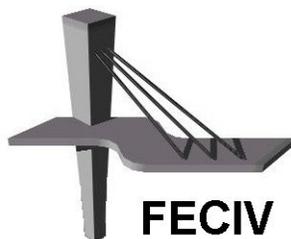


DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DE RUÍDO EM TERMINAIS DE
TRANSPORTE COLETIVO URBANO:
DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE
PREVISÃO**

FREDERICO RODRIGUES

UBERLÂNDIA, 28 DE JUNHO DE 2006.



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Frederico Rodrigues

**ANÁLISE DE RUÍDO EM TERMINAIS DE
TRANSPORTE COLETIVO URBANO:
DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE PREVISÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Faria

Uberlândia, 28 de Junho de 2006.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

R696a Rodrigues, Frederico, 1980-
Análise de ruído em terminais de transporte coletivo urbano : desenvolvimento de modelos de previsão / Frederico Rodrigues. – Uberlândia, 2006.
136f. : il.
Orientador: Carlos Alberto Faria.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.
1. Transportes coletivos - Ruído - Teses. I. Faria, Carlos Alberto. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 656.121



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ATA Nº: 020/06

CANDIDATO(A): Frederico Rodrigues

ORIENTADOR(A): Prof. Dr. Calos Alberto Faria

TÍTULO: “Análise de Ruído em Terminais de Transporte Coletivo Urbano: Desenvolvimento de Modelos de Previsão”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana **LINHA DE PESQUISA:** Engenharia de Transportes

DATA: 28/06/2006-08-09

LOCAL: Sala de Apoio da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 09:10 – 12:00

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o(a) candidato(a) foi:

APROVADO

REPROVADO

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é assinada pelos membros da Banca Examinadora:

Orientador(a): **Prof. Dr. Carlos Alberto Faria - UFU**

Membro: **Prof. Dr. Max de Castro Magalhães - UFMG**

Membro: **Prof. Dr. José A. Sorratini - UFU**

Uberlândia, 28 de junho de 2006.

A minha mãe que incansavelmente esforçou-se de todas as maneiras possíveis para me dar condições de estudar e chegar nesta etapa tão importante e recompensadora de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço antes de tudo à Deus por toda capacidade que me destes, pois sem esta jamais seria possível concluir mais esta vitória.

À minha mãe que durante toda minha vida fez de tudo para me dar condições de estudar. Sempre incentivando, e não medindo esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos de vida. Pois bem, essa etapa que agora se completa, é por inteiro mérito desta pessoa que tanto amo, e que neste momento pode se orgulhar integralmente pois compartilha em mesma proporção os méritos desta vitória.

Aos meus orientadores e amigos, Carlos Alberto Faria e Max de Castro Magalhães, por todo empenho, paciência e ensinamentos neste período em que trabalhamos juntos. Ensinamentos estes que em muitos momentos foram além de pautas técnicas, e que serão lembrados eternamente como lições de vida. Mais importante do que uma orientação passageira, é a certeza de uma amizade que nasceu e há de ser duradoura.

Ao meu Tio Carlos que mais do que um anfitrião também foi um professor neste período em que residi em Uberlândia. Queria eu ter metade de seu conhecimento sobre as “coisas da vida”, conhecimento este que graduação nenhuma seria capaz de me fornecer.

À minha família, que sem exceção sempre me apoiou de todas as maneiras possíveis para que eu chegasse até aqui. Aos meus avós João e Neusa e meus tios Ézio e Neumar que sempre me incentivaram e muitas vezes me ajudaram de maneira bastante concreta tornando possível a concretização de mais esta etapa. À tia Nane por todo carinho e atenção, principalmente no período de residência na cidade de Uberlândia. Ao meu irmão Fabrício pela paciência com minhas “loucuras” de engenheiro.

À Darlayne (Issy) que esteve presente ao meu lado desde a decisão de fazer mestrado em outra cidade até os diversos auxílios na formatação da dissertação. Além disso, meu muito

obrigado por todo apoio carinho e amor, imprescindíveis para o incentivo de toda minha determinação neste tempo de minha vida. Muito obrigado por tudo, realmente foi muito importante a certeza de sua compreensão.

A todos meus amigos presentes nos momentos de descontração para aliviar as “duras” horas de estudo. Alguns destes, participaram diretamente da concretização de minha pesquisa. Em especial ao Marcelo G. Silva, Nádia Santos, Nelmira, Ricardo Almeida, Ricardo (cunhado), Bráulio, Bruce, Alessandra Azevedo, Mário Junior e Felipe Land.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, que forneceram o apoio necessário à realização da pesquisa.

À BHTRANS na pessoa de Marcio Batitucci que não mediu esforços para me dar toda a infra-estrutura necessária para realização da pesquisa na cidade de Belo Horizonte.

À SETTRAN que permitiu e colaborou para o acontecimento das pesquisas nos terminais de Uberlândia.

À Sueli que sempre nos atendeu com muita presteza e boa vontade na secretaria da pós-graduação da FECIV. Ao Veloso por toda atenção no laboratório.

Aos Professores Manfred, Maria Elisa, Ana Luiza e Beatriz que também contribuíram para minha formação técnicas nas disciplinas ministradas no mestrado.

Enfim a todos que contribuíram de alguma maneira para a concretização de mais esta etapa em minha vida, o meu muito obrigado.

Rodrigues, F. Análise de Ruído em Terminais de Transporte Coletivo Urbano: Desenvolvimento de Modelo de Previsão. 136 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

RESUMO

Diante da crescente demanda por transporte coletivo nas médias e grandes cidades é cada vez mais comum a implantação de terminais que visam interligar as linhas e/ou modos do sistema de transporte, tornando-o mais eficiente. O tráfego constante de veículos pesados (ônibus) em seus interiores faz com que esses ambientes atinjam altos níveis de ruído. Portanto o objetivo deste trabalho é estudar essa patologia especificamente em interior de terminais de transporte coletivo urbano. Neste estudo investigar-se-á os parâmetros que influenciam os níveis de ruído. A partir da base dados coletada, serão desenvolvidos modelos para fazer a previsão de ruído, também pesquisas para mensurar a percepção do usuário, medições de ruído em ônibus isolados e um experimento piloto para verificar uma possível diminuição dos níveis de ruído nos terminais a partir de um procedimento que trata o ruído ainda na fonte emissora. O resultado deste trabalho contribuirá para a geração de cenários futuros que ilustrem esta patologia em terminais, permitindo assim que medidas mitigadoras sejam tomadas ainda na fase de projetos.

Palavras-chave: Ruído de Tráfego – Ruído em Terminais Urbanos – Modelos de previsão – Percepção do usuário

Rodrigues, F. Analysis of noise in urban bus station: development of models of prediction. 136 pp. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2006.

ABSTRACT

As the use of public transportation in medium and large cities becomes more and more popular, the number of urban bus stations connecting transport systems increases dramatically. As a result, the continuous traffic of heavy vehicles has produced disturbing noise levels inside the stations.

Hence, the main goal of this research is to develop and implement statistical models for the prediction of the overall noise levels inside the bus stations. They are multiple regression models based on experimental data obtained from acoustic field measurements. In addition, some parameters are related to the noise generation and to the limits of acceptable community noise levels. It is also suggested an alternative solution to the problem by using noise control techniques at the source. The statistical models were then validated by comparing the results with those found in the literature. The main assumptions and limitations of the models are also discussed.

This research was undertaken as a result of the need to improve the available analytical tools for the prediction of traffic noise inside buildings. There are significant opportunities for further development and implementation of the models derived in this study.

Keywords: Traffic noise – Noise in bus station – Models to predict – Users perception

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS

dB	- Decibéis
dB(A)	- Decibéis ponderados na curva de compensação “A”
L_{eq}	- Nível Sonoro Equivalente
$L_{eq,total}$	- Nível Sonoro Equivalente referente a todo período de medição
$L_{eq,5min}$	- Nível Sonoro Equivalente referente a cinco minutos de medição
$L_{eq,24hs}$	- Nível sonoro equivalente referente a 24 horas de medição
L_{10}	- Nível percentil (Nível de ruído acima do qual esteve presente 10% do tempo de medição)
L_{50}	- Nível percentil (Nível de ruído acima do qual esteve presente 50% do tempo de medição)
L_{90}	- Nível percentil (Nível de ruído acima do qual esteve presente 90% do tempo de medição)
L_{dn}	- Nível sonoro equivalente medido continuamente durante o dia e a noite
L_{min}	- Menor nível de ruído obtido durante a medição
L_{max}	- Máximo nível de ruído obtido durante a medição
R^2	- Coeficiente de determinação
$S_{y(e)}$	- Erro padrão de estimativa
$t_{(b)}$	- Valor do teste t de Student para a constante b

ABREVIATURAS

TNI - Índice de ruído de tráfico

NPL - Nível de poluição sonora

NPS - Nível de pressão sonora

SIGLAS

CRTN - Calculation of road traffic noise

FHWA - Federal highway administration

RLS 90 - Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen

TNI - Índice de ruído de tráfico

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Faixa de Frequências Audível pelo ser Humano.....	10
Figura 2.2 – Curvas de Compensação na Escala Decibel	16
Figura 2.3 – Exemplo de Onda do Tipo Aperiódica (ruído)	17
Figura 2.4a – Exemplo de Ruído do Tipo Contínuo	18
Figura 2.4b – Exemplo de Ruído do Tipo Intermitente	18
Figura 2.4c – Exemplo de Ruído do Tipo Impulsivo	18
Figura 2.5 – Demonstração Gráfica do Nível Sonoro Equivalente	23
Figura 4.1 – Localização dos Terminais na Cidade de Belo Horizonte - MG	44
Figura 4.2 – Layout Simplificado da Área de Circulação de Veículos na Estação Diamante ...	46
Figura 4.3 – Layout Simplificado da Área de Circulação de Veículos da Estação Venda Nova	47
Figura 4.4 – Layout Simplificado da Área de Circulação dos Veículos da Estação Barreiro ...	48
Figura 4.5 – Layout Simplificado da Área de Circulação de Veículos na Estação São Gabriel	49
Figura 4.6 - Estrutura Básica do Sistema Integrado de Transporte de Uberlândia (MG)	51
Figura 4.7 – Layout Simplificado da Área de Circulação de Veículos no Terminal Central	52
Figura 4.8 – Layout Simplificado da Área de Circulação dos Veículos no Terminal Umuarama	52
Figura 4.9 – Layout Simplificado da Área de Circulação de Veículos no Terminal Planalto ..	53
Figura 4.10 – Layout Simplificado da Área de Circulação de Veículos no Terminal Santa Luzia	54
Figura 4.11 – Layout Simplificado da Área de Circulação de Veículos no Terminal Industrial	54
Figura 4.12 – Posicionamento do Medidor de Nível de Pressão Sonora nos Terminais	55
Figura 5.1 (a) - Níveis Sonoros Equivalentes ($L_{eq,5min}$) para Intervalo de Cinco Minutos	66
Figura 5.1 (b) – Frequências de Ocorrência dos Níveis Sonoros	66
Figura 5.1 (c) – Níveis Percentis L_{10} e o L_{90} da Pressão Sonora em dB(A)	67
Figura 5.1 (d) – Fluxo de Ônibus em Intervalos de Cinco Minutos	67
Figura 5.2 (a) - Níveis Sonoros Equivalentes ($L_{eq,5min}$) para Intervalo de Cinco Minutos.....	68

Figura 5.2 (b) – Frequências de Ocorrência dos Níveis Sonoros	69
Figura 5.2 (c) – Níveis Percentis L_{10} e o L_{90} da Pressão Sonora em dB(A)	69
Figura 5.2 (d) – Fluxo de Ônibus em Intervalos de Cinco Minutos	70
Figura 5.3(a) - Níveis Sonoros Equivalentes ($L_{eq,5min}$) para Intervalo de Cinco Minutos	71
Figura 5.3(b) - Frequências de Ocorrência dos Níveis Sonoros	72
Figura 5.3 (c) – Níveis Percentis L_{10} e o L_{90} da Pressão Sonora em dB(A)	72
Figura 5.3 (d) – Fluxo de Ônibus em Intervalos de Cinco Minutos	73
Figura 5.4(a) - Níveis Sonoros Equivalentes ($L_{eq,5min}$) para Intervalo de Cinco Minutos	73
Figura 5.4(b) - Frequências de Ocorrência dos Níveis Sonoros	74
Figura 5.4 (c) – Níveis Percentis L_{10} e o L_{90} da Pressão Sonora em dB(A)	74
Figura 5.4 (d) – Fluxo de Ônibus em Intervalos de Cinco Minutos	75
Figura 5.5(a) – Níveis Sonoros Equivalentes ($L_{eq,5min}$) para Intervalo de Cinco Minutos	76
Figura 5.5(b) - Frequências de Ocorrência dos Níveis Sonoros	77
Figura 5.5 (c) – Níveis Percentis L_{10} e o L_{90} da Pressão Sonora em dB(A)	77
Figura 5.5 (d) – Fluxo de Ônibus em Intervalos de Cinco Minutos	78
Figura 5.6(a) - Níveis Sonoros Equivalentes ($L_{eq,5min}$) para Intervalo de Cinco Minutos	78
Figura 5.6(b) - Frequências de Ocorrência dos Níveis Sonoros	79
Figura 5.6 (c) – Níveis Percentis L_{10} e o L_{90} da Pressão Sonora em dB(A)	79
Figura 5.6 (d) – Fluxo de Ônibus em Intervalos de Cinco Minutos	80
Figura 5.7(a) - Níveis Sonoros Equivalentes ($L_{eq,5min}$) para Intervalo de Cinco Minutos	81
Figura 5.7(b) - Frequências de Ocorrência dos Níveis Sonoros	81
Figura 5.7 (c) – Níveis Percentis L_{10} e o L_{90} da Pressão Sonora em dB(A)	82
Figura 5.7 (d) – Fluxo de Ônibus em Intervalos de Cinco Minutos	82
Figura 5.8(a) - Níveis Sonoros Equivalentes ($L_{eq,5min}$) para Intervalo de Cinco Minutos	83
Figura 5.8(b) - Frequências de Ocorrência dos Níveis Sonoros	83
Figura 5.8 (c) – Níveis Percentis L_{10} e o L_{90} da Pressão Sonora em dB(A)	84
Figura 5.8 (d) – Fluxo de Ônibus em Intervalos de Cinco Minutos	84
Figura 5.9(a) - Níveis Sonoros Equivalentes ($L_{eq,5min}$) para Intervalos de Cinco Minutos	85
Figura 5.9(b) - Frequências de Ocorrência dos Níveis Sonoros	86
Figura 5.9 (c) – Níveis Percentis L_{10} e o L_{90} da Pressão Sonora em dB(A) (Terminal Industrial)	86
Figura 5.9 (d) – Fluxo de Ônibus em Intervalos de Cinco Minutos Terminal Industrial	87
Figura 5.10 – Variação dos Indicadores de Ruído dos Terminais	89
Figura 5.11 – Medições Com e Sem o Procedimento de Baixo Giro nos Motores (Terminal Santa Luzia)	97
Figura 6.1 – Modelo 1 - $L_{eq,5min}$ dB(A) x Fluxo de Ônibus (5 min.)	101

Figura 6.2 – Modelo 2 - $L_{eq,5min}$ dB(A) x Logaritmo do Fluxo de Ônibus (5 min.)	102
Figura 6.3 – Modelo 3 - $L_{eq,5min}$ dB(A) x Raiz Quadrada do Fluxo de Ônibus (5 min.)	102
Figura 6.4 – $L_{eq,5min}$ Observado e Previsto (Modelo 2)	103
Figura 6.5 – Esquema Simplificado de Ondas Sonoras Captadas pelos Usuários nos Terminais	104
Figura 6.6 – Sólido Simplificado do Espaço Destinado à Circulação no Terminal Central	105
Figura 6.7 – Sólido Simplificado do Espaço Destinado à Circulação no Terminal Industrial ..	105
Figura 6.8 – Sólido Simplificado do Espaço Destinado à Circulação no Terminal Planalto	105
Figura 6.9 – Sólido Simplificado do Espaço Destinado à Circulação no Terminal Umuarama	106
Figura 6.10 – Sólido Simplificado do Espaço Destinado à Circulação no Terminal Santa Luzia	106
Figura 6.11 – Sólido Simplificado do Espaço Destinado à Circulação na Estação Barreiro	106
Figura 6.12 - Sólido Simplificado do Espaço Destinado à Circulação na Estação Diamante ...	106
Figura 6.13 – Sólido Simplificado do Espaço Destinado à Circulação na Estação São Gabriel	107
Figura 6.14 – Sólido Simplificado do Espaço Destinado à Circulação na Estação Venda Nova	107
Figura 6.15 – $L_{eq,1h}$ Observado e Previsto nos Terminais de Belo Horizonte e Uberlândia	112
Figura 6.16 – Valores de L_{90} Previstos pelo Modelo e Obtidos da Tabela de Frequência de Ocorrência	114
Figura 6.17 - Valores de L_{50} Previstos pelo Modelo e Obtidos da Tabela de Frequência de Ocorrência.....	114
Figura 6.18 - Valores de L_{10} Previstos pelo Modelo e Obtidos da Tabela de Frequência de Ocorrência	115
Figura 6.19 – Valores de L_{10} Obtidos por Tabela de Frequência de Ocorrência e pelos Modelos	118
Figura 6.20 – Dispersão dos Pontos de $L_{eq,total}$ x Percentual de Usuários Incomodados	120
Figura 6.21 – Valores Previstos pelo Modelo e Valores Obtidos por Pesquisa nos Terminais	121
Figura 6.22 – Diagrama do Nível de Ruído em Função da Rotações dos Motores	122
Figura 6.23 – Valores de Ruído Obtidos por Medições e Através do Modelo	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Velocidade do Som no ar em Função da Temperatura	12
Tabela 2.2 - Níveis de Pressão Sonora de Fontes Comuns no dia-a-dia	14
Tabela 2.3 – Relação entre Pressão Sonora, Intensidade e Nível Sonoro	15
Tabela 2.4 - Nível Critério de Avaliação (NCA) para Ambientes Externos	19
Tabela 2.5 – Limites de Tempo de Exposição Diária a Ruído	19
Tabela 2.6 – Frequências Naturais de Partes do Corpo Humano	22
Tabela 4.1 - Dados dos Terminais do Sistema BHBUS	45
Tabela 5.1 - Indicadores de Ruído Referentes aos Terminais	88
Tabela 5.2a – Resultados das Pesquisas de Opinião	90
Tabela 5.2b – Resultados das Pesquisas de Opinião	91
Tabela 5.2c – Resultados das Pesquisas de Opinião	91
Tabela 5.3 – Nível de Ruído Emitido por Ônibus com Diferentes Motores	94
Tabela 6.1 – Grandezas Geométricas dos Terminais	108
Tabela 6.2 – Hora-pico e Valores de Fluxo para os Terminais	109
Tabela 6.3 – Matriz de Correlação Estatística entre as Variáveis a Serem Testadas	110
Tabela 6.4 – Parâmetros dos Terminais para Aplicação do Método CRTN	117
Tabela 6.5 – Correções Devido a Veículos Pesados e Distância	118

SUMÁRIO

Capítulo 1	01
Introdução	01
1.1 - Considerações Gerais	01
1.2 - Justificativa	04
1.3 - Objetivos do Trabalho	06
1.4 - Estrutura da Dissertação	07
Capítulo 2	09
Fundamentos de Acústica	09
2.1 - Som: Conceitos e Princípios Básicos.....	09
2.2 - Caracterização do Ruído como um Caso Particular do Som	16
2.2.1 - Efeitos do Ruído No Homem	20
2.3 - Descritores de Ruído	23
2.3.1 - Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq})	23
2.3.2 - Níveis Percentuais Estatísticos (L_n)	24
2.3.3 - Índice de Ruído de Tráfego (TNI)	24
Capítulo 3	25
Ruído de Tráfego Urbano	25
Capítulo 4	40
Metodologia	40
4.1 - Terminais Urbanos como Componentes de um Sistema de Transporte Coletivo	40
4.2 - Caracterização da Área de Estudo	41
4.2.1 - Belo Horizonte	41
4.2.1a- Estação Diamante	46
4.2.1b- Estação Venda Nova	47
4.2.1c- Estação Barreiro	48
4.2.1d- São Gabriel	49
4.2.2 - Uberlândia	49
4.2.2 a- Terminal Central (Paulo Ferolla da Silva)	51
4.2.2 b - Terminal Umuarama (José Rodrigues da Cunha)	52

4.2.2 c -	Terminal Planalto (Bráz Cardoso de Oliveira Filho)	53
4.2.2 d -	Terminal Santa Luzia (Genésio Pereira de Melo)	53
4.2.2 e -	Terminal Industrial (Fábio Pereira)	54
4.3 -	Coleta de Dados	55
4.3.1 -	Parâmetros Quantificados	56
4.4 -	Medição de Ruído nos Terminais em Condição de Baixo Giro do Motor	57
4.5 -	Medição do Nível de Ruído dos Motores	58
4.6 -	Desenvolvimento dos Modelos	59
4.6.1 -	Modelo de Previsão de Nível Sonoro Equivalente (L_{eq})	59
4.6.2 -	Modelo de Previsão de Níveis Percentis (L_{90} , L_{50} e L_{10})	60
4.6.3 -	Método CRTN para Previsão de Ruído de Tráfego: Comparação com o Modelo Desenvolvido	60
4.6.4 -	Modelo de Previsão de Nível de Incômodo ao Usuário	61
4.7 -	Pesquisa de Opinião com Usuários dos Terminais	62
	Capítulo 5	64
	Apresentação e discussão dos Resultados das Medições de Ruído	64
5.1 -	Situação dos Terminais de Belo Horizonte	65
5.1.1 -	Estação São Gabriel	65
5.1.2 -	Estação Diamante	68
5.1.3 -	Estação Barreiro	70
5.1.4 -	Estação Venda Nova	73
5.2 -	Situação dos Terminais em Uberlândia	75
5.2.1 -	Terminal Central	76
5.2.2 -	Terminal Umuarama	78
5.2.3 -	Terminal Santa Luzia	80
5.2.4 -	Terminal Planalto	83
5.2.5 -	Terminal Industrial	85
5.3 -	Discussão dos Resultados Referentes aos Níveis de Ruído Observados nos Terminais	87
5.4 -	Pesquisa de Opinião Realizadas nos Terminais	90
5.5 -	Ruído Medido em Função da Rotação do Motor	92
5.5.1 -	Discussão dos Resultados da Medição de Ruído em Veículos Isolados	95
5.6 -	Medição de Ruído em Condição de Baixo Giro do Motor	96
	Capítulo 6	99
	Desenvolvimento dos Modelos	99

6.1 -	Desenvolvimento de Modelo de Predição de Nível Sonoro Equivalente ($L_{eq, 5min.}$) ...	100
6.1.1 -	Considerando outras Variáveis no Modelo Preliminar	103
6.1.1a -	Caracterização da Geometria dos Terminais	104
6.1.1b -	Parâmetros Adotados para Caracterização da Geometria	107
6.2 -	Modelo de Previsão de Nível Sonoro Equivalente ($L_{eq, 1h}$) Considerando Variáveis Arquitetônicas	108
6.3 -	Modelo de Previsão de Níveis Percentis (L_{90} , L_{50} E L_{10})	112
6.3.1 -	Método CRTN Para Cálculo do L_{10} : Comparação com o Modelo Desenvolvido	115
6.4 -	Modelo de Previsão do Incômodo Causado nos Usuários Considerando o Ruído	119
6.5 -	Modelo de Previsão de Ruído Considerando o Giro do Motor	121
	Capítulo 7	125
	Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros	125
7.1 -	Níveis de Ruído nos Terminais Analisados	125
7.1.1 -	Parâmetros que Influenciam o Ruído em Terminais	126
7.2 -	Pesquisas de Opinião com os Usuários dos Terminais	127
7.3 -	Ruído em Função da Rotação do Motor	128
7.4 -	Ruído com Restrição do Giro do Motor	129
7.5 -	Modelos Desenvolvidos	129
7.6 -	Recomendações para Trabalhos Futuros	131
	Referencias Bibliográficas	132
	Apêndice A – Conceitos Estatísticos	

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste **Capítulo**, procura-se situar o tema do trabalho no contexto atual a partir do aumento da frota de veículos nos centros urbanos bem como dos modos de transportes. Este capítulo apresenta também os motivos que justificam o tema abordado, os objetivos, e ainda explica como esta dissertação está organizada.

Apesar do surgimento do automóvel ter trazido vantagens no que diz respeito à utilização total do espaço urbano, trouxe também uma série de patologias para as cidades, a saber, congestionamentos, acidentes de trânsito, poluição sonora e atmosférica, desumanização em virtude das grandes áreas destinadas às vias e estacionamentos, baixa eficiência econômica devido à necessidade de grandes investimentos no sistema viário e ao espalhamento das cidades, entre outros.

Paralelamente ao crescimento demográfico nas cidades houve um aumento da frota de veículos. Porém este aumento do número de automóveis não ocorreu linearmente com a população. Em 1950, a população mundial era em torno de 2,6 bilhões de habitantes com uma frota de 50 milhões de automóveis. Em 1988 a população mundial girava em torno de 5,5 bilhões de habitantes, com uma frota de 500 milhões de veículos (SILVA e GOLDNER, 1998). Ou seja, enquanto a população mundial praticamente dobrou, o número de veículos foi multiplicado por dez.

O exagerado número de veículos particulares e de transporte público gera constante e intensos tráfegos nas vias que compõe o sistema de trânsito das cidades. Segundo a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (1992), este tráfego provoca além de congestionamentos, dois grandes inconvenientes que são a descarga de poluentes na atmosfera sob a forma de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) e ainda o ruído que está estritamente relacionado com os tipos e fluxos dos veículos automotores que trafegam pela cidade.

Sons compostos por ondas de várias frequências do tipo aperiódicas são geralmente considerados como ruídos, apesar da definição ser um tanto que abstrata, o ruído pode ser considerado basicamente como sons indesejados (KINSLER et al, 1982).

Segundo Querrien (1995), o ruído é uma das principais patologias que as cidades do mundo atual possuem. Mota (1999) concluiu que os principais contribuintes para o ruído nos centros urbanos são os modos de transporte terrestre. Álvares & Pimentel (1992a) mostraram em um estudo de caso que o ruído de tráfego é o principal contribuinte para o ruído ambiental na cidade de Belo Horizonte - MG.

Estudos sobre a potência sonora de veículos mostraram que cada carro de passeio é uma fonte sonora de cerca de 70-75 dB (A) a uma distância de 7 metros (PIMENTEL-SOUZA, 2000). Este ruído gerado pelo tráfego de veículos particulares e de transporte coletivo nas vias urbanas tem chamado cada vez mais a atenção de pesquisadores de diversas áreas ligadas à acústica, planejamento urbano, engenharia de tráfego, planejamento de transportes entre outras. Um indicativo disso é que segundo Burgess (1996), as estatísticas dos últimos 25 anos apresentadas nas conferências do congresso internacional sobre ruído, o INTER-NOISE, mostram que as publicações nesta área já estão entre 7 e 10% do total publicado.

O ruído de tráfego é classificado como um ruído ambiental que consiste em uma forma de energia pouco concentrada quando comparada quantitativamente com outras formas de energia. Este ruído é oriundo de transformações energéticas inerentes às atividades de consolidação e evolução do ecossistema urbano industrial, cujo processo de desenvolvimento e apropriação do espaço físico nas cidades conduziu a uma urbanização

de proporções e impactos até então vivenciados pelos agrupamentos humanos desde a revolução industrial (CHOAY, 1979).

Schafer (1977), apud Pimentel-Souza (2000), lembra que a poluição sonora é sutil e traiçoeira, visto que o espaço acústico não é como o espaço físico, que pode ser delimitado.

Segundo Odum (1988), o ruído ambiental está entre o conjunto de fatores físicos de reação psicofísica que necessitam de melhor compreensão e controle, para que seja possível assegurar sua existência dentro dos limites de tolerância acústica para que não cause danos à saúde.

Os altos valores nos níveis de ruído ambiental nos grandes centros urbanos deram origem à modalidade de poluição sonora (MOTA, 1981), cuja fonte principal é o ruído de tráfego conforme já mencionado.

Diante deste cenário particular das últimas décadas, diversas pesquisas têm mostrado a necessidade de estudos sobre a poluição sonora e quão preocupante são os níveis de ruídos encontrados principalmente dentro de perímetros urbanos, bem como a influência destes sobre a população de forma geral. Algumas pesquisas foram feitas por: Barbosa (1992), Valadares (1997), Calixto et al (2001), Bortoli (2002), Maia (2003) entre outras.

Estudos realizados sobre o tema mostram que na composição do tráfego, os veículos pesados (ônibus e caminhões) são as fontes sonoras mais potentes (VALADARES, 1997). Nos centros urbanos, principalmente nas grandes metrópoles, a circulação destes veículos nas vias de tráfego é intensa, principalmente os ônibus, visto que estes são partes integrantes dos sistemas urbanos de transporte coletivo (RODRIGUES et al, 2005a).

No Brasil, a predominância no transporte coletivo urbano é de ônibus ANTP (2005). Os sistemas de transportes são formados por quatro componentes funcionais: veículos, vias, terminais e plano operacionais, sendo os terminais de transporte os locais onde as viagens começam e terminam e, além disso, quando mais de uma modalidade de transporte é requerida para a realização de uma viagem, a baldeação, ou a mudança de veículo, ocorre sempre num terminal. Os terminais podem ser edifícios especialmente projetados e

construídos para este fim, ou podem ser simplesmente locais predeterminados onde as viagens se iniciam ou terminam (ROVIRIEGO et al., 2004).

Os terminais possuem tráfego intenso de pedestres e ônibus durante todo o dia, sendo que os momentos mais críticos são nos horários de pico. Conforme já citado, os veículos de grande porte são importantes colaboradores para o ruído de tráfego devido principalmente à potência de seus motores. Portanto, os terminais de transporte coletivo urbano estão sujeitos a elevados níveis de ruído gerados principalmente pelos motores do ônibus em movimento em seus interiores.

Segundo Rodrigues et al (2005b) a arquitetura destes locais é muito similar, com presença de algumas fachadas, muros, marquises e coberturas, porém os projetos variam de caso a caso. Os terminais de maior porte possuem várias baias para atender uma maior demanda do fluxo de ônibus. As características arquitetônicas dos terminais podem comprometer um pouco mais os níveis de ruído no interior dos terminais. Isto por que as paredes e teto presentes nestas edificações funcionam acusticamente como superfícies refletoras das ondas sonoras.

Neste contexto, as ondas sonoras emitidas pelos ônibus (fonte) que trafegam no interior dos terminais atingem o ouvido (receptor) dos passageiros e/ou trabalhadores que estão presentes no local de duas maneiras distintas: diretamente ou por reflexão. Essa reincidência de ondas sonoras colabora significativamente para que o nível de ruído seja bastante insalubre.

1.2 - JUSTIFICATIVA

Segundo a Organização Mundial de Saúde, a poluição sonora nos dias de hoje é tão importante quanto à poluição atmosférica e da água (NIEMEYER & SLAMA, 1998).

O ruído tem os mais diversos tipos de efeitos negativos no homem. O primeiro deles é a perda de audição temporária ou permanente, pois, a exposição a altos níveis de ruído danifica as células da cóclea (GERGES, 1992). Têm se para a faixa de 55 a 75 dB (A) o desconforto auditivo, enquanto a partir de 75 dB (A) começa a surgir algum tipo de lesão

auditiva. Já para níveis de pressão sonora entre 110 e 130 dB (A) os danos à audição podem ser irreversíveis (VON GIERKE & ELDRED, 1993).

Outras patologias nos seres humanos referentes ao ruído são extra-auditivas de ordem psicofísica. A partir de 60 dB (A) podem ocorrer alterações no batimento cardíaco, e aumento da pressão arterial. Outros efeitos negativos podem ser sentidos pelo aparelho digestivo e ainda pelo sistema endócrino (GERGES, 1992).

Segundo Gerges (1992) vibrações em baixas frequências da ordem de 1 a 80 Hz são as mais prejudiciais ao corpo humano, e especificamente na faixa de 4 a 8 Hz pois estas estimulam as frequências naturais dos órgãos, o que por sua vez também pode trazer algum tipo de complicação.

Alem disso o ruído pode causar ansiedade, estresse emocional, dores de cabeça, neuroses, psicoses, histeria, baixo desempenho de tarefas, disfunções sexuais, perturbações no sono, irritabilidade entre, outras (VON GIERKE & ELDRED, 1993).

Um estudo realizado por Pimentel-Souza (2000) mostrou que o ruído também afeta de maneira negativa o sono, e isto implica em perda de eficiência nos afazeres do dia-a-dia.

Segundo Maia (2003), estudos realizados mostraram que exposições frequentes a níveis de ruído acima de 80 dB (A) afetam profundamente a saúde, e os efeitos podem ser cumulativos variando com o tempo de exposição.

Considerando que nos centros urbanos de portes médios e grandes, o principal contribuinte para a poluição sonora é o tráfego de veículos e, em particular, os ônibus e caminhões emitem maiores níveis de ruído devido à potência de seus motores, os sistemas de transporte coletivo por ônibus no Brasil são grandes contribuintes para o somatório geral do ruído de tráfego urbano.

Dessa maneira, os terminais urbanos de transporte coletivo estão sujeitos a tráfegos intensos de veículos classificados como pesados que são fontes potentes de emissão de ruído.

Torna-se necessário portanto, tomar as devidas providências quanto à minimização da poluição sonora nestes ambientes para dar melhores condições de trabalho às pessoas que ali permanecem durante muito tempo, bem como àqueles que apenas utilizam o terminal para procedimentos rotineiros de transbordo de viagens.

Portanto, é de suma importância que os níveis de ruídos gerados nos terminais sejam quantificados através de medições para que seja possível então estabelecer parâmetros para a realização de iniciativas que objetivem reverter ou minorar a poluição sonora.

E, além disso, este trabalho pode servir de referência para direcionar futuros projetos arquitetônicos de terminais urbanos que levem em consideração possíveis patologias referentes ao ruído interno, bem como os impactos nos seus arredores.

As legislações Brasileiras referentes a ruído (NBR 10151 e NBR 10152) não possuem um item que seja específico de terminais de transporte coletivo. Não existe portanto valores limites para o interior destes ambientes de maneira que, a título de análise, no presente trabalho considerar-se-á os valores relativos ao ruído de tráfego nos centros urbanos (NBR10151).

1.3 - OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver modelos estatísticos para a previsão do ruído em terminais do transporte coletivo por ônibus que contribuam para caracterizar os níveis de ruído.

Os modelos são exclusivos para o interior de terminais de transporte coletivo, e levam em consideração o fluxo de ônibus e vans bem como as características geométricas e arquitetônicas do local. A partir destes modelos será possível a geração de cenários futuros (simulação em fase de projeto dos níveis de ruído nos terminais para auxiliar na especificação de materiais, geometria e caracterização dos riscos e prevenção de doenças) e, portanto, elaborar propostas e medidas exclusivas para tratamento do ruído. O principal modelo a ser desenvolvido é o de previsão do Nível Sonoro Equivalente (L_{eq}), porém com intuito de tentar descrever ao máximo o comportamento dos níveis de ruído e suas

implicações, também serão desenvolvidos, modelos para previsão dos níveis percentis L_{90} , L_{50} e L_{10} , nível de incômodo ao usuário e, ainda, um modelo para previsão do ruído emitido por ônibus em função da rotação do motor. Os modelos serão calibrados com base na teoria de regressão linear. A validação dos modelos será feita através do coeficiente de determinação estatística, teste “t” de student e erro padrão de estimativa.

Além disso, pretende-se com o presente estudo:

- Quantificar os níveis de ruído interno nos horários de pico nos terminais que serão utilizados na pesquisa;
- Fazer uma análise estatística do ruído nos terminais através de parâmetros de nível sonoro equivalente L_{eq} , níveis percentis L_{10} , L_{50} e L_{90} e frequência de ocorrência dos níveis de ruído;
- Analisar a resposta do usuário com relação ao ruído nos terminais;
- Verificar uma possível diminuição dos níveis de ruído nos terminais através de um experimento onde os motoristas são orientados a manterem baixo o giro dos motores dos ônibus;

1.4 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está organizado em sete capítulos. De uma forma geral, o presente capítulo situa a importância do tema nos dias atuais; os dois capítulos a seguir fazem uma revisão teórica sobre os conceitos acústicos necessários para o bom entendimento do trabalho e ainda uma revisão sobre os trabalhos publicados sobre o assunto nos últimos anos. Os capítulos restantes são referentes à parte prática do trabalho e o desenvolvimento dos modelos para previsão de ruído. A seguir será apresentado o “Layout” da dissertação:

No próximo capítulo realizar-se-á um estudo dos conceitos básicos de acústica bem como os parâmetros que serão utilizados para análise do ruído nos terminais.

No **Capítulo 3** é realizada uma revisão bibliográfica sobre a abordagem que foi dada ao tema Ruído de Tráfego nos últimos anos de forma geral;

No **Capítulo 4** é descrita toda a metodologia adotada e os procedimentos para caracterização da área de estudo, medições de ruído, contagem volumétrica, determinação das variáveis geométricas arquitetônicas dos terminais, pesquisas de opinião com usuários, medições de ruído em veículos isolados e medição de ruído com restrição no giro dos motores;

O **Capítulo 5** apresenta todos os dados levantados na pesquisa e ainda faz uma discussão sobre os níveis de ruído medidos;

O **Capítulo 6** é destinado exclusivamente aos procedimentos necessários para o desenvolvimento dos modelos de previsão de ruído;

No **Capítulo 7** são feitas as conclusões da pesquisa bem como sugestões para trabalhos futuros;

Por último, o Anexo A apresenta as definições dos principais conceitos estatísticos que serão citados e analisados no presente trabalho.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DE ACÚSTICA

2.1 – SOM: CONCEITOS E PRINCÍPIOS BÁSICOS

Os fundamentos básicos necessários para o entendimento do presente trabalho são apresentados neste capítulo. Segundo Kinsler et al (1982), acústica é a ciência que estuda a geração, transmissão e recepção de energia em forma de ondas vibratórias. Estas ondas são capazes de produzir sons, quando vibram em determinadas condições.

A NB-101 (ABNT, 1963) define o som como “forma de energia proveniente de um corpo emitindo, em uma ou todas as direções, certos movimentos vibratórios que se propagam em meios elásticos e que se podem ouvir”. A Norma Brasileira TB-143 (ABNT, 1973) refere-se ao o som como toda e qualquer vibração mecânica em um meio elástico na faixa de audiodfrequência. Kinsler et al (1982) definem o som como sendo ondas acústicas capazes de produzir sensações no ouvido humano através de variações de pressão propagando em um fluido compressível. Halliday e Resnick (1984) descrevem o som como sendo ondas longitudinais que se propagam através de pequenas oscilações das partículas que constituem um meio qualquer. E, por último, segundo Gerges (1992), o som pode ser definido como flutuações de pressão em um meio compressível qualquer, e transmitido pela colisão sucessiva das moléculas.

Independente das pequenas variações na definição, o som se propaga basicamente sob a forma de ondas esféricas a partir de uma fonte pontual, podendo também ser a partir de fontes planas ou lineares. Durante sua propagação, a onda sonora sofre modificações no

tempo e espaço em relação a sua forma de equilíbrio. A equação que rege o movimento ondulatório do som em três dimensões, segundo Kinsler et al (1982), é apresentada na Equação 2.1, a seguir:

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2.1)$$

Onde:

- $\nabla^2 \equiv \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2 + \partial^2 / \partial z^2$
- p é pressão acústica da onda;
- c é a velocidade do som no meio;
- t é o tempo;

Ao se propagar, a velocidade com que ocorrem as variações de pressão é de extrema importância. A taxa de ocorrência da flutuação completa de pressão é conhecida como frequência (KINSLER et al, 1982). Ou seja, frequência é o número de vezes que um ciclo completo de uma onda ocorre em um determinado espaço de tempo. Quando a unidade de medida do tempo é o “segundo”, então a unidade de frequência é expressa em Hertz (Hz). O ouvido humano é capaz de perceber variações de pressão entre 20 Hz e 20.000 Hz, conforme apresentado na Figura 2.1.

