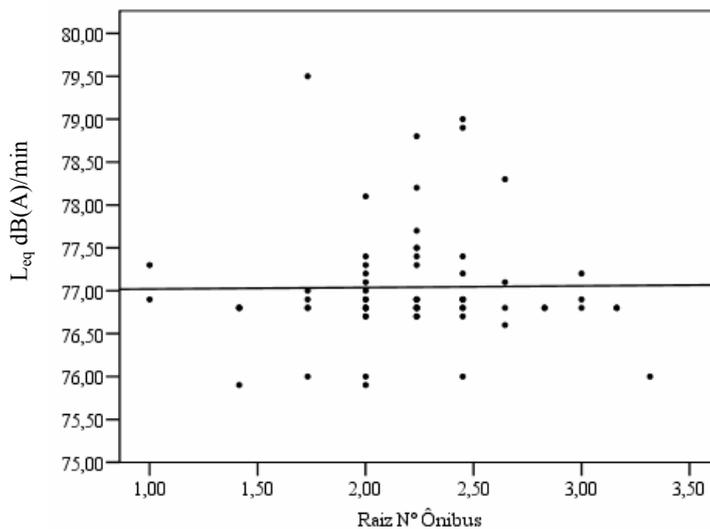


Figura 5.62: Diagrama de Dispersão da Raiz Quadrada do Terminal da Parangaba

5.4.6 Terminal do Siqueira

Tabela 5.29: Resultados dos modelos de regressão do Terminal do Siqueira

Modelos	Coeficiente de determinação (R ²)	Significância	Estimativas	
			A	B
Linear	0,018	0,278	75,6	-0,028
Logaritmo	0,035	0,124	75,6	-0,145
Raiz quadrada	0,026	0,187	75,8	-0,134

