

FERDINANDO DE SOUZA QUADROS

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL GERADO
POR VEÍCULO DE UTILIDADE PÚBLICA
ESTUDO DE CASO:
CAMINHÃO DE COLETA DE RESÍDUOS DOMICILIAR**

CURITIBA

2004

FERDINANDO DE SOUZA QUADROS

AVALIAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL GERADO
POR VEÍCULO DE UTILIDADE PÚBLICA
ESTUDO DE CASO:
CAMINHÃO DE COLETA DE RESÍDUOS DOMICILIAR

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. –Ing. Paulo Henrique Trombetta Zannin

CURITIBA

2004

1. E...
L...
R\$ 15,00
08/07/05

PRO0115023

BC/HUFPR - MEMORIA UNIVERSIDADE F. DO PARANA
AUTOR
R\$ 15,00 - Doacao
Termo No. 338/05 Registro: 376.417
01/08/2005

UFPR - Sistema de Bibliotecas

Quadros, Ferdinando de Souza
Avaliação do ruído ambiental gerado por veículo de utilidade pública estudo de caso: caminhão de coleta de resíduos domiciliar.
- Curitiba, 2005.
144 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Trombetta Zannin
Dissertação (Mestrado) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
Inclui Bibliografia.

1. Ruído veicular. 2. Ruído ambiental. 3. Ruído - Emissão.
4. Ruído urbano. 5. Avaliação sonora ambiental. I. Zannin, Paulo Henrique Trombetta. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 620.23

TERMO DE APROVAÇÃO


FERDINANDO DE SOUZA QUADROS

AVALIAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL GERADO POR VEÍCULO DE UTILIDADE PÚBLICA ESTUDO DE CASO: CAMINHÃO DE COLETA DE RESÍDUOS DOMICILIAR

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia Mecânica, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Banca Examinadora:


Prof.ª Dr.ª Maria Lucia Leite Ribeiro Okimoto
PG-MEC / UFPR


Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger
CEFET-PR


Prof. Dr. Paulo Henrique Trombetta Zannin
PG-MEC / UFPR
Presidente

Curitiba, 16 de dezembro de 2004

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa
Maria Aparecida de Miranda Quadros

AGRADECIMENTOS

Aos meus filhos Marlon Fernando Miranda Quadros e Bruno Miranda Quadros, pelo exemplo, disciplina e incentivo aos anos de estudo. A minha esposa Maria Aparecida de Miranda Quadros, pelo carinho, amor e compreensão nos momentos de ausência.

Aos meus colegas de trabalho, que sempre acreditaram e incentivaram minhas idéias acadêmicas.

Agradeço a CAVO – Serviços e Meio Ambiente S.A na pessoa do Sr. Merlino Prestes Júnior, Gerente Regional Sul, pela concordância da pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. –Ing. Paulo Henrique Trombetta Zannin, a quem admiro muito, não só como profissional, mas também como pessoa, pelo seu voto de confiança em minhas idéias de pesquisa, pela disposição e transmissão de seus sábios conhecimentos.

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

RESUMO

Esta pesquisa apresenta e discute as medições do ruído gerado por veículos de coleta de resíduos domiciliar realizado na cidade de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil, suas análises e possibilidade de redução. O caminhão analisado é um veículo diesel semi-pesado acoplado com equipamento coletor compactador de lixo. Será avaliado o ruído gerado para o meio ambiente e comparados os resultados com as recomendações domésticas e internacionais. Um estudo observado para medir o ruído ambiental na cidade de Curitiba, usando um analisador de ruído (Brüel & Kjaer) modelo 2238, realizado com a seguinte configuração: tempo de resposta rápido, medindo o nível de pressão em decibéis na curva de ponderação A, no período de março a agosto de 2004, com o conhecimento e consentimento das equipes de trabalho do veículo de coleta de resíduos domiciliar. Com os valores dos níveis de ruído gerado pelo veículo de coleta de resíduos domiciliar nos setores de trabalho dos mesmos, foi feita uma comparação utilizando-se o software Sound Plan com valores referenciais estabelecidos pela lei municipal n.º 10625/2002 que determina níveis admissíveis de ruído urbano, pela NBR 10151 (Junho 2002) e pelo Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos Estados Unidos (HUD), que classifica a qualidade acústica de uma área residencial em função de níveis de ruído. Estas comparações permitiram então que as referidas áreas urbanas pudessem ser classificadas em relação à poluição sonora ambiental. Os resultados do ruído encontrados estão acima do recomendado pela literatura durante os períodos examinados. Assim, as pessoas nestes setores estão expostas a ruídos excessivos, nocivos à saúde segundo a O.M.S.

Palavras-chave: Ruído Ruído veicular, Emissão de ruído, Avaliação sonora ambiental.

ABSTRACT

This research presents and discusses the measurements of the noise generated by garbage collector trucks, carried out in Curitiba, Paraná State, Brazil, their analyses and reduction possibility. The monitored truck is a semi-heavy vehicle equipped with a collector-compactor garbage system. It evaluates the noise generated to environment and compares the results to the International Domestic Standards. An study observed for measuring the environmental noise in Curitiba City, Paraná State, Brazil, using a noise analyzer (Brüel & Kjaer) model 2238, carried out with the following configuration: Fast answer time, measuring the pressure level in dB(A), from March to August, 2004, afterwards using the 7820 software. It was carried out with a permission and knowledge of the collector garbage vehicle team. The results obtained at the sectors were compared to City-Law nº 10625/2002 which determines the urban noise level permissible by NBR 10151 (June 2002) and by the US Department of Housing and Urban Development (HUD), that classifies the acoustic quality of a residential area at the noise level function. So these comparisons permitted that these referred urban areas could be classified regarding sound environmental pollution. The noise level found in these areas is well above to those recommended by the specific literature, during the periods that were carried out, so people at these sectors are exposed to excessive noise which is harmful to health, according to OMS.

Key-words: Vehicle noise, Emission at noise, Environment pollution avaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	A escala decibel	24
Figura 2:	Curvas de mesma audibilidade	25
Figura 3:	Curvas de ponderação A, B e C	26
Figura 4:	A propagação	40
Figura 5:	Fontes de ruído veicular	57
Figura 6:	(a, b, c, d, e, f) : Modelos de sistemas de compactação	58
Figura 7:	Funcionamento do compactador	59
Figura 8:	Tipos de ciclos de compactação	59
Figura 9:	Tipos de tomada de força	60
Figura 10:	Funcionamento da aceleração automática	61
Figura 11:	Fases de funcionamento do sistema de compactação de 2 placas	62
Figura 12:	Diagrama de conexão de instrumentos com o computador	79
Figura 13:	Setor 81 diurno – sem caminhão	86
Figura 14:	Setor 81 diurno – com caminhão	89
Figura 15:	Setor 81 diurno – mapa de conflito	90
Figura 16:	Setor 77 diurno – sem caminhão	92
Figura 17:	Setor 77 diurno - com caminhão	95
Figura 18:	Setor 77 diurno – mapa de conflito	97
Figura 19:	Setor 17 noturno – sem caminhão	98
Figura 20:	Setor 17 noturno - com caminhão	101
Figura 21:	Setor 17 noturno – mapa de conflito	102
Figura 22:	Setor 81 diurno – mapa de seleção	103
Figura 23:	Setor 77 diurno – mapa de seleção	104
Figura 24:	Setor 17 noturno – mapa de seleção	106
Figura 25:	Gráfico estatístico	107
Figura 26:	Gráfico estatístico	108
Figura 27:	Gráfico estatístico	109
Figura 28:	Caminhão VW 17.220 (6X2)	134
Figura 29:	Caminhão FC 1617 (4X2)	134
Figura 30:	Fotos aéreas do setor 77 diurno	135
Figura 31:	Fotos aéreas do setor 17 diurno	136

Figura 32: Fotos aéreas do setor 81 diurno	137
Figura 33: Mapa setor 77	138
Figura 34: Mapa setor 17	139
Figura 35: Mapa setor 81	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Tabela de conversão para as curvas de ponderação A, B e C	27
Tabela 2:	Nível de critério de avaliação nca para ambientes externos, em dB(A)	44
Tabela 3:	Nível de Potência Sonora	64
Tabela 4:	Dados geográficos da Cidade de Curitiba	67
Tabela 5:	Pontos e medições do setor 77	73
Tabela 6:	Pontos e medições do setor 17	74
Tabela 7:	Especificações técnicas do caminhão VW 17-220 (6X2)	125
Tabela 8:	Especificações técnicas do compactador USIMECA E280-HD	128
Tabela 9:	Especificações técnicas do caminhão Ford Cargo 1617 (4x2)	129
Tabela 10:	Especificações técnicas do compactador Usimeca EZC –200/20	132