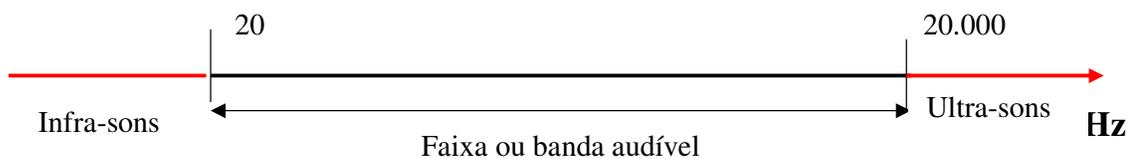


Figura 2.1 – Faixa de frequências audível pelo ser humano

A onda sonora é do tipo mecânica e possui algumas características peculiares com relação à propagação, que serão descritas a seguir (HALLIDAY E RESNICK, 1984):

- Difração: fenômeno pelo qual uma onda atinge, em meios homogêneos e isótropos, regiões posteriores a barreiras ou fendas que segundo o princípio de propagação retilínea deveriam ser regiões de sombra;

- Interferência: fenômeno que ocorre no encontro de duas ondas e há então uma soma ou uma subtração de suas propriedades. Chama-se a soma de interferência construtiva, enquanto a subtração é a interferência destrutiva;
- Reflexão: é o fenômeno pelo qual uma onda retorna ao meio de origem após a incidência em uma superfície com características refletoras;
- Refração: é o fenômeno que ocorre quando uma onda passa de um meio para outro diferente. Sua velocidade de propagação muda, porém sua frequência permanece constante.

Outros importantes parâmetros de caracterização da onda sonora são o comprimento, a amplitude e a velocidade. O comprimento da onda é definido como a distância necessária para ocorrer um ciclo completo. O quadrado da velocidade de propagação de uma onda sonora em um fluido (ar, água e etc.) é dada pela primeira derivada da pressão em relação à densidade do fluido conforme a Equação 2.2 a seguir:

$$c^2 = \frac{\partial^2 p}{\partial \rho^2} \quad (2.2)$$

Onde:

- c é a velocidade de propagação da onda;
- p é a pressão do fluido;
- ρ é a densidade do fluido;

Porém, devido a características singulares do processo termodinâmico do mecanismo de propagação de ondas acústicas nos gases, a Equação 2.2 pode ser simplificada da seguinte maneira (KINSLER et al, 1982):

$$c^2 = \frac{\mathcal{P}}{\rho} \quad (2.3)$$

Onde:

- γ é a razão entre o calor específico do gás com pressão constante e o calor específico do gás com volume constante;

A temperatura dos gases também influencia na velocidade de propagação das ondas sonoras. A Tabela 2.1 a seguir, apresenta alguns valores da velocidade do som no ar em função da temperatura, supondo-se uma umidade relativa de 50 %.

Tabela 2.1 – Velocidade do som no ar em função da temperatura

Temperatura (c°)	Velocidade do som (m/s)
-20	319
-10	326
0	332
10	338
20	344
30	355

Fonte: KINSLER et al (1982)

Uma outra maneira de se definir a velocidade do som é através do comprimento da onda e sua frequência, conforme pode ser visto a seguir:

$$c = f \cdot \lambda \quad (2.4)$$

Onde:

- c é a velocidade expressa em m/s;
- f é a frequência em Hertz;
- λ é o comprimento de onda em m;

Outro fator de suma importância na propagação do som é a sua atenuação com a distância. O som ao se propagar sofre uma diminuição na sua intensidade, causada por dois fatores

(KINSLER et al, 1982):

- Dispersão das ondas: o som ao se propagar no ar (ondas esféricas) tem a sua área de propagação aumentada, em função do aumento da área da esfera. Como a energia sonora (energia de vibração das moléculas de ar) é a mesma, ocorre uma diluição dessa energia, causando uma atenuação na intensidade.
- Perdas entrópicas: numa onda sonora, onde acontecem sucessivas compressões e rarefações, ocorrem pequenos aumentos e diminuições na temperatura quando a

propagação acontece em um meio fluido como o ar. Pela 2ª Lei da Termodinâmica, sempre que se realiza uma transformação energética, acontece uma perda, ou seja, parte da energia se perde em forma de calor. É a chamada perda entrópica. Assim, na propagação do som, parte da energia se transforma em calor, atenuação esta que depende da frequência do som, da temperatura e da umidade relativa do ar.

Algumas afirmações podem ser ditas com relação à propagação do som e são mostradas a seguir (KINSLER et al, 1982):

- A propagação do som no ar é diretamente proporcional ao aumento da frequência das ondas sonoras, ou seja, sons mais graves possuem menor atenuação com a distância;
- A propagação do som no ar é inversamente proporcional ao aumento da temperatura, ou seja, quanto maior é a temperatura maior é a impedância à propagação, apesar da velocidade ser maior;
- A propagação do som no ar é proporcional ao aumento da umidade relativa;
- A propagação do som no ar é menor em ambientes poluídos com monóxido e dióxido de carbono;

Ao se propagar, os sons podem chegar aos nossos ouvidos com maior ou menor intensidade. O que define o quão “alto” é um som quando percebido pelo nosso ouvido é sua amplitude. Esta se refere à magnitude da flutuação de pressão total em comparação com a pressão atmosférica estática. É expressa como sendo a altura (gráfica) ou o volume das ondas sonoras e descritas em unidades de força por unidade de área, N/m^2 ou μPa . Frequentemente a amplitude é convertida em intensidade sonora, $watts/m^2$, visto que a pressão varia com a distância, direção e ainda com o ambiente.

Devido a enorme extensão de intensidade acústica que o ouvido humano consegue distinguir (variações de pressão sonora perceptíveis estendem-se por uma faixa de 1 (um) a 10 (dez) milhões), foi adotada uma escala do tipo logaritmo para representar esta grandeza. A escala logarítmica decibel (dB) representa melhor a percepção das variações de pressão sonora pelo ouvido humano. Dessa maneira define-se o nível de intensidade acústica ou sonora com sendo (GERGES, 1992):

$$I_s = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.5)$$

Onde:

- I_s é a intensidade sonora (dB);
- I é a intensidade sonora medida em watts/m^2 ;
- I_0 é a intensidade de referencia, 10^{-12} watts/m^2 .

A intensidade acústica é proporcional ao quadrado da pressão acústica, logo o nível de pressão sonora é dado por (GERGES, 1982):

$$\text{NPS} = 10 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \quad (2.6)$$

Onde:

- NPS é o Nível de Pressão Sonora (dB);
- p é a Pressão Sonora Medida (Pa);
- p_0 é a Pressão Sonora de Referência, normalmente 20 μPa , correspondente ao limiar da audição a 1000 Hz;

O intervalo de pressão sonora considerado para o ouvido do ser humano é compreendido entre 0 dB (limiar da audição) e 140 dB (limiar da dor). Zero dB não é uma ausência de som, simplesmente implica que o nível em questão é igual ao nível de referência, 20 μPa . A Tabela 2.2 apresenta alguns níveis de pressão sonora para ruídos encontrados no dia-a-dia.

Tabela 2.2 - Níveis de pressão sonora de fontes comuns

Sons Comuns	Níveis dB (A)
Turbina de um jato	140
Discoteca	120
Buzina de carro (1m)	110
Bate estacas	110
Veículo pesado (15m)	90
Voz humana (1m)	70
Veículos leves (30m)	50
Estúdio de gravação	30

(Fonte: BRUEL & KJAER, 2001)

Devido à natureza não-linear da escala decibel, operações de soma e subtração possuem um procedimento específico. A seguir serão dados alguns exemplos que mostram isso:

- Ao se dobrar o valor da intensidade sonora, o aumento conseqüente será de apenas 3 dB na escala logarítima;
- Se a intensidade sonora for multiplicada por 10, o incremento será de apenas 10 dB;
- A intensidade sonora 120 dB é um trilhão de vezes maior do que o limiar da audição 0 dB;

Pode ser visto na Tabela 2.3, a relação entre pressão sonora em μPa , a intensidade em watts/m^2 e o nível sonoro na escala logarítima em dB na qual é possível ver claramente que a variação da pressão sonora com o nível sonoro não é linear.

Tabela 2.3 – Relação entre Pressão sonora, Intensidade e Nível Sonoro

Pressão Sonora (μPa)	Intensidade sonora (10 -12 watts/m ²)	Nível sonoro (dB)
200.000.000	100.000.000.000.000	140
	10.000.000.000.000	130
20.000.000	1.000.000.000.000	120
	100.000.000.000	110
2.000.000	10.000.000.000	100
	1.000.000.000	90
200000	100.000.000	80
	10.000.000	70
20.000	1.000.000	60
	100.000	50
2.000	10.000	40
	1.000	30
200	100	20
	10	1
20	1	0

Independente da intensidade de som a que se esteja exposto, o ouvido humano não tem a mesma sensibilidade para os níveis de pressão sonora no que diz respeito as diferentes freqüências de vibração das ondas. O ouvido é menos sensível nas baixas freqüências, por isso adota-se uma curva balanceada que visa adequar os níveis medidos à sensibilidade do ouvido humano nas diversas freqüências. Esta escala é chamada de curva de ponderação “A”. Existem outras escalas (B, C e D), porém não são comumente usadas. A curva do tipo “D” é utilizada, segundo Gerges (1992), para medições em aeroportos. São mostradas na Figura 2.2 as curvas de compensação “A”, “B” e “C”:

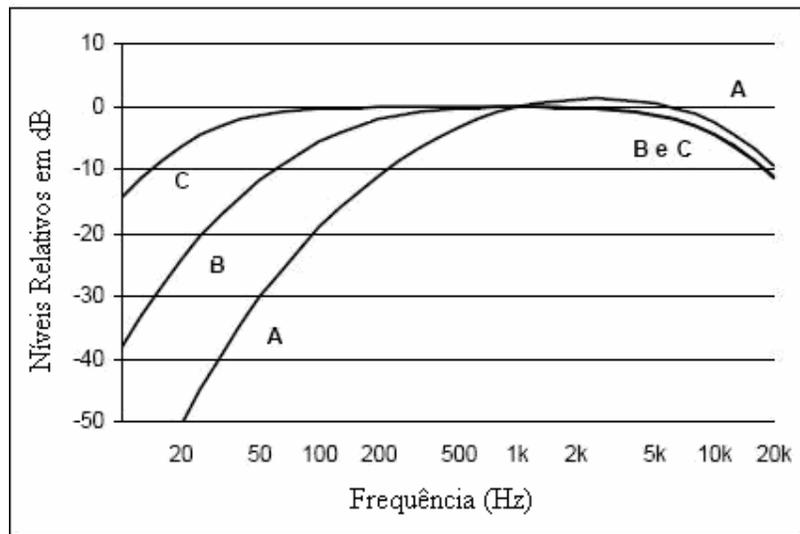


Figura 2.2 – Curvas de compensação na escala decibel
(Fonte: LELAND & RICHARDS, 1998)

2.2 – CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO COMO UM CASO PARTICULAR DO SOM

Conforme já foi mencionado, uma fonte sonora pode emitir ondas sonoras de diversas frequências ao mesmo tempo, e quando essas ondas são do tipo aperiódicas, chama-se basicamente este som de ruído (KINSLER et al, 1982). A definição é muito abstrata, mas são basicamente sons indesejados e que muitas vezes causam efeitos negativos sobre os receptores. Dependendo da intensidade acústica, uma simples música clássica de extremo bom gosto pode se tornar um ruído e ser prejudicial não somente aos ouvidos, mas também aos órgãos do corpo e ainda causar problemas psicológicos.

O ruído é um som de grande complexibilidade, resultante da superposição desarmônica de sons provenientes de várias fontes (FERNANDES, 2002). Um exemplo de onda do tipo aperiódica que caracteriza os sons classificados como ruído pode ser vista na Figura 2.3, na qual o eixo “y” é a amplitude e o eixo x é o tempo:

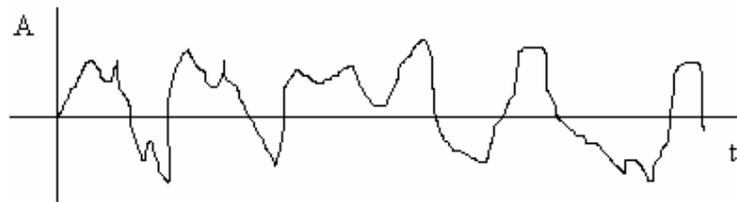


Figura 2.3 – Exemplo de onda do tipo aperiódica (ruído)

Altos níveis de ruído são comuns nos centros urbanos de portes médio e grande. Diversas atividades antrópicas dos dias atuais são potentes fontes geradoras de ruído. Segundo a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (1992), os principais geradores de ruído em uma cidade são: os modos de transportes terrestres, o trânsito de veículos, com o ruído dos motores, buzinas e sirenes; o tráfego aéreo; as obras de construção de edificações, além da abertura e recuperação de vias e outros espaços públicos; as atividades industriais, com ruídos internos e externos, desde as sirenes até o maquinário que utilizam; o comércio e os serviços que funcionam em espaços sem proteção acústica e, muitas vezes, trabalham em altos níveis de pressão sonora; as máquinas e os equipamentos de maneira geral, usadas nas diversas atividades, inclusive os eletrodomésticos e brinquedos; as academias de ginástica e dança, templos religiosos, dentre outros.

Segundo a NBR 10151 (ABNT, 2000) o ruído pode apresentar-se de diferentes maneiras, podendo então ser classificado da seguinte maneira:

- Ruído contínuo: com variações de nível desprezíveis durante o período de observação;
- Ruído intermitente: cujo nível cai ao valor de fundo várias vezes durante o período de observação, sendo o tempo em que permanece em valor constante, acima do valor de fundo, da ordem de segundos ou mais;
- Ruído de impacto ou impulsivo: quando apresenta picos de energia acústica de duração inferior a um segundo, por intervalos superiores a um segundo.

As Figuras 2.4a-2.4c a seguir exemplificam de maneira simplificada os tipos de ruído descritos acima:

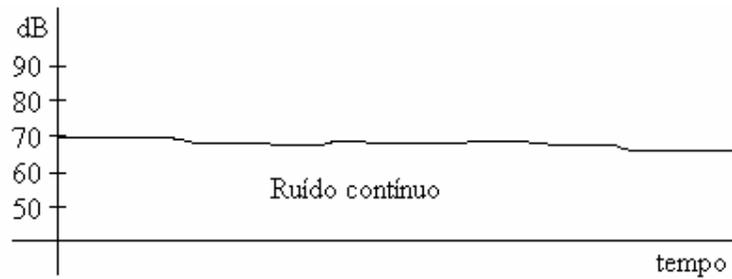


Figura 2.4a – Exemplo de ruído do tipo contínuo



Figura 2.4b – Exemplo de ruído do tipo intermitente



Figura 2.4c – Exemplo de ruído do tipo impulsivo

O ruído proveniente do espaço urbano é bastante complexo e difícil de ser classificado em apenas uma das 3 definições descritas acima. Isto porque este pode obter valores constantes durante as medições, como também pode apresentar picos de energia e também cair até o valor do ruído de fundo por várias vezes durante a medição. Porém, o ruído proveniente dos centros urbanos adapta-se melhor à definição de ruído intermitente, apresentando em momentos isolados alguns picos (uma rápida descompressão do sistema de freio a ar de veículos pesados, por exemplo).

A norma NBR 10151 (ABNT, 2000) estabelece padrões de controle dos níveis sonoros nas áreas urbanas, através da verificação do nível Máximo de ruído permitido nos períodos

diurno e noturno em diversos tipos de usos do solo. Este nível é chamado de nível critério de avaliação (NCA) e está apresentado na Tabela 2.4. Tão importante quanto os níveis de ruído é também o tempo de exposição a que um indivíduo fica exposto. A Tabela 2.5 mostra os tempos máximos recomendados pela Portaria 3214/1978 da Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT, 1978) de acordo com o nível de pressão sonora.

Tabela 2.4 - Nível critério de avaliação (NCA) para ambientes externos

Tipos de áreas	Diurno (dB)	Noturno (dB)
Sítios e Fazendas	40	35
Estritamente residencial urbana, hospitais ou escolas	50	45
Mista, predominantemente residencial	55	50
Mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: Norma Brasileira NBR 10151 (ABNT, 2000)

Tabela 2.5 – Limites de tempo de exposição diária a ruído

NPS dB (A)	Tempo de Exposição
85	08 horas
86	07 horas
87	06 horas
88	05 horas
89	04h30 horas
90	04 horas
91	03h30 horas
92	03 horas
93	02h30 horas
94	02:15 horas
95	02 horas
96	01:45 horas
98	01:15 horas
100	01 hora
102	45 min.
104	35 min.
105	30 min.
106	25 min.
108	20 min.
110	15 min.
112	10 min.
114	08 min.
115	07 min.

Fonte: Portaria 3214(CL, 1978)

Em geral, é difícil encontrar hoje em dia nas cidades de porte médio e grandes, áreas cujos tipos de usos do solo estejam com os níveis de ruído dentro dos limites estabelecidos. Diversas pesquisas têm mostrado isso, ALVARES & PIMENTEL (1992b), BARBOSA (1992), VALADARES(1997), BORTOLI (2002), MAIA (2003), LI et al. (2002), ALBA et al (2003), ALI (2004), entre outros.

A exposição em diferentes níveis e com diferentes durações é considerada dentro dos limites permitidos da portaria quando o valor da Dose Diária de Ruído (D), calculada pela Equação 2.7, não exceder o valor 1 (GERGES, 1992).

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} \dots + \frac{C_m}{T_m} \quad (2.7)$$

Onde:

- D é a dose diária de ruído;
- C_i é o tempo real de exposição a um específico NPS;
- T_i é o tempo total permitido para aquele NPS;

2.2.1 - Efeitos do Ruído no Homem

Ao contrário do que muitos pensam, os efeitos negativos do ruído no homem vão muito além da perda temporária ou permanente da audição. O ruído pode ter ainda efeitos psicológicos e fisiológicos. Mas sem dúvida alguma, a parte do corpo que mais sofre com o ruído é o sistema auditivo. Este é o mais sofisticado sensor de som, podendo detectar variações de pressão acima de $20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$ na faixa de frequência entre 20 Hz e 20000 Hz.

Qualquer redução na sensibilidade da audição é considerada perda de audição. O envelhecimento causa naturalmente uma perda de audição principalmente nas altas frequências, chamado de presbiacusia, porém a exposição a altos níveis de ruído por tempos longos também danifica as células da cóclea e assim pode contribuir para algum tipo de redução da sensibilidade auditiva (GERGES, 1992). Quando exposto a altos níveis de ruído, um indivíduo pode sofrer a chamada Mudança Temporária do Limiar da Audição

(MTLA), principalmente na banda de frequência entre 1 e 5 kHz. Se a exposição tiver maior duração, essa perda pode se tornar permanente e não somente nesta faixa de frequências.

A surdez nervosa e irreversível pode ser verificada para níveis de pressão sonora entre 110 e 130 dB(A), sendo que a partir de 75 dB(A) já podem ocorrer lesões auditivas (VON GIERKE & ELDRED, 1993).

Os efeitos extra-auditivos também têm sido estudados por pesquisadores de diversas áreas ligadas à acústica. As vibrações provenientes do ruído refletem diretamente também por todo o corpo humano causando uma serie de alterações, conforme são mostradas a seguir (GERGES, 1992; VECCHI, 2002):

- No aparelho circulatório – ruídos entre 60 e 115 dB podem provocar alterações no número de batimentos cardíacos e aumento da pressão arterial. As conseqüências disso podem ser o aparecimento de hipertensão, infarto do miocárdio e até a morte, dentre outras;
- No aparelho digestivo – observam-se alterações nos movimentos peristálticos e ainda o aumento da produção de ácido clorídrico (HCl), sendo que este último é responsável pelo aparecimento de gastrites e úlceras;
- No sistema endócrino – responsável pela produção e regulação de hormônios no nosso corpo. Alguns desses têm sua produção aumentada em situações de elevados níveis de ruído como por exemplo, adrenalina e cortisol (alteram a pressão arterial), o hormônio de crescimento (sua produção excessiva pode causar diabetes *mellitus*), a prolactina (causa alterações sexuais e reprodutivas). Em situações de ruído elevado, há a liberação de algumas endorfinas que podem ocasionar algum tipo de dependência, ou seja, um indivíduo pode se tornar “barulho-dependente” (PIMENTEL-SOUZA, 2000).

O ruído pode ainda afetar o funcionamento do sistema imunológico dificultando a cura de doenças e ainda afetar as funções sexuais e reprodutivas, sendo que no homem há a diminuição do libido, impotência e/ou infertilidade e nas mulheres ocorrem alterações no ciclo menstrual, dificuldade para engravidar e maior incidência de abortos. Mulheres

grávidas também podem sofrer quando expostas a elevados níveis de ruído, podendo ter filhos com anomalias congênitas (VON GIERKE & ELDRED, 1993).

Além disso, o ruído pode ainda causar consideráveis diminuições de produtividade na realização de tarefas intelectuais e físicas. Em situações monótonas ou desinteressantes, o ruído pode ser causar distração, dificultando a concentração. Para o bom desempenho de tarefas, e aconselhável níveis de ruído em torno de 55 dB(A) (PIMENTEL-SOUZA, 2000).

O ruído também causa serias interferências no sono. Um estudo realizado por Pimentel-Souza (2000) mostrou que para ruídos de fundo em torno de 65 dB(A), os reflexos protetores do ouvido médio parecem funcionar o que ocasiona uma maior demora para adormecer. Segundo o estudo do autor, o ideal seria um nível de ruído abaixo de 35 dB(A) para que haja um sono de qualidade.

Além das patologias ocasionadas pelo ruído (faixa de frequência entre 20 Hz e 20kHz), vibrações incapazes de ser detectadas pelo ouvido humano também podem ser muito prejudiciais à saúde. O corpo humano pode ser considerado como um sistema mecânico complexo de múltiplos graus de liberdade. A faixa de frequência na qual o corpo humano apresenta maior sensibilidade está entre 1 Hz e 80 Hz. Na faixa de frequência entre 4 Hz e 8 Hz encontram-se as frequências naturais dos elementos do corpo humano. A Tabela 2.6 fornece valores de frequências naturais expressas em Hertz de alguns membros do corpo humano:

Tabela 2.6 – Frequências naturais de partes do corpo humano.

Partes do corpo	Frequência (Hz)
Ombros	3-5
Volume Pulmonar	5-10
Pernas	2-20
Antebraço	10-30
Cabeça, modo vertical	20-26
Globo ocular	32-78
Parede do Tórax	50-60
Mão-braço	20-200
Mão-Apertada	50-210

Fonte: Gerges (1992)

2.3 - DESCRITORES DO RUÍDO

O ruído é uma variável bastante complexa, que em muitos casos varia bastante com o tempo, portanto é adequado tratá-lo de maneira singular. O ruído de tráfego, por exemplo, é influenciado por um número muito grande de fatores e deve, portanto, ser tratado estatisticamente. Para isto são utilizados alguns descritores que tentam expressar com maior precisão os níveis de ruído levando em conta suas variações. A seguir serão demonstrados os principais descritores que são de suma importância para o entendimento do presente trabalho.

2.3.1 - Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq})

O Nível Sonoro Equivalente (L_{eq}) é usado para descrever o nível de pressão sonora medido durante um determinado intervalo de tempo “t”. É definido como sendo o nível de som contínuo que tenha a mesma energia acústica do som flutuante que está sendo medido num determinado local. O cálculo é feito integrando-se a variação da pressão no tempo, conforme pode ser visto na Equação 2.8 (GERGES, 1992):

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{100} \sum \left(t_i \cdot 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (2.8)$$

Onde:

- t_i é o percentual do tempo que determinado nível esteve presente
- L_i é o nível observado;

A Figura 2.5, exemplifica graficamente a relação entre a variação do ruído com o tempo e o nível sonoro equivalente L_{eq} .

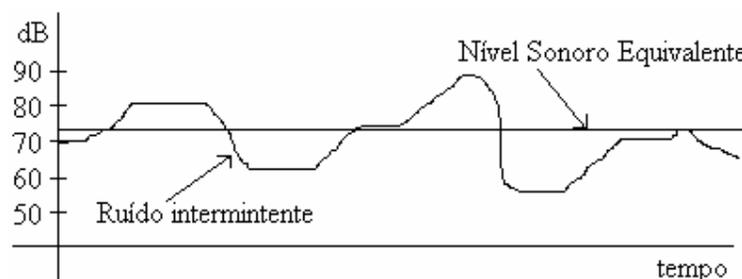


Figura 2.5 – Demonstração gráfica do Nível Sonoro Equivalente

Pode-se adotar qualquer tempo para o período de determinação do L_{eq} , sendo este definido em função dos objetivos da medição que está sendo realizada. O Nível Sonoro Equivalente (L_{eq}) é usualmente utilizado para quantificar níveis de ruído ambiental expressos na curva de ponderação “A”. A NBR 10151 (ABNT, 2000) recomenda o L_{eq} para análises de ruído referente ao tráfego urbano.

2.3.2 - Níveis Percentuais Estatísticos (L_n)

Ao se fazer um histograma cumulativo do ruído durante um determinado tempo de exposição, pode-se obter o percentual do tempo que esteve acima de um certo nível de pressão sonora. Esse parâmetro é de suma importância em medições onde as fontes sonoras possuem intensidades variáveis, como é o caso do ruído de tráfego. O nível percentil pode ser definido como sendo o valor do nível de pressão sonora global ponderado na curva “A”, para o qual durante $n\%$ do tempo de duração da medição, os níveis de pressão sonora registrados ficaram acima dele. Em geral, os níveis percentis de maior interesse em ruído de tráfego são o L_{90} , L_{50} e o L_{10} , sendo que o L_{90} pode ser considerado como o ruído de fundo e o L_{10} como os picos de ruído durante a medição (GERGES, 1992).

2.3.3 - Índice de Ruído de Tráfego (TNI)

O ruído de tráfego oscila muito, de maneira que não é suficientemente representado por valores médios. O índice de ruído de tráfego (TNI) fornece um valor para quantificar o incômodo gerado pelo tráfego, é calculado conforme Equação 2.9 (VALADARES, 1997).

$$TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30dB \quad (2.9)$$

Este índice é usado para descrever o ruído ambiental e considera as variações dos níveis sonoros observados na tentativa de melhorar a relação entre o ruído de tráfego medido e as respostas subjetivas decorrentes de tais ruídos (VECCI, 2002). Tão importante quanto os níveis de ruído observados é também a sua oscilação, portanto o TNI leva em consideração os níveis percentis L_{90} e L_{10} .

CAPÍTULO 3

RUÍDO DE TRÁFEGO URBANO

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar uma revisão bibliográfica das diversas pesquisas referentes a ruído de tráfego que vem sendo realizadas recentemente, inclusive suas abordagens, metodologias e procedimentos. Além disso, serão apresentadas algumas publicações já referentes ao presente trabalho.

As pesquisas e estudos sobre ruído de tráfego têm avançado muito nos últimos anos. Isso se deve à crescente preocupação com relação à insalubridade dos ambientes públicos nas cidades de porte médio e grande. O constante crescimento da frota de veículos é o principal fator contribuinte para a poluição sonora nas áreas urbanas. Diante disso, diversos pesquisadores e cientistas do mundo todo têm realizado estudos a respeito, com o intuito de contribuir de alguma maneira para a minimização das patologias do ruído de tráfego urbano.

O tema ruído de tráfego é muito abrangente e pode ser dividido em vários sub-itens que podem ser pesquisados isoladamente. Dentre eles, pode-se destacar os trabalhos referentes à quantificação dos níveis de ruído nos centros urbanos, o desenvolvimento de modelos de previsão de ruído e, ainda, análises das respostas da comunidade com relação ao incômodo gerado. Além disso, é importante também avaliar as influências da geometria do ambiente externo no ruído total (fachadas de edificações, largura e inclinação das ruas e avenidas, etc.), caracterização do espectro de frequência específica do ruído de tráfego em diversas situações e o desenvolvimento e análise de dispositivos redutores de ruído (barreiras

acústicas). Outro fator importante é a influência do tipo do pavimento e sua respectiva resposta acústica.

Diante da atual preocupação com a poluição sonora, um estudo realizado por Álvares & Souza (1992b) levantou dados sobre o ruído de uma forma geral na cidade de Belo Horizonte (MG). Segundo os autores, o trânsito é o maior contribuinte para a poluição sonora na cidade. Os 21 pontos mais ruidosos apontaram para valores de L_{eq} acima de 79 dB(A). O índice de ruído de tráfego (TNI) encontrado em zonas residenciais foi o segundo mais alto, igual a 108 dB(A). Este trabalho também realizou medições em interiores de escolas e residências, apontando também para a insalubridade nestes locais. Em uma residência da zona sul da cidade, o ruído medido entre 17:00 e 18:30h oscilou bastante entre 55 e 81 dB(A). Valores acima de 70 dB(A) já são considerados insalubres e segundo a NBR 10151 (ABNT, 2000) o ruído não deveria exceder 55 dB(A) durante o dia e 50 dB(A) à noite em zonas residenciais urbanas.

A geometria das edificações nos centros urbanos também tem influência sobre o ruído. Heutschi (1994) realizou um trabalho onde foi analisada a influência de superfícies refletoras de ruído em uma rua longa e reta. As fachadas dos edifícios, em geral, refletem parte das ondas sonoras que nelas incidem, o que influi diretamente nos níveis de ruído no local. Foram desenvolvidos esquemas simplificados que representassem a geometria dos diversos locais escolhidos para análise. Nestes esquemas foram dispostos os seguintes dados: distância da fonte ao receptor, altura do receptor, altura das fachadas e distância entre as fachadas (dos dois lados da rua). A partir destes, foi desenvolvido um modelo matemático que levou em consideração as propriedades difusoras das fachadas para a previsão do ruído nestas condições. Comparados os valores do aumento do ruído devido à presença de edificações entre o método desenvolvido e as medições feitas em campo, percebeu-se que o modelo apresentava boa precisão estatística, com erro médio de 0,5 dB.

Já os autores Silva & Goldner (1998) realizaram um estudo sobre o ruído de tráfego e a poluição atmosférica na cidade de Florianópolis. As medições de ruído foram realizadas em dias típicos da semana (terça, quarta e quinta-feira) e, simultaneamente a isso, mediu-se o fluxo de tráfego. Os resultados das medições mostraram que todos os pontos pesquisados apresentaram níveis sonoros que excederam o valor padronizado pela legislação municipal,

ou seja, 65 dB(A). No centro da cidade este valor é excedido em até 13,6 dB(A). No principal corredor de tráfego da cidade, o nível padronizado (65 dB(A)) foi excedido em até 17,9 dB(A). Neste trabalho um modelo simplificado de previsão de ruído foi desenvolvido em função apenas do fluxo de veículos leves e pesados. O modelo obteve coeficiente de determinação R^2 igual a 0,81 e erro padrão de estimativa de 1,45 e o valor do teste t de Student foi 15,19, sendo que o t_{\min} era de 1,984 para 95% de nível de confiança.

As superfícies e materiais ao redor dos corredores de tráfego podem influenciar positiva ou negativamente sobre os níveis de ruído. Um estudo interessante que aborda a influencia da vegetação na percepção do ruído foi feito por Watts et al. (1999). Segundo o autor, diversos trabalhos têm sido feitos sobre a real eficiência da utilização da vegetação como elemento de redução do nível acústico. Os autores mostraram que sua eficiência é muito baixa, porém a absorção é crescente à medida que se aumenta a largura da área verde. Barreira vegetal pode ter influências psicológicas com relação ao ruído e, para verificar isso, Watts et al. (1999) realizaram medições de ruído em diferentes locais com diferentes densidades de vegetação. Simultaneamente, tentou-se verificar as reações de diversos indivíduos selecionados para a pesquisa. Os participantes foram colocados de frente para a vegetação às distâncias de no mínimo 15 m. Em seguida, foram orientados a concentrar-se na direção de propagação do ruído e fizeram sua avaliação após um período de 20 segundos. As avaliações foram feitas utilizando uma escala variando de 0 a 9 para os níveis de ruído observados. Para este intervalo, gravou-se o ruído proveniente do tráfego para que posteriormente, fossem determinados os seguintes parâmetros: L_{eq} , o nível percentil L_{10} , e o L_{\max} . Devido à aleatoriedade das amostras das pesquisas foram realizadas análises estatísticas usando regressões lineares, as quais indicaram que o campo visual da fonte sonora era diretamente proporcional às respostas sobre o nível de ruído observado.

Existe uma constante discussão sobre a possível eficiência da vegetação com efeito de redução nos níveis acústico. Pesquisas já realizadas há bastante tempo por Moore (1966), Aylor (1972) e Hoover (1961), mostram que a vegetação só pode ser utilizada para absorver ondas sonoras quando aplicadas em uma larga faixa, mesmo para folhagens de alta densidade. Essas pesquisas foram interpretadas através de gráficos e são mostradas em Gerges (1992). Segundo Beranek (1971), em largas faixas de vegetação, aproximadamente

100 m, há uma absorção de 23 dB(A) para densa vegetação, e 3 dB(A) para o caso de vegetação de baixa densidade para frequências da ordem de 1000 Hz. Independente da eficiência da vegetação como material de redução dos níveis sonoros, pode ser utilizada como barreira psicológica, uma vez que para este fim, a vegetação mostrou-se eficiente.

Diferentemente da vegetação, o tipo de pavimento tem uma influência direta sobre o ruído. Para velocidades superiores a 60 Km/h, a maior parcela do ruído de tráfego é devido ao atrito pneu/pavimento. Um estudo realizado por Murgel (2000) teve como objetivo identificar os diferentes níveis de ruído emitidos em função de diferentes tipos de pavimento. Segundo o autor, o ruído é provocado pelo constante golpear das superfícies do pneu com a rugosidade do solo. Quanto menor a rugosidade, menor a vibração e portanto menor será o nível de ruído emitido. No entanto, para superfícies menos rugosas, que são menos aderentes, a segurança do tráfego pode ser comprometida. Entre os pavimentos especiais para controle acústico, destaca-se o pavimento do tipo poroso, pois este tem efeito redutor no nível sonoro.

No trabalho realizado por Murgel (2000) foi determinada a distância necessária do pavimento (rodovia, estrada) para que houvesse uma redução do nível de ruído de 60 dB(A). Foi possível verificar que para asfalto convencional, essa distância é de no mínimo 250 m. Para pavimentos de concreto a distância mínima é de 350 m. Para pavimentos já envelhecidos de asfalto, a distância necessária eleva-se para 450 m.

Dois tipos de asfalto adicionais foram testados. Os asfaltos de baixa rugosidade têm valores menores que 60 dB(A) para distâncias maiores que 150 m. O mesmo valor foi encontrado para o asfalto do tipo poroso, porém este último possui grande vantagem com relação ao anterior, uma vez que possui excelente aderência com o pneu, principalmente em situações de chuva. O autor concluiu que ainda há muita investigação para ser feita com asfalto do tipo poroso, uma vez que apresenta bons resultados em termos de absorção acústica, sem no entanto comprometer a segurança viária.

Tanto o pavimento como todas as outras parcelas que compõem as fontes de ruído de tráfego geram ondas sonoras em um largo espectro de frequências. Uma caracterização deste espectro em áreas urbanas foi feita por Valadares et al. (2000), através de medições

realizadas na cidade de Belo Horizonte. Foi possível observar que os maiores níveis encontrados foram nas baixas frequências (abaixo de 500 Hz), com pico em torno de 63 Hz. Essas informações são de grande importância, não somente para projetos de isolamento sonoros de fachadas de edifícios próximos a corredores de tráfego, mas também para projetos de barreiras acústicas.

Dentre os diversos enfoques em pesquisas com ruído de tráfego, a quantificação dos níveis encontrados nas áreas urbanas e o desenvolvimento de modelos são os mais comuns. Reis et al. (2000) investigaram a poluição sonora na cidade de Uberlândia - MG, através de um estudo de caso. As medições foram realizadas em ambientes externo e interno, em quatro pontos distintos de áreas residências, comerciais, hospitalares e escolares, em horário diurno. Os níveis de ruído encontrados em alguns locais estão bem acima do recomendado pela NBR 10151 (ABNT, 2000). Valores para o L_{eq} foram obtidos em torno de 75 dB(A). As medições realizadas na área hospitalar apontaram L_{eq} de 63 dB(A). Em um movimentado cruzamento da cidade situado em área comercial, o L_{eq} chegou a 77 dB(A). Em decorrência deste estudo desenvolveu-se um modelo de previsão para ambientes externos em função apenas do fluxo de tráfego. O modelo mostrou ser estatisticamente significativo, apresentando coeficiente de determinação de 84,3 %, erro padrão de estimativa $S_{y(e)} = 2,07$ e valor para o teste t de Student $t_{(b)} = 4,0$ para 95% de nível de confiança. O modelo de previsão para os ambientes internos não obteve sucesso, pois o modelo testado não apresentou boa significância estatística.

Algumas pesquisas desenvolvidas na análise de ruído de tráfego em ambientes internos também têm sido muito importantes, visto que grande parte da população vem sofrendo com a poluição sonora em seus próprios domicílios. Um estudo de caso do incômodo gerado pelo ruído de tráfego em zonas residenciais foi feito por Arruda et al. (2000). Foi detectado que moradores de um condomínio de elevado padrão no Rio de Janeiro estavam sujeitos a níveis de ruído muito elevados devido ao tráfego em avenidas próximas. As medições realizadas mostraram que, nos apartamentos, os valores obtidos estavam acima do permitido para o local, que é igual a 55 dB(A). Na fachada do edifício o L_{eq} obtido foi de 65,4 dB(A), no quarto o valor de $L_{eq} = 65,7$ dB(A), na varanda $L_{eq} = 70,2$ dB(A) e na sala de estar o L_{eq} foi igual a 63,9 dB(A). Uma análise do espectro de frequências do ruído no local também foi realizado. Os resultados indicaram que os maiores níveis foram para

as baixas frequências, com pico em torno de 60 Hz. Uma análise das possíveis soluções para o problema neste local foi feita pelos autores e apontou para o uso do asfalto poroso como o melhor procedimento a ser adotado para este caso.

Uma maneira de prever o ruído ainda na etapa de projeto de uma rodovia, avenida ou rua é através dos modelos de previsão. Foi apresentada por Steele (2001) uma vasta revisão sobre os modelos de ruído de tráfego existentes, suas origens, metodologias e aplicações. Segundo o autor, o primeiro modelo de previsão de ruído gerado pelo tráfego de veículos deve ter sido desenvolvido em torno de 1952. O modelo fornecia o L_{50} a partir do fluxo de tráfego e da distância da fonte. Sua principal limitação era que apenas velocidades entre 55 e 70 km/h eram consideradas, e distâncias da fonte tinha que ser maiores que 5 metros. Em 1965 foi inserida uma variável referente à velocidade e no ano seguinte inseriu-se a variável “percentagem de veículos pesados”.

Steele (2001) faz ainda uma detalhada descrição sobre os modelos mais utilizados nos dias atuais. O primeiro deles, pertencente à Federal Highway Administration (FHWA), foi desenvolvido nos Estados Unidos pelo Departamento Federal de Transporte em Rodovias. O modelo que possui o *software* associado (STAMINA) assume fontes pontuais viajando a uma mesma velocidade e fornece o L_{eq} . Seu algoritmo é em função da composição de tráfego, distância da fonte, velocidade dos veículos, atenuações devido a obstáculos, ângulos de abertura de recepção e tempo de medição. Posteriormente, algumas melhorias foram feitas no método, como a possibilidade de importar dados via CAD e a inserção de variáveis relativas à aceleração e sinais de parada.

Um outro método de previsão de ruído, o CRTN (Calculation of Road Traffic Noise), foi desenvolvido e é bastante utilizado no Reino Unido. Neste modelo, segundo Steele (2001) considera-se fonte linear de ruídos, e estudos realizados mostraram que o modelo possui erros menores para faixas maiores de ruído, ou seja, de 80 dB(A) a 85 dB(A). O modelo que fornece o L_{10} trabalha com velocidades constantes de tráfego e faz uma simplificação estatística para levar em consideração a atenuação devido às barreiras na propagação sonora.

O método RLS 90 (Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen) que foi desenvolvido na Alemanha é o modelo padrão utilizado no país para previsões de ruído de tráfego. Através do método, a pressão sonora é fornecida em cada caso. Seu algoritmo é bastante completo e complexo, pois leva em consideração a absorção do ar, as influências atmosféricas e topográficas, e as características das fachadas das edificações, já que estas podem absorver parte da energia sonora incidente. O RLS 90 possui ainda um diferencial com relação aos outros modelos, já que considera influência das áreas de estacionamento no ruído final de tráfego.

Ainda segundo Steele (2001) o *software* comercial, MITHRA, foi desenvolvido por uma empresa francesa para lidar com o ruído de tráfego. O programa considera a fonte como sendo do tipo linear. Em seu algoritmo o *software* aborda as influências devidas à atmosfera e topografia, além das variáveis de caracterização do fluxo. O *software* realiza simulações para estradas comuns considerando seis tipos diferentes de pavimento. O MITHRA também pode realizar simulações de ruído provenientes de ferrovias. A propagação das ondas sonoras é tratada pelo princípio da reciprocidade (considera-se uma fonte no receptor). A influência da potência acústica de um veículo leve é calculada em função de sua velocidade e das características do tráfego local (fluxo livre, em condição de aceleração ou com paradas).

