

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**Influência da Composição do Tráfego
Sobre o Ruído Gerado por Rodovias**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

Joel Manoel Alves Filho

Florianópolis, abril de 1997

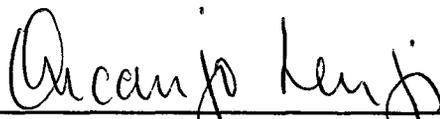
Influência da Composição do Tráfego Sobre o Ruído Gerado por Rodovias

Joel Manoel Alves Filho

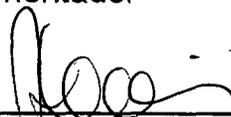
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: **VIBRAÇÕES E ACÚSTICA**

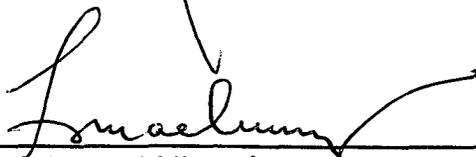
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA FORMA FINAL
PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Arcanjo Lenzi, PhD
Orientador

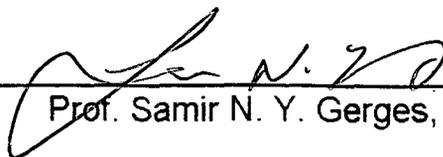


Prof. Abelardo Alves de Queiróz, PhD
Coordenador do Curso



Prof. Ismael Ulysséa Neto, PhD

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Samir N. Y. Gerges, PhD



Prof. Paulo H. T. Zannin, Dr. Ing.

*Se alguém julga saber alguma coisa,
com efeito, não aprendeu ainda como
convém saber.*

I Coríntios 8:2

DEDICATÓRIA

A minha querida esposa, Maria do Socorro, e filhas Joelma Alessandra e Rut' Abigail, companheiras de todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A todos os amigos que contribuíram para a elaboração deste trabalho: Acir, Fábio, Yoneda, Newton e William.

Ao Prof. Arcanjo Lenzi, pela orientação, dedicação, amizade e atenção, que me foram dispensadas.

Ao Prof. Ismael Ulysséa Neto (Depto de Engenharia Civil - UFSC) pela colaboração de referências bibliográficas e análises dos resultados preliminares.

Ao Prof. Manuel Rosa de Oliveira Lino (Depto de Estatística - UFSC), pela valiosa orientação nas análises estatísticas dos dados.

Ao Prof. Samir N. Y. Gerges, pelo empréstimo de referência bibliográfica.

À Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, pelo apoio prestado durante o mestrado.

À Companhia de Desenvolvimento Agro-Industrial e Abastecimento do Maranhão-CODEA, por permitir meu afastamento.

SUMÁRIO

I	INTRODUÇÃO	01
	1.1. OBJETIVO	02
	2.2. CONTEÚDO DO TRABALHO	03
II	CONCEITOS E DEFINIÇÕES BÁSICAS	04
	2.1 - INTRODUÇÃO	04
	2.2 - FONTES DE RUÍDO VEICULAR.....	07
	2.2.1 - Ruído do Motor.....	10
	2.2.1.1 - Tamanho do Motor	10
	2.2.1.2 - Carga do Motor	10
	2.2.1.3 - Rotação do Motor	11
	2.2.2 - Ruído de Entrada de Ar.....	12
	2.2.3 - Ruído da Exaustão	12
	2.2.4 - Ruído do Ventilador.....	13
	2.2.5 - Ruído gerado pela interação Pneu/Superfície.....	14
	2.2.6 - Estado de Conservação do Veículo.....	16
	2.3 -PARÂMETROS DE TRÁFEGO E SEUS EFEITOS	16
	2.3.1 - Volume de Tráfego	17
	2.3.2 - Composição de Tráfego	18
	2.3.3 - Velocidade de Tráfego.....	18
	2.3.4 - Gradiente da Via de Tráfego.....	19
	2.3.5 - Superfície da Via de Tráfego	20
	2.4 - EFEITOS DO RUÍDO DE TRÁFEGO SOBRE AS PESSOAS	21
	2.4.1 - Efeitos Subjetivos	22
	2.4.2 - Efeitos Sobre Atividades Específicas	22
	2.4.2.1 - Efeitos Sobre a Comunicação Verbal.....	22
	2.4.2.2 - Interferência com o Sono	22

2.4.2.3 - Efeito Sobre o Desempenho de Atividades	23
2.4.3. - Efeitos Fisiológicos	23
2.5. - CARACTERÍSTICAS DOS ÍNDICES DE RUÍDO	24
2.5.1 - Níveis Percentuais Estatísticos - L_n	24
2.5.2 - Nível Sonoro Contínuo Equivalente - L_{eq}	25
2.5.3. - Nível de Poluição Sonora - L_{NP}	26
2.5.4. - Índice de Ruído de Tráfego- TNI	28
2.5.4.1 - Efeito da Distância	30
2.5.4.2 - Efeito do Volume de Tráfego	31
2.5.5 - Algumas Expressões Empíricas para Cálculo dos Níveis Estatísticos	32
2.5.6 - Níveis de Ruído Recomendados pela NBR-10151 e HUD (USA)	35
2.5.6.1 - Nível percentual L_{10} [dB(A)]	35
2.5.6.2 - Nível percentual L_{90} [dB(A)]	35
2.5.6.3 - Nível sonoro contínuo equivalente L_{eq} [dB(A)]	35
III PROCEDIMENTOS E LOCAIS DE MEDIÇÕES	37
3.1 - INTRODUÇÃO	37
3.2 - CARACTERÍSTICAS DA CIDADE ONDE SE PROCESSOU A PESQUISA	38
3.3 - LOCAIS DE MEDIÇÕES	40
3.4 - CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS	42
3.5 - INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA	42
3.6 - TEMPO MÍNIMO DE AMOSTRAGEM DOS SINAIS DO RUÍDO DE TRÁFEGO	43
3.7 - PROCEDIMENTO DE AQUISIÇÃO DOS SINAIS NO CAMPO	45
3.8 - PROCESSAMENTO DOS SINAIS NO LABORATÓRIO	46
IV ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
4.1 - INTRODUÇÃO	49

4.2 - RELAÇÕES ENTRE OS NÍVEIS L_{10} , L_{90} e L_{eq} E A COMPOSIÇÃO DE TRÁFEGO	49
4.3 - RELAÇÕES ENTRE OS NÍVEIS DE RUÍDO E A COMPOSIÇÃO DE TRÁFEGO, PARA OS 149 PONTOS	51
4.3.1 - Relações entre o Nível L_{10} e a Composição de Tráfego	51
4.3.2 - Relações entre o Nível L_{90} e a Composição de Tráfego	57
4.3.3 - Relações entre o Nível L_{eq} e a Composição de Tráfego	60
4.4 - COMPARAÇÃO ENTRE A FORMULAÇÃO OBTIDA POR CROMPTON E GILBERT, E A FORMULAÇÃO PROPOSTA NESTE TRABALHO	66
4.5 - RELAÇÕES ENTRE OS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E O FATOR DE PONDERAÇÃO	68
4.6 - ANÁLISE ESTATÍSTICA	71
4.7 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS L_{10} , L_{90} E L_{eq} COM OS RECOMENDADOS PELO HUD (USA)	73
4.7.1 - Nível Percentual L_{10}	73
4.7.2 - Nível Percentual L_{90}	73
4.7.3 - Nível de Sonoro Contínuo Equivalente L_{eq}	73
4.7.4 - Outros Níveis de Ruído	74
4.7.4.5 - Índice de Ruído de Tráfego - TNI	74
4.7.4.6 - Nível de Poluição Sonora - L_{NP}	74
V CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXO 1	81
ANEXO 2	83
ANEXO 3	87

LISTA DE FIGURAS

2.1 - Principais fontes de ruído veicular	8
2.2 - Nível de ruído de um veículo pesado, em função da rotação do motor	11
2.3- Níveis de ruído de veículos pesados, em função da velocidade, deslocando-se sobre superfície de concreto, com pneus montados em pares	16
2.4 - Relação entre nível de ruído e volume de tráfego	17
2.5 - Níveis sonoros de alguns tipos de bandagens, com o veículo deslocando-se livremente em vários tipos de superfícies de rolamento	20
2.6 - Relação entre o TNI e o grau de insatisfação, com o ruído de tráfego	29
2.7 - Relação entre o fluxo de tráfego e TNI	30
2.8 - Atenuação sonora com a distância para um fluxo de tráfego de 2200 veic/h	31
2.9 - Relação entre L_{10} e L_{eq}	33
2.10 Relação entre L_{90} e L_{eq}	33
3.1 - Mapa Político de Florianópolis.....	39
3.2 - Valores instantâneos do nível de pressão sonora em dB(A), adquiridos na rodovia SC - 401 (km 5)	43
3.3 - Valores instantâneos do nível de pressão sonora em dB(A), adquiridos na rodovia SC - 401 (km 5)	44
3.4 - Esquema das interligações dos instrumentos utilizados para aquisição e processamento dos sinais	46
3.5 - Curva de Distribuição Cumulativa para o sinal adquirido na SC-401(km 5)	47
3.6 - Curva de Distribuição Cumulativa para o sinal adquirido na SC-401 (km 5)	48
4.1 - Relação entre o nível L_{10} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,00$	51
4.2 - Relação entre o nível L_{10} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,02$	52
4.3 - Relação entre o nível L_{10} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,03$	52
4.4 - Relação entre o nível L_{10} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,05$	53

4.5 - Relação entre o nível L_{10} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,07$	53
4.6 - Relação entre o nível L_{10} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,09$	54
4.7 - Relação entre o nível L_{10} e a composição de tráfego, para os 149 pontos, considerando $A=0,2$	54
4.8 - Relação entre o nível L_{10} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,4$	55
4.9- Relação entre o nível L_{10} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,6$	55
4.10 - Relação entre o nível L_{10} e composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A= 0,8$	56
4.11 - Relação entre o nível L_{10} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=1,0$	56
4.12 - Relação entre o nível L_{90} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,00$	58
4.13 - Relação entre o nível L_{90} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,2$	58
4.14 - Relação entre o nível L_{90} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,8$	59
4.15 - Relação entre o nível L_{90} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=1,0$	59
4.16 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,00$	60
4.17 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,02$	61
4.18 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,03$	61
4.19 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,05$	62
4.20 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,07$	62

4.21 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,09$	63
4.22 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,2$	63
4.23 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,4$	64
4.24 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,6$	64
4.25 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=0,8$	65
4.26 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego para os 149 pontos, considerando $A=1,0$	65
4.27 - Comparação entre a reta de regressão linear obtida pela formulação de Crompton e Gilbert, e a reta de regressão obtida neste trabalho para o nível L_{10}	67
4.28 - Relação entre Coeficiente de Correlação e Fator de Ponderação, considerando níveis L_{10}	68
4.29 - Relação entre Coeficiente de Correlação e Fator de Ponderação, considerando níveis L_{eq}	68
4.30 - Relação entre Coeficiente de Correlação e Fator de Ponderação, considerando níveis L_{90}	69
4.31 - Família de retas de regressão linear para vários valores do Fator de Ponderação dos veículos leves, relacionando-se com o nível L_{10}	70
4.32 - Família de retas de regressão linear para vários valores do Fator de Ponderação dos veículos leves, relacionando-se com os níveis L_{eq}	70
4.33 - Representação dos intervalos de confiança, considerando a comparação das médias dos valores medidos	72
4.34 - Diagrama de blocos, representando a variação dos níveis, considerando o percentual dos quartís	72

LISTA DE TABELAS

2.1 - Ruídos que incomodam as pessoas em casa, nas ruas e no trabalho.....	5
2.2 - Tipos de ruídos que incomodam as pessoas.....	5
2.3 - Resultados da pesquisa de RELSTER.....	6
2.4 - Comparação dos resultados obtidos na pesquisa de RAMALINGESWARA e SESHAGIRI, com os de outros países.....	7
3.1 - Sistema integrado da frota veicular do município de Florianópolis.....	40
3.2 - Resumo dos pontos de medição.....	41
A.2.1 - Níveis de ruído e composição de tráfego medidos na rodovia SC 404.....	84
A.2.2 - Níveis de ruído e composição de tráfego medidos na rodovia SC 401.....	85
A.2.3 - Níveis de ruído e composição de tráfego medidos na rodovia BR 101.....	86
A.3.1 - Limites máximos de ruído emitidos por veículos em aceleração conforme NBR-8433/84.....	89
A.3.2 - Limites máximos de ruído emitidos por veículos em aceleração conforme NBR-8433/84.....	89
A.3.3 - Limites de níveis de emissão de ruído, para certificação de veículos dotados de quatro ou mais rodas na C.E.E.	92
A.3.4 - Limites níveis de emissão de ruído, para certificação de motocicletas em aceleração na C.E.E.	92
A.3.5 - Limites para certificação e fiscalização de veículos dotados de quatro ou mais rodas na Austrália.....	93
A.3.6 - Limites para certificação e fiscalização de veículos dotados de quatro ou mais rodas na Austrália.....	94
A.3.7 - Limites de níveis de emissão de ruído em dB(A) de legislações presentes e futuras de alguns países.....	95
A.3.8 - Limites máximos de ruído emitidos por veículos em aceleração, conforme NBR-8433/84..	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas.
BS	- British Standards
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CONTRAN	- Conselho Nacional de Trânsito.
C.E.E	- Comunidade Econômica Européia.
DETRAN/SC	- Departamento Estadual de Trânsito de Santa Catarina.
dB	- Decibel
dB(A)	- Decibel na Curva de Ponderação "A"
E.E.C.	- European Economic Community.
GVM	- Gross Vehicle Mass.
ISO	- International Standardization for Organization.
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis.
NBR	- Norma Brasileira.
NF	- Norma Francesa.
PBT	- Peso Bruto Total.
SAE	- Society of Automotive Engineers.
VDA	- Verband Der Automobilindustrie E.V.
TNI	- Índice de Ruído de Tráfego.
L_{NP}	- Nível de Poluição Sonora.
L_{eq}	- Nível Sonoro Contínuo Equivalente.
L_{10}	- Nível de Ruído excedido em 10% do tempo.

- L₁₀(18h) - Nível de Ruído excedido em 10% do tempo, para um período de 18 horas.
- L₉₀ - Nível de Ruído excedido em 90% do tempo.
- σ - Desvio Padrão.
- SC-401 e 404- Rodovias Estaduais.
- BR - 101 - Rodovia Federal.
- QT - Volume Total de Tráfego.
- QL - Volume de Veículos Leves.
- QP - Volume de Veículos Pesados.
- HUD - Department of Housing and Urban Development (USA).

RESUMO

Neste trabalho, foram analisados os efeitos da composição do tráfego, isto é, a influência do percentual de veículos pesados em relação ao volume total de veículos, sobre o ruído gerado por rodovias típicas nacionais.

Este trabalho baseou-se em medições realizadas em três rodovias localizadas na região da grande Florianópolis. Os locais das medições selecionados, apresentam características muito semelhantes em relação aos demais parâmetros, tais como, mesmo gradiente da via, pistas simples nos dois sentidos, pavimentação asfáltica, trechos retilíneos, distantes de árvores e redutores de velocidade. Os locais escolhidos nestas rodovias, apresentam diferentes percentuais médios de veículos pesados em relação ao total de veículos.

Os registros dos sinais de pressão sonora permitiram o cálculo dos níveis L_{10} , L_{90} e L_{eq} . Observou-se uma grande correlação entre o nível L_{10} e o volume de veículos pesados. A maior correlação foi obtida ao ser considerado, além do volume de veículos pesados, uma pequena percentagem dos veículos leves. São apresentadas expressões para o cálculos de previsão dos níveis L_{10} e L_{eq} em função da composição, com índices de correlação de 0,61 e 0,49, respectivamente.

ABSTRACT

In this work it is analyzed the effects of traffic composition on the noise generated by typical brazilian roads. By traffic is ment the percentage of heavy vehicles related to the total number of vehicles in a given period of time.

This study is based on measurements made on three roads of the Great Florianópolis. The selected measurement locations were specially chosen in order to have all same characteristics, such as, negligible road gradient, single tracks in both directions, asphaltic pavement, straight road alignment and absense of sound reflections from trees and buildings.

Such locations showed, however, different average percentages of heavy vehicles.

Sound pressure signals recorded at the road side were reproduced in the laboratory, acquired in digital form and processed on a PC computer. A great correlation between L_{10} noise level and the number of heavy vehicles was noticed. A greater correlation was obtained when a small percentage of light vehicles was added to the heavy vehicles flow.

Expressions for predicting L_{10} and L_{eq} noise levels as functions of composition are presented. The correlation coefficients are 0.61 and 0.49, respectively.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O som é um fenômeno físico caracterizado por perturbações sonoras que se propagam no meio ambiente e que é capaz de ser detectado pelo ouvido humano, causando uma sensação de agrado. O ruído, no entanto, representa o mesmo fenômeno físico mas que se caracteriza, por causar uma sensação desagradável ao ouvido humano, além de outros efeitos fisiológicos.

A poluição sonora é uma das principais formas de poluição ambiental no nosso mundo moderno, sendo esta a principal responsável pela hipoacusia e pela surdez, em indivíduos de idade adulta. Dentre as várias reações e efeitos adversos para pessoas por causa do ruído, pode-se, ainda, destacar a interferência na comunicação verbal, no trabalho, no repouso e no lazer.

Altos níveis de ruído podem produzir perda auditiva temporária, e em exposições muito prolongadas ou de alta intensidade, a pessoa pode perder permanentemente a audição.

O ruído, como uma fonte de incômodo, tem se tornado um grande problema para sociedade moderna (as comunidades), de modo que medidas corretivas estão sendo urgentemente implantadas visando o seu controle e proteção geral das comunidades afetadas. Lamentavelmente ainda existem situações onde o problema do ruído é grave e ignorado como o ruído de tráfego rodoviário, danceterias e em algumas indústrias onde a transformação da matéria prima em bens de consumo e de serviços, vem acompanhada de intensa produção de ruído e, no aumento da população de surdos.

Uma grande parcela da sociedade está exposta ao ruído gerado por rodovias. Esta forma de poluição sonora é uma das principais responsáveis pelo desconforto acústico, e stress apresentado por moradores das regiões urbanas e suburbanas.

No Brasil, alguns estudos sobre este assunto foram publicados, destacando-se dentre eles os de Pimentel-Sousa e Alvarez^[46], Cremonesi^[27], Rott^[31] e Barbosa^[12].

Os estudos realizados no Brasil, têm evidenciado os altos níveis de ruído nas cidades de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Campinas e Curitiba, deixando, todavia, vários itens necessitando de estudos complementares e mais aprofundados sobre os parâmetros que caracterizam a irradiação sonora por advinda do tráfego rodoviário.

1.1. - OBJETIVO

O objetivo deste trabalho, consiste em determinar uma relação entre os níveis de ruído L_{10} , L_{90} e L_{eq} e os parâmetros de tráfego, volume e composição.

Entende-se por volume de tráfego o fluxo medido em veículos por hora que se deslocam sobre a via de tráfego e por composição como sendo as categorias de veículos em percentuais que compõem o fluxo.

Existem várias expressões obtidas empiricamente, publicadas na literatura que relacionam os parâmetros acima, as quais são bastante dependentes de outros fatores, como estado de manutenção dos veículos e forma de dirigi-los e outros.

Estas estão diretamente relacionadas à educação para o trânsito, e varia bastante de uma comunidade para outra.

Além dos parâmetros acima mencionados, os níveis de ruído, dependem ainda, do gradiente da rodovia, da distância do ponto de medição à margem da rodovia, tipo de superfície e existência ou não de redutores de velocidade (sinaleiras, lombadas, etc).

Este trabalho aborda apenas o efeito da composição do tráfego sobre os níveis de ruído por ele gerado. Os demais parâmetros, serão mantidos constantes.

O trabalho é de natureza experimental. Para tanto, três locais da grande Florianópolis, foram escolhidos de forma que apresentem composições diferentes, e que permitam extrair uma tendência de influência da composição.

A relação final a ser obtida será expressa através de uma fórmula empírica para o cálculo do L_{10} , L_{90} e L_{eq} . Estes níveis são utilizados para representar a incomodidade de uma comunidade ao ruído de tráfego.

Por fim, objetiva-se que este trabalho venha subsidiar futuras pesquisas nesta área, possibilitando avaliar com mais eficiência, as medidas de controle adotadas para o ruído de tráfego urbano.

1.2. - CONTEÚDO DO TRABALHO

Este trabalho é composto de cinco capítulos dispostos na seguinte forma:

O primeiro capítulo faz uma abordagem compreensível entre os termos som e ruído, alertando quanto ao perigo do segundo. Faz-se uma exposição ampla dos objetivos e cita algumas referências.

O segundo capítulo, apresenta uma retrospectiva dos fundamentos teóricos aplicados no desenvolvimento do trabalho, relativos ao ruído de forma geral, bem como ao ruído de tráfego. Ainda neste capítulo são relatados alguns trabalhos sobre ruído de tráfego em caráter nacional e internacional.

O terceiro capítulo, faz uma descrição geral sobre a metodologia utilizada para o levantamento dos dados, tecendo comentários sobre a instrumentação utilizada, processo de aquisição dos sinais e o processamento destes. São feitas considerações sobre as justificativas da escolha dos locais de medições e breve comentário sobre a cidade de Florianópolis.

No quarto capítulo são mostrados os resultados colhidos no decorrer do trabalho e das análises realizadas.

O quinto capítulo apresenta as conclusões obtidas deste trabalho e apresenta algumas sugestões para futuras pesquisas.

CAPÍTULO II

CONCEITOS E DEFINIÇÕES BÁSICAS

2.1 - INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico ocorrido após a segunda grande guerra mundial trouxe consigo seus benefícios, mas tem deixado marcas irreparáveis no homem, principalmente àqueles diretamente expostos ao ruído.

O ruído de tráfego é classificado como um dos tipos de ruído mais agressivos devido ao seu predomínio em relação aos demais (comunitário, tráfego aéreo, industrial). O tráfego de veículos motorizados é a fonte predominante do ruído urbano, sendo causador de grandes perturbações e desassossegos. Embora não tenha havido, ainda, aumento dramático no ruído de tráfego em termos de níveis sonoros, sua influência tem crescido constantemente. A cada ano o ruído de tráfego invade um grande número de comunidades previamente calmas.

O ruído de tráfego é o resultado da superposição de diversos tipos de ruído, gerados por várias fontes: automóveis, caminhões, motocicletas, ônibus, trens, etc., que transitam sob diferentes velocidades e acelerações.

O ruído veicular é por sua vez, uma combinação de sons emitidos por várias fontes, tais como: motor, sistema de escapamento, sistema de admissão, bandagem dos pneus, aerodinâmica do veículo, sistema de ventilação, transmissão, etc. O nível de ruído é também influenciado pelo tipo de projeto, estado de conservação, modo de operação e idade.

Infelizmente, muitos dos veículos que têm sido desenvolvidos para fins de transporte, com o propósito de fazer a vida humana mais agradável, fornecendo conforto adicional ou reduzindo a cansativa tarefa de deslocamento diário, geram os inconvenientes problemas de ruído.

O rápido aumento no número de veículos motorizados em países desenvolvidos, tem conduzido a um aumento contínuo dos níveis de ruído. Muitos estudos conduzidos com o propósito de investigar a magnitude do problema, em várias cidades através do mundo, tem revelado que o ruído de tráfego é tipicamente o maior contribuinte para os níveis sonoros registrados e a fonte mais forte de incômodo em áreas urbanas.

GRIFFITHS e LANGDON^[9], conduzindo estudos sobre ruído em áreas residenciais britânicas, descobriram que dos ruídos que eram originados externamente, o mais freqüentemente registrado, foi o ruído de tráfego e o de animais domésticos.

FIDEL^[32], em levantamento realizado nos Estados Unidos, demonstrou que 46% da população por ele pesquisada, se manifestou incomodada pelo ruído urbano, sendo que 86% desta, indicou que o ruído de tráfego era a fonte maior de incômodo. Uma pesquisa sobre ruído realizada no centro de Londres (1961-62)^[26], descobriu que o ruído de tráfego é uma fonte importante de incômodo para as pessoas, se estas encontram-se em casa, na rua ou no trabalho. Veja a Tabela 2.1.

TABELA 2.1 - Ruídos que incomodam as pessoas em casa, nas ruas e no trabalho^[26]

Tipo de Ruído	Número de pessoas incomodadas para cada 100 entrevistas		
	em casa	na rua	no trabalho
Tráfego de vias	36	20	7
Aeronaves	9	4	1
Trens	5	1	--
Indústria e Construção	7	3	10
Criança	9	3	--
Voz de adultos	10	2	2
Rádio / TV	7	1	1
Sirene / Alarmes	3	1	1
Animais	3	--	--

Uma outra investigação sobre ruído em comunidades, realizada pelo Norwegian Gallup Institute (1968)^[26], registrou que veículos motorizados representam a fonte de ruído mais perturbadora, e o percentual das pessoas incomodadas era muito maior para a população urbana do que para a população rural (Tabela 2.2).

TABELA 2.2 - Tipos de Ruído que incomodam as pessoas^[26]

Tipo de Ruído	Número de pessoas incomodadas para cada cem entrevistados		
	Entrevistas Total	Área	
		Urbana	Rural
Ruído de Veículos	17	20	11
Ruído de Aeronaves	3	4	1
Ruído de Trens	4	5	1
Ruído da Vizinhança	5	6	3

RELSTER, citado por ROTT^[31], realizando uma pesquisa social na cidade de Copenhagen, sobre ruído de tráfego, trabalhou com dois grupos de pessoas, isto é, um grupo cujas pessoas habitavam já em áreas ruidosas, e outro grupo, cujas pessoas habitavam em áreas calmas. O estudo teve por base no número de consultas médicas, internações e uso de tranqüilizantes relacionados aos indivíduos pertencentes aos dois grupos. Os resultados dessa pesquisa mostraram que dos habitantes das áreas calmas, 57 dessas, buscaram ajuda médica por problemas psicológicos; 9 pessoas foram internadas em hospitais psiquiátricos, e 82 ingeriram tranqüilizantes. Já o outro grupo cujos moradores viviam acostumados ao ruído, 89 delas fizeram consultas médicas devido problemas psicológicos, 20 foram internadas em hospitais psiquiátricos e 119 fizeram uso de tranqüilizantes.

TABELA 2.3 – Resultados da pesquisa de RELSTER

GRUPO - I			GRUPO - II		
Habitantes de áreas ruidosas			Habitantes de áreas calmas		
477 pessoas			483 pessoas		
Consultas	Internações	Tranqüilizantes	Consultas	Internações	Tranqüilizantes
89	20	119	57	09	82

BROWN e LAM, citados por ROTT^[31] estudaram o ruído urbano na cidade de Hong Kong, e concluíram através de medições realizadas em níveis L_{10} (dia) entre 10:00h e 16:00h, que o ruído de tráfego era a fonte principal deste. Os resultados obtidos, mostraram que 10% da população estava exposta a níveis de ruído de 75 dB(A), comparáveis a estudos similares (considerando o mesmo percentual) desenvolvidos nos Estados Unidos, onde os níveis atingiram 69 dB(A), na Inglaterra 67 dB(A) e em Londres 73 dB(A). Para um percentual de 50% da população exposta ao ruído, os níveis observados foram de 67 dB(A) em Hong Kong, 56 dB(A) na Inglaterra e 63 dB(A) em Londres; e para um percentual de 90% da população exposta ao ruído, observaram níveis de 58 dB(A) em Hong Kong, 57 dB(A) nos Estados Unidos e Londres e 48 dB(A) na Inglaterra.

RAMALINGESWARA e SESHAGIRI, citados pelo ROTT^[31], em estudo mais recente conduzido em Visakhapatnam (Índia), analisou as reações humanas diante dos problemas causados pelo ruído ambiental, numa amostragem de 1.195 pessoas com idade

entre 18 e 60 anos, expostas ao ruído de tráfego, medido em períodos de 12 horas (08:00h - 20:00 horas). Os índices observados foram L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{eq} , TNI e NC. Os resultados foram comparados aos níveis aceitáveis de outros países, os quais são mostrados na Tabela 2.4.

TABELA 2.4 – Comparação dos resultados obtidos na pesquisa de Ramalingeswara e Seshagiri com os de outros países.

País	Índice	Período	NPS (dB(A))
Estados Unidos	L_{eq}	7:00 – 22:00	55 (externo)
Reino Unido	L_{10}	6:00 – 24:00	68 (externo)
Japão	L_{50}	dia noite	65 (externo) 60 (externo)
Suíça	L_{50}	6:00 – 22:00	60 (externo)
Suécia	L_{eq}	6:00 – 18:00 23:00 – 6:00	35 (interno) 25 (interno)
Índia	L_{10}	8:00 – 20:00	74 (externo)
	L_{50}	8:00 – 20:00	67 (externo)
	L_{90}	8:00 – 20:00	61 (externo)
	L_{eq}	8:00 – 20:00	68 (externo)

GRIMWOOD, citado por ROTT^[31], numa pesquisa realizada com 16 grupos de 6 a 8 pessoas, cujas idades variavam de 20 a 60 anos e de diferentes classes sociais pertencentes a várias regiões da Inglaterra e País de Gales, estudou os efeitos do ruído ambiental sobre as pessoas em suas residências. Os resultados mostraram que o ruído de tráfego era a mais inconveniente fonte de perturbação em quase 50% dos entrevistados. Observa-se, portanto, que a principal fonte geradora de incômodo, nos centros urbanos é o ruído de veículos automotores, principalmente aquele causado pelos veículos pesados.

2.2. - FONTES DE RUÍDO VEICULAR

Algumas considerações sobre as fontes principais de ruído veicular serão aqui abordadas para que haja uma melhor compreensão a respeito da geração do ruído pelos veículos durante o seu deslocamento nas vias de tráfego.

Há duas situações características de ruído veicular. A primeira ocorre quando o veículo se encontra parado, cuja fonte principal, neste caso, é o motor e o sistema de escapamentos. A segunda ocorre quando o veículo encontra-se em movimento, que, além, das fontes acima mencionadas, deve-se considerar, ainda, a influência dos demais componentes, pneus, superfície, ruído aerodinâmico, vibrações da carroceria, etc.

O ruído é ainda produzido pela irradiação direta de várias fontes, como: sistema de exaustão, sistema de admissão, sistema de refrigeração, bandagem dos pneus, buzina, transporte de cargas soltas, frenagens violentas, partidas bruscas (ocasionando patinagem), entrada ou saída em curvas com alta velocidade. A figura 2.1 mostra as principais fontes de ruído veicular.

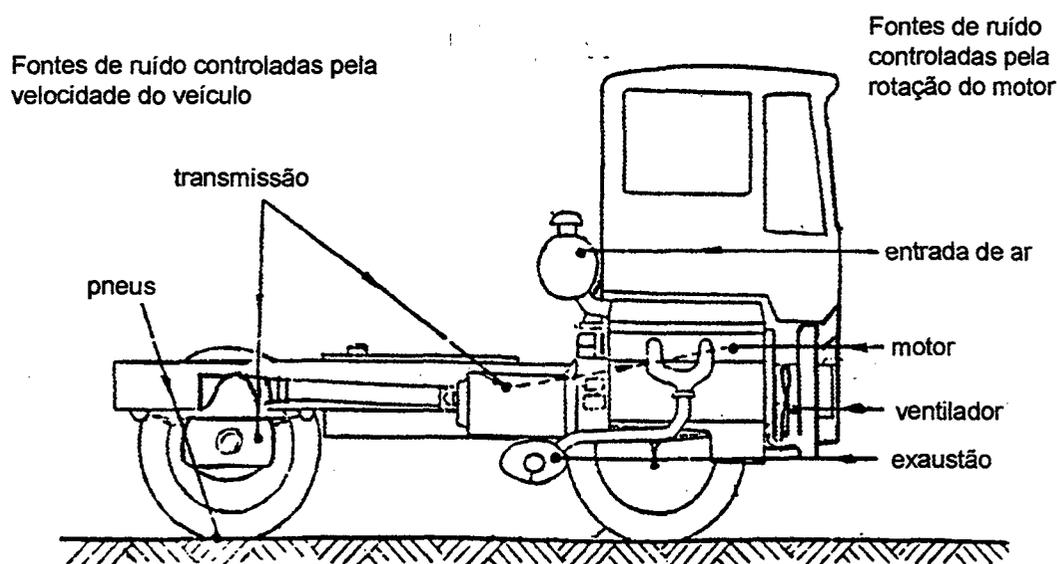


Fig. 2.1 - Principais fontes de ruído veicular^[1]

Segundo SANCHO e SENCHERMES, citados por ROTT^[31], o tipo de pavimento que compõe a via de tráfego bem como seu estado de conservação, influenciam os níveis de emissão de ruído em função da interação desta com os pneus durante o trajeto.

PRIEDE^[1] cita que o ruído gerado por veículos automotores, é composto fundamentalmente pelas seguintes fontes:

- sistema de propulsão;
- sistema de escapamento;

- sistema de aspiração;
- interação dos pneus sobre a via de tráfego;
- ruído aerodinâmico.