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

λ	Comprimento de onda
χ	Constante que depende dos gases (1,4 para o ar)
μPa	Micropascals
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
c	velocidade do som no ar
CAD	Computer Aided Designer
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
dB	Decibel
dB(A)	Decibel (escala A)
dB(NPS)	Decibel (Nível de pressão sonora)
f	freqüência do som
Hz	Hertz
I	Intensidade sonora
I_0	Intensidade sonora de referência
L_{10}	Nível de pressão sonora equivalente L_{10}
L_{90}	Nível de pressão sonora equivalente L_{90}
L_{eq}	Nível de pressão sonora equivalente
L_{FMax}	Nível Máximo de pressão sonora
L_{FMin}	Nível mínimo de pressão sonora
Log	Logaritmo base 10
N/m^2	Newton por metro quadrado
NPS	Nível de Pressão Sonora
p	Pressão sonora
p_0	Pressão sonora de referência
R	Constante dos gases (8,31 J / k mol)
r	Distância fonte – receptor
RLS-90	Richtlien fuer Laerbekaempfung an Strassen
T	Temperatura absoluta do gás (K)
W	Potência sonora da fonte A

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 CONCEITOS FÍSICOS DO SOM.....	21
2.1.1 Curvas de Mesma Audibilidade.....	25
2.1.2 Curvas de Ponderação.....	26
2.1.3 Níveis de Intensidade Sonora – NI.....	28
2.1.4 Nível de Pressão Sonora – NPS.....	29
2.1.5 Nível de Potência Sonora – NW.....	30
2.1.6 Nível equivalente de pressão sonora, L_{eq}	30
2.1.7 Níveis estatísticos de ruído, L_n	31
2.1.8 Cálculo da potência sonora pelo método da pressão sonora.....	32
2.2 RUÍDO GERADO PELO TRÁFEGO.....	32
2.3 NÍVEIS SONOROS PARA RUÍDO DO TRÁFEGO.....	34
2.3.1 Nível de Poluição Sonora.....	34
2.3.2 Nível Equivalente para o Ruído do Tráfego Rodoviário.....	35
2.4 NORMAS, CRITÉRIOS E LEGISLAÇÃO MUNICIPAL.....	36
2.4.1 Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.....	36
2.4.2 Redução de ruído nas estradas.....	37
2.4.3 A Organização Mundial de Saúde – OMS.....	41
2.4.4 A Legislação Municipal – Lei No. 10.625/2002.....	42
2.4.5 Ruído em comunidade – NBR 10151 (Junho/2000).....	43
2.4.6 Critérios para áreas residenciais.....	44
2.5 EFEITOS SOBRE A SAÚDE E BEM ESTAR DAS PESSOAS.....	45

2.5.1 Efeitos indiretos do ruído _____	46
2.5.2 Efeitos diretos do ruído _____	48
2.5.3 Suscetibilidade e exposição ao ruído _____	50
2.5.4 Mudança temporária do limiar auditivo _____	51
2.5.5 Mudança permanente do limiar auditivo _____	52
2.5.6 Perda auditiva induzida pelo ruído _____	53
2.6 CONTROLE DO RUÍDO NA FONTE.....	56
2.7 PRINCIPAIS FONTES DE RUÍDO VEICULAR	57
2.7.1 Veículos de utilidades públicas – Norma Alemã RLS-90 _____	62
3 MATERIAIS E MÉTODO	65
3.1 METODOLOGIA.....	65
3.1.1 Etapas da Pesquisa _____	65
3.2 LOCAL DE ESTUDO E CAMINHÕES UTILIZADOS	66
3.2.1 A cidade de Curitiba _____	66
3.2.2 Local e condições para as avaliações _____	68
3.2.3 Escolha dos caminhões _____	69
3.3 ATIVIDADES ROTINEIRAS DA COLETA DE LIXO	70
3.3.1 Organização do Trabalho _____	70
3.3.2 Dificuldades encontradas nos setores _____	71
3.3.3 Sazonalidade do Volume _____	71
3.4 PONTOS DE MEDIÇÕES	72
3.4.1 Avaliação Ambiental _____	75
3.5 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MEDIÇÃO	75
3.5.1 Analisador de Ruído _____	75
3.5.2 Medidor de pressão sonora _____	76
3.5.3 Calibrador Acústico _____	76
3.6 PROGRAMA PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL	77
3.7 MODELAGEM DOS TERRENOS/UTILIZAÇÃO DO SOUND PLAN	79
3.7.1 Procedimento de modelação do programa. _____	80
3.7.2 Inserção das Fontes Sonoras _____	82
3.7.3 Cálculo do volume de tráfego _____	83

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	84
4.1 AVALIAÇÃO AMBIENTAL	84
5 CONCLUSÕES.....	111
5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	114
REFERÊNCIAS.....	115
APÊNDICE.....	125
ANEXO 1 - CAMINHÃO COMPACTADOR – DADOS TÉCNICOS.....	133
ANEXO 2 – FOTOS AÉREAS DOS SETORES ESTUDADOS	134
ANEXO 3 – MAPAS DOS SETORES ESTUDADOS	137
ANEXO 4 – PLANILHAS EXCEL	140

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma introdução do assunto a ser tratado, os objetivos, geral e específicos e a organização do estudo, contendo a delimitação do tema a ser pesquisado.

O meio ambiente vem sendo constantemente agredido por níveis crescentes de ruído e neste sentido tem o cidadão direito à proteção contra o mesmo.

O ruído como um fator indesejável nas nossas vidas vem recebendo mais atenção. A ênfase crescente sobre a poluição do ar, poluição de água e a qualidade do meio ambiente em geral, criou a necessidade de se examinar o ambiente (ruidoso) do homem. O aumento de interesse por controle de ruído tem se refletido em vários Estados (Ação para contenção de ruído) e leis bem como no plano Federal através do "Noise Control Act" de 1972. Isto dá maior ênfase sobre a modificação para redução do ruído. O conhecimento científico tem acelerado o controle sobre o nível de ruído dos produtos. Os consumidores desejam que sempre sejam criadas demandas por produtos mais silenciosos. Assim sendo, uma legislação mais moderna tem aumentado a ênfase sobre máquinas silenciosas.

Como resultado do aumento do interesse por máquinas mais silenciosas, novos procedimentos, métodos e aprimoramentos dos produtos e produção de produtos com baixo nível de ruído têm se desenvolvido com o passar dos anos. Assim, estes novos métodos são expandidos e reprimidos. Há a necessidade de educar e fazer desenvolver e disponibilizar este conhecimento àqueles que devem projetar, desenvolver e vender um novo produto.

Um produto específico a ser considerado neste trabalho são os veículos de utilidade pública, tais como o veículo de coleta de resíduos domiciliares. As muitas versatilidades que os fizeram tão populares também os fizeram importantes ao impacto do ruído por eles gerado para o meio ambiente. O ruído gerado por veículos de utilidade pública, tais como os caminhões de lixo, atinge muitas pessoas; assim sendo, é lógico estudar este barulho na fase inicial de um programa sonoro ambiental.

O propósito deste estudo é avaliar o ruído gerado pelo veículo de coleta de resíduos domiciliares na cidade de Curitiba, visando ao conforto da comunidade e sua posterior comparação com os níveis máximos estabelecidos pela legislação.

Antes do nascimento, o ser humano já recebe a influência de sons e vozes. Sons familiares, suaves, tranquilizam, já ruídos de diferentes intensidades assustam, causam medo. A audição é o sentido que possibilita o aprendizado da língua, abrindo ao homem o mundo, através da qual ele aprende a entender. O conhecimento e as experiências são acumuladas, idéias e opiniões trocadas. Para a maioria das pessoas, ouvir é algo muito natural. Quem já não parou para pensar que a audição é o nosso mecanismo de percepção mais sensível? Mesmo quando dormimos, o nosso ouvido permanece alerta, ele não pode ser desligado. (ZANNIN, 2002).

A poluição sonora é hoje, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas.

Segundo Zannin (2002), o relaxamento e o descanso sofrem em especial com condições de exposição ao ruído. Níveis de pressão sonora da ordem de 30 dB(A) podem ser tomados já como inoportunos e incomodativos. E, para buscar o

equilíbrio frente aos distúrbios resultantes, seria necessário um longo período de descanso, sono profundo associado a um longo período de sono, (MASCHKE, 1999). Mas justamente aqui encontramos outro grave problema que ao contrário do ruído industrial aparece também no período noturno: o ruído de tráfego.