Tão importantes quanto os modelos de previsão, são também os trabalhos que visam quantificar a situação vigente no que diz respeito a níveis de ruído. Um levantamento de níveis de ruído em centros urbanos foi realizado por Li et al. (2002). Segundo o autor, na cidade de Beijing na China, a contribuição do ruído de tráfego no ruído total é de 61,2%. O autor realizou um estudo na cidade onde foi medido o ruído em três grandes corredores de tráfego na cidade com um total de 41 pontos de medição. As medições foram realizadas durante 20 dias úteis a uma distância de 20 cm do meio fio.

Os resultados das análises feitas por Li et al. (2002) mostraram que apenas um ponto de medição não possuía níveis de ruído acima do que é permitido pela legislação local (70dB(A)). Em 39 pontos de medição os valores encontrados para o NPL (nível de poluição sonora) estiveram em torno de 75 dB(A), o que já é considerado “inaceitável” e para os outros dois pontos os valores excederam 88 dB(A). O nível sonoro equivalente

(L_{eq}) está acima de 75 dB(A) para 22 dos 41 pontos medidos. Os autores concluem afirmando que a saúde da população de Beijing é afetada de alguma maneira pelos elevados níveis de ruído de tráfego na cidade.

Ali et al. (2002) realizaram trabalho similar, fazendo um levantamento dos níveis de ruído na cidade do Cairo (Egito). Foram selecionados cinco pontos distintos, dos quais dois estavam situados em corredores de tráfego, e o restante em grandes praças da cidade, onde há grande influência do tráfego urbano. Os principais indicadores de ruído mensurados das 7:00 às 21:00h foram o L_{eq} , o L_{10} , e o L_{90} . Características geométricas das vias, fluxo de tráfego e velocidade média também foram medidos. O L_{eq} em todos os pontos medidos esteve acima de 76 dB(A) chegando a 88,9 dB(A) em determinados locais. O parâmetro L_{90} esteve acima de 69 dB(A) em todas as situações, enquanto o L_{10} não foi menor que 78,5 dB(A). Uma pesquisa simples de opinião foi realizada simultaneamente às medições de ruído. Verificou-se que 73,8 % dos entrevistados se diziam incomodados com o ruído da cidade. A pesquisa apontou ainda que 72,2 % dos respondentes se diziam estar incomodados com as buzinas dos veículos, 51,7 % disseram estar incomodados com o ruído dos veículos em alta velocidade, 46,3 % dos entrevistados dizem estar incomodados com os ruídos devido à má conservação dos veículos em circulação e 43% se diziam estar incomodados com o ruído provocado pelo contato dos pneus com o pavimento.

Um trabalho realizado por Bortoli (2002) teve o objetivo de analisar o ruído urbano na cidade de Curitiba em diversas épocas do ano. Os níveis sonoros auferidos pelos monitores acústicos instalados na cidade foram comparados com os obtidos a partir de um medidor portátil. Além disso, objetivou-se também verificar alguma correlação entre os níveis de ruído encontrado e o fluxo viário nos diversos pontos analisados. As amostras feitas pelo medidor portátil foram coletadas em um período de 8 horas não consecutivas, em intervalos regulares de 15 segundos. A primeira comparação entre os valores medidos pelos medidores fixos e portáteis mostrou uma coerência dos resultados, pois a divergência entre o L_{eq} calculado foi de apenas 1,9 %. Uma análise anual do L_{eq} para os vários pontos em questão foi realizada. O maior L_{eq} encontrado foi 72 dB(A) com o medidor localizado na Av. Pres. Kennedy. O aparelho foi localizado numa via de tráfego rápida. Em geral, para todos os pontos analisados, os níveis de ruído foram considerados insalubres. De posse das análises realizadas em períodos específicos do ano, não foi possível encontrar

uma correlação única para todos os medidores. Cada um possui uma certa particularidade, visto que cada região da cidade possui picos de fluxo em diferentes horários e épocas do ano. O monitor acústico denominado Água Verde, localizado próximo ao *shopping center* apresentou os maiores níveis de ruído no período de férias escolares. Este fato indica que há um aumento do fluxo de veículos neste local. O mesmo fenômeno ocorreu no medidor localizado na Praça Rui Barbosa, visto que a área recebe muitas pessoas em busca de compras, especialmente nessas épocas do ano. Situação inversa foi encontrada pelo monitor localizado no bairro Jardim Social de uso exclusivamente residencial, o que comprovou menor nível de ruído devido ao menor fluxo de veículos em época de férias.

A percepção do usuário é de suma importância nos estudos de ruído de tráfego. Um trabalho que identificou a reação da população com relação ao ruído foi feito por Zannin et al. (2002) na cidade de Curitiba-PR. No estudo, foram distribuídos questionários à população, com questões sobre dados demográficos do ambiente residencial urbano e níveis de desconforto causado pelo ruído. Os resultados da pesquisa mostraram que 76% dos entrevistados dizem-se incomodados com o ruído e apontam como principal fator responsável o trânsito intenso, seguido dos vizinhos. Com relação a um possível aumento do ruído com o passar dos anos, 60% dos entrevistados afirmam que o ruído aumentou nos locais próximos de suas residências. Este estudo possibilitou perceber a resposta da comunidade em diversas zonas da cidade onde já haviam sido feito trabalhos de medição de ruído, porém sem a aplicação de nenhuma pesquisa de opinião.

Pesquisa mais específica sobre o incômodo do ruído de tráfego foi feita por Versfeld et al. (2002). Os autores investigaram a possibilidade de alguma relação entre o incômodo causado pelo ruído e a proporção de veículos pesados. Para a realização do experimento foram coletadas amostras de ruído de tráfego de diferentes veículos leves e pesados à velocidade de aproximadamente 80 km/h, para posterior reprodução em laboratório. As pessoas selecionadas para participar da pesquisa foram expostas aos diferentes tipos de ruído e, então, questionadas sobre o incômodo causado por cada um. A metodologia adotada para a realização dos testes em laboratório com vinte pessoas adultas selecionadas indicou que o incômodo gerado pelo ruído dos veículos leves é maior do que o gerado pelos veículos pesados, isto sob determinadas condições (como $L_{eq} = 60$ dB(A) para as duas situações, e condições de tráfego estáveis). Os experimentos permitiram ainda

concluir que a utilização do nível sonoro equivalente, L_{eq} , para a previsão do incômodo gerado pelo ruído é satisfatória, mesmo em condições de variação da proporção de veículos pesados no fluxo.

Independentemente das características da composição do tráfego, as cidades de porte médio e grande são as mais afetadas pela poluição sonora, tanto no período diurno como noturno. Maia (2003) realizou um levantamento dos níveis de pressão sonora na cidade de Porto Alegre, durante 24 horas de um dia típico de semana em diversas zonas da cidade. As medições foram realizadas a partir de residências particulares, com o equipamento medidor colocado em janela voltada para o ambiente externo na altura aproximada do observador. Foram coletados os níveis L_5 , L_{10} , L_{20} , L_{30} , L_{40} , L_{50} , L_{60} , L_{70} , L_{80} , L_{90} , e ainda L_{min} , L_{max} , L_{eq} e desvio padrão em todos os pontos. Uma análise do espectro de frequências do ruído coletado nos diversos pontos da cidade também foi realizada.

Praticamente em todos os locais onde se realizaram as medições, os níveis de ruído estiveram acima do permitido pela legislação vigente. Somente para alguns pontos, durante a noite, foram obtidos L_{eq} inferior a 55 dB(A). O menor $L_{eq,24hs}$ encontrado foi 52,1 dB(A), com desvio padrão de 1,65. O maior $L_{eq,24hs}$ foi igual a 71 dB(A) com desvio de 4,49. A análise espectral realizada mostra que os níveis de ruído podem ser divididos em três grupos, quais sejam, aqueles com curvatura ascendente até 800 Hz, aqueles que possuem um patamar mais definido nas baixas frequências e aqueles que têm formato parabólico com centro em 1.600 Hz.

Maia (2003) ainda comparou os níveis de ruído medidos com os valores previstos por alguns modelos de previsão. A melhor correlação foi obtida pelo modelo desenvolvido pelo *Department of Transport HMSO* (1988).

O constante crescimento das cidades faz com que as rodovias se tornem grandes avenidas expressas. Com o intuito de desenvolver um modelo de previsão que contribuísse para a determinação dos níveis de ruído nas rodovias que chegam à cidade de Curitiba, Calixto et al. (2003) realizaram uma vasta coleta de dados de ruído e tráfego em 100 diferentes pontos localizados nas rodovias federais, BR-116 e BR-277, na área urbana da cidade. Calibrando modelos com base na teoria de regressão linear múltipla com os dados

coletados, testaram-se várias hipóteses a fim de se obter a melhor resposta estatística. O melhor ajuste encontrado foi em função do logaritmo do fluxo de veículos e da porcentagem de veículos pesados. O modelo desenvolvido foi comparado com o modelo alemão de previsão de ruído RLS-90. Os resultados mostraram que os dois modelos podem ser utilizados para previsão de ruído nas rodovias na cidade de Curitiba, apesar do modelo desenvolvido ser menos preciso.

O estudo ainda permitiu verificar que o nível sonoro equivalente médio (L_{eq}) nas rodovias em estudo está acima de 73 dB(A) e que nas zonas residenciais (ZRs) da cidade o L_{eq} médio obtido foi de 73,2 dB(A), acima em 18,2 dB(A) dos níveis permitidos na cidade para esta área urbana.

Nos centros urbanos, rodovias e avenidas possuem os maiores fluxos de tráfego, e portanto estão bastante sujeitas ao ruído. Valadares et al. (2003) realizaram uma vasta pesquisa sobre poluição sonora na cidade de Belo Horizonte. Foram coletados dados de ruído e tráfego durante 6 meses em 14 corredores da cidade entre 6:00 e 23:00h com amostras em intervalos de 10 min. Dentre os principais indicadores do ruído ambiental que foram mensurados destacam-se o L_{eq} , o L_{10} , o L_{90} , o L_{max} , o L_{min} e o TNI. Um modelo simplificado de previsão foi desenvolvido através da técnica de regressão linear múltipla. Os resultados estatísticos apontaram coeficiente de determinação R^2 de 75,7%, o que é bastante significativo para os modelos de previsão de ruído. O trabalho permitiu ainda concluir que os níveis de ruído encontrados não atendem os níveis recomendados para saúde pública. A média do L_{eq} encontrado para os corredores de tráfego foi de 78 dB(A) no período diurno e 77dB(A) no período noturno. A média do índice de ruído de tráfego (TNI) foi de 107 dB(A) durante a noite e 103dB(A) durante o dia.

Algumas medições são de extrema dificuldade para serem realizadas, como por exemplo, interromper o tráfego em um grande corredor para medir o ruído. Alba et al. (2003) aproveitaram de uma situação temporária para a realização de um trabalho que não seria possível em outras circunstâncias. Devido a algumas obras na estrada que passa pela cidade de Montilla de Palancar na Espanha, o tráfego teve de ser desviado temporariamente. Com isto, pôde-se observar a diminuição do ruído devido ao menor fluxo de veículos no local. Foram coletados dados de ruído em 17 pontos diferentes distribuídos

pelos 3.500 m do trecho escolhido da estrada. Destes, sete foram na área urbana da cidade e o restante em acessos e entroncamentos, localizados em áreas industriais. Para cada amostra determinou-se o L_{eq} , o L_{90} , o L_{50} e o L_{10} . O fluxo de veículos também foi contabilizado. As medições enquanto o fluxo de veículos ainda não havia sido desviado apresentou valores para o L_{eq} entre 70 dB(A) e 75 dB(A). Com as obras, o fluxo diminuiu praticamente pela metade, e houve conseqüentemente uma redução dos níveis de ruído em praticamente todos os pontos. As menores reduções foram da ordem de 3,0 dB(A), enquanto as maiores foram em torno de 7,5 dB(A). Os parâmetros analisados que obtiveram menores reduções foram o L_{eq} e o L_{10} . A redução média nos níveis de ruído foi considerável e em diversos pontos chegaram a atingir o nível recomendado (65 dB(A)) pela Organização Mundial da Saúde.

Estruturas organizacionais como planos diretores dividem a área urbana em diversos tipos e padrões de usos do solo. Para cada uma delas, existe um nível máximo de ruído permitido. Um estudo feito por Ali (2004) teve como objetivo quantificar os níveis de ruído provenientes do tráfego na cidade de Assiut (Egito). Além disso, tiveram que verificar se os valores encontrados excediam os níveis permitidos pelas legislações regionais pertinentes e, ainda avaliar, se existe alguma relação entre os níveis de ruído de tráfego e o incômodo causado à população. Foram realizadas 20 medições em diferentes áreas da cidade. Dois destes pontos estavam situados em vias expressas, seis em vias arteriais, seis em vias coletoras e os outros seis em vias locais. As grandezas utilizadas para a caracterização do ruído foram o L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{99} e o L_{eq} . O fluxo de veículos, assim como sua velocidade média, também foram mensurados. As medições de ruído foram feitas durante 24 horas com amostras de 10 minutos por hora.

Constatou-se neste trabalho que os níveis de ruído na cidade de Assiut estavam acima do permitido pelas normas no Egito. O nível sonoro equivalente medido continuamente durante o dia e a noite, L_{dn} , ficou acima de 81 dB(A) nas duas vias expressas. Todas as vias arteriais obtiveram L_{dn} acima de 74 dB(A) e duas acima de 81dB(A). Em algumas áreas residências onde o valor máximo permitido é 65 dB(A) foram encontrados L_{eq} 's acima de 80 dB(A). Foi realizada também uma pesquisa de opinião com relação ao incômodo gerado pelo ruído de tráfego na cidade. Os resultados mostram que 37,2 % dos entrevistados declararam estar “muito incomodados” com o ruído, 21,3 % disseram estar

“incomodados”, 13,4 % estiveram “moderadamente incomodados”, 6,4 % declararam estar “pouco incomodados”, 9,2 % “não se sentiam incomodados” e 12,5 % disseram “não escutar ruído algum”. Foi possível ainda estabelecer uma forte relação entre os níveis de ruído e o incômodo gerado. Para valores em torno de 60 dB(A) apenas 18% dos entrevistados responderam que se sentiam “muito incomodados” com o ruído, enquanto em locais onde os níveis de ruído encontravam-se em torno de 80 dB(A), 60% dos entrevistados afirmaram estar “muito incomodados” com os níveis de ruído.

Uma grande parcela do ruído de tráfego é proveniente da reação de combustão dos motores, principalmente em baixas velocidades. Quando os veículos são submetidos às rampas ascendentes, é exigido de seus motores um torque maior, e como conseqüência, torna-se maior a emissão de ruído. Tang et al (2004) realizaram uma pesquisa dos níveis de ruído em vias inclinadas com fluxo livre na cidade de Hong Kong (Japão). Foram coletados dados de ruído, velocidade média, caracterização do fluxo e grau de declividade da via em 19 pontos selecionados. O menor L_{eq} encontrado foi igual a 73,4 dB(A) e o maior foi 83,5 dB(A). Em alguns pontos de medição houveram picos de ruído maiores que 100 dB(A) chegando a 104 dB(A) em um deles.

Tang et al (2004) realizaram ainda uma comparação dos níveis obtidos por medição com diversos modelos de previsão de ruído. Os melhores coeficientes de determinação R^2 foram obtidos para a previsão do L_{90} . O melhor modelo obteve um coeficiente igual a 0,816, enquanto o pior obteve apenas 0,516. O melhor coeficiente obtido para a previsão de L_{eq} foi igual a 0,555 enquanto o menor valor foi igual a 0,191. O trabalho permite verificar que a influência da rampa nas vias é maior para os níveis percentis de excedência menores, como o L_{10} .

Conforme já dito anteriormente, o ruído é uma variável muito complexa, e muitas vezes influenciadas por fatores mínimos que variam de local para local. Portanto em muitas situações os modelos desenvolvidos não apresentam eficiência satisfatória. Cho et al. (2004) realizaram medições de ruído em 12 diferentes locais de uma auto-estrada para posteriormente comparar com os níveis previstos pelo modelo especificado na Norma Internacional ISO 9613 – *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors* (1993). O modelo leva em consideração a atenuação devido a diversos fatores como, por

exemplo, divergências geométricas e atenuação devido aos efeitos atmosféricos. Dos locais selecionados para medição apenas quatro possuíam pavimento asfáltico, o restante era de concreto. Simultaneamente as medições de ruído, determinaram-se a velocidade dos veículos, velocidade do vento, temperatura e umidade.

Os resultados mostraram que a diferença média entre os níveis medidos e previstos pelo modelo é de 0,3 dB(A), com desvio padrão de 2,05 dB(A). Porém, ao refinar a análise em termos de bandas de oitava, a diferença média elevou-se para 1,2 dB(A) e o desvio padrão para 2,9 dB(A). Foi possível verificar uma perda de precisão do modelo para as frequências centrais de 63 Hz, 125 Hz e 8000 Hz. De forma geral, o modelo testado apresentou resultados bastante satisfatórios para a previsão de ruído nas condições propostas.

Um caso particular do ruído de tráfego é o ruído em terminais de transporte coletivo urbano. Estes locais cada vez mais comuns nas cidades de porte médio e grande têm a função de interligar linhas e/ou modos de um sistema de transportes. No entanto, estes ambientes estão sujeitos a elevados níveis de ruído devido ao constante transitar de ônibus em seus interiores. Além do mais possuem geometrias semi-fechadas o que aumenta a reflexão sonora e, por conseqüência, o nível de ruído interno.

Rodrigues et al. (2005a) realizaram um trabalho nos terminais de transporte coletivo na cidade de Uberlândia (MG). O estudo teve como objetivo levantar dados de ruído e de fluxo de ônibus, simultaneamente, para os cinco terminais de transportes na cidade. Também foi desenvolvido um modelo estatístico capaz de prever o ruído nestes locais. As medições foram realizadas em horário de pico de forma a considerar a situação mais crítica. Os resultados mostraram que os níveis de ruído neste locais foram suficientes para caracterizá-los como insalubres. Em todos os terminais, o parâmetro L_{eq} foi maior que 72 dB(A), sendo que no terminal central da cidade, no qual há o maior fluxo de ônibus, o L_{eq} foi igual a 80 dB(A). Três modelos estatísticos foram testados com a base de dados coletada (RODRIGUES et al, 2005a), O modelo que obteve maior precisão foi em função do logaritmo do fluxo de ônibus com um coeficiente de determinação igual a 0,81, erro padrão de estimativa $S_{Y(E)} = 1,48$ e valor de $t_{(b)} = 155,57$ associado ao coeficiente “b” no teste t de Student para 95% de nível de confiança.

Dando continuidade ao trabalho anterior, testou-se a inserção de variáveis de natureza arquitetônicas no modelo desenvolvido, com o objetivo de se obter uma melhor resposta estatística para os modelos de previsão (RODRIGUES et al, 2005b). Para isso, utilizaram-se sólidos fictícios para uma representação simulada da geometria dos terminais obtendo a área total refletora, o volume do sólido etc. Uma outra variável considerada foi o número de plataformas dos terminais. Os resultados obtidos dos modelos calibrados empregando a teoria de regressão linear múltipla considerando uma grande possibilidade de combinação das variáveis mostraram que existe uma correlação entre o ruído e as características geométricas do terminal, conforme esperado. Ao considerar no modelo os parâmetros de área superficial total, áreas refletoras, pé-direito e número de baias obteve-se maior nível de significância estatística no modelo conforme os indicadores estatísticos obtidos, ou seja, o coeficiente de determinação aumentou para $R^2=0,83$ com um erro padrão de estimativa $S_{Y(E)} = 1,44$ e valor de $t_{(b)} = 10,64$ associado ao coeficiente “b” no teste t de Student para 95% de nível de confiança.

Os avanços realizados até então nas pesquisas nos terminais são satisfatórios, visto que os parâmetros de verificação estatística validam o modelo. É necessário ampliar a base de dados para verificar uma possível generalização do modelo, para que se possa tornar uma eficiente ferramenta para estimar o nível de ruído em terminais a serem construídos no futuro.

Fica claro portanto quão atual é o tema e sua relevância dentro dos interesses acadêmicos da comunidade científica. Tanto no Brasil, como em diversos países, a preocupação com o ruído de tráfego tem se mostrado presente. Trabalhos que quantificam os níveis de ruído e também que implementam modelos para auxiliar na previsão são os mais comuns. A seguir será apresentado a metodologia utilizada no presente trabalho.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

Este capítulo tem por objetivo caracterizar a área de estudo, bem como descrever a metodologia adotada para realização do presente trabalho, referente à coleta e análise de dados, equipamento utilizado, referências normativas, desenvolvimento dos modelos e procedimentos adicionais. Inicialmente será realizada uma sucinta descrição do elemento “Terminal de Transporte Coletivo Urbano” para então iniciar-se a caracterização da área de estudo. Em seguida descrever-se-á a metodologia de trabalho.

4.1 - TERMINAIS URBANOS COMO COMPONENTES DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE COLETIVO

O ambiente que está sendo foco de análise no presente trabalho é um elemento integrante de sistemas de transportes. Os terminais de integração estão presentes em cidades de porte médio e grande. Além dos usuários e bens transportados, os sistemas de transportes são formados por quatro componentes funcionais: veículos, vias, terminais e plano de operações (ROVIRIEGO et al 2004). Os terminais são locais cuja função principal é fazer a interligação das várias linhas de ônibus que compõem o sistema, podendo também fazer a interligação de mais de um modo de transporte, como por exemplo, estações de conexão entre ônibus e metrô. Terminais de transporte geralmente são edifícios semi-fechados com presença de superfícies refletoras (teto, muros, paredes etc.) que agravam a questão do ruído interno gerado principalmente pelo trânsito dos ônibus e tornando-se, assim, em ambientes insalubres.

De maneira geral o *layout* de funcionamento destes locais é muito similar quanto à entrada e saída de veículos, pontos de parada internos e o próprio tráfego. Porém, os projetos arquitetônicos podem se diferenciar bastante, mas em geral, sempre têm superfícies que funcionarão como elemento reflexivo para as ondas sonoras produzidas principalmente pelos motores dos ônibus e conseqüentemente contribuirá negativamente para os níveis de ruído.

No presente estudo foram analisados um total de nove terminais de transportes, sendo cinco na cidade de Uberlândia e quatro na cidade de Belo Horizonte, conforme listados a seguir:

Terminais em Uberlândia:

- Terminal Central
- Terminal Umuarama
- Terminal Santa Luzia
- Terminal Planalto
- Terminal Industrial

Terminais em Belo Horizonte:

- Estação Venda Nova
- Estação Barreiro
- Estação Diamante
- Estação São Gabriel

4.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.2.1 - Belo Horizonte

Belo Horizonte foi a primeira cidade planejada do país. Projetada pelo engenheiro paraense Aarão Reis, a cidade teve em sua origem os setores urbano e suburbano separados pela avenida do Contorno. Hoje, com cerca de 2,3 milhões de habitantes a capital mineira tem como principal contribuinte no Produto Interno Bruto (PIB) os prestadores de serviços, que nas mais variadas modalidades respondem por mais de 85%, enquanto a atividade

industrial abrange quase a totalidade dos 15% restantes. A cidade cresceu bastante em área e população desde sua construção, o que fez surgir demanda por vários tipos de serviços comuns nos centros urbanos, dentre eles a necessidade da elaboração de um complexo sistema de transporte público para seus habitantes.

Recentemente a cidade de Belo Horizonte passou por uma total reestruturação de seu sistema. O atual plano vem sendo aprimorado desde 1995 e recebe o nome de BHBUS. Foi desenvolvido a partir das diretrizes de desenvolvimento estabelecidas pelo Plano Diretor da cidade (BHTRANS, 2005). O motivo da implantação deste novo plano de transportes foi buscar melhorias no então vigente sistema de transportes. Alguns dos principais objetivos da reestruturação estão mostrados a seguir:

- Induzir maior nível de descentralização urbana;
- Reduzir os tempos das viagens;
- Implantar a integração tarifária e o sistema de bilhetagem eletrônica;
- Melhorar as condições ambientais nos corredores e na área central da cidade;

O BHBUS está baseado no atendimento à demanda através de serviços de grande capacidade (metrô) e de média capacidade (serviços troncais para o subsistema sobre pneus) interligados por terminais de integração. Além disso, melhorias para circulação dos ônibus têm sido feitas visando diminuir os tempos de viagem, dando prioridade ao transporte público. Dos três principais corredores, dois já foram tratados: a avenida Cristiano Machado, com cerca de 11 km de pistas exclusivas e a av. Amazonas, que dispõe de 10 km de faixas preferenciais. As obras que priorizam o transporte público já foram iniciadas no corredor com maior volume de ônibus da cidade, a Av. Antonio Carlos, conforme informações da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2005).

Transportando diariamente 1,4 milhões de usuários, o BHBUS abrange mais de 260 linhas exploradas por 48 empresas vencedoras na última licitação. O sistema opera com um IPK de 2,34 (Índice de Passageiro por Quilômetro) sendo 2.819 veículos em circulação com idade média de 5 anos e 3 meses (BHTRANS, 2005).

No atual projeto estão previstos nove terminais que funcionarão como estações de integração para os bairros. Destas, quatro irão operar no modo intramodal (integrando apenas linhas de ônibus) e estão listadas a seguir:

- Pampulha
- Alípio de Melo
- Diamante
- Venda Nova

Os outros cinco terminais irão operar na categoria intermodal (integrando linhas de ônibus e metrô) conforme estão mostrados a seguir:

- Vilarinho
- São Gabriel
- José Cândido da Silveira
- Barreiro
- Salgado Filho

Além desses terminais, estão previstas ainda a construção de instalações especiais (pequenas estações) para a transferência de passageiros na área central da cidade, junto às estações do metrô, Lagoinha e Central. A Figura 4.1 mostra o mapa do município de Belo Horizonte e o posicionamento dos Terminais.

A Tabela 4.1 faz um resumo das principais informações dos terminais em funcionamento e em implantação na cidade de Belo Horizonte. São apresentados a situação que a estação se encontra (em funcionamento, em construção etc.), a quantidade de passageiros atual e projetada, o total de linhas de ônibus e a frota, bem como o total de área construída para cada um dos terminais.

Atualmente estão em funcionamento apenas quatro estações, sendo estas, Estação Barreiro, Estação Diamante, Estação São Gabriel e Estação Venda Nova. Todas estas estações foram analisadas neste trabalho. A seguir será realizada uma breve apresentação de cada um e ainda será mostrada na forma de layout simplificado, a área de circulação dos veículos. Alguns tiveram que ser mensurados para poderem então ser digitalizados.

Tabela 4.1 - Dados dos terminais do sistema BHBUS

Terminal de Integração	Função	Situação Atual	Passageiro Atual		Passageiro Projetado		Frota	Linhas	Área Construída (m ²)
			DU	HPM	DU	HPM			
Diamante	Ônibus/ônibus	Em operação	47.500	5.700	40.000	4.800	127	14	12.040
Venda Nova	Ônibus/ônibus	Em operação	40.800	4.900	54.000	6.500	151	15	18.482
São Gabriel (1)	Ônibus/metrô	Em operação	144.000	17.300	200.000	24.000	40	10	23.216
Barreiro	Ônibus/ônibus (2)	Em operação	78.500	8.320	60.000	7.300	190	23	35.477
Vilarinho	Ônibus/metrô	Opera apenas metrô Área ônibus em obras	21.180 (3)	176.480 (3)	112.500	13.500	335	47	62.000
José Cândido	Ônibus/metrô	Inaugura início 2006			44.020	4.850	49	11 (4)	-----
Pampulha	Ônibus/ônibus (2)	Proj. Arquitetônico sendo detalhado			54.700	6.500	167	15	50.603
Alípio de Melo	Ônibus/ônibus	Terreno Adquirido			59.400	6.500	211	21	25.000
Salgado Filho	Ônibus/ônibus (2)	Terreno Adquirido			31.300	3.400	110	13	17.650

Fonte: Gerência de Planejamento da Mobilidade - GEMOB/BHTRANS.

DU - Dia Útil.

HPM - Hora Pico Manhã.

(1) Mais linhas deverão ser integradas na ala Leste da estação em 2006.

(2) Com a expansão futura do metrô esses terminais poderão ser integrados, passando a ser ônibus/metrô.

(3) Ainda atende apenas usuários do Metrô, pois está em obras a área de integração dos ônibus.

(4) Inclui linhas metropolitanas.

4.2.1a - Estação Diamante

Em 21 de junho de 1997, a BHTRANS inaugurou no Barreiro a Estação Diamante, a primeira estação do BHBUS com operação intramodal, ou seja, integrando serviço de transporte coletivo por ônibus. Segundo informações disponíveis pela BHTRANS, funciona no terminal um total de 23 linhas (algumas são de jurisdição do DER/MG), que transportam em média 47.000 passageiros integrados por dia útil (BHTRANS, 2005).

Três tipos de linhas de ônibus operam na Estação Diamante: alimentadoras, troncais e perimetrais. As linhas do tipo alimentadoras (amarelas) fazem a ligação bairro-estação-bairro. As linhas do tipo troncais (verdes) partem da Estação Diamante e vão para o centro da cidade, sendo algumas sem paradas intermediárias (troncal direto) e outras com paradas ao longo do trajeto (troncal paradora). As linhas do tipo perimetral (laranjada) fazem a interligação de bairros distantes, mas sem passar pelo centro da cidade.

A estação possui cinco corredores por onde estão distribuídos os pontos de parada das varias linhas de ônibus. Só há uma entrada para os veículos no terminal e todas as baias operam com sentido único de fluxo. Na Figura 4.2 a seguir está mostrado um layout do terminal, no qual é possível ver no lado direito a entrada para os ônibus.

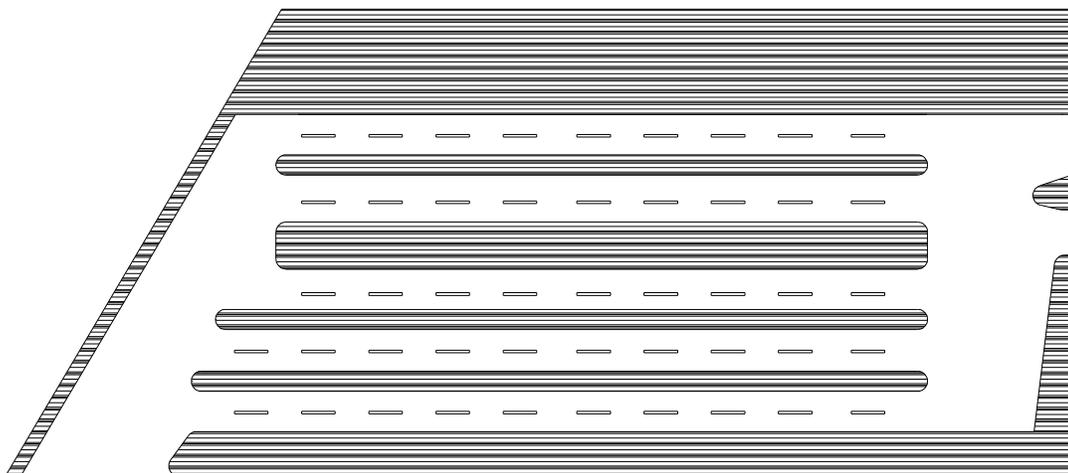


Figura 4.2 – Layout simplificado da área de circulação de veículos na Estação Diamante

4.2.1b - Estação Venda Nova

A Estação Venda Nova é do tipo intermodal (integra o serviço de ônibus ao metrô). Implantada em setembro de 2000, o terminal está trabalhando com cerca de 41.000 usuários diariamente, que correspondem a 25% do total de usuários estimados para a região. O custo da execução deste terminal foi R\$ 7 milhões, dos quais 90% foi proveniente da própria prefeitura e o restante financiado pelo BNDES (BHTRANS, 2005).

Localizada à Rua Padre Pedro Pinto em uma área de mais de 18.000 m² a Estação Venda Nova opera com 15 linhas integradas. Na área de circulação a estação opera em seis corredores e há ainda uma área reservada para estacionamento dos ônibus. O terminal possui apenas uma entrada de veículos conforme pode ser visto no lado esquerdo do layout simplificado apresentado na Figura 4.3:

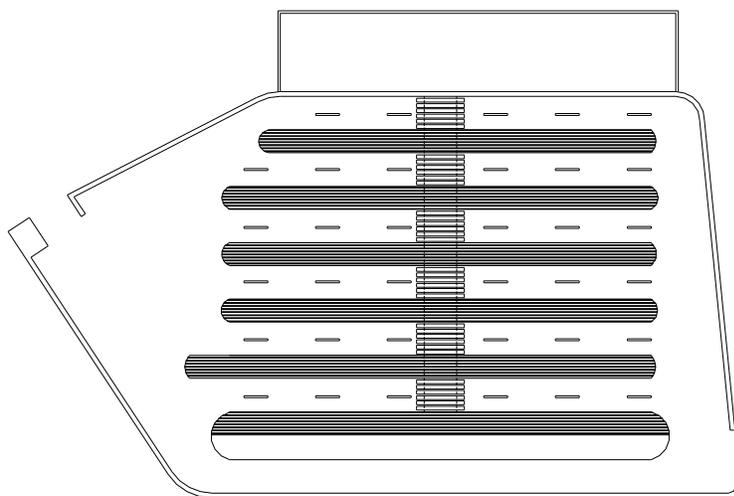


Figura 4.3 – Layout simplificado da área de circulação de veículos da Estação Venda Nova

Após a inauguração do terminal, foi necessário uma alteração do projeto. Na planta inicial a saída dos veículos era realizada por meio de uma rampa ascendente, o que implicava em altos níveis de ruído emitidos pelos motores dos veículos. Houve uma manifestação generalizada por parte da população local junto a BHTRANS para que medidas fossem tomadas visando solucionar o problema. A alteração realizada permite que os ônibus saiam da estação sem a necessidade de trafegar em aclives, o que implicaria em maiores níveis de ruído.

4.2.1c - Estação Barreiro

A Estação Barreiro foi inaugurada em dezembro de 2002. Foi o primeiro terminal a ser construído com recurso proveniente também da iniciativa privada na cidade de Belo Horizonte. A obra foi contratada, em outubro de 1999, por R\$16 milhões, sendo que desse montante, R\$8,8 milhões foram investidos pela BHTRANS e R\$7,2 milhões foram investidos pelo consórcio vencedor da licitação - LGN Participações.

A estação está localizada no bairro Barreiro e ocupa uma área total de 35 mil m². No pavimento térreo estão localizadas as plataformas de embarque e desembarque dos passageiros, parte da área administrativa da BHTRANS, edificações de apoio aos operadores de ônibus e área de apoio aos serviços de manutenção e limpeza. Esse nível possui, aproximadamente, 17 mil m² de área construída. Nos andares superiores foi construído um *shopping center* com vasta área comercial e de lazer. A estação possui ainda um andar de estacionamento para um total de 3.000 veículos.

O terminal que opera com 23 linhas de ônibus tem capacidade para aproximadamente 80 mil pessoas/dia no atendimento ao transporte coletivo pelo sistema de ônibus. Estima-se que aproximadamente 100 mil pessoas passarão neste terminal diariamente, uma vez que dispõe de diversos tipos de empreendimentos. A estação operará no modo intermodal, interligando o serviço de ônibus ao Trem Metropolitano de Belo Horizonte. A seguir pode ser visto na Figura 4.4 o esquema simplificado da área de plataformas da Estação Barreiro.

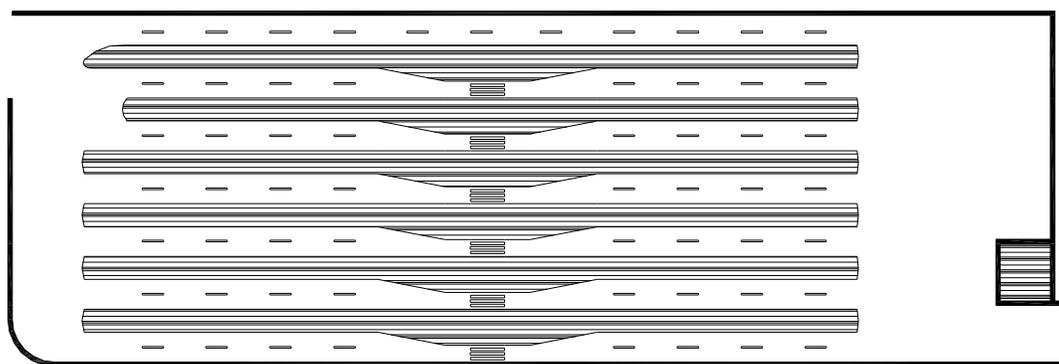


Figura 4.4 – Layout simplificado da área de circulação dos veículos da Estação Barreiro

4.2.1d - São Gabriel

A estação São Gabriel foi a última a entrar em funcionamento em Belo Horizonte. Localizado na região nordeste da cidade, o terminal opera atualmente com 10 linhas distribuídas em cinco corredores onde estão dispostos os pontos de parada. Esta estação é do tipo intermodal, pois interliga as linhas de ônibus com o sistema de metrô da capital. A estação que está ainda em ampliação opera com 144.000 mil passageiros/dia (ônibus e metrô), porém com a ampliação da ala leste estima-se um total de 200.000 passageiros/dia. O esquema da Estação pode ser visto a seguir na Figura 4.5.

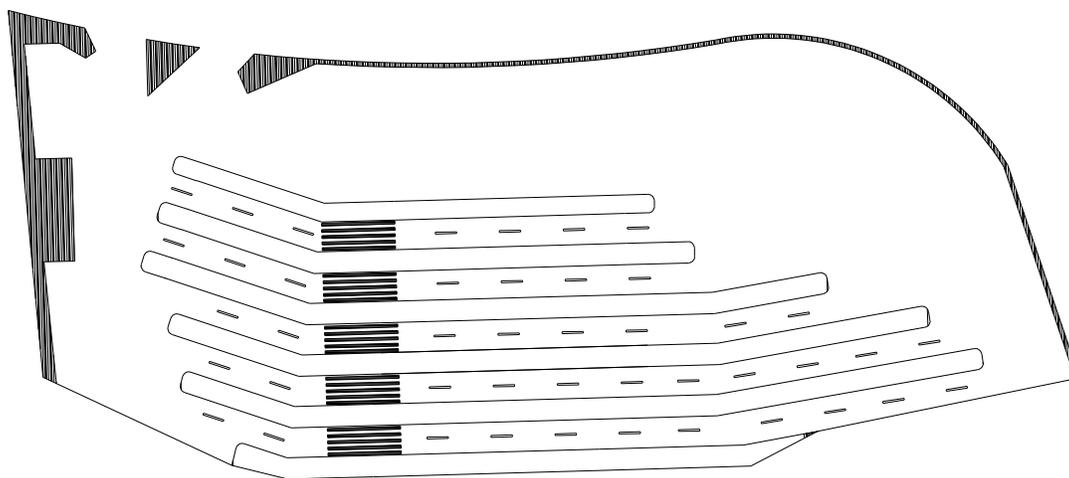


Figura 4.5 – Layout simplificado da área de circulação de veículos na Estação São Gabriel

4.2.2 - Uberlândia

A cidade de Uberlândia, que foi emancipada como município no ano de 1888, localiza-se no Triângulo Mineiro. Atualmente a cidade possui um PIB per capita da ordem de R\$10.400,00 sendo que no ano de 2002 o montante total foi de R\$5.613.000.000,00. Destes, 55,24% são provenientes de serviços, 40,49% da indústria e 4,07% da agropecuária. Em 2000 a população de Uberlândia segundo levantamento realizado pelo IBGE foi de 500.095 habitantes, dos quais 487.887 viviam na zona urbana (PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA, 2005).

A cidade é considerada como sendo de porte médio. Com uma população em torno de 500.000 habitantes, a necessidade por um sistema de transporte coletivo eficiente tem se

mostrado cada dia mais relevante. O atual sistema de transporte coletivo da cidade é feito em sua totalidade por meio de ônibus. Implantado em 1997, o Sistema Integrado de Transportes (SIT), foi desenvolvido seguindo as diretrizes prescritas no Plano Diretor da cidade.

O SIT funciona a partir de um sistema tronco alimentador, no qual cada terminal recebe os usuários residentes ao seu entorno através das linhas alimentadoras. Uma vez dentro do terminal, é possível se locomover para qualquer outro terminal sem custo adicional. Todo o sistema da cidade é integrado através dos cinco terminais existentes, sendo um na região central da cidade e quatro localizados nos bairros: Santa Luzia, Umuarama, Planalto e Industrial. Os veículos, do sistema, são identificados por três cores diferentes, amarelo, verde e vermelho, conforme os tipos de linhas troncais, alimentadoras e interbairros, respectivamente (RODRIGUES & SOARES, 2004).

Para implantação do SIT, foram necessárias algumas alterações no sistema viário com o intuito de priorizar o sistema de transporte coletivo. Os eixos estruturais Norte e Sudeste, formados pelas avenidas Monsenhor Eduardo e João Naves de Ávila, respectivamente foram modificados e receberam corredores especiais para o tráfego exclusivo do transporte coletivo (PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA, 2005).