Os parâmetros que determinam o ruído de tráfego, além daqueles mais convencionais como, volume, composição, velocidade e percentual de veículos pesados, há ainda, segundo PRIEDE^[1], os seguintes:

a) parâmetros operacionais

- os diferentes tipos de fontes de ruído de tráfego e potência sonora;
- tipo de carregamento.

b) condições geográficas da via de tráfego e suas características

- tipo de superfície;
- número de vias;
- largura da via;
- largura do canteiro;
- localização relativa do ponto de medição;
- inclinação e curvatura da via;
- existência ou não de obstáculos, barreiras ou irregularidades;
- existência de semáforos, lombadas e interseções.

c) condições atmosféricas

- temperatura;
- umidade;
- ventos dominantes (direção, velocidade).

d) outras condições

- período de avaliação do ruído;
- ocasião durante a qual a avaliação se processou (manhã, tarde ou noite).

O ruído de tráfego urbano, representa uma composição de todos os ruídos emitidos pelos muitos veículos que se deslocam simultaneamente. O ruído provocado pela maioria dos transportes de superfície, está sempre presente. A descontinuidade é uma característica indistinta para todos eles. O veículo aproxima-se do ponto de observação, o nível de ruído aumenta até um valor máximo (pico), e decresce na medida em que este se afasta, até atingir novamente o ruído de fundo.

Sob condições normais de operação, o ruído produzido pelo motor, depende de vários parâmetros, conforme serão descritos a seguir.

2.2.1. - Ruído do Motor

PRIEDE^[1], cita três parâmetros os quais determinam essencialmente o ruído do motor:

- tamanho;
- carga;
- rotação.

2.2.1.1 - Tamanho do Motor

Admite-se que se as velocidades de vibração da superfície do motor não variam com o seu tamanho, o aumento da intensidade sonora irradiada seria, então, devido ao aumento da área da superfície de radiação. Isto é presumidamente atribuída ao efeito da grande área do cilindro e, portanto, às grandes forças causadas pelos gases sobre o pistão, não sendo totalmente transferida pela estrutura rígida do motor. O ruído do motor se processa fundamentalmente nas bandas de 63Hz a 250Hz, e poderá acentuar-se quando a frequência de ignição estiver próxima de algumas das frequências próprias do motor.

2.2.1.2 - Carga do Motor

A carga tem pequeno efeito sobre o ruído do motor. Desta forma a intensidade sonora pode ser determinada pelos outros dois parâmetros (tamanho e rotação). O nível de ruído irradiado pela estrutura do motor, medido seguindo as normas BS-3425 e ISO R-362, apresenta um nível que oscila entre 85dB(A) a 91 dB(A), para veículos típicos.

BURNS^[20] e GERGES^[45] apresentam fórmulas empíricas para o cálculo dos níveis de ruído do motor, medidos em escala dB(A) numa distância de 15m:

$$NPS = D \log_{10}N + 50 \log_{10}B - (3,50D - 73,5)[dB(A)] \quad [2.1]$$

onde:

N - rotação do motor (rpm)

B - curso do cilindro (in)

D - uma constante: D = 30, para motor de aspiração normal

D = 50, para motor turboalimentado.

HECKL^[51], apresenta uma outra formulação dada por:

$$NPS_{(1m)} \cong 52 + 10 \log_{10} (N_N - P_N^{0.55}) + A \log_{10}(N/N_N) \quad [dB(A)]$$

onde:

N_N - rotação nominal do motor (rpm)

N - rotação do motor (rpm)

P_N - potência do motor (kW)

A - uma constante: $A = 30$, para motores Diesel

$A = 40$, para motores Otto

Caminhões, ônibus e motos, são em geral, os veículos mais ruidosos. O número de veículos com diversas características, movendo-se simultaneamente num mesmo fluxo e em condições variadas, são os causadores do ruído de tráfego.

2.2.1.3 - Rotação do Motor

HARRIS^[25], mostra a relação existente entre o nível sonoro ponderado "A" e a rotação do motor, independente da velocidade do veículo, verificando-se que em cada situação particular de engrenamento de marcha, o nível máximo associa-se a máxima rotação.

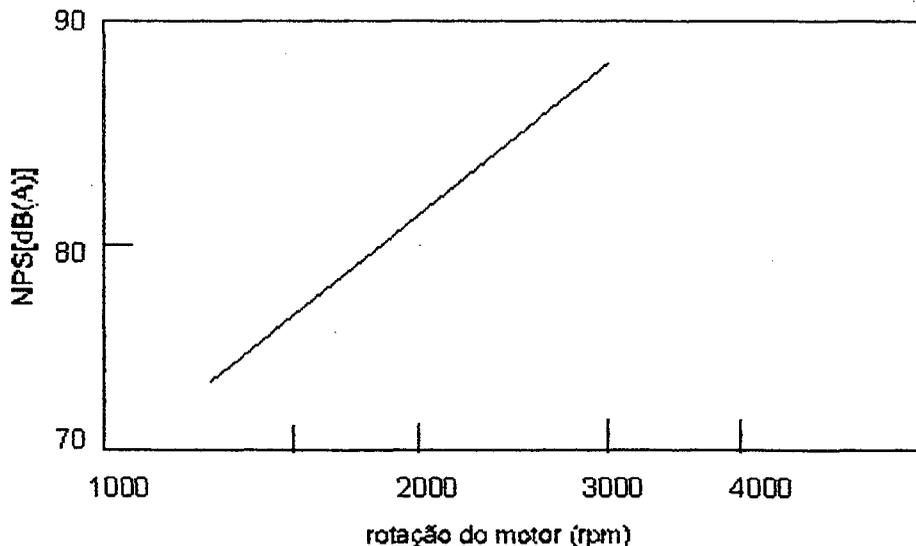


Fig. 2.2 - Nível de ruído de um veículo pesado em função da rotação do motor^[25].

Em VDA^[13], afirma-se que o ruído gerado pelo motor, é altamente dependente da rotação e PRIEDE^[1] conclui que a produção de motores com alta rotação está sendo seriamente criticada pela legislação de ruído, que a usa como uma base para comparação do nível máximo que o veículo é capaz de emitir.

2.2.2. - Ruído da Entrada de Ar

O ruído da entrada de ar, é gerado pela abertura e fechamento da válvula de admissão do ar, predominando na faixa de 50 Hz a 250 Hz. As amplitudes dos impulsos do ruído aumentam consideravelmente com o aumento da rotação produzindo uma razão de aumento do ruído entre 35 dB(A) a 45 dB(A) / década^[14].

(As componentes predominantes do ruído do sistema, mantém-se, geralmente, na faixa de baixa frequência. Silenciadores adequados e apropriadamente ajustados, são hoje utilizados para sistemas de entrada de ar, de carros de passageiros.)

GERGES^[45], apresenta fórmulas empíricas para o cálculo do ruído de entrada de ar para motores diesel de 4 tempos, turbinados e de aspiração natural:

$$\text{NPS} = 63 + 5 \log(\text{bhp}) - C_1 \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.2]$$

$$\text{NPS} = 81 - C_1 \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.3]$$

onde:

$\sigma_s = 1$, se existir respiro no filtro de ar

$\sigma_s = 0$, se não existir respiro no filtro de ar

$\sigma_f = 1$, se existir tomada frontal no filtro de ar

$\sigma_f = 0$, se não existir tomada frontal no filtro de ar

bhp é a potência de frenagem do motor. $C_1 = 0$ se o motor é sem filtro de ar;

$C_1 = 13 - 5\sigma_s + \sigma_f$, se o motor tem filtro de ar.

2.2.3. - Ruído da Exaustão

(O nível de exaustão é produzido pela liberação repentina dos gases do interior do cilindro, quando se dá a abertura da válvula de descarga dos gases. Os fatores que determinam o nível de ruído da exaustão, são: o alívio da pressão no instante inicial da abertura da válvula, o diâmetro da válvula e suas características de abertura e fechamento.)

A eficiência do sistema de exaustão aumenta em proporção com o seu volume. Qualquer melhoria necessita de silenciadores maiores ou um maior número de silenciadores

conectados em série, o que é problemático, devido ao reduzido espaço útil. Outra alternativa usada consiste em encher o silenciador com material absorvente. Há, portanto, muitas características as quais podem ser incorporadas no projeto do motor para reduzir o ruído do sistema de exaustão.

O Instituto Inglês de Pesquisas sobre Combustão Interna - BICRI, mostrou que, por várias características apropriadas do projeto, o ruído do sistema de exaustão de um motor era reduzido de 10 a 15 dB(A) ^[1].

GERGES^[45], apresenta a formulação empírica para estimar o nível de ruído no escapamento de motores diesel:

$$NPS = 10 \log (\text{bhp}) + 74,5 C_0 \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.4]$$

onde

bhp = potência de frenagem do motor (hp)

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

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

2.2.4. - Ruído do Ventilador

⌈ O sistema de ventilação, é utilizado para refrigeração do motor. Embora o radiador não seja uma fonte de ruído, o projeto do ventilador é de primordial importância para sua eficiência, pois o objetivo é atingir boa transferência de calor do volume global gerado, e se obter ar refrigerado com o mínimo possível de calor. Todos os ventiladores produzem um tipo de ruído aerodinâmico de espectro amplo, sendo o nível de pressão sonora aproximadamente constante em todas as faixas de frequência para os do tipo axial (ventilador cujo fluxo de ar possui um movimento de rotação na direção longitudinal), enquanto para os do tipo radial (ventiladores de uso mais industrial, por exigirem altas pressões) o ruído decresce com o aumento de frequência ⌋ na proporção de 5 dB/oitava^[1], aproximadamente.

⌈ Qualquer anomalia do sistema da ventilação tem efeito profundo sobre o ruído veicular. Portanto, qualquer interação entre o movimento das palhetas ou obstrução do radiador ou quebra de correia, gera um efeito muito acentuado. Os veículos, portanto, devem possuir o conjunto ventilador/radiador perfeitamente combinados, o qual deve, sem qualquer problema de projeto, ser capaz de assegurar uma satisfatória dissipação do calor gerado, com mínima geração de ruído. ⌋

GERGES^[45], apresenta uma formulação empírica para estimativa do nível de ruído do ventilador em motores diesel:

$$\text{NPS} = 10\log(b_f n_f) + 30\log[(a_1 N d_f)^2 + (5,350V)^2] - 108,6 \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.5]$$

onde:

b_f - é largura da pá do ventilador (m);

n_f - é o número de pás do ventilador

N - rotação do motor (rpm)

V - Velocidade do veículo (km/h)

d_f - diâmetro do ventilador (m)

$a_1 = 1,0$ para motores com cilindrada menor que 9800cm^3

$a_1 = 1,2$ para motores com cilindrada maior que 9800cm^3

2.2.5. - Ruído gerado pela interação pneu/superfície

Das várias fontes que determinam o ruído gerados por veículos automotores, o ruído do movimento de rolagem dos pneus, também representa uma fonte considerável, e depende dos seguintes fatores:

- banda de rodagem, cujo termo significa o conjunto de pneus montados no veículo;
- velocidade do veículo;
- superfície da via de tráfego.

O Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá, segundo publicação[26], registrou que para cerca de 50% dos veículos de passageiros de médio e grande porte, o ruído dos pneus é predominante numa velocidade acima de 30 milhas/hora (48 km/h).

De acordo com estudo conduzido nos Estados Unidos^[26] veículos modernos, sob condições normais de operação geram níveis maiores de ruído através da interação pneu/superfície, do que através do conjunto motor/exaustão, sob condições extremas, superfícies muito ásperas de autovias, podem produzir significativamente grande ruído pela interação pneu/superfície. Por este motivo, os fabricantes de pneus vêm desenvolvendo modelos complexos e menos ruidosos.

Segundo HARRIS^[25], o ruído dos pneus é devido à combinação da vibração da carcaça dos mesmos, da aderência dos pneus e subsequente liberação do ar das ranhuras. O nível sonoro produzido, a qualquer velocidade é função do projeto do pneu e da quantidade de pneus instalados no veículo, variando de 10 a 12 dB(A) por duplicação da velocidade.

WATERS^[36], pesquisando sobre ruído veicular, mostrou que o nível de ruído cai abruptamente quando a largura do pneu é reduzida. Por exemplo, se esta for reduzida a metade, o nível diminuirá de aproximadamente 9 dB(A).

Se os pneus são montados em dupla, estes são 6 dB(A) menos ruidosos do que um único pneu cobrindo a largura completa dos geminados.

WEINER, citado por CARLO^[35], medindo o nível de ruído produzido no interior de um veículo de passageiros completamente carregado, encontrou que o ruído produzido pelos pneus era composto por sons que incluíam todas as frequências audíveis, e que estes eram mais ruidosos quando trafegando em vias ásperas, atingindo até 100 dB(A) durante a medição.

CARLO^[33], explica que a razão dos pneus produzirem tanto ruído deve-se ao fato de a banda de rodagem atuar como uma espécie de sirene, tal que ao aumentar a rotação deste há um aumento no nível de ruído.

A Fig. 2.3 mostra o efeito das ranhuras do pneu sobre o nível sonoro produzido. O pneu com entalhe longitudinal, produz, por exemplo, um nível sonoro o qual é 12 dB(A) menor do que outro com entalhe transversal.

A pressão do pneu também, tem um efeito sobre a emissão do ruído. Dirigindo em linha reta, o efeito é pouco significativo, podendo mesmo ser negligenciado, no caso de veículos leves. Em adição, a pressão da calibragem, deverá corresponder muito bem com as condições de uso dos pneus.

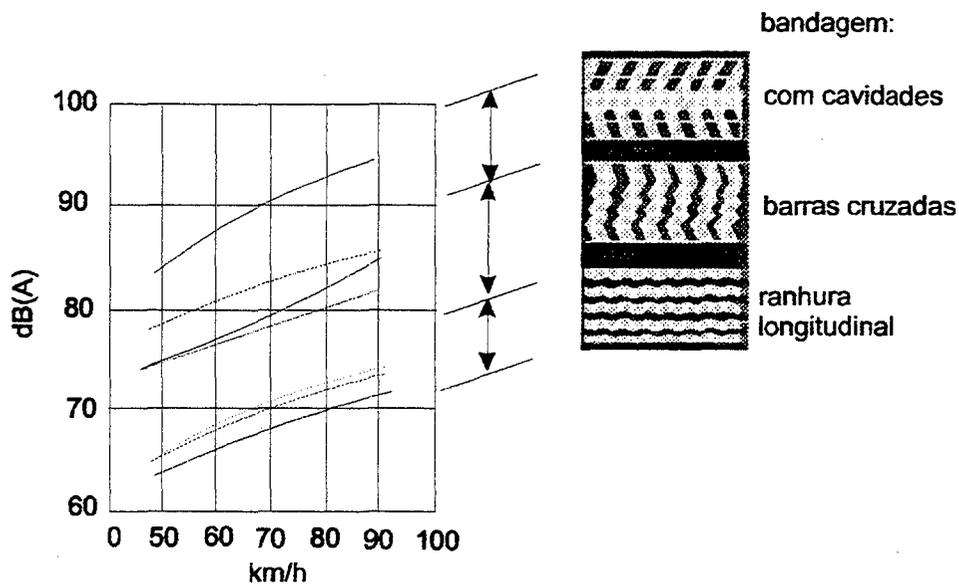


Fig. 2.3 - Níveis de ruído de veículos pesados, em função da velocidade, deslocando-se sobre superfície de concreto, com pneus montados em pares^[13].

2.2.6. - Estado de Conservação do Veículo

Segundo pesquisa realizada por BRAUNSCHWEIG e BRUCKMAYER, citados por na referência [26], os níveis de ruído atingidos durante 50% do tempo, foi de 77 dB(A) para veículos fabricados entre 1961 e 1963, e 79 dB(A) para veículos fabricados entre 1958 – 1960. Para certos tipos de veículos encontrou-se que há uma diferença de 2 a 3 dB(A) entre carros de 1 - 3 anos de idade, e para o mesmo tipo de carros, de 4 - 6 anos de idade.

2.3. - PARÂMETROS DE TRÁFEGO E SEUS EFEITOS

As medições do ruído de tráfego são normalmente feitas utilizando a curva de ponderação “A” e os níveis encontrados dependem de vários fatores, tais como:

- volume de tráfego;
- composição do tráfego;
- velocidade do tráfego;
- gradiente da via;
- distância da fonte.

Segundo BURNS^[20], os fatores mais importantes que contribuem para o aumento do ruído de tráfego, são: o volume, a composição e a velocidade.

2.3.1. - Volume de Tráfego

As relações são bastantes complexas, mas o ruído aumenta com o aumento da razão do fluxo, em termos de veículo por hora. A lei fundamental do fluxo de tráfego, pode ser expressa pela relação:

$$\begin{array}{l} \text{Fluxo} = \text{Concentração} \times \text{Velocidade} \\ \text{(Veic/hora)} \quad \text{(Veic/km)} \quad \text{(km/hora)} \end{array} \quad [2.6]$$

Na prática, quando o número de veículos sobre a via não é suficientemente grande para influenciar na escolha da velocidade, é verificado que, embora veículos individuais possam cobrir uma larga faixa de velocidade, a maioria tem uma pequena variação de velocidade com um valor médio constante, tal que o fluxo é diretamente proporcional à concentração.

No caso de ruído do tráfego urbano, este aumenta com o aumento do fluxo de até 1200 veículos por hora, aproximadamente. A partir deste valor, o aumento do volume causa pequeno aumento no nível de ruído^[20, 34]. A Figura 2.4 mostra essa relação.

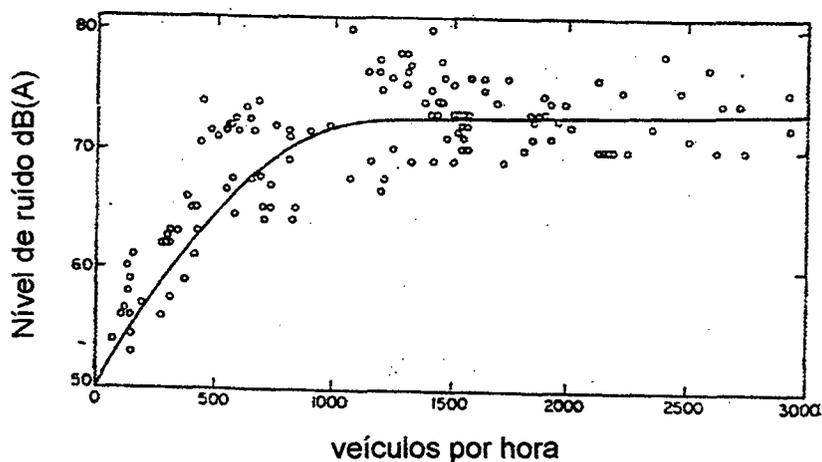


Fig. 2.4 - Relação entre nível de ruído e volume de tráfego^[3].

Acredita-se que isto seja devido a redução da velocidade provocada pelo congestionamento do tráfego. Para o tráfego rodoviário em autovias, o mesmo fenômeno ocorre quando o volume atinge 2500 veículos por hora^[20, 34].

Segundo STEPHENSON e VULKAN^[3], nas autovias, o ruído é produzido pelos veículos movendo-se em altas velocidades, tendo como fontes principais o ruído da banda de rodagem e o ruído aerodinâmico, enquanto que no tráfego urbano, o ruído predominante é o irradiado pelo motor.

2.3.2. - Composição de Tráfego

Tem-se verificado a tendência de os veículos mais pesados serem mais ruidosos, tanto que o aumento no número destes veículos em relação aos leves, causa um aumento no nível de ruído. A diferença se torna mais acentuada em condições de potências motoras mais altas.

Nas velocidades mais altas, a diferença dos níveis de ruído entre veículos pesados, médios e leves é menor, tanto que a composição do tráfego sobre autovias, a influência do ruído é menor do que quando deslocando-se em vias urbanas.

O efeito da composição do tráfego, também varia de acordo com a velocidade e por isso de acordo com o tipo de via.

Para autovias, o efeito da composição é menos importante do que sobre vias urbanas. A razão é que, enquanto o ruído produzido pelos automóveis aumenta com a velocidade, o ruído produzido por caminhões permanece essencialmente constante sobre uma larga faixa da velocidade. Para vias urbanas e para velocidades entre 30 a 40 km/h, uma duplicação das proporções de veículos pesados de 10% para 20%, aumentaria o nível de ruído em 2 a 3 dB(A). Para autovias, com velocidade de 100 km/h, o aumento no nível de ruído não seria maior que 1 dB(A)^[4].

Portanto, como o volume de tráfego aumenta, o nível de ruído L_{10} eleva-se rapidamente, para em seguida aumentar mais suavemente, tal que os níveis de ruído tendem a se estabilizar para volumes em excesso, acima de 2500 veículos/hora (ver Fig. 2.4).

2.3.3. - Velocidade de Tráfego

Numa série de medições feitas pelo National Physical Laboratory (Grã-Bretanha)^[26], o nível de ruído durante condições variadas de tráfego, provendo dados sobre os efeitos do nível de ruído da velocidade, densidade e percentagem de veículos pesados, verificou-se que o nível de ruído, sobe 9 dB(A) para cada dobro de aumento da velocidade média, o que foi, também verificado por JOHNSON e SAUNDERS^[15], os quais mostraram que há um aumento médio de 10 dB(A) no nível de ruído por duplicação da velocidade sobre superfícies asfaltadas secas, e de 12 dB(A) sobre superfícies de concreto secas.

Nas baixas velocidades e com tráfego de caminhões, existe larga variação nos níveis de ruído devido aos picos intermitentes produzidos pelas passagens destes, sendo que estes, quando vazios de 1% a 2%, fazem mais ruído do que quando carregados^[15].

Estas variações, todavia, diminuem quando a velocidade e a densidade aumentam e o tráfego de caminhões é reduzido, sem contudo haver congestionamento. Todavia, havendo congestionamento, introduzem-se níveis de ruídos de picos mais altos e freqüentemente, níveis médios mais baixos. Quando o fluxo flui suavemente, o tráfego tem níveis médios baixos e picos relativamente baixos; fluindo livremente, o tráfego nas velocidades mais altas, proporciona níveis médios mais altos. Muitos estudos de tráfego, indicam que o ruído, nas condições de desaceleração - frenagem - aceleração (para - e - anda), durante a noite ou nas horas de pico do dia, é um elemento significativo na situação de ruído urbano.

Sobre autovias, os níveis de ruído aumentam quase que linearmente com a velocidade, na ordem de 1 dB(A), ou menos, para cada 10 km/h de aumento desta, enquanto que em vias urbanas, o efeito da velocidade, é muito mais complexo^[26].

2.3.4. - Gradiente da Via de Tráfego

Entende-se por gradiente, a inclinação longitudinal da via de tráfego usualmente medida em percentagem.

O gradiente não pode mudar o padrão de propagação sonora de um fluxo de tráfego, quando este depende apenas da configuração geométrica da fonte para o receptor, porém, da mesma forma que a velocidade, deve produzir um efeito significativo sobre o nível gerado individualmente pelos veículos.

JOHNSON e SAUNDERS^[15], concluíram que a influência do gradiente, é mais predominante nas situações de subida do que nas de descida..

STEPHENSON e VULKAN^[3], realizando estudos sobre via de tráfego contendo vários gradientes observaram que para veículos pesados há um aumento considerável dos níveis de ruído devido às subidas, do que no caso com veículos leves. Todavia, os resultados foram insuficientes para a obtenção de conclusões estatisticamente confiáveis, com o número de variáveis envolvidas. Os níveis de ruído aumentam com o gradiente numa razão de 0,3 dB(A) para cada 1% de aumento deste^[4, 28].

SCHOLES e SARGENT^[17], concluem que para gradientes de 2 a 4%, o aumento é de 1 dB(A), e para gradientes entre 4 a 8%, o aumento é de 2dB(A).

2.3.5. - Superfície da Via de Tráfego

A textura da superfície da via afeta os níveis de ruído gerados pelo tráfego^[28]. Uma superfície de concreto produz um nível de ruído externo levemente mais alto do que uma superfície asfaltada; a superfície de paralelepípedos não afeta significativamente os níveis L_{10} , embora a variação no nível de ruído, seja subjetivamente percebida^[4].

A superfície da via tem um grande efeito sobre o ruído de rolamento como um resultado de sua textura. A Figura 2.5 mostra os resultados de medições desenvolvidas sobre várias vias. A seção 5 é uma via pavimentada, enquanto que a seção 2 é uma via com superfície de concreto desgastado, e as demais são vias asfaltadas. O nível de ruído da via pavimentada, resulta em níveis sonoros os quais são 18 dB(A) maiores que os do caso da seção 4 (de baixo ruído). Todavia, o concreto desgastado da seção 2, também, produz níveis de ruído 12 dB(A) mais altos que aqueles de outras vias asfaltadas^[13].

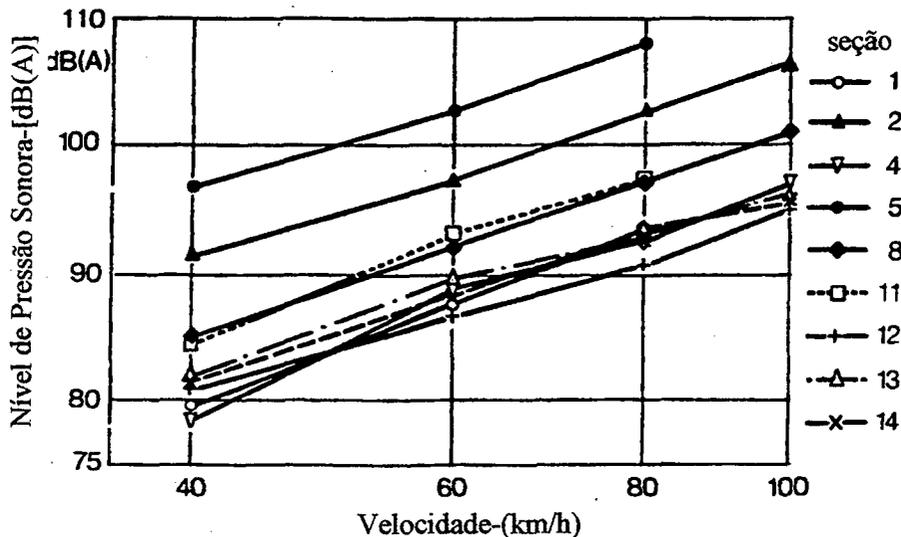


Fig. 2.5 - Níveis sonoros de alguns tipos de bandagens, com o veículo deslocando-se livremente em vários tipos de superfícies de rolamento^[13].

Investigações recentes^[13], têm mostrado que há toda uma razão, quando no projeto da superfície da via, pensa-se não somente em termos das propriedades anti-derrapantes, resistência ao desgaste e estabilidade, mas também, consideram-se as reduções nos níveis de ruído.

Atenção especial deve ser tomada para ruído de rolamento com superfície da via molhada. Em tais casos o ruído é aproximadamente 5 dB(A) mais alto^[39]. Neste caso, sua composição de frequência representa uma grande fonte de incômodo.

Pessoas que residem nas vizinhanças de vias cujo tráfego é intenso, acham o ruído de rolamento uma forte fonte de incômodo, especialmente quando a superfície está molhada. Por esta razão, é importante no projeto de vias urbanas, a consideração de seu desempenho quanto aos níveis sonoros, quando a superfície estiver molhada.

Portanto, vias de tráfego quando molhadas, tendem a tornar a superfície notadamente mais ruidosa, aumentando as componentes de alta frequência.

2.4. EFEITOS DO RUÍDO DE TRÁFEGO SOBRE AS PESSOAS

Pesquisas sociais, têm mostrado que a insatisfação expressa pelas pessoas devido ao ruído de tráfego no interior de suas residências, depende do nível e da variabilidade do ruído.

O ruído afeta as pessoas e pode ser prejudicial à saúde. Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde), saúde é definida como sendo “um estado completo de bem-estar físico, mental e social, e não simplesmente a ausência de doença ou enfermidade”^[26].

Os vários efeitos do ruído sobre as pessoas podem ser listados em três grupos gerais e interrelacionados. O primeiro grupo inclui os efeitos subjetivos descrito por termos como: perturbação, insatisfação, aborrecimento, incômodo, etc. Este grupo descreve, de algum modo, a natureza indesejável do ruído.

O segundo grupo, inclui os aspectos comportamentais, e envolve a interferência numa tarefa.

Já os efeitos do terceiro grupo são fisiológicos, incluindo aqueles efeitos que ocorrem durante ou logo após a exposição ao ruído, tais como: reações sustos, bem como aquelas que podem ocorrer apenas após prolongada exposição.

2.4.1. - Efeitos Subjetivos

Um problema de ruído deve envolver pessoas e seus sentimentos, e sua avaliação, portanto, é um assunto preferencialmente de valor e ambiente humano, antes do que de medições físicas, precisas.

MILLS e ROBINSON, citados na referência [26], mostraram que a impressão subjetiva da ruídosidade veicular correlaciona-se razoavelmente bem com o pico do nível sonoro medido e avaliado com curva de ponderação "A".

2.4.2. - Efeitos sobre Atividades Específicas

2.4.2.1 - Efeito sobre a comunicação verbal

A interferência com a comunicação é um dos mais óbvios efeitos do ruído de tráfego. O grau dessa interferência é função do tipo de comunicação, das condições sob as quais a comunicação deve ser mantida e dos níveis de ruído emitidos e do tempo.

A interferência do ruído com a fala, geralmente mascara o processo de comunicação.

ROBINSON, citado na referência [26], afirma que um nível sonoro de 48 dB(A) permite a conversação com voz normal numa distância de 4 m, e HARRIS^[25] menciona um nível interno de 45 dB(A) para que a televisão ou o rádio, sejam confortavelmente entendidos.

2.4.2.2 - Interferência com o sono

Sobre a interferência do ruído com o sono, existem muitos trabalhos publicados. Os resultados, apontam para o fato de que o ruído pode influenciar o sono, sendo esta influência, determinada pelos seguintes fatores:

- intensidade do nível sonoro;
- tempo de exposição;

assim, como através de fatores endogênicos e exogênicos. Geralmente estes fatores só podem ser avaliados qualitativamente^[24, 29, 49].

STEINICKE, citado na referência [26], analisando o efeito do ruído sobre 350 pessoas de diferentes idades, sexo e ocupações, mostrou que 52% destas eram despertadas quando o nível de ruído de 45dB era atingido; que a sensibilidade ao ruído variou largamente, com algumas pessoas despertando a 35dB, enquanto outras despertavam a 70dB; e que o sono vem a ser menos profundo quando a idade aumenta.

Uma pesquisa realizada na Rússia^[26] indicou que quando o ruído está num nível de 50dB, para conseguir dormir é um processo muito cansativo (1h a 1½ h) e há razoavelmente pequenos intervalos de sono profundo (1h), seguido de despertar, acompanhado de uma sensação de fadiga e palpitação.

2.4.2.3 - Efeito sobre o desempenho de atividades

Numerosos estudos tem sido feitos a respeito dos efeitos do ruído sobre o desempenho de atividades, porém, muitos destes, envolvem ruídos em altos níveis e diferentes em caracteres do ruído de tráfego urbano, tornando assim, difícil estimar os efeitos.

LAIRD, citado por SANTOS^[44], demonstrou em provas de habilidade que a exposição ao ruído contínuo diminui o rendimento, aumenta o número de erros e que a partir de certa intensidade, a influência do ruído aumentava em relação ao início do teste.

GLASS e SINGER, citados na referência [26], verificaram que ruídos casuais causavam irritação e frustração acentuadas, bem como o declínio dramático na eficiência do trabalho, mesmo após a parada do mesmo.

2.4.3. - Efeitos Fisiológicos

Não existe atualmente evidência conclusiva do grau de periculosidade da exposição ao ruído de tráfego sobre a saúde. Todavia, vários fisiológicos imediatos são observados durante e após a exposição ao ruído comparável àquele do tráfego. A dilatação da pupila, é uma reação comum ao ruído e pode ser mostrado, está ligado a intensidade sonora. É possível concluir-se, ainda, que distúrbios no sono devido ao ruído, observados durante um tempo significativamente longo, conduzem com certeza a efeitos danosos sobre a saúde^[50].

JANSEN, citado por SANTOS^[44], demonstrou que a vasoconstrição é um dos principais efeitos não auditivos da exposição ao ruído, enquanto que outros estudos também têm evidenciado a ocorrência de hipertensão arterial leve e moderada. A exposição ao ruído com predomínio de frequências baixas (por exemplo, motor em marcha lenta) tem sido

relacionada com o aparecimento de alterações digestivas, tais como gastrite e úlceras; alterações neuropsíquicas também, são as mais freqüentes, com manifestações tais como ansiedade, inquietude, desconfiança, insegurança, pessimismo e depressão. As pessoas expostas há mais tempo, são as mais afetadas.

Um ruído inesperado provoca mudanças fisiológicas, tais como diminuição das contrações peristálticas, e reações de susto ou medo.

2.5. - CARACTERÍSTICAS DOS ÍNDICES DE RUÍDO

Qualquer ação de controle do ruído, tem necessariamente que estar embasada em critérios de avaliação subjetiva pelas pessoas. Devido à sua grande variação temporal, o ruído de tráfego torna-se difícil de ser mensurado. A medição requer que seja considerado o ruído gerado por todos os veículos em uma via. Sua análise física inclui, portanto, uma completa descrição das amplitudes e respectivos espectros.

Vários critérios têm sido desenvolvidos para quantificar e dar garantia ao conforto acústico. O tratamento dos aspectos estatísticos do ruído são claros. Muito esforço tem sido aplicado no sentido de obter uma medida da reação do público ao ruído comunitário. Certas tendências gerais no efeito incômodo pelo ruído de tráfego têm sido encontradas através dos vários estudos já realizados.