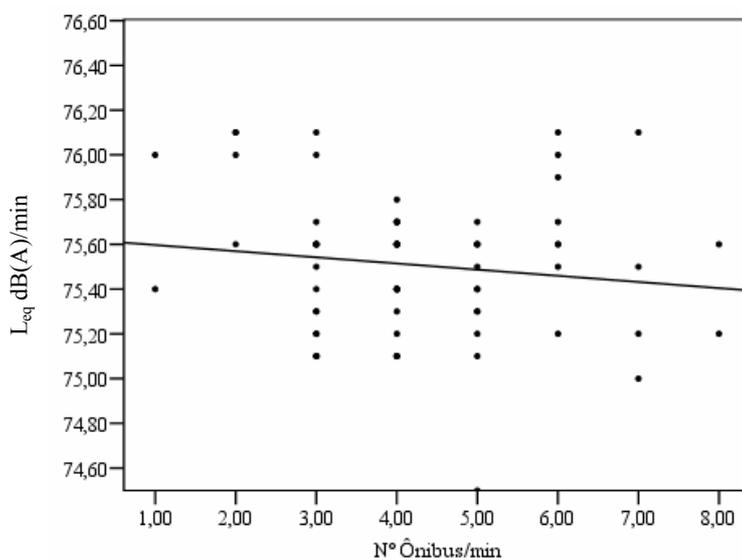


Figura 5.63: Diagrama de Dispersão Linear do Terminal do Siqueira

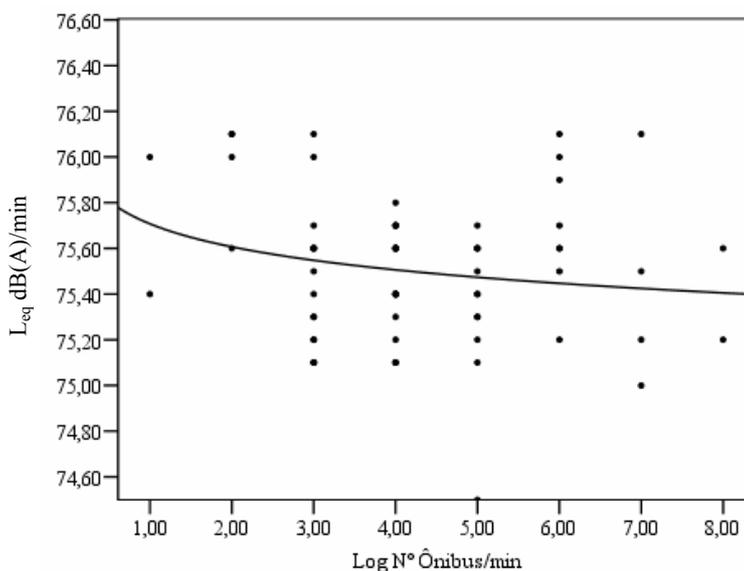


Figura 5.64: Diagrama de Dispersão Logarítmica do Terminal do Siqueira

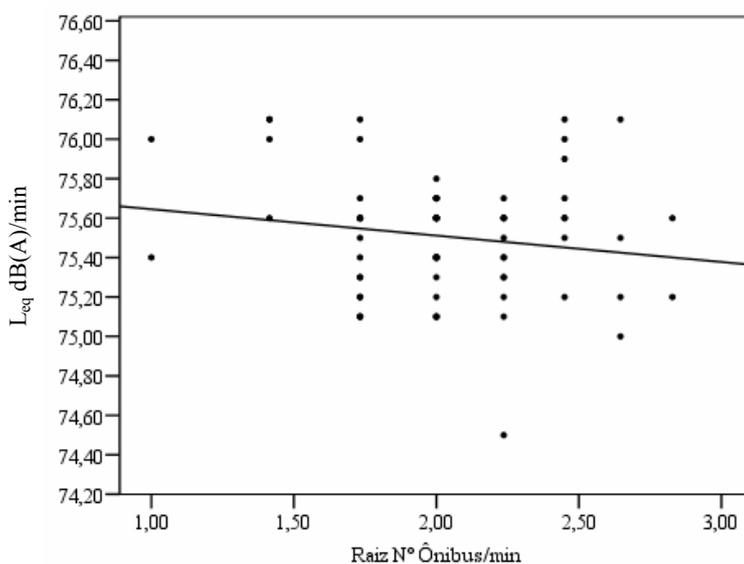


Figura 5.65: Diagrama de Dispersão da Raiz Quadrada do Terminal do Siqueira

Observa-se que nenhum dos modelos testados explica bem o fenômeno nos terminais devido o baixo valor do coeficiente de determinação (R^2) e é estatisticamente não significativa mesmo com a utilização da escala logarítmica, que é a mais adequada para avaliação, visto que o crescimento dos níveis sonoros em função do número de ônibus não acompanha uma escala linear (Silva, 2002), ou seja, não foi possível fazer um modelo de regressão para os terminais devido à baixa variabilidade dos dados. Esse

fato pode ter ocorrido por que o aparelho foi usado em modo lento (*slow*), conforme recomendado pela legislação local (Lei 5530, de 17/12/81), que mede os níveis sonoros médios reduzindo os efeitos de picos sonoros breves, e ou devido à coleta de dados ter ocorrido em um pequeno intervalo de tempo e apenas no horário de maior pico, sem considerar os picos da manhã e os entre picos.

Os resultados obtidos na tentativa de ajustar o modelo de regressão, de maneira geral, não foram significativos, uma vez que os valores obtidos do coeficiente de determinação foram muito baixos e a significância acima de 0,05 em todos os terminais, que impossibilitou o ajuste do modelo mesmo quando testado o linear, o logarítmico e o da raiz quadrada.

Toda a coleta de dados seguiu os padrões estabelecidos pela NBR 10.151 (ABNT, 2000), e a Lei Municipal de Fortaleza n.º 5.530, de 17/12/1981, conforme explicado anteriormente, no entanto essa NBR não orienta quanto ao modo (*slow* ou *fast*) em que a coleta deve ser feita, porém a Lei Municipal em seu artigo 629º diz “*Para a medição dos níveis de som considerados na presente lei, o aparelho medidor de nível de som, conectado à resposta lenta, deverá estar com o microfone afastado, no mínimo, de 1,50m (um metro e cinqüenta centímetros) da divisa do imóvel que contém a fonte de som e ruído, e à altura de 1,20m (um metro e vinte centímetros) do solo*”. Por esse motivo todas as medições de ruído foram feitas no modo de resposta lenta (*slow*). Rodrigues (2006) elaborou uma análise de ruído em terminais de transporte coletivo em Uberlândia e Belo Horizonte, em que na coleta de dados usou o decibelímetro no modo de resposta rápida (*fast*) e o tempo de duração foi de três horas, conseguindo caracterizar a relação entre o aumento do ruído e o do fluxo de ônibus, bem como, fazer os modelos de previsão, o que fortalece a idéia que o melhor seria ter usado o modo *fast* ao invés de *slow* nessa pesquisa.