Antes da implantação do SIT o sistema de transporte da cidade operava com 88 linhas, das quais 55 passavam pela região central. Já no ano de 2003 o sistema operava com 89 linhas divididas em alimentadoras, interbairros, troncais e distritais, porém destas somente 37 passam pelo centro. A frota total atual na cidade gira em torno de 500 ônibus (RODRIGUES & SOARES, 2004). Dados atuais fornecidos pela Secretaria Municipal de Trânsito e Transportes mostram que o IPK médio do ano de 2005 foi igual a 1,64.

Ainda segundo dados fornecidos pela SETTRAN, houve um aumento de passageiros que efetuaram o pagamento de suas viagens nos próprios terminais. A média mensal do ano de 2001 apontava para um total de 430.960 passageiros que efetuara o pagamento nos terminais, enquanto no ano de 2005 este valor subiu para 479.555. A seguir, ainda com intuito de ilustrar o cenário da área de estudo do presente trabalho, está mostrado na Figura 4.6 a localização dos terminais na cidade de Uberlândia.

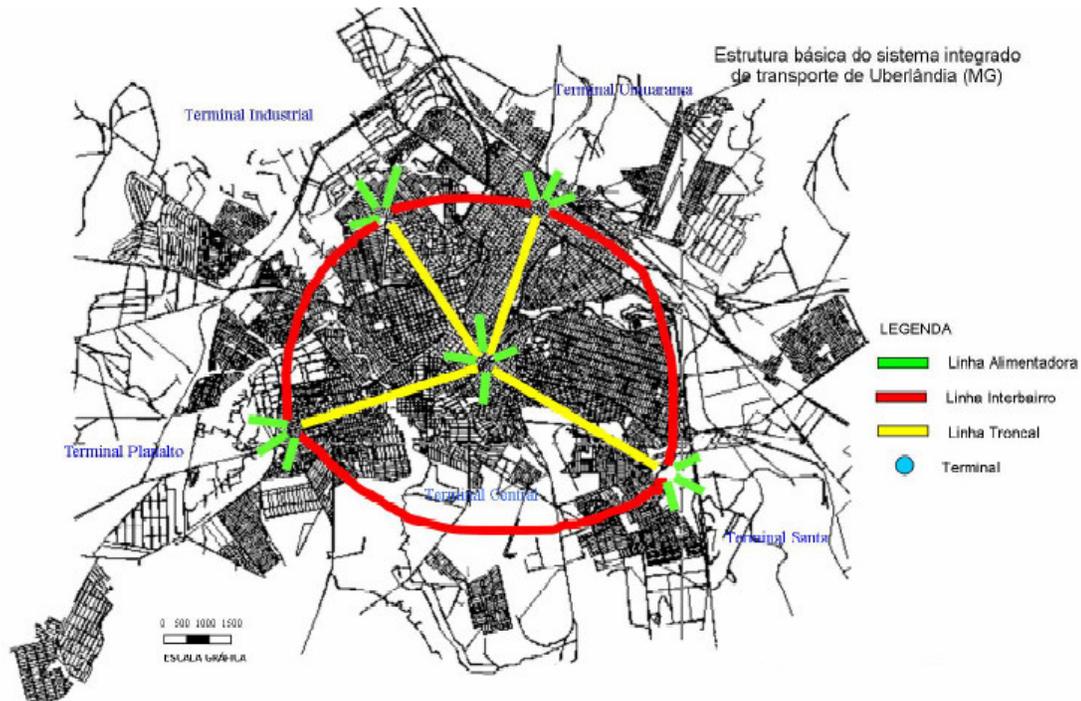


Figura 4.6 - Estrutura Básica do Sistema Integrado de Transporte de Uberlândia (MG)
Fonte: Prefeitura Municipal de Uberlândia, 1996.

4.2.2a - Terminal Central (Paulo Ferolla da Silva)

O Terminal Central localiza-se no centro da cidade, na praça Sergio Pacheco, entre as avenidas Afonso Pena e Floriano Peixoto. O edifício possui infra-estrutura de apoio ao usuário que conta com *Shopping Center* e estacionamento para mais de 250 veículos. Na área destinada à circulação dos ônibus são cinco plataformas por onde param e circulam as diversas linhas de ônibus. Um esquema simplificado do Terminal Central é apresentado na Figura 4.7.

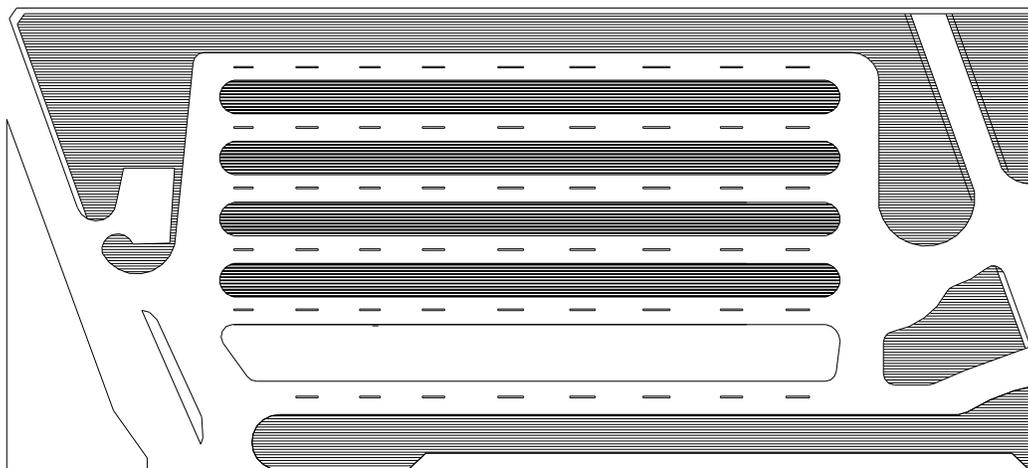


Figura 4.7 – Layout simplificado da área de circulação de veículos no Terminal Central

4.2.2b - Terminal Umuarama (José Rodrigues da Cunha)

Este terminal opera com três corredores para circulação dos veículos. Os ônibus possuem duas entradas para acessarem o local (que também funcionam como saída), e ainda uma área anexa que funciona como garagem para os ônibus no horário fora do pico. O teto deste terminal é contínuo sobre as plataformas e baias. Um esquema simplificado do layout deste terminal é apresentado na Figura 4.8, a seguir:

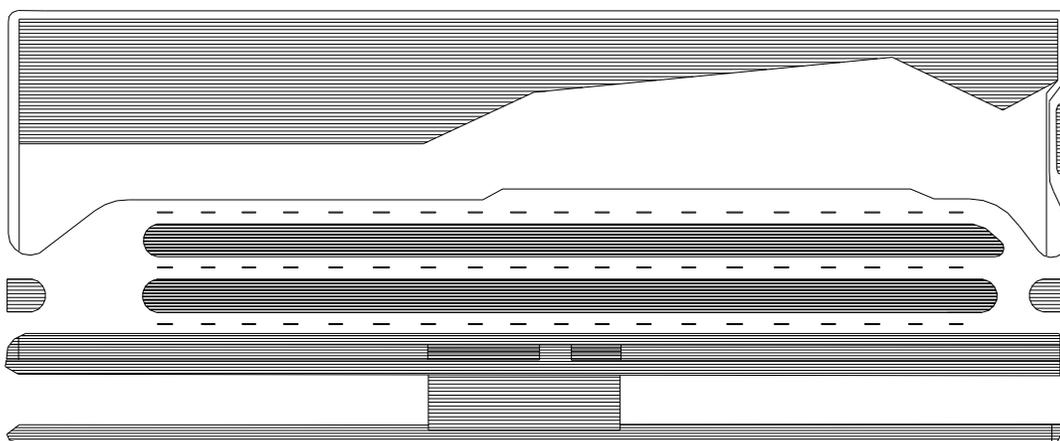


Figura 4.8 – Layout simplificado da área de circulação dos veículos no Terminal Umuarama

4.2.2c - Terminal Planalto (Bráz Cardoso de Oliveira Filho)

O Terminal planalto é o segundo menor na cidade em termos de fluxo de veículos. Existe uma pequena lanchonete no terminal, que possui duas entradas e dois corredores para circulação dos veículos conforme pode ser visto no layout apresentado na Figura 4.9, a seguir:

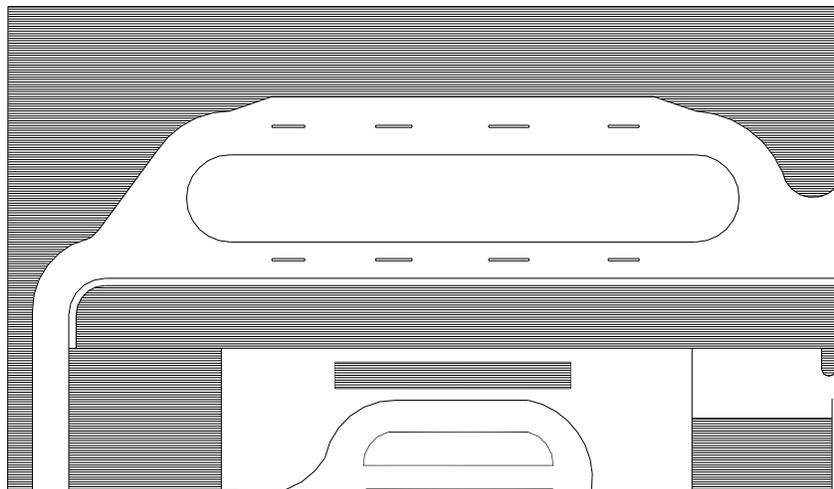


Figura 4.9 – Layout simplificado da área de circulação de veículos no Terminal Planalto

4.2.2d - Terminal Santa Luzia (Genésio Pereira de Melo)

Este terminal opera com duas entradas de veículos e com dois corredores onde estão localizados os pontos de parada das linhas de ônibus conforme pode ser visto no layout simplificado deste terminal apresentado na Figura 4.10. Os veículos podem sair pelas duas extremidades do terminal. Uma característica marcante deste terminal é a proximidade com a via arterial Avenida João Náves de Ávila, sem qualquer tipo de barreira física, de forma que a análise de ruídos internos pode ficar comprometida devido a influência deste corredor de tráfego.

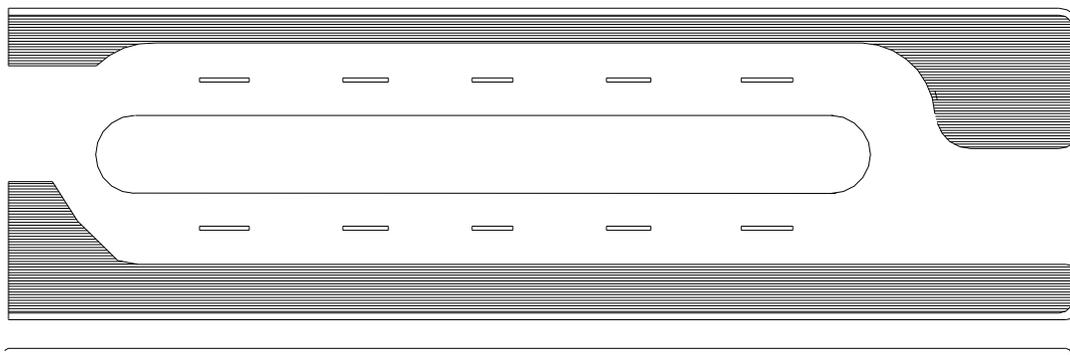


Figura 4.10 – Layout simplificado da área de circulação de veículos no Terminal Santa Luzia

4.2.2e - Terminal Industrial (Fábio Pereira)

De todos os terminais estudados neste trabalho, este é o mais simples e que possui o menor fluxo de ônibus. Possui apenas uma única entrada que é também a saída. Opera apenas com uma plataforma central, porém tem pontos de parada nos dois lados. Este terminal caracteriza-se por estar em uma área com pouca influência do ruído de tráfego externo, visto o baixo fluxo de veículos nas vias próximas. A Figura 4.11 apresenta um layout simplificado do Terminal Industrial.

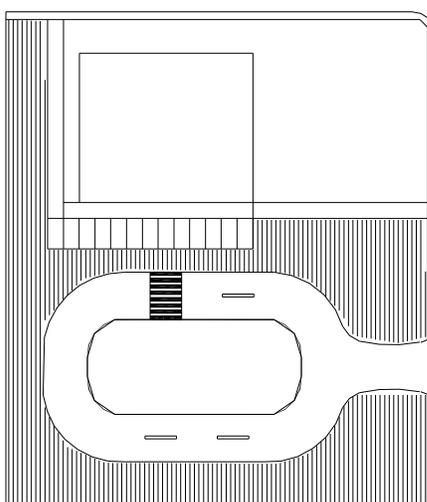


Figura 4.11 – Layout simplificado da área de circulação de veículos no Terminal Industrial

4.3 - COLETA DE DADOS

As medições de ruído foram realizadas de acordo com as recomendações prescritas pela Norma NBR 10151 (ABNT, 2000). O medidor de nível de pressão sonora foi posicionado à altura de 1,20 m do chão e distante no mínimo 1,50 m de paredes e/ou superfícies que poderiam refletir de alguma forma as ondas sonoras. Utilizou-se esta norma técnica como referência por ser a mais comumente utilizada pelos pesquisadores de ruído urbano no país. Outro ponto positivo desta Norma Brasileira é que suas prescrições são bastante similares a Normas Internacionais, como por exemplo, a ISO11819-1 “*Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise*”. A Figura 4.12 mostra o esquema simplificado do posicionamento do medidor de nível de pressão sonora.

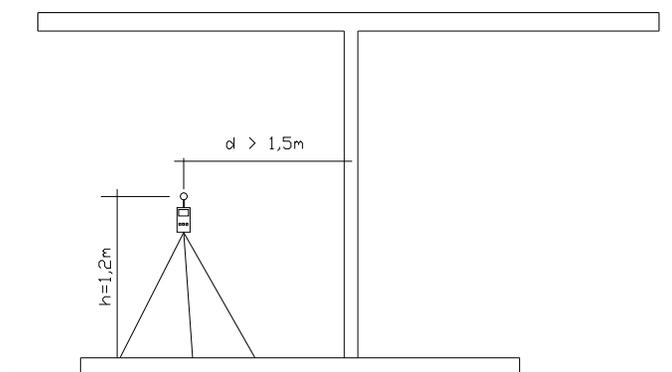


Figura 4.12 – Posicionamento do Medidor de Nível de Pressão Sonora nos terminais

As medições de ruído e contagem simultânea do fluxo de veículos nos terminais foram realizadas em dias de semana nos meses de dezembro de 2004, março e abril de 2005, em horários que identificavam as situações mais críticas. O período de medição foi de 3 horas em cada terminal e o horário escolhido foi entre 16:00 e 19:00h, pois desta forma coletou-se dados de ruído e tráfego em horários próximos ao pico.

Para a realização das medições foi utilizado um medidor de nível de pressão sonora do tipo 2 da marca Lutron, modelo SL-4001. Apesar do equipamento utilizado não estar entre os mais sofisticados disponíveis no mercado, sua precisão é suficiente para este tipo de medição, visto que o erro apresentado pelo medidor é de aproximadamente 3 dB, para mais ou menos. Para assegurar a veracidade dos dados coletados, o medidor de nível de pressão

sonora foi calibrado no início de cada medição, através de um procedimento interno do próprio aparelho.

Os dados de ruído foram obtidos com o medidor de nível de pressão sonora no modo “FAST” (O nível de ruído é coletado a cada 125 ms), conforme recomendações da Norma NBR 10151 (ABNT, 2000). Durante as 3 horas ininterruptas foram anotados os valores de ruído encontrado em intervalos de 15 segundos. Simultaneamente à medição do ruído foi contabilizado o fluxo de veículos nos terminais em intervalos de 5 minutos. Os dados de pressão sonora foram ponderados na curva “A”, conforme recomendações da NBR 10151 (ABNT, 2000).

Tentou-se posicionar o medidor de nível de pressão sonora mais ao centro de cada um dos nove terminais em estudo, ou seja, na baía mais central. Devido à largura das plataformas variarem de terminal para terminal, não se fixou a distância entre a fonte (ônibus) e o receptor (medidor de nível de pressão sonora), ao invés disso, o medidor foi posicionado no centro das plataformas, equidistantes dos corredores de tráfego.

No presente trabalho, não se levou em consideração a influência de variáveis meteorológicas como, por exemplo, velocidade do ar e temperatura. Apesar de estes parâmetros terem influência sobre o ruído, acredita-se que para o caso específico dos terminais, suas contribuições são pequenas no efeito total do ruído. Além disso, o acesso a equipamentos que mensurassem estas variáveis poderia inviabilizar a pesquisa nos terminais das duas cidades.

4.3.1 – Parâmetros Quantificados

Devido ao fato do ruído ser uma variável aleatória deve ser tratada estatisticamente. A NBR 10151 (ABNT, 2000) estabelece como parâmetro de descrição do ruído ambiental o Nível Sonoro Equivalente (L_{eq}). A partir da base de dados coletada durante um período de 3 horas de medição em cada terminal, calculou-se então o Nível Sonoro Equivalente conforme descrito na Equação 2.8. Os L_{eq} 's foram calculados para cada intervalo de 5 minutos, e posteriormente determinou-se o L_{eq} em intervalos horários. Além disso, calculou-se o L_{eq} total para o tempo de medição.

Construiu-se para cada terminal, um gráfico de frequência de ocorrência dos níveis sonoros. Esta representa quantas vezes cada nível foi observado durante o tempo de medição (3 horas). Desta tabela, construiu-se um gráfico cumulativo que representa o tempo de permanência para cada nível de ruído. A partir deste gráfico foram obtidos os níveis percentis. Com base nos níveis percentis L_{90} e L_{10} retirados do gráfico, determinou-se o índice de ruído de tráfego (TNI) em cada terminal.

4.4 - MEDIÇÃO DE RUÍDO NOS TERMINAIS EM CONDIÇÃO DE BAIXO GIRO DO MOTOR

Uma situação observada durante as medições nos terminais foi que os picos de ruído aconteciam, dentre outros momentos, quando alguns motoristas aceleravam os ônibus exageradamente, elevando assim os níveis de rotação do motor.

Diante disso, tentou-se fazer um experimento piloto para verificar uma possível redução dos níveis de ruído nos terminais. Foi passada uma circular para a SETTRAN para que comunicasse às empresas operadoras dos ônibus, avisando que em dia determinado seria realizada no Terminal Santa Luzia uma medição de ruído e seria necessária a colaboração dos motoristas, mantendo baixo o nível de rotação dos motores dos ônibus durante a circulação no terminal. Além disso, durante a medição, dois colaboradores permaneceram nas entradas do terminal com um aviso alertando os motoristas para tentarem trafegar no terminal com baixas rotações nos motores.

Os níveis de ruído foram coletados durante 1 hora em intervalos de 15 segundos e, simultaneamente, fez-se a contagem do fluxo de veículos no terminal, em intervalos de 5 minutos.

Feito isso, determinou-se o L_{eq} , para posterior comparação com os níveis de ruído no mesmo terminal nas mesmas condições, porém com os veículos trafegando sem a restrição quanto à rotação dos motores.

4.5 – MEDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO DOS MOTORES

Com o objetivo de verificar a relação entre os níveis de ruído emitidos pelos ônibus e a rotação dos motores, realizaram-se várias medições em veículos isolados com diversos níveis de aceleração. As medições foram realizadas com o apoio da BHTRANS em Belo Horizonte - MG.

As medições foram realizadas na rua José Hemetério de Andrade, próximo à sede da BHTRANS no bairro Buritis. O local possui pouco movimento, o que favorece as medições, pois o ruído de fundo é baixo.

Foram selecionados vários ônibus aleatoriamente no que diz respeito a potência, posição do motor, idade e modelo. As medições foram realizadas com os veículos parados, variando somente a rotação dos motores.

Duas medições distintas foram realizadas nos veículos, uma com a tampa do motor aberta e a outra com o ônibus em condições normais de tráfego. Nas duas situações o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado a 1 metro de distância. Para as duas situações descritas foi mensurado o nível de ruído para o motor com 700, 1.000, 1.500 e 2.200 rotações por minuto (rpm). As medições foram realizadas com referência à Norma Brasileira NBR 15145 (ABNT, 2004).

Com base nos valores de ruído obtidos desenvolveu-se ainda um modelo simplificado para previsão do ruído dos ônibus em função somente da rotação do motor. O modelo ajuda a verificar que trafegar nos terminais com rotações mais baixas pode contribuir para diminuir o nível de ruído total nestes ambientes. O modelo foi desenvolvido com base na teoria da regressão linear simples a partir dos dados de rotação do motor e nível de pressão sonora em dB(A).

4.6 - DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS

Com intuito de se ter ferramentas que contribuíssem para estimar os níveis de ruído nos terminais de transporte coletivo urbano, bem como a resposta do usuário com relação a esta patologia ambiental desenvolveram-se alguns modelos de previsão.

Os modelos desenvolvidos são do tipo estatístico e o método utilizado foi adotado a teoria de regressão linear. Essa metodologia tem sido adotada por diversos autores no desenvolvimento de modelos de previsão de ruído, Silva et al (1998), Reis et al (2000), Calixto et al. (2003), Valadares et al (2003), entre outros. Para verificar a significância dos modelos estatísticos, utilizaram-se como parâmetros o coeficiente de determinação, o erro padrão de estimativa e o teste “t” de Student.

4.6.1 - Modelo de Previsão de Nível Sonoro Equivalente (L_{eq})

O primeiro modelo que foi desenvolvido a partir da teoria da regressão linear simples é para a previsão do Nível Sonoro Equivalente (L_{eq}). Inicialmente, foi desenvolvido em função apenas do fluxo de veículos nos terminais, e apresentou uma boa significância estatística, porém por se tratarem de locais semi-fechados, seria relevante inserir no modelo variáveis que caracterizassem a arquitetura dos terminais.

Foram testadas então, diversas variáveis de natureza arquitetônicas, a fim de se obter a melhor significância estatística do modelo. Para trabalhar de maneira simplificada com as complexas geometrias dos diversos terminais em estudo, desenvolveram-se sólidos fictícios que representassem a geometria de maneira simplificada. Isso possibilitou determinar o total de área superficial dos terminais, bem como o volume de ar, áreas refletoras, pé-direito e áreas abertas. A relevância destes parâmetros é devido à característica refletora das superfícies, que podem agravar ou não a situação do ruído no interior dos terminais.

Além das variáveis citadas acima, os modelos de previsão de ruído de tráfego para corredores e vias levam em consideração diversas variáveis, como, por exemplo, velocidade média dos veículos, largura da via, volume de tráfego de veículos leves, médios

e pesados, inclinação da via e ainda, em alguns casos, variáveis metereológicas (VALADARES, 1997).

Para o presente estudo algumas destas variáveis não se enquadram e foram desconsideradas na fase de calibração dos modelos. A velocidade média dos veículos foi considerada constante e abaixo de 20 Km/h. A largura da via não foi levada em consideração por tratar-se de terminais, uma vez que sua influência sobre a poluição sonora é devido ao aumento do volume de tráfego e da velocidade média que aumentam com o número de faixas em uma via. A inclinação das vias no interior dos terminais é baixíssima e foi considerada igual a zero e não foi levado em consideração a influência das variáveis metereológicas, de forma que se tentará correlacionar o ruído nos terminais apenas com o fluxo de ônibus e com as variáveis de natureza arquitetônicas.

4.6.2 - Modelo de Previsão de Níveis Percentis (L_{90} , L_{50} e L_{10})

A fim de fornecer maiores informações sobre a situação do ruído nos terminais, desenvolveu-se ainda modelos simplificados para a previsão dos principais níveis percentis, L_{90} , L_{50} e L_{10} .

Utilizou-se a teoria da regressão linear simples para o desenvolvimento, pois estes modelos foram testados em função apenas do L_{eq} . Utilizou-se o L_{eq} total das três horas de medição em cada terminal e os valores dos níveis percentis, no caso a variável dependente, foram obtidos através das tabelas de frequência de ocorrência.

Os níveis percentis L_{90} e L_{10} são de suma importância, uma vez que são variáveis utilizadas para calcular o índice de ruído de tráfego (TNI). O L_{50} representa os níveis de ruído que estiveram presentes em 50% do tempo das medições. Este parâmetro foi objeto do primeiro modelo de previsão de ruído desenvolvido (STEELE, 2001).

4.6.3 – Método CRTN para Previsão de Ruído de Tráfego: Comparação com o Modelo Desenvolvido

O método CRTN (*Calculation of Road Traffic Noise*) é um modelo já conceituado e bastante utilizado mundialmente para previsão de ruído de tráfego. O modelo que leva em consideração correções devido a porcentagem de veículos pesados, distância entre fonte e receptor, reflexão, propagação e velocidade, faz a previsão do nível percentil L_{10} (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1988).

Apesar do modelo não ter sido calibrado para utilização em terminais de transporte coletivo urbano, alguns parâmetros considerados pelo modelo como, por exemplo, porcentagem de veículos pesados e reflexão, podem ser ajustados de forma a testar a aplicação do CRTN em terminais.

Portanto, um item no **Capítulo 6** é destinado à realização de uma comparação entre o nível percentil (L_{10}) observado nos terminais com o previsto pelo CRTN e ainda pelo modelo desenvolvido no presente trabalho. Esta comparação é mais um procedimento que contribui para validar os resultados da presente pesquisa.

4.6.4 - Modelo de Previsão de Nível de Incômodo ao Usuário

A partir dos dados de L_{eq} total e as respostas das pesquisas de opinião aplicadas em cada um dos nove terminais em estudo, calibrou-se um modelo estatístico para prever a resposta do usuário com relação a essa patologia.

Conforme será visto nos itens a seguir, uma das perguntas feitas aos entrevistados, era se eles se sentiam incomodados com o ruído naquele terminal. A partir deste dado, correlacionou-se a porcentagem dos que se diziam incomodados com o L_{eq} total nas três horas de medição. Ao colocar estes dados juntos, percebeu-se que havia uma relação direta entre o nível de incômodo e o nível sonoro equivalente nos terminais. Este modelo também foi desenvolvido pelo método de regressão linear simples, tendo como variável dependente a porcentagem de usuários que se sentem incomodados com os níveis de ruído naquele terminal.

4.7 - PESQUISA DE OPINIÃO COM USUÁRIOS DOS TERMINAIS

Tão importante quanto quantificar os níveis de ruído nos terminais de transportes coletivo é também saber a opinião dos usuários quanto ao ruído. Diante disso, paralelamente às medições de ruído foi realizada uma pesquisa de opinião nos nove terminais em estudo.

Os entrevistados foram escolhidos aleatoriamente, sendo 30 pessoas no mínimo em cada terminal e, aproximadamente, 50 % de cada sexo. Procurou-se diversificar a idade dos entrevistados para evitar algum tipo de vício na amostra. Tanto usuários como também alguns funcionários dos terminais foram selecionados para participar da pesquisa.

Os entrevistados foram submetidos a perguntas conforme estão mostradas a seguir:

- Quanto tempo em média por dia você permanece no terminal?
- Em sua opinião, dos itens relacionados a seguir quais são o primeiro, o segundo e, assim por diante, que mais te incomodam neste terminal:
 - Ruído ()
 - Poluição Atmosférica ()
 - Limpeza ()
 - Falta de Iluminação ()
- Assinale com (X) como você classifica o ruído:
 - Baixo ()
 - Normal ()
 - Alto ()
 - Muito alto ()
- Você se sente incomodado com o ruído neste terminal?
 - sim ()
 - não ()

Durante a realização das pesquisas evitou-se entrevistar indivíduos muito próximos um dos outros, para não haver algum tipo de indução nas respostas. Não foi realizada nenhuma pesquisa nos ônibus.

A pesquisa permitiu mostrar a relação direta entre o total de usuários incomodados e os níveis de ruído observados em cada terminal, e ainda que existe uma considerável insatisfação do usuário, conforme será mostrado no próximo capítulo.

A metodologia foi adotada com base nos diversos trabalhos, objeto da revisão bibliográfica, que foram mostrados no Capítulo anterior. Os parâmetros escolhidos para caracterizar também são os mais utilizados em pesquisas de ruído de tráfego, conforme visto no capítulo anterior. O capítulo seguinte, apresenta todos os dados coletados segundo a metodologia descrita.

CAPÍTULO 5

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE RUÍDO E PESQUISAS

O presente **Capítulo** fará a apresentação e discussão dos resultados referentes a ruído e tráfego nos terminais em estudo, bem como o resultado das pesquisas de opinião e, ainda, os resultados das medições de ruído em ônibus isolados variando a rotação dos motores. Será discutido também os resultados da medição de ruído que foi realizada no Terminal Santa Luzia, onde os motoristas foram orientados a manter baixo o nível de rotação dos motores.

Após a realização das medições, formatação e tabulação dos dados foram calculados os níveis de pressão sonora equivalentes para cada intervalo de 5 minutos. Este procedimento foi adotado como preparação dos dados de L_{eq} e fluxo dos ônibus para calibração dos modelos de previsão do ruído. Além disso, construiu-se os seguintes gráficos: de frequência de ocorrência dos níveis de ruído, de níveis percentis e dos fluxos de ônibus em intervalos de 5 em 5 minutos.

A seguir serão mostrados então, os indicadores de ruído utilizados no presente trabalho que caracterizam a situação dos terminais de transportes coletivos nas cidades de Belo Horizonte e Uberlândia, respectivamente.

5.1 –SITUAÇÃO DOS TERMINAIS EM BELO HORIZONTE

5.1.1 - Estação São Gabriel

Este terminal foi o que apresentou os menores indicadores de ruído. Os valores de Níveis Sonoros Equivalentes calculados para cada intervalo de cinco minutos durante as 3 horas de medição no terminal estão mostrados na Figura 5.1(a). Pode ser observado que o $L_{eq,5min}$ por diversas vezes foi menor do que 70 dB(A), valor recomendado pela NBR 10151 (ABNT, 2000). Porém, houveram intervalos cujo $L_{eq,5min}$ atingiu 75dB(A) e os menores valores obtidos foram em torno de 65 dB(A). A Figura 5.1(b) mostra o gráfico de frequência de ocorrência dos níveis de ruído medidos, ou seja, quantas vezes durante o período de medição que determinado nível sonoro foi observado. É possível ver que durante grande parte da medição os níveis medidos foram 69 e 70 dB(A). Exceto por estes dois valores, a frequência de ocorrência de ruído neste terminal parece seguir uma distribuição do tipo simétrica (SPIEGEL, 1993). Na Figura 5.1(c) está representado o gráfico dos níveis percentis de duração dos níveis de ruído durante as medições, com destaque para o L_{90} e o L_{10} , 62,5 e 71,9 dB(A) respectivamente. A partir destes, é calculado o Índice de Ruído de Tráfego (TNI). Utilizando-se da Equação 2.9, o valor encontrado para o TNI neste terminal foi de 70.1 dB(A).

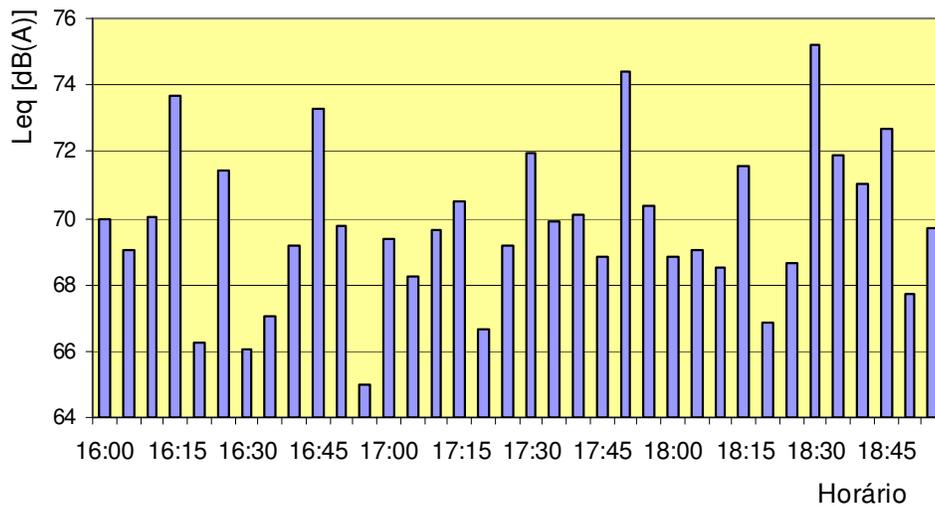


Figura 5.1(a) – Níveis sonoros equivalentes ($L_{eq,5min}$) para intervalo de cinco minutos

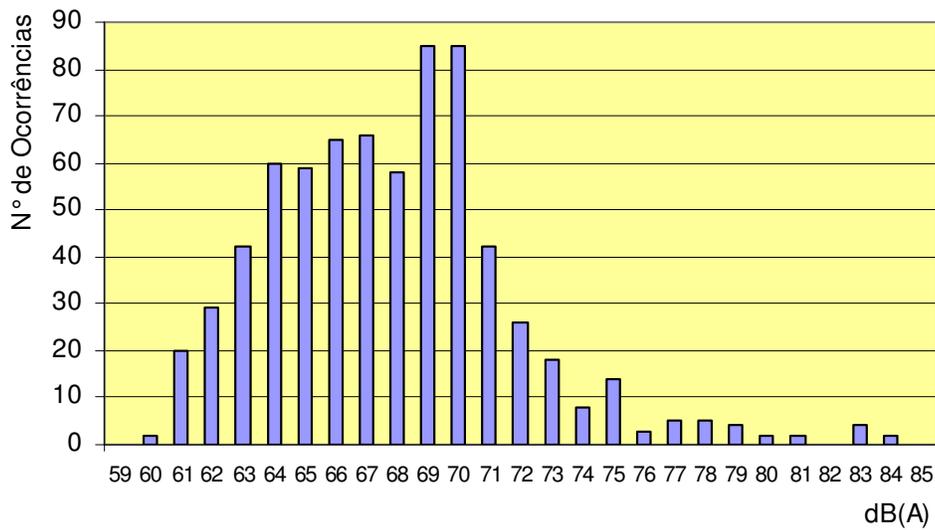


Figura 5.1 (b) – Frequências de ocorrência dos níveis sonoros

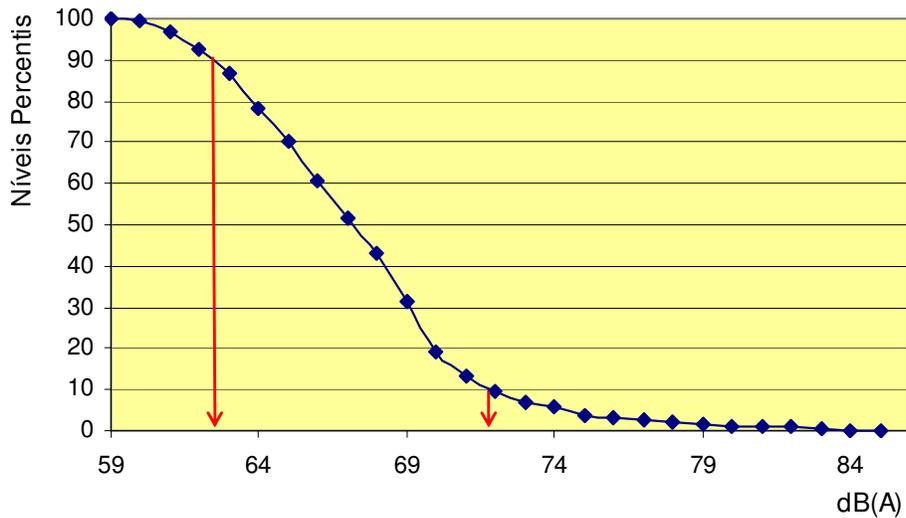


Figura 5.1 (c) – Níveis percentis L_{10} e o L_{90} da pressão sonora em dB(A)

Conforme pode ser visto na Figura 5.1(d), o número de ônibus neste terminal variou entre 0 e 12 veículos em intervalos de cinco minutos durante as três horas de medição de ruído.

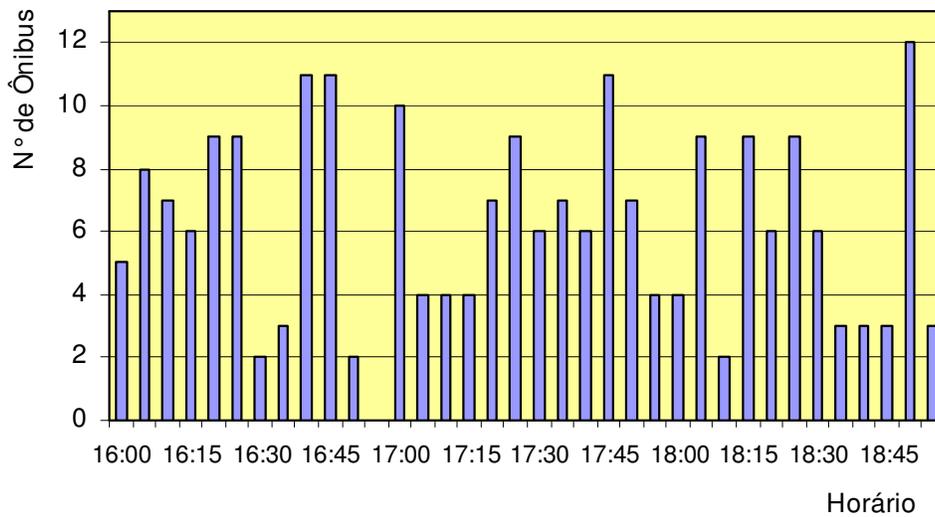


Figura 5.1 (d) – Fluxo de ônibus em intervalos de cinco minutos

Foram contabilizados além dos ônibus que estavam em trânsito e portanto vinham de fora do terminal, os ônibus que iniciavam suas viagens a partir do pátio dentro do terminal, pois

ambos passavam pelas plataformas onde estava posicionado o medidor de nível de pressão sonora.

5.1.2 - Estação Diamante

Os valores encontrados para Níveis Sonoros Equivalentes ($L_{eq,5min}$) para este terminal estiveram praticamente todos acima de 70 dB(A), apresentando alguns valores acima de 77 dB(A), sendo que o menor valor foi pouco abaixo de 70 dB(A) conforme pode ser visto na Figura 5.2(a). A Figura 5.2(b) mostra claramente que para o período de medição, a distribuição dos níveis de ruído seguiu uma curva do tipo simétrica, sendo que os valores de maior ocorrência foram os níveis 71 e 72 dB(A). Já a figura 5.2(c) apresenta os Níveis Percentis de duração dos níveis de ruído durante o tempo de medição. E neste é possível observar que a curva apresenta-se bem definida com variação uniforme sendo que o L_{10} ficou acima de 75 dB(A) enquanto o L_{90} ficou pouco acima de 66 dB(A). A Figura 5.2(d) mostra a variação do fluxo de ônibus durante as medições. Cada amostra é para um intervalo de cinco minutos. O menor número de ônibus observado foi de 9 veículos, sendo que o maior foi 29.