Os principais requisitos para um critério que possa ser utilizado para avaliar o incômodo comunitário^[30], são:

- a) uma fórmula que proponha uma correlação razoavelmente boa entre o ruído e o incômodo provocado;
- b) que seja fácil de processar as medições e os cálculos;
- c) que seja adequado para predições com um bom grau de confiança;
- d) que possa ser utilizado para várias fontes de ruído.

A seguir serão descritas os principais índices usados para avaliar o ruído de tráfego rodoviário.

2.5.1. - Níveis Percentuais Estatísticos - L_n

Diferente de uma avaliação de ruído em que o nível sonoro em dB(A) é lido diretamente no medidor de nível de pressão sonora ou calculado por uma análise de freqüência, os níveis percentuais estatísticos são aplicados para uma flutuação contínua do

nível sonoro e, para tanto, requer um método de análise mais complexo. Os níveis percentuais ou índices estatísticos de ruído são associados a um período particular de tempo do dia.

A literatura técnica internacional recomenda o uso dos seguintes índices para o estudo de ruído de tráfego, que podem ser convenientemente aplicados para qualquer período de tempo (1h, 18h, 24h, etc):

L_{10} - nível sonoro medido em dB(A), excedido em 10% do tempo;

L_{50} - nível sonoro medido em dB(A), excedido em 50% de tempo;

L_{90} - nível sonoro medido em dB(A), excedido em 90% do tempo, também considerado para análise de ruído urbano comunitário, como o nível de ruído de fundo.

Assim, o valor de $L_{10}(18h)$ é definido como a média aritmética dos valores de L_{10} para cada um dos períodos de 1 hora, compreendidos entre 06:00 às 24:00 horas.

SCHOLES e SARGENT, citados por BURNS^[20], sugerem que para o ruído de tráfego, a avaliação da exposição do ruído em residências seria o valor médio de L_{10} medido em dias úteis, a 1 m da fachada da residência. Para tanto, o valor médio foi definido como a média das amostras diárias do ruído por um período de curta duração cobrindo a passagem de 50 a 100 veículos, preferencialmente, por um período de 1min a 12min, dependendo da densidade de tráfego.

O tempo mínimo de amostragem (t_{\min}) considerado válido para a medição do L_{10} , depende da razão (r) de registro das amostras por minuto (a fim de assegurar um número suficiente de passagens de veículos), e da razão de fluxo total (q), em veículos por hora, passando pelo ponto de medição (a fim de assegurar que as medições incluam uma adequada amostragem de veículos). Este tempo é dado pela seguinte expressão:

$$t_{\min} = \left(\frac{400}{q} + \frac{120}{r} \right) \quad [2.7]$$

com uma razão de amostragem não inferior a 5 (cinco) amostras/min, e com a restrição de que o tempo de amostragem, não seja inferior a 5min (nem superior a de 55min) em qualquer hora^[35].

2.5.2. - Nível Sonoro Contínuo Equivalente - L_{eq}

O nível sonoro contínuo equivalente fornece uma boa medida da pressão sonora colocando mais ênfase sobre os altos níveis de ruído ocasionais, os quais podem ser

bastante perturbadores. O L_{eq} pode ser aplicado para qualquer nível de ruído flutuante. Matematicamente, representa o nível de ruído constante o qual, sobre um mesmo tempo dado, expressa a mesma quantidade de energia quando o nível flutua, dado pela seguinte formulação^[30].

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L(t)/10} dt \right] \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.8]$$

onde: T – tempo ao longo do qual o L_{eq} é determinado

$L(t)$ – nível de ruído variável com o tempo, em dB(A)

Geralmente, não há uma relação bem definida entre $L(t)$ e o tempo, tal que uma série de amostras discretas de $L(t)$ devem ser tomadas, de modo que a expressão anterior, passa a ser

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right] \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.9]$$

onde: N – número total de amostras tomadas

L_i – nível de ruído em dB(A) da i -ésima amostra

Em geral o tempo padrão dos níveis de ruído medidos num dado local estão relacionados ao nível de atividade correspondente e em particular às variações do volume de tráfego. Segundo GARCIA e FAUS^[8] a relação entre volume de tráfego (Q) e nível de pressão sonora é tão próxima que todos os esforços pretendidos para estimar os níveis de ruído produzidos pelo tráfego em vias urbanas são baseados nestas variáveis:

$$L_{eq} = 48,6 + 8,1 \log_{10} Q \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.10]$$

onde:

Q = número de veículos por hora

2.5.3. - Nível de Poluição Sonora - L_{NP}

Muitas pesquisas têm indicado que para haver uma melhor correlação com o incômodo, é necessário descrever o ruído de tráfego usando uma unidade que considera o nível contínuo e a variabilidade. Têm sido propostas, portanto, duas unidades: o Nível de Poluição Sonora e o Índice de Ruído de Tráfego. Todavia, antes que unidades tão complexas sejam completamente aplicadas é necessário conhecer mais sobre a variabilidade, tal que as regras apropriadas possam ser estipuladas.

ROBINSON^[37] após vários anos de estudo, tendo revisado extensivamente vários outros índices de incômodo, propôs o Índice da Poluição Sonora, L_{NP} . A característica essencial da síntese de Robinson, e das várias experiências abordadas para avaliação do incômodo, é a consideração de três descobertas principais:

- a) - que a quantidade de energia sonora no estímulo, num dado período, é uma componente primária;
- b) - que o incômodo atribuído ao aumento no número crescente de ocorrência de ruído, cresce numa razão maior do que o aumento de energia total das séries;
- c) - a faixa de variação na flutuação do nível de ruído em torno de um valor médio, influencia no incômodo.

Segundo SCHULTZ^[24], o nível de poluição sonora é uma medida de ruído usada algumas vezes para descrever o ruído comunitário o qual emprega o nível sonoro equivalente e a magnitude da flutuação temporal dos níveis.

O procedimento para determinação do L_{NP} tem sido aplicado pela existência de dados envolvendo ruídos aéreos e de tráfego, na comunidade. Apenas um programa de pesquisa foi especialmente desenvolvido para avaliar o mérito do nível de poluição sonora em comunidades ao oeste do aeroporto de Heathrow (Londres). Os resultados confirmaram que o L_{NP} é um ótimo preditor médio da insatisfação geral da existência de ruído.

A formulação proposta por Robinson para o cálculo do nível de poluição sonora, é dada por:

$$L_{NP} = L_{eq} + 2,56 \sigma \quad [dB(A)] \quad [2.11]$$

onde o primeiro termo, é amplamente determinado pela intensidade dos ruídos intrusos a não ser que estes ocorram tão raramente e que o ruído de fundo supere o ruído total exposto; e no segundo termo, σ representa o desvio padrão da flutuação do nível de ruído, amostrados durante o período de medição, medido em dB(A).

BERANEK^[22] apresenta uma formulação aproximada para o cálculo de nível de poluição sonora definido por

$$L_{NP} = L_{eq} + (L_{10} - L_{90}) \quad [dB(A)] \quad [2.12]$$

2.5.4. - Índice do Ruído de tráfego - TNI

O índice de ruído de tráfego baseia-se numa pesquisa social realizada na Inglaterra por GRIFFITHS e LANGDON^[5] através da qual foi observado que a correlação existente entre o ruído e o incômodo, torna-se maior se o ruído for uma grande diferença dos valores estatísticos extremos do nível de ruído, L_{10} e L_{90} .

A base de medição é o nível sonoro ponderado "A", observado externamente como uma função contínua do tempo, ou amostrado em numerosos intervalos discretos de tempo, sobre um período de 24 horas. Deste registro, os dois níveis sonoros L_{10} e L_{90} , devem ser determinados.

O TNI como uma combinação ponderada do L_{10} e L_{90} , foi definido pelos autores como,

$$\text{TNI} = 4 (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.13]$$

onde o primeiro termo mostra que o TNI dá ênfase considerável à variabilidade do ruído, representada por $(L_{10} - L_{90})$, incluindo o fator 4 na formulação, enquanto que o segundo termo representa o nível de ruído de fundo. O terceiro termo é introduzido para fornecer um número mais adequado à formulação.

A correlação entre o incômodo e o TNI é mostrado na Fig. 2.6, junto com a linha de melhor ajuste e o limite de confiança de 95%, para uma pesquisa realizada pelo Building Research Station - BRS (1967), citada por SCHOLE^[18]. Se a variabilidade diminuir, a correlação é suavemente aumentada.

Segundo SCHOLE^[18], um valor de 74TNI foi recomendado como um possível nível de critério, como um ponto de partida para discussão e para ilustrar as implicações de aplicação de um novo critério baseado no TNI. Os efeitos do valor de 74TNI sobre as pessoas que tem morado por algum tempo em residências existentes ao longo de vias de tráfego são conhecidos. Em média há aquelas pessoas que vivendo sob tais condições não estarão completamente insatisfeitas com o ruído de tráfego.

Na Inglaterra, o Comitê Wilson, propôs em se fixar em 50TNI ao dia e 35TNI à noite, os níveis que não deveriam ser ultrapassados em no máximo 10% do tempo, no interior das residências.

SCHULTZ^[24] cita que para um valor de 74TNI, espera-se que uma em 40 pessoas, manifeste incômodo ao ruído.

WHITE, citado por BARBOSA^[12], mencionando legislação pertinente do Reino Unido que normatiza a determinação do nível L_{10} (18h) para o período das 06:00h às 24:00h, em dia útil, afirma que para $TNI=74$ dB(A), espera-se que 50% das pessoas manifestem-se incomodadas com o ruído.

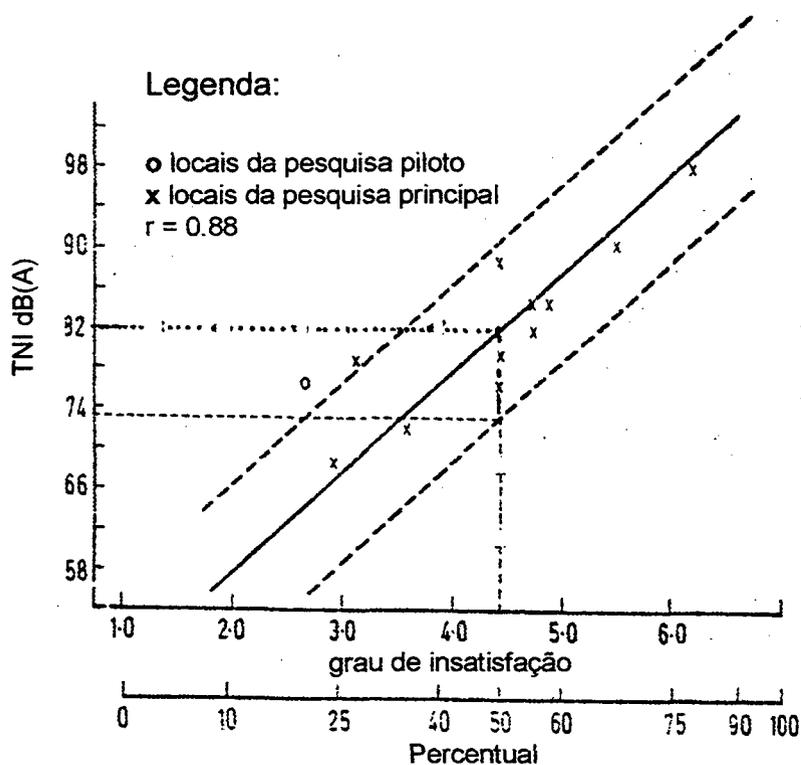


Fig. 2.6 - Relação entre o TNI e grau de insatisfação com o ruído de tráfego^[18].

A Fig. 2.7, mostra a influência do fluxo de tráfego sobre o TNI e os níveis L_{10} e L_{90} . Os níveis L_{10} e L_{90} foram determinados a partir de medições realizadas por LAMURE e AUZOU, tomadas próximas a uma autovia, conforme citado por SCHOLE^[18].

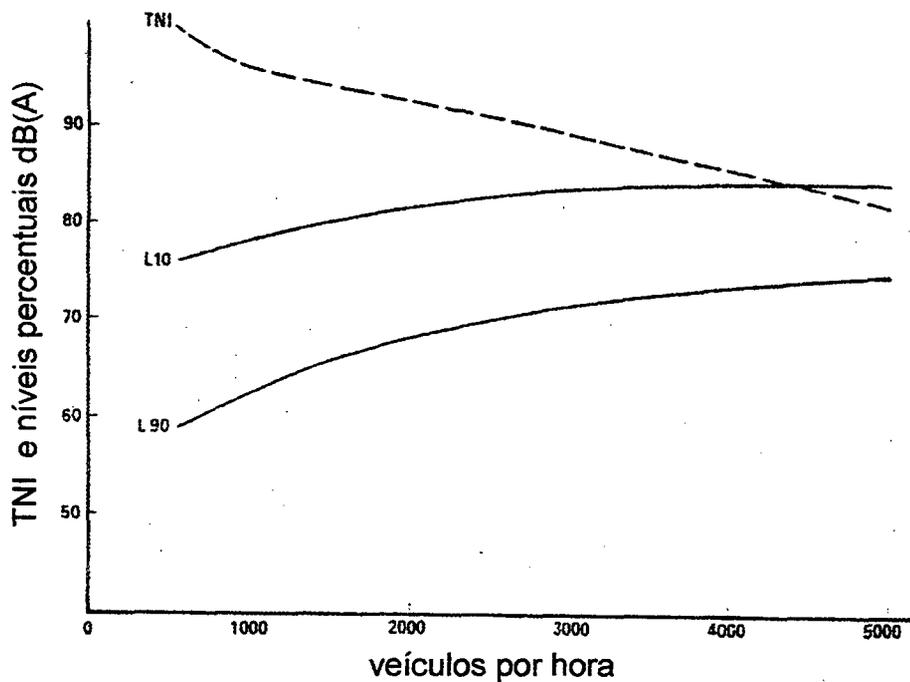


Fig. 2.7 - Relação entre o Fluxo de Tráfego e TNI^[18]

LANGDON e SCHOLE^[5] lembram que a aplicação de um critério de controle deste tipo exige o conhecimento do modo de propagação do ruído de tráfego, efeitos das fachadas das construções, barreiras, distância, isolamento, entre outros.

2.5.4.1. - Efeito da Distância

Os níveis L_{10} e L_{90} , decrescem com o inverso do quadrado da distância, sendo que o nível L_{10} decresce numa razão maior do que o nível L_{90} . Isto pode ser observado na Figura 2.8, que mostra os resultados de medições feitas na lateral de uma via, cuja averigüações concordam com os resultados obtidos por LAMURE e AUZOU, citados por LANGDON e SCHOLE^[5], onde se percebe que estes decaem de 6 dB e 3 dB, respectivamente, por duplicação da distância. Com base nestas razões de decaimento, o TNI pode ser aplicado para planejamento e alocação de áreas, e também para indicar a necessidade de medidas de contorno em ambientes já existentes.

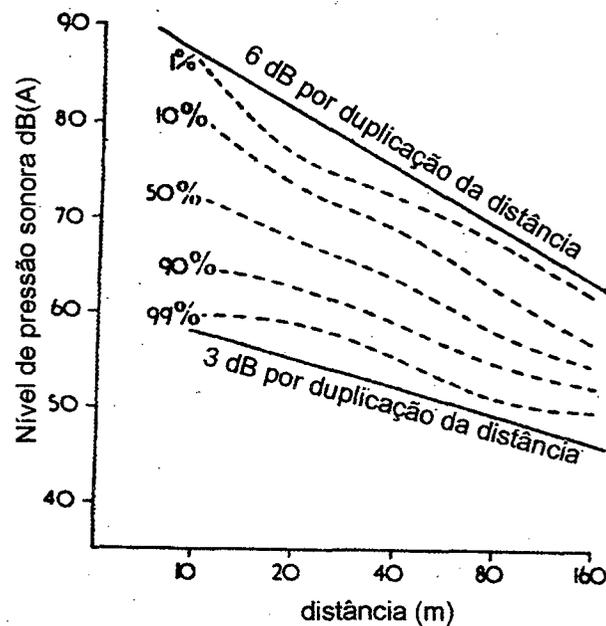


Fig.2.8 - Atenuação sonora com a distância (para um fluxo de tráfego de 2200 veic/h)^[6].

2.5.4.2. - Efeito do Volume de Tráfego

Quaisquer que sejam os meios de controle de ruído adotados em qualquer caso particular é necessário começar com algum valor conhecido do TNI, com o qual o valor requerido possa ser comparado.

Seria muito conveniente prever um valor de TNI com base na capacidade da via de tráfego ou de um volume de tráfego previsto em seu planejamento. Vários trabalhos de investigação a respeito têm sido publicados os quais relacionam Volume de Tráfego ao TNI. Dentre estes, citam-se: Stephenson e Vulkan^[3], Lamure e Auzou, citados por LANGDON e SCHOLLES^[5].

O incômodo comunitário que pode ser previsto pelo TNI, por meio de conhecimento do volume de tráfego medido ou previsto, requer uma contagem representativa do fluxo de veículos relativos às medidas dos níveis de ruído sobre o período de 24 horas. Uma análise estatística para verificação do coeficiente de correlação é conveniente, entre os parâmetros.

2.5.5. - Algumas expressões empíricas para o cálculo de níveis estatísticos

CROMPTON e GILBERT^[10], em estudos da predição dos níveis L_{10} para curtos períodos, propuseram a seguinte expressão:

$$L_{10} = 51,5 + 10,52 \log_{10} Q(1 + 0,04H) - 5,74 \log_{10} (d_k + 0,5y) + 2,58 \log_{10} G \text{ [dB(A)]} \quad [2.14]$$

onde: Q - volume de tráfego nas duas direções (veic/h);

H - percentual de veículos pesados (%);

d_k - distância do ponto de observação ao meio fio (f t);

y - largura global da via de mão dupla (f t);

G - gradiente da via (%).

Esta equação de regressão foi baseada em dados obtidos de pesquisas de tráfego para uma amostragem de 136 medições de ruído de tráfego para períodos de 10 a 15 minutos tendo sido obtido um coeficiente de correlação de 0,83. Durante a pesquisa, várias variáveis explicativas, incluindo as acima listadas, foram observadas e registradas e, subsequente, incluídas na análise de regressão. Se as características de tráfego permanecerem as mesmas sob um longo período de tempo, então, o nível L_{10} permanecerá, também, constante. Assim, se as características do tráfego podem ser preditas para cada hora do dia, a equação pode ser usada para estimar os níveis L_{10} para cada hora em diferentes períodos de tempo (horas de pico, horas fora de pico, 18 horas, 24 horas, etc).

Uma outra expressão baseada em estudos realizados em Edinburg^[10], para predição de níveis de ruído L_{10} , é expresso por:

$$L_{10} = 56,6 + 9,18 \log_{10} Q(1 + 0,09H) - 4,20 \log_{10} Vy + 2,31 T \text{ [dB(A)]} \quad [2.15]$$

onde: V - velocidade média de tráfego (km/h);

T - índice de dispersão;

Q - volume de tráfego (veic/h);

H - percentual de veículos pesados;

y - largura da via de tráfego (ft);

A determinação precisa da distribuição do nível de ruído e valores dos níveis percentuais (L_n), é geralmente baseada no uso de instrumentação cara e sofisticada (gravadores de fita, analisadores estatísticos, etc).

GARCIA e FAUS^[8], investigando as relações existentes entre estes níveis para 4200 dados, obtiveram as seguintes equações de linha de regressão para o melhor e o pior nível de correlação, respectivamente, como pode ser observado nas Figuras 2.9 e 2.10.

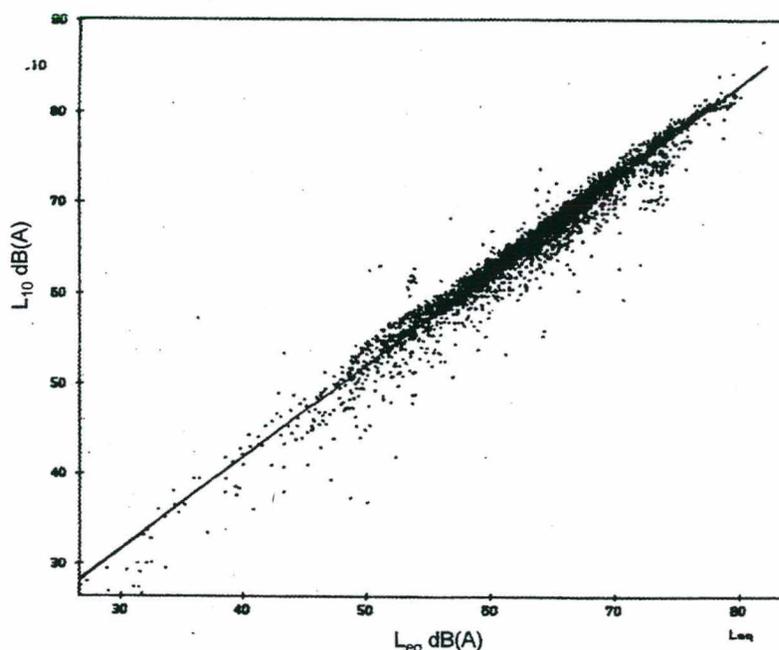


Fig. 2.9 - Relação entre L_{10} e L_{eq} ^[8]

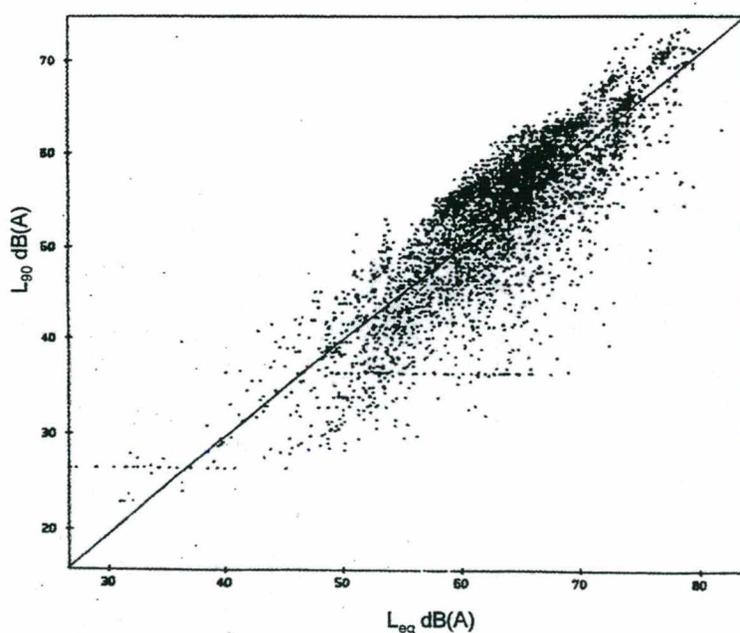


Fig. 2.10 - Relação entre L_{90} e L_{eq} ^[8]

$$L_{10} = 1,031 L_{eq} + 0,6 \text{ , dB(A)} \quad r = 0,980 \quad [2.16]$$

$$L_{90} = 1,028 L_{eq} - 11,5 \text{ , dB(A)} \quad r = 0,851 \quad [2.17]$$

onde: r - coeficiente de correlação

Os níveis de ruído instantâneos medidos em áreas urbanas flutuam apreciavelmente com o tempo. Muitos estudos sobre ruído de tráfego de vias, têm amostrado os níveis sonoros instantâneos e agrupado os valores medidos convenientemente para formar o histograma dos níveis de ruído. Em locais expostos a tráfego pesado e contínuo, é comum supor que tais histogramas, aproximam-se da distribuição Gaussiana. Usando esta suposição GARCIA e FAUSS^[8] obtiveram relações para unir os índices estatísticos e o nível sonoro contínuo equivalente com o desvio padrão da distribuição do nível de ruído, através de duas formulações:

$$L_{10} - L_{eq} = 1,28\sigma - 0,115\sigma^2 \quad [2.18]$$

$$L_{eq} - L_{50} = 0,115\sigma^2 \quad [2.19]$$

onde: σ - desvio padrão da distribuição dos níveis de ruído medido em db(A).

Todavia, segundo eles, o tráfego urbano, imposto pelas condições de pára-e-anda, semáforos e interseções, o fluxo passa ser pulsado ou movendo-se lentamente em áreas urbanas, conseqüentemente, a suposição de uma distribuição Gaussiana pode ser inválida.

SZOKOLAY, citado por ROTT^[31], estudando as relações entre os níveis de ruído e fluxo de veículos superiores a 1.000 veículos/hora, apresentou uma expressão para a determinação do nível $L_{10}(18h)$, da seguinte forma:

$$L_{10(18h)} = 28,1 + 10 \log N \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.20]$$

onde: N - número de veículos por 18 h/dia (se $N > 1.000$)

Esta expressão é válida para veículo leves e com velocidade aproximada de 75km/h.

SANCHO e SENCHERMES, citados por ROTT^[31], apresentaram algumas expressões para a predição de ruídos gerados por tráfego de veículos rodoviários, nas seguintes formas:

$$L_{10} = 16 \log v + 9 \log Q + 0,120 H + 18 \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.21]$$

$$L_{50} = 13 \log v + 15 \log Q + 0,010 H - 3 \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.22]$$

$$L_{90} = 10 \log v + 21 \log Q + 0,075 H - 24 \quad [\text{dB(A)}] \quad [2.23]$$

onde: v - velocidade média do fluxo de tráfego (Km/h)

Q - volume de tráfego (veíc/h);

H - percentual de veículos pesados

2.5.6 - Níveis de Ruído Recomendados pela NBR 10151 e HUD(USA)

O Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano (HUD), citado por REYNOLDS^[23], estabelece os seguintes critérios para níveis de ruído externo L_{10} , L_{90} e L_{eq} , em áreas residenciais não sujeitas à ruído de aviões:

2.5.6.1 - Nível percentual L_{10} [dB(A)]

$L_{10} \leq 53$	definitivamente aceitável;
$53 \leq L_{10} \leq 66$	normalmente aceitável;
$66 \leq L_{10} \leq 82$	normalmente inaceitável;
$L_{10} \geq 82$	definitivamente inaceitável.

2.5.6.2 - Nível percentual L_{90} [dB(A)]

$L_{90} \leq 41$	definitivamente aceitável;
$41 \leq L_{90} \leq 56$	normalmente aceitável;
$56 \leq L_{90} \leq 71$	normalmente inaceitável;
$L_{90} \geq 71$	definitivamente inaceitável.

2.5.6.3 - Nível sonoro contínuo equivalente - L_{eq} [dB(A)]

$L_{eq} \leq 49$	definitivamente aceitável;
$49 \leq L_{eq} \leq 62$	normalmente aceitável;
$62 \leq L_{eq} \leq 76$	normalmente inaceitável;
$L_{eq} \geq 76$	definitivamente inaceitável.

Nas Tabelas A.2.1, A.2.2 e A.2.3 do Anexo 2, são apresentados os valores do níveis de ruído para cada rodovia. A rodovia SC 404, encontra-se localizada dentro de uma zona tipicamente urbana.

Segundo a norma NBR 10151/97^[50], o critério básico de nível de ruído externo para áreas residenciais deve ser de 45 dB(A). Os níveis-critério, são obtidos a partir de um valor básico, através de correções para diferentes períodos e zonas. O nível-critério é determinado pela seguinte expressão matemática:

$$NC = 45 + C_P + C_Z \quad [dB(A)]$$

onde:

C_P - correção do critério básico para diferentes períodos [dB(A)]

C_Z - correção do critério básico para o tipo de zona [dB(A)]

$C_P = 0$, para período diurno

$C_Z = +10$, para zona residencial urbana

O nível-critério recomendado, portanto, para este tipo de zona residencial urbana, calculado segundo a norma referenciada, é de $NC = 55$ dB(A).

Observa-se que os valores medidos para as três rodovias, ultrapassam aos níveis critérios recomendados pela NBR-10152 e pelo HUD (USA).

Acredita-se que nestas rodovias, os veículos pesados, sejam os principais responsáveis pelos níveis de ruído mais elevados.

CAPÍTULO III

PROCEDIMENTOS E LOCAIS DE MEDIÇÕES

3.1. - INTRODUÇÃO

Esta pesquisa considera somente duas variáveis determinantes do ruído de tráfego, a saber: composição e volume. Contudo, existem outras variáveis importantes, tais como: gradiente, tipo de superfície de rolamento, condições atmosféricas, velocidade, comportamento do condutor e outras que por dois motivos não foram abordadas. Os motivos foram:

- limitação do tempo disponível para medição dos níveis sonoros;
- exigência de instrumentação sofisticada para análise dos resultados, à medida que o número de variáveis envolvidas aumentava.

As características das vias escolhidas para as medições dos níveis de emissão de ruído eram de superfícies asfálticas, planas, retas e sem gradiente, e de mão dupla simples (isto é, uma pista em cada sentido de tráfego). Estas, estendiam-se em trechos retilíneos por mais de duzentos metros, isentas de quaisquer obstáculos que provocassem reflexões sonoras ou outros que obrigassem aos condutores a reduzir a velocidade dos veículos, garantindo que estes ao passarem em frente do ponto de medição (microfone), moviam-se com velocidade constante.

Nos procedimentos de predição dos níveis de ruído de tráfego, a maioria das pesquisas, considerou o efeito da velocidade média como um dos fatores.

Neste trabalho, em virtude dos locais apresentarem condições de fluxo de tráfego livre, a velocidade média considerada foi 80 Km/h.

Somente os veículos trafegando livremente sobre a via de tráfego escolhida, numa distância perpendicular de dez metros da margem da via, à posição do microfone, foram considerados.

Os veículos foram divididos em duas categorias, a saber: veículos leves e veículos pesados, onde na primeira estão inclusos os veículos do tipo automóvel, e na outra, os veículos do tipo ônibus e caminhões. Foi computado o número de veículos para ambas as categorias, num total de 12576 sendo, 10456 veículos leves e 2120 veículos pesados, para o total de 149 pontos medidos referente às três rodovias.

Dois níveis estatísticos de ruído foram considerados, o L_{10} e o L_{90} , em virtude destes estarem diretamente relacionado aos índices de avaliação do ruído.

O método de abordagem desta pesquisa, foi o experimental, através de amostras representativas colhidas em locais de áreas urbanas da grande Florianópolis, onde a densidade veicular era considerada adequada para a determinação das informações desejadas.

3.2. - CARACTERÍSTICAS DA CIDADE ONDE SE DESENVOLVEU A PESQUISA

A cidade de Florianópolis, fundada em 1651, está localizada entre os paralelos de 27° 10' e 27° 50' de latitude sul e entre os meridianos de 48° 25' a 48° 35' de longitude a oeste de Greenwich, tendo uma área total de 451km², dividido em duas porções de terra, uma localizada na área continental, conhecida como Continente ou Estreito, que abriga vários bairros e se limita com os municípios de São José e de Biguaçu, e a outra a Ilha de Santa Catarina que possui uma área de 438,90km², apresentando uma forma alongada no sentido norte sul (54/18 km) e um contorno bastante irregular, compondo baías, pontas e enseadas.

Separa-se da área continental por um estreito canal de 500m de largura cuja ligação é feita através de três pontes, a saber: Governador Hercílio Luz, Governador Colombo Sales e Governador Pedro Ivo.

A população atual da cidade de Florianópolis, é de 268.361 habitantes (fonte IBGE/SC 1996).

Conforme dados fornecidos pelo DETRAN/SC, o município de Florianópolis, possui atualmente, uma frota de composição diversificada, como mostra a Tabela 3.1.