O rápido aumento do número de veículos motorizados tem causado um sensível aumento do número de reclamações da população em relação ao ruído gerado nas cidades de médio e grande portes. Estudos realizados em várias cidades do mundo têm revelado que o ruído de tráfego é o maior contribuinte para os níveis registrados e a maior causa de incomodidade em áreas urbanas.

Um levantamento feito nos Estados Unidos (GRIFFITHS e LANGDON, 1968), mostrou que 46% das pessoas entrevistadas manifestaram-se incomodadas pelo ruído urbano, 86% destes apontando o ruído de tráfego como maior causa de incômodo. Uma pesquisa semelhante realizada na cidade de Londres (ROTT, 1985) apontou também o ruído de tráfego rodoviário como sendo a maior causa de embaraço para as pessoas localizadas tanto nas suas residências, nas ruas, como no trabalho.

Estudos similares realizados em outras capitais e países europeus, indicam as mesmas tendências. Em estudo realizado por Reelster na cidade de Copenhague, verifica-se que os habitantes de áreas ruidosas figuram numa percentagem maior de consultas médicas e de internações, e usaram também uma quantidade média de medicamentos (tranqüilizantes) maior do que aqueles que residiam em áreas não ruidosas. (GERGES, 2000).

No Brasil, os resultados devem, sem dúvida, ser idênticos, senão mais graves, tendo em vista o mau estado de conservação dos veículos que circulam

pelas rodovias brasileiras, assim como o mau estado de conservação destas mesmas rodovias e vias públicas.

Pesquisa recente realizada no ano de 2000 na cidade de Curitiba (ZANNIN et al., 2001), onde foram entrevistadas 863 pessoas, mostra que o ruído de tráfego urbano é a principal fonte do desconforto.

Os caminhões possuem várias fontes de ruídos, podendo ser localizadas na frente, no meio e na parte traseira do caminhão. Estas fontes são geradas pelo motor, pelo escapamento, pelo ventilador, pelo sistema de admissão, pela transmissão, pelo freio estacionário, pelos pneus e o pelo equipamento de coleta propriamente dito.

O ruído gerado por veículos de utilidade pública, tal como o veículo de coleta de resíduos domiciliares, tende a ser uma fonte de incômodo para a comunidade. Zannin (2002) considera que o conhecimento atual das pesquisas sobre a influência do ruído não permite ainda uma afirmação sobre a dimensão dos riscos à saúde. No entanto, pode-se tomar como concreto que distúrbios duradouros devido ao ruído, conduzem a danos à saúde. Em cidades como Curitiba, os caminhões de lixo se fazem presentes no cotidiano da vida das pessoas e às vezes nem se apercebe do incômodo que os mesmos trazem para o meio ambiente.

Os objetivos deste estudo são:

- Caracterizar os veículos de utilidade pública, neste caso o veículo de coleta de resíduos domiciliares, como fonte de emissão sonora.
- Avaliar o impacto ambiental gerado pelos mesmos na cidade de Curitiba.

- Avaliar o impacto ambiental que este ruído ocasiona em suas imediações. Esses conhecimentos permitirão a caracterização da qualidade acústica nos vários setores de coleta de lixo da cidade, contribuindo assim para que a comunidade disponha de parâmetros atualizados quantitativos e qualitativos, alcançados com rigor científico, sobre a poluição sonora ambiental gerada pelo veículo de coleta de resíduos domiciliares nas ruas e avenidas.
- Comparar entre os resultados medidos do ruído gerado pelo caminhão com os valores referenciais estabelecidos pelas normas, critérios e legislação municipal, bem como pelo Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos Estados Unidos (HUD). Esta comparação pretende verificar se os valores referenciais previstos da legislação municipal são respeitados, além de qualificar a qualidade acústica das áreas habitadas nas imediações das ruas e avenidas onde opera o veículo de coleta de resíduos domiciliares.

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

Capítulo 1: Como introdução, mostra-se as bases do trabalho, a relevância desta temática para prática, a importância do estudo do ruído da poluição sonora ambiental para a comunidade e os objetivos almejados.

Capítulo 2: No capítulo da revisão bibliográfica, trata-se de assuntos pertinentes ao tema do trabalho a fim de que se possa fazer uma releitura, através dos autores, daquilo que se está analisando. Dentre eles destacam-se: conceitos físicos do som, ruído gerado pelo tráfego, níveis sonoros para ruído do tráfego, normas, critérios e legislação municipal e avaliação dos níveis emitidos por um

veículo de utilidade pública (veículo de coleta de resíduos domiciliar). Por fim, são apresentados os efeitos acústicos do ruído e suas conseqüências sobre a saúde e bem-estar das pessoas.

Capítulo 3: Neste capítulo, é descrita a metodologia utilizada para o estudo de caso dando uma visão da área de estudo, escolha dos setores, dos caminhões e dos equipamentos utilizados para efetuar as medições de campo e do software utilizado para realizar a análise.

Capítulo 4: Diz respeito aos resultados da pesquisa e discussão dos resultados segundo a legislação ambiental de Curitiba-PR, NBR 10151 (Junho 2000) e HUD.

Capítulo 5: Apresenta-se as conclusões das análises executadas buscando cumprir com os objetivos do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica dos itens mais relevantes ao estudo do nível de ruído emitido por caminhões, automóveis, motos, utilitários, os quais compõe o tráfego urbano: composição do ruído proveniente do tráfego; níveis sonoros para ruído do tráfego; normas, legislação e critérios que limitam os níveis de emissão de ruídos; tipos de avaliação para emissão de ruído; medidas de controle de emissões de ruídos em rodovias; conceito e procedimento de avaliação para um veículo de coleta de resíduos domiciliar.

2.1 CONCEITOS FÍSICOS DO SOM

Para uma clareza do assunto abordado neste trabalho é necessário definir os principais conceitos do som a respeito das características e conceitos físicos do som:

O som, em termos físicos, é a sensação devida às flutuações de pequena escala da pressão do ar em torno da pressão atmosférica média local (SCHULTZ, 1982). Na realidade, qualquer meio elástico pode propagar o som mas a propagação no ar é a mais importante no escopo do presente trabalho. Dependendo da natureza do som, essas flutuações podem ou não seguir padrões repetitivos. Através delas, energia é transmitida pelo meio gasoso, líquido ou sólido pelo qual o som se propaga, a partir da fonte sonora (HASSAL E ZAVERI, 1979).

Ruído é definido como som indesejável (HASSAL E ZAVERI, 1979). Normalmente, é o resultado de atividades humanas do dia-a-dia. Portanto, a

diferença entre som e ruído reside apenas na percepção subjetiva das pessoas, pois constituem o mesmo fenômeno físico (GOELZER et. al., 2001).

A propagação do som no meio, deve-se considerar similar ao da partícula. Se excitado por uma vibração mecânica, uma partícula é deslocada de sua posição de equilíbrio por uma distância pequena. Essa partícula deslocada acaba por empurrar a sua vizinha na mesma direção, enquanto que ela retorna à posição de equilíbrio. A vizinha então causa um deslocamento em sua próxima e assim por diante. Uma partícula analisada separadamente apresentará um movimento oscilatório de pequenos deslocamentos mas esse movimento é propagado pelas diversas partículas do meio no que se caracteriza como uma onda. A energia sonora é transmitida através dessa onda.

Dependendo do meio onde o som está propagando, o tempo necessário para a energia ser transferida de uma partícula para sua vizinha varia. A causa direta desse feito é a mudança da velocidade do som de acordo com o meio.

A propagação através de qualquer meio elástico toma a forma de onda e a mais importante caracterização de sua magnitude é a raiz média quadrática de sua amplitude → Arms. Escalas e unidades adequadas para expressar este valor devem portanto ser consideradas.

Normalmente, a pressão sonora, antes que a intensidade sonora é o parâmetro usado, a qual expressa força por unidade de área em $N / m^2 \rightarrow$ Pascal (Pa) no S.I.

Os métodos usuais de medição da pressão ou de representação da pressão em uma escala linear, trazem problemas quando o objetivo é representar a resposta do ouvido humano.

A menor pressão sonora (ou o menor som audível) detectado na frequência de 1000Hz, para uma amostragem de indivíduos jovens e saudáveis, foi de 20 μPa ou $2 \cdot 10^{-5} \text{ N / m}^2$.