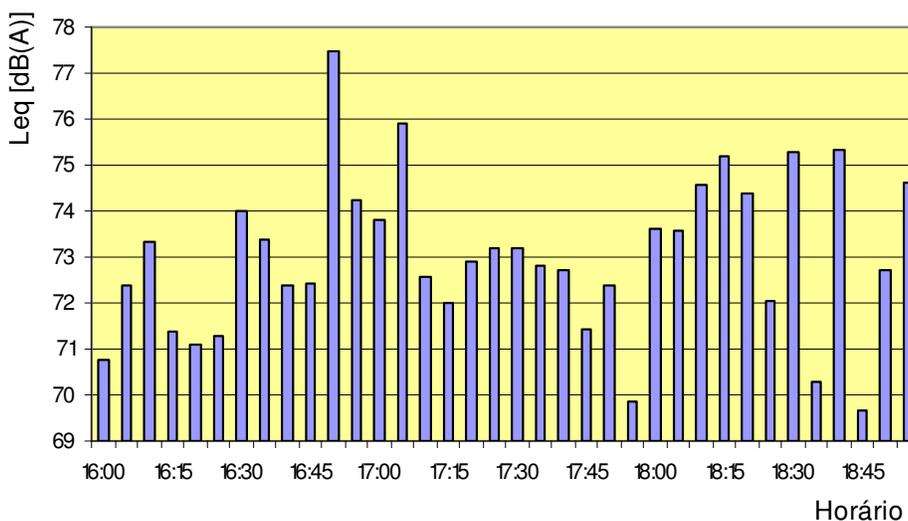


Figura 5.2 (a) - Níveis sonoros equivalentes ($L_{eq,5min}$) para intervalo de cinco minutos

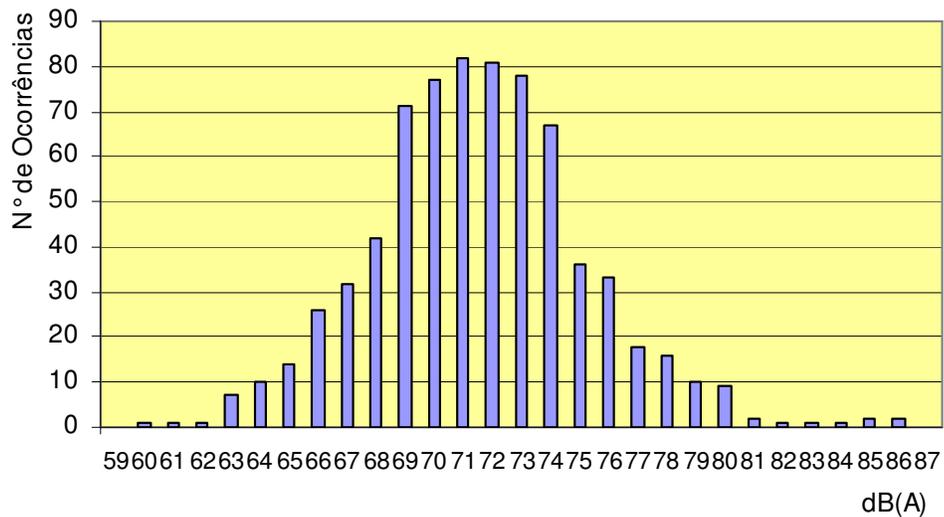


Figura 5.2 (b) – Frequências de ocorrência dos níveis sonoros

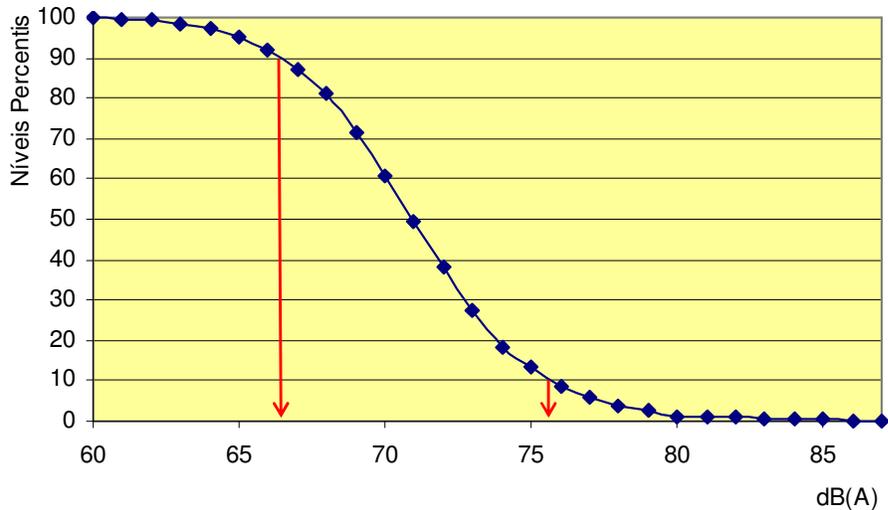


Figura 5.2 (c) – Níveis percentis L_{10} e L_{90} da pressão sonora em dB(A)

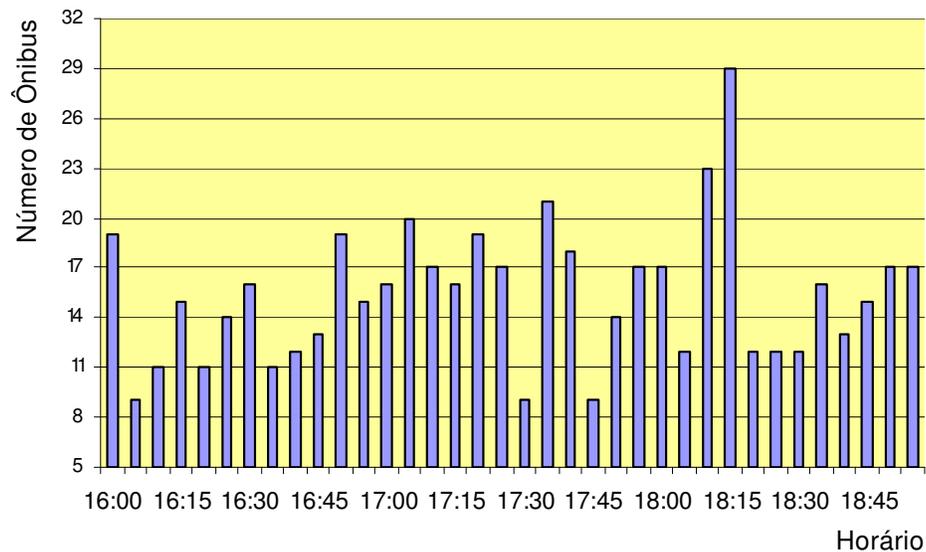


Figura 5.2 (d) – Fluxo de ônibus em intervalos de cinco minutos

5.1.3 - Estação Barreiro

Neste terminal, todas as amostras de $L_{eq,5min}$ determinadas para o período de medições estiveram acima de 70 dB(A), valor preconizado pela NBR 10151 (ABNT, 2000) como limite para ruído de tráfego em áreas urbanas no Brasil. O menor valor observado foi $L_{eq,5min}$ igual a 72 dB(A), e os maiores valores estiveram pouco acima de 77 dB(A) conforme mostrado no Gráfico 5.3(a). A frequência de ocorrência dos níveis de ruído neste terminal segue uma distribuição simétrica limitada entre os níveis 67 e 87 dB(A) com maior ocorrência para os níveis de 73 e 74 dB(A), conforme pode ser visto na Figura 5.3(b).

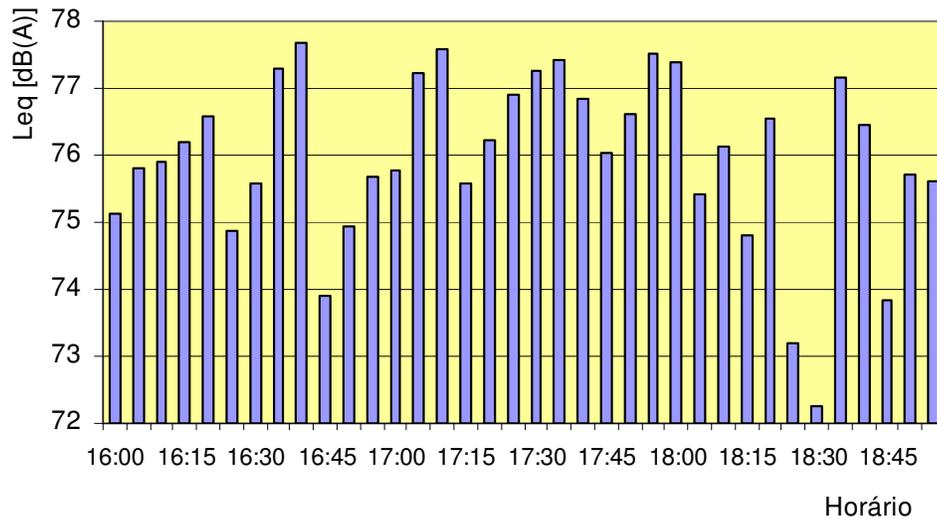


Figura 5.3(a) - Níveis sonoros equivalentes ($L_{eq,5min}$) para intervalo de cinco minutos

Na Figura 5.3(c) é possível verificar que a variação dos níveis percentis em função dos níveis de ruído é bastante uniforme, com valores de L_{90} e L_{10} , respectivamente 70,7 e 78,9 dB(A). A Figura 5.3(d) é referente ao fluxo de ônibus na estação Barreiro durante a realização das medições de ruído. Neste é possível verificar que para cada intervalo de cinco minutos observados, o menor número obtido foi de 5 veículos enquanto o maior foi 24 veículos. A partir da amostra 25, que corresponde ao intervalo de 18:05 a 18:10, há uma tendência do fluxo de ônibus diminuir com relação às amostras anteriores, o que possivelmente caracteriza uma diminuição do fluxo de pessoas dentro da estação devido ao fato de já não ser mais o horário de pico.

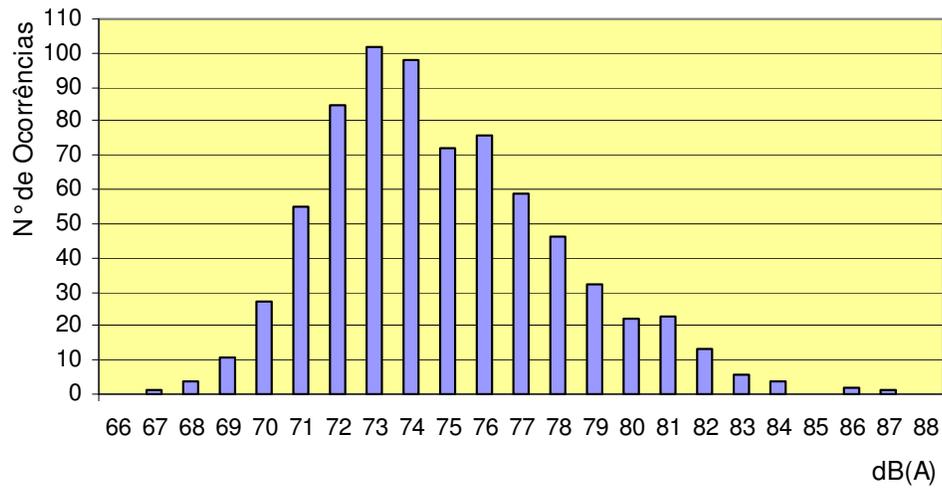


Figura 5.3(b) - Frequências de ocorrência dos níveis sonoros

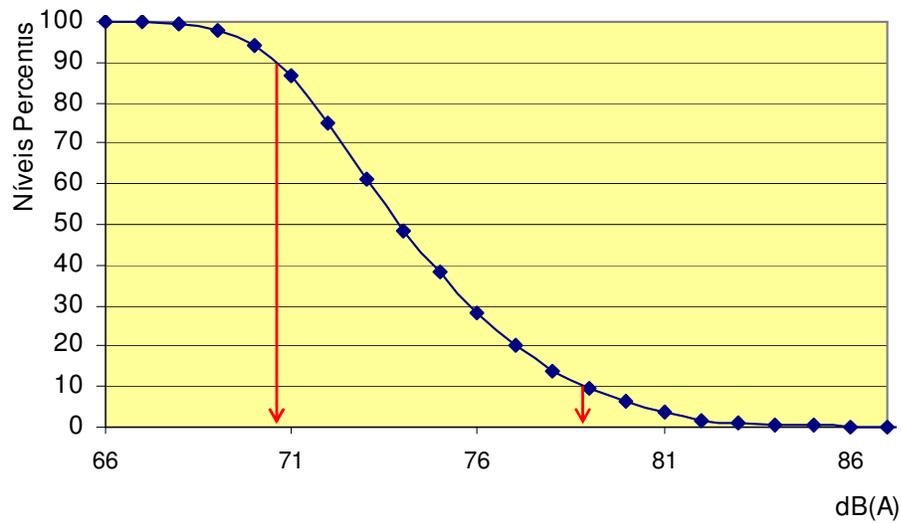


Figura 5.3 (c) – Níveis percentis L_{10} e L_{90} da pressão sonora em dB(A)

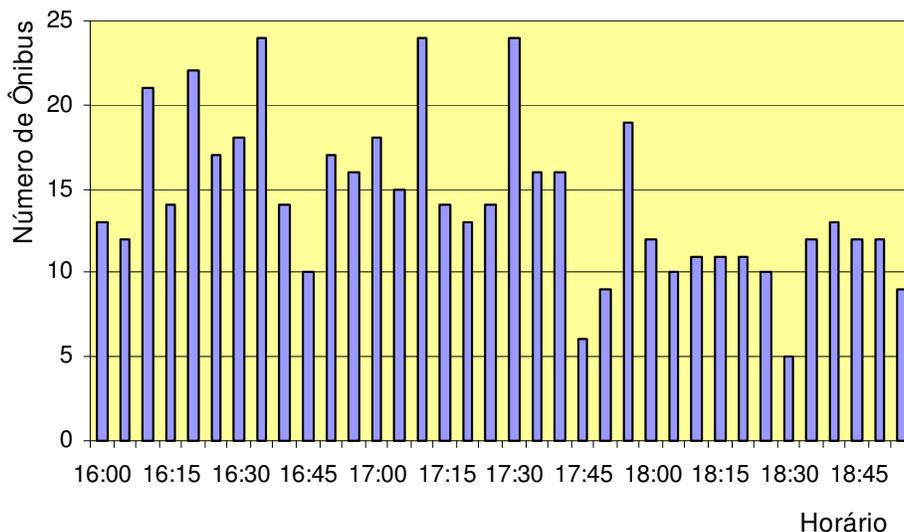


Figura 5.3 (d) – Fluxo de ônibus em intervalos de cinco minutos

5.1.4 - Estação Venda Nova

Os níveis sonoros equivalentes calculados para cada intervalo de cinco minutos durante as três horas de medição de ruído estão mostrados na Figura 5.4(a) a seguir. Os maiores valores obtidos ficaram próximo a 78 dB(A) e o menor esteve em torno de 69 dB(A).

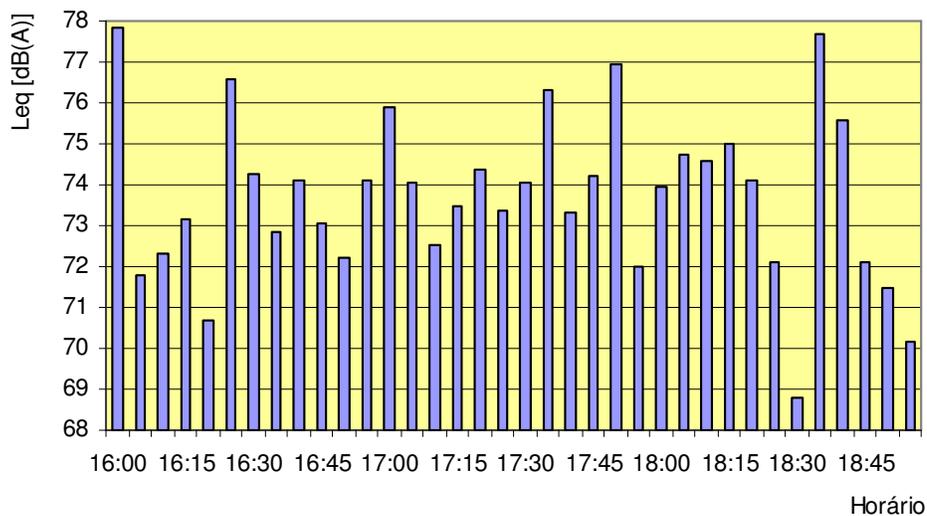


Figura 5.4(a) - Níveis sonoros equivalentes ($L_{eq,5min}$) para intervalo de cinco minutos

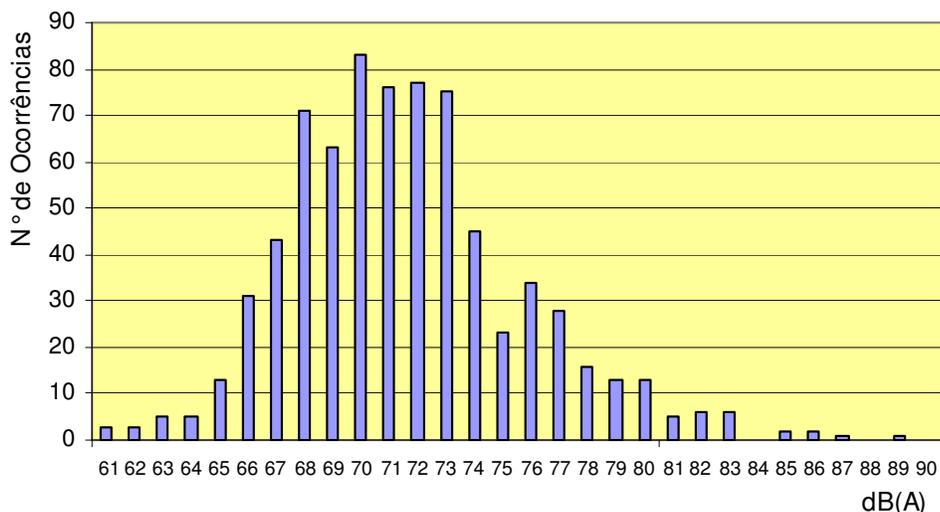


Figura 5.4(b) - Frequências de ocorrência dos níveis sonoros

A Figura 5.4(b) mostra que a frequência de ocorrência de níveis de ruído para este terminal segue praticamente uma distribuição do tipo simétrica, apresentando algumas pequenas discrepâncias, nos níveis 68 e 75 dB(A). A maior ocorrência foi para o nível de 70 dB(A).

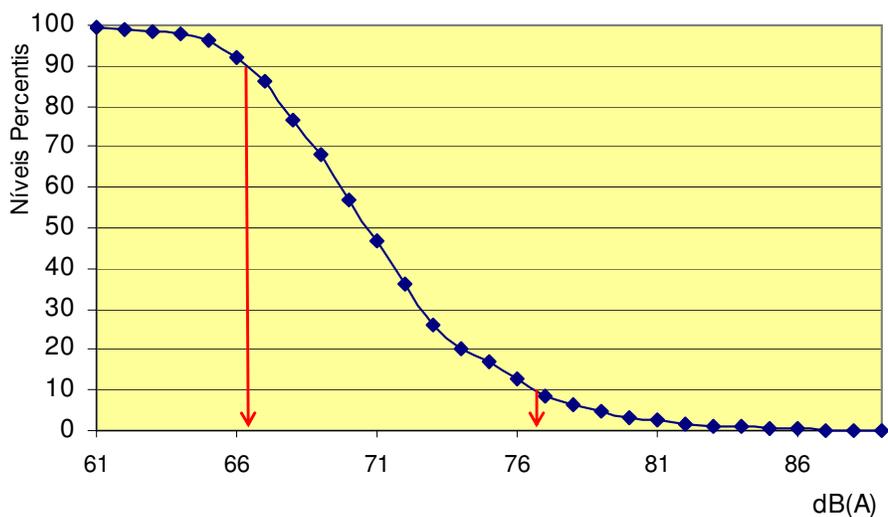


Figura 5.4 (c) – Níveis percentis L₁₀ e o L₉₀ da pressão sonora em dB(A)

Na Figura 5.4(c) é possível ver os níveis percentis do tempo de duração dos níveis de ruído durante as 3 horas de medição. Este possui uma variação quase que uniforme para todos os

níveis de ruído, apresentando uma pequena inflexão para 75 dB(A). Os níveis percentis utilizados para calcular o Índice de Ruído de Tráfego (TNI) L_{10} e L_{90} encontrados foram, respectivamente, 76,8 e 66,4 dB(A). A Figura 5.4(d) apresenta o fluxo de veículos na estação para cada um dos intervalos de cinco minutos para os quais se calculou os $L_{eq,5min}$'s. É possível ver que o menor fluxo observado foi de 2 ônibus, e os maiores fluxos foram de 13 veículos.

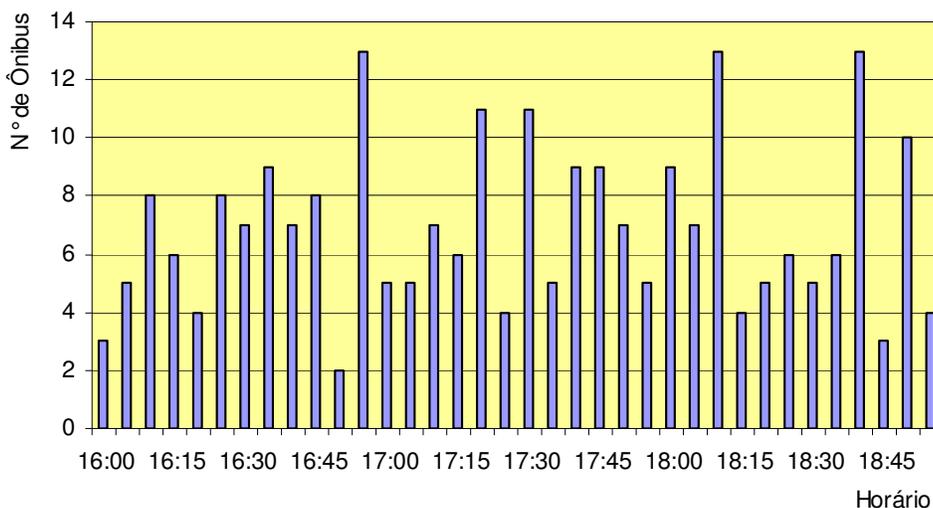


Figura 5.4 (d) – Fluxo de ônibus em intervalos de cinco minutos

5.2 –SITUAÇÃO DOS TERMINAIS EM UBERLÂNDIA

Todos os terminais urbanos em Uberlândia já estão em funcionamento há algum tempo, somando um total de cinco terminais, dos quais quatro estão localizados nos bairros e próximos à periferia da cidade e um está localizado na região central.

O SIT (Sistema Integrado de Transportes) opera com 100% de suas linhas integradas nos terminais, sendo que o Terminal Central é o que possui o maior fluxo diário de ônibus e passageiros, o que implica em maiores níveis de ruído. Os outros terminais apresentam situações diferentes, porém nenhum está tão exposto ao ruído como o Terminal Central. A

seguir serão apresentados os principais indicadores de ruído obtidos para os terminais da cidade.

5.2.1 - Terminal Central

Todas as amostras de $L_{eq,5min}$ calculadas para as três horas de medição de ruído estiveram acima de 74 dB(A), sendo que houve pico de mais de 82 dB(A) conforme pode ser visto na Figura 5.5(a). A frequência de ocorrência dos níveis de ruído medidos está mostrada na Figura 5.5(b) e mostra que a faixa de ocorrência está entre 69 e 91 dB(A). Os picos de ocorrência foram para os níveis 77, 78 e 79 dB(A). A curva apresenta características de uma distribuição do tipo simétrica. Já a Figura 5.5(c) mostra os níveis percentis do ruído. A variação da curva é bastante uniforme e apresenta os níveis L_{90} e L_{10} respectivamente iguais a 74 e 82,3 dB(A). O fluxo de veículos neste terminal está mostrado no Gráfico 5.5(d). Todas as amostras são para intervalos de cinco minutos. O maior fluxo observado foi de 29 veículos enquanto o menor foi 9 ônibus.

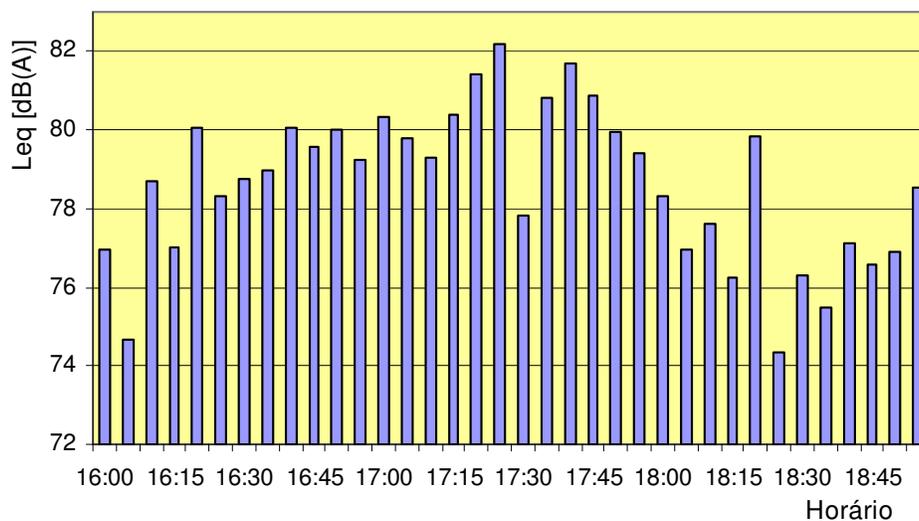


Figura 5.5(a) – Níveis sonoros equivalentes ($L_{eq,5min}$) para intervalo de cinco minutos

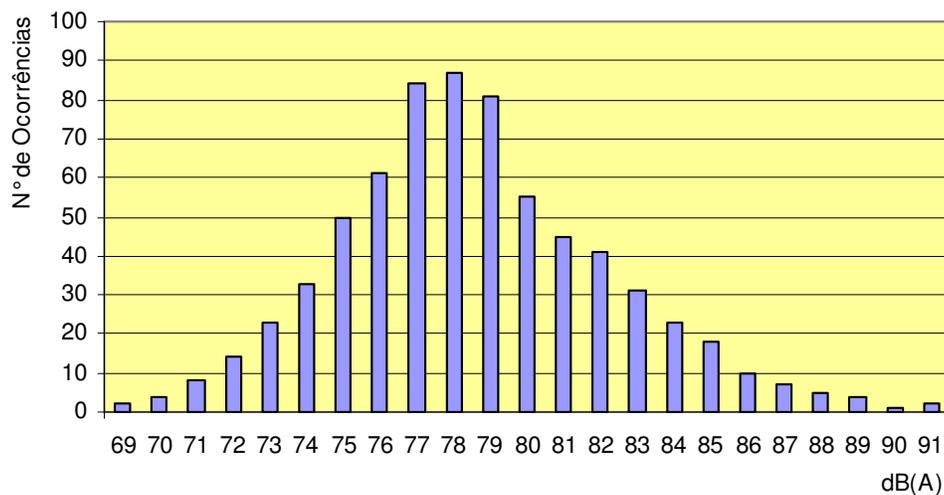


Figura 5.5(b) - Frequências de ocorrência dos níveis sonoros

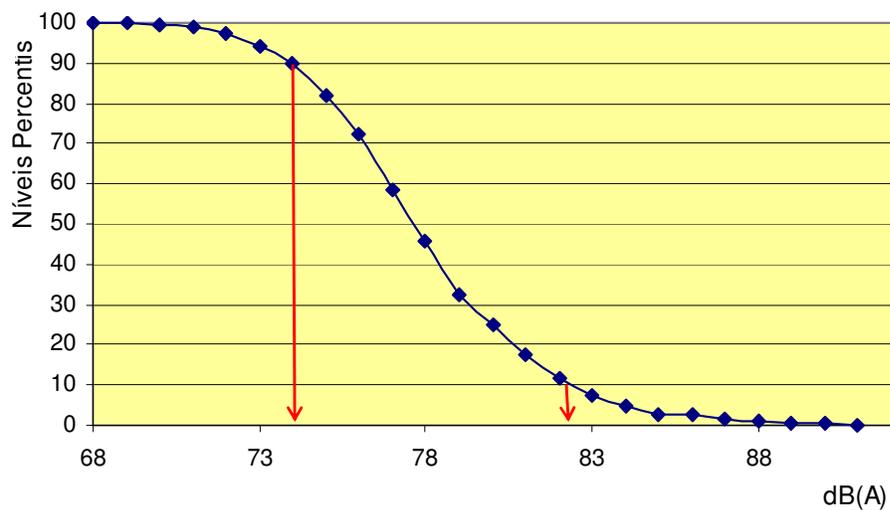


Figura 5.5 (c) – Níveis percentis L_{10} e L_{90} da pressão sonora em dB(A)

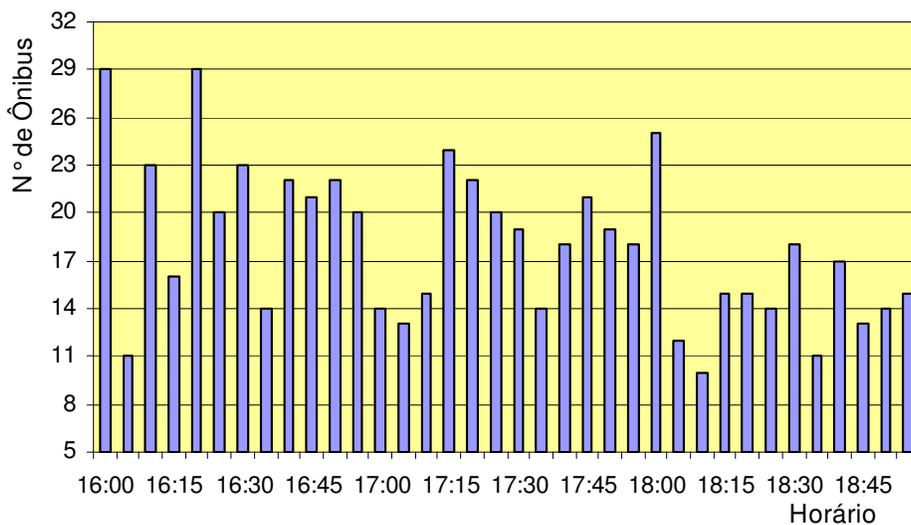


Figura 5.5 (d) – Fluxo de ônibus em intervalos de cinco minutos

5.2.2 - Terminal Umuarama

Assim como em alguns terminais já descritos, o Terminal Umuarama também apresentou todos os valores obtidos para $L_{eq,5min}$ acima do máximo preconizado pela legislação pertinente no Brasil, conforme está ilustrado na Figura 5.6(a).

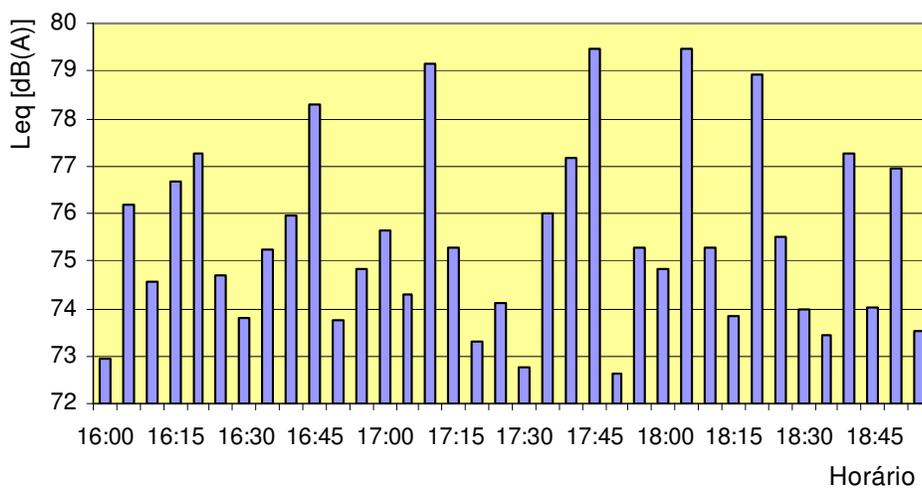


Figura 5.6(a) - Níveis sonoros equivalentes ($L_{eq,5min}$) para intervalo de cinco minutos

Os valores mínimo e máximo encontrados foram de aproximadamente 73 e 79 dB(A), conforme está ilustrado no Gráfico 5.6(a). A frequência de ocorrência para os níveis de ruído medidos no terminal Umuarama está mostrada na Figura 5.6(b) e apresenta uma distribuição do tipo simétrica. A maior ocorrência foi para o nível 74 dB(A). Na Figura 5.6(c) estão mostrados os níveis percentis dos níveis de ruído para as três horas medição no Terminal Umuarama.

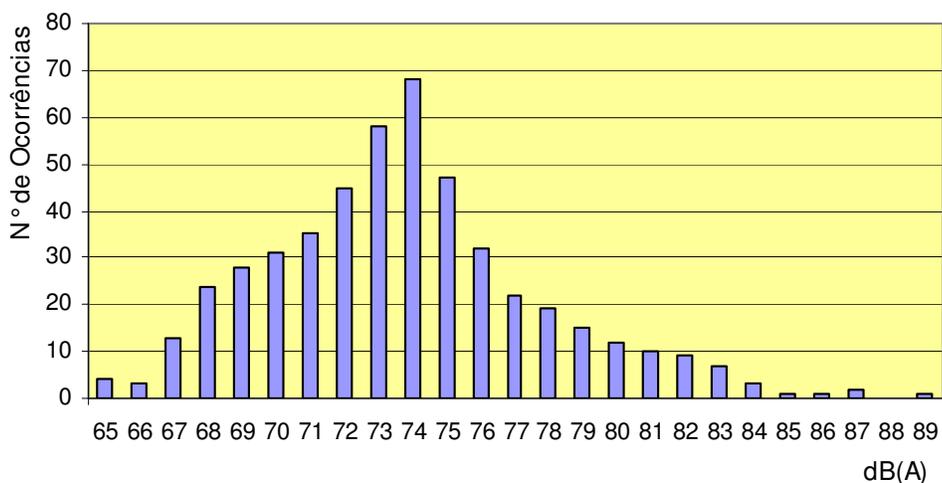


Figura 5.6 (b) - Frequências de ocorrência dos níveis sonoros

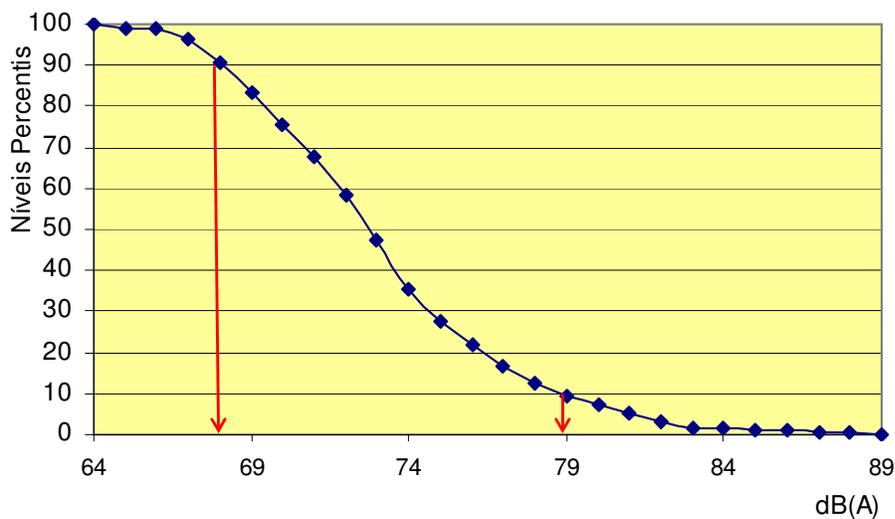


Figura 5.6 (c) – Níveis percentis L_{10} e o L_{90} da pressão sonora em dB(A)

A variação da curva é bastante uniforme e apresenta L_{90} igual a 68 dB(A) e L_{10} igual a 79dB(a). O número de veículos em intervalos de cinco minutos durante o período de medição de ruído pode ser visto na Figura 5.6(d). É possível observar que a variação deste é constante, entre 3 e 13 veículos.

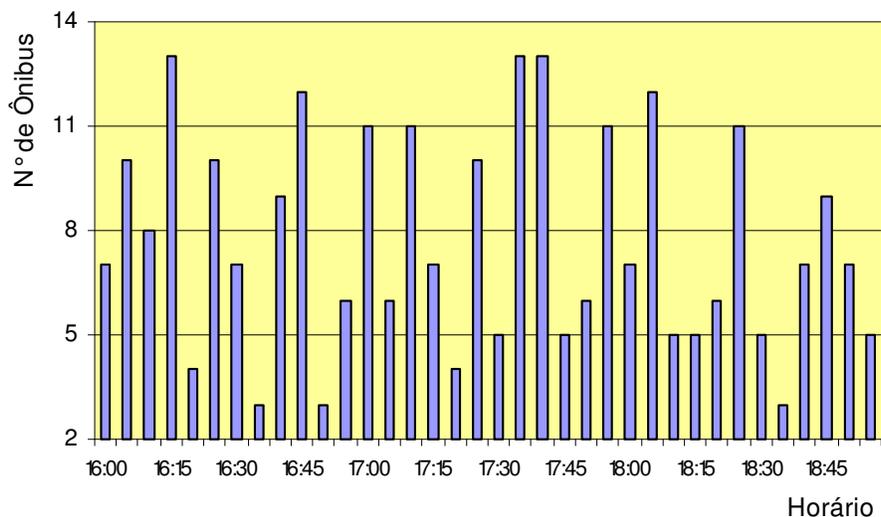


Figura 5.6 (d) – Fluxo de ônibus em intervalos de cinco minutos

5.2.3 - Terminal Santa Luzia

Os valores de $L_{eq,5min}$ obtidos para este terminal estão todos acima de 70 dB(A). O menor $L_{eq,5min}$ encontrado foi próximo a 71 dB(A) enquanto o maior valor foi aproximadamente 81 dB(A) conforme pode ser visto na Figura 5.7(a). A Figura 5.7(b) de frequência de ocorrência não apresenta características tão uniformes como de alguns outros terminais analisados. Uma possível explicação para este fato é a proximidade do terminal com um corredor de tráfego (Avenida João Naves de Ávila) e, portanto, tendo seus níveis de ruído influenciados pelo fluxo de veículos da avenida. As maiores ocorrências foram para os níveis 67, 70 e 73 dB(A). A Figura 5.7(c) mostra os níveis percentis de ruído para o Terminal Santa Luzia. É possível verificar que a variação de sua curva também não é tão uniforme. Os valores encontrados para os níveis percentis utilizados para calcular o TNI, L_{90} e L_{10} foram respectivamente, 64,9 e 77 dB(A). Na Figura 5.7(d) estão mostrados os

valores do número de veículos no terminal pra cada intervalo de cinco minutos durante o período de medição. A variação do fluxo foi constante durante todo o intervalo de medição, apresentando como menor e maior valor, respectivamente, 5 e 15 veículos.