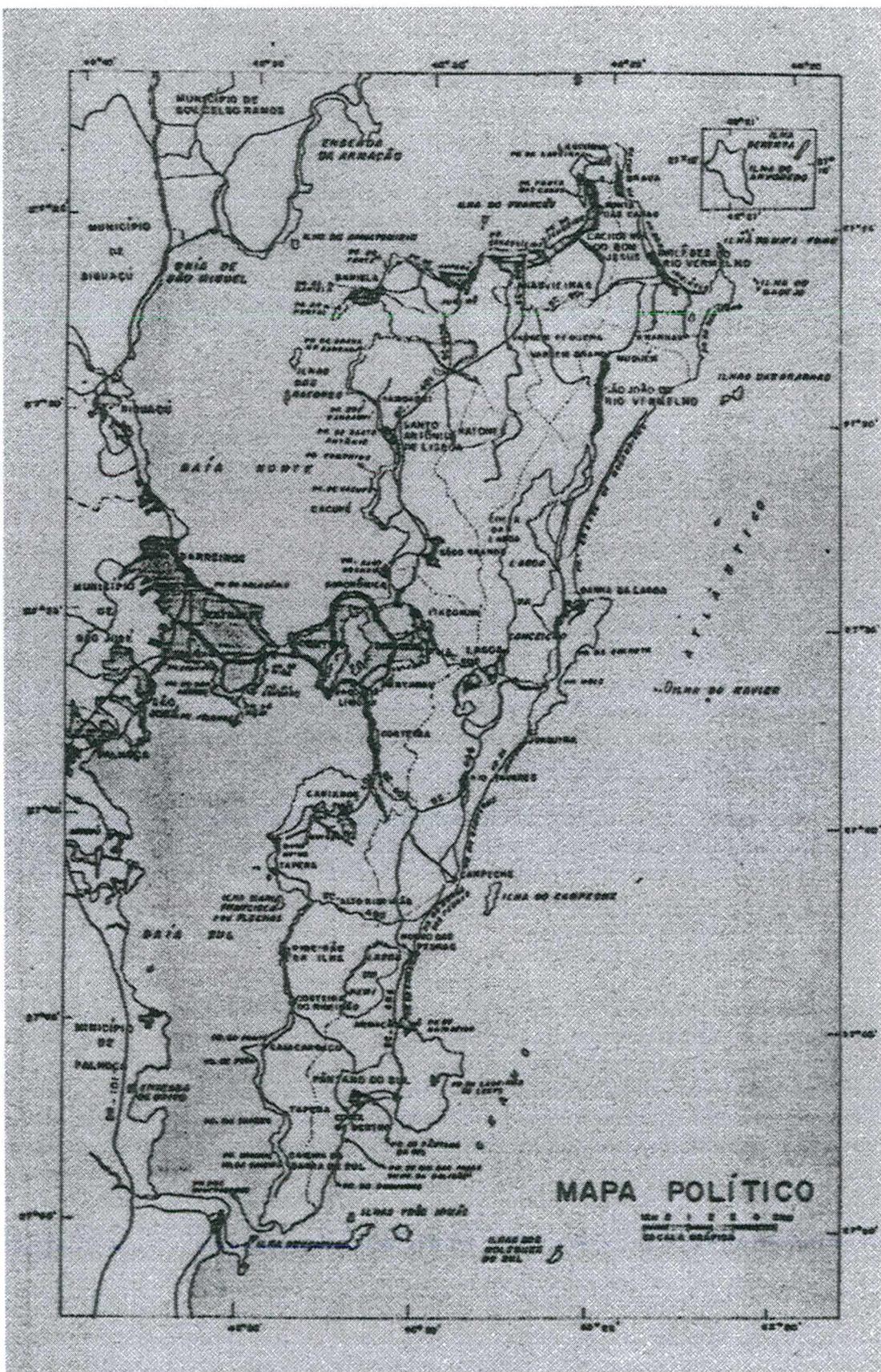


Fig. 3.1 - Mapa Político de Florianópolis

Tabela 3.1 Sistema integrado da frota veicular do município de Florianópolis (1996).

TIPO DE VEÍCULO	QUANTIDADE
Automóveis	100.113
Caminhão	3.063
Caminhão Trator	221
Caminhoneta	8.835
Ciclomotor	484
Microônibus	337
Motocicleta	8.229
Motoneta	284
Ônibus	798
Quadriciclo	2
Reboque	2.256
Rolo Compressor	1
Semi-Reboque	321
Trator de Esteiras	72
Trator de Rodas	226
Trator Misto	72
Triciclo	18
Não cadastrado	1
TOTAL	125.453

FONTE: Departamento Estadual de Trânsito - DETRAN/SC

3.3. - LOCAIS DE MEDIÇÕES

Foram realizadas um total de 149 medições em três locais previamente escolhidos por possuírem algumas características físicas semelhantes, tais como: trechos retilíneos, planos; mesmo tipo de acabamento (asfalto); mesmo número de vias de tráfego (só mão e contra mão); sem interferência de retorno ou rótulas, cruzamentos, lombadas, sonorizadores, sinais luminosos e outros; sem canteiro central; sem congestionamento (fluxo livre).

As rodovias escolhidas foram:

- a) - SC 401 - no bairro Saco Grande, cujo trecho escolhido para medições no km 5, possui uma extensão reta e plana de aproximadamente 1 km e largura de 10 m. O tráfego nesta via consiste, em média, de 25% a 30% de veículos pesados (ônibus e caminhões). Neste trecho foram realizadas 50 medições.

- b) - SC 404 - localizada no bairro Itacorubí, cujo trecho escolhido no km 2, possui uma extensão de aproximadamente 300m, possuindo também uma largura de 10m. Neste trecho, o tráfego consiste na sua maioria de veículos leves, mantendo uma média de apenas 5% a 10% de veículos pesados (na maioria ônibus). Foi observada a existência de uma parada de ônibus a aproximadamente 100 m do ponto de medição. Neste trecho foram realizadas 50 medições.
- c) - BR 101 - Neste local, situado na grande Florianópolis (município de Palhoça), o fluxo de tráfego, consiste de grande composição de veículos pesados sendo este o motivo da sua escolha. O trecho escolhido possui uma extensão reta e plana de mais de 500m e largura de 10m. O tráfego neste trecho, consiste na sua maioria de veículos pesados (caminhão e ônibus), em média 35% a 45%. O fluxo é livre e não há nenhuma parada de ônibus nas proximidades. No trecho foram realizadas 49 medições.

Das descrições acima, pode-se perceber que cada uma das vias escolhidas, apresentou uma característica de tráfego diferente, A SC-404, apresentou uma composição de cujo percentual de veículos pesados variou entre 5% a 10%; a SC 401 apresentou em sua um percentual de veículos pesados variando entre 25% a 30%, enquanto que a BR 101 apresentou um percentual de veículos de pesados mais alto de todas, variando de 35% a 45%. Nota-se portanto, que embora sendo mantidas idênticas as demais características físicas, todavia, as características de tráfego, as tornam distintas entre si (Tabela 3.2).

TABELA 3.2 - Resumo dos Pontos de Medição

Via de Tráfego	Nº Total de Veículos	Velocidade Média km/h	Percentual de Pesados %	Tipo de Via
SC 401	5.023	80	25 a 30	Mão dupla simples
SC 404	4.095	80	5 a 10	Mão dupla simples
BR 101	3.458	80	35 a 45	Mão dupla simples

Todas as medições foram realizadas sempre nos mesmos dias da semana, de segunda a sexta-feira, mesmos horários e períodos de tempo, a fim de que fosse possível verificar o comportamento dos níveis de emissão de ruído de cada um dos locais para os

horários de pico. Uma vez obtidos os níveis de ruído e os demais dados pertinentes a cada medição, obteve-se uma equação de regressão para a predição dos índices de ruído.

3.4. - CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Segundo WATERS^[36], as condições atmosféricas (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, pressão barométrica e outros), podem influir sobre a propagação do ruído de tráfego. O vento, por exemplo, reduz o nível de ruído consideravelmente quando sopra do receptor (ponto de medição) em direção a fonte, mas soprando ao contrário, aumenta levemente o nível.

Em vias de tráfego molhadas, a tendência é o nível de ruído ser mais notável.

Neste trabalho, nenhuma medição foi executada quando o tempo se apresentava chuvoso ou com fortes rajadas de vento, a fim de evitar variações nos níveis de ruído.

3.5. - INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

Os níveis de emissão do ruído de tráfego, foram obtidos pela utilização dos seguintes equipamentos:

- microfone capacitivo ½", marca Brüel & Kjaer, Tipo 4165;
- calibrador do nível sonoro, marca Brüel & Kjaer, Tipo 4231 + 20 dB;
- protetor de vento para microfone Brüel & Kjaer, Tipo UA 0082;
- pré-amplificador de microfone marca HP, Tipo ACOP 9200XX, Série 5-093-4;
- gravador de fitas Brüel & Kjaer, Tipo 7006, 4 canais, unidade FM ZM0053, velocidade da fita: 381mm/s;
- fita magnética, marca AMPEX 797 (18cm por 690m);
- analisador de frequência marca Brüel & Kjaer, Tipo 2120, com circuito retificador RMS;
- microcomputador PC, modelo 486 DX4 - 100 MHz.
- impressora de Jato de Tinta, Marca Hewlett Packard, modelo HP Deskjet 660C.

3.6. - TEMPO MÍNIMO DE AMOSTRAGEM DOS SINAIS DO RUÍDO DE TRÁFEGO

A fim de determinar os níveis estatísticos de ruído de tráfego que representam com precisão os valores médios (tendo em vista as flutuações causadas por veículos emitindo ruídos com intensidades muito diferentes), é necessário o conhecimento do tempo mínimo de amostragem do sinal do ruído medido na rodovia.

Optou-se por considerar um período de tempo o qual incluísse a passagem de no mínimo dez veículos. Disto resultou um tempo mínimo de medição de 5 min (300 segundos). Este tempo mínimo, tornou-se necessário nas medições efetuadas por volta das 06:00 horas, quando o volume de tráfego era pequeno.

As Figuras 3.2 e 3.3 mostram a variação do nível de pressão sonora, em dB(A), para um intervalo de 5 min., em instantes de pequeno e de grande volume de tráfego em uma das rodovias.

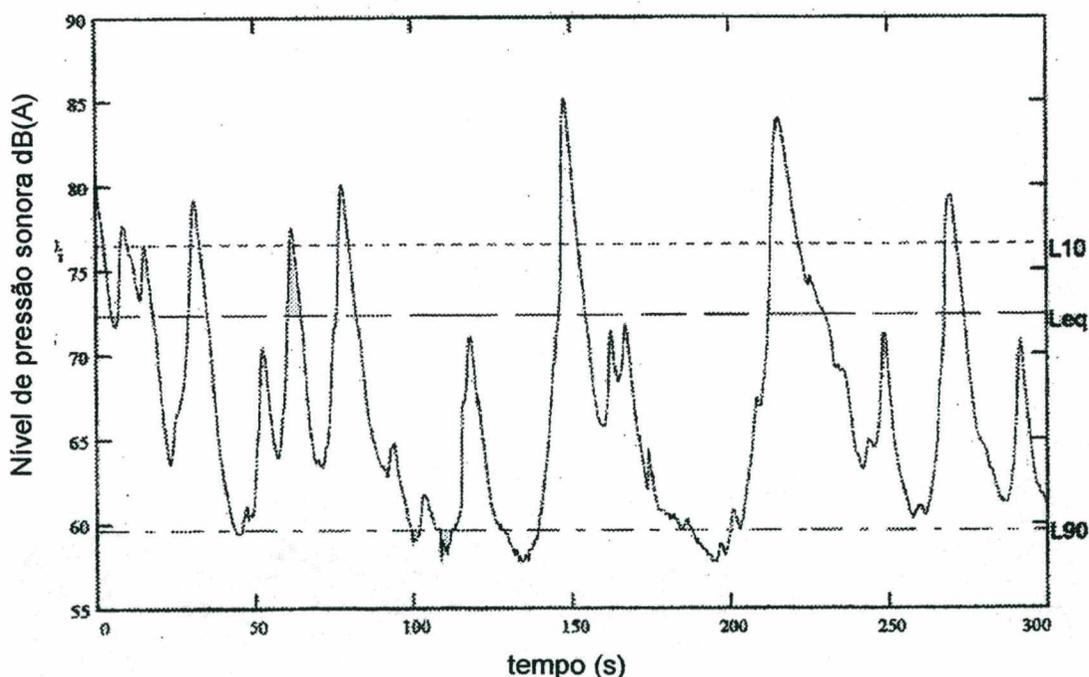


Fig. 3.2 - Valores instantâneos do nível de pressão sonora dB(A), adquiridos em intervalos de 0.3s. sinal adquirido na rodovia SC 401 (km 5), das 06h15min às 06h20min, contendo 12 veículos leves e 6 veículos pesados.

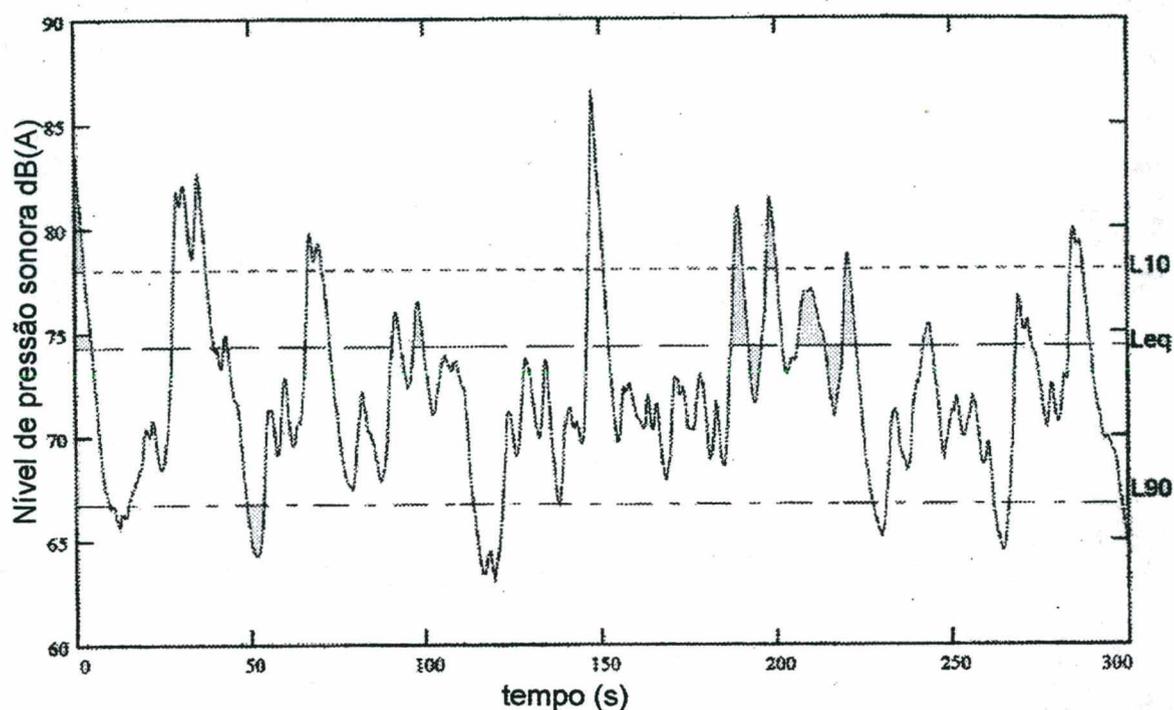


Fig. 3.3 - Valores instantâneos do nível de pressão sonora dB(A), adquiridos em intervalos de 0.3s. sinal adquirido na rodovia SC 401 (km 5), das 07h55min às 08h:00h, contendo 109 veículos leves e 20 veículos pesados.

Observou-se que os veículos pesados (altos picos) são os principais responsáveis pelo nível L_{10} e L_{eq} , e que os veículos leves (baixos picos) pouco contribuíram para a elevação destes níveis.

Os altos picos que são observados nos registros são normalmente causados pela passagem de veículos pesados, uma motocicleta ou um veículo leve com escapamento fora das especificações do fabricante. Estes picos, quando o nível de ruído ambiental é baixo, considerando os primeiros horários, causam grande incômodo, mesmo com baixo volume de tráfego.

Acredita-se que os veículos pesados, são os principais responsáveis pelos níveis L_{10} e L_{eq} . Notou-se, entretanto, que a passagem de um veículo leve, principalmente com descarga aberta, gerava um nível de ruído de passagem, tão alto quanto um veículo pesado, tendo sido observado este fenômeno, durante as medições, verificando-se no próprio gravador..

Observou-se, todavia, que os veículos leves, caracterizados pelos baixos picos, influenciam, sim, o nível L_{90} .

3.7. - PROCEDIMENTO DE AQUISIÇÃO DE SINAIS NO CAMPO

O microfone foi instalado sobre um tripé de aço, possuindo uma haste vertical deslizante para facilitar o ajuste manual da altura, e uma outra transversal para montagem propriamente dita do microfone. Equipado com o protetor de vento (UA0082), este foi colocado à margem da via de tráfego a 1,2m de altura do solo e a distância de 10m da linha do centro da via, conforme ISO 362. O microfone foi conectado ao pré-amplificador (HP-ACOP 9200XX) e o sinal gerado enviado ao gravador (BK7006), através de um cabo BK-BNC. O canal de gravação, na unidade FM-ZM 0053, foi ajustado no modo de entrada e atenuação em 10 dB para evitar sobrecargas. A velocidade de gravação escolhida foi de 381mm/s para permitir medir e analisar frequências de até 12,5 kHz.

De um modo mais seguro, o processo utilizado para identificação de cada período de gravação (início e fim), foi usando o próprio microfone, registrando verbalmente as seguintes mensagens “início de gravação” e “final de gravação” embora, o gravador possuísse seu próprio contador.

Os parâmetros considerados neste procedimento, foram o volume e a composição do tráfego, cujos números eram controlados pela contagem visual em cada via, por duas pessoas, e continuamente anotados em planilha, por categoria de veículo (leve ou pesado). Em cada local de medição foram realizadas gravações em três fitas magnéticas, sendo cada uma destas efetuada durante 4 (quatro) períodos de 5 min.

Os horários das gravações, foram mantidos no período das 06:05 às 08:30 horas, para todas as medições em campo. As gravações foram adquiridas por períodos de 5 min com intervalo entre estas de 5 min. As fitas permitem um tempo total de gravação de 20 min.

A Figura 3.4, mostra como a instrumentação foi interligada para aquisição e transferência de sinais para processamento.

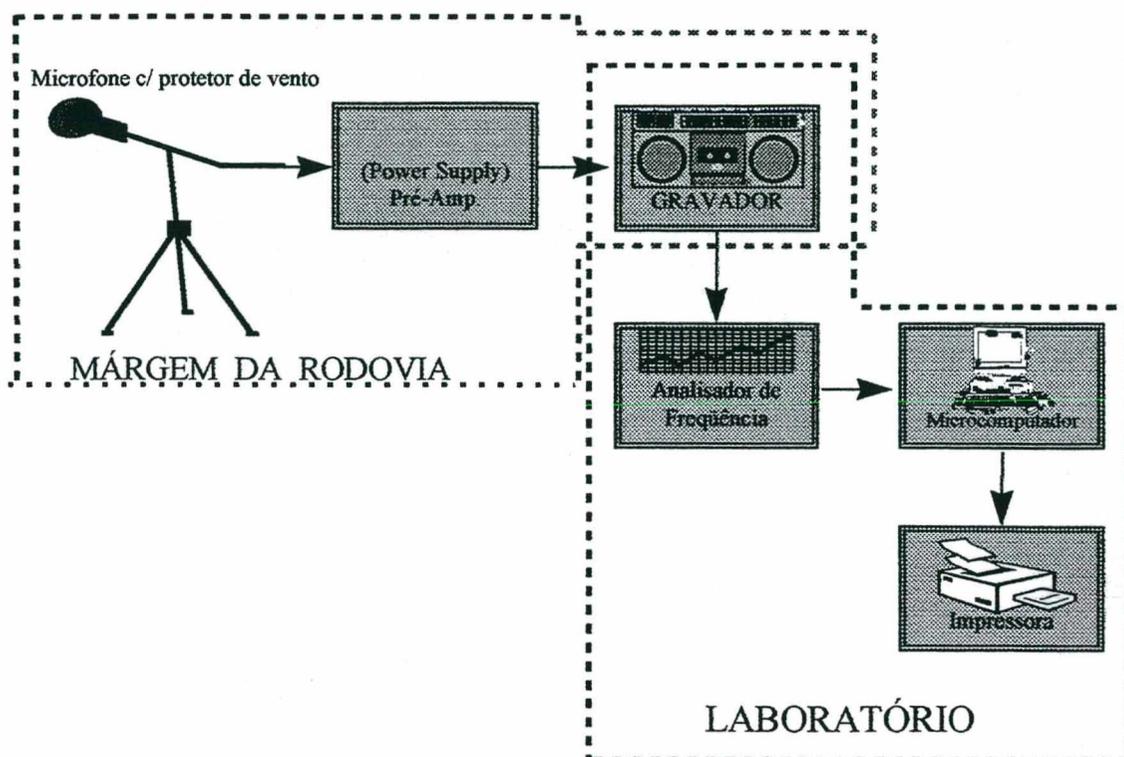


Fig.3.4 - Esquema das interligações dos instrumentos utilizados para aquisição e processamento dos sinais.

3.8. - PROCESSAMENTO DOS SINAIS NO LABORATÓRIO

Os sinais adquiridos no campo foram posteriormente trazidos ao laboratório para processamento. Cada registro gravado, foi transferido do Gravador a um Microcomputador passando pelo Analisador de Freqüência (BK 2120), com o filtro referenciado na Curva de Ponderação "A", e média de tempo, na posição SLOW. Estes parâmetros foram definidos, após calibração das escalas de leitura, executadas no gravador e no Analisador de Freqüência.

O sinal de calibração do calibrador utilizado corresponde a um nível sonoro de 94dB, numa freqüência de 1000Hz.

Para o processamento dos sinais, foi utilizada uma placa de aquisição de sinais, de fabricação da Microquímica tipo interface MQI 12/8PCA, cujo sinal no tempo tem sua amplitude medida em Volt, que corresponde ao nível instantâneo de pressão sonora em dB(A). Foram adquiridos 1000 pontos de discretização de cada sinal de 5 minutos de gravação, obtendo-se assim, um intervalo de tempo de 0,3 segundos entre valores amostrados.

Para todos os sinais discretizados, foram criados arquivos de identificação a fim de que fossem posteriormente acessados por outros softwares utilizados.

Assim, após a digitalização e cada sinal devidamente codificado, foram individualmente processados através do Soft MatCad 5.0 para que fosse obtida a Curva de Distribuição Cumulativa para cada um, plotadas em função do nível sonoro (dB(A)) e do percentual do tempo (%), de onde se obteve o nível sonoro estatístico L_{10} para 10% do tempo de medição. Além deste obteve-se, também, o nível sonoro estatístico L_{90} para 90% do tempo de medição, o qual foi de semelhante modo, adquirido na Curva, já citada, e que representa o nível de ruído de fundo do ambiente onde estava sendo processada a medição.

As Figuras 3.5 e 3.6, mostram as curvas de distribuição cumulativa dos sinais apresentados nas Figuras 3.2 e 3.3, respectivamente.

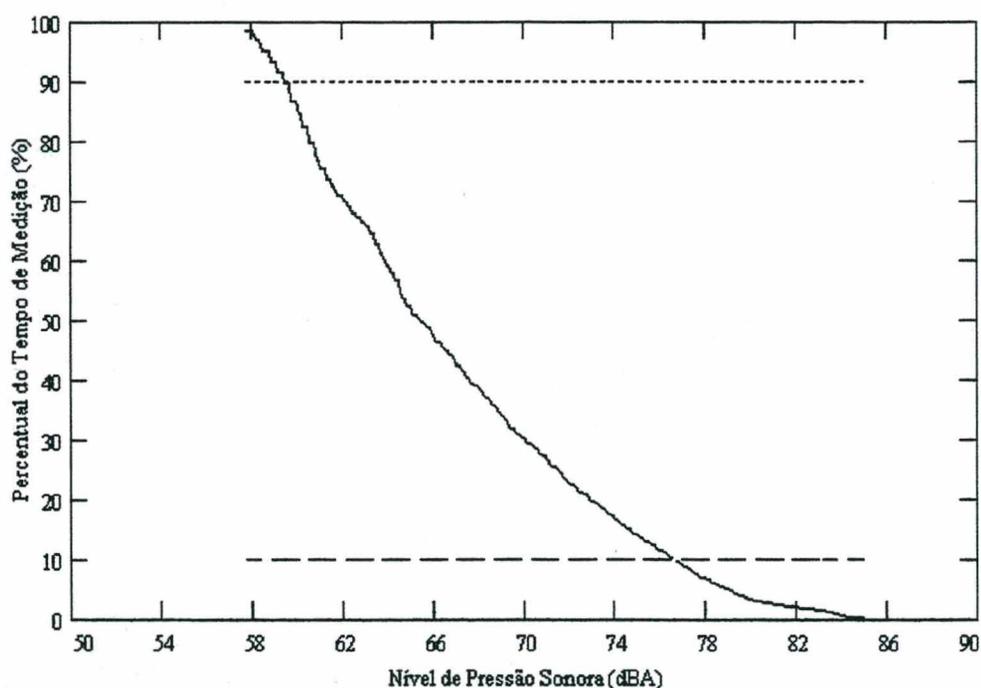


Fig. 3.5 - Curva de Distribuição Cumulativa para o sinal adquirido na SC 401 (km 5) das 06h15min às 6h20min.

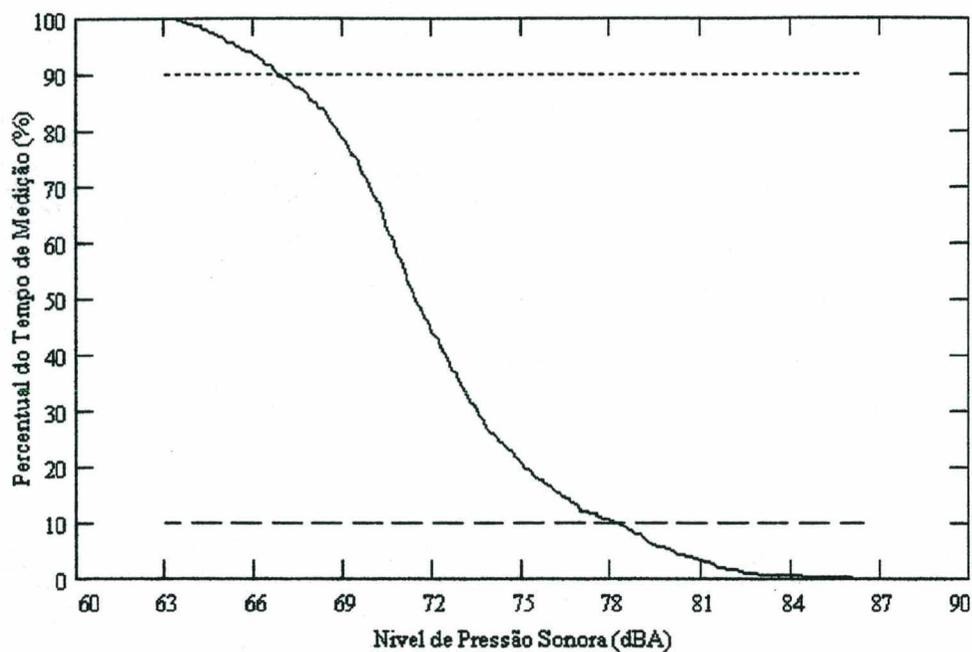


Fig. 3.6 - Curva de Distribuição Cumulativa para o Sinal Adquirido na SC 401 (Km 5) 07h55min às 08h00min

CAPÍTULO IV

ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, os resultados obtidos nas diversas etapas deste trabalho são mostrados, bem como suas análises. O volume e a composição do tráfego, foram medidos em 149 pontos distribuídos entre as três rodovias, onde cada medida teve duração de 5 minutos. Durante as medições, pode-se observar que houve uma variação acentuada entre estes parâmetros, cujos percentuais entre veículos pesados nas rodovias observadas, foram considerados de baixo, médio e alto, nas rodovias SC-404, SC-401 e BR-101, respectivamente.

A obtenção dos níveis percentuais L_{10} e L_{90} , foi realizada a partir da curva de distribuição cumulativa^[6,11,21,45], e da análise estatística dos sinais adquiridos em cada ponto de medição.

4.2 - RELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS L_{10} , L_{90} e L_{eq} E A COMPOSIÇÃO DE TRÁFEGO

Neste trabalho foi dada ênfase à influência da composição do tráfego sobre os níveis e índices estatísticos.

Acredita-se que o percentual de veículos pesados, é o principal responsável pelos níveis L_{10} e L_{eq} , embora o percentual de veículos leves seja maior do que dos veículos pesados.

A fim de definir uma relação matemática que envolvesse a ambos, os veículos leves e veículos os pesados, foram utilizadas relações do tipo:

$$L_x \text{ versus } 10 \log_{10} (QP + A_i QL) \quad (4.1)$$

onde: QP - número de veículos pesados;

QL - número de veículos leves;

A_i - fator de ponderação

que permitiram observar o comportamento destas, quando se variava o percentual de veículos leves, introduzindo-se na relação um fator de ponderação A_i , para estes. O fator de ponderação, assumiu valores que variavam de 0 a 1, sabendo-se que quando $A_i = 0$, considerava-se apenas a influência dos veículos pesados; em L_{10} e L_{eq} , e em L_{90} apenas a dos veículos leves; e quando $A_i=1$, considerava-se a influência de toda a composição do tráfego.

No estudo, foram verificadas as retas de regressão linear de melhor ajuste, empregando-se o método dos mínimos quadrados, determinando-se, também, os coeficientes de correlação.

As relações que foram utilizadas neste trabalho, associando os níveis de ruído à composição do tráfego, foram:

$$L_{10} \text{ versus } 10 \log_{10}(QP + A_i QL) \quad 0 \leq A_i \leq 1 \quad [4.2]$$

$$L_{90} \text{ versus } 10 \log_{10}(A_i QP + QL) \quad 0 \leq A_i \leq 1 \quad [4.3]$$

$$L_{eq} \text{ versus } 10 \log_{10}(QP + A_i QL) \quad 0 \leq A_i \leq 1 \quad [4.4]$$

Observou-se que com a variação do fator de ponderação dos veículos leves, a alteração tanto dos níveis de ruído quanto dos coeficientes de correlação, foram mínimas.

A regressão linear simples foi utilizada para se estabelecer expressões matemáticas que descrevessem o relacionamento entre as variáveis, níveis de ruído e composição de tráfego. As retas de regressão linear utilizadas, são do tipo:

$$L_x = a + b I_k \quad [4.5]$$

onde: $I_k = 10 \log_{10}(QP + A_i QL)$, para o cálculo de L_{10} e L_{eq} .

$I_k = 10 \log_{10}(A_i QP + QL)$, para o cálculo do L_{90} .

Portanto, os níveis de ruído, poderão ser estimados, através da equação de predição dada por:

$$L_x = a + b 10 \log_{10}(QP + A_i QL) \quad [4.6]$$

$$L_x = a + b 10 \log_{10}(A_i QP + QL) \quad [4.7]$$

onde: **a** e **b** são os coeficientes da reta de regressão (ver Anexo 1).

em que a equação que melhor exprime os valores do nível de ruído, é aquela cujo valor de A_i , contribui para o maior valor do coeficiente de correlação "r".

Uma série de equações de regressão dos tipos (4.6) e (4.7) foram desenvolvidas, atribuindo-se valores ao fator de ponderação, cuja finalidade foi verificar

quais valores deste, proporcionavam uma melhor correlação com os dados da composição de tráfego considerando o fluxo de tráfego com uma velocidade média de 80 km/h.

4.3 - RELAÇÕES ENTRE OS NÍVEIS DE RUÍDO E A COMPOSIÇÃO DE TRÁFEGO, PARA OS 149 PONTOS

A seguir, são mostrados alguns dos resultados das análises estatísticas processadas para o total das medições, relacionando os níveis de ruído L_{10} , L_{90} e L_{eq} à composição de tráfego, quando são atribuídos, na equação (4.6), valores de A_i . Os valores atribuídos ao fator de ponderação A_i , para veículos leves e pesados foram: 0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0. Para cada valor de A_i atribuído, obteve-se a reta de regressão linear e o correspondente valor do coeficiente de correlação.

4.3.1 - Relações entre o nível L_{10} e a composição de tráfego.

As Figuras 4.1 a 4.11, mostram as retas de regressão linear ao se relacionarem os níveis de ruído com o volume de tráfego para os diversos valores atribuídos ao fator de ponderação A_i , para veículos leves:

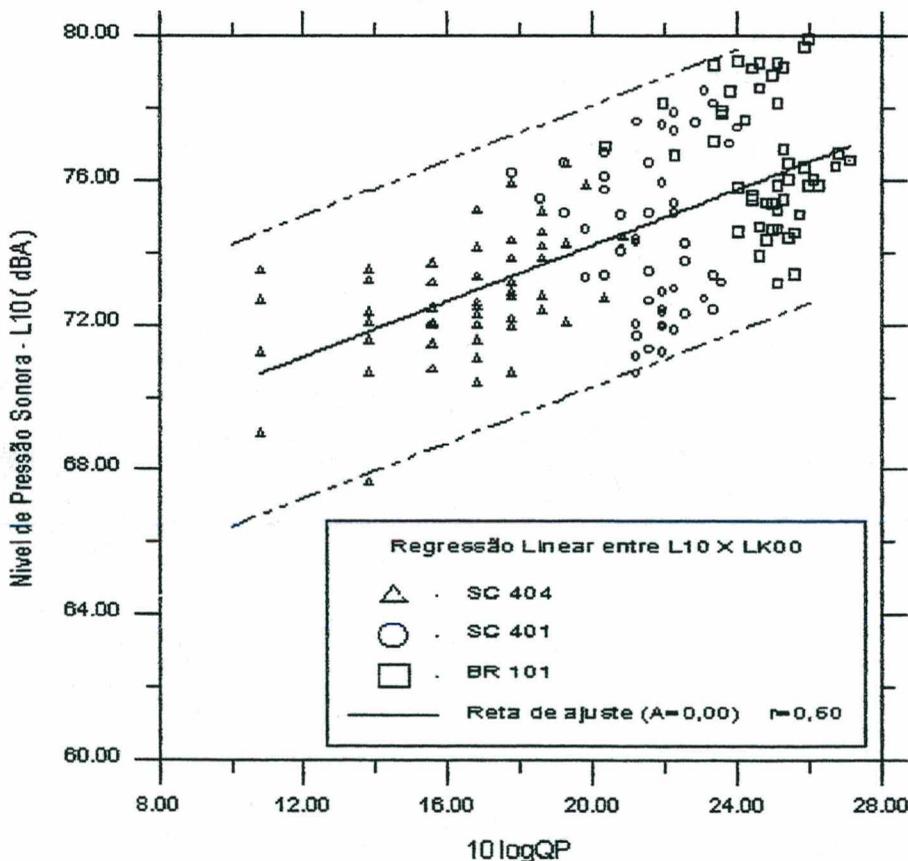


Fig. 4.1 - Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,00$

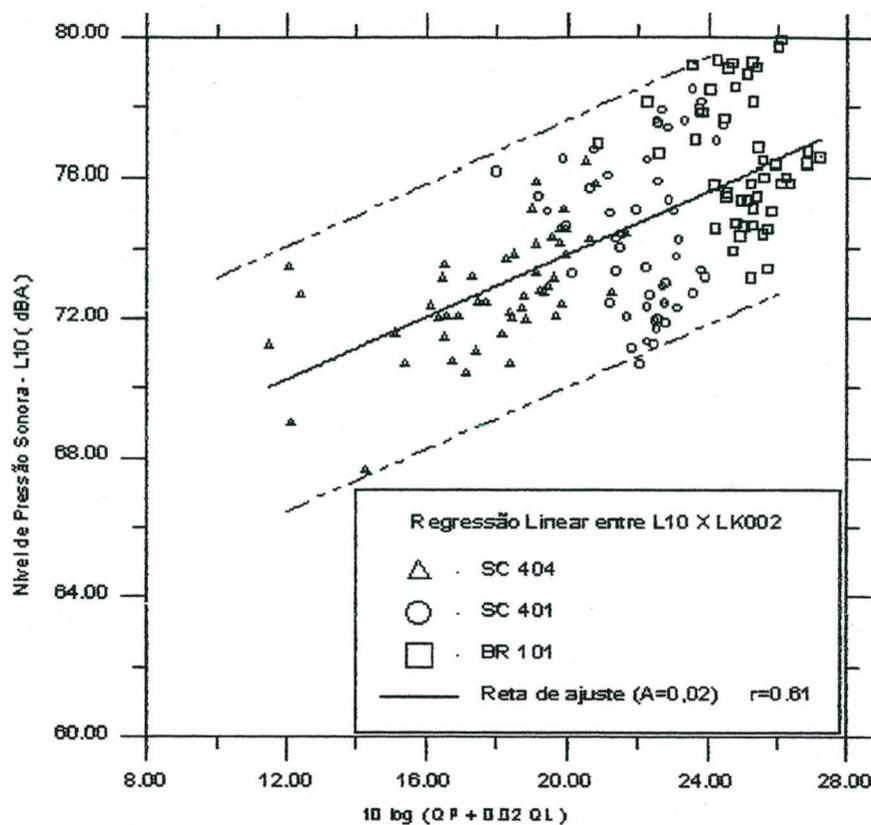


Fig. 4.2- Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,02$.