Esse estudo possibilitou identificar a existência de um horário crítico para todos os terminais, porém não foi possível fazer uma relação entre o fluxo de ônibus e o aumento do ruído para cada terminal, ou seja, não houve uma relação de aumento da poluição sonora com o aumento do fluxo de ônibus. Somente quando se compara o nível equivalente máximo dos terminais com a média do fluxo de ônibus/min é que se observa essa relação. Esse fato foi devido se utilizar o modo de medição lento (*slow*),

como explicado no parágrafo anterior. Outro resultado importante desse trabalho foi comprovar que os terminais estão acima dos limites sonoros recomendados pela OMS (65 dB(A)) e pela NBR 10.151 (70 dB(A)), sendo passíveis de gerar danos aos usuários, mas não acima da Lei Federal 6.514 (100 dB(A)), que regula a questão trabalhista e da saúde do trabalhador, conforme Tabela 5.30. O que demonstra que a norma trabalhista está muito tolerante com o ruído no ambiente de trabalho e, no longo prazo poderar trazer lesão permanente e danos acumulativos que resultam em PAIR.

Tabela 5.30: Valores que ultrapassaram os estabelecidos pela OMS, NBR e Lei Federal

n.º Terminal	Terminal	Valor ultrapassado (dB(A))		
		OMS (65 dB(A))	NBR 10.151 (70 dB(A))	Lei 6514/77 (100 dB(A))
1	Ant. Bezerra	11,3	6,3	-
2	Messejana	9,6	4,6	-
3	Conj. Ceará	9,6	4,6	-
4	Papicu	11,1	6,1	-
5	Parangaba	12	7	-
6	Siqueira	10,5	5,5	-

No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo as observações e resultados oriundos dos capítulos anteriores serão sintetizados sob a forma de conclusões. Trata-se de um resumo dos principais pontos descritos no estudo, bem como recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

6.1 ANÁLISE GERAL DOS DADOS COLETADOS NOS TERMINAIS

Com as informações obtidas foi possível uma comparação entre os terminais por meio de uma análise exploratória de dados, não sendo possível fazer uma análise mais avançada devido a grande concentração dos dados (baixa variabilidade), vista a partir das medidas de dispersão e posição.

Pode-se afirmar após a avaliação dos dados que todos os terminais estão com o nível de ruído acima do recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) que é de 65 dB(A) e pela NBR 10.151 – 79 dB(A) (ABNT, 2000) , o que torna esses ambientes desconfortáveis quanto ao ruído. Para que os sistemas sejam considerados confortáveis, o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) deve ficar abaixo dos 65 dB(A).

Embora os níveis medidos não estejam de acordo com a NBR 10.151 e nem com a OMS, que procura garantir o conforto da comunidade, em termos ocupacionais os níveis mais elevados de ruído ainda estão abaixo do nível máximo de exposição ao ruído estabelecido pelo Ministério do Trabalho e Emprego, que é de 85 dB(A), para um período de 8 horas, ressalva-se que para um período de 1h, que foi o mesmo avaliado, o nível passa a ser de 100dB(A) (BRASIL, 2005).

Com a avaliação das linhas temporais de todos os terminais estudados observou-se que existe um horário crítico comum a todos eles de aproximadamente 6 min, ou seja, todos os terminais estão em seu pico de nível sonoro. O Terminal da Parangaba foi considerado o terminal com maior nível de ruído e o único com pavimento superior

destinado a pequenas lojas (mini-shopping), o qual recebe contribuição extra de ruído proveniente da passagem do trem de passageiros e cargas que trafega no tronco-sul e passa na sua lateral numa distância inferior a 15m, esse fato tem uma contribuição significativa na elevação do ruído. Esse terminal apresentou a maior média de ônibus em circulação em seu interior. O melhor terminal, quando avaliado o ruído, foi o Terminal do Conjunto Ceará que apresentou também a menor média do número de ônibus. Conclui-se que o nível sonoro tem uma relação direta com o fluxo de ônibus dentro dos terminais, isto devido ao ônibus ser o maior responsável pela elevação do ruído dentro dos terminais.