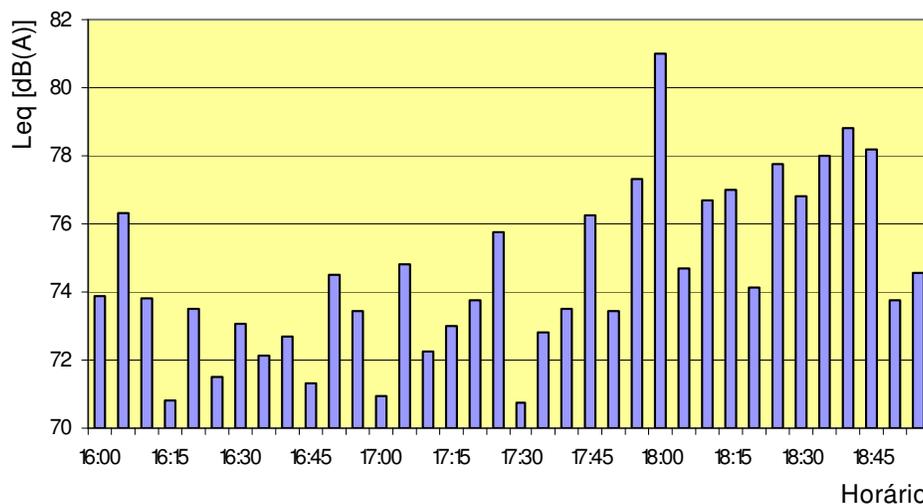


Figura 5.7(a) - Níveis sonoros equivalentes ($L_{eq,5min}$) para intervalo de cinco minutos

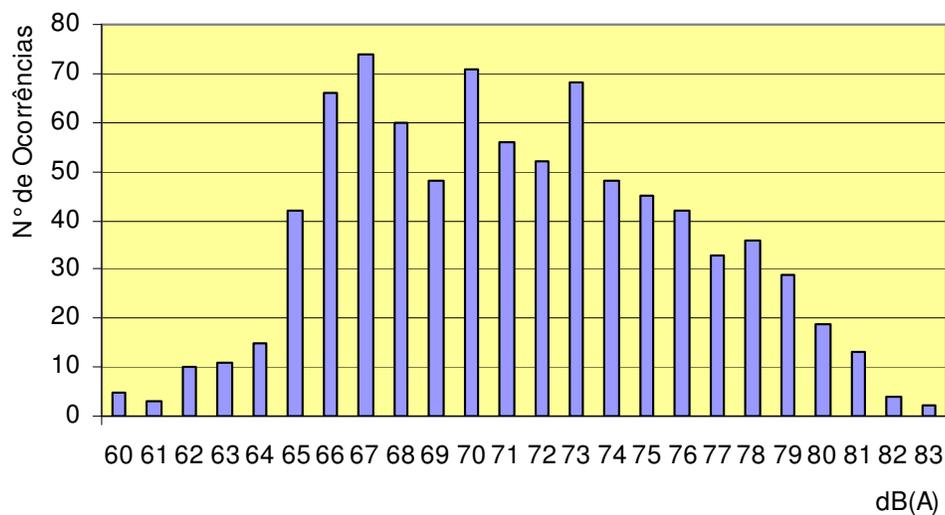


Figura 5.7(b) - Frequências de ocorrência dos níveis sonoros

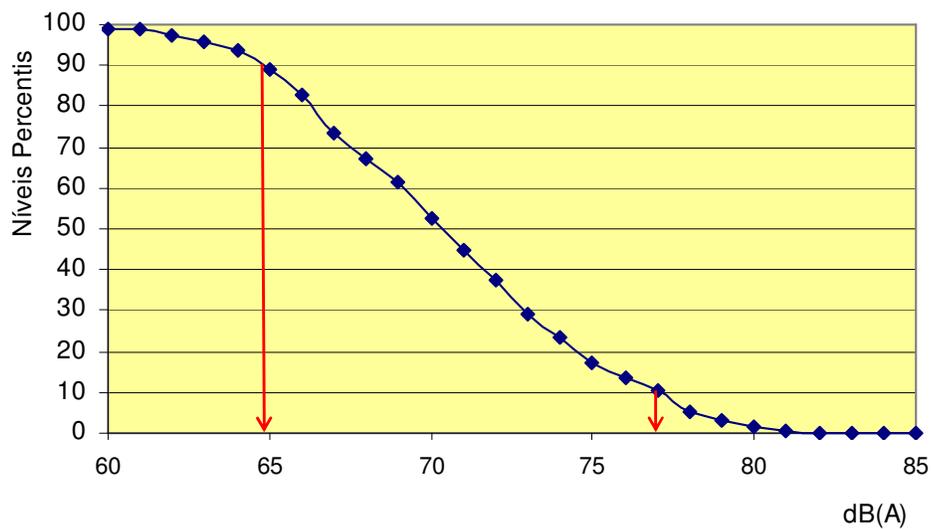


Figura 5.7 (c) – Níveis percentis L_{10} e o L_{90} da pressão sonora em dB(A)

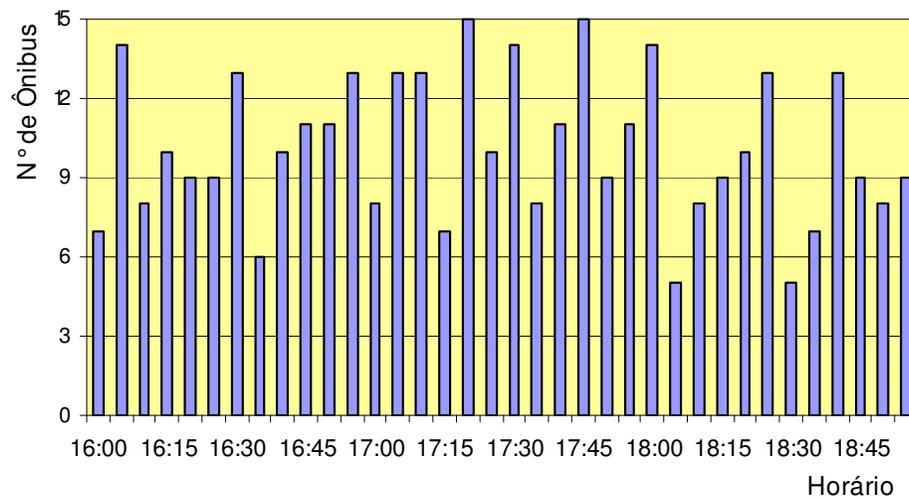


Figura 5.7 (d) – Fluxo de ônibus em intervalos de cinco minutos

5.2.4 - Terminal Planalto

Os níveis sonoros equivalentes ($L_{eq,5min}$) calculados para o Terminal Planalto estão mostrados na Figura 5.8 (a). Nem todos $L_{eq,5min}$'s estiveram acima de 70 dB(A). O menor valor obtido foi próximo a 65 dB(A) enquanto os maiores estiveram acima de 75 dB(A). A Figura 5.8(b) de frequência de ocorrência possui uma distribuição do tipo simétrica com pequenas variações a este comportamento. A maior ocorrência foi para o nível 71 dB(A).

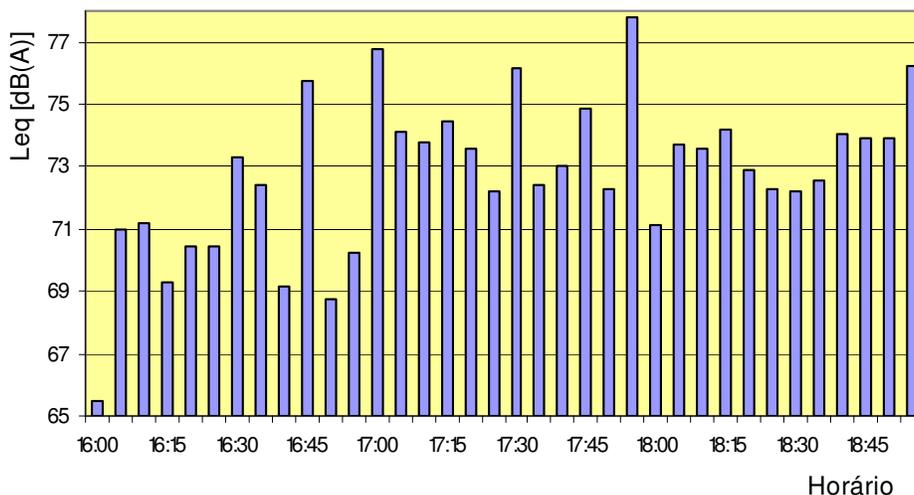


Figura 5.8(a) - Níveis sonoros equivalentes ($L_{eq,5min}$) para intervalo de cinco minutos

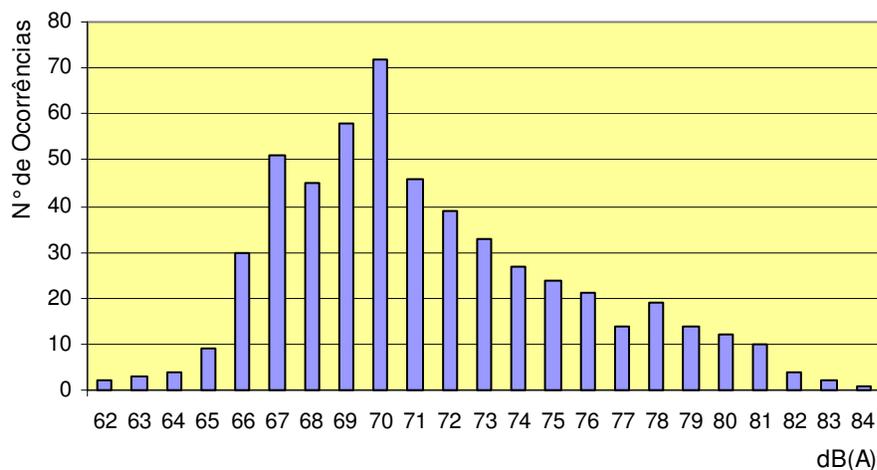


Figura 5.8(b) - Frequências de ocorrência dos níveis sonoros

Já a Figura 5.8(c) de níveis percentis mostra que o ruído de fundo durante as medições (L_{90}) foi em torno de 66,5 dB(A), enquanto os picos de ruído (L_{10}) estiveram acima de 76 dB(A). A variação do número de veículos durante o período de medição foi constante conforme pode ser visto na Figura 5.8(d), porém este foi quase sempre menor que 6 veículos/ 5 min. e apresentou um valor pico de 14 veículos/5 min.

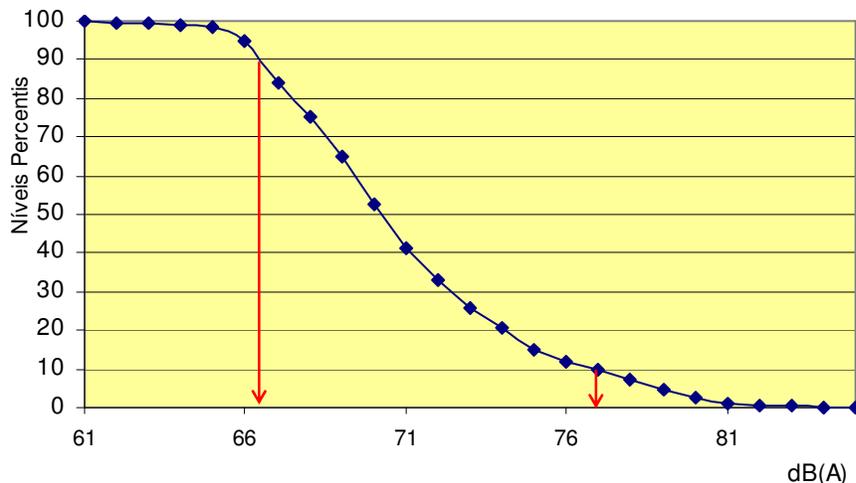


Figura 5.8 (c) – Níveis percentis L_{10} e L_{90} da pressão sonora em dB(A)

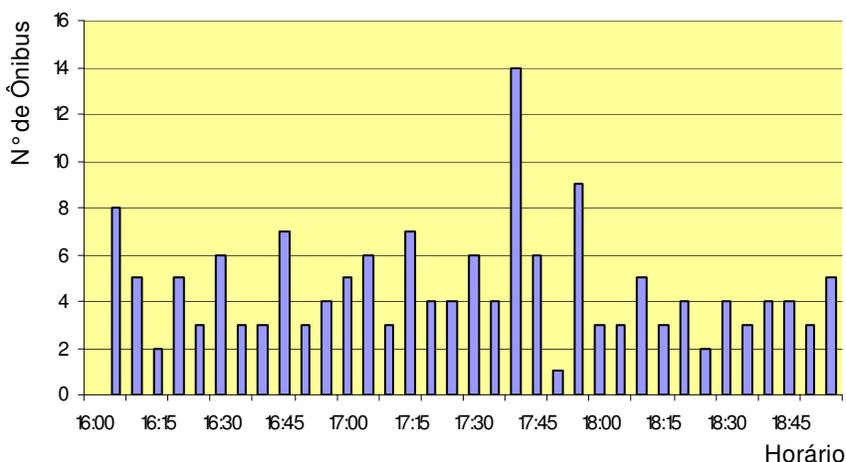


Figura 5.8 (d) – Fluxo de ônibus em intervalos de cinco minutos

5.2.5 - Terminal Industrial

Dentre os terminais da cidade de Uberlândia, o Terminal Industrial foi o que apresentou os menores indicadores de ruído. Isto já era esperado, visto que este terminal é o que possui o menor fluxo de veículos da cidade. Pela Figura 5.9(a) pode ser visto que houveram poucos $L_{eq,5min}$ acima de 73 dB(A). A Figura 5.9(b) apresenta a frequência de ocorrência para os níveis de ruído presentes no terminal. A distribuição que mais se assemelha com o gráfico é a do tipo bimodal com pontos de máxima ocorrência em 65 e 70 dB(A). Para curvas deste tipo, com o primeiro máximo da esquerda para a direita, superior ao segundo, deve-se esperar que o ruído de tráfego seja mais incômodo devido a seu caráter intermitente, porém mesmo quando a relação entre os dois picos não é como esta descrita, curvas bimodais indicam de uma maneira geral ruído de tráfego mais incômodos (SPIEGEL, 1993). Isto porque este assume um caráter mais intermitente, uma vez que é mais contrastante com o ruído de fundo no local (VALADARES, 1997).

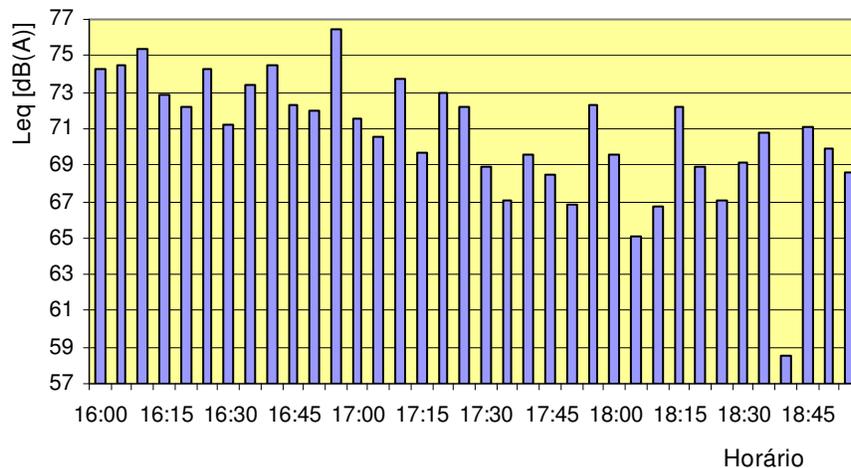


Figura 5.9(a) - Níveis sonoros equivalentes ($L_{eq,5min}$) para intervalos de cinco minutos

Com relação a frequência de ocorrência, a maior ocorrência foi para o nível de 70 dB(A). A Figura 5.9(c) de níveis percentis mostra que o ruído de fundo (L_{90}) neste terminal é menor que 63 dB(A) enquanto os picos (L_{10}) que ocorreram foram maiores que 76 dB(A).

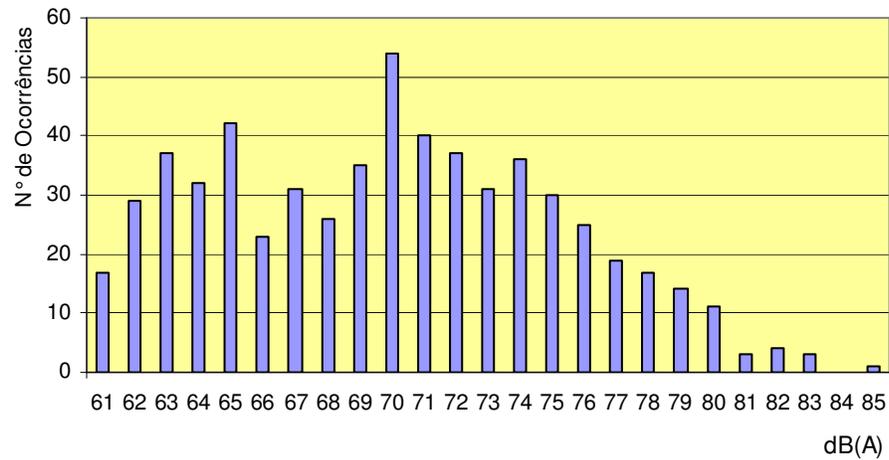


Figura 5.9(b) - Frequências de ocorrência dos níveis sonoros

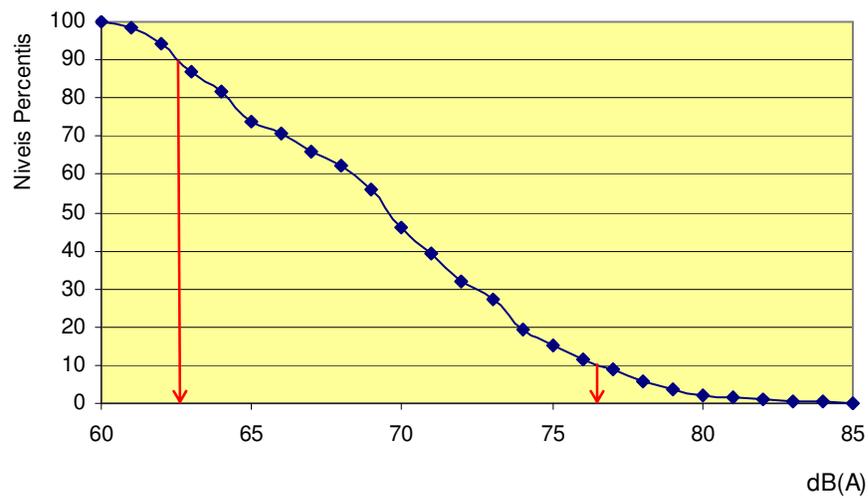


Figura 5.9 (c) – Níveis percentis L_{10} e L_{90} da pressão sonora em dB(A) (Terminal Industrial)

O fluxo neste terminal é baixo, conforme já foi dito e pela Figura 5.9(d), e pode-se observar que durante as medições houve somente alguns intervalos de cinco minutos com fluxo maior do que quatro veículos.

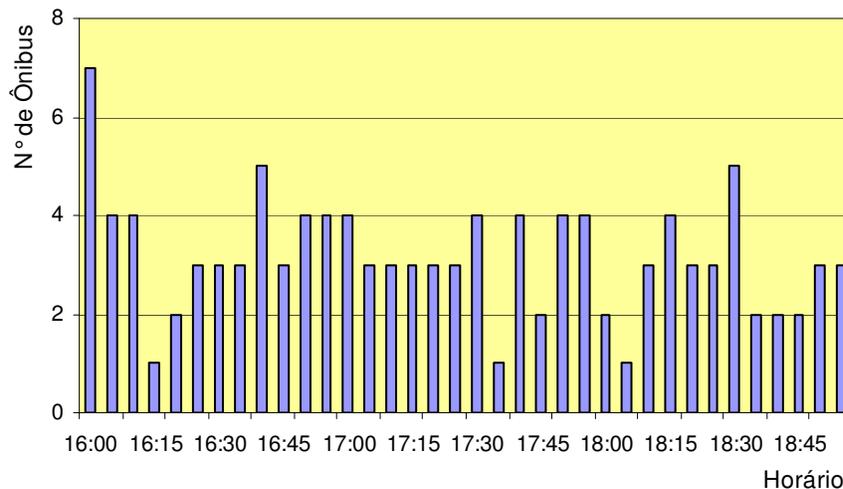


Figura 5.9 (d) – Fluxo de ônibus em intervalos de cinco minutos terminal Industrial

5.3 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS REFERENTES AOS NÍVEIS DE RUÍDO OBSERVADOS NOS TERMINAIS

Conforme era esperado, os níveis de ruído nos terminais estão, em geral, acima do que é recomendado pela NBR 10151 (ABNT, 2000) para ruído de tráfego em centros urbanos. Todos os terminais apresentaram para o período de medição $L_{eq,total}$ acima de 70 dB(A), exceto o terminal São Gabriel que apresentou este valor aproximadamente igual a 70 dB(A) e, no geral, apresentou os menores valores para os indicadores de ruído analisados. Porém, este terminal ainda não está operando na capacidade para qual foi projetado, ou seja, ainda possui baixo fluxo de veículos.

A Figura 5.1 a seguir faz um resumo de todos os indicadores de ruído analisados para todos os terminais da cidade de Belo Horizonte e Uberlândia.

Tabela 5.1 –Indicadores de ruído referentes aos Terminais

Terminal		Níveis de ruído (dB(A))						
		$L_{eq,tot}$	L_{min}	L_{max}	L_{90}	L_{50}	L_{10}	TNI
Belo Horizonte	Barreiro	76,4	67,3	86,5	70,7	73,9	78,9	73,5
	Diamante	73,1	61,3	85,9	66,4	71,1	75,8	74,0
	São Gabriel	70,2	60,2	84,3	62,5	67,1	71,9	70,1
	Venda Nova	74,3	61,0	88,7	66,4	70,7	76,8	78,0
Uberlândia	Central	78,1	68,7	91,2	74,0	77,6	82,3	77,2
	Industrial	72,6	60,7	85,2	62,7	69,5	76,2	86,7
	Planalto	73,1	61,7	84,4	66,4	70,1	76,8	78,0
	Santa Luzia	77,6	60,2	83,4	64,9	70,5	77,0	83,3
	Umuarama	75,8	64,8	89,3	68,0	72,8	79,0	82,0

De todos os terminais analisados, o Terminal que possui situação mais crítica com relação ao ruído é o Terminal Central localizado na cidade de Uberlândia. Os maiores valores de $L_{eq,total}$, L_{min} , L_{max} , L_{90} , L_{50} e L_{10} (L_{min} , L_{max} são o menor e o maior nível observado durante as medições, respectivamente) obtidos nas medições do presente estudo foram para este terminal, conforme pôde ser visto na Figura 5.1. Este terminal foi também o que obteve o maior valor de fluxo médio de veículos durante as medições (215 veic./h), além de possuir a maior parte de sua área coberta e fechada nas laterais por alvenarias, o que agrava o efeito de reflexão das ondas sonoras. Em Belo Horizonte, o Terminal que apresentou os maiores valores de ruído foi a Estação Barreiro com $L_{eq,total}$ maior que 76 dB(A). Este terminal também apresentou um grande fluxo médio de veículos durante as medições (171 veic./h). Os valores de L_{90} e L_{10} obtidos para a Estação Barreiro também foram altos, respectivamente, 70,7 e 78,9 dB(A).

Os menores valores de níveis de ruído foram obtidos nos Terminais Industrial em Uberlândia e na Estação São Gabriel em Belo Horizonte conforme já foi citado. O Terminal Industrial obteve $L_{eq,total}$ de 72,61 dB(A), sendo que os picos de ruído (L_{10}) foram pouco acima de 76 dB(A). Já a Estação São Gabriel apresentou $L_{eq,total}$ de 70,18 dB(A) e picos de ruído da ordem de 72 dB(A). Os menores valores de L_{90} , e L_{50} também foram encontrados neste terminal, respectivamente, 62,5 e 67,1 dB(A).

Com relação ao Índice de Ruído de Tráfego (TNI), o terminal que apresentou o maior valor em Belo Horizonte foi a Estação Venda Nova, 78 dB(A). Já em Uberlândia, o Terminal com o maior TNI foi o Terminal Industrial, 86,7 dB(A). Este parâmetro independe do L_{eq} ,

sendo função, apenas, dos níveis percentis L_{90} e L_{10} , conforme pôde ser visto na Equação 2.9. Quanto maior for a diferença entre o ruído de fundo (L_{90}) e os picos de ruído (L_{10}), maior será o incômodo gerado. Segundo Álvares & Souza (1992a) há uma tendência de o TNI aumentar com o decréscimo do L_{eq} , isto porque com o decréscimo deste parâmetro o ruído de fundo também diminui, porém continua a ocorrer picos de ruído devido ao tráfego de veículos isolados. Dessa maneira aumenta-se o intervalo entre L_{90} e L_{10} , o que faz o TNI também obter maiores valores.

A seguir a Figura 5.10 apresenta todos os indicadores de ruído observado para os terminais, facilitando a visualização de todos os comentários feitos nos parágrafos acima.

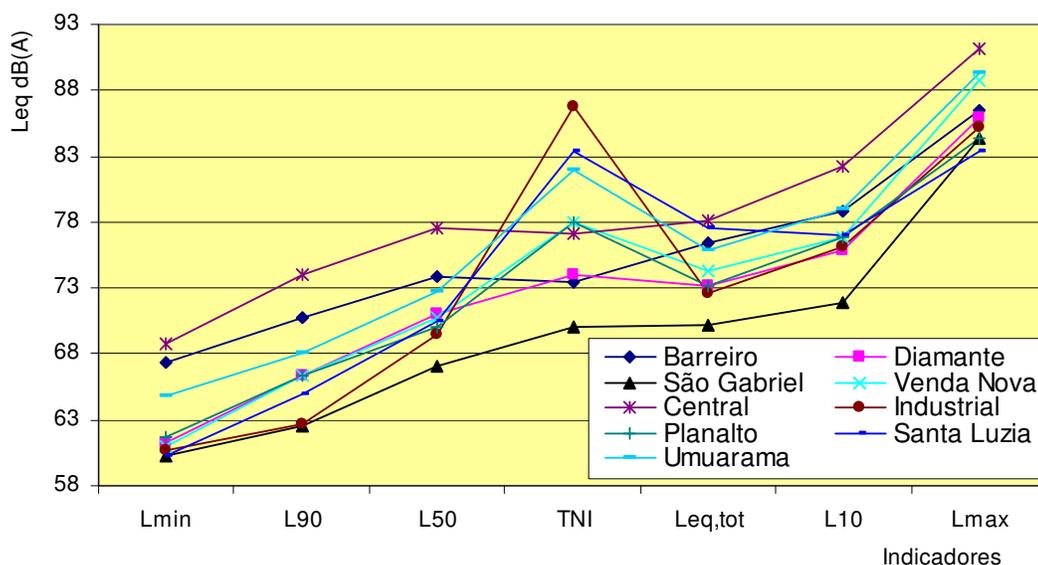


Figura 5.10 – Variação dos indicadores de ruído dos terminais

Os valores de L_{min} foram muito próximos para os terminais São Gabriel, Santa Luzia, Diamante, Industrial, Planalto e Venda Nova. Os únicos terminais que ficaram fora deste agrupamento foram o Terminal Central, Umuarama e Estação Barreiro. O formato dos gráficos referentes ao Terminal Central e Estação Barreiro é similar e estes possuem os maiores valores para praticamente todos os indicadores. Estes terminais ainda são caracterizados por apresentarem os maiores fluxos de ônibus. O Figura acima permite ainda observar claramente os picos do TNI mesmo para terminais que apresentaram baixos valores para os outros indicadores, como por exemplo, o Terminal Industrial.

Durante as medições foi possível ainda observar que os maiores picos de ruído ocorrem devido a dois fatores, a saber, a elevada rotação dos motores dos ônibus e também a descompressão dos sistemas freio a ar dos mesmos.

5.4 - PESQUISAS DE OPINIÃO REALIZADAS NOS TERMINAIS

Tão importante quanto conhecer os níveis de ruído presentes nos terminais é também saber a opinião dos usuários, aqueles que sofrem diretamente qualquer efeito oriundo da poluição sonora nestes ambientes. Em adição as medições de ruído e contabilização do fluxo, foram realizadas pesquisas de opinião em todos os terminais.

Os resultados das pesquisas realizadas foram tabulados e estão apresentados nas Tabela 5.2a-5.2c. A Tabela 5.2a apresenta nas duas primeiras colunas a porcentagem de homens e mulheres entrevistados em cada terminal, a seguir é mostrado a porcentagem de homens e mulheres que se dizem incomodados com o ruído e ainda o total para cada terminal, e nas últimas colunas é apresentado a porcentagem de usuários que dizem ser o ruído o principal fator de incômodo nos terminais.

Tabela 5.2a – Resultados das pesquisas de opinião

TERMINAL		Amostra (%)			Nível de incomodados (%)			Ruído como principal fator (%)		
		H	M	Total	H	M	Total	H	M	Total
Belo Horizonte	Barreiro	53	47	100	63	74	68	40	74	56
	Diamante	47	53	100	55	61	58	65	78	51
	São Gabriel	45	55	100	37	41	40	50	54	47
	Venda Nova	46	54	100	75	89	83	68	47	57
Uberlândia	Central	46	54	100	83	67	73	75	38	60
	Umarama	50	50	100	53	87	70	46	66	57
	Planalto	50	50	100	47	60	53	40	40	40
	Santa Luzia	48	52	100	47	69	58	47	56	51
	Industrial	50	50	100	63	25	44	25	19	22
Média geral		48	52	100	58	64	61	50	52	49

A Tabela 5.2b apresenta a opinião do usuário com relação ao ruído (alto, muito alto, outros) e a Tabela 5.2c apresenta a porcentagem de usuários que se dizem incomodados, distintos por faixa etária.

Tabela 5.2b – Resultados das pesquisas de opinião

TERMINAL		Percentual de entrevistados que consideram o nível de ruído			
		A	MA	A+MA	Outros
Belo Horizonte	Barreiro	56	22	78	22
	Diamante	62	7	69	31
	São Gabriel	20	6	26	64
	Venda Nova	49	17	66	34
Uberlândia	Central	52	30	82	18
	Umuarama	53	17	70	30
	Planalto	50	7	57	43
	Santa Luzia	45	16	61	39
	Industrial	41	6	47	53

Tabela 5.2c – Resultados das pesquisas de opinião

TERMINAL		Nível de incomodados por faixa etária				
		≤ 19	20 - 29	30 - 39	40 - 49	> 50
Belo Horizonte	Barreiro	60	65	83	83	50
	Diamante	50	55	63	100	50
	São Gabriel	66	40	0	0	0
	Venda Nova	50	92	83	83	50
Uberlândia	Central	60	75	100	100	75
	Umuarama	88	73	66	100	0
	Planalto	40	61	50	0	100
	Santa Luzia	63	77	33	50	0
	Industrial	40	36	66	75	50

Comparando a Tabela 5.2b com a Tabela 5.1 é possível constatar que o Terminal que possui a maior porcentagem de usuários que classificam o ruído como acima do normal, alto ou muito alto (82%), é também o terminal que possui o maior $L_{eq,total}$: Terminal Central em Uberlândia. Já a Estação São Gabriel, que obteve o menor $L_{eq,total}$ (70,18 dB(A)) apresentou a menor porcentagem de respondentes para o mesmo quesito (26%). Do total de todos entrevistados, 61%, em média, se dizem incomodados com os ruídos nos terminais.

Em geral, podem ser observadas duas características predominantes nos terminais pesquisados: (1) as mulheres se sentem mais incomodadas com o ruído conforme pôde ser observado que em sete dos nove terminais pesquisados o percentual de mulheres incomodadas é maior que o dos homens e (2) metade das pessoas entrevistadas dizem que

o ruído é alto (A) e 61% dos entrevistados dizem que o ruído está acima do normal (ruído alto e muito alto). Conforme era esperado, o Terminal com maior $L_{eq,total}$ obteve a maior porcentagem de respondentes para “Alto” ou “Muito Alto”, Terminal Central (82%).

Quando questionados sobre o pior problema ambiental dos terminais, 49 % do total dos entrevistados afirmaram ser o ruído, dos quais 51% são homens e 52% são mulheres. O terminal em que a maior porcentagem de respondentes que dizem ser o ruído o principal problema ambiental (60%), foi o terminal que possui o maior L_{eq} (78,05 dB(A)), Terminal Central em Uberlândia. E o terminal que obteve a menor porcentagem para a mesma pergunta (22%), foi o Terminal Industrial, que possui o segundo menor L_{eq} (72,61 dB(A)).

Inicialmente a tabulação dos dados de “Incômodo” em função da “Idade” não apresentou nenhuma correlação, porém agrupando-se os entrevistados em faixas de “ate 29 anos”, de “30 a 49 anos” e desconsiderando os entrevistados com mais de 50 anos devido ao baixo número de respondentes com essa idade, obtêm-se 61% para a primeira situação e 63% para a seguinte. Isto poderia indicar um aumento do incomodo pelo ruído com o envelhecimento. Para obter informações mais precisa sobre este parâmetro seria indicado realizar uma pesquisa com uma amostragem maior e uniforme para faixas de idades.

5.5 – RUÍDO MEDIDO EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR

A maneira como os ônibus são dirigidos podem gerar mais ou menos poluição sonora, isto porque o nível de ruído que o motor de um ônibus emite varia de acordo com sua rotação. Isto é, quanto mais alta for a rotação que é exigida do motor através do pedal de aceleração, maior é o ruído emitido. Esse é um dos principais motivos pelo qual em algumas situações, para o mesmo valor de fluxo de ônibus em um intervalo pequeno de tempo nos terminais, têm-se diferentes valores de L_{eq} . Isso ocorre porque alguns motoristas aceleram de forma desnecessária os motores dos ônibus. Dessa forma é possível ter em alguns momentos um baixo valor de fluxo de veículos nos terminais e níveis de ruído maiores do que em situações com maiores fluxos.

Para comprovar essa relação direta entre o nível de ruído emitido e a rotação dos motores dos veículos, optou-se por realizar medições em veículos isoladamente e fora dos

terminais. As medições foram realizadas no Bairro Buritis em Belo Horizonte com o apoio da BHTRANS. O local é utilizado para realização de medições de emissão de gases dos veículos e caracteriza-se por ser um ambiente com pouca movimentação de veículos e pessoas.

Conforme a Norma NBR 15145 (ABNT, 2004) o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado a 1 m de distancia do motor em duas situações distintas, com a tampa do motor aberta e fechada, e foram realizadas medições com o motor funcionando em várias rotações, conforme pode ser visto na Tabela 5.3. Foram selecionados aleatoriamente 8 diferentes modelos de ônibus com diferentes posições de motor (dianteiro e traseiro), ano e modelo. Os anos de fabricação dos veículos variaram de 1995 a 2005. Durante as medições observou-se também o ruído de fundo presente. Na Tabela 5.3 estão mostradas todas as informações referentes às medições de ruído em veículos isolados.

Tabela 5.3 – Nível de ruído emitido por ônibus com diferentes motores

Motor	Ano	Posição do Motor	Giro (rpm)	Nível de Ruído dB(A)		Ruído de fundo dB(A)
				Condição da tampa		
				Fechada	Aberta	
0371UL	1995	Traseiro	700	79,7	85,5	40
			1.000	83,8	90,0	40
			1.500	88,5	95,0	40
			2.200	90,8	100,3	40
371VL	1996	Traseiro	700	78,5	84,0	40
			1.000	81,5	86,6	40
			1.500	86,5	92,0	40
			2.200	94,0	98,3	40
1621	1998	Traseiro	700	77,0	83,0	50
			1.000	84,0	89,0	50
			1.500	92,0	97,5	50
			2.200	94,0	99,0	50
OH1420	1999	Traseiro	700	79,0	83,5	40
			1.000	84,5	88,7	40
			1.500	91,5	92,8	40
			2.200	97,6	99,0	40
366LA	1999	Traseiro	700	78,0	87,0	50
			1.000	81,0	91,0	50
			1.500	87,0	96,0	50
			2.200	91,0	97,5	50
OF1721	2003/4	Dianteiro	700	79,5	81,5	40
			1.000	81,5	82,5	40
			1.500	86,0	87,0	40
			2.200	93,0	94,0	40
1721MB	2004	Dianteiro	700	78,5	80,5	40
			1.000	80,5	82,7	40
			1.500	87,0	88,3	40
			2.200	93,0	94,2	40
OF1722	2005	Dianteiro	700	77,0	78,3	40
			1.000	81,5	83,0	40
			1.500	87,0	86,5	40
			2.200	89,0	92,0	40

5.5.1 - Discussão dos Resultados da Medição de Ruído em Veículos Isolados

Este item do trabalho reforça a hipótese de que o desempenho dos motores dos veículos dentro dos terminais pode influenciar de maneira direta no ruído.

À medida que se aumenta o giro do motor o nível de ruído emitido também é maior, conforme era esperado. Durante as medições obteve-se níveis de ruídos acima de 100 dB(A) com a tampa do motor aberta e acima de 97 dB(A) com a tampa fechada para o

motor em 2.200 rpm, conforme pôde ser visto na Tabela 5.3. O menor valor encontrado foi de 77 dB(A) para o ônibus com motor traseiro ano 1998 com a tampa fechada e rotação de 700 rpm.

Apesar de veículos com maior tempo de uso ter um desgaste maior das peças e componentes, estando assim sujeitos a uma maior emissão de ruído, não foi possível chegar a uma correlação entre ano de fabricação e a respectiva emissão de ruído. Isso pode ter ocorrido devido à pequena amostra que foi ensaiada, bem como a variedade de marcas e modelos dos ônibus. Não se observou também nenhuma relação entre os níveis de ruído emitido em função da posição do motor (dianteiro ou traseiro). Porém, será visto no **Capítulo 6** que a amostra foi suficiente para desenvolver um modelo simplificado para fazer a previsão da emissão de ruído por motores de ônibus em função somente da rotação do motor. O modelo apresentou bons resultados, independentemente da posição do motor, bem como o ano de fabricação e modelo, o que ajuda a concluir que a maneira com que os motoristas dirigem os veículos dentro dos terminais influencia diretamente na poluição sonora nestes ambientes, bem como ao seu entorno.

Diante disso fica evidente o quão potente é o motor de um ônibus urbano como uma fonte de ruído e quão exposto estão os terminais de transporte coletivo urbano devido ao intenso fluxo de veículos nestes ambientes.

5.6 - MEDIÇÃO DE RUÍDO EM CONDIÇÃO DE BAIXO GIRO DO MOTOR

A fim de comprovar na prática que o desempenho dos motoristas na direção dos veículos no terminal influencia diretamente no ruído gerado, foi realizada uma medição com restrição ao giro dos motores dos ônibus, para posterior comparação com uma medição em circunstâncias normais. Conforme descrito na metodologia deste trabalho, realizou-se uma medição de ruído e fluxo no Terminal Santa Luzia, onde os motoristas eram orientados a manter em níveis mais baixo o giro dos motores no local.

Apesar de ter sido observado que nem todos os motoristas colaboraram com a pesquisa, acelerando de modo mais suave os veículos, a redução do L_{eq} foi da ordem de pouco mais de 3 dB(A), passando de 76,9 dB(A) para 73,3 dB(A), quando se comparou com a medição em condições operacionais regulares do cotidiano. A média realizada para os 12 valores de L_{eq} calculados em intervalos de cinco minutos durante 1 hora de medição também apontou uma redução de aproximadamente 3 dB(A), passando de 76,23 dB(A) para 73,27 dB(A).

Na Figura 5.11 estão mostrados os valores obtidos nas medições, com e sem o procedimento de baixo giro nos motores, realizada no Terminal Santa Luzia. Os valores de L_{eq} apresentados são em intervalos de cinco minutos. A Figura tem nas abscissas valores para intervalos de fluxos de veículos. Adotou-se este procedimento porque o fluxo durante a medição diferenciada não foi exatamente o mesmo no dia da medição regular, porém foi bem próximo. É perceptível que em praticamente todos os intervalos obtiveram-se menores valores de L_{eq} na medição realizada com restrição ao giro do motor.

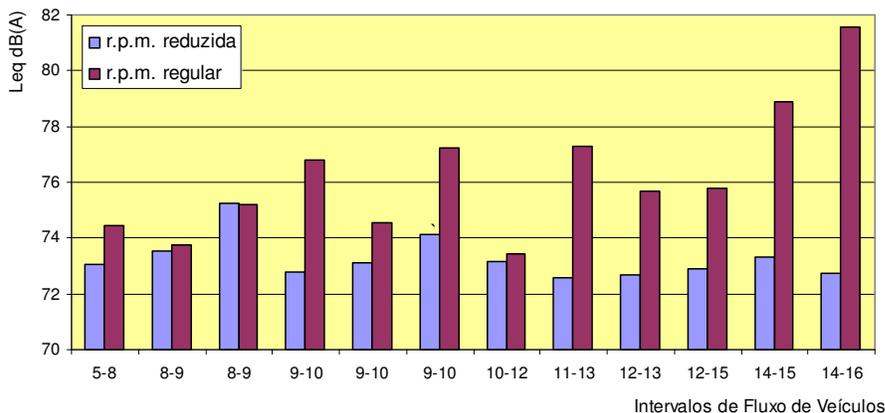


Figura 5.11 – Medições com e sem o procedimento de baixo giro nos motores (Terminal Santa Luzia)

O gráfico mostra claramente que praticamente em todos os intervalos houve uma diminuição do Nível Sonoro Equivalente. Além disso, é possível ainda verificar que há uma diferença maior nos valores de L_{eq} à medida que se aumenta o número de veículos. Ou seja, o resultado do experimento é mais perceptível para maiores fluxos.

A partir de todos estes dados de ruído que acabaram de ser apresentados para os terminais de Belo Horizonte e Uberlândia foram obtidos os modelos de previsão de ruído. A finalidade dos modelos é permitir a geração de cenários futuros nos terminais que antecipe os problemas ambientais provocados pelo ruído, ainda na etapa de projeto, ou seja, antes de sua ocorrência. Assim, os setores e agentes envolvidos podem interferir no sistema de transportes públicos com estratégias de curto, médio e longo prazo evitando que a situação evolua para ambientes mais insalubres nos terminais urbanos, local de passagem diariamente de um grande número de pessoas e de trabalho cujo tempo de exposição é bem mais prolongado.

O desenvolvimento teórico dos modelos está descrito no **Capítulo 6**, bem como o método estatístico de análises e modelagem envolvidos no processo de calibração.

CAPÍTULO 6

DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS

Segundo STEELE (2001), o primeiro modelo desenvolvido para ruído de tráfego foi em 1952 em *Handbook of Acoustic Noise Control*. O modelo determinava o nível percentil L_{50} (Nível acima do qual o tempo de duração é de 50%) a partir do volume de tráfego por hora e a distância da fonte até o receptor.

A partir de então, diversos modelos foram propostos sendo cada vez mais aprimorados e considerando um número maior de variáveis. Atualmente os modelos convencionais de previsão de ruído de tráfego têm como variáveis o volume de tráfego separados em suas categorias de veículos leves, médios e pesados, a largura da via, velocidade média dos veículos, declividade da via e distância da fonte, entre outros. Há modelos que consideram ainda dados geométricos das edificações em torno da via e dados meteorológicos como velocidade e umidade relativa do ar.

Os modelos a serem desenvolvidos neste trabalho serão baseados em variáveis dos seguintes tipos: fluxo de ônibus, características geométricas arquitetônicas dos terminais, pesquisas de percepção do usuário e ainda medições de ruído em veículos isolados.

Após a configuração da base de dados, calibraram-se os modelos com base na teoria de regressão linear e, para validar a significância estatística do modelo, foram considerados o coeficiente de determinação, o teste t de Student e o erro padrão de estimativa.

Os modelos desenvolvidos consideraram a velocidade dos veículos nos terminais constante e abaixo de 20 Km/h e devido às declividades das vias de tráfego nos terminais serem muito pequenas, considerou-se a rampa igual a 0%. Logo estes dois parâmetros não foram considerados nos modelos.