Este valor foi normalizado e tornou-se o valor de referência do limiar da audição, com o objetivo de medições de níveis sonoros. (GERGES, 2000).

Do outro lado da escala (na outra extremidade) ocorre o limiar da dor a uma pressão de aproximadamente 200 Pa. (GERGES, 2000).

A razão entre os dois limiares:

$$\frac{\text{Limite da dor}}{\text{Limiar da audição}} = \frac{200 \text{ Pa}}{20 \mu\text{Pa}} = \frac{200 \text{ Pa}}{20 \cdot 10^{-6}} = 10^7 \quad (1) \text{ (GERGES, 2000)}.$$

Portanto, percebe-se que a aplicação de escalas lineares para a medição de pressão sonora leva a utilização de números muito grandes, sendo por isso pouco práticas, tornando-se indesejáveis.

Ainda, o ouvido humano não responde linearmente, mas logaritmicamente a uma dada excitação.

Por este motivo decidiu-se expressar grandezas acústicas (e, por conseguinte, grandezas vibratórias) como uma razão logarítmica de um valor medido em relação a um valor de referência.

Isto reduz os números a proporções mais facilmente manuseáveis e a unidade resultante chamada Bell (em homenagem a Alexander Graham Bell) é definida como o logaritmo de base 10 da razão de suas grandezas acústicas “potência, intensidade” ou duas grandezas representativas de uma vibração “deslocamento, velocidade, aceleração”. Esta unidade foi considerada ainda muito grande, quando de sua aplicação prática, sendo que então finalmente adotou-se

1 /10 * Bell → o decibel como unidade de medida. A figura 1 ilustra o termômetro do ruído.

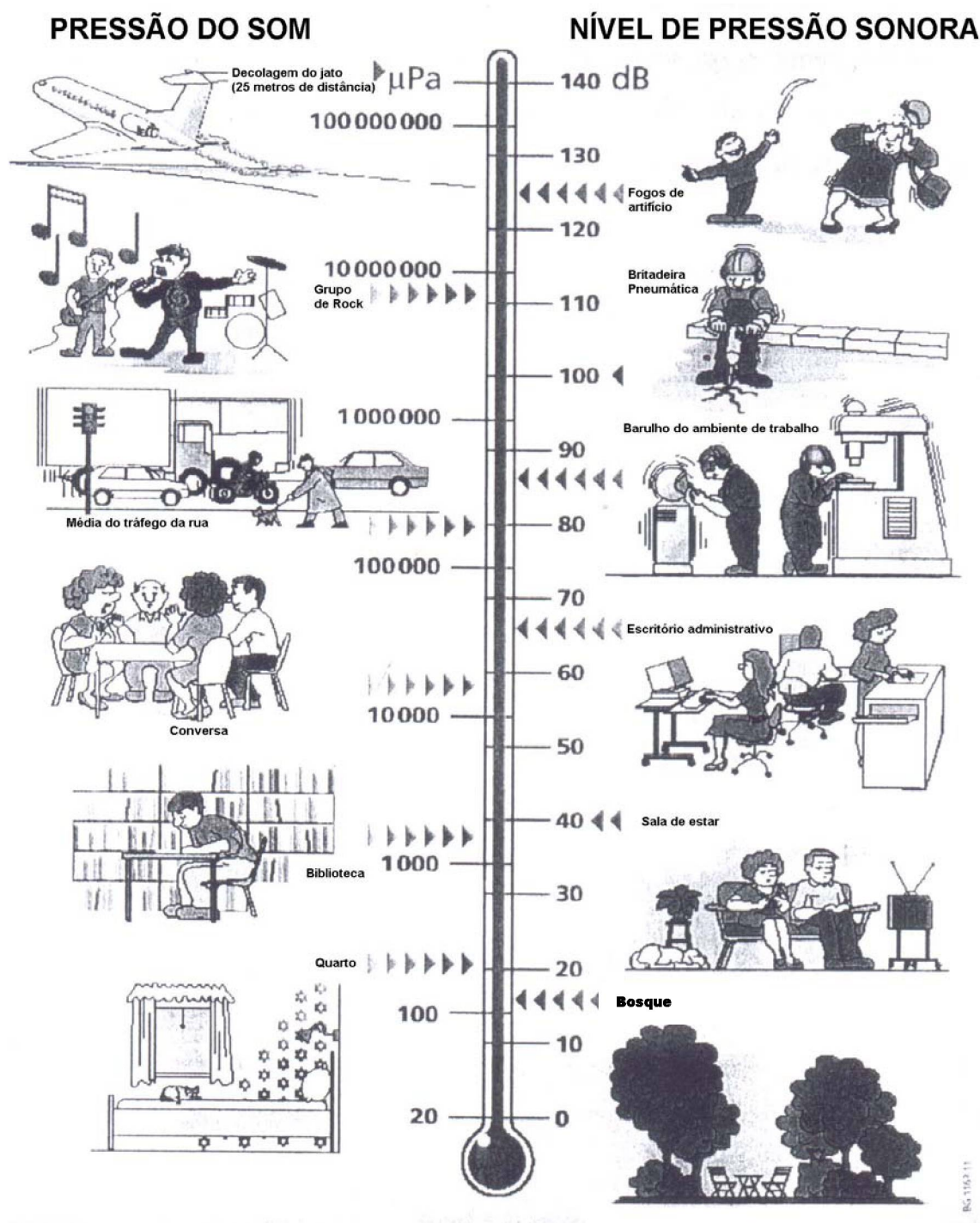


Figura 1: A escala decibel

Fonte: Bruel & Kjaer, 2002

2.1.1 Curvas de Mesma Audibilidade

A sensibilidade do ouvido humano é extremamente dependente da frequência com que o som é gerado. Sons de baixa frequência assim como sons de frequência extremamente elevada não são percebidos com a mesma amplitude (“intensidade”) que os sons gerados na faixa de frequências entre 500 e 4000Hz. Isto pode ser observado nas curvas de mesma audibilidade a seguir:

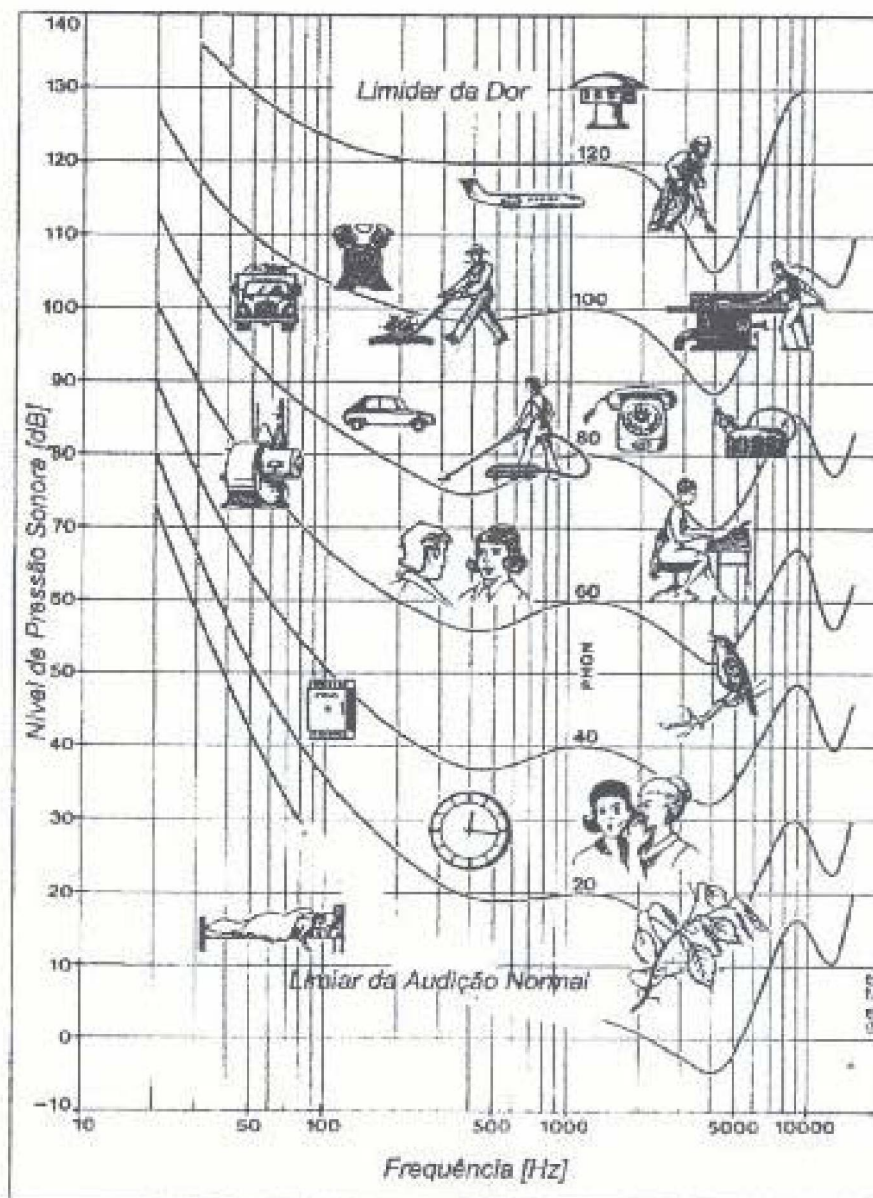


Figura 2: Curvas de mesma audibilidade

Fonte: Gerges, 2000

2.1.2 Curvas de Ponderação

Para que, se fôsse possível, a determinados níveis de pressão sonora medidos, uma reprodução da sensibilidade do ouvido humano, criou-se nos anos 30 aparelhos de medição com três curvas de ponderação. Estas curvas de ponderação representam praticamente uma inversão da curva de mesma audibilidade, e assim permitem uma avaliação das baixas freqüências e das freqüências muito altas, as quais não são percebidas com a mesma sensibilidade que as freqüências entre 500 e 4000 Hz. As curvas de ponderação são apresentadas na figura 3 abaixo:

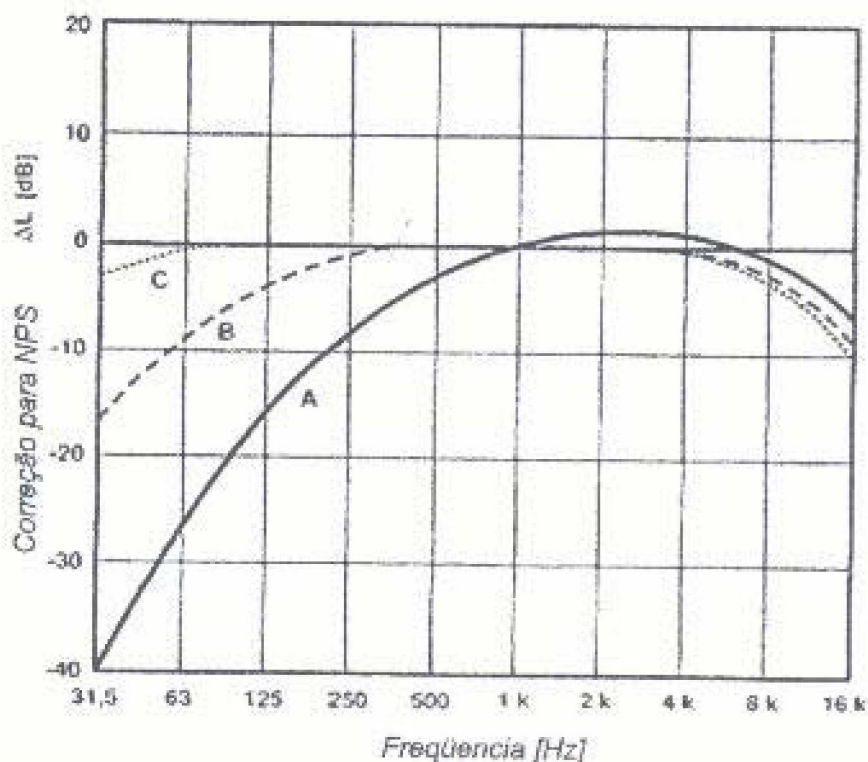


Figura 3: Curvas de ponderação A, B e C.

Fonte: Gerges, 2000

O uso de curvas de ponderação mostrou-se pouco prático, e assim, em 1967, decidiu-se pelo uso genérico de ponderação A. A curva de ponderação A é utilizada por normas técnicas no mundo todo. Os limites de emissão sonora visando do conforto acústico e acústica ambiental, etc., são expressos em dB(A).

A conversão de uma curva para outra se dá da seguinte maneira, conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de conversão para as curvas de ponderação A, B e C

Frequência [Hz]	Correção para os NPS ΔL		
	Curva A [dB]	Curva B [dB]	Curva C [dB]
16	-56,7	-28,5	-8,5
20	-50,5	-24,2	-6,2
25	-44,7	-20,4	-4,4
31,5	-39,4	-17,1	-3,0
40	-34,6	-14,2	-2,0
50	-30,2	-11,6	-1,3
63	-26,2	-9,3	-0,8
80	-22,5	-7,4	-0,5
100	-19,1	-5,6	-0,3
125	-16,1	-4,2	-0,2
160	-13,3	-3,0	-0,1
200	-10,9	-2,0	0
250	-8,6	-1,3	0
315	-6,6	-0,8	0
400	-4,8	-0,5	0
500	-3,2	-0,3	0
630	-1,9	-0,1	0
800	-0,8	0	0
1000	0	0	0
1250	0,6	0	0
1600	1,0	0	-0,1
2000	1,2	-0,1	-0,2
2500	1,3	-0,2	-0,3
3150	1,2	-0,4	-0,5
4000	1,0	-0,7	-0,8
5000	0,5	-1,2	-1,3
6300	-0,1	-1,9	-2,0
8000	-1,1	-2,9	-3,0
10000	-2,5	-4,3	-4,4
12500	-4,3	-6,1	-6,2
16000	-6,6	-8,5	-8,5
20000	-9,3	-11,2	-11,2

Fonte: Gerges, 2000

2.1.3 Níveis de Intensidade Sonora – NI

A intensidade sonora é definida como:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}} \quad (2)$$

Potência = Trabalho por unidade de tempo

Trabalho = Força X Distância

Então: Potência = $\frac{\text{Força X Distância}}{\text{Tempo}}$

$$W = F \times \frac{d}{t} \quad (3)$$

Então podemos reescrever a intensidade como:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{F}{S} \cdot \frac{d}{t} = p \cdot v \quad (4)$$

I = Intensidade sonora

I = p.v I = pressão sonora. velocidade da partícula

Segundo Beranek and Vér (1992) e Kinsler and Frey (1990):

$$p = v \cdot \rho_0 \cdot c \quad (5)$$

p = pressão sonora

ρ_0 = densidade do ar 1,21 kg/m³

c = velocidade do som no ar 340 m/s

Então

$$I = P \cdot \frac{p}{\rho_0} \quad (6)$$

$$I = \frac{P_{rms}^2}{\rho_0 c} \quad (7)$$

ou

$$P_{rms}^2 = I \cdot \rho_0 c$$

Define-se nível de intensidade sonora a relação:

$$NI = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ [dB]} \quad (8)$$

Onde I = é a intensidade acústica em W / m^2

I_0 = é a intensidade de referência = $10^{-12} W/m^2$

I_0 = corresponde aproximadamente à intensidade de um tom de 1000 Hz que é levemente audível pelo ouvido humano de um indivíduo jovem e saudável.

2.1.4 Nível de Pressão Sonora – NPS

O nível de pressão sonora é definido como:

$$NPS = 10 \log \frac{P_{rms}^2}{P_0^2} \text{ [dB]} \quad (9)$$

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} N/m^2 \rightarrow$ é o valor referência da pressão sonora e corresponde ao limiar da audição em 1000 Hz.

p_{rms} ou $p_e \rightarrow$ é a pressão média quadrática ou pressão efetiva.

\rightarrow Para uma onda harmônica:

$$P_{rms} = \frac{P_{pico}}{\sqrt{2}} \quad \text{ou} \quad P_e = \frac{P_{pico}}{\sqrt{2}} \quad (10)$$

2.1.5 Nível de Potência Sonora – NW

É definido como:

$$NWS = 10 \log = \frac{W}{W_0} \quad (11)$$

W = potência sonora em Watts

$W_0 = 10^{-12}$ a potência sonora de referência, análoga a I_0 .

2.1.6 Nível equivalente de pressão sonora, L_{eq}

O potencial de danos à audição de um dado ruído depende não somente de seu nível, mas também de sua duração (GERGES, 2000). Normalmente, os níveis de ruído podem variar durante um determinado intervalo de tempo.

O nível sonoro equivalente é um nível constante que equivale, em termos de energia acústica, aos níveis variáveis do ruído, durante o período de medição.

Assim, é definido um valor único, chamado nível equivalente de pressão sonora, L_{eq} , que é o nível sonoro médio integrado durante um intervalo de tempo.