Ressalta-se porém, quando se faz a média do nível equivalente por minuto e compara com o número de ônibus no mesmo período não se obtém nenhuma relação, ou seja, em alguns casos mesmo com o aumento do número de ônibus nos terminais o nível equivalente permanece inalterado. Somente quando se compara o nível equivalente máximo dos terminais com a média do fluxo de ônibus/min é que se observa essa relação. Isto pode ter ocorrido por dois motivos: um devido às medições terem ocorrido com o aparelho operando no modo slow, conforme orienta a Lei Municipal de Fortaleza, que mede níveis sonoros médios fazendo com que o efeito de picos sonoros breves seja minimizado, diferentemente do modo fast que mostra os níveis sonoros de pico presentes no ambiente. Outro fator foi o tempo de medição que provavelmente não tenha sido suficiente ou não tenha contemplado o horário de pico total e outros picos durante o dia, bem como os entre picos para melhor caracterizar a relação do volume de ônibus com o ruído e por esse motivo não se percebeu a diferença do acréscimo de ônibus devido o elevado ruído de fundo.

Não foi possível elaborar um modelo de regressão para os terminais uma vez que nenhum modelo explicou bem o fenômeno nos terminais isso se deve a baixa variabilidade dos dados.

Nota-se, também, que em ambientes mais fechados o nível de ruído foi maior devido à reflexão das ondas sonoras, porém se os terminais fossem totalmente abertos o ruído poderia incomodar ainda mais os moradores em seu entorno. Este problema poderia ser mitigado pela localização dos terminais de integração modal em áreas

menos habitadas ou pela utilização de materiais acústicos que minimizassem os efeitos das ondas sonoras.

Outro fator relevante relaciona-se ao comportamento inadequado do motorista dentro dos terminais, com fortes aceleradas e frenagens bruscas desnecessárias, sendo um fator significativo para a elevação do nível sonoro, o que pode ser resolvido com treinamento, qualificação, capacitação e melhoria da educação e urbanidade dos motoristas, equipamentos de manuseio, novas tecnologias, manutenção e mão-de-obra necessária.

6.2 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos, pode-se observar que o conforto sonoro avaliado é bastante deficiente havendo uma elevada exposição ao ruído dentro dos terminais. É importante identificar fontes sonoras excessivas (tráfego nas imediações, trens, etc) com o objetivo de atenuar os níveis de ruído a parâmetros aceitáveis.

Para minimizar os problemas de ruídos dentro dos terminais de Fortaleza faz-se necessário adotar medidas e posturas adequadas. Sugere-se o acompanhamento dos trabalhadores e o estudo da implantação de medidas de controle de ruído na fonte, como o objetivo de atenuar os níveis de pressão sonora destes terminais. Para isso é necessário um estudo mais detalhado para se avaliar o ganho acústico.

Algumas ações podem ser feitas, tais como: a) Treinamento específico dos motoristas de ônibus; b) Parceria entre os técnicos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Controle Urbano (SEMAM) e da administração dos terminais (ETUFOR) para juntos monitorarem as condições acústicas do ambiente; c) Elaboração de programas que visem promover o esclarecimento dos efeitos nocivos do excesso de ruído no ambiente. d) Modificações arquitetônicas, que melhorem as condições acústicas dos terminais.

Acredita-se que um trabalho de grande importância seria a avaliação do custo ambiental do ruído. Saber um valor econômico para cada decibel reduzido por pessoa por ano. Isso subsidiaria intervenções acústicas, pois possibilitaria uma comparação do

custo/benefício. Na Europa diversos estudos avaliam o ganho ambiental com o custo de medida redutoras de ruído, que são relativamente dispendiosas. .

Para trabalhos futuros, que proponham a avaliação de ruído em terminais, seria importante fazer dois tipos de medições: uma utilizando o aparelho no modo lento (*slow*) e a outra no modo rápido (*fast*) para possibilitar uma comparação dos valores e a identificação de um melhor método de análise de poluição sonora dentro dos terminais de transporte urbano, bem como, a ampliação do tempo de medição.

Destaca-se a necessidade de estudos mais específicos levando em consideração fatores que contribuem para a elevação do ruído dentro dos terminais como arquitetura, temperatura e velocidade do vento que não foram explorados nessa pesquisa por falta de equipamentos adequados.