A seguir serão detalhados separadamente todos os modelos que foram desenvolvidos a partir da base de dados coletada.

6.1 – DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE PREVISÃO DO NÍVEL SONORO EQUIVALENTE ($L_{eq, 5MIN.}$)

Com a base de dados preliminar coletada na cidade de Uberlândia, foram testados inicialmente três modelos para previsão de nível sonoro equivalente (L_{eq}), a saber, $L_{eq,5min}$ versus fluxo de ônibus, $L_{eq,5min}$ versus logaritmo do fluxo de ônibus e por último $L_{eq,5min}$ versus raiz quadrada do fluxo de ônibus.

Devido à constante variação do fluxo de ônibus nos terminais, foram contabilizados separadamente em intervalos de cinco minutos e, assim, considerados no modelo. A seguir são apresentados os diagramas de dispersão das três hipóteses testadas, bem como os valores estimados pelos modelos desenvolvidos (Figuras 6.1 - 6.3). Nas abscissas está o número de ônibus em intervalos de cinco minutos, e nas ordenadas estão os valores de $L_{eq,5min}$.

Para o primeiro modelo testado (Figura 6.1), por regressão linear simples, o valor do coeficiente de determinação encontrado foi igual a 0,77, e respectivamente, 0,81 e 0,82 para os modelos 2 e 3. Apesar do valor deste coeficiente no modelo 1 ser satisfatório, é sabido que o aumento dos níveis de ruído em função do aumento do fluxo de ônibus não seguiria uma escala linear, devido à utilização de escala logarítima na quantificação de pressão sonora. Já os modelos 2 e 3 apresentaram valores do coeficiente de determinação muito próximos e estatisticamente são significantes. A seguir são mostrados os valores dos coeficientes de determinação, do erro padrão de estimativa e do teste t de Student para cada modelo.

Modelo 1:

$$L_{eq} = 72,09 + 0,03 \cdot Q \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} R^2 &= 0,77 & S_{Y(E)} &= 1,64 \\ t_{(b)} &= 15,3 & t_{\min} &= 1,68 \end{aligned}$$

Modelo 2:

$$L_{eq} = 59,25 + 0,75 \cdot \ln(Q) \quad (6.2)$$

$$\begin{aligned} R^2 &= 0,81 & S_{Y(E)} &= 1,47 \\ t_{(b)} &= 17,5 & t_{\min} &= 1,68 \end{aligned}$$

Modelo 3:

$$L_{eq} = 68,45 + 2,59 \cdot \sqrt{Q} \quad (6.3)$$

$$\begin{aligned} R^2 &= 0,82 & S_{Y(E)} &= 1,48 \\ t_{(b)} &= 17,30 & t_{\min} &= 1,68 \end{aligned}$$

Onde:

- L_{eq} é o nível sonoro equivalente;
- Q é o fluxo de veículo no terminal a cada cinco minutos;
- $S_{Y(E)}$ é o erro padrão de estimativa;
- $t_{(b)}$ é o valor do teste t de Student;
- t_{\min} é o valor mínimo para o teste t de Student com 95 % de grau de confiança e 50 graus de liberdade;

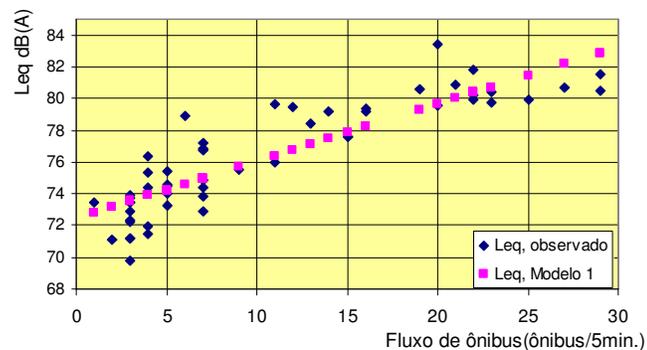


Figura 6.1 – Modelo 1 - $L_{eq,5min}$ dB(A) x fluxo de ônibus (5 min.)

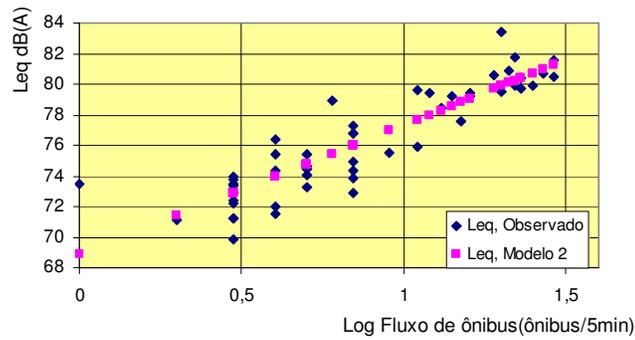


Figura 6.2 – Modelo 2 - $L_{eq,5min}$ dB(A) x Logaritmo do fluxo de Ônibus (5 min.)

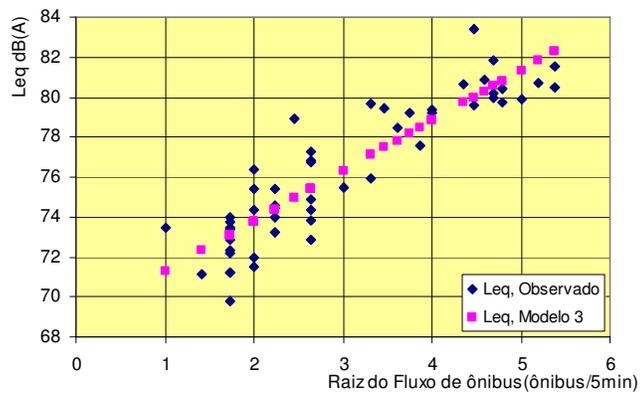


Figura 6.3 – Modelo 3 - $L_{eq,5min}$ dB(A) x Raiz Quadrada do fluxo de Ônibus (5 min.)

Apesar do coeficiente de determinação do modelo 3 ser ligeiramente superior ao modelo 2, é mais coerente tratar o ruído em escala logarítma conforme já visto e, além disso, o valor da constante no modelo 2 é menor, o que possibilita uma maior oscilação dos valores previstos pelo modelo, portanto, indica-se este modelo como o melhor estatisticamente dentre os três obtidos.

Na Figura 6.4 é possível ver a aderência estatística entre os valores de $L_{eq,5min}$ observados com os valores de $L_{eq,5min}$ estimados pelo modelo conforme indicado na Equação 6.2.

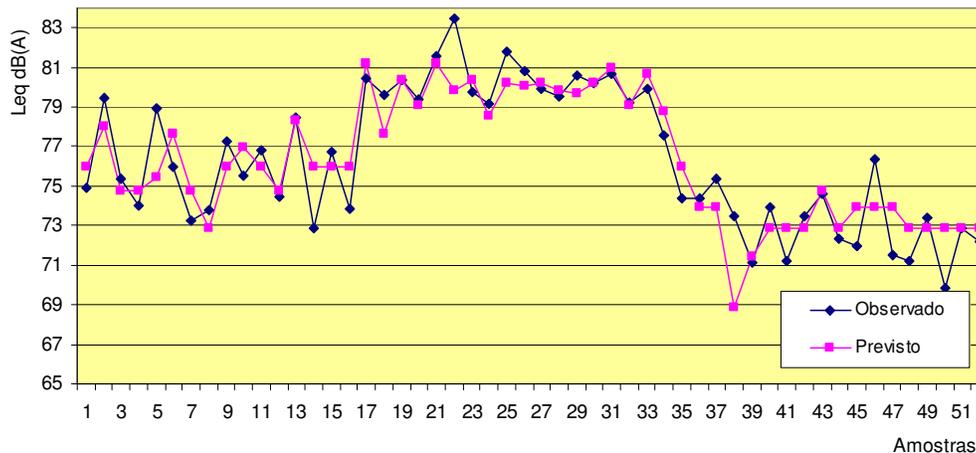


Figura 6.4 – $L_{eq,5min}$ observado e previsto (Modelo 2)

Cada amostra presente na figura acima é um intervalo de cinco minutos para o qual se obteve nos terminais os dados de fluxo e ruído e, posteriormente, determinou-se os $L_{eq,5min}$.

O modelo em função apenas do fluxo de ônibus nos terminais mostrou-se estatisticamente significativo, porém será mostrado a seguir que a inserção de outras variáveis bem como a ampliação da base de dados melhorou significativamente a precisão do modelo.

6.1.1 - Considerando Outras Variáveis no Modelo Preliminar

Segundo KINSLER et al (1982), as ondas sonoras ao incidirem em uma superfície podem sofrer os seguintes efeitos: absorção, transmissão ou reflexão. Este último é o responsável por aumentar os níveis de ruído nos terminais, porque dessa maneira as ondas refletidas também chegam ao ouvido do receptor, além de ondas vindas diretamente da fonte. Estas ondas são emitidas pelos ônibus e refletidas nos tetos, alvenarias etc. Um esquema simplificado deste fenômeno pode ser visto na Figura 6.5.

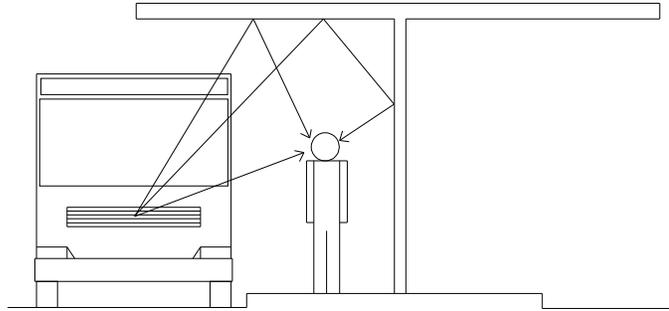


Figura 6.5 – Esquema simplificado de ondas sonoras captadas pelos usuários nos terminais

A parcela refletida tende a ter menor intensidade do que a parcela de incidência direta. Isto acontece porque durante seu percurso de ida incide sobre a superfície e, no retorno, volta até atingir o ouvido do receptor, parte desta energia sonora é absorvida pelo ar e uma pequena parcela também pela superfície de incidência (neste caso depende das características absorvedoras do material).

Portanto, é de suma importância levar em consideração variáveis que dizem respeito à arquitetura dos terminais que possam expressar as condições de absorção e reflexão de ondas sonoras nestes ambientes. Os dois fenômenos acústicos possivelmente estão ligados diretamente com os níveis de ruído encontrados nos terminais.

6.1.1a - Caracterização da Geometria dos Terminais

Para caracterizar a geometria dos terminais de uma maneira que tornasse possível sua utilização nos modelos, criou-se sólidos fictícios simplificados, que representassem o espaço destinado à circulação e parada dos veículos, onde se tem o trânsito mais intenso de pedestres e ônibus. Estes sólidos representam basicamente o espaço sob as coberturas e onde ficam os locais para embarque e desembarque dos passageiros. A caracterização das dimensões principais foi em vários momentos aproximadas, uma vez que não foi disponibilizado o projeto completo dos terminais e, em alguns terminais foi necessário realizar medições em todo o espaço. As Figuras 6.2 a 6.10 mostram estes sólidos. As superfícies que estão hachuradas são fechadas com algum tipo de material, seja por alvenaria ou cobertura no teto.

Terminais de Uberlândia:

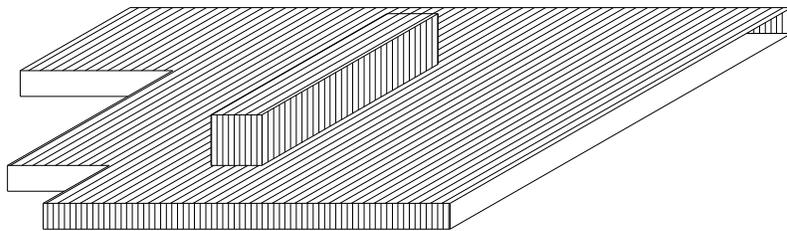


Figura 6.6 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação no Terminal Central

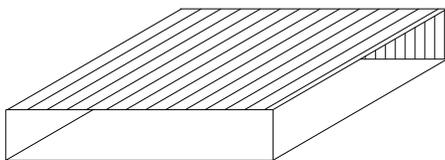


Figura 6.7 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação no Terminal Industrial

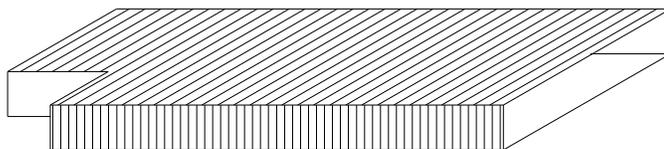


Figura 6.8 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação no Terminal Planalto

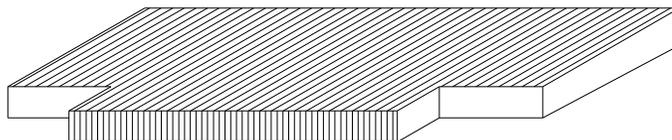


Figura 6.9 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação no Terminal Umuarama

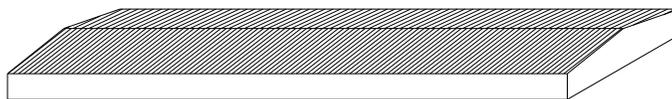


Figura 6.10– Sólido simplificado do espaço destinado à circulação no Terminal Santa Luzia

Terminais de Belo Horizonte:

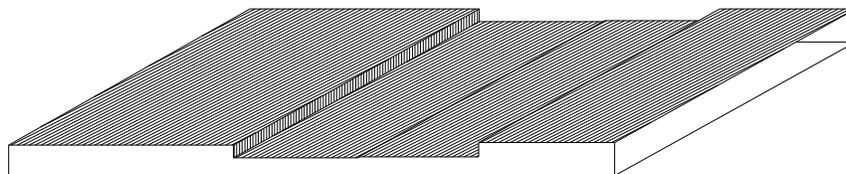


Figura 6.11 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação na Estação Barreiro

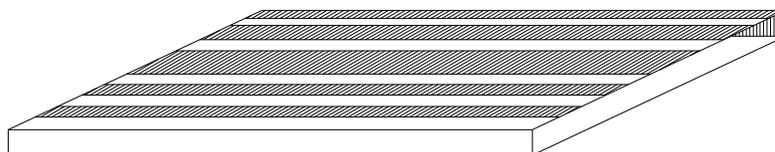


Figura 6.12 - Sólido simplificado do espaço destinado à circulação na Estação Diamante

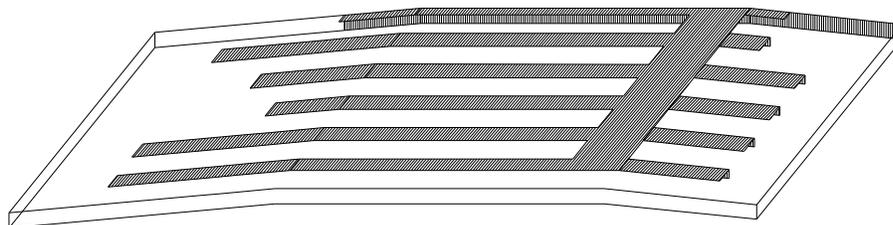


Figura 6.13 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação na Estação São Gabriel

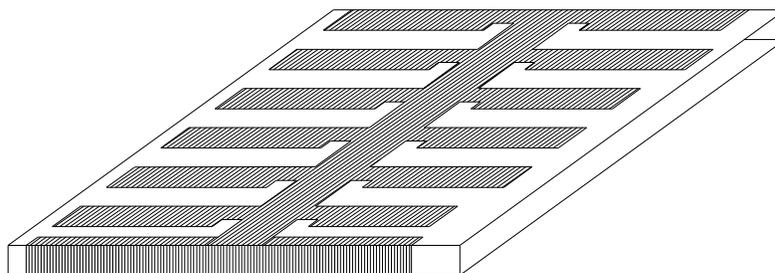


Figura 6.14 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação na Estação Venda Nova

6.1.1b - Parâmetros Adotados para Caracterização da Geometria

Para os sólidos que têm como função representar de maneira simplificada as características arquitetônicas do local de circulação dos ônibus nos terminais, determinaram-se alguns parâmetros, os quais serão discutidos a seguir.

Segundo KINSLER et al (1982), o ar é um fluido e tem a propriedade de absorver energia de ondas sonoras, portanto é relevante considerar a variável “volume interno” no modelo. De modo preliminar pode-se dizer que o ruído no interior destes ambientes é inversamente proporcional ao volume de ar, pois quanto menor for este parâmetro, mais próximas as superfícies refletoras estarão das fontes e menor será a parcela absorvida pela excitação das moléculas do ar.

A área total do sólido correspondente aos terminais também foi determinada, com exceção da área correspondente ao piso, porque esta área é comum a todos. Devido à necessidade de saber a proporção de áreas refletoras do terminal, determinaram-se todas as áreas abertas e as com algum tipo de revestimento ou material para caracterizar as superfícies que poderiam funcionar como refletoras de ondas sonoras. O pé-direito dos terminais também foi determinado, porque corresponde à distância entre a principal fonte sonora (ônibus) e a maior área refletora (teto).

Feito isto, testaram-se diversas relações geométricas que poderiam influenciar de alguma forma os níveis de ruído nos terminais a fim de obter o modelo mais preciso e com o maior nível de significância estatística.

A seguir são apresentados na Tabela 6.5 os parâmetros de natureza arquitetônica para os sólidos representativos dos terminais, onde Pd é o pé-direito, V é o volume do sólido, A_T e A_{ref} são, respectivamente, a área total superficial e área das superfícies refletoras.

Tabela 6.1 – Grandezas geométricas dos terminais

Terminais	Volume (m ³)	Á _T (m ²)	A _{ref} (m ²)	Pé-direito (m)
Planalto	7.607,70	1.310,20	999,90	5,35
Umuarama	14.551,20	2.163,40	1.638,10	5,15
Industrial	3.830,70	933,38	508,50	5,65
Central	41.820,00	10.316,5	9.271,00	5,10
Sta. Luzia	18.900,00	4.130,00	2.700,00	7,00
Barreiro	111.780,00	18.672,00	14.418,00	7,70
Venda Nova	39.531,87	8.307,28	3.171,80	6,30
Diamante	21.648,75	6.030,59	2.212,50	4,60
São Gabriel	78.174,68	19.765,38	5.035,66	4,50

6.2 - MODELO DE PREVISÃO DO NÍVEL SONORO EQUIVALENTE ($L_{eq,1h}$) CONSIDERANDO VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS

Após a conclusão da fase de coleta de dados de ruído nos terminais de Uberlândia e Belo Horizonte, iniciou-se o processo de cálculo para desenvolver um modelo que fosse capaz de prever os níveis de ruído nos terminais das duas cidades levando em consideração, também, as variáveis arquitetônicas.

Devido à significativa diferença entre a arquitetura dos terminais conforme pôde ser visto nas Figuras 6.2-6.10 e, principalmente, a constante variação da rotação dos motores dos veículos ao entrarem nestes ambientes, foi possível observar uma maior precisão nos modelos quando se trabalhou com intervalos maiores de amostragem. Ao contrário do modelo preliminar, que foi desenvolvido a partir de amostras em intervalos de cinco minutos de fluxo de veículos e ruído, o presente modelo foi calibrado para intervalos de 60 minutos.

Aumentando o intervalo de tempo dos valores Ruído e Fluxo, obteve-se maior sucesso com as variações nos níveis de pressão sonora em função do fluxo de veículos. Os valores obtidos em intervalos de cinco minutos apresentam maiores chances de terem maiores valores de L_{eq} em períodos com pequeno fluxo de ônibus e, neste caso, o procedimento quase individual do motorista na direção tem maior influência no nível de ruído medido.

A base de dados utilizada para calibrar os modelos foi composta por dois valores em cada terminal (somando um total de 18 amostras), no caso a hora-pico e a hora de menor volume de ônibus. A hora-pico foi determinada para cada terminal isoladamente, com o intuito de identificar a situação mais desfavorável. A Tabela 6.2 apresenta para cada terminal o número de ônibus na hora-pico (HP) e na hora com menor movimento (HMM).

Tabela 6.2 – Hora-pico e valores de fluxo para os terminais

Cidade	Terminal	HMM	Fluxo (on/h)	HP	Fluxo (on/h)
Belo Horizonte	Barreiro	17:35-18:35	129	16:05-17:05	209
	Diamante	16:00-17:00	162	17:00-18:00	205
	São Gabriel	17:50-18:50	65	17:20-18:20	81
	Venda Nova	16:00-17:00	80	17:15-18:15	96
Uberlândia	Industrial	16:55-17:55	36	16:35-17:35	43
	Umuarama	16:20-17:20	98	16:45-17:45	110
	Central	17:00-18:00	179	16:05-17:05	228
	Planalto	16:00-17:00	55	16:55-17:55	75
	Sta. Luzia	16:00-16:55	135	16:50-17:50	154

Devido ao fato de ter-se apenas dados geométricos de nove terminais, a utilização de vários pares de valores, fluxo e ruído, para um mesmo terminal implicaria em uma falsa precisão do ponto de vista estatístico na calibração do modelo. Isto porque para um mesmo

conjunto de valores, somente o fluxo iria variar, permanecendo constante as outras variáveis independentes.

Após selecionar a base de dados para calibrar o modelo, incorporou-se uma nova variável que até então não tinha sido considerada. Alguns terminais em Uberlândia possuem, além de fluxo de ônibus, o trânsito de vans que complementam o sistema de transporte. Nos terminais de Belo Horizonte não existe o tráfego destes veículos nos terminais.

Devido a potência acústica do motor de uma Van ser aparentemente menor do que a potencia acústica de um motor de ônibus, testou-se a inserção da variável “Fluxo de Vans” nos terminais minorada por um coeficiente. Porém dentre as diversas situações analisadas, a que apresentou maior significância estatística foi com a variável “Fluxo de Vans” sem o coeficiente de minoração.

Para verificar a possibilidade de utilização de diversas variáveis no modelo, construiu-se uma matriz de correlação estatística entre todas as possíveis variáveis, com o objetivo de fazer uma análise de correlação entre as variáveis e permitir compor estatisticamente os melhores parâmetros a serem testados. A matriz é apresentada na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Matriz de correlação estatística entre as variáveis a serem testadas

O+V	ln(O+V)	Ar	At	Pd	Vol	Ar/At	Vol/Pd	Plataf.	ln(Plataf)	ln(Ar/At)	L _{eq}	
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	Y	
1	0,97	0,62	0,35	0,18	0,36	0,27	0,28	0,61	0,59	0,23	0,67	X ₁
	1,00	0,62	0,40	0,21	0,41	0,23	0,33	0,62	0,60	0,18	0,70	X ₂
		1,00	0,77	0,46	0,87	0,35	0,72	0,69	0,66	0,27	0,58	X ₃
			1,00	0,14	0,95	-0,23	0,99	0,64	0,66	-0,33	0,15	X ₄
				1,00	0,36	0,31	0,05	0,11	0,03	0,37	0,26	X ₅
					1,00	-0,06	0,93	0,64	0,64	-0,14	0,25	X ₆
						1,00	-0,25	-0,06	-0,12	0,98	0,66	X ₇
							1,00	0,59	0,62	-0,36	0,11	X ₈
								1,00	0,99	-0,12	0,57	X ₉
									1,00	-0,18	0,54	X ₁₀
										1,00	0,62	X ₁₁

Onde:

- O+V é o fluxo de ônibus e vans;
- P é o número de plataformas em cada terminal;

- A_r é o total de área refletora em m^2 ;
- A_t é o total de área superficial em m^2 ;
- Pd é pé-direito;
- Vol é o volume do sólido;
- \ln é a função logaritmo neperiano;

Conforme pode ser visto na matriz acima, existe uma forte correlação entre o L_{eq} e as variáveis de fluxo (X1 e X2), de geometria (X7) e também com o número de plataformas (X9 e X10). Foram testados todos os possíveis modelos de acordo com a matriz de correlação e verificou-se para cada um o coeficiente de determinação, o erro padrão de estimativa e teste t-Student. A seguir, será apresentado e detalhado o modelo mais preciso obtido.

$$L_{eq,1h} = 56,75 + 1,91 \cdot \ln(O + V) + 7,46 \cdot \left(\frac{A_r}{A_t}\right) + 2,60 \cdot \ln P \quad (6.4)$$

$$R^2 = 0,88 \quad S_{Y(E)} = 1,07 \quad t_{(b1)} = 24,08 \quad t_{(b2)} = 2,98 \quad t_{(b3)} = 5,31 \quad t_{(b4)} = 3,68 \quad t_{min} = 1,78$$

Onde:

- O é o fluxo horário de ônibus;
- V é o fluxo horário de vans;
- P é o número de plataformas em cada terminal;
- A_r é o total de área refletora em m^2 ;
- A_t é o total de área superficial em m^2 ;
- R^2 é o coeficiente de determinação;
- $S_{Y(E)}$ é o erro padrão de estimativa;
- $t_{(b)}$ é o valor do teste t de Student;
- t_{min} é o valor mínimo de t com 95% de confiança;

Os valores dos parâmetros estatísticos apresentados acima mostram que o modelo possui boa significância e, portanto pode ser considerado mais uma ferramenta para auxiliar na previsão de ruído em terminais. Na Figura 6.15 é mostrado a comparação dos valores reais de $L_{eq,1h}$ com os estimados pelo modelo:

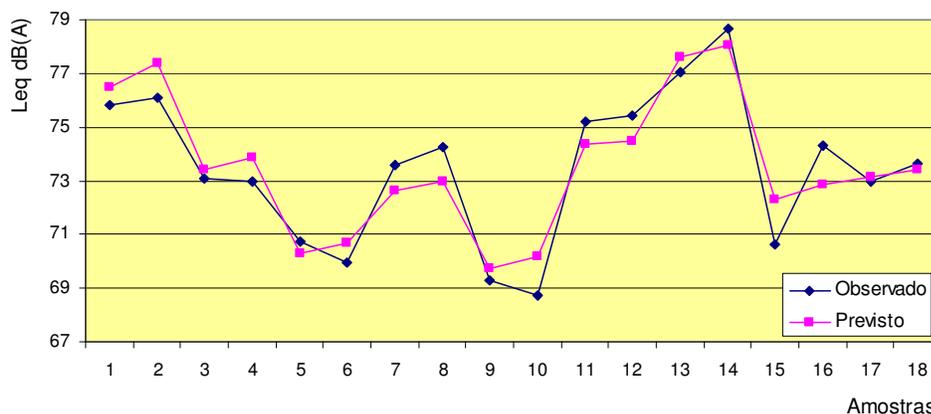


Figura 6.15 – $L_{eq,1h}$ observado e previsto nos terminais de Belo Horizonte e Uberlândia

Apesar de o modelo apresentado ter-se mostrado válido estatisticamente, acredita-se que algumas variáveis geométricas que poderiam ter uma parcela significativa de influência na previsão do ruído apresentaram-se um pouco mais modestas do que o esperado, talvez, devido ao pequeno número de terminais considerados neste trabalho. Porém, não houve oportunidade para aumentar a base de dados, o que seria consideravelmente mais dispendioso em termos de tempo, visto que seria necessário realizar medições em várias outras cidades que possuam terminais urbanos de transporte público.

6.3 – MODELO DE PREVISÃO DOS NÍVEIS PERCENTIS (L_{90} , L_{50} e L_{10})

O L_{10} , L_{50} e L_{90} são os níveis percentis de ocorrências do nível de ruído em 10, 50 e 90 % do tempo, respectivamente. O L_{10} representa os valores de picos que ocorreram em 10% do tempo e o L_{90} representa o ruído de fundo no ambiente, ou seja, o nível de ruído que ocorre em 90 % do tempo de medição. O nível percentil L_{50} representa o nível médio de ruído presente durante 50% do tempo de medição. Estes parâmetros foram utilizados para determinar o índice de ruído de tráfego (TNI) e foram os primeiros parâmetros fornecidos pelos modelos de previsão desenvolvidos na década de 50. Os modelos de previsão dos níveis percentis também foram baseados na teoria de regressão linear e obtidos a partir dos valores calculados de L_{eq} considerado como variável independente.

As Equações 6.4 - 6.7 a seguir apresentam, respectivamente, os modelos de previsão de L_{90} , L_{50} e L_{10} . Também são apresentados os valores dos testes estatísticos utilizados para a validação do modelo.

$$L_{90} = 1,47.L_{eq} - 42 \quad (6.4)$$

$$\begin{array}{ll} R^2 = 0,86 & S_{Y(E)} = 1,46 \\ t_{(b)} = 2,54 & t_{min} = 1,89 \end{array}$$

$$L_{50} = 1,25.L_{eq} - 20,91 \quad (6.5)$$

$$\begin{array}{ll} R^2 = 0,93 & S_{Y(E)} = 0,82 \\ t_{(b)} = 2,30 & t_{min} = 1,89 \end{array}$$

$$L_{10} = 1,22.L_{eq} - 13,27 \quad (6.6)$$

$$\begin{array}{ll} R^2 = 0,96 & S_{Y(E)} = 0,62 \\ t_{(b)} = 1,84 & t_{min} = 1,89 \end{array}$$

Onde:

- L_{90} é o nível percentil para o qual o ruído excedeu 90% do tempo de medição;
- L_{50} é o nível percentil para o qual o ruído excedeu 50% do tempo de medição;
- L_{10} é o nível percentil para o qual o ruído excedeu 10% do tempo de medição;
- L_{eq} é o nível sonoro equivalente medido em dB(A);
- R^2 é o coeficiente de determinação;
- $S_{Y(E)}$ é o erro padrão de estimativa;
- $t_{(b)}$ é o valor do teste t-student;
- t_{min} é o valor mínimo de t com 95% de confiança para 7 graus de liberdade;

Os modelos são estatisticamente significativos conforme pode ser visto pelos parâmetros estatísticos apresentados acima. Uma ressalva deve ser feita com relação ao modelo para cálculo do L_{10} , pois apesar de ter obtido o maior coeficiente de determinação e um baixo erro padrão de estimativa, apresentou o valor do teste t-Student ligeiramente inferior ao valor mínimo para 95% de grau de confiança. Uma possível explicação para este fato é a

aleatoriedade da variável dependente e o baixo número de amostras (apenas 1 ponto por terminal). Dessa maneira, o modelo possui grau de confiança ligeiramente menor que 95 % e sua aplicação deve ser efetuada com alguma cautela. Pode ser visto nas Figuras 6.16 a 6.17, os valores previstos pelo modelo (Equações 6.4 - 6.6) e os obtidos da tabela de frequência.

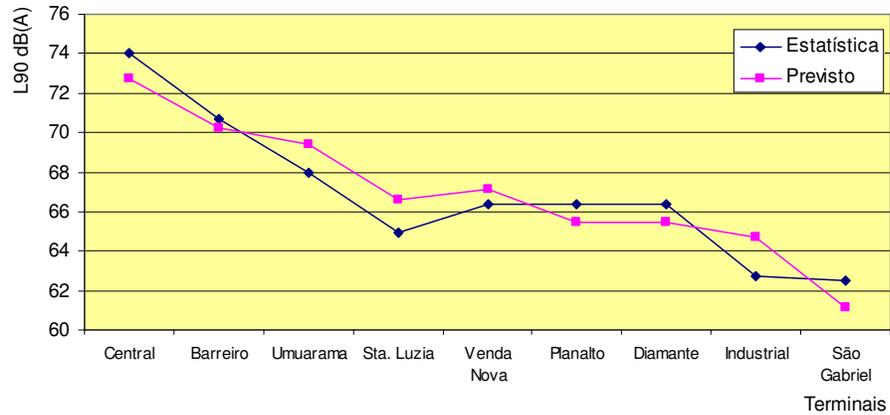


Figura 6.16 – Valores de L₉₀ previstos pelo modelo e obtidos da tabela de frequência de ocorrência

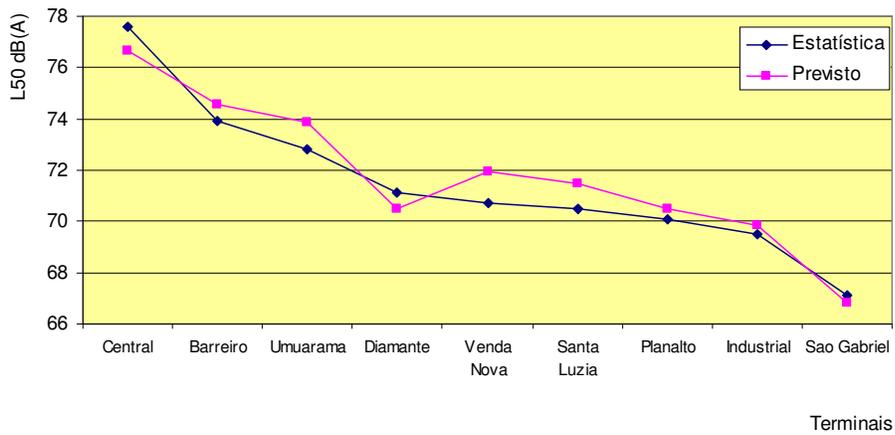


Figura 6.17 - Valores de L₅₀ previstos pelo modelo e obtidos da tabela de frequência de ocorrência

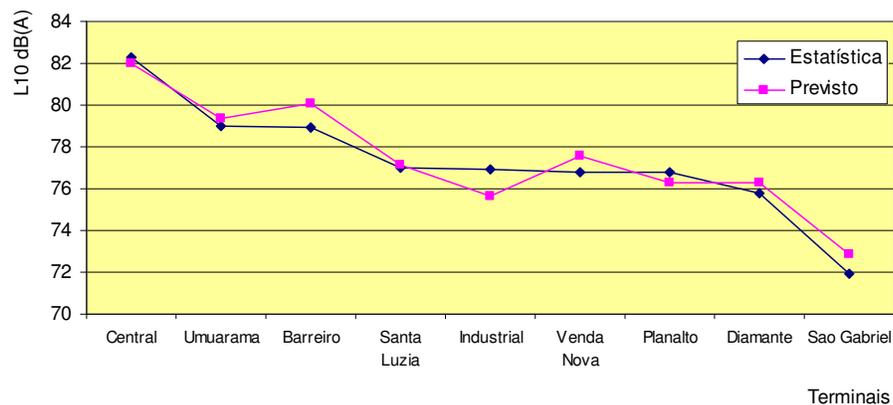


Figura 6.18 - Valores de L_{10} previstos pelo modelo e obtidos da tabela de frequência de ocorrência

Os modelos obtiveram bom nível de significância estatística conforme pôde ser visto nos valores dos testes estatísticos realizados e também podem ser considerados como mais uma ferramenta para ajudar a descrever os níveis de ruído dentro de terminais. Os coeficientes de regressão dos três modelos estiveram todos acima de 86%, sendo que para o L_{50} e L_{10} este valor foi maior que 90%. O erro padrão de estimativa foi baixo para os três modelos.

6.3.1 – Método CRTN (*Calculation of Road Traffic Noise*) para Cálculo do L_{10} : Comparação com o Modelo Desenvolvido

Esta seção tem como objetivo comparar os resultados experimentais com o método CRTN e o desenvolvido no item anterior. Será feita uma sucinta descrição do modelo CRTN, apenas a título de aplicação. Caso haja um interesse maior por parte do leitor em aprofundar-se no método, recomenda-se a ler a publicação referente, Department of Transport (1988), especificada nas referências bibliográficas deste trabalho.

Conforme foi citado no **Capítulo 4**, o modelo faz a previsão do nível percentil L_{10} e apresenta a seguinte equação base:

$$L_{10} = 42,2 + 10\text{Log}_{10}q \quad (6.7)$$

Onde:

- q é o fluxo de veículos;

Porém, além do fluxo, soma-se a esta equação algumas correções quando necessário, referentes a veículos pesados, reflexões e distância da fonte. As equações para estas correções estão mostradas a seguir:

$$p = \frac{100.f}{q} \quad (6.8)$$

$$c_{vp} = 33 \cdot \text{Log}_{10} \left(v + 40 + \frac{500}{v} \right) + 10 \cdot \text{Log}_{10} \left(1 + \frac{5p}{v} \right) - 68,8 \quad (6.9)$$

$$d' = \left[h^2 + (d + 3,5)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.10)$$

$$cd = 10 \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{d'}{13,5} \right) \quad (6.11)$$

Onde:

- p é a porcentagem de veículos pesados;
- f é o fluxo horário apenas de veículos pesados;
- q é o fluxo horário;
- c_{vp} é a correção devida a veículos pesados;
- v é a velocidade média do fluxo;
- d' é distância não horizontal entre a fonte e o receptor;
- h é a altura entre a fonte e o receptor;
- d é a distância do receptor ao meio-fio;
- cd é a correção devido à distância;

O método ainda considera o efeito da reflexão devido a superfícies refletoras próximas à fonte de ruído. Adiciona-se 1,5 dB(A) para fachadas sem aberturas e $1,5(\theta'/\theta)$ dB(A) para fachadas com abertura, onde θ' é a soma somente dos arcos referentes às fachadas, enquanto θ é o arco referente a todo segmento (ver DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1988).

Para aplicação deste método (CRTN) no caso específico de terminais de transporte, algumas considerações foram feitas. A velocidade dos veículos dentro dos terminais é baixa, e portanto foi considerada igual a 20 Km/h. Uma vez que o ruído proveniente dos motores é a principal fonte, considerou-se a altura da fonte de 0,50 m do piso. Como o medidor de nível de pressão sonora foi instalado em todos os terminais a 1,20 m do chão, a altura (h) entre a fonte e o receptor foi igual a 0,70 m. A distância do receptor até o meio-fio foi diferente para cada terminal, pois cada um possui diferentes larguras para as baias, e em todos os casos, o aparelho de medição foi colocado ao centro. A influência devido a reflexão também foi considerada. Para cada superfície sem abertura, somou-se 1,5 dB(A), inclusive para o teto, e para cada superfície com aberturas, adotou-se o mesmo procedimento conforme descrito anteriormente. A porcentagem de veículos pesados foi obtida a partir do total de ônibus e vans, sendo que somente os ônibus foram considerados veículos pesados. Em alguns terminais não há o tráfego de vans, portanto a parcela de veículos pesados é igual a 100%. É mostrado na Tabela 6.4 todos os parâmetros necessários para aplicação do método CRTN. Onde “ θ/θ' teto” é referente somente às aberturas existentes no teto, pois nos terminais analisados todas as superfícies laterais (muros, fachadas etc) são contínuas. A coluna “cr” é a correção devido a reflexão expressa em dB(A).

Tabela 6.4 – Parâmetros dos terminais para aplicação do método CRTN

	Terminal	P	v	D	h	θ/θ' teto	Cr
Belo Horizonte	Barreiro	100	20	2,70	1,20	1,00	1,50
	Diamante	100	20	3,50	1,20	0,55	2,30
	São Gabriel	100	20	2,50	1,20	0,37	2,06
	Venda Nova	100	20	2,35	1,20	0,65	2,48
Uberlândia	Central	100	20	3,95	1,20	1,00	4,50
	Umuarama	92	20	3,70	1,20	1,00	3,00
	Planalto	75	20	5,00	1,20	1,00	3,00
	Santa Luzia	90	20	5,00	1,20	1,00	1,50
	Industrial	79	20	6,00	1,20	1,00	3,00

Os Terminais Diamante, São Gabriel e Venda Nova não possuem o teto contínuo sobre a área das plataformas. Os corredores por onde os ônibus trafegam não são totalmente cobertos, logo a relação θ/θ' não foi adotada igual a 1. Para cada parede e teto presente a parcela adicionada foi de 1,5 dB(A).

Na Tabela 6.5 estão apresentadas as correções, devido a veículos pesados (c_{vp}) e distância da fonte (c_d), calculadas respectivamente pelas Equações 6.9 e 6.11. Ambas devem ser adicionadas em cada terminal. Os valores apresentados estão em dB(A).

Tabela 6.5 – Correções devido a veículos pesados e distância

	Terminal	c _{vp}	C _d
Belo Horizonte	Barreiro	9,02	3,35
	Diamante	9,02	2,83
	São Gabriel	9,02	3,49
	Venda Nova	9,02	3,60
Uberlândia	Central	9,02	2,56
	Umuarama	8,69	2,71
	Planalto	7,84	1,99
	Santa Luzia	8,61	1,99
	Industrial	8,05	1,51

Portanto, a equação para L₁₀ segundo o método CRTN acrescido das correções pertinentes é dada por:

$$L_{10} = 42,2. + 10\text{Log}_{10}q + c_{vp} + c_d + c_r \tag{6.12}$$

Estão apresentados na Figura 6.19 os valores de L₁₀ obtidos das tabelas de frequências obtidos nas medições realizadas nos terminais, as previstas pelo método CRTN e pelo modelo (Equação 6.6) desenvolvido no presente trabalho.