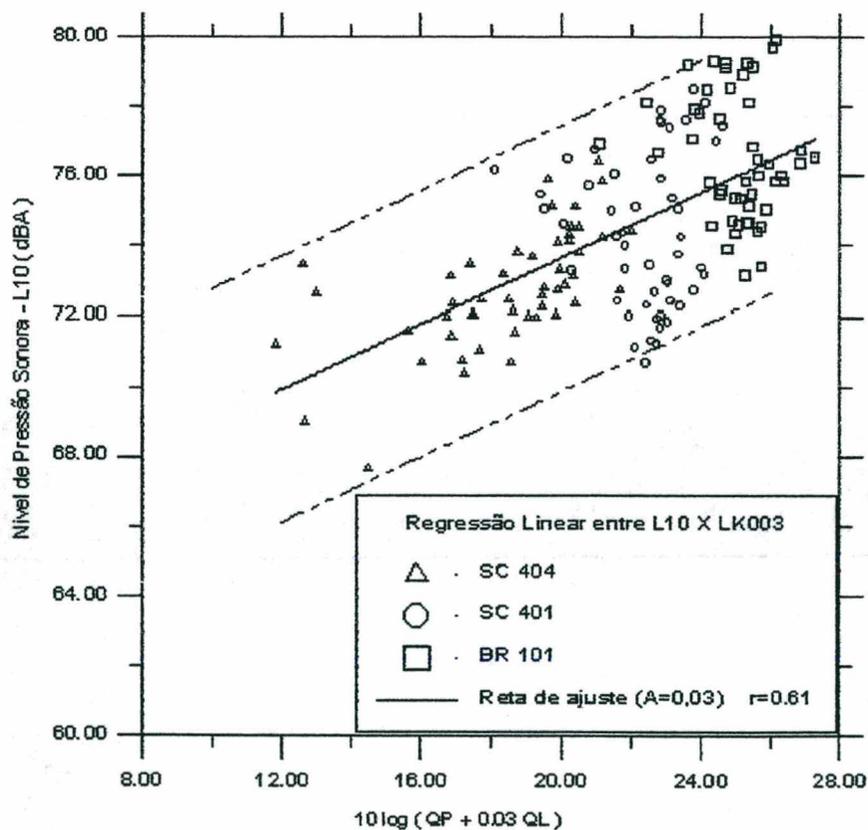


Fig. 4.3 - Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,03$.

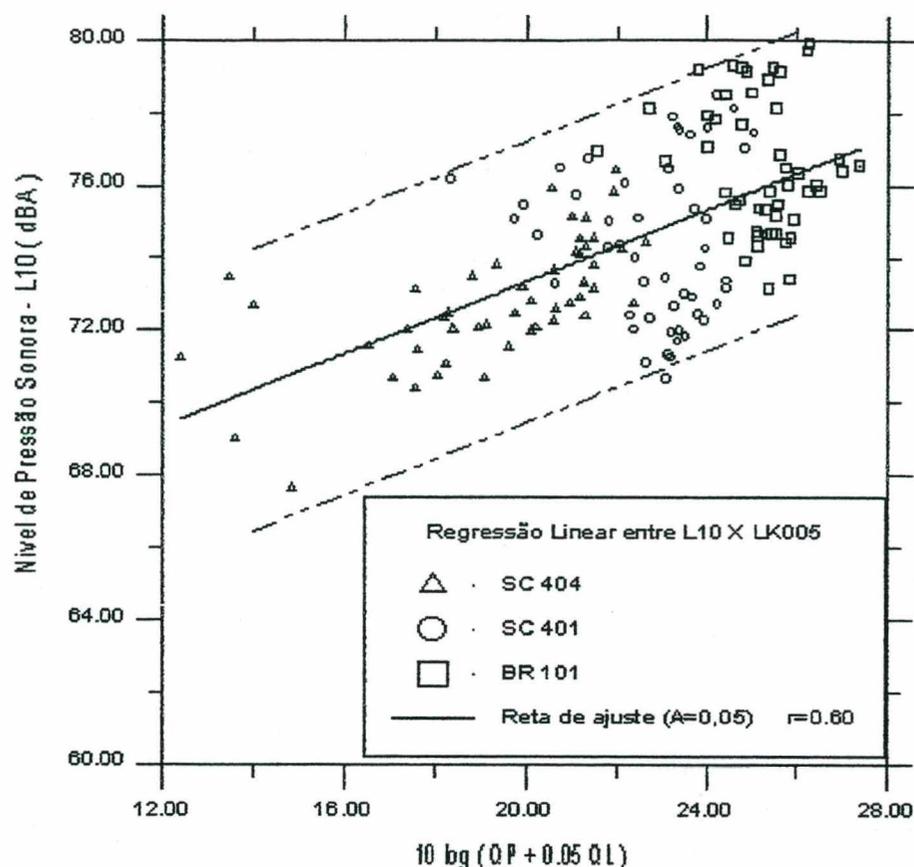


Fig. 4.4 - Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,05$

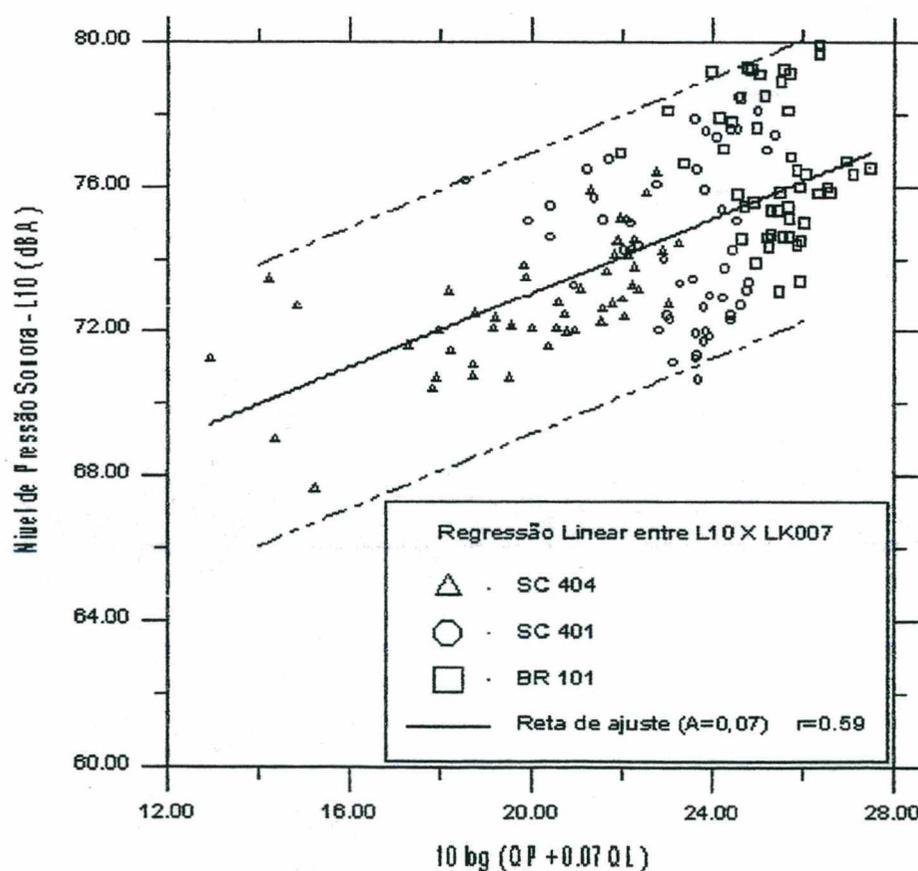


Fig. 4.5 - Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,07$

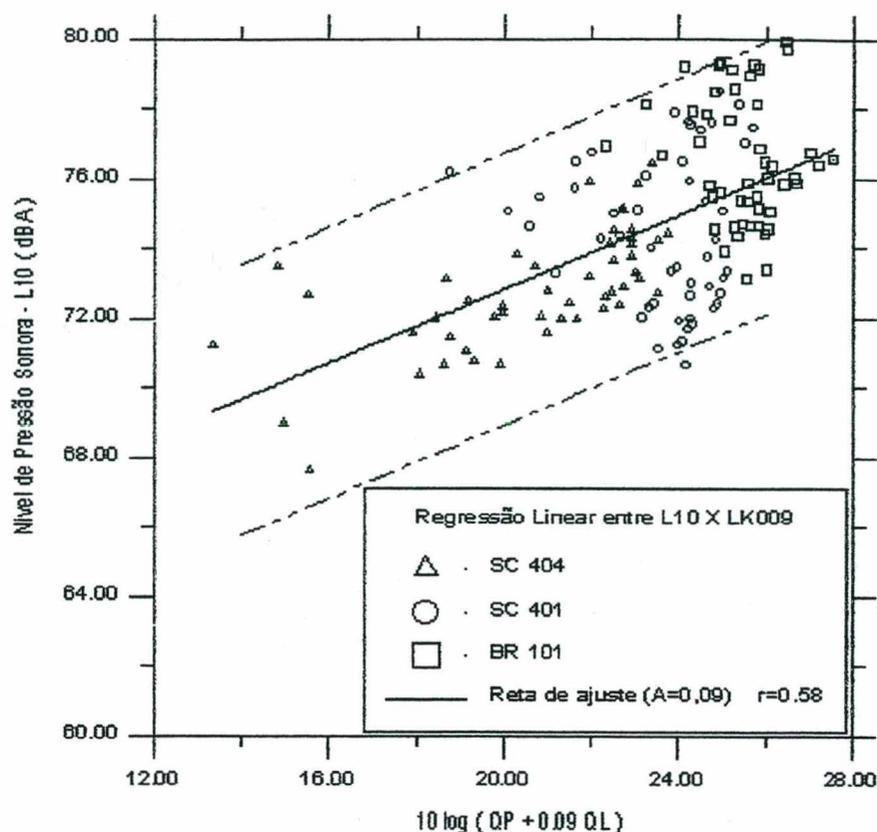


Fig. 4.6 - Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,09$

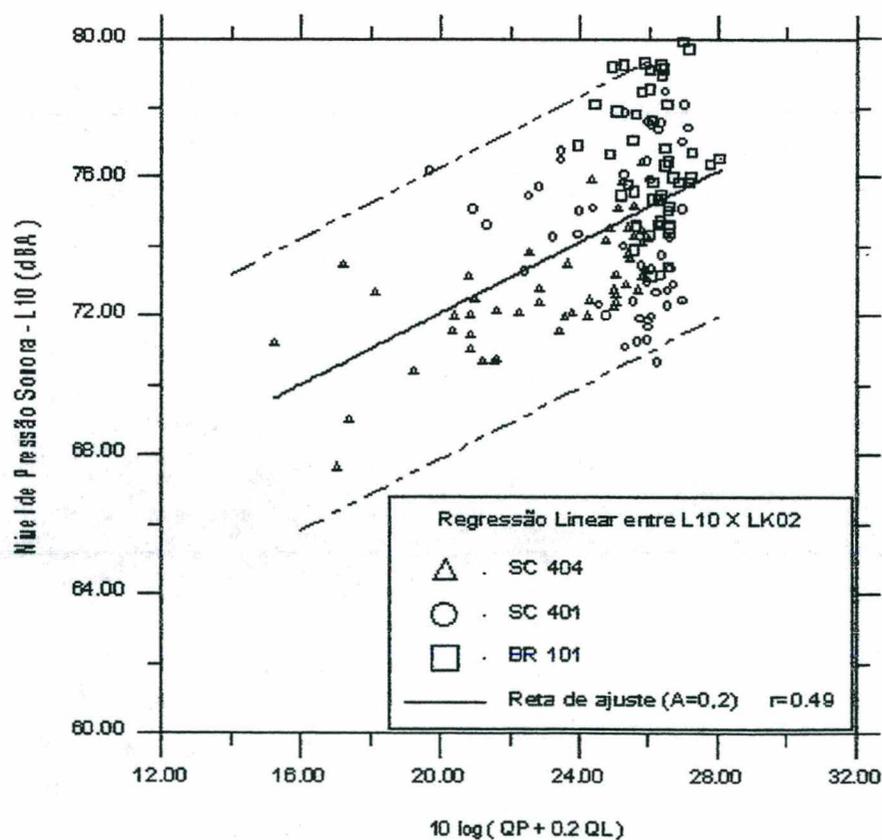


Fig. 4.7 - Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,2$

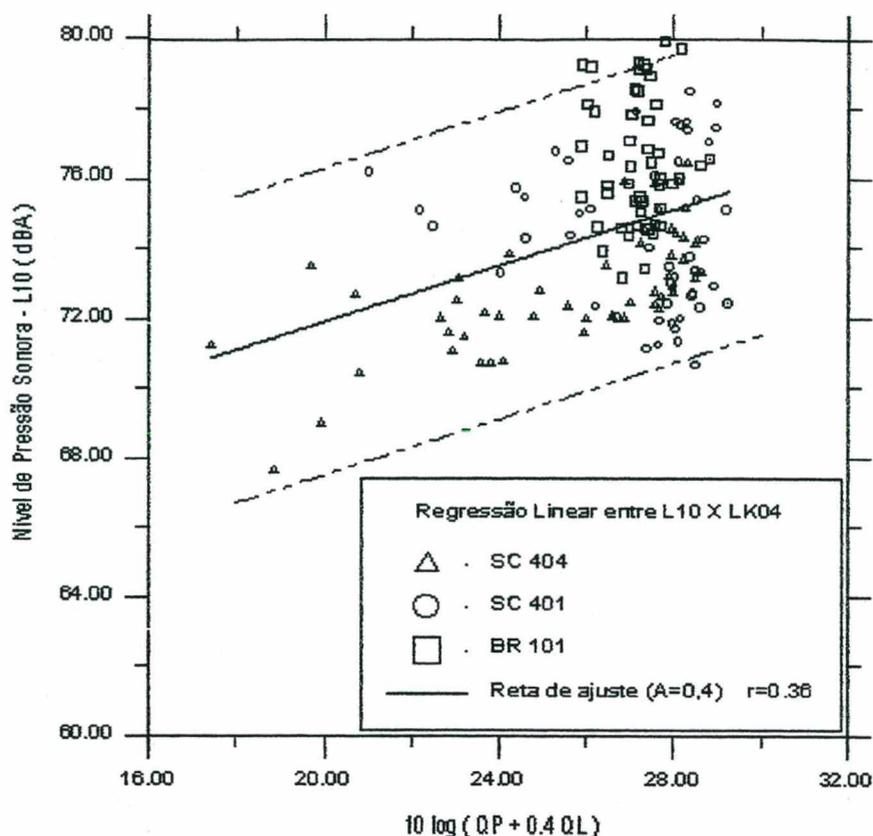


Fig. 4.8 - Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,4$.

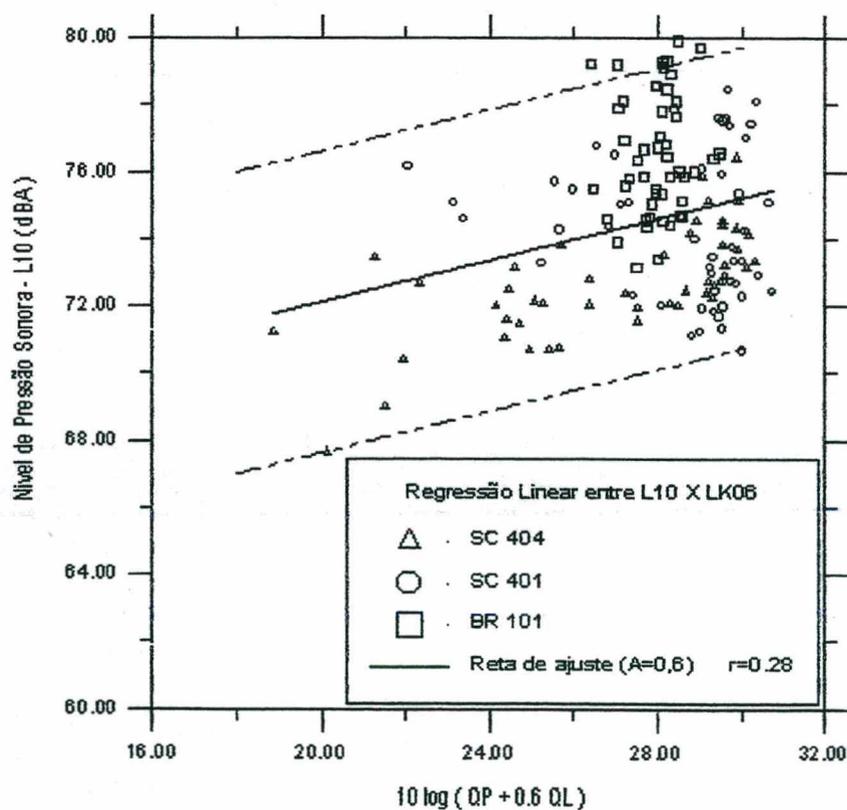


Fig. 4.9 - Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,6$.

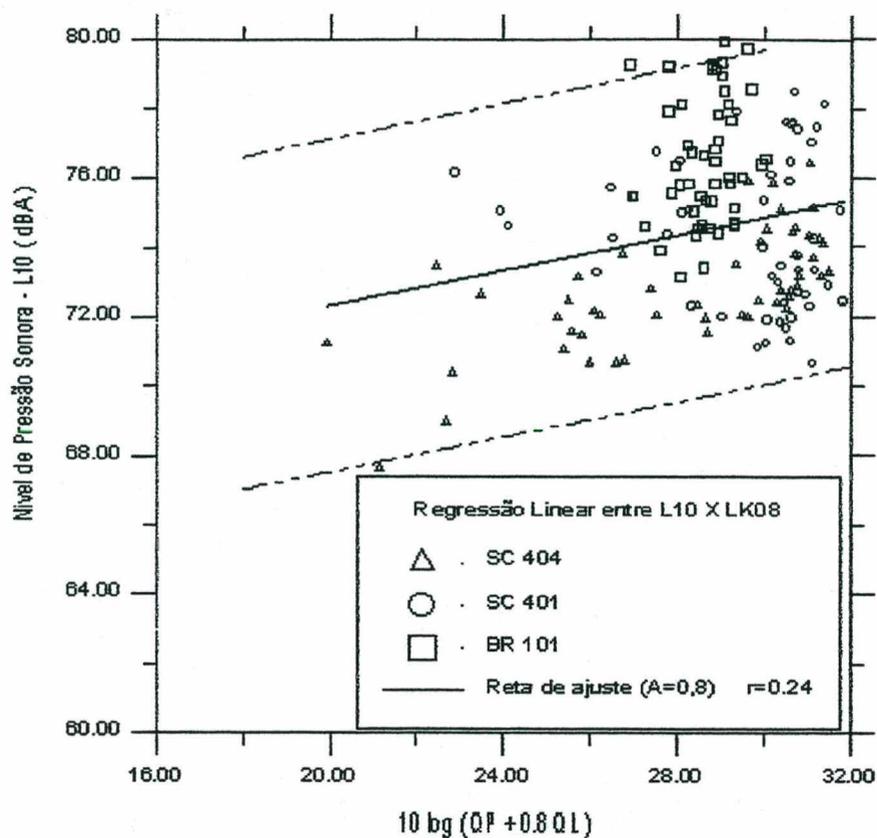


Fig. 4.10 - Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,8$.

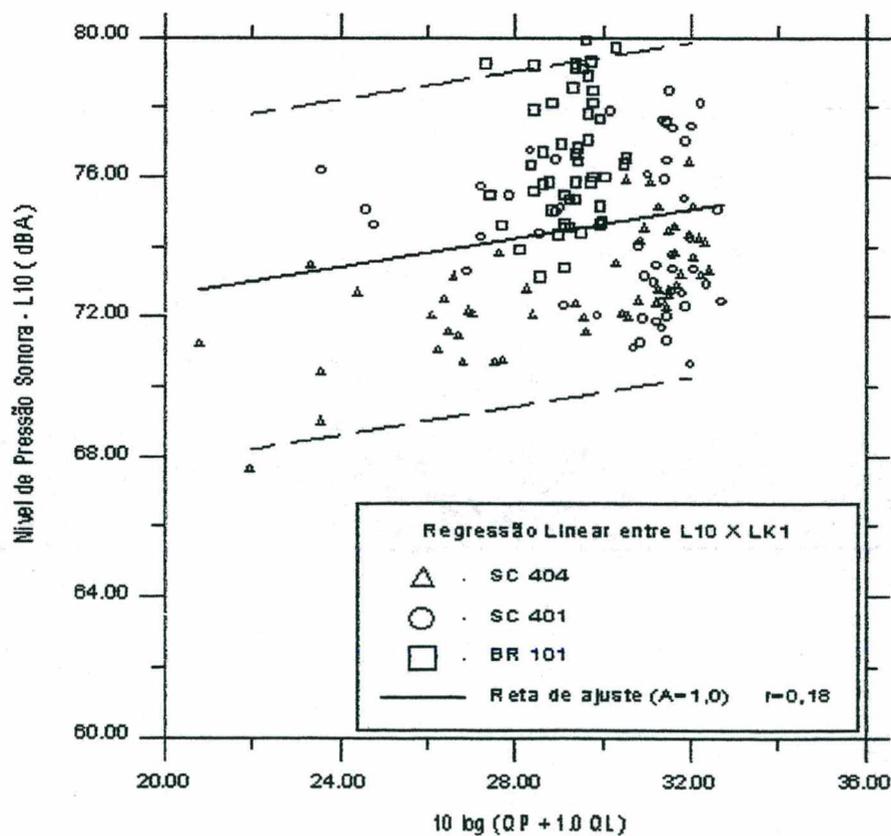


Fig. 4.11 - Relação entre o nível L_{10} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 1,0$.

Observou-se que os valores correspondentes dos coeficientes de correlação, variavam pouco com os baixos valores do fator de ponderação, indicando, portanto, que o nível L_{10} é fortemente influenciado pelo percentual de veículos pesados.

A reta de melhor ajuste, foi obtida para o valor do fator de ponderação igual a $A=0.03$ que gerou o maior coeficiente de correlação $r= 0.61$. Observou-se, ainda, que a medida que o fator de ponderação aumentou de 10% para 100%, houve um aumento na dispersão dos dados, quando o volume de veículos leves crescia, e uma queda nos correspondentes coeficientes de correlação, indicando que o nível L_{10} , não se correlaciona bem com o volume total de veículos, e sim com o volume de pesados, como verificado anteriormente.

4.3.2 - Relações entre o nível L_{90} e a composição de tráfego

As mesmas análises estatísticas que foram processadas no item anterior, foram, também, aplicadas nas relações do nível de ruído L_{90} à composição de tráfego.

Entretanto, como o nível L_{90} não possui nenhuma influência dos veículos pesados, como foi observado através das Figuras 3.2 e 3.3, então, para este nível, a análise estatística, foi processada, considerando-se um fator de ponderação para veículos pesados. Os valores deste fator, foram os mesmos utilizados para os veículos leves.

Para todos os valores do fator de ponderação para veículos pesados, houve grande dispersão dos pontos, por conseguinte, baixos coeficientes de correlação.

A reta de regressão de melhor ajuste, foi encontrada quando se aplicou um fator de ponderação $A=0,00$, cujo coeficiente de correlação foi $r=0,24$. As Figuras 4.12 a 4.15, mostram as retas de regressão para os intervalos de 95% de confiança (2σ), onde se observa que os valores do nível L_{90} , encontra-se dentro da faixa de $\pm 5\text{dB}$.

A variação do coeficiente de correlação, ao se variar o fator de ponderação de $A=0,00$ a $A=1,0$, é mínima ($r=0,24$ a $r=0,22$). O comportamento da reta de regressão, muda pouco sua inclinação, como pode ser observado nas figuras mencionadas.

Por esta razão, apenas as Figuras 4.12 a 4.15 são mostradas para visualização comportamental das retas de regressão.

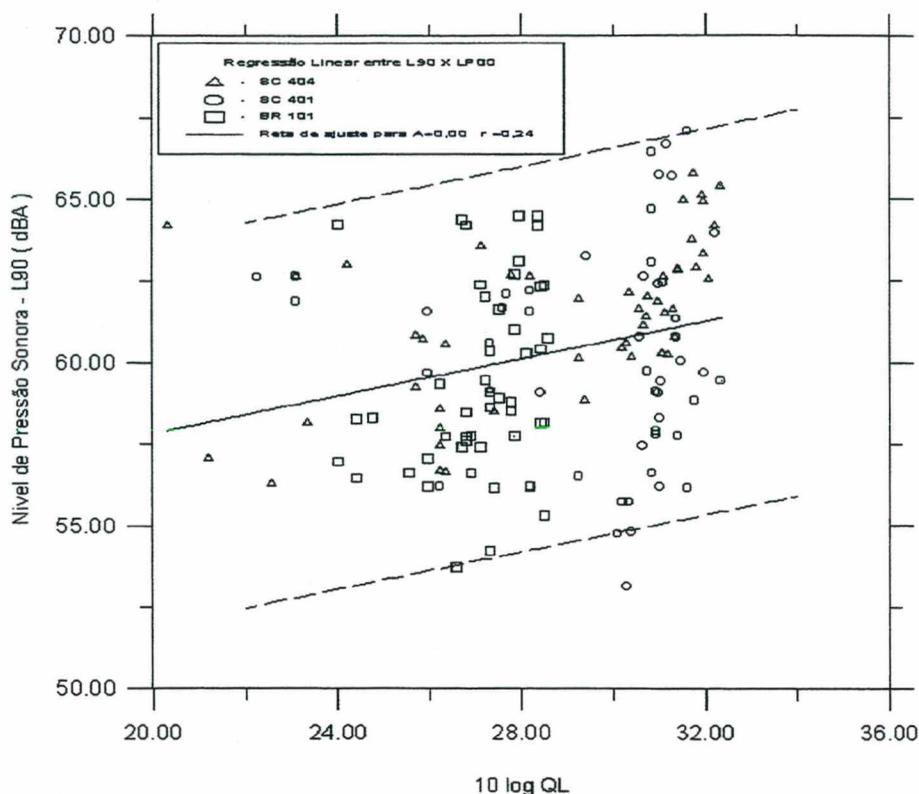


Fig. 4.12 - Relação entre o nível L_{90} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,00$.

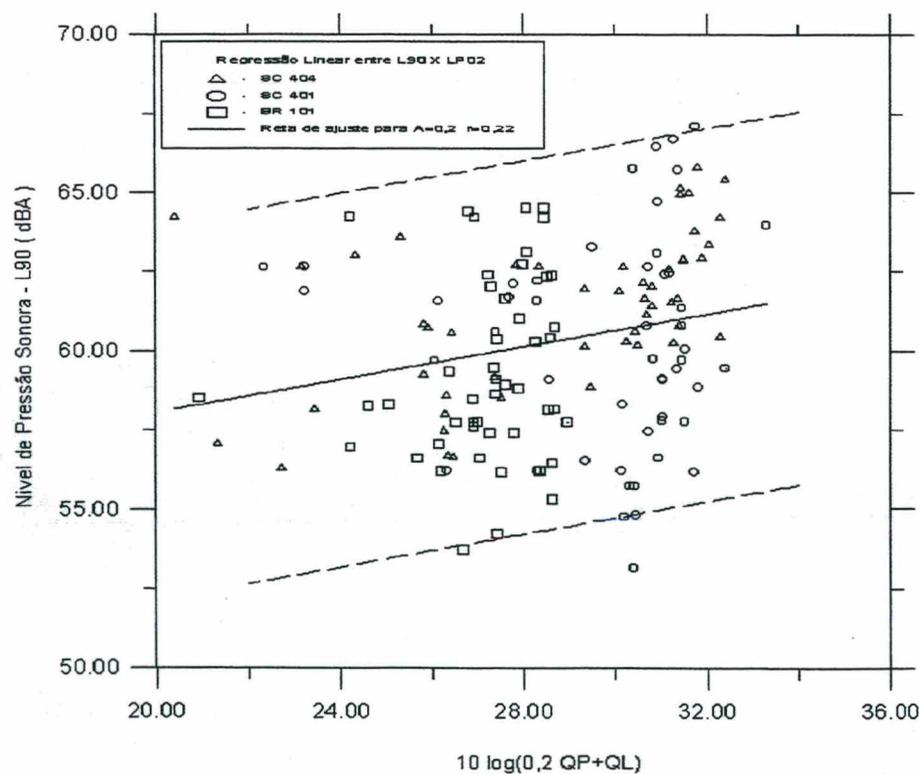


Fig. 4.13 - Relação entre o nível L_{90} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,2$.

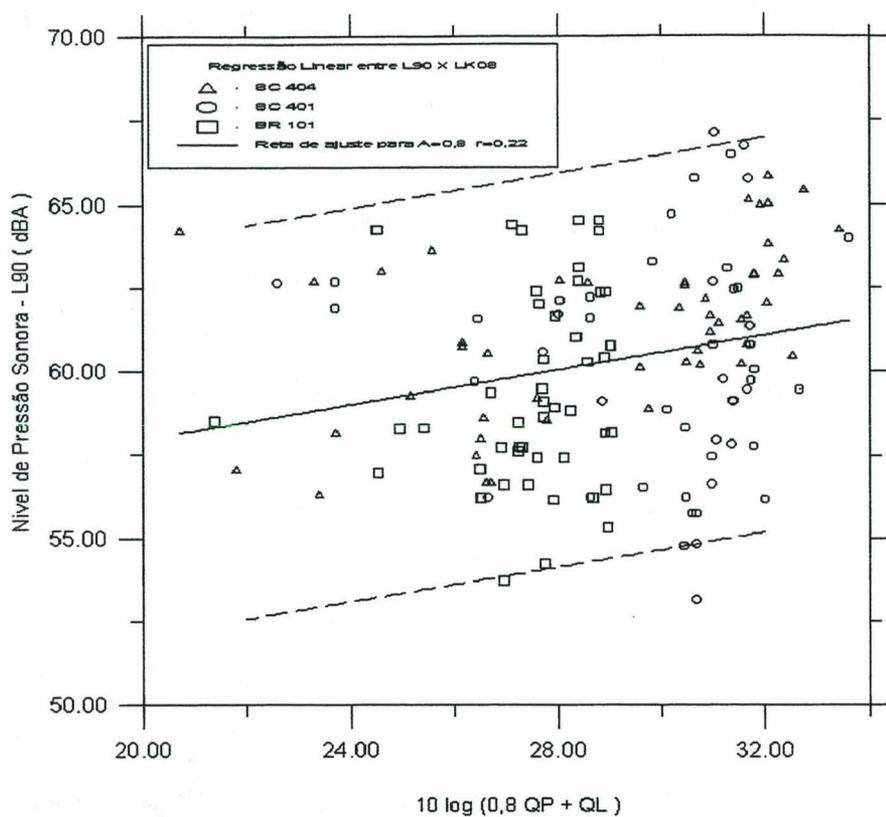


Fig. 4.14- Relação entre o nível L_{90} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,8$.