Com a realização desse trabalho espera-se ter contribuído para aumentar o conhecimento do impacto ambiental do ruído em terminais de transporte público no município de Fortaleza trazendo elementos que proporcionem um melhor controle da poluição sonora provocada pelos ônibus no Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza (SITFOR).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000). NBR - 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade - Rio de Janeiro.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR - 10152: Níveis de ruído para o conforto acústico. Rio de Janeiro.
- AGRICULTURAL UNIVERSITY OF NORWAY. DEPARTMENT OF ECONOMICS AND SOCIAL SCIENCES (2002). The state of the art on economic valuation of noise. Final Report to European Commission DG Environment. Norway april 2002.
- AMERICAN COLLEGE OF OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL MEDICINE; ACOEME EVIDENCE BASED STATEMENT (2003). Noise induced hearing loss. J. Occup. Environ. Med., [S. l.], v.45, n. 6, jun. 2003.
- BAMFORD, J.; SAUNDERS, E. (1991). Hearing impairment, auditory perception and language disability. 2nd ed. San Diego, California: Singular Publishing Group, 1991.
- BARBOSA A.S.M. (2001). Ruído urbano e perda auditiva: o caso da exposição ocupacional em atividades ligadas à coordenação do tráfego de veículos no município de São Paulo. Dissertação de mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo. Faculdade de saúde pública. Departamento de epidemiologia.
- BENITES, E. L. F. (2004). Poluição Sonora Urbana de Pelotas. Disponível em: <http://www.educacaoambiental.furg.br/disserta/document/eduarben.pdf> Acesso em 22/11/2006.
- BIES, D. A.; HANSEN, C. H. (2002). Engineering Noise Control: Theory and Practice. 2 ed. New York: Spon Press – Taylor & Francis Group, 736 p.
- BLATRIX, S. e PUJOL, R. (2002). A audição – Constituição do sistema auditivo humano. Arquivo eletrônico disponível em: http://telecom.inescn.pt/research/audio/cienciaviva/constituicao_audicao.html. Acesso em 10/02/2008.
- BRASIL, 1990a. CONAMA - Resolução n.º 001 de 08 de março de 1990. "Dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais" - Data da legislação: 08/03/1990 - Publicação DOU: 02/04/1990. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0190.html> Acesso em 23/07/2007.

- BRASIL, 1990b. CONAMA - Resolução n.º 002 de 08 de março de 1990. "Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora - SILÊNCIO" - Data da legislação: 08/03/1990 - Publicação DOU: 02/04/1990. Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0190.html>. Acesso em 23/07/2007.
- BRASIL, 1999. CONAMA - Resolução n.º 252 de 01 de e Fevereiro de 1999: Estabelece, para os veículos rodoviários automotores, inclusive veículos encarroçados, complementados e modificados, nacionais ou importados, limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso. Brasília, 1999.
- BRASIL, (2005). Ministério do Trabalho – Portaria 3214/78 - Segurança e medicina do trabalho. NR-15, anexos 1. 57 ed. São Paulo Editora Atlas 2005
- BRASIL, (2006). Ministério da Saúde. Secretaria de atenção à saúde. Departamento de ações programáticas estratégicas - Perda auditiva induzida por ruído (PAIR). Brasília. Editora do Ministério da Saúde, 2006.
- BRITO, V.P.S. (1999). incidência de perda auditiva induzida por ruído em trabalhadores de uma fábrica. Goiânia, Monografia – CEFAC – Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica - GO.
- BROWN, A. L. (1994). exposure of the Australian Population to Road Traffic Noise. Applied Acoustic, Australia, v. 43.
- BURNS, W. (1973). Noise and man. John Murray. London. p. 105.
- CALIXTO, A. (2002). o ruído gerado pelo tráfego de veículo em “Rodovias – Grandes Avenidas” Situadas dentro do Perímetro Urbano de Curitiba, Analisado sob Parâmetros Acústicos Objetivos e seu Impacto Ambiental. Curitiba, Dissertação (Mestrado de Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná.
- CARMO, L.I.C. (1999). Efeitos do ruído ambiental no organismo humano e suas manifestações auditivas. Goiânia, Monografia – CEFAC – Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica - GO.
- CERNE: Institut de Recherche de Nuisances et de L’Ernegie, Bron, França (1979). Missions, moyens et résultats d’activité. Institut de Recherche des Transports, Bron, França, p. 99.
- COELHO, J. L. B. (1995). Ruído urbano: monitoração e modelação de ruído de tráfego rodoviário. In: Encontro da sociedade brasileira de acústica, São Paulo. Anais - São Paulo: SOBRAC.
- COMITÊ NACIONAL DE RUÍDO E CONSERVAÇÃO AUDITIVA (1999). Perda auditiva induzida por ruído relacionada ao trabalho. Boletim, São Paulo, n. 1, 29 jun. 1994. Revisto em 14 nov. 1999.