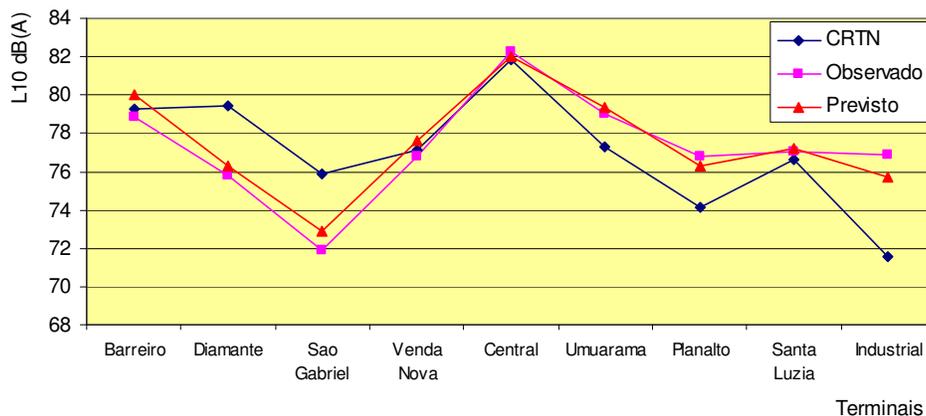


Figura 6.19 – Valores de L₁₀ obtidos por tabela de frequência de ocorrência e pelos modelos

Esta figura permite comprovar que o modelo desenvolvido no presente trabalho em função exclusivamente do L_{eq} , mostra uma maior aderência aos valores observados do que os valores obtidos pelo método CRTN. Porém, é nítido que a curva do CRTN apresenta características semelhantes à curva do nível percentil L_{10} observada e, em alguns terminais, o valor previsto por este método praticamente coincide com o valor real. As maiores discrepâncias que o método CRTN apresentou foram nos terminais com menores fluxos e, conseqüentemente, menores níveis de ruído (Estação São Gabriel e Industrial). Nestes terminais, os picos de ruído são bem isolados, e ocorrem em momentos quando há maior concentração de veículos e, logo em seguida, os níveis de ruído decrescem rapidamente quando estes veículos deixam o terminal. E, assim, tendem a permanecer até uma nova concentração de veículos. Segundo Steele (2001) o método CRTN apresenta menores erros para faixa de ruído entre 80 e 85 dB(A), o que explica a menor precisão apresentada justamente nos terminais com menores níveis de ruído.

Um outro fator que explica as divergências apresentadas pelo método CRTN é que este modelo é calibrado, inicialmente, para um fluxo com 0% de veículos pesados e velocidade média de 75 Km/h (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1988), portanto difere significativamente das características predominantes do fluxo presente nos terminais de transporte coletivo urbano considerados neste trabalho.

6.4 – MODELO DE PREVISÃO DO INCÔMODO CAUSADO NOS USUÁRIOS CONSIDERANDO O RUÍDO

Depois de processar os dados das pesquisas de opinião realizadas com os usuários dos nove terminais em estudo, percebeu-se que existia uma correlação entre a resposta dos entrevistados quanto ao ruído e os respectivos níveis medidos. Por isto, procurou-se calibrar modelos considerando os valores de L_{eq} e o nível de incômodo causado aos usuários.

Durante a calibração dos modelos, percebeu-se que os dados referentes à Estação Venda Nova implicavam em uma considerável diminuição no coeficiente de determinação (R^2), em torno de 33%. Não se tem uma explicação exata para este fato, mas acredita-se em um possível fator psicológico por parte dos entrevistados, visto que em um passado não

distante, este terminal foi motivo de diversas reclamações junto a BHTRANS referente a níveis excessivos de ruído. Dessa maneira, independente da real percepção do ruído naquele local, o entrevistado pode ter sido inconscientemente induzido a manifestar sua opinião de desagrado com referência às inúmeras matérias que foram publicadas na mídia, mostrando a reação negativa da população do entorno, após a inauguração da Estação Venda Nova. Um dado que contribui com esta alegação é que dentre todos os terminais, este foi o que obteve a maior porcentagem de usuários que se dizem incomodados com o ruído (83%), mesmo não sendo este o terminal com os maiores níveis de ruído medidos ($L_{eq,total} = 74,26 \text{ dB(A)}$). Diante disto, este terminal não foi considerado para o desenvolvimento do modelo de previsão do nível de incômodo aos usuários.

A Figura 6.20 mostra o diagrama de dispersão dos dados de Porcentagem de Incomodados x $L_{eq,total}$. É possível ver claramente que a insatisfação do usuário aumenta com o nível sonoro equivalente encontrado nos terminais.

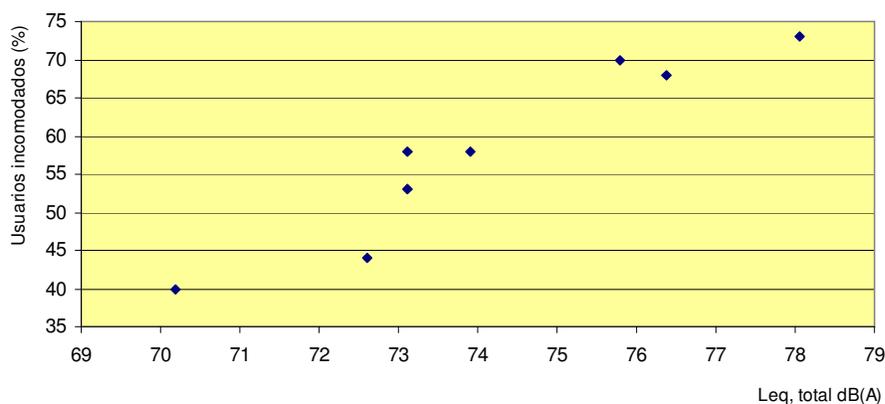


Figura 6.20 – Dispersão dos pontos de $L_{eq,total}$ x percentual de usuários incomodados

Não está locado neste gráfico o ponto referente ao Terminal Venda Nova devido aos motivos já esclarecidos. A seguir, será mostrada o Modelo de Predição de Nível de Incômodo ao Usuário em função do Nível Sonoro Equivalente nos terminais, bem como os seus parâmetros de validação. Assim como os modelos descritos anteriormente, este também foi desenvolvido através da teoria de regressão linear.

$$UI = 4,59.L_{eq} - 282,99 \tag{6.13}$$

$$R^2 = 0,90$$

$$t_{(b)} = 6,13$$

$$S_{Y(E)} = 4,09$$

$$t_{\min} = 1,94$$

Onde:

- UI e a porcentagem de usuários incomodados com os níveis de ruído no terminal;
- L_{eq} é o nível sonoro equivalente em dB(A);
- t_{\min} é o valor mínimo de t para 95% de grau de confiança e 6 graus de liberdade;

Este modelo apresentou bons resultados conforme pode ser visto na Figura 6.21.

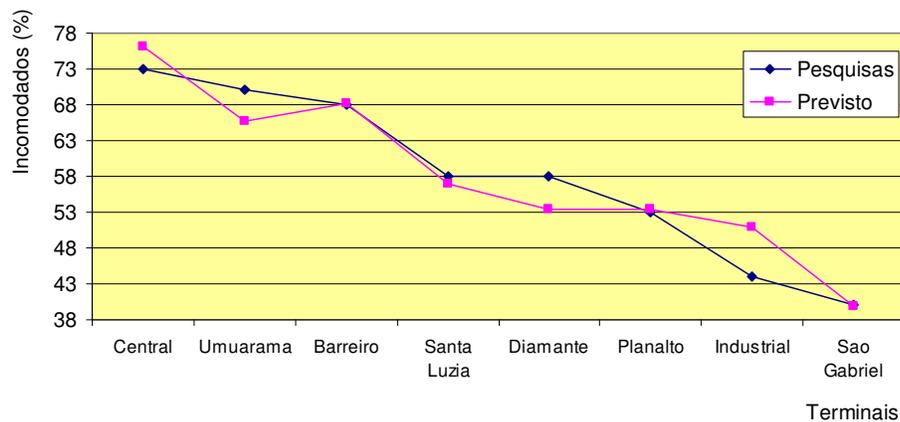


Figura 6.21 – Valores previstos pelo modelo e valores obtidos por pesquisa nos terminais

6.5 – MODELO DE PREVISÃO DO RUÍDO CONSIDERANDO O GIRO DO MOTOR

Conforme visto no **Capítulo 5**, o ruído gerado pelos ônibus é diretamente proporcional ao giro do motor. A partir da base de dados coletadas em medições realizadas nos veículos, foi possível desenvolver um modelo simplificado de previsão de ruído em função apenas da rotação dos motores. O modelo estatístico foi desenvolvido a partir da teoria de regressão linear simples e, somente, foi considerado os valores coletados com a tampa do motor fechada.

A Figura 6.22 mostra o diagrama de dispersão dos dados de ruído em função da rotação dos motores. É possível perceber claramente que o nível de ruído aumenta com o aumento das rotações por minuto dos motores dos veículos.

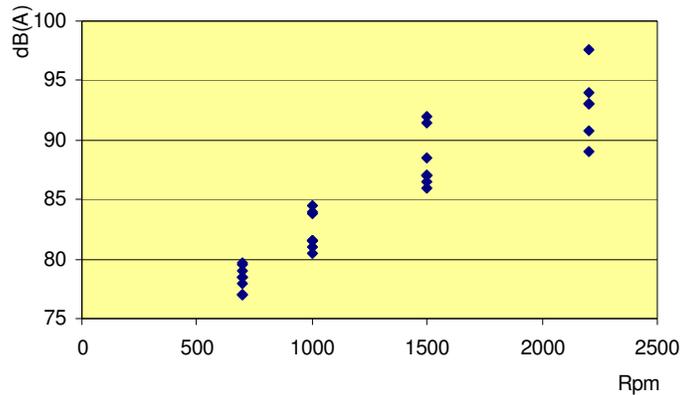


Figura 6.22 – Diagrama do nível de ruído em função da rotações dos motores

Para o desenvolvimento do modelo, foram testadas 3 relações, a saber:

- Ruído em função da rotações por minuto (rpm);
- Ruído em função do Logaritmo neperiano da rotações por minuto;
- Ruído em função da raiz quadrada da rotações por minuto;

A seguir serão apresentados os valores dos testes estatísticos para os três modelos:

Modelo 1 – Ruído x rpm

$$R = 72,29 + 0,01 \cdot \text{rpm} \quad (6.14)$$

$$R^2 = 0,87$$

$$t_{(b)} = 71,94$$

$$S_{Y(E)} = 2,12$$

$$t_{\min} = 1,701$$

Modelo 2 – Ruído x ln (rpm)

$$R = 12,88 \cdot \ln(\text{rpm}) - 6,21 \quad (6.15)$$

$$R^2 = 0,89$$

$$t_{(b)} = 1,02$$

$$S_{Y(E)} = 1,96$$

$$t_{\min} = 1,701$$

Modelo 3 – Ruído $\times \sqrt{\text{rpm}}$

$$R = 59,46 + 0,72\sqrt{\text{rpm}} \tag{6.16}$$

$$R^2 = 0,89$$

$$t_{(b)} = 33,68$$

$$S_{Y(E)} = 1,99$$

$$t_{\min} = 1,701$$

Onde:

- r.p.m. são as rotações por minuto;
- t_{\min} é o valor mínimo de t de Student com 95% de grau de confiança para 28 graus de liberdade;

O modelo 1 possui o menor coeficiente de determinação R^2 e o maior erro padrão de estimativa. Os modelos 2 e 3 possuem o mesmo valor de R^2 , porém apesar do erro padrão de estimativa no modelo 2 ser ligeiramente menor, o valor do teste t de student foi consideravelmente maior no modelo 3, portanto este modelo é considerado o melhor, ou seja, mais estatisticamente significativo.

Estão mostrados na Figura 6.23 os valores reais do ruído emitido pelos ônibus e os valores previstos pelo modelo. Nas abscissas estão os valores de giro (rpm) para qual foram realizadas as medições e nas ordenadas estão os valores de ruído ponderados na curva A. A figura na cor azul são os valores reais do ruído obtido por medição, e a figura na cor rosa apresenta os valores calculados pelo modelo (Equação 6.16).

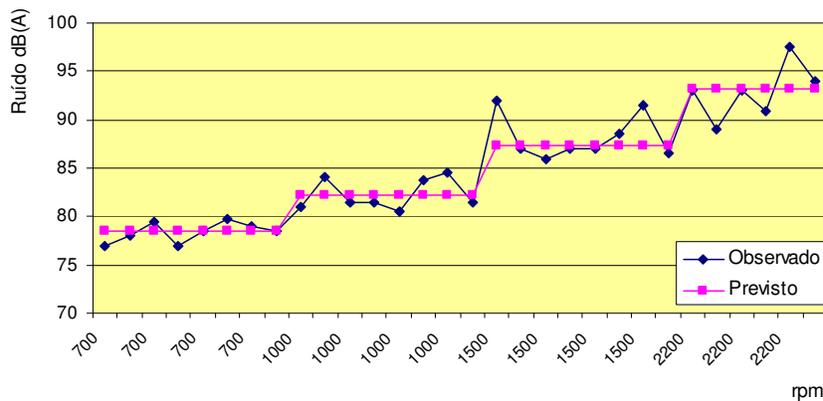


Figura 6.23 – Valores de ruído obtidos por medições e através do modelo

Os valores dos testes estatísticos, bem como, a Figura 6.23 mostram que o modelo desenvolvido para a previsão de ruídos emitidos pelos ônibus apresentam boa aderência e, portanto, pode ser utilizado como ferramenta de previsão de ruídos em terminais de transporte.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 - NÍVEIS DE RUÍDO NOS TERMINAIS

Com base nos resultados apresentados no **Capítulo 5** pode se dizer de maneira geral que os níveis de ruído encontrados nos terminais de Belo Horizonte e Uberlândia estão acima do recomendado pelas legislações pertinentes para ruído de tráfego no Brasil. Devido ao tráfego de veículos pesados e da presença de superfícies refletoras, os terminais de transporte coletivo tornam-se em ambientes altamente ruidosos (insalubres).

De todos os terminais analisados, o que obteve os menores valores de ruído foi o terminal São Gabriel em Belo Horizonte, porém este terminal ainda opera em condições bem folgadas de tráfego e o $L_{eq, total}$ foi de aproximadamente 70 dB(A), valor preconizado pela NBR 10151 (ABNT, 2000) como valor limite para o ruído de tráfego. Os picos de ruído expressos através do nível percentil L_{10} neste terminal foram relativamente baixo, em torno de 72 dB(A). Acredita-se que quando estiver operando em condições de maior saturação, o ruído aumentar-se-á consideravelmente no interior deste terminal, visto que o fluxo de veículos também irá aumentar e tem influência direta nesta patologia, conforme pôde ser constatado.

Seguido da Estação São Gabriel em Belo Horizonte, o terminal que apresentou os menores valores de ruído foi o Terminal Industrial em Uberlândia. O valor do $L_{eq, total}$ obtido foi de 72,61 dB(A). Este terminal caracteriza-se por ter os menores fluxos de veículos.

O terminal que apresentou a situação mais crítica quanto aos níveis de ruído, foi o Terminal Central em Uberlândia. Este terminal possui o maior fluxo de veículos dentre todos analisados e, também, é o que possui a maior porcentagem de áreas fechadas (superfícies que podem refletir o som na área de circulação dos veículos). Esta combinação implica diretamente em elevados níveis de ruído, uma vez que existem várias fontes sonoras emitindo ruído em um ambiente cercado de várias superfícies refletoras. O $L_{eq,total}$ para este terminal foi de 78,05 dB(A) e os picos de ruído expressos pelo L_{10} chegaram a 82,3 dB(A).

O Índice de Ruído de Tráfego (TNI) chama a atenção para um fato inicialmente contraditório. O maior TNI na cidade de Uberlândia foi encontrado para o terminal com o menor fluxo e menor $L_{eq,total}$. Porém este indicador de ruído refere-se principalmente a diferença dos valores de pico (L_{10}) e ruído de fundo (L_{90}), ou seja, quanto maior for esta diferença, maior será o incômodo gerado. Isto implica que lugares que são aparentemente tranquilos (baixos níveis de ruído, L_{eq}) se tornam bastantes desconfortáveis se possuem valores altos de pico do ruído.

7.1.1 - Parâmetros que Influenciam o Ruído em Terminais

A realização deste trabalho permitiu chegar a diversas conclusões sobre a origem e os agravantes do ruído nos terminais de transporte coletivo urbano. Conforme era a suspeita inicial, o nível de ruído tem relação direta com o fluxo de veículos nestes ambientes, isto porque os ônibus e vans são as fontes sonoras responsáveis pelo ruído. Portanto quanto mais fontes sonoras estiverem emitindo ruído simultaneamente, maior será o nível de ruído total, porém não linearmente.

Um outro parâmetro que foi possível verificar a importância foi a arquitetura dos terminais. Esta característica implica de maneira direta na possibilidade ou não de reflexão das ondas sonoras no interior destes ambientes. Quanto mais fechados forem os terminais, ou seja, quanto maior for a área de superfícies refletoras das ondas sonoras, maior será o ruído no local. Porém este parâmetro deve ser tratado com cautela, visto que para evitar o confinamento do ruído nos terminais, haveria uma maior incidência das ondas sonoras geradas para áreas circunvizinhas do terminal, que em muitos casos, são áreas urbanas com

diversos tipos de uso e ocupação. Para conciliar estas duas situações paradoxais, recomenda-se destinar áreas maiores para construção dos terminais, a fim de se distanciar as fontes sonoras da ocupação humana ao redor. Porém em muitas situações de projeto e, até mesmo devido a localização urbana, não haverá esta opção. Neste caso, o mais indicado, é o emprego de materiais e sistemas para absorção nas superfícies internas.

Em casos onde o teto é contínuo sobre as plataformas e corredores (Ex: Terminal Planalto, Terminal Umuarama), o pé-direito deve ser o mais alto possível a fim de afastar ao máximo esta grande área refletora das fontes sonoras. Aplicação de matérias para tratamento acústico também influenciariam positivamente, colaborando para atenuar o efeito de reflexão das ondas sonoras.

O número total de plataformas também contribui para o aumento do ruído, pois permitem que um número maior de ônibus esteja funcionando simultaneamente no terminal, ou seja, quanto maior o número de plataformas mais fontes sonoras podem estar funcionando simultaneamente. Porém este parâmetro é função da capacidade de projeto do terminal, pois quanto maior o fluxo de veículos o terminal demandar, maior será o número de plataformas.

A relevância e a relação dos parâmetros acima citados com o ruído nos terminais podem ser verificadas através da Equação 6.5 do modelo desenvolvido para previsão de $L_{eq,1h}$ em terminais de transporte coletivo, apresentada no Capítulo 6.

7.2 - PESQUISAS DE OPINIÃO COM OS USUÁRIOS DOS TERMINAIS

O ruído gera um incômodo para os usuários dos terminais analisados. O resultado da tabulação das pesquisas mostrou que 61% dos entrevistados dizem-se incomodados com o ruído e 62% das pessoas afirmam que o ruído nestes ambientes é acima do normal (alto ou muito alto).

Além disso, foi possível concluir que, de forma geral, as mulheres mostraram-se mais sensíveis ao ruído, visto que 64% das mulheres responderam estar incomodadas com o

ruído contra apenas 58% dos homens. E, ainda, 52% dos entrevistados do sexo feminino disseram que o ruído é o principal problema ambiental nos terminais, contra 51% dos entrevistados do sexo masculino. Apesar de estes indicadores apontarem para uma maior sensibilidade das mulheres com relação ao ruído, a base de dados presente neste trabalho não é suficiente para afirmar que as mulheres são mais sensíveis ao ruído, sendo que para isso deve-se realizar uma pesquisa mais específica caso o objetivo fosse verificar este fato.

As pesquisas de opinião realizadas permitiram, ainda, perceber que a porcentagem de usuários incomodados com o ruído tem relação direta com o Nível Sonoro Equivalente encontrado nestes ambientes. A partir desta informação foi possível desenvolver o modelo apresentado no Capítulo 6 para Porcentagem de Usuários incomodados em função do L_{eq} nos terminais. Este modelo pode vir a ser um bom indicativo da percepção do usuário na geração de cenários futuros.

Apesar dos dados permitirem fazer análises em função da idade, não foi possível chegar a nenhuma relação entre o nível de incômodo gerado pelo ruído com esta variável. Acredita-se que isto ocorreu devido principalmente ao baixo número de entrevistados com idade inferior a vinte anos e superior a 50 anos.

7.3 - RUÍDO EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR

Este procedimento foi realizado com o intuito de verificar a relação direta entre o ruído nos terminais, com a maneira que os motoristas dirigem. Verificou-se que quanto maior for a rotação dos motores, maior será o nível de ruído produzido pelos veículos. Não foi possível chegar a uma relação direta entre o ruído produzido e a idade da frota, bem como a posição do motor no veículo, se dianteira ou traseira. Isso pode ter ocorrido devido principalmente à pequena amostragem e a enorme variedade de marcas, modelos, potência e estado de conservação que os veículos apresentaram. Seria necessário realizar medições em um número maior de veículos, agrupando-os segundo os parâmetros citados acima.

Porém, a base de dados coletada foi suficiente para desenvolver um modelo simplificado de previsão de ruído emitido pelos ônibus, em função apenas das rotações por minuto (rpm) do motor, conforme pôde ser visto no Capítulo 6. A partir deste modelo, é possível

estimar a ordem de grandeza do ruído nos terminais através da soma logarítmica simples das fontes sonoras atuando simultaneamente.

7.4 - RUÍDO COM RESTRIÇÃO DO GIRO DO MOTOR

Além das medições realizadas nos veículos isoladamente para comprovar as diferentes emissões de ruído em diferentes rotações dos motores, a medição realizada no Terminal Santa Luzia em Uberlândia com restrição ao giro do motor complementou a hipótese inicial de que a maneira que os motoristas dirigem influenciam diretamente no ruído nos terminais. Obteve-se uma redução de mais de 3 dB(A) no L_{eq} , mesmo sem poder garantir a cooperação de todos os motoristas no momento desta experimentação. Este procedimento para reduzir o ruído nos terminais pode ser uma das principais a ser indicadas, pois trata a emissão de ruído ainda na fonte, além de ter custo zero para sua implantação. Neste caso, é necessário apenas uma campanha educativa com os motoristas.

7.5 - MODELOS DESENVOLVIDOS

A base de dados coletada neste trabalho é bastante completa e possibilitou o desenvolvimento de sete modelos de previsão de ruídos para auxiliar na geração de cenários futuros e, assim, contribuir para minimização desta patologia em terminais de transporte coletivo urbano. Todos os modelos mostraram ser estatisticamente significantes conforme indicaram os seguintes parâmetros: coeficiente de determinação (R^2), erro padrão de estimativa e o teste t-Student. Os modelos foram desenvolvidos especificamente para os terminais de transporte urbano, por isto são inéditos e tratam de um caso específico de ruído de tráfego.

O modelo para previsão de $L_{eq,1h}$ foi o de desenvolvimento mais complexo. Testou-se exaustivamente todas as possíveis hipóteses a partir da base de dados existentes até obter o modelo apresentado no **Capítulo 6**. Foi possível, então, verificar a relação direta entre o ruído e o fluxo de ônibus, bem como a influência das características geométricas dos terminais. Este modelo apresentou boa significância estatística em todos os terminais analisados. Embora este modelo exclusivo para a previsão de ruído em terminais de transporte coletivo aparente ser inédito, não se pode afirmar que tenha o caráter geral e

possa ser utilizado para previsão em qualquer tipo de terminal de transporte coletivo. É uma situação precipitada e, até certo ponto, precisa ser mais investigada. É necessário que sejam feitas outras pesquisas, experimentos e aplicações complementares para se chegar a esta conclusão.

Os modelos de previsão dos níveis percentis nos terminais (L_n), foi desenvolvido em função da simples relação com o L_{eq} . Tanto os modelos para previsão de L_{10} , assim como, o L_{50} e L_{90} mostraram ser estatisticamente válidos, tornando-se aptos para utilização como uma ferramenta a mais para ajudar a caracterizar o ruído nestes ambientes.

A comparação feita com o método para previsão de ruído de tráfego (CRTN) mostrou que as características da curva do modelo desenvolvido neste trabalho para previsão do L_{10} bem como a curva do método CRTN são similares à curva que expressa o real nível percentil L_{10} . Porém o modelo aqui desenvolvido mostrou ser um pouco mais preciso. Dessa forma, conclui-se que o método CRTN pode até ser utilizado para o interior de terminais urbanos, porém isto deve ser feito com cautela, uma vez que o modelo não foi calibrado especificamente para este tipo de situação.

O modelo desenvolvido para previsão da porcentagem de usuários incomodados em função do L_{eq} nos terminais também se mostrou coerente e significativo estatisticamente, o que ajuda a concluir a relação direta entre o aumento dos níveis sonoros equivalentes e a percepção do usuário. Em muitos locais públicos aonde o ruído chega a ser um problema, a reação da população é de suma importância, de maneira que este modelo pode contribuir para estimar a parcela total de usuários que se sentem incomodados e podem vir a ser acometidos por problemas de saúde.

Por fim, o modelo simplificado que foi desenvolvido para prever o ruído emitido por ônibus em função da rotação dos motores, mostrou ser aparentemente apto para utilização e, além disso, ajuda a concluir a relação direta entre os níveis de ruído nos terminais com a estratégia operacional que os motoristas podem adotar na direção dos veículos quando estiverem trafegando nestes locais.

7.6 - RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho não pode ser visto como um ponto final sobre este importante tema social. Ainda, há lacunas que devem ser preenchidas para uma perfeita caracterização do ruído em terminais de transporte coletivo.

Uma variável que se acredita ser de suma relevância, porém não foi considerada no presente trabalho devido à dificuldade de acesso aos projetos dos terminais, é quanto aos materiais das superfícies de fechamento, ou seja, o coeficiente de absorção dos materiais empregados nestes ambientes. Esta característica pode ser responsável pela maior ou menor reflexão das ondas sonoras, o que pode interferir de maneira direta no resultado final do ruído nestes ambientes.

Acredita-se também que considerar uma variável que caracterize especificamente o material e/ou sua porosidade utilizado no pavimento, seja nos corredores internos de tráfego ou nas plataformas, influencie os parâmetros do modelo, visto que este pode absorver mais ou menos o ruído e estar gerando mais ou menos vibrações no contato solo-pneu.

Conforme citado anteriormente, seria necessária a verificação dos modelos para diversos tipos de terminais e materiais empregados para, então, poder afirmar se podem ser generalizados e utilizados com boa precisão para qualquer tipo de terminal de transportes coletivo.

Acredita-se que o presente trabalho proporcionou novos elementos para contribuir na caracterização da patologia do ruído em terminais de transporte coletivo. É possível ter-se uma idéia de quão insalubres estes ambientes podem vir a ser, bem como, quais são os principais fatores que contribuem para com esta condição. Além disso, a partir dos modelos desenvolvidos ficará mais fácil a geração de cenários futuros que ilustrem esta patologia nos terminais possibilitando, assim, a previsão e o tratamento dos níveis de ruído que poderão vir a existir nestes locais. Além disso, diminuindo os níveis de ruído interno nos terminais, automaticamente diminui-se também o ruído ao entorno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA, J. R. J.; GARCIA, D.; HERNANDEZ, F., “*Noise effects of reducing traffic flow through a Spanish city*”. In: Applied Acoustics, 2003. Arquivo eletrônico disponível em www.elsevier.com.br/locate/apacoust. Acesso em 08/06/2005

ALI, S. A.; TAMURA, A., “*Road traffic noise mitigation strategies in Greater Cairo, Egypt*”. In: Applied Acoustics, 2002. Arquivo eletrônico disponível em www.elsevier.com. Acesso em 12/08/2005.

ALI, S. A., “*Investigation of the dose-response relationship for road traffic noise in Assiut, Egypt*”. 2004. Arquivo eletrônico disponível em www.elsevier.com. Acesso em 12/08/2005.

ALVARES P.A.S.; PIMENTEL-SOUZA F., “*Até onde chega a Poluição Sonora em Belo Horizonte?*”. Anais do II. Simpósio Situação Ambiental e Qualidade de Vida na Região Metropolitana de Belo Horizonte e Minas Gerais. Associação Brasileira de Engenharia Geológica. Belo Horizonte-MG, 1992a.

ALVARES, P. A. S.; SOUZA, F. P. “*A poluição sonora em Belo Horizonte*”. Revista Acústica e Vibrações, nº10, Fevereiro, 1992b.

ANTP, “*Condições atuais do trânsito e do transporte no país*”, 2005. Arquivo eletrônico disponível em http://www.antp.org.br/telas/transito/cap_trans.htm. Acesso em 11/06/2005.

ARRUDA, F. R.; COELHO, J.L.B.; SLAMA, J.G.; TENENBAUM, R. A., “*Apectos do controle de ruído urbano na cidade do Rio de Janeiro*”. In: Anais do XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Belo Horizonte-MG. Abril, 2000.

ABNT - ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS, NB-101. Tratamento Acústico em recintos fechados. ABNT, 1963.

ABNT - ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS, TB-143. Poluição Sonora. Rio de Janeiro: ABNT, 1973.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Avaliação do Ruído em áreas habitadas visando o Conforto da Comunidade. ABNT, 2000.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15145: Acústica - Medição do ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração - Método de engenharia. ABNT, 2004.

AYLOR D., “*Noise reduction by vegetation and ground*”, JASA, vol.51, 1972.

BARBOSA, W. A., *Aspectos do Ruído Comunitário em Curitiba*. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BERANEK, L.L., “*Noise and Vibration Control*”. New York: McGraw Hill Ed., 1971.

BHTRANS, “*O Sistema BHBUS*”, 2005. Arquivo eletrônico disponível em <http://www.bhtrans.pbh.gov.br/> . Acesso em 26/10/2005.

BORTOLI, P. S., “*Análise da poluição sonora urbana em zoneamentos distintos da cidade de Curitiba*”. 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, CEFET-PR, Curitiba.

BRUEL & KJAER SOUND & VIBRATION MEASUREMENT A/S. “*Environmental Noise*”. Denmark: K Larsen & Son, 2001.

BURGESS, M. “*Trends in traffic noise research over 25 years*”, in: anais do congresso internacional de engenharia de controle de ruído – Internoise 96, vol. 1, Liverpool, UK 30July – 2 de August 1996, St. Albans, editado por F. Alison Hill e Roy Lawrence, Insitute of Acoustics, 1996.

CALIXTO, A ; DINIZ, F. B. ; BARBOSA, W. A. ; FERREIRA, J. A. ; ZANNIN, P. H. T., “*Uma Pesquisa Social do Incômodo Provocado pelo Ruído Urbano em Curitiba*”. Anais da 9º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Pesquisadores Nikeis, pp.36, 2001.

CALIXTO, A DINIZ, F. B. ; ZANNIN, P. H. T., *Modelamento Matemático da Emissão Sonora em Rodovias Federais que Adentram Áreas Urbanas*, Revista de Acústica. Vol. 34, 2003.

CHO, D. S.; KIM, J. H.; CHOI, T. M.; KIM, B. H.; MANVELL, D., “*Highway traffic noise prediction using method fully compliant with ISO 9613: comparison with measurements*”. In: Applied Acoustics, 2004. Arquivo eletrônico disponível em www.elsevier.com/locate/apacoustic. Acesso em 12/08/2005.

CHOAY, F. “*O Urbanismo: utopias e realidade, uma antologia*”. São Paulo, Ed: Perspectiva S. A., 1979.

CONSOLIDACAO DAS LEIS TRABALHISTAS. Portaria N.º 3.214/78 – “*Atividades e operações insalubres: proteção no ambiente de trabalho contra ruídos acima de 85 dB(A) – NR 15*”. Ministério do Trabalho, 1978.

DEPARTMENT OF TRANSPORT (DOT) – Welsh Office. “*Calculation of Road Traffic Noise-CRTN*”. HMSO, 1988.

FERNANDES, J. C., “*Acústica e Ruídos - Apostila*”. UNESP, Faculdade de Engenharia. Bauru, 2002.

GERGES, S. N. Y., “*Ruído: Fundamentos e Controle*”, Florianópolis, 1992.

HALLIDAY & RESNICK, David e Robert. “*Física*”, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora. Vol 2. 1984.

HEUTSCHI, K., “*A Simple Method to Evaluate the Increase of Traffic Noise Emission Level Due to Buildings, for a Long Straight Street*”. In: Applied Acoustics, 1994. Arquivo disponível www.elsevier.com. Acesso em 12/08/2005.

HOOVER, R. M., “*Tree zones as barriers for control of noise due to aircraft operation*”. Bult and Newman. Inc, Report 844, 1961.

KINSLER, L. E.; FREY A. R.; Coppens A. B. and Sanders J. V., 1982. “*Fundamentals of Acoustics*”. Third Edition, John Wiley & Sons.

LELAND, I. K. & RICHARDS, R. L., “*Acoustics and Noise Control Handbook for Architects and Builders*”. Florida: Krieger Publishing Company, 1998.

LI, B.; TAO, S.; DAWSON, R. W., “*Evaluation and analysis of traffic noise from the main urban roads in Beijing*”. In: Applied Acoustics, 2002. Arquivo eletrônico disponível em www.elsevier.com. Acesso em 12/08/2005.

MAIA, M. A. L., “*Contribuição ao mapeamento do ruído urbano na cidade de Porto Alegre-RS*”. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

MOORE, J. F., “*Designs for noise reduction*”, London, 1966.

MOTA, S. “*Planejamento urbano e preservação ambiental*”. Fortaleza, UFCE, 1981.

MOTA, S. “*Urbanização e meio ambiente*”. 2º edição Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

MURGEL, E., “*Especificação do pavimento como agente de controle de ruído de tráfego*”. XIX Encontro da SOBRAC, Abril/2000. Arquivo eletrônico disponível em http://murgel.sites.uol.com.br/pavimento_sobrac.htm. Acesso em 08/09/2005.

NIEMEYER, M. L. & SLAMA J. G. *O Ruído na cidade: Elementos do Ruído Urbano*. In; Arquitetura: Pesquisa & Projeto. Rio: Pró editores. UFRJ, 1998.

ODUM, P. E. “*Ecologia*”. Rio de Janeiro: Guanabara S.A., 1988.

PIMENTEL-SOUZA, F., “*Efeito do ruído no homem dormindo e acordado*”. Revista de Acústica e Vibrações n°25, 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. “*Cadernos de Meio Ambiente- Poluição Sonora*”. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Belo Horizonte, 1992.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. “*Transporte e Trânsito*”, 2005. Arquivo eletrônico disponível em www.pbh.gov.br . Acesso em 30/10/2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. “*Uberlândia: excelência em turismo de negócios*”, 2005. Arquivo eletrônico disponível em www.uberlandia.mg.gov.br. Acesso em 31/10/2005.

QUERRIEN, A.; “*Civilização das cidades e patologias urbanas*”. in: Ciência e tecnologia hoje, Nicolas Witkowski direção e coordenação; [tradução Roberto Leal Ferreira]. São Paulo: Ensaio, 1995.

REIS, J. N. W. & FARIA, C. A., “*Poluição sonora decorrente do fluxo de veículos: um estudo de caso*”. Uberlândia, FECIV. 2000. (Relatório Técnico, FECIV-UFU).

RODRIGUES, F.; FARIA, C.A.; MAGALHÃES, M. D. C.; *Assessment of Noise Levels in Terminals at Bus Stations*. In: Anais do congresso de engenharia de controle de ruído – Internoise. Rio de Janeiro, Brazil, 2005a.

RODRIGUES, F.; FARIA, C.A.; MAGALHÃES, M. D. C.; SILVA, M. G.; *Ruído em terminais de transporte coletivo – aperfeiçoamento dos modelos tradicionais* In: Anais do congresso internacional CILAMCE 2005, Guarapari, Brasil, 2005b.

RODRIGUES, M.J; SOARES, B.R. O Plano Diretor e o Sistema Integrado de Transportes de Uberlândia. In: Caminhos de Geografia 8 (13) 158-174, 2004– Revista On Line. ISSN 1678-6343. Arquivo eletrônico disponível em <http://www.ig.ufu.br/revista>. Acesso em 24/06/2005.

ROVIRIEGO, L. F. V.; SILVA V. B.; SILVA, A. N. R. *Explorando recursos de um SIG-T para avaliação do layout de terminais de transporte*. In: Anais do XVIII Congresso de pesquisa e ensino em transportes - ANPET. Florianópolis, 2004.

SILVA, G. C.; GOLDNER, L. G., “*Trafego e meio ambiente: Avaliação dos níveis de monóxido de carbono e ruído nas áreas urbanas de Florianópolis*” . III Encontro Ibero-Americano de Unidades de Ambientais do Setor de Transportes-1998.

SPIELGEL, Murray R. “*Estatística*”. Tradução e revisão técnica: Pedro Consentino-3ª. Ed. São Paulo: Makron Books, 1993.

STEELE, C., “*A Critical Review of Some Traffic Noise Prediction Models*”. In: Applied Acoustics, 2001. Arquivo eletrônico disponível em www.elsevier.com/locate/apacoustic. Acesso em 04/03/2005.

TANG, S. K.; TONG, K. K., “*Estimating traffic noise for inclined roads with freely flowing traffic*”. In: Applied Acoustic, 2004. Arquivo eletrônico disponível em www.elsevier.com/locate/apacoustic. Acesso em 08/05/2005.

VALADARES, V. M., *Ruído de Tráfego Veicular em Corredores de Transporte Urbano: Estudo de Caso em Belo Horizonte – MG*. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina.

VALADARES, V. M.; PAULA, M. A. R., “*Levantamento e análise de dados do ruído de trafego veicular em corredores de transporte em Belo Horizonte*”. In: Anais do XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Belo Horizonte-MG. Abril, 2000.

VALADARES, V. M.; SUYAMA, E., “*Traffic Noise on Arterial Street in Belo Horizonte City: a Comprehensive Database*”, 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering - Inter-noise. 2003.

VECCI, M. A. M., “*Ruído Ambiental*”. Curso de especialização em engenharia sanitária e meio ambiente – UFMG, Belo Horizonte, 2002.

VERSFELD, N. J.; VOS, J., “*A-Weighted equivalent sound level as a predictor of the annoyance caused by road traffic consisting of various proportion of light and heavy vehicles*”. In: Journal of sound and vibration (2002). Arquivo eletrônico disponível em <http://www.idealibrary.com>. Acesso em 11/07/2005.

VON GIERKE, E. H. & ELDRED K. M., “Efeitos do ruído no homem”. In: Noise/News International (NNI). Traduzido pela SOBRAC, 1993.

ZANNIN, P. H. T., CALIXTO, A ; DINIZ, F. B. ; BARBOSA, W. A. ; FERREIRA, J. A.: BREGENSKI, R; “*Incomodo causado pelo ruído urbano a população de Curitiba*”. Revista Saúde Pública 2002. Arquivo eletrônico disponível em <http://www.scielo.org/pdf/rsp/v36n4/11773>. Acesso em 08/09/2005.

WATTS G., CHINN; L., GODFREY, N., “*The effects of vegetation on the perception of traffic noise*”. In: Applied Acoustics, 1999. Arquivo eletrônico disponível em www.elsevier.com. Acesso em 09/06/2005.

APÊNDICE A

REVISÃO ESTATÍSTICA

Serão apresentados sucintamente a seguir, os principais parâmetros estatísticos utilizados no presente trabalho.

Coefficiente de Correlação (Pearson) Estatística (R) – Mede o grau de associação linear (e a direção dessa correlação - se positiva ou negativa) entre duas ou mais variáveis, variando entre -1 e 1.

Coefficiente de Determinação (R^2) - O quadrado do coeficiente de correlação de Pearson é chamado de coeficiente de determinação ou simplesmente R^2 . É uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra. É pouco comum alcançar uma correlação perfeita ($R^2=1$) na prática, porque existem muitos fatores que determinam as relações entre variáveis na vida real.

Erro Padrão de Estimativa $S_{y(E)}$ – Parâmetro que mede a dispersão entre os valores observados e estimados pela regressão. Representa o afastamento individual de cada ponto à linha de regressão.

Teste t-student - O teste t de Student é um teste de hipótese para médias. No caso de se querer comparar dois grupos, a Hipótese Nula é que a diferença das médias é zero, isto é, não há diferenças entre os grupos. O Teste examina a hipótese nula de que uma amostra observada de média ter sido retirada de uma população caracterizada por alguma média específica μ_0 .

Regressão Linear – É a relação entre duas ou mais variáveis quantitativas (ou qualitativas) de tal forma que uma variável pode ser predita a partir da outra ou outras. O caso mais simples de regressão é quando se tem duas variáveis e a relação entre elas pode ser representada por uma linha reta \Rightarrow Regressão linear simples. Uma reta ($y = ax + b$) envolve dois parâmetros fundamentais: "a" e "b". Determinados esses parâmetros, a partir de uma série experimental de dados, pode-se descrever completamente o comportamento desse sistema, inclusive prevendo seu comportamento futuro e descrevendo seu comportamento passado.