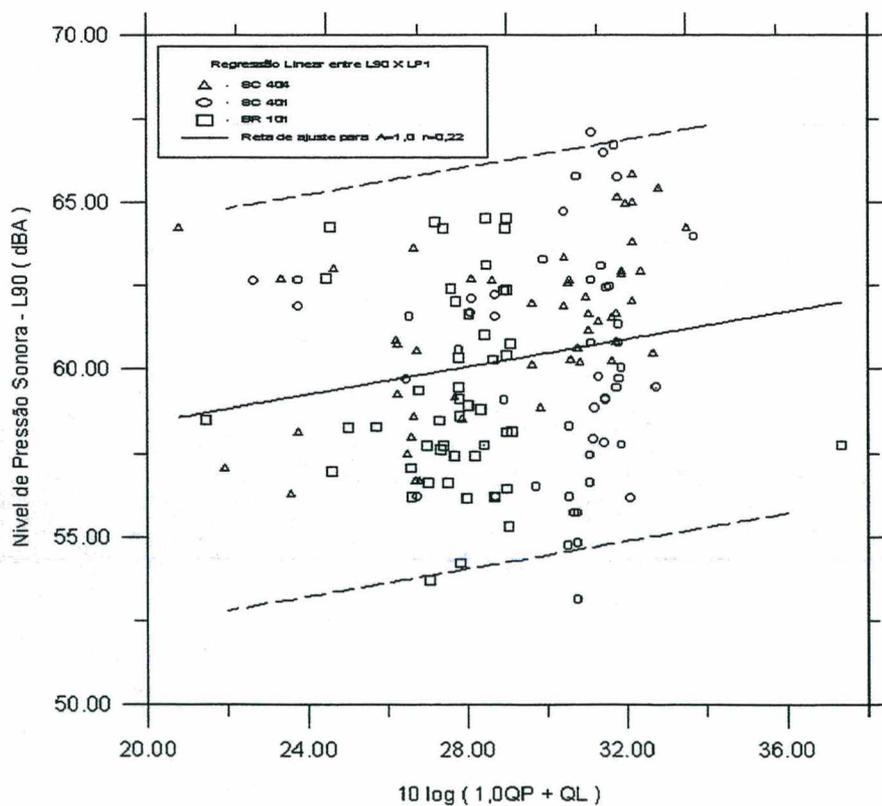


Fig. 4.15 - Relação entre o nível L_{90} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 1,0$.

4.3.3 - Relações entre o nível L_{eq} e a composição de tráfego

A análise estatística atribuída às relações do nível L_{eq} à composição de tráfego, são semelhantes às anteriores atribuídas aos níveis L_{10} e L_{90} .

Nota-se através das Figuras 4.16 a 4.26, que as retas de regressão das relações do nível de ruído L_{eq} , possuem comportamentos semelhantes àquelas das relações de L_{10} , entretanto, apresentam coeficientes de correlação mais baixos.

A reta de melhor ajuste foi obtida para o fator de ponderação igual a $A = 0.07$, que proporcionou um coeficiente de correlação $r = 0.49$.

Semelhante ao nível L_{10} , o nível L_{eq} , a medida que o fator de ponderação aumentou de 10% a 100%, os pontos começaram a se dispersar quando o volume de veículos leves crescia, havendo por conseguinte uma queda no coeficiente de correlação. Isto, indica que o nível L_{eq} não se correlaciona bem com o volume total de veículos, mas se comporta como o nível L_{10} , sendo bastante influenciado pelos veículos pesados.

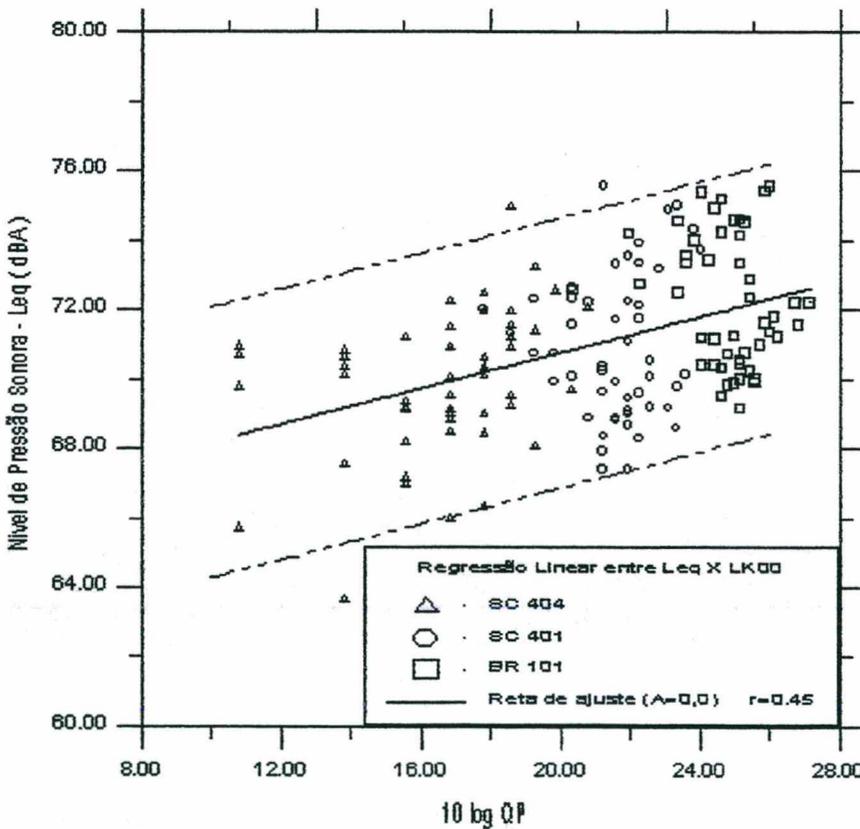


Fig. 4.16 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,00$.

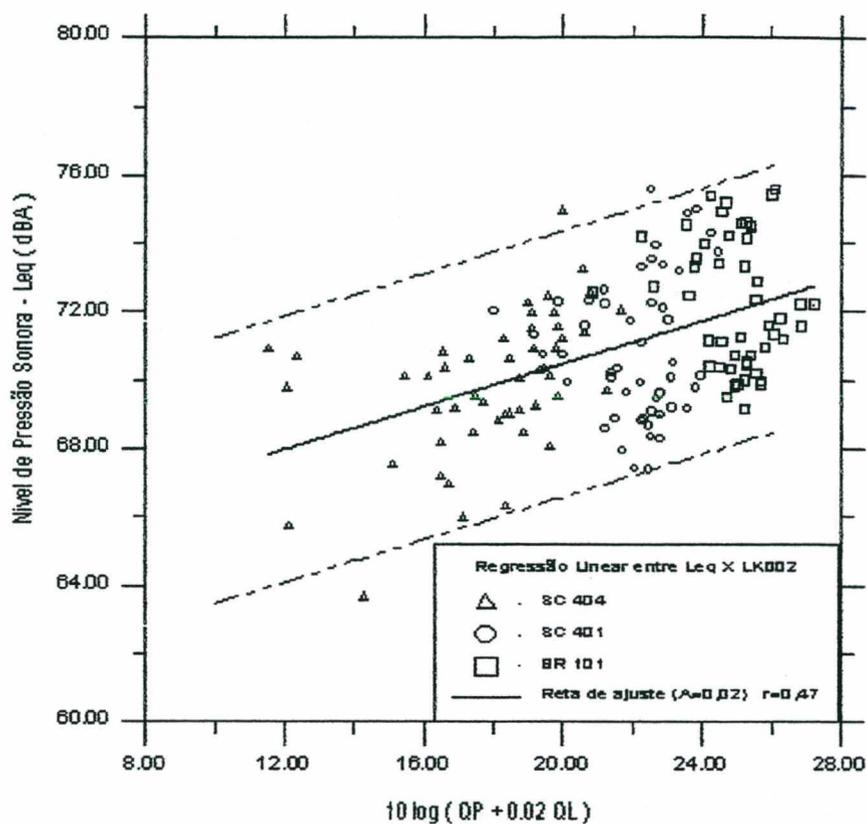


Fig. 4.17 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,02$.

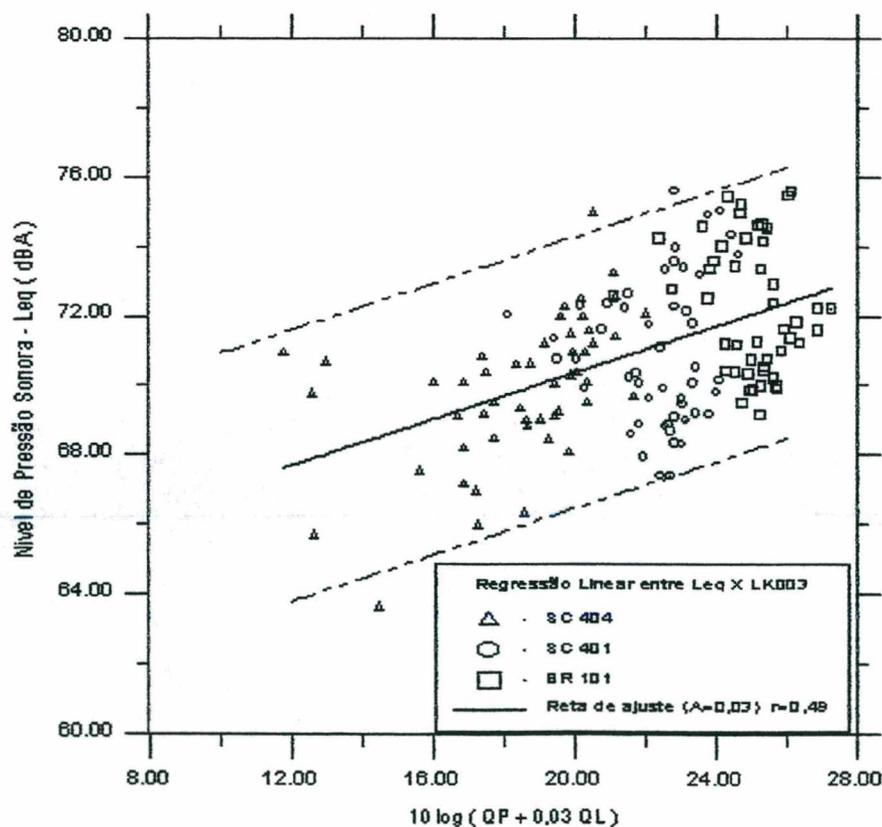


Fig. 4.18 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,03$.

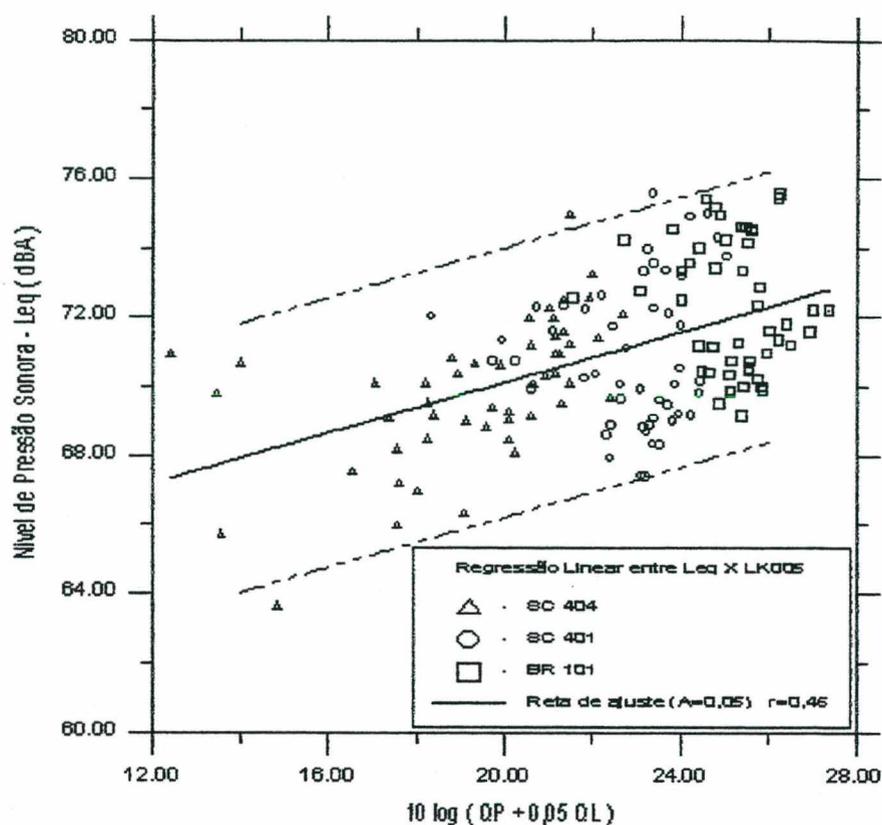


Fig. 4.19 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,05$.

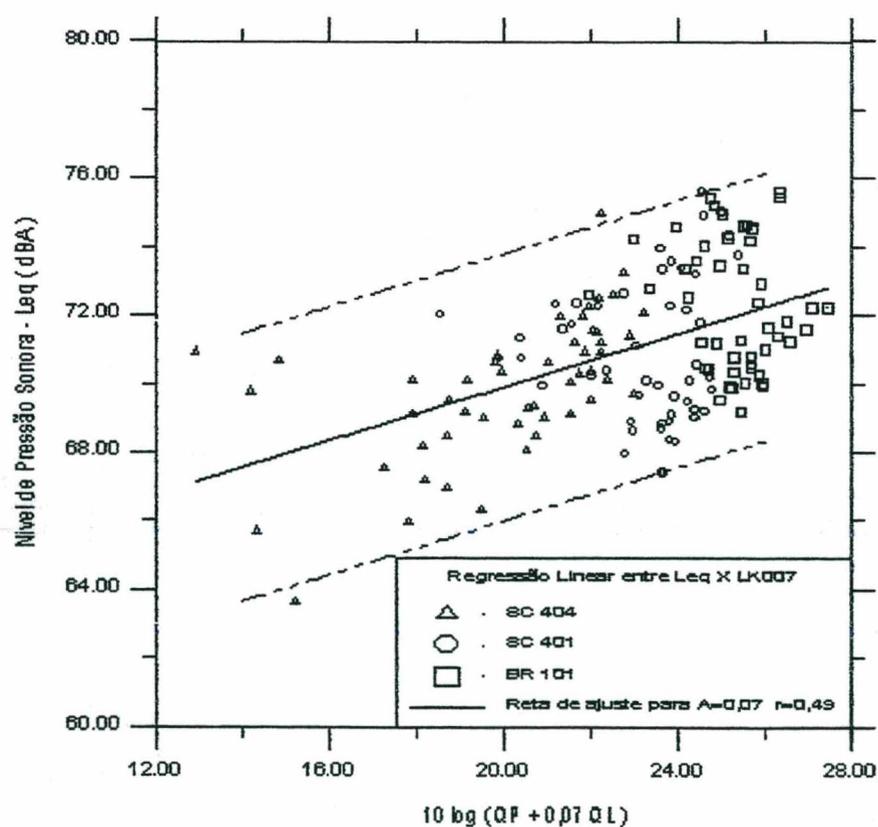


Fig. 4.20 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,07$.

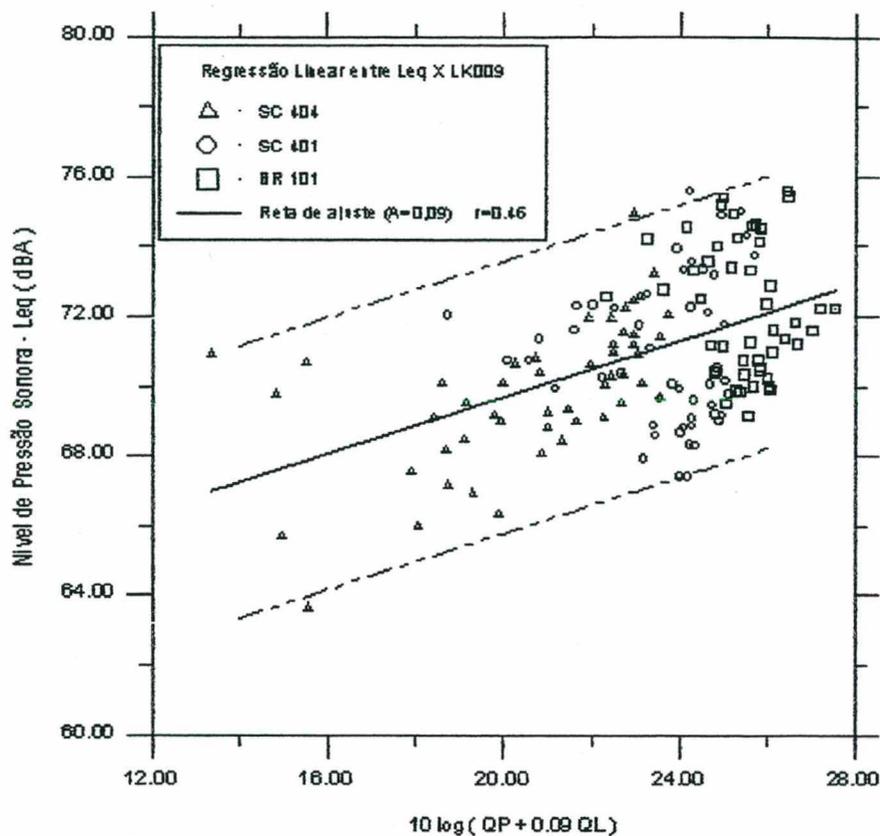


Fig. 4.21 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,09$.

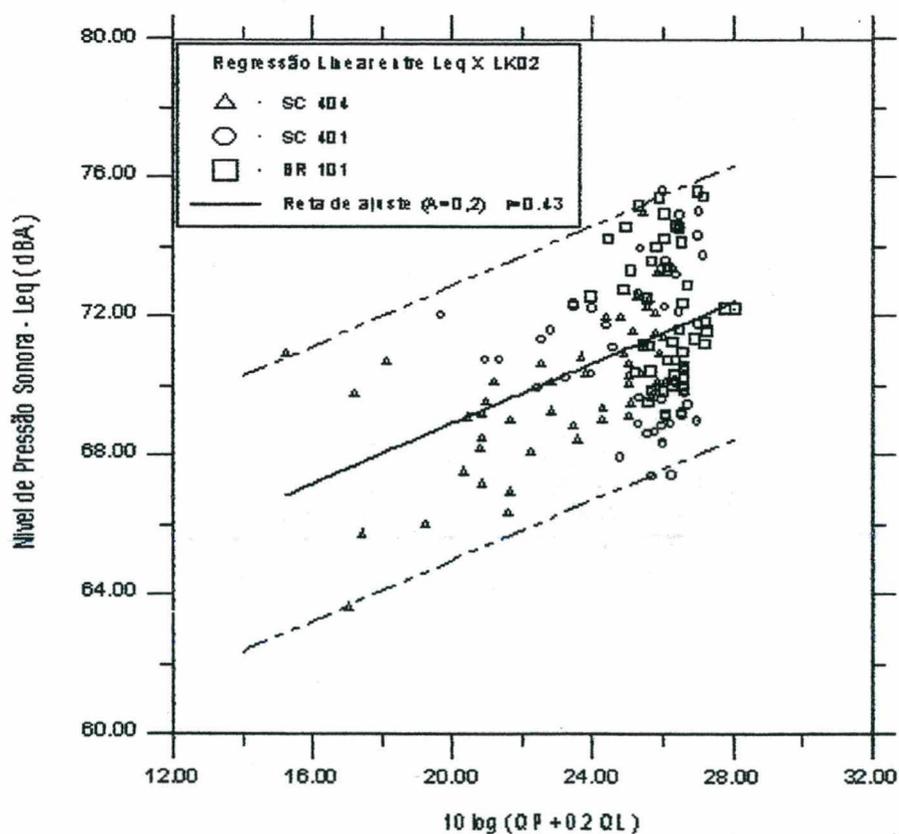


Fig. 4.22 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,2$.

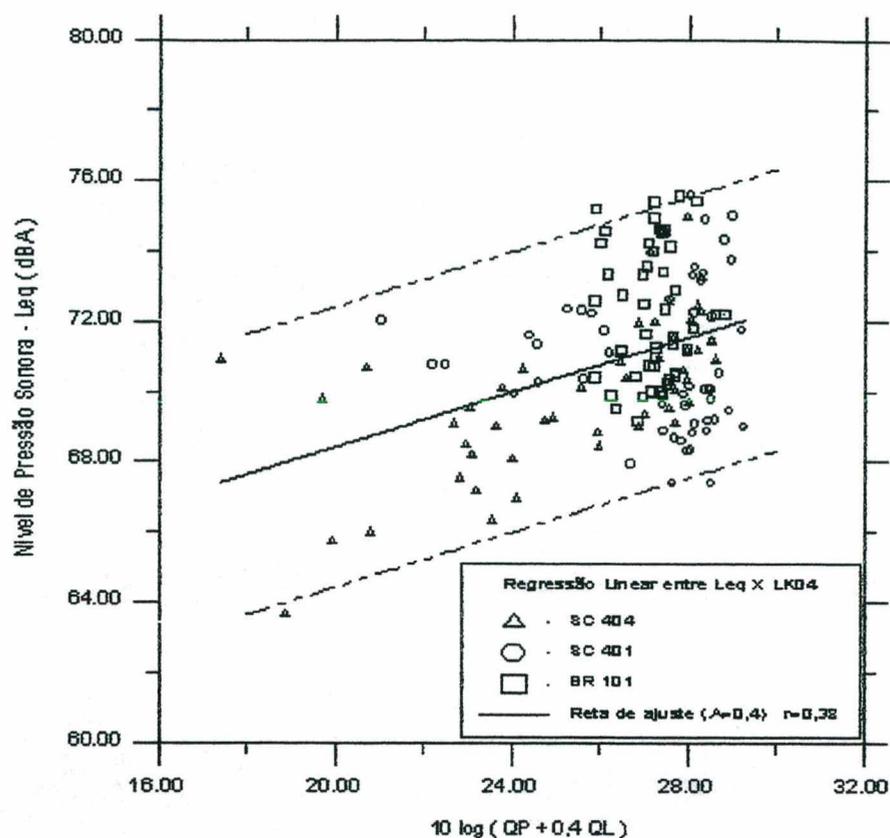


Fig. 4.23 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,4$.

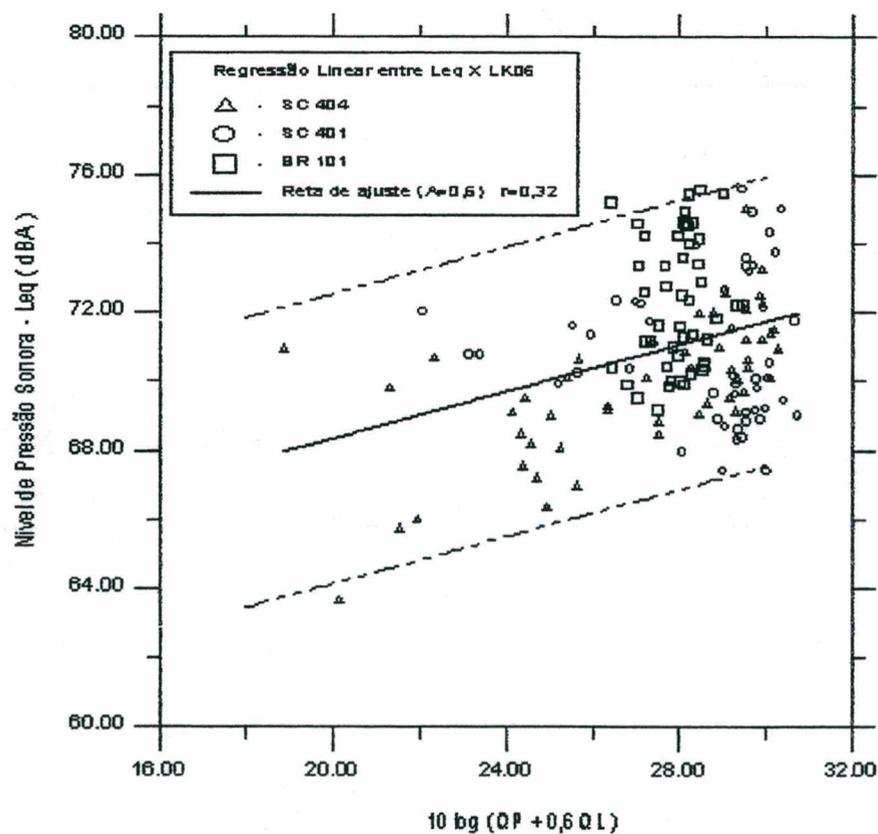


Fig. 4.24 - Relação entre o nível L_{eq} e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,6$.

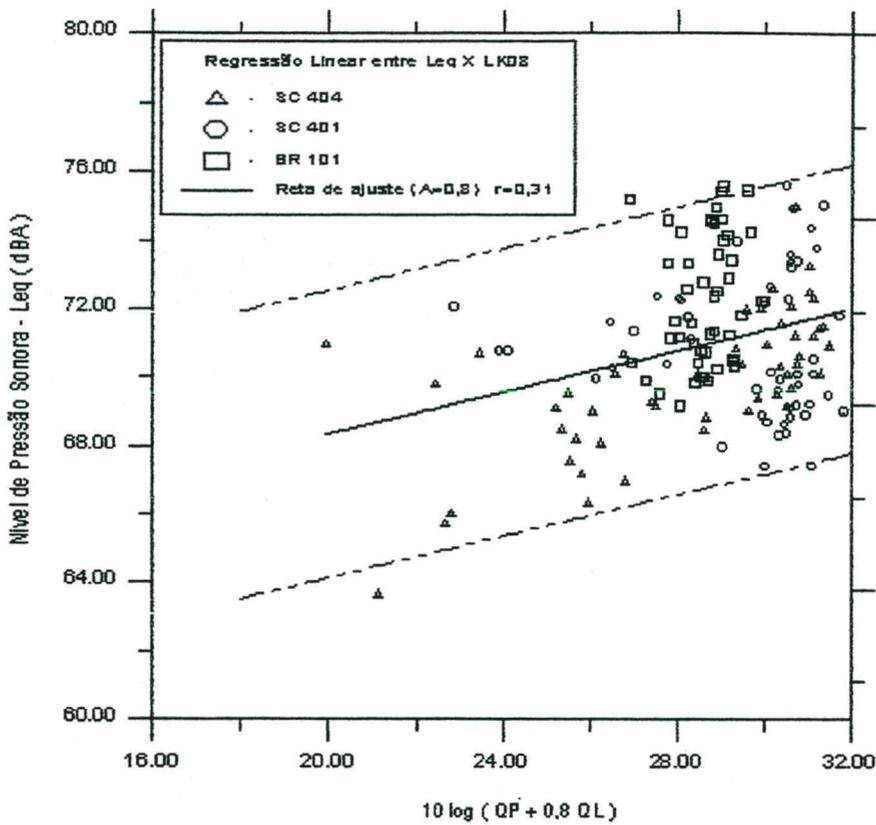


Fig. 4.25 - Relação entre o nível Leq e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 0,8$.

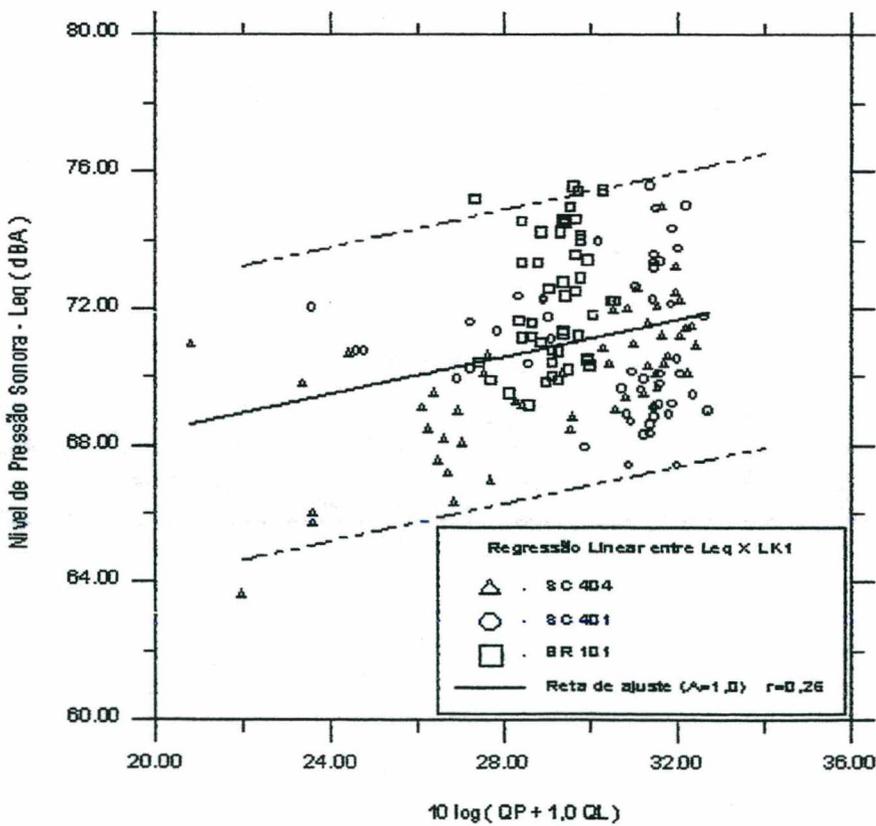


Fig. 4.26 - Relação entre o nível Leq e a composição do tráfego para os 149 pontos, considerando $A = 1,0$.

Das análises processadas entre as relações dos níveis de ruído e a composição de tráfego, observou-se:

- a) para os níveis L_{10} , a melhor reta de ajuste foi obtida para o valor de $A=0,03$, com o coeficiente de correlação $r=0,61$, mostrada na Figura 4.3. Segundo BARBETTA^[47] e SILVA^[48], é considerada uma correlação estatisticamente forte. Isto significa que 37,2% da variação dos níveis de ruído L_{10} , são explicados, pela variação da composição do tráfego;
- b) para os níveis L_{90} , não houve em nenhum dos casos analisados, boa correlação. O nível L_{90} , não tem sido um índice considerado para avaliação de incômodo em comunidade, e sim para avaliação de ruído de fundo;
- c) para os níveis L_{eq} , a melhor reta de ajuste foi obtida para o valor de $A=0,07$, com o coeficiente $r=0,49$, o que segundo BARBETTA^[47] e SILVA^[48], é considerada uma correlação média, significando que apenas 24% dos níveis de ruído L_{eq} , são explicados, pela variação da composição de tráfego.

Acredita-se que outros fatores, tais como: a diversidade dos veículos, estado de conservação e modo de condução, são também responsáveis, pelos atuais valores dos coeficientes de correlação encontrados. É possível que uma análise de regressão múltipla, considerando outras variáveis, proporcione uma maior correlação.

Ainda, da análise estatística dos dados, e através das figuras apresentadas para as relações dos níveis L_{10} e L_{eq} , observou-se que para os intervalos de 95% de confiança (2σ) correspondentes, os valores de L_{10} e L_{eq} encontram-se dentro da faixa aceitável de $\pm 4\text{dB}$ daqueles fornecidos pelas retas de regressão linear.

4.4 - COMPARAÇÃO ENTRE A FORMULAÇÃO OBTIDA POR CROMPTON E GILBERT E A FORMULAÇÃO PROPOSTA NESTE TRABALHO

Das 136 medidas dos níveis sonoros realizadas por CROMPTON e GILBERT^[10], foi obtida a equação de predição (2.14). Baseado nos dados coletados neste trabalho foram obtidas as seguintes expressões, propostas para predição dos níveis L_{10} , L_{90} e L_{eq} , respectivamente:

$$L_{10} = 64.29 + 4.67 \log_{10}(QP + 0,03 QL), \quad [\text{dB(A)}] \quad \text{com } r = 0,61 \quad [4.8]$$

$$L_{90} = 52,08 + 2,80 \log_{10} QL \quad \text{com } r = 0,24 \quad [4.9]$$

$$L_{eq} = 62.10 + 3.88 \log_{10}(QP + 0,07 QL), \quad [\text{dB(A)}] \quad \text{com } r = 0.49 \quad [4.10]$$

A Figura 4.27, mostra a comparação entre as expressões (4.8) e (4.11), sendo esta última obtido da equação (2.14). Os dados da composição de tráfego obtidos nesta pesquisa, são aplicados a esta formulação simplificada, cuja reta de regressão obtida é dada pela seguinte expressão:

$$L_{10} = 61.80 + 5.13 \log_{10}(QP + 0.2QL), \quad [\text{dB(A)}] \quad \text{com } r=0,49 \quad [4.11]$$

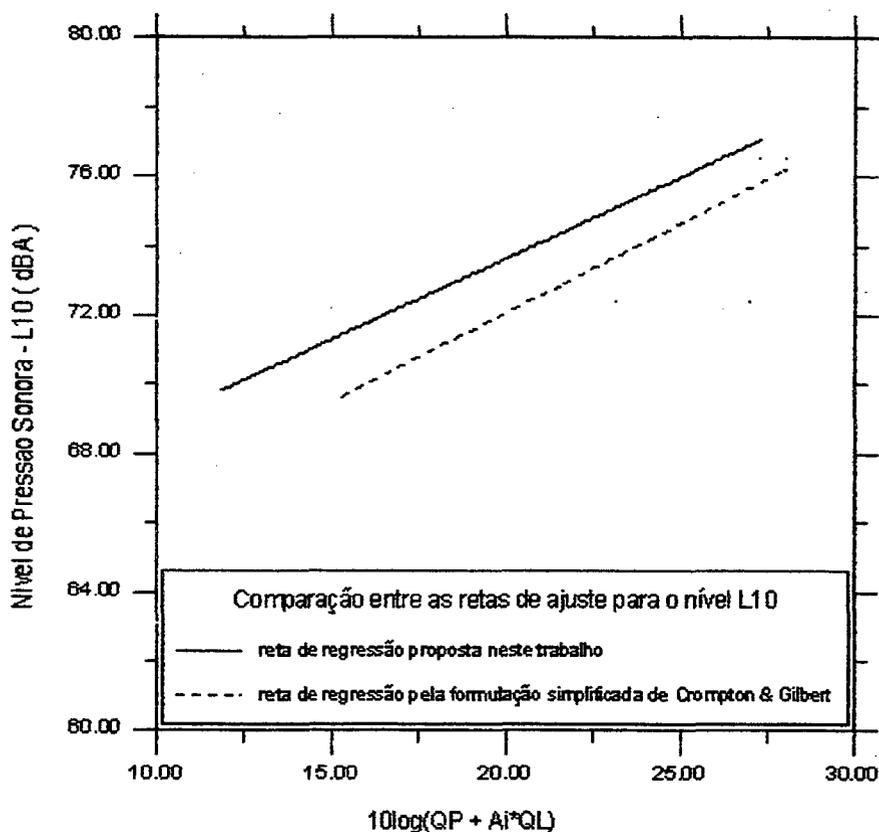


Fig. 4.27 - Comparação entre as retas de regressão linear obtida pela formulação de CROMPTON e GILBERT e a reta de regressão obtida neste trabalho para o nível L_{10} .