- COSTA, A. A. (2007). Pneus reciclados no asfalto reduzem ruído na A8 e CREL. Disponível em: <http://smartengineering.blogspot.com/2007/03/pneus-reciclados-no-asfalto-reduzem.html> . Acesso em 15/02/2008.
- CTB (1998) Código de Trânsito Brasileiro. Ministério da Justiça. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/ctb.htm> . Acesso em: 15 de jul. 2007.
- DETRAN (2007) – DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO. Frota de Veículos motores. Disponível em: <http://www.detran.rs.gov.br/> Acesso em 17/07/2007.
- ENIZ A.O. (2004). Poluição sonora em escolas do Distrito Federal. Dissertação de mestrado. Brasília: Universidade Católica de Brasília.
- ETUFOR (2006) - Anuário do Transportes Urbanos de Fortaleza – 2006. Empresa de Transportes Urbano de Fortaleza S/A, Fortaleza, CE.
- ETUFOR (2007) - Anuário do Transportes Urbanos de Fortaleza – 2007. Empresa de Transportes Urbano de Fortaleza S/A, Fortaleza, CE.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) (1999). Towards a transport and environment reporting mechanism (TERM) for the EU. Part 1: TERM concepts and process, Part 2: some preliminary indicators sheets. Copenhagen.
- FERNANDES, J. C. (2002). Acústica e Ruídos. Bauru: Departamento de Engenharia Mecânica – Unesp, Apostila.
- FERREIRA, M. J. (1998). PAIR bom senso e consenso. São Paulo: ed. VK.
- FIDEL, IS. (1978). Nationwide urban noise survey. Journal of the Acoustical Society of America 1978; 64: 198-106.
- GEIPOT (2001). Anuário estatístico dos transportes – 2001. Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte, Ministério dos transportes, Brasília, DF.
- GEORGE C.P.F.; SLILEY A. (1999). Sleep Apnea e Automobile Crashes. Sleep. p. 790-95.
- GERGES, S.N.Y. (2000). Ruído: fundamentos e controle. 2. ed. Florianópolis: NR Editora.
- GERGES, S.N.Y. (2004). Noise in large cities in Brazil. Journal of the Acoustical Society of America, Brazil, v. 115, n. 5, p. 2592-2593.
- GOELZER B.; HANSEN C. H.; SEHRNDT G. A. (2001). Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control. Dortmund: Federal Institute for Occupational Safety and Health.
- GRIFFITHS, I.D.; LANGDON, F.J. (1986). Subjective response to road traffic noise. Journal of Sound and Vibration 1986; 8: 16-32.

- GUYTON, A.C. (1981). *Fisiologia Humana*. 5ª ed., Rio de Janeiro, Ed. Interamericana.
- HARRIS, C. M. (1998). *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1646 p.
- HUNT, A. (2001). Monetary valuation of noise effects. Prepared for the EC UNITE Project (subcontracted to IER- University of Stuttgart). Metroeconomica Ltda., Draft final report. 27 pp.
- IAZZETA, F. (2007). Tutoriais de áudio e acústica. Arquivo eletrônico disponível em: <http://www.eca.usp.br/prof/iazzetta/tutor/index.html>. Acesso em 10/07/2007.
- IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007). População recenseada no município de Fortaleza, 2007, Documento, Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/defaulttab.shtm>>
- INSTRUTHERM, Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda. Produtos. Disponível em http://www.instrutherm.com.br/produtos_lista.asp. Acesso em: 30/11/2007.
- JOHNSON, D. R.; SANDERS, G. (1968). The Evaluation of Noise from freely flowing road traffic. *Journal of Sound and Vibration*, UK, v. 7, n. 2, p. 287-309.
- KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSEL, T. M. (2003). *Princípios da neurociência*. São Paulo: [s.n.].
- LAMBERT, J. (2000): Using Monetary Values of Noise for Transport Policy Decisions: Current Practice and Future Developments in France. INRETS- LTE, France. Paper in *Internoise 2000 Proceedings*, Vol. 5 pp. 3413-3418.
- LÓPEZ, M. R. (1998). Estudio subjetivo del ambiente acústico en los municipios de la comunidad autónoma de Madrid. In: Congresso Iberoamericano de Acústica, 1; simpósio de metrologia e normalização em acústica do mercosul, 1; encontro da sociedade brasileira de acústica, 18, 1998. Florianópolis. sobrac.
- MAIA, M. A. L. (2003). *Contribuição ao Mapeamento do Ruído Urbano na cidade de Porto Alegre*. Dissertação de mestrado, PPGEC/UFRGS, Rio Grande do Sul.
- MARQUES, S.R. (1998). *Os efeitos do ruído em motoristas de ônibus do Município de São Paulo*. Dissertação de mestrado. São Paulo: PUC-SP.
- MARRANA, J.R. (2003). *Economia dos transportes—custos externos*. Porto, disponível em: <http://docentes.uportu.pt/~jmarrana/Custos%20Externos%20V4.05.doc>. Acesso em 29/10/2007.
- MC SHANE, D. P.; HYDE, M. L.; ALBERTI, P. W. (1988). Tinnitus prevalence in industrial hearing loss compensation claimants. *Clin. Otol.*, [S. l.], v. 13, p. 323-330.