É dado em dB, e é expresso por:

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left[\frac{p(t)}{p_0} \right]^2 dt \right\} \quad (12)$$

onde

$T = (t_2 - t_1)$ = tempo total de medição,

$p(t)$ = pressão sonora instantânea,

p_0 = pressão de referência ($2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$)

A expressão mostra que o nível equivalente é representado então por um valor constante que durante o mesmo tempo T resultaria na mesma energia acústica produzida pelos valores instantâneos variáveis de pressão sonora.

Portanto, um nível equivalente L_{eq} tem o mesmo potencial de lesão auditiva que um nível variável considerado no mesmo intervalo de tempo. Os critérios para lesão permitem essa equivalência até aproximadamente 115 dB(A) de nível máximo, a partir do qual podem ocorrer lesões com exposição de curta duração.

2.1.7 Níveis estatísticos de ruído, L_n

São níveis de pressões sonoras que são ultrapassados durante uma determinada fração do tempo total de medição.

Os níveis estatísticos de maior interesse para estudos de ruído de tráfego são L_{10} e L_{90} (SCHULTZ, 1982), que são os níveis excedidos durante, respectivamente, 10% e 90% do tempo de medição (GERGES, 2000).

Para o estudo de ruído de tráfego rodoviário, o nível estático L_{10} pode ser aceito aproximadamente como valores de pico, pois ele indica valores que foram excedidos durante apenas 10% do tempo total de medição.

Já o nível estatístico L_{90} pode ser aceito como sendo um ruído de fundo, posto que ele indica o nível de ruído que foi ultrapassado durante quase todo o tempo de medição.

2.1.8 Cálculo da potência sonora pelo método da pressão sonora

Segundo Hassall & Zaveri (1979), o nível de potência sonora é dado por:

$$NWS = L_W = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{W_o}\right) \quad [dB] \quad (13)$$

onde,

NWS = LW = nível de potência sonora [dB]

W = potência sonora emitida pela fonte de interesse [W]

W_o = potência sonora de referência = 1 micro-micro-Watt = 1 pico-Watt = 10^{-12} W

De acordo com a ISO 3.744 (ISO, 1994), o nível de pressão sonora global pode ser relacionado ao nível de potência sonora através da expressão:

$$L_W = L_P + 10 \cdot \log\left(\frac{S}{S_o}\right) \quad [dB] \quad (14)$$

onde,

L_W = nível equivalente de potência sonora [dB]

L_P = nível equivalente de pressão sonora [dB]

S = área da superfície de medição [m²]

S_o = área de referência = 1 m²

2.2 RUÍDO GERADO PELO TRÁFEGO

O ruído do tráfego de rodovias tem se tornado um problema urbano, em função do rápido processo de ocupação que ocorre ao longo das mesmas, decorrente do crescimento populacional (BROWN, 1994). Na Austrália, que é

altamente urbanizada, com sua população concentrada nas áreas metropolitanas, existe uma grande preocupação em se estimar os níveis de ruído de tráfego que incidem nas fachadas das edificações, a fim de se elaborarem medidas preventivas ou corretivas para este problema.

O ruído do tráfego é composto por duas parcelas básicas: o ruído proveniente da força de tração unitária do veículo e da interação pneu/via (SANDBERG, 1987). O ruído gerado pela interação do pneu do veículo com a superfície de uma via é uma das parcelas mais significativas do ruído total gerado pelo tráfego. Este ruído é gerado pela vibração do pneu e o movimento das partículas de ar em torno do mesmo (GOLEBIEWSKI et al., 2003).

Em relação à primeira parcela, o ruído proveniente da força de tração unitária do veículo (ruído do motor etc.) é determinado basicamente pelo nível tecnológico e modo de operação dos veículos e escapamento, onde a influência da rodovia está relacionada com as condições gerais de tráfego e topografia, bem como com a capacidade de absorção do material de sua superfície (MURGEL, 1998).

Já o atrito entre pneus e pavimento está diretamente relacionado com a velocidade desenvolvida, com a rugosidade do pavimento e com o tipo de pneus utilizados (MURGEL, 1998).

Uma rodovia com tráfego intenso, com grande número de veículos, pode chegar a gerar níveis sonoros de cerca de 80 dB(A) (oitenta decibéis) à margem da mesma, acerca de 30 m (trinta metros) do eixo da pista (GOLEBIEWSKI et al., 2003).

2.3 NÍVEIS SONOROS PARA RUÍDO DO TRÁFEGO

2.3.1 Nível de Poluição Sonora

O nível de poluição sonora é um valor que leva em conta o nível sonoro equivalente e a magnitude da variação temporal dos níveis.

Robinson (1971), propõe o cálculo do nível de poluição sonora pela seguinte expressão:

$$LNP = Leq + 2,56 \sigma \quad (15)$$

Onde, σ é o desvio padrão da variabilidade do nível de ruído, amostrado durante o período de medição, medido em dB(A).

Beranek (1992), apresenta uma formulação aproximada para o cálculo do nível de ruído de poluição sonora, com a seguinte expressão.

$$LNP = Leq + (L10 - L90) \quad (16)$$

Índice de Ruído do Tráfego (TNI)

Langdon e Scholes (1968), definem o índice de ruído do tráfego, como uma combinação ponderada de L10 e L90, com a seguinte expressão:

$$TNI = 4 \cdot (L10 - L90) + L90 - 30 \quad (17)$$

Os níveis L10 e L90 são ponderados pela curva A, medidos em ambiente externo como uma função contínua do tempo, ou amostrados em numerosos intervalos discretos de tempo, num período de 24 (vinte e quatro) horas.

2.3.2 Nível Equivalente para o Ruído do Tráfego Rodoviário

O ruído de tráfego rodoviário é constituído por diversas seqüências de diversos níveis aproximadamente constantes, cada um emitido respectivamente em um intervalo de tempo. O nível equivalente do ruído de tráfego, num intervalo de tempo total T, é descrito por Langdon e Scholes (1968), pela expressão:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{T} \times \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \cdot \Delta t_i \right) \quad [\text{dB}] \quad (18)$$

Yamaguchi (1998), informa que, quando o valor da média e da faixa dinâmico de flutuação dos níveis do ruído especifica que se deseja medir são maiores que os dos níveis do ruído de fundo, os valores medidos podem ser considerados como sendo os do ruído específico pois não são muito influenciados pelo ruído de fundo.

Os níveis equivalentes de ruído ponderados de acordo com curva A, são os principais parâmetros do ruído de tráfego para fins de avaliação dos riscos de danos ao aparelho auditivo humano, uma vez que considera toda a energia acústica recebida pelos ouvidos num intervalo de tempo T.

2.4 NORMAS, CRITÉRIOS E LEGISLAÇÃO MUNICIPAL

2.4.1 Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

A Resolução No. 001 de 08/03/1990 do CONAMA considera que os problemas dos níveis excessivos de ruído estão incluídos entre os sujeitos ao Controle da Poluição de Meio Ambiente e que a deterioração da qualidade de vida, causada pela poluição sonora, está sendo continuamente agravada nos grandes centros urbanos.

Esta resolução resolve que:

- A emissão de ruídos deve obedecer aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidas nesta resolução;
- Considera prejudicial à saúde e ao sossego público, ruídos com níveis superiores aos considerados suportáveis pela norma NBR-10.151/2000 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando do conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT;
- A emissão de ruídos produzidos por veículos automotores deve obedecer às normas expedidas pelo Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN;
- As entidades e órgãos públicos competentes têm plena autoridade de dispor, de acordo com o estabelecido nesta resolução, sobre a emissão ou proibição da emissão de ruídos produzidos por quaisquer meios ou de qualquer espécie;
- As medições devem ser efetuadas de acordo com os procedimentos descritos pela norma supracitada NBR-10.151/2000; e que todas as normas regulamentadoras da poluição sonora, emitidas a partir da data em que esta

Resolução foi publicada, deverão apresentar conteúdo compatível com o da presente Resolução.

A resolução No. 252 de 01/02/1999 do CONAMA considera que o ruído excessivo, principalmente o ruído proveniente do tráfego dos veículos rodoviário automotores, causa prejuízo à saúde física e mental, afetando particularmente a audição, sendo necessário se reduzir estes altos índices de poluição sonora nos principais centros urbanos do Brasil.