Nota-se que a declividade da reta de regressão utilizando-se a formulação simplificada de CROMPTON e GILBERT, é ligeiramente superior ao da reta de regressão proposta neste trabalho, todavia, apresenta nível de ruído aproximadamente 2dB mais baixo.

Acredita-se que a diferença entre os valores médios calculados pelas duas expressões (4.7 e 4.8), deve-se ao maior nível de ruído gerado individualmente pelos veículos que circulam pelas rodovias brasileiras, possivelmente causado pelo mau estado de conservação e manutenção destes veículos, e das rodovias.

4.5 - RELAÇÕES ENTRE OS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E FATOR DE PONDERAÇÃO

As Figuras 4.28, 4.29 e 4.30, mostram as relações existentes entre os coeficientes de correlação e os fatores de ponderação. Observa-se através destas, qual é o melhor valor da correlação para os níveis L_{10} , L_{eq} e L_{90} .

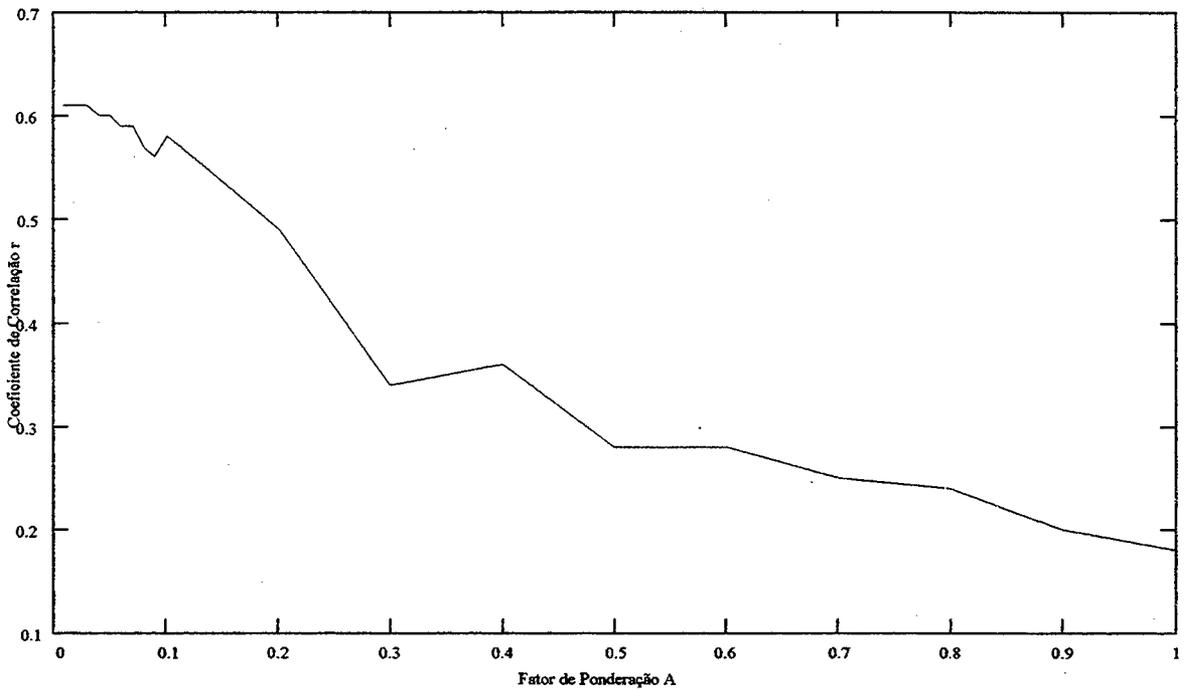


Fig. 4.28 - Relação entre coeficiente de correlação e fator de ponderação, considerando níveis L_{10} .

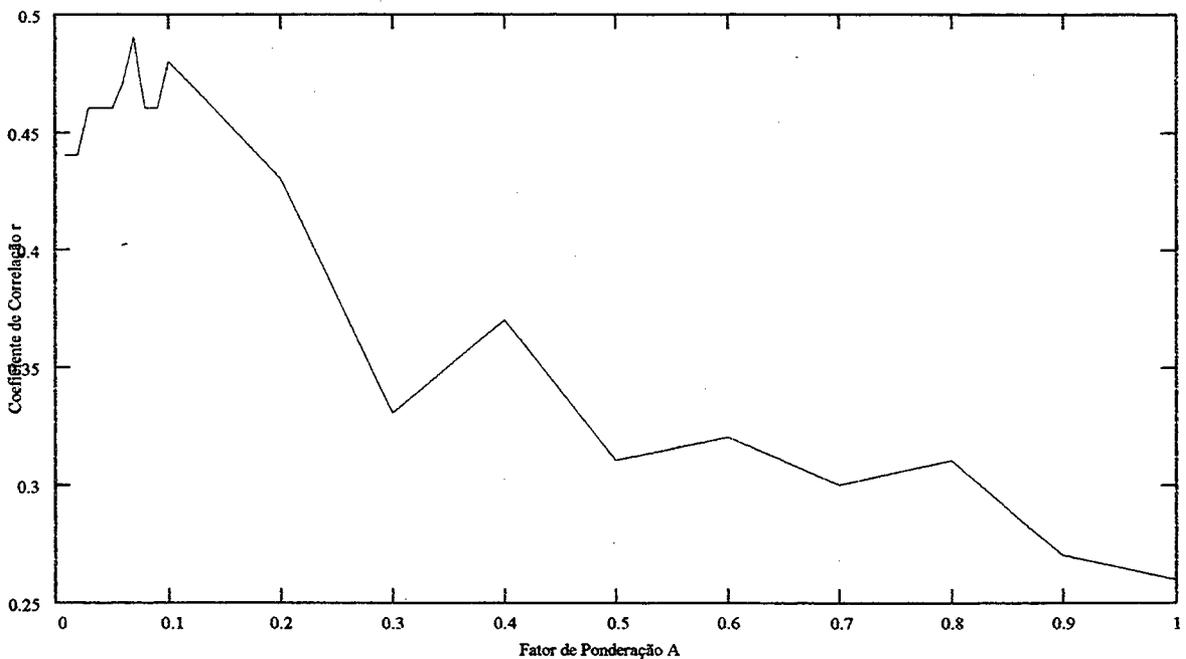


Fig. 4.29 - Relação entre coeficiente de correlação e fator de ponderação, considerando níveis L_{eq} .

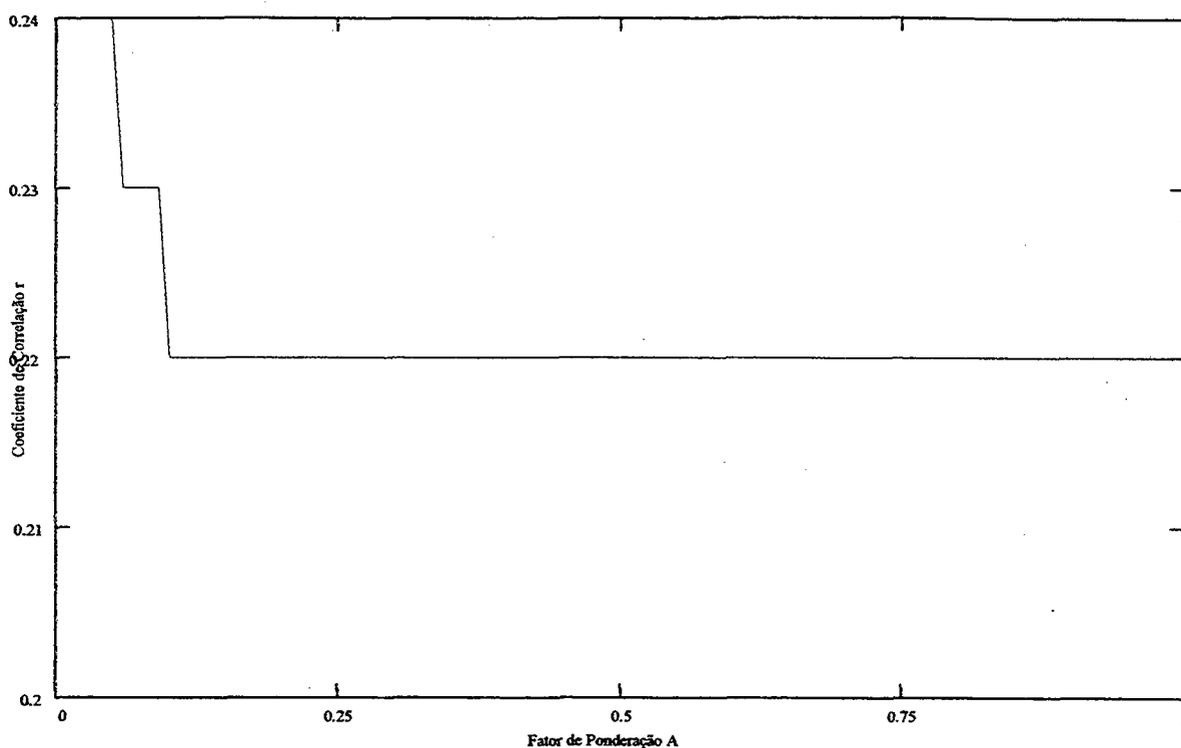


Fig. 4.30 - Relação entre coeficiente de correlação e fator de ponderação, considerando níveis L_{90} .

Nota-se uma variação muito acentuada nos coeficientes de correlação para os níveis L_{10} e L_{eq} , comparados aos do nível L_{90} , quando os valores do fator de ponderação são $A_i \leq 0.20$, isto é, quando o percentual de veículos leves é pequeno, havendo, pois, predominância dos veículos pesados, significando que os níveis L_{10} e L_{eq} são definidos pela influência destes veículos. Na Figura 4.30, quando os valores do fator de ponderação são $A_i \geq 0.20$, aproximadamente, observa-se a inversão da correlação, isto é, quando na composição de tráfego, o volume de veículos leves começa a aumentar, então, o coeficiente de correlação aumenta suavemente, não apresentando, todavia, boa correlação do nível L_{90} com a composição.

As Figuras 4.31 e 4.32, mostram famílias de retas de regressão, quando ao fator de ponderação de veículos leves se admite vários valores. Tanto para os níveis L_{10} quanto L_{eq} , observa-se que aumentando-se o fator de ponderação, o coeficiente de correlação vai decrescendo, e a tendência das retas evidencia que a variação nos níveis de ruído será menor a medida que o percentual de veículos leves vai crescendo, confirmando a afirmativa teórica de que, aumentando-se a densidade de tráfego, os níveis de ruído aumentam até um certo valor, considerado constante.

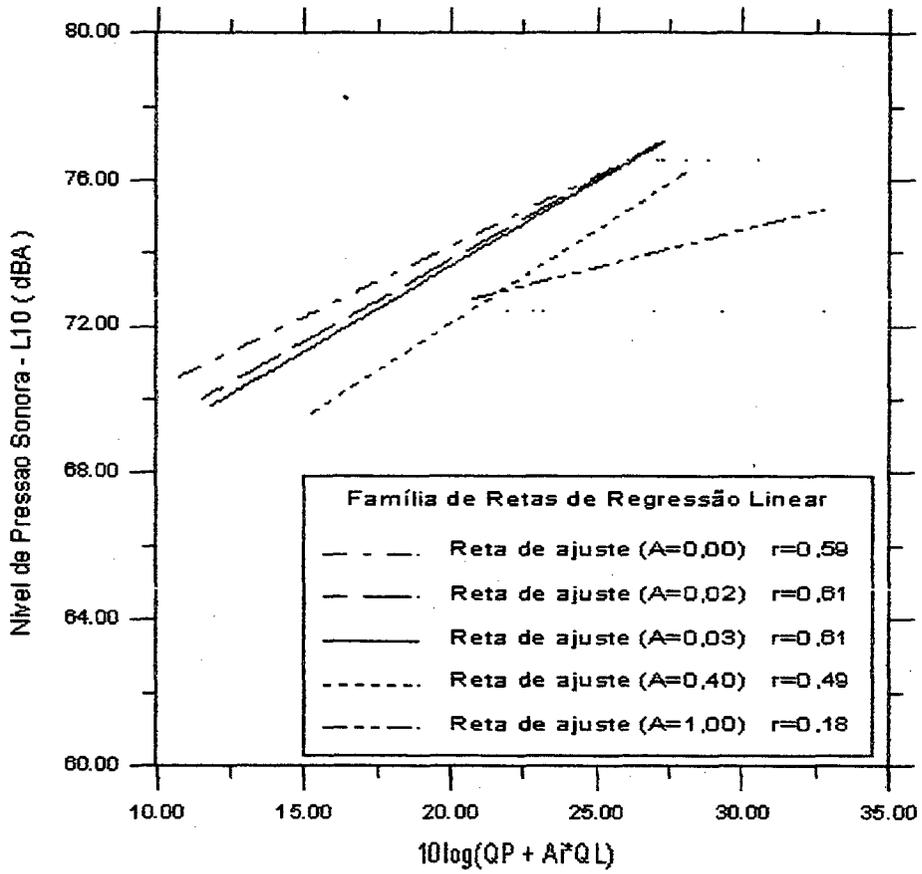


Fig. 4.31 - Família de retas de regressão para valores do fator de ponderação dos veículos leves com o nível L_{10} .

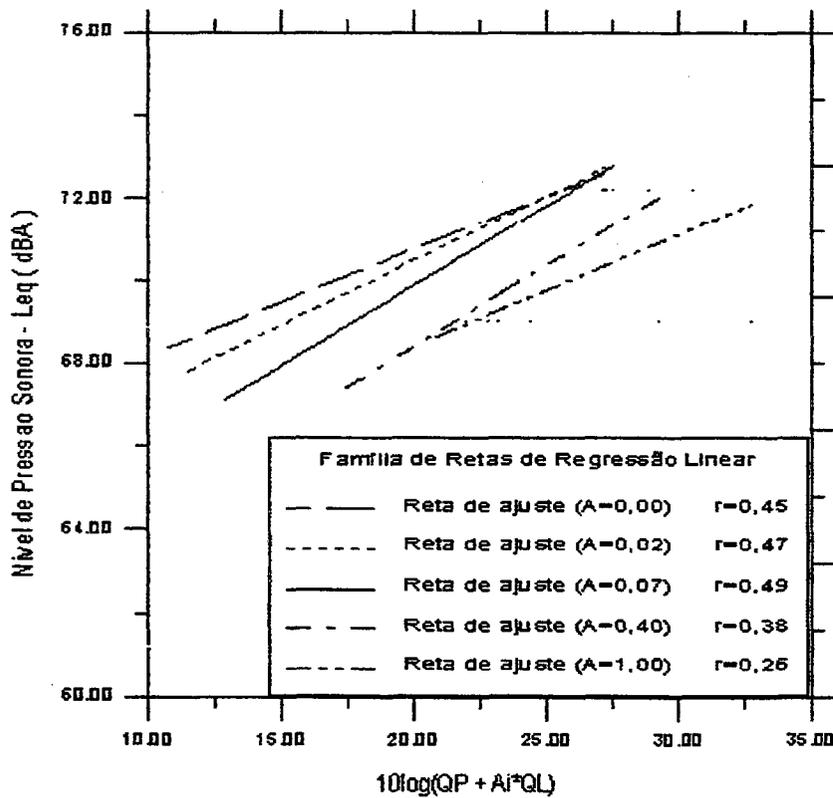


Fig. 4.32 - Família de retas de regressão para valores do fator de ponderação dos veículos leves com o nível L_{eq} .

4.6 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

As equações de predição propostas neste trabalho para os níveis L_{10} , L_{90} e L_{eq} , foram obtidas da análise estatística das 149 medições realizadas durante a pesquisa.

Os dados dos níveis de ruído para cada rodovia, encontram-se nas Tabelas A.2.1, A.2.2 e A.2.3 do anexo 2.

A Fig. 4.33, mostra a análise estatística, feita em função da comparação das médias e dos intervalos de confiança para cada uma delas. Pode-se observar que os níveis médios de ruído para cada rodovia, é distinto um do outro.

Outra análise efetuada, foi em função dos quartis. Observa-se através da Fig. 4.34 que:

na SC-404, para aproximadamente 100% dos níveis de ruído tem-se $L_{10} < 76\text{dB(A)}$

na SC-401, para $\pm 75\%$ dos níveis de ruído tem-se $L_{10} < 76\text{dB(A)}$

na BR-101, mais que 50% dos níveis de ruído tem-se $L_{10} > 76\text{dB(A)}$

Através da análise estatística dos 149 dados, utilizando o software STATGRAPH 5.0, foram feitas análises de correlação e regressão linear. Os valores **a** e **b** da reta de regressão linear foram obtidos pelo software.

A equação descrita em 4.6 foi trabalhada para diferentes valores de A_i , onde as melhores curvas de ajustamento ocorreram ao utilizar-se os valores para $A_i=0,03$ e $0,07$ em L_{10} e L_{eq} , respectivamente.

Observa-se que mais que 75% das medidas de ruído obtidas na SC 404 são praticamente inferiores às 25% menores obtidas na BR 101.

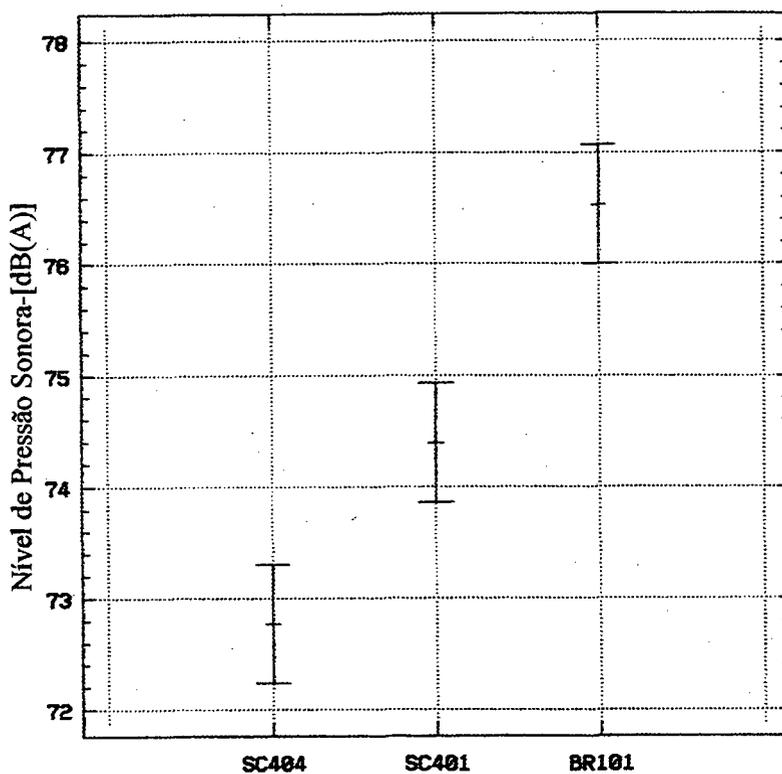


Fig. 4.33 - Representação dos intervalos de confiança, considerando a comparação das médias dos valores medidos.

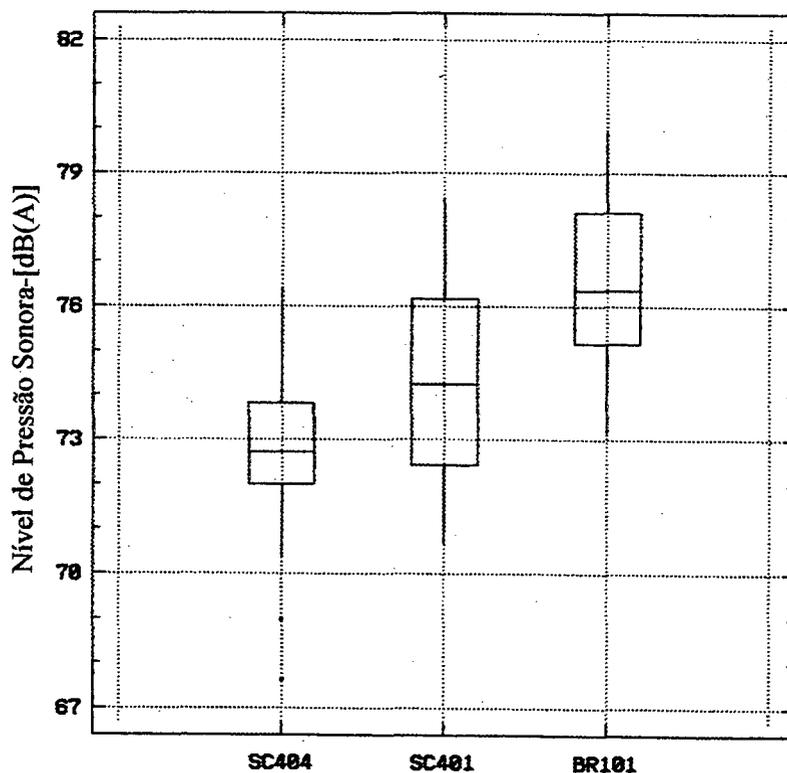


Fig. 4.34 - Diagrama de bloco representando a variação dos níveis, considerando o percentual dos quartis.

4.7 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS L_{10} , L_{90} e L_{eq} COM OS RECOMENDADOS PELO HUD (USA)

4.7.1 - Nível percentual L_{10}

Para o nível L_{10} , SCHOLES e SARGENT^[17], sugerem um valor de 70dB(A) como uma medida aceitável, o qual chega a ser compatível aos valores $TNI=74dB(A)$ e $L_{NP}=72dB(A)$. Observou-se que este nível, variou num intervalo com uma amplitude de 12.27dB(A), entre o valor máximo (79.91dB(A)) registrado na BR-101 e o valor mínimo (67.64dB(A)), medido na SC-404, onde apenas 2% das medições não ultrapassou o limite sugerido. Daí concluir-se que este nível, resultou em valores elevados, provocando por conseguinte, incômodo à população, o que segundo o critério estabelecido pelo HUD, é considerado como um nível normalmente inaceitável.

4.7.2 - Nível percentual L_{90}

O nível L_{90} , considerado como nível de ruído de fundo, teve uma variação de 13.97(dB(A) entre os valores máximos (67.10dB(A)) e o mínimo (53.13dB(A)), medidos na SC-401 em cujo critério estabelecido pelo HUD, está dentro da faixa de normalmente inaceitável.

4.7.3 - Nível sonoro contínuo equivalente- L_{eq}

Observou-se que para este nível, houve uma variação entre os níveis máximos (76.06dB(A)) e o mínimo (63.64dB(A)) de 12.42dB(A), medidos na SC-401 e SC-404, respectivamente, cuja faixa , quando comparada ao critério HUD, é considerado normalmente inaceitável.

4.7.4 - Outros Níveis de Ruído

4.7.4.1 - Índice de Ruído de Tráfego- TNI

SCHULTZ^[24], afirma que um valor de 74 TNI é recomendado como garantia de que uma em quarenta pessoas seria incomodada com o ruído. Os cálculos do TNI, revelaram que 9.4% das medidas, não ultrapassaram este limite recomendado, apresentando-se, pois, alto na maioria das medições, refletindo uma variação evidente, mesmo nas rodovias cujo fluxo de tráfego era mais uniforme, o que de acordo com o critério sugerido, os valores são suficientes para incomodar um grande número de pessoas.

4.7.4.2 - Nível de Poluição Sonora- L_{NP}

O nível de poluição sonora, cujo valor limite sugerido por ROBINSON^[37] foi de 72dB(A), observou-se que para o total de medições, 28.19%, ultrapassaram este valor. Quando observadas individualmente, os níveis L_{NP} , foram ultrapassados de 51% na BR-101, 32% na SC-401 e 2% na SC-404, concluindo-se que há ocorrências de altos níveis de ruído nas duas primeiras rodovias, e que pessoas residentes às suas margens, provavelmente sentem-se incomodadas pelo ruído.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões que foram obtidas deste trabalho, bem como algumas sugestões para futuros trabalhos nesta área.

Durante as medições, pode-se observar que os veículos leves cujo estado de conservação e de manutenção é precário, ou possuindo sistema de escapamento adulterado, produzem níveis de ruído tão altos quanto os dos veículos pesados.

Observou-se, ainda, que o posicionamento da descarga, principalmente em veículos pesados, não possui uma padronização, pois, há escapamentos dirigidos para direita e para a esquerda do veículo, e em outros casos posicionados no alto do veículo. Acredita-se que este fenômeno explique a dispersão dos resultados, bem como os baixos valores dos coeficientes de correlação;

Observou-se que aqueles veículos, cujos escapamentos estão voltados para a parte central da via de tráfego, são registrados níveis mais baixos de ruído, que aqueles com escapamentos voltados para a margem da via, onde o microfone estava posicionado.

O sistema de medições utilizado neste trabalho, conforme indicado no capítulo 3, embora confiável e preciso, possui grande volume e peso causando inconveniência em relação ao seu deslocamento até os locais de medição e morosidade no cálculo dos níveis de ruído. Recomenda-se para trabalhos futuros que venham a ser realizados nesta área, façam-se uso dos medidores mais modernos e específicos.

Das 149 medições processadas durante a pesquisa, encontraram-se as seguintes expressões matemáticas, que melhor correlacionam os níveis de ruído L_{10} , L_{90} e L_{eq} à composição de tráfego de veículos leves e pesados:

$$L_{10} = 64,29 + 4,67 \log_{10} (QP + 0,03 QL), (r = 0,61) \quad [dB(A)]$$

$$L_{90} = 52,08 + 2,80 \log_{10} QL \quad (r = 0,24) \quad [dB(A)]$$

$$L_{eq} = 62,10 + 3,88 \log_{10} (QP + 0,07 QL) \quad (r = 0,49) \quad [dB(A)]$$

Os valores dos níveis L_{10} e L_{eq} , em função da composição de tráfego apresentam boa correlação. Os níveis limites referentes a $\pm 2\sigma$, isto é, duas vezes o desvio-padrão correspondem a uma margem de ± 4 dB, em relação aos valores médios dados pela reta de regressão;

Ambos os níveis, L_{10} e L_{eq} , são significativamente influenciados pelo percentual de veículos pesados, enquanto que o nível L_{90} , é influenciado pelo percentual de veículos leves.

Entretanto, os níveis de ruído são função não somente da composição e volume de tráfego, mas também, dos modos de condução e manutenção dos veículos.

A melhor correlação entre os níveis L_{10} , L_{90} , L_{eq} e a composição de tráfego, foram obtidas quando o fator de ponderação assumiu valores de $A=0,03$ e $0,00$, e $A=0,07$, com coeficientes de correlação $r=0,61$ e $0,24$, e $r=0,49$, respectivamente. O coeficiente de correlação $r=0,61$ e $r=0,49$, poderiam ser melhorados utilizando-se outros fatores, todavia, implicaria no investimento de mais recursos, e tempo;

Os níveis de ruído L_{90} , indicaram possuir alguma correlação com a composição de tráfego. A melhor correlação ($r=0,24$) foi obtida para o valor do fator de ponderação para veículos pesados igual a zero.

A equação empírica obtida para a predição dos níveis L_{10} , fornece valores de níveis maiores que aqueles calculados pela expressão apresentada na referência ^[10], demonstrando que os níveis de ruído dos veículos nacionais, em média, são mais elevados do que os veículos britânicos. A formulação empírica simplificada de CROMPTON e GILBERT, poderá ser utilizada para as vias locais, desde que o coeficiente linear da reta de regressão, seja corrigido em aproximadamente 2dB.

Considera-se que os níveis de ruído sejam elevados, devido aos seguintes fatores:

- a) adulteração ou mau estado de conservação do sistema de escapamento, principalmente veículos leves;
- b) estado geral de conservação e de manutenção do veículo;
- c) abuso no modo de condução do veículo;
- d) estado de conservação e manutenção das vias de tráfego.

Para trabalhos futuros, recomenda-se:

- a) ampliar o número de locais de medições;
- b) ampliar o número de parâmetros que influenciam o ruído de tráfego;
- c) proceder medições em horários variados, inclusive em horários noturnos.

Sugere-se, também, uma política de educação e publicidade, para que o público em geral tenha conhecimento das conseqüências muitas vezes irreversíveis do ruído, encorajando a população condutora de veículos, a reduzir o incômodo pelo ruído de tráfego.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PRIEDE, T. Origins of automotive vehicle noise. **Journal of Sound and Vibration** v.15 n.1, p. 61-73, 1971.
2. SESHAGIRI, R.M.G. et al. Speed dependence of noise emission levels of individual motor vehicles in free flow. **Acústica**, v 67, p.135-143, 1988.
3. STEPHENSON, R. J., VULKAN,G.H. Traffic noise. **Journal of Sound and Vibration**, v.7, n.2, p.247-262, 1968.
4. GILBERT,D. The problem of noise associated with road traffic:Londres ,1985.(notas de aula do intercollegiate M.Sc. course in transport). Imperial College-University College.
5. LANGDON,F.J., SCHOLLES,W.E. The traffic noise index : a method of assessing noise nuisance. **The Architects Journal Information Library**. April, 1968.
6. BRUEL & KJAER Statistical noise level analysis and L_{eq} measurements. [s.d.] 8p Denmark.
7. GILBERT, D. Workshop session: prediction of noise levels. Londres, 1985. (notas de aula do intercollegiate M.Sc. course in transport). Imperial College - University College.
8. GARCIA, A., FAUS, L.J. Statistical analysis of noise levels in urban areas. **Applied Acoustics**.v.3, n. 91, p. 227- 247, 1991.
9. GRIFFITHS,I.D., LANGDON,F.J. Subjective response to road traffic noise. **Journal of Sound and Vibration**. v. 8 n.1, p.16-32, 1968.
10. CROMPTON, D. H., GILBERT, D. The predictive bases used to determine environmental capacities. Londres, 1985. (notas de aula do intercollegiate M.Sc. course in transport). Imperial College - University College .
11. BRASCH, J. K. Vehicular traffic near high-speed highways. **Sound and Vibration** p. 10-24, dez.1967.
12. BARBOSA, W. A. **Aspectos do Ruído Comunitário em Curitiba**. Curitiba, 1992. Tese apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, para concurso público à classe de professor titular da carreira do magistério superior.
13. Verband Der Automobilindustrie E. V. (VDA), **URBAN traffic and noise**. Frankfurt, 1978.
14. PRIEDE, T. The effect of operating parameters on sources of vehicular traffic. **Journal of Sound and Vibration**. v.43, n. 2, p.239-252, 1975.
15. JOHNSON, D. R., SAUNDERS, G. The evaluation of noise from freely flowing road traffic. **Journal of Sound and Vibration**. v.7, n. 2, p.287-309, 1968.
16. FONTANET, P. Urban traffic noise reduction : cost efficiency compromises study. **Sources of Transportation Noise**. France., p. 1-21.
17. SCHOLLES, W. E., SARGENT,J.W. Designing against from road traffic. **Applied Acoustics**. v. 4, p. 203-233, 1971.
18. SCHOLLES, W. E. Traffic noise criteria. **Applied Acoustics**. v 3, p. 1 -21, 1970.
19. COELHO, J. L. B. Ruído urbano: monitoração e modelação de ruído de tráfego rodoviário. In:16º Encontro Anual da SOBRAC(1995:São Paulo). **Anais**. SãoPaulo, 1995, p.35-42.
20. BURNS, W. **Noise and man**. London. Printed by William Clowes & Sons, 1973.