- MEDEIROS, L.B. (1999). Ruído: efeitos extra-auditivos no corpo humano. Porto Alegre, Monografia – CEFAC – Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica – RS.
- MELLO, M.T.; SANTANA, M.G.; SOUZA, L.M.; OLIVEIRA, P.C.S.; VENTURA, M.L.; STANPI, C.; TUFIK, S. (2000). Sleep patterns and sleep-related complaints of Brazilian interstate bus drivers. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 33(1):71-77.
- MONTGOMERY, D.C.; HINES, W.W.; GOLDSMAN, D.M.; BORROR, C.M. (2003). Probabilidade e Estatística na Engenharia – 4ª ed. LTC Editora.
- MOTA, S. (1997). Introdução à Engenharia Ambiental. ABES, Fortaleza.
- MURGEL, E. (1998). Medidas de Controle de Ruídos em Rodovias. 18º Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Florianópolis, p. 267-270.
- NELSON, P. M. (1987). Transportation Noise Reference Book, Londres, 540p.
- NETTO, L.F. Acústica (parte 2). Arquivo eletrônico disponível em: http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_T02.asp Acesso em 10/08/2007.
- NYEMEYER, M. L.; SLAMA, J. G. (1998). O Ruído na Cidade: Elementos do Ruído Urbano. In: Arquitetura: Pesquisa & Projeto. Rio: Pró-Editores. UFRJ.
- OLIVEIRA, J. A. A. (2001). Prevenção e proteção contra perda auditiva induzida pelo ruído. In: NUDELMANN, A. A. Pair – Perda Auditiva Induzida pelo Ruído: volume II. Rio de Janeiro: Revinter.
- PAZ, E. C. (2004). Estudo de um modelo de avaliação e predição acústica para o ruído de tráfego. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná.
- PHILIP P.; TAILLARD J.; GUILLEMINAULT C.; BIOULAC B.; OHAYON M. (1999). Long distance driving and self induced sleep deprivation on mong automobile drivers. *Sleep.* 22(4):475-80.
- PIMENTEL, SOUZA F.; ÁLVARES, P.A .S. A poluição sonora urbana no trabalho e na saúde. [on line]. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/lpf>. Acesso em: 15 de agosto de 2007.
- PMF (1981). Prefeitura Municipal de Fortaleza, 1981, Lei n.º 5.530, de dezembro de 1981, dispõe sobre o código de obras e posturas do município de fortaleza e da outras providências. Diário Oficial (do Município de Fortaleza), Fortaleza, 17 dez. 1981
- PMF (1997). Lei n.º. 8097 de 2 de dezembro de 1997. Dispõe sobre medidas de combate a poluição sonora e dá outras providências - Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Controle Urbano – SEMAM. – Prefeitura Municipal de Fortaleza, Fortaleza/CE.