2.4.2 Redução de ruído nas estradas

O governo alemão lançou a RLS 90 como sucessora da RLS 81. As diretrizes da RLS 90 estabelecem padrões técnicos específicos a procedimentos de medição para prognósticos e redução do ruído nas estradas e estacionamentos. A taxa de especificação da RLS 90 (índice de avaliação) para o nível sonoro usado na localidade do receptor para o período do dia (6:00 às 22:00 horas) e à noite (22:00 às 6:00 horas) para avaliação do resultado do impacto sonoro.

A RLS 90 usa o método da fonte de pico com propagação sonora, com redução do campo, passando por avaliação e reflexão. O padrão consiste de dois modelos em separado. A fonte modelo usa as informações do tópico que dá a referência do ruído a 25 metros de distância da rodovia e 4 metros acima do solo. Este nível de ruído é chamado LME (Nível de emissão) em plano sonoro, porém isto se refere como a L_{M25} (para uma distância de 25 m), sendo que o modelo de propagação tem especificação para utilização diurna e noturna.

A fonte sonora LME (Nível de Emissão)

Os seguintes dados são necessários para o cálculo da fonte sonora: Informação do tráfego (número de veículos por hora, % de veículos pesados), velocidade dos automóveis e caminhões, situação da pista de rodagem, topografia da pista (rampa).

O nível da fonte sonora LME é calculado pela fórmula:

$$LME = L_M (25, \text{básico}) + C_{\text{velocidade}} + C_{\text{superfície da estrada}} + C_{\text{Gradiente}} + C_{\text{Ref}}$$

O $L_M (25, \text{básico})$ é o nível padronizado para as seguintes condições:

- Velocidade 100 km/h para automóveis e 80 km/h para caminhões
- Pista de rodagem em asfalto liso
- Rampa < 5%
- Propagação do campo (livre)

$$L_M (25, \text{básico}) = 37.3 + 10 * \log \{ M * (1 + 0.082 * P) \} \quad (19)$$

Com

M = volume de tráfego (veículos por hora em um determinado momento) tráfego médio diário (ADT).

P = Percentual de caminhões com mais de 2,8 ton

Correção da Velocidade (C) :

$$= L_{\text{carro}} - 37.3 + 10 * \log [(100 + (10^{0.1 * C})) * P / (100 + 8.23 * P)] \quad (20)$$

$$L_{\text{carro}} = 27.8 + 10 * \log [(1 + 0.02 * V_{\text{carro}})^3]$$

$$L_{\text{caminhão}} = 23.1 + 12.5 * \log (V_{\text{caminhão}})$$

$$C = L_{\text{caminhão}} - L_{\text{carro}}$$

V_{carro} = Velocidade dos automóveis (min 30 km/h max 130 km/h)

$V_{\text{caminhão}}$ = Velocidade dos caminhões (min 30 km/h max 80 km/h)

Adição de reflexão múltipla:

C_{Ref} = Correção múltipla entre os muros

$C_{\text{Ref}} = 4 * (\text{altura do muro}) / (\text{distância entre os muros})$

$C_{\text{Ref}} < 3.2$ dB para superfícies ásperas/brutas

$C_{\text{Ref}} = 2 * (\text{altura do muro}) / (\text{distância entre os muros})$

$C_{\text{Ref}} < 1.6$ dB para superfícies menos absorventes

A propagação sonora

O nível sonoro na localidade do receptor é derivado do nível sonoro de todas as fontes da rodovia. Todas as contribuições dos cálculos seccionais maiores que 0 dB são somadas energeticamente para o nível de ruído. Para o cálculo do nível de ruído, uma adição de 1,2 ou 3 dB deve ser feitas às contribuições da rodovia no receptor que se localiza a 100, 70 ou 40 metros do semáforo. A distância mais próxima, deveria ter uma adição maior para compensar as freadas e acelerações.

No método de pesquisa triangular, a seção da rodovia dentro dos triângulos de pesquisa é colocada como fonte separada. A fonte é localizada 0,5

metros sobre a superfície da rodovia. A contribuição do nível é calculada com as fórmulas:

$$L_m = \text{Emissão} + \text{Comprimento} + \text{Difusão} + \text{Absorção do solo} + \text{Filtro} \quad (21)$$

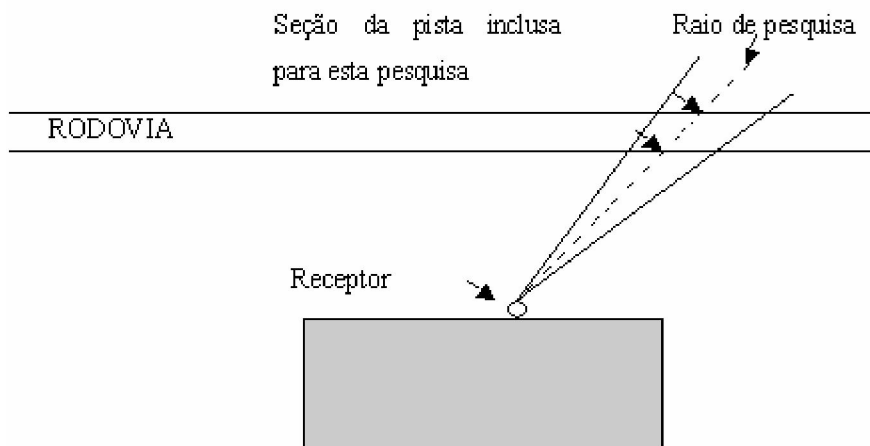


Figura 4: A propagação

Fonte: Manual do Sound Plan , 1999

Reflexão

O Sound Plan calcula as reflexões simples e múltiplas ao encontrar o espelho receptor e procura fontes do espelho receptor através do ponto onde o último muro foi interceptado. Este software foi desenvolvido pela empresa Braunstein + Berndt GmbH e é capaz de realizar previsões e avaliações acústicas. O projeto avaliação de ruído gerado por caminhões de lixo pode, por exemplo, passar pelo Sound Plan antes de ser colocado em prática e prever qual o nível sonoro atingirá as edificações às suas margens. Um mapa acústico pode ser traçado, levando-se em consideração as partes geradoras de ruído do caminhão e outras fontes sonoras. Calixto (2002), em sua dissertação de mestrado, verificou a aplicabilidade da norma RLS-90 no estudo de rodovias

brasileiras e concluiu que a mesma é aplicável em estudos do ruído gerado pelo tráfego de veículos nas “rodovias e grande avenidas”, situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba. Em consequência disto, os programas para computadores desenvolvidos segundo esta norma podem ser utilizados para o cálculo de níveis de emissão e imissão do ruído de tráfego de veículos em rodovias brasileiras.

2.4.3 A Organização Mundial de Saúde – OMS

A Organização Mundial de Saúde recomenda que em áreas residenciais o nível de ruído não ultrapasse os 55 dB(A) (cinquenta e cinco decibéis). No caso de existirem residências às margens de rodovias de tráfego intenso, faz-se necessário uma redução do nível sonoro da ordem de 20 a 30 dB(A).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, um ruído de até 50 dB(A) (cinquenta decibéis) pode perturbar, mas o organismo se adapta facilmente a ele. A partir de 55 dB(A) (cinquenta e cinco decibéis) pode haver a ocorrência de estresse leve, acompanhado de desconforto. O nível de 70 dB(A) (setenta decibéis) é tido como o nível do desgaste do organismo, aumentando os risco de infarto, derrame cerebral, infecções, hipertensão arterial e outras patologias. A 80 dB(A) (oitenta decibéis), ocorre a liberação de endorfinas, causando uma sensação de prazer momentâneo. Já a 100 dB(A) (cem decibéis), pode haver perda da audição.

2.4.4 A Legislação Municipal – Lei No. 10.625/2002

A Lei Municipal 10.625/2002, promulgada pela Prefeitura Municipal de Curitiba, que legisla sobre o ruído urbano e o conforto público, fixa os seguintes limites de emissão sonora:

- Zonas residenciais, especiais habitacionais, verdes, agrícolas, especiais de habilitação de interesse social: diurno das 7:00 h às 19:00 h (55dB); vespertino das 19:00 h às 22:00 h (50dB); noturno das 22:00 h às 7:00 h (45dB).
- Zonas residenciais mistas, setor de recuperação residência, centro cívico, nova Curitiba, uso misto – CIC, setor comercial: diurno das 7:00 h às 19:00 h (60dB); vespertino das 19:00 h às 22:00 h (55dB); noturno das 22:00 h às 7:00 h (55dB).
- Zonas de apoio à indústria, de serviço, especial de serviço, industrial, terminal de carga, terminal de transporte, centro: diurno das 7:00 h às 19:00 h (70dB); vespertino das 19:00 h às 22:00 h (60dB); noturno das 22:00 h às 7:00 h (60dB).