21. BERANEK, L. L. **Noise and vibration control**. New York. MacGraw-Hill,1971.
22. KINSLER, L. E. et al. **Fundamentals of acoustics**. New York. John Wiley & Sons,Inc., 1982.
23. REYNOLDS, D. D. **Engineering principle of acoustics : Noise and Vibration Control**. London. Allyn and Bacon Inc, 1981.
24. SCHULTZ, T. **Community noise rating**. London. Applied Science Publishers Ltda, 1982.
25. HARRIS, C. M. **Handbook of noise control**. New York. MacGraw-Hill Book Company, 1979.
26. URBAN traffic noise:strategy for an improved environment. **Consultative Group on Transportation Research**. p.12 - 65.
27. CREMONESI, J. F. **Ruído urbano**. São Paulo, 1984 Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.
28. DELANY, M. E. et al. The prediction of noise levels L_{10} due to road traffic. **Journal of Sound and Vibration**. v. 48, n. 3, p. 305-325, 1976.
29. NELSON, P. M. Introduction to transport noise. **Transport and Road Research Laboratory**.. Crowthorne,UK [19--] p. 1-14.
30. SILVA, P.M. **Ruído Urbano:modelos de previsão**. Lisboa, 1978 Tese apresentada em concurso para investigador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
31. ROTT, J. A. A. **Mapa simplificado de ruídos para a cidade de Porto Alegre**. Porto Alegre, 1985. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
32. FIDEL, I. S. Nationwide urban noise survey. **Journal of the Acoustical Society of America**. v 64, p. 198-206, 1978.
33. CARLO, U. del - **Ruído Urbano**. São Paulo,1979 Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo..
34. GILBERT, D. New housing and road traffic noise - a design guide architects Londres, 1985. Department os the Environment. Her Majesty's Stationery Office. (notas de aula do intercollegiate M.Sc. course in transport). Imperial College - University College.
35. GILBERT, D. Calculation of road traffic noise. Londres, 1985.Department of the Environment.Her Majesty's Stationery Office.(notas de aula do intercollegiate M.Sc. Course in transport). Imperial College - University College.
36. WATERS, P. E. Commercial road vehicle noise. **Journal of Sound and Vibration**. v. 35, n.2, p.155-222, 1974.
37. ROBINSON, D. W. Towards a unified system of noise assessment. **Journal of Sound and Vibration**: v. 14 n. 3 , p. 279-298, 1971.
38. RÓCHA, C. P., OKIDA, S. **Controle do ruído urbano em Curitiba: a necessidade de uma câmara para medição do ruído emitido por veículos automotores sem interferências de outras fontes**. Curitiba, 1994. Monografia apresentada ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.
39. LEASURE, W. A., BENDER, E. E. Tire - road interaction noise. **Journal of the Acoustical Society of America**. v. 58 n. 1, p. 39-50, 1995.
40. CHERNE, K. D. Motor vehicle noise regulations : a solution to the traffic noise problem? **Sound and Vibration**. p. 22-26, março 1994.
41. HILQUIST, R. K. Motor vehicle noise spectra: their characteristics and dependence upon operating parameters. **Journal of the Acoustical Society of America** . v. 58, n. 1, julho 1975.
42. DEEL, J. Passby noise measurements. **Sound and Vibration**. p. 12-14,julho 1995.

43. LANGDON, F. J. Noise nuisance caused by road traffic in residential areas, Part I **Journal of Sound and Vibration**. v. 47, n. 2, p.243-263, 1976.
44. SANTOS, U. P., et al. **Ruído : riscos e prevenção**. São Paulo. Ed. Hucitec, 1994.
45. GERGES, S. Y. N. **Ruído : fundamentos e controle**. Florianópolis. Imprensa da Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.
46. ALVARES, P. A. S., SOUSA, F. P. Urban pollution in Belo Horizonte city. In:IV Seminário Internacional de Controle de Ruído. SOBRAC (1992:Rio de Janeiro). **Anais**, 1992. p. 185-188.
47. BARBETTA, P. A. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais**. Florianópolis. Ed. Da Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.
48. SILVA, B. R. C. **Estatística para Concursos**. Porto Alegre. Ed. Sagra-DCLuzzatto, 1994.
49. ISING,H.,REBENTISCH ,E. Comparasion of acute reactions and longterm extra-aural effects of accupational and environmental noise exposure(1993,Nizza). Proccedings of the 6th International Congress on noise as a public health problem. v.1, 1994.
50. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto**, NBR 10151. Rio de Janeiro, 1987.
51. HECKL,M. Technische Akustik. Berlim,[198_].
52. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS RENOVÁVEIS. **Resolução N.01 de 11 de fevereiro de 1993**. Estabelece para veículos nacionais e importados, exceto motocicletas, motonetas, ciclomotores, bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados, limites máximos de ruído com veículos em aceleração e na condição de parado.
53. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS RENOVÁVEIS.**Resolução N.02 de 11 de fevereiro de 1993**. Estabelece para motocicletas, motonetas, triciclos, ciclomotores, bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados, nacionais e importados,limites máximos de ruído com o veículo em aceleração e na condição de parado.

ANEXO 1

REGRESSÃO E CORRELAÇÃO

A Regressão e a Correlação, são técnicas estatísticas estreitamente relacionadas que envolvem uma forma de estimação de uma relação que possa existir na população.

Especificamente, a análise da regressão e correlação compreende a análise de dados para mostrar se duas ou mais variáveis estão relacionadas uma com a outra numa população, e como estão relacionadas.

A análise de regressão, tem como resultado final uma equação matemática que descreve o relacionamento entre as variáveis. Esta equação, pode ser utilizada para estimar ou predizer, futuros valores de uma variável, quando são conhecidos ou estimados os valores das outras.

A análise de correlação, resulta em um número que exprime o grau de relacionamento entre duas variáveis, sendo útil em trabalho exploratório, quando o pesquisador procura determinar quais variáveis são potencialmente importantes.

Regressão Linear

A análise de regressão aborda vários procedimentos para verificação da dependência de uma variável dependente em função das variáveis independentes.

O procedimento da regressão simples, ajusta um modelo, relacionando uma variável dependente a uma variável independente, minimizando a soma dos quadrados dos resíduos da linha ajustada, através de quatro modelos: linear, múltipla, exponencial e recíproca.

Neste trabalho, foi utilizado o procedimento de análise de regressão simples, aplicando-se o modelo linear, para situações entre duas variáveis, apenas.

A Equação da Regressão Linear

A equação linear possui duas características importantes que são:

- o coeficiente angular da reta; e
- a cota da reta num determinado ponto.

O modelo estatístico-matemático da regressão linear simples, em sua formulação mais simples, é aquele que relaciona a variável dependente ou variável resposta (y), com uma variável independente ou variável explicativa (x), utilizando uma relação linear, tal como:

$$y = a + bx$$

onde a e b são valores que se determinam com base nos dados amostrais; sendo “ a ” a cota da reta em $x = 0$, e “ b ” o coeficiente angular.

Diagramas de Dispersão

Um dos possíveis modos de se visualizar a existência de correlação entre duas variáveis observadas, é através do diagrama de dispersão em que os valores de uma variável em relação à outra são representados por pontos num sistema cartesiano.

A existência da dispersão, caracteriza a falta de um perfeito relacionamento entre as duas variáveis, existindo por conseguinte, outras variáveis que influenciam os valores da variável dependente.

Coefficiente de Correlação - r -

É uma medida estatística que determina o grau de relação existente entre duas variáveis. Para qualquer conjunto de dados, o valor do coeficiente de correlação r , estará no intervalo $-1 \leq r \leq 1$. O coeficiente de correlação é determinado através da expressão matemática:

$$r = \frac{n\sum(xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n\sum x^2 - (\sum x)^2 \cdot n\sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (1)$$

Tabela A.2.1 - Níveis de ruído e composição de tráfego, medidos na rodovia SC 404

Ponto	Horário de Início da medição (5 min)	Número de veículos Total QT	Número de veículos Leves QL	Número de veículos Pesados QP	L ₁₀ [dB(A)]	L ₉₀ [dB(A)]	L _{eq} [dB(A)]
1.	06:05	120	108	12	71.22	64.20	70.93
2.		156	132	24	67.64	57.05	63.64
3.		216	204	12	73.47	62.67	69.77
4.		228	180	48	70.39	56.29	65.98
5.		228	216	12	68.99	58.14	65.71
6.		276	264	12	72.67	63.	70.67
7.		408	372	36	72	60.85	69.09
8.		420	372	48	71.05	59.24	68.47
9.		432	384	48	72.48	60.72	69.51
10.		444	420	24	71.57	57.47	67.53
11.		456	420	36	73.14	57.98	68.18
12.		468	432	36	71.45	56.65	67.17
13.		480	420	60	70.68	58.58	66.32
14.		492	432	60	72.15	60.55	68.99
15.		504	420	84	72.06	56.66	68.06
16.		564	540	24	70.68	59.17	70.09
17.		576	516	60	73.82	63.6	70.63
18.		588	552	36	70.74	58.52	66.95
19.		672	600	72	72.79	62.7	69.26
20.		696	660	36	72.04	62.64	69.17
21.		864	840	24	72.35	61.95	70.09
22.		900	840	60	71.96	60.12	68.45
23.		912	864	48	71.55	58.85	68.81
24.		1068	1044	24	73.5	60.46	70.82
25.		1104	1080	24	72.06	62.16	70.36
26.		1128	1068	60	75.91	60.61	71.96
27.		1140	1092	48	71.99	60.19	69.01
28.		1200	1164	36	72.45	61.15	69.35
29.		1212	1140	72	74.15	61.66	71.97
30.		1248	1176	72	74.53	61.43	70.94
31.		1284	1188	96	75.84	62.04	72.57
32.		1320	1248	72	72.39	61.89	69.50
33.		1344	1272	72	75.11	60.28	71.55
34.		1344	1284	60	72.75	62.65	70.29
35.		1392	1344	48	72.26	61.66	69.12
36.		1404	1356	48	72.60	60.80	70.05
37.		1416	1308	108	72.74	60.24	69.67
38.		1416	1296	120	74.44	61.54	72.06
39.		1452	1380	72	74.55	62.85	71.20
40.		1452	1380	72	73.80	62.90	70.97
41.		1476	1416	60	72.89	64.99	70.35
42.		1500	1476	24	73.19	63.79	70.61
43.		1572	1488	84	76.42	65.82	73.23
44.		1572	1512	60	74.32	62.92	72.47
45.		1608	1572	36	73.67	64.95	71.19
46.		1608	1560	48	75.14	65.14	72.26
47.		1656	1572	84	74.24	63.34	71.40
48.		1668	1608	60	73.16	62.56	70.09
49.		1704	1656	48	74.11	64.21	71.48
50.		1752	1704	48	73.31	65.41	70.92

Tabela A.2.2 - Níveis de ruído e composição de tráfego, medidos na rodovia SC 401

Ponto	Horário de Início da medição (5 min)	Número de veículos Total QT	Número de veículos Leves QL	Número de veículos Pesados QP	L ₁₀ [dB(A)]	L ₉₀ [dB(A)]	L _{eq} [dB(A)]
51.	06:05	228	168	60	76.17	62.63	72.02
52.		288	204	84	75.06	62.66	70.74
53.		300	204	96	74.61	61.88	70.74
54.		492	396	96	73.28	59.68	69.92
55.		528	396	132	74.26	61.56	70.23
56.		528	420	108	75.71	56.21	71.59
57.		612	540	72	75.46	60.58	71.33
58.		684	576	108	76.74	61.69	72.33
59.		720	588	132	74.36	62.11	70.35
60.		780	696	84	76.48	59.08	72.29
61.		780	660	120	75	62.21	72.23
62.		804	660	144	75.09	61.57	71.73
63.		816	660	156	72.31	56.21	71.09
64.		972	840	132	72.01	56.50	67.93
65.		1044	876	168	77.87	63.27	73.94
66.		1180	1048	132	71.11	55.72	69.63
67.		1212	1092	120	74.01	54.81	69.89
68.		1224	1068	156	71.23	53.13	67.39
69.		1236	1080	156	71.92	55.72	68.67
70.		1248	1020	228	73.5	54.75	70.14
71.		1272	1164	108	76.06	62.66	72.63
72.		1308	1140	168	72.98	60.78	69.61
73.		1332	1154	168	71.84	57.44	68.30
74.		1332	1188	144	73.45	59.75	69.92
75.		1368	1212	156	77.6	64.7	74.06
76.		1368	1212	156	71.68	56.61	68.34
77.		1368	1260	108	72.41	56.21	68.60
78.		1392	1236	156	75.91	59.11	72.25
79.		1404	1248	156	71.98	59.08	69.09
80.		1404	1248	156	77.52	62.43	73.55
81.		1404	1212	192	77.58	63.08	73.18
82.		1404	1260	144	71.31	58.3	68.82
83.		1404	1260	144	76.46	65.76	73.32
84.		1416	1212	204	78.46	66.46	74.90
85.		1440	1236	204	72.71	57.81	69.16
86.		1452	1236	216	73.35	57.92	69.79
87.		1452	1272	180	73.74	59.44	70.06
88.		1452	1284	168	77.37	62.47	73.36
89.		1524	1380	144	72.65	57.75	68.88
90.		1536	1368	168	75.35	61.35	72.12
91.		1548	1368	180	72.28	60.78	69.21
92.		1548	1308	240	73.27	66.70	74.31
93.		1584	1404	180	74.24	60.04	70.52
94.		1584	1452	132	70.65	56.15	67.40
95.		1596	1344	252	77.43	65.73	73.74
96.		1608	1500	108	73.34	58.84	70.07
97.		1668	1452	216	78.10	67.10	75.00
98.		1728	1572	156	72.91	59.71	69.45
99.		1836	1668	168	75.06	63.96	71.76
100.		1872	1716	156	72.42	59.45	68.99

Tabela A.2.3 - Níveis de ruído e composição de tráfego, medidos na rodovia BR 101

Ponto	Horário de Início da medição (5 min)	Número de veículos Total QT	Número de veículos Leves QL	Número de veículos Pesados QP	L ₁₀ [dB(A)]	L ₉₀ [dB(A)]	L _{eq} [dB(A)]
101.	06:05	540	252	288	79.24	64.24	75.20
102.		552	276	276	75.48	58.27	70.41
103.		588	276	312	74.61	56.45	69.89
104.		648	360	288	73.91	56.61	69.52
105.		684	300	384	76.35	58.29	71.63
106.		696	480	216	79.19	64.22	74.57
107.		696	468	228	77.92	64.40	73.34
108.		696	420	276	75.59	59.36	71.16
109.		720	396	324	73.15	56.20	69.18
110.		732	252	480	76.73	56.96	71.59
111.		732	480	252	75.81	57.74	71.19
112.		756	432	324	75.85	57.74	73.34
113.		768	396	372	75.04	57.06	70.99
114.		768	612	156	78.12	62.72	74.23
115.		792	492	300	74.35	56.61	69.85
116.		804	696	180	76.94	58.14	72.58
117.		816	564	252	74.57	58.92	70.43
118.		816	456	360	73.41	53.72	69.85
119.		816	480	336	75.48	58.48	70.76
120.		816	492	324	74.65	57.75	70.01
121.		840	540	300	75.37	58.63	70.75
122.		840	480	360	74.55	57.61	69.91
123.		852	564	288	78.55	61.65	74.24
124.		864	528	336	79.13	62.03	74.55
125.		864	696	168	76.67	62.35	72.77
126.		864	540	324	79.25	60.35	74.62
127.		864	468	396	75.84	57.41	71.36
128.		864	552	312	75.35	56.15	71.27
129.		876	540	336	76.84	59.10	74.51
130.		876	528	348	76.47	59.47	72.37
131.		888	540	348	74.41	54.22	70.23
132.		900	624	276	79.11	64.51	74.95
133.		912	516	396	79.91	62.40	75.58
134.		924	708	216	77.06	58.16	72.51
135.		924	612	312	78.92	61.02	74.61
136.		924	696	228	77.82	60.42	73.58
137.		936	684	252	79.31	64.51	75.42
138.		936	516	420	75.85	57.41	71.22
139.		948	708	240	78.48	62.38	74.01
140.		948	624	324	78.12	63.12	74.15
141.		948	600	348	76.01	58.51	72.90
142.		984	720	264	77.66	60.76	73.43
143.		984	660	324	74.65	56.21	70.47
144.		984	660	324	75.15	56.22	70.55
145.		996	708	288	74.71	55.32	70.34
146.		1008	600	408	76.01	58.81	71.82
147.		1068	684	384	79.71	64.21	75.45
148.		1116	648	468	76.38	60.28	72.22
149.		1128	612	516	76.55	57.75	72.22

ANEXO 3

Normas e Legislações Sobre Ruído de Tráfego

Em função do crescimento acelerado da frota veicular circulante, nas últimas décadas, o problema do ruído de tráfego tem se agravado significativamente, de modo que vários estudos tem sido executados nesta área específica, priorizando a necessidade da sua redução, e impulsionando cada vez mais a necessidade de pesquisa e desenvolvimento tecnológico avançado. Por esta razão, inúmeras são as legislações que tem surgido internacionalmente regulamentando os limites máximos permissíveis, restringindo-os paulatinamente, principalmente nos países com cidades de alta densidade demográfica e grande volume de tráfego.

É interessante notar, também, que neste intercurso muitos esforços de combate ao ruído de tráfego, tem surgido nestes últimos anos. Primeiro, tem-se notado o esforço alcançado pelos fabricantes no sentido de satisfazer seus clientes quanto ao nível interno de ruído. Este trabalho tem de fato, conduzido a uma notável redução dos níveis de ruído externo.

Desde que haja uma conscientização de que a luta contra o ruído de tráfego urbano, é um problema de interesse geral e de qualidade de vida, é normal que a redução destes níveis sejam exigidos pela legislação pertinente e, uma vez estabelecidos os padrões, as autoridades competentes devem fazê-los cumprir.

Por isso, nos últimos anos autoridades de vários países, movidos pelas reações comunitárias, decidiram aumentar a pressão sobre os fabricantes, reduzindo ainda mais os níveis limitados de emissão de ruído, mantendo diferenças entre cada categoria.

Afirma-se, no entanto, que é inútil ou inconveniente a imposição de pesadas obrigações sobre os fabricantes, quando a mesma legislação continua a se mostrar tolerante aos condutores que negligenciam a manutenção dos seus veículos ou que modificam o seu projeto original por “peças esportivas”, ou os dirigem perigosamente, desacatando a legislação.

NEPOMUCENO, citado por CARLO^[33], criticando a lei sobre sons urbanos na cidade de São Paulo, disse: “mais uma lei política, pois estabelece os níveis máximos de barulho que permitirá na cidade saber como eles são hoje em dia”.

III.1 - Normas e Legislação Brasileiras Sobre Ruído Veicular

Praticamente, a Legislação sobre o ruído de tráfego no Brasil, iniciou-se com a Portaria baixada pelo Imperador D. Pedro I em 1825, em que expressava ao intendente da polícia no Rio de Janeiro “as mais terminantes ordens proibindo a incômoda chiadeira dos carros dentro da cidade”. Sucederam-se, depois, diversas outras leis sobre ruídos, tais como os Decretos-Lei 1259 de 09/05/1939 e 3688 de 05/10/1941, conhecidos como Lei das Contravenções Penais, o qual definia contravenção, como o ato de perturbar alguém com ruídos (BARBOSA, W. A.)^[12]

No Brasil, a preocupação com o ruído iniciou em 1990, quando algumas cidades, principalmente São Paulo, iniciaram um grande esforço no sentido de reduzir os níveis de emissão de ruídos.

Antes porém desta data, no que se referia às emissões de sons e ruídos relacionados à veículos nacionais, a Resolução CONTRAN No. 448 de 14 de outubro de 1971, era aplicada, permanecendo até o estabelecimento das Resoluções 01 e 02 do CONAMA, de 11 de fevereiro de 1993^[52,53], as quais estabelecem novos limites de níveis de ruído para veículos automotores nacionais e importados, tendo entradas em vigor a partir de 01 de janeiro de 1994, a Resolução no. 01, para no mínimo 20% dos veículos produzidos, e 01 de julho de 1994, a Resolução No. 02, para todos os novos lançamentos em 01 de janeiro de 1996, para no mínimo 60% dos veículos produzidos.

A ABNT, tem adotado, como em outros países, os procedimentos estabelecidos pela ISO 362/81.

a) NBR 8433/84 - Dispõe sobre: Ruído Emitido por Veículos em Aceleração.

Esta norma, equivale tecnicamente a ISO 362/81.

Tabela A.3.1 - Limites máximos de ruído emitido por veículos em aceleração, conforme NBR - 8433/84.

CATEGORIA		NÍVEL DE RUÍDO (dB(A))			
DESCRIÇÃO		OTTO	DIESEL		
			INJEÇÃO DIRETA	INJEÇÃO INDIRETA	
A	Automóvel e veículo de uso misto derivado de automóvel	77	78	77	
B	Veículos de passageiros até 9 lugares; veículo de carga; camioneta de uso misto não derivada de automóvel e utilitário	PBT até 2000kg	78	79	78
		PBT acima de 2000Kg e até 3500Kg	79	80	79
C	Veículo de passageiro com mais de 9 lugares e PBT acima de 3500kg	Potência máxima abaixo de 150kw (204CV)	80	80	80
		Potência máxima igual ou superior a 150kw (204CV)	83	83	83
D	Veículo de carga com PBT acima de 3500kg	Pot. Máx. < 75 kw (102 CV)	81	81	81
		Pot. Máx. > 75kw e < 150 kw (204 CV)	83	83	83
		Pot. Máx. > 150kw (204 CV)	84	84	84

FONTE: IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
Resolução CONAMA No. 01 de 11/02/93[52,54]

Tabela A.3.2 - Limites máximos de ruído com o veículos em aceleração, conforme NBR - 8433/84.

CATEGORIA	NÍVEL DE RUÍDO 1ª. FASE dB(A)	NÍVEL DE RUÍDO 2ª. FASE dB(A)
Até 80 cm ³	77	75
81cm ³ a 125cm ³	80	77
126cm ³ a 175cm ³	81	77
176cm ³ a 350cm ³	82	80
Acima de 350 cm ³	83	80

FONTE: IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
Resolução CONAMA No. 01 de 11/02/93[52,54]

1) NBR 9714/87 - Dispõe sobre: Ruído Emitido por Veículos Parados.

Esta norma, equivale tecnicamente a ISO 5132/82.

Atualmente, alguns estados e municípios brasileiros já possuem sua própria legislação, cujo bojo faz referência ao ruído de veículos auomotores, além de outros ruídos urbanos. Dentre estes, os seguintes são citados:

- a) São Paulo - Lei Municipal n. 11.501 - de 11/04/94;
- b) Santa Catarina - Legislação Ambiental Básica do Estado - Lei Estadual 5.7993 de 15/10//80;
- c) Porto Alegre- Lei Municipal n. 65 - de 22/12/81;
- d) Maranhão - Lei Estadual n. 5.715, 11/06/93;
- e) Curitiba - Lei Municipal n. 8.583 , de 10/10/95;
- f) Florianópolis - Lei Municipal n. 4.831, de 05/01/96;
- g) Belo Horizonte - Lei Municipal n. 4.035/85

III.2 - Normas e Legislações Internacionais Sobre Ruído Veicular

- a) ISO 362/81 - Medição de Ruído Emitido por Veículos em Aceleração.

Os procedimentos abordados nesta norma, visam fornecer os índices de emissão de ruídos que reflitam a natureza irregular do fluxo de tráfego urbano. O cerne do método, consiste no desenvolvimento de componentes e veículos menos ruidosos, além da certificação e homologação dos níveis emitidos.

- b) ISO 5132/82 - Medição de Ruído Emitido por Veículos Parados.

Esta norma determina o método para medição dos níveis de emissão de ruído nas proximidades do motor e escapamento, buscando determinar o nível de ruído na condição parado, para veículos em uso, bem como para certificação e homologação para veículos novos. Ademais, esta norma determina variações no nível de ruído emitido pelos componentes de estrutura veicular, sob ensaio.

III.3 - Situação em Outros Países

- a) **Estados Unidos** - nos meados dos anos 60, a regulamentação começa a surgir, através do desenvolvimento da Prática Recomendada SAE - J 986, e dois anos após (1969), foi aprovada a Prática Recomendada SAE - J366, para medição de níveis sonoros de ônibus e caminhões pesados, revisando-se posteriormente (1970) a Prática Recomendada SAE - J 986, passando a

aprovação da Prática Recomendada SAE - J 1470, tendo sido revisada e aprovada em março/94, sendo esta uma versão da ISO 362/81,

b) Comunidade Econômica Européia - CEE

Esta tem incorporado a ISO 363/81, e ISO 5132/82, regulamentando o nível de emissão de ruído de veículos automotores, através da Diretiva 92/97 EEC de nov/92.

Os limites de níveis de emissão de ruído vigentes na CEE, para certificação de veículos montados sobre quatro ou mais rodas, em aceleração são mostrados nas Tabelas A.3.3 e A.3.4.

c) Austrália

As normas e regulamentos australianos, em suas essências, não diferem da legislação da C.E.E. Que utiliza a ISO 362/81 e a ISO 5132/82. Salvo quanto à classe de categorias e limites máximos de emissão de ruídos, e pelo estabelecimento de limites de níveis de emissão sonora, para veículos na condição de parado.

Os limites máximos de níveis de emissão de ruído das principais categorias de veículos, para certificação, homologação e fiscalização nas condições de aceleração e parados, são apresentados nas Tabelas 2.7 e 2.8.

d) Ásia

Os países asiáticos, adotam as normas ISO 362/81 e a ISO 5132/82.

e) Inglaterra

Utiliza a regulamentação BS-3425/66 que é tecnicamente equivalente à ISO 362/81 e a ISO 5132/82.

f) França

A NFS, adota a NF 31-010/74 que é tecnicamente equivalente à ISO 362/81 e a ISO 5132/82.

Vê-se, pois, que as normas de controle de ruído, não estão limitadas nas suas aplicações apenas para atividades puramente industrial. O controle do ruído industrial e o comunitário, ambos, tem sido em grande parte um assunto de legislação.

Diante do comportamento humano, atual, considerado por muitos, como irreverente, contagiante e ambicioso, pode-se esperar qualquer redução significativa dos níveis de ruído como consequência destes limites, dentro dos próximos 10 ou 15 anos?

A tendência dos últimos anos é muito clara, pois, alguma redução dos níveis de emissão de ruído, tem sido obtida, todavia, muitos veículos pesados da presente geração, necessitarão de algum tipo de enclausuramento do motor, para atingir os limites propostos, mostrados na Tabela 2.9, para limites de nível de ruídos conforme legislações atuais e futuras, de alguns países, dentre eles, o Brasil.

Tabela A.3.3 - Limites de níveis de emissão de ruído, para certificação de veículos dotados de quatro ou mais rodas na CEE

CATEGORIA	NÍVEL dB(A)
1. Veículos de passageiros até 9 lugares, incluindo o assento do motorista	77
2. Veículos de passageiros com mais de 9 lugares, incluindo o motorista, com PBT superior a 3,5t:	
a) com potência inferior a 150Kw (204cv)	80
b) com potência igual ou superior a 150Kw (204cv)	83
3. Veículos de passageiros equipados com mais de 9 lugares, incluindo o motorista, e veículos de carga:	
a) com PBT inferior ou igual a 2,0t	78
b) com PBT superior a 2,0t e igual ou inferior a 3,5t.	79
4. Veículos de carga com PBT superior a 3,5t:	
a) com potência inferior a 75Kw (102cv)	81
b) com potência igual ou superior a 75Kw (102cv) e inferior a 150 Kw (204cv)	83
c) com potência igual ou superior a 150Kw (204cv)	84

FONTE[38]

Tabela A.3.4 - Limites de níveis de emissão de ruído, para certificação de motocicletas em aceleração, na C.E.E.

CATEGORIA	NÍVEL DE RUÍDO dB(A)
até 80 cm ³	78
acima de 80 cm ³ até 125 cm ³	80
acima de 125 cm ³ até 350 cm ³	83
acima de 350 cm ³ até 500 cm ³	85
acima de 500 cm ³	86

FONTE[38]

Tabela A.3.5 - Limites para certificação e fiscalização de veículos dotados de quatro ou mais rodas na Austrália

CATEGORIA	LIMITES DE RUÍDO EM ACELERAÇÃO dB(A)		LIMITES DE RUÍDO NA CONDIÇÃO dB(A)			
	MOTORES DIESEL	IGNIÇÃO POR CENTELHA	MOTORES DIESEL			
			ALTURA DO ESCAPAMENTO			
			ATÉ 1500 mm	ACIMA 1500 mm	ATÉ 1500 mm	ACIMA 1500 mm
VEÍCULOS DE PASSAGEIROS	78	77	90	90	90	90
ÔNIBUS LEVES						
- GVM inferior a 2 t	79	78	89	85	99	95
- GVM igual ou superior a 3,5 t e inferior a 5 t	80	79	89	85	99	95
* potência inferior a 150 kW (204 CV)	80	80	95	91	101	97
* potência igual ou superior a 150 KW (204 CV)	83	83	95	91	101	97
ÔNIBUS PESADOS						
- GVM igual ou superior a 5 t e inferior a 12 t						
* potência inferior a 150 kW (204 CV)	80	80	95	91	101	97
* potência igual ou superior a 150KW (204 CV)	83	83	95	91	101	97
- GVM igual ou superior a 12 t						
* potência inferior a 150 kW (204 CV)	80	80	95	91	103	99
* potência superior ou igual a 150KW e inferior a 270 KW (367 CV)	83	83	95	91	103	99
* potência superior ou igual a 270KW (367 CV)	86	86	95	91	103	99

Fonte: [38]

Tabela A.3.6 - Limites para certificação e fiscalização de veículos dotados de quatro ou mais rodas na Austrália

CATEGORIA	LIMITES DE RUIDO EM ACELERAÇÃO		LIMITES DE RUIDO NA CONDIÇÃO dB(A)			
	MOTORES DIESEL	IGNIÇÃO POR CENTELHA	ALTURA DO ESCAPAMENTO			
			MOTORES DIESEL		MOTORES DIESEL	
			ATÉ	ACIMA	ATÉ	ACIMA
		1500 mm		1500 mm		
CAMINHÕES LEVES						
- GVM inferior a 2 t	79	78	89	85	99	95
- GVM igual ou superior a 2 t e inferior a 3,5 t	80	79	89	85	99	95
CAMINHÕES MÉDIOS						
- GVM igual ou superior a 3,5 t e inferior a 12 t						
* potência inferior a 75 kW (102 CV)	81	81	95	91	101	97
* potência igual ou superior a 75KW (102 CV) e inferior a 150KW(204CV)	83	83	95	91	101	97
* potência igual ou superior a 150KW (204 CV)	84	84	95	91	101	97
CAMINHÕES PESADOS						
- GVM igual ou superior a 12T						
* potência inferior a 75 kW (102 CV)	81	81	95	91	103	99
* potência igual ou superior a 75KW (102 CV) e inferior a 150KW(204CV)	83	83	95	91	103	99
* potência igual ou superior a 150KW (204 CV) e inferior a 270KW (367CV)	84	84	95	91	103	99
* potência igual ou superior a 270kW (367 CV)	87	87	95	91	103	99

Fonte: [38]

Tabela A.3.7 - Limites de níveis de emissão de ruído em dB(A) de legislações presentes e futuras de alguns países

	M O P E D S	MOTOCICLETAS E MOBILETES			TRICICLOS	CARROS DE PASSAGEIROS	CAMINHÕES (PBT)		
		DESLOCAMENTO					≤ 3,5t	> 3,5t (< 150 kw)	> 3,5t (≥ 150 kw)
		≤ 80 cm	80 a 175cm	< 175cm					
CEE	73	77	79	82	85	77	79	83	84
CEE (1995)	-	75 (1993)	77	80 (1993)	-	74	77	78	80
JAPÃO	-	75			-	78	78	83	83
BRASIL (1997)		81			-	77	79	83	84
COREA	-	50 ^a 125cm	>125cm						
		73	76		-	77	79	83	74
COREA (1996)	-	71	74		-	75	77	81	82
							PAYLOAD		
CHINA	77	84			-	82	≥ 3,5 t	3,5 - 8,0t	> 8,0 t
		80			80	82	84	86	89
ÍNDIA							< 4,0t	4,0 - 12t	≥ 12 t
							85	89	91

FONTE: Anais II Simpósio Brasileiro de Acústica, Veicular - SIBRAV - São Paulo, 1993.

Tabela A.3.8 - Limites máximos de ruído emitido por veículos em aceleração, conforme NBR-8433/84.

CATEGORIA		NÍVEL DE RUÍDO dB(A)			
DESCRIÇÃO		OTTO	DIESEL		
			Injeção Direta	Injeção Direta	
a)	Automóvel e veículo de uso misto derivado de automóvel	77	78	77	
b)	Veículo de passageiros até nove lugares, veículo de carga, caminhoneta de uso misto não derivada de automóvel e utilitário.	PBT até 2000 kg	78	79	78
		PBT acima de 2000 kg e até 3500 kg	79	80	79
c)	Veículo de passageiros com mais de nove lugares e PBT acima de 3500 kg.	Potência Máxima abaixo de 150 KW (204CV)	80	80	80
		Potência Máxima igual ou superior a 150 KW (204CV)	83	83	83
d)	Veículo de carga com PBT acima de 3500 kg.	Potência Máxima abaixo de 75 KW (102CV)	81	81	81
		Potência Máxima entre 75 KW (102CV) e 150 KW (204CV)	83	83	83
		Potência Máxima igual ou superior a 150 KW (204CV)	84	84	84

FONTE ^[38]