- PMF (2006). Em foco. Edição 387 dezembro 2006. Disponível em: http://www.fortaleza.ce.gov.br/emfoco/EM_FOCO_387.htm, Prefeitura Municipal de Fortaleza, Fortaleza/CE.
- PMF (2007). A Cidade. Disponível em: <http://www.fortaleza.ce.gov.br/fort/cid.asp> Prefeitura Municipal de Fortaleza, Fortaleza/CE.
- QUADROS, F.S. (2004). Avaliação do ruído ambiental gerado por veículo de utilidade pública estudo de caso: caminhão de coleta de resíduos domiciliar. Curitiba. Dissertação (Mestrado de Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná.
- QUICK, T. C.; LAPERTOSA, J.B. (1981) Contribuição ao Estudo das Alterações Auditivas e de Ordem Neuro-vegetativas Atribuídas ao Ruído. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, Belo Horizonte, v. 9, n 36, p. 50-56.
- RECIPAV Engenharia e pavimentos Ltda. (s/d) A utilização do betume modificado com borracha reciclada de pneus em Portugal. Disponível em: http://www.netresiduos.com/cir/comunicados/Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20BMB%20Portugal%201999_2004.pdf Acesso em 01/11/2007.
- ROO, F. de (1999). International Vehicle Type Approval Tests as a Global Noise Policy Instruments. In: Inter-Noise 99, Fort Lauderdale, Florida, U.S.A.
- SAMELLI, A. G. (2004). Zumbido: avaliação, diagnóstico e reabilitação: abordagens atuais. São Paulo. Ed.Lovise.
- SANTOS, U.P. e MORATA, T.C. (1994). Efeitos do ruído na audição: ruído: riscos e prevenção. São Paulo. ed. Hucitec; p. 43-53.
- SATTLER, M. A. (1999). Urban Noise Survey for the city Porto Alegre, Brazil. 137th Meeting of the Acoustical Society of America – Fórum de Acústica, Berlim, p. 1-6.
- SCHERER, M.J. (2005). Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, em vitragem simples e dupla. Santa Maria. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria - RS.
- SELIGMAN, J. (1993). Efeitos não-auditivos e aspectos psicossociais no indivíduo submetido ao ruído intenso. Rev. Bras. de Otorrinolaringologia. v. 59, n. 4.
- SILVA, H. (2006). Rede de metrô deu “lucro” de 63 milhões ao ambiente. Arquivo eletrônico disponível em: <http://cimeira-asq.blogspot.com/2006/03/rede-de-metro-deu-lucro-de-63-milhes>. março 2006. Acesso em 19/11/2007.
- SILVA, P. (2002). Acústica arquitetônica e condicionamento de ar. EDTAL - Empresa termo acústica Ltda. 4ª Edição. Belo Horizonte.

- SMITH, A. A. (1991). Review of the non-auditory effects of noise on health. *Work and stress*. v. 5, n. 1. p. 49–62.
- SOGUEL, N. (1991). Evaluation de cout social du bruit genere par le trafic routier en Ville de Neuchatel, IRER, WP No. 9105, Universite de Neuchatel.
- SOUSA, D. S. (2004). Instrumentos de Gestão de Poluição Sonora para a sustentabilidade das Cidades Brasileiras. Rio de Janeiro. Tese (doutorado planejamento energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- SOUZA, F. P. (1992). Efeitos da Poluição Sonora no Sono e na Saúde em Geral: Ênfase Urbana. *Acústica e Vibrações*, Florianópolis, n. 10.
- TAFNER, M.A. (1996). Reconhecimento de palavras faladas isoladas usando redes neurais artificiais. Florianópolis. Dissertação (Mestrado de Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/disserta96/tafner/index/index.htm#fig>. Acesso em 22/07/2007.
- VAN DYK, F. J. H. (1986). Non-auditory effects of noise in industry II – a review of the literature. *Int Arch Occup Environ Health*. v. 58, p. 325-332.
- VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE E. V. – VDA. (1978). *Urban Traffic and Noise*. 1 ed. Frankfurt: VDA, 135 p.
- VESTERAGER, V. (1997). Tinnitus: investigation and management. *BJM*, [S. 1.], v. 314, p. 728-731.
- WEBB, J. D. (1978). *Noise control in industry*. John Willey and sons. Inc. New york.
- WHO, World Health Organization (2001). *Occupational and Community Noise*. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs258/en/index.html> Acesso em: 30/11/2007.
- ZANNIN, P. H. T, et al. (2002). Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba, *Rev. Saúde Pública*. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rsp/v36n4/11773.pdf> Acesso em 23/10/2007.