Segundo Zannin et al. (2001), a Legislação Municipal apresenta um limite para Leq mais rigoroso do que o HUD, em face das condições locais: más condições das vias urbanas, baixa manutenção dos veículos em circulação, circulação de veículos antigos, maus hábitos dos motoristas.

Mudanças favoráveis nas condições supracitadas poderiam influenciar na mudança da legislação para um valor limite mais flexível.

2.4.5 Ruído em comunidade – NBR 10151 (Junho/2000)

Esta norma fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independente da existência de reclamações.

Esta norma especifica um método para a medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos se o ruído apresentar características especiais e uma comparação dos níveis corrigidos com os critérios, que leva em conta vários fatores.

O método de avaliação envolve as medições do nível de pressão sonora equivalente $L_{eq(A)}$ em decibel ponderados em “A” comumente chamado dB(A).

Determinação do nível de critério de avaliação – NCA

O nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos está indicado na tabela 2.

Os limites de horário para o período diurno e noturno da tabela podem ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos da população. Porém, o período noturno não deve começar depois das 22 h e não deve terminar antes das 7 h do dia seguinte. Se o dia seguinte for domingo ou feriado o término do período noturno não deve ser antes das 9 h.

O nível de critério de avaliação NCA para ambientes internos é o nível indicado na tabela 2 como a correção de – 10 dB(A) para janela aberta e – 15 dB(A) para janela fechada.

Se o nível de ruído ambiente L_{ra} for superior ao valor da tabela para a área e o horário em questão, o NCA assume o valor do L_{ra} .

Tabela 2 - Nível de critério de avaliação nca para ambientes externos, em dB(A)

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

Fonte: ABNT NBR 10151 Junho - 2000

2.4.6 Critérios para áreas residenciais

Os limites fixados pelo Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos Estados Unidos (HUD), são aplicáveis somente em áreas residenciais, medidos do lado de fora das residências.

a) O HUD fixa as seguintes faixas de níveis sonoros equivalentes, L_{eq} [dB(A)]

- $L_{eq} \leq 49$ (claramente aceitável)
- $49 < L_{eq} \leq 62$ (normalmente aceitável)
- $62 < L_{eq} \leq 76$ (normalmente inaceitável)
- $L_{eq} > 76$ (claramente inaceitável)

b) Níveis estatísticos, L_{10} [dB(A)]

- $L_{10} \leq 53$ (claramente aceitável)
- $53 < L_{10} \leq 66$ (normalmente aceitável)
- $66 < L_{10} \leq 82$ (normalmente inaceitável)
- $L_{10} > 82$ (claramente inaceitável)

c) Níveis estatísticos, L_{90} [dB(A)]

- $L_{90} \leq 41$ (claramente aceitável)
- $41 < L_{90} \leq 56$ (normalmente aceitável)
- $56 < L_{90} \leq 71$ (normalmente inaceitável)
- $L_{90} > 71$ (claramente inaceitável)

2.5 EFEITOS SOBRE A SAÚDE E BEM ESTAR DAS PESSOAS

Dentre os agentes nocivos à saúde do homem, o mais comum nos ambientes de trabalho é o ruído, que pode causar danos psicológicos, fisiológicos e físicos sobre o organismo humano, contribuindo para o aumento dos acidentes de trabalho (ZANELLA, 1981).

Granada (1994), cita importantes agentes estressores ambientais a que os trabalhadores ficam expostos, tais como: ruído, vibração, temperatura – físicos; enfermidades ocupacionais, vírus, bactérias – biológicos; e relações interpessoais, jornadas de trabalho, instabilidade profissional – psicossociais.

Os efeitos da interação entre o ruído e a vibração têm sido estudados, sendo a vibração um causador de riscos semelhantes ao ruído, podendo ser fator de aumento de perdas auditivas em ambientes industriais (ALVES FILHO, 2002). Segundo Alves Filho (2002), o sistema vestibular possui os receptores primários sensíveis e sujeitos às amplitudes de vibração (deslocamento e aceleração), sistema ligado à cóclea, o que justifica o conhecimento sobre os danos das vibrações sobre a audição.

De acordo com Pimentel, et al (2004), ruídos de 50 dB(A) têm características perturbadoras, porém adaptáveis; ruídos de 55 dB(A) são

excitantes, causando estresse leve e desconforto; ruídos de 65 dB(A) incidem em estresse degradativo do organismo; ruídos de 80 dB(A) provocam liberação de morfina biológica no corpo, causando certa dependência orgânica; ruídos de 100 dB(A) podem causar perdas auditivas irreversíveis.

Os efeitos do ruído sobre o organismo humano são considerados diretos quando percebidos pelo ouvido como principal meio de propagação da onda sonora; e indiretos quando a energia sonora desloca-se por meio de vibrações pelas partes do corpo (extra-auditivos).

Para Osada (1988), a qualidade e quantidade dos efeitos do ruído sobre a saúde do indivíduo são dependentes de fatores diversos, relacionados tanto com a fonte sonora, quanto com o trabalhador (intensidade, duração, frequência, sexo, idade, função, saúde, personalidade e sensibilidade).

2.5.1 Efeitos indiretos do ruído

Os efeitos não-auditivos do ruído, conforme Seligman (1993), referem-se às alterações orgânicas: neurológicas, cardiovasculares, bioquímicas, vestibulares, digestivas e comportamentais. O ruído tem sido citado como fator causador de inúmeras alterações orgânicas, especialmente nos casos de exposições ocupacionais, além de ser mencionado como relevante no surgimento de problemas de saúde: hipertensão, taquicardia, psicoses, neuroses, gastrites, úlceras e outros.

Burns (1973) relata que os ruídos de baixa frequência produzem vibrações na parede torácica e alterações no ritmo respiratório.

Ruídos de baixa frequência podem afetar o senso de equilíbrio, causar fadiga, irritação e náuseas (WEBB, 1978).

Para Berglund et al (1996), o ruído de baixa frequência “é um som desagradável contendo componentes principais dentro de uma faixa específica de frequência”. A saúde do trabalhador fica prejudicada pela falta de atenuação por paredes e demais estruturas e devido aos seus altos níveis penetrantes de ruído. Além dos efeitos sobre a audição, os ruídos de baixa frequência podem causar efeitos sobre os sistemas vestibular, respiratório e cardiovascular, perturbam o sono e a comunicação, agem negativamente sobre a produção e o desempenho e a cognição. O sistema endócrino pode sofrer alterações em consequência de sons de baixa frequência, podendo prejudicar o estado de saúde geral do trabalhador (sons na faixa de 0,5 a 200 Hz são os mais estudados em suas ações no organismo humano).

Dentre os efeitos indiretos do ruído, o estresse é mencionado por França e Rodrigues (1997), que referem a importância do estudo da reação do indivíduo frente ao estímulo sonoro, levando em consideração as características individuais de cada pessoa.

Segundo Van Dijk (1986), os efeitos não-auditivos podem ser classificados em quatro grupos: efeitos somáticos ou vegetativos (biológicos), efeitos vestibulares, interferências em atividades e efeitos psicológicos.

De acordo com Alexandry (1985), ocorrem três tipos de respostas ao ruído: resposta somática, resposta química e resposta psicológica. A resposta somática diz respeito a fatores como a vasoconstrição periférica; a hiporritmia ventilativa; a variação galvanotérmica e a variação tensomuscular. A resposta química refere-se à relação de secreção de substâncias glandulares que

produzem trocas clínicas na composição de suco gástrico, sangue, urina e fluido neurônico. A resposta psicológica apresenta-se em vários níveis, como sono, atenção, concentração, irritabilidade, ansiedade, inibição, medo e neurose.

Dentre as três respostas, a mais preocupante, para Alexandry (1985), é a psicológica, já que regula a vida de relação do trabalhador, enquanto as respostas somática e química regulam elementos potenciais a conseqüências quanto à acumulação temporal.

Mudanças no comportamento social e ocupacional são percebidas em indivíduos que ficam expostos por tempo demasiado a ruídos intensos. Aspectos psicológicos destacam-se nesses comportamentos e refletem-se na forma de irritabilidade excessiva, impaciência, depressão e falta de interesse social, entre outros (ALVES FILHO,2002).

Trabalhadores em ambientes ruidosos relatam náuseas, queixas nervosas, dor de cabeça, alteração do humor, distúrbios do sono, ansiedade, conflitos sociais e na família. O ruído funciona como um estressor não-específico (SMITH, 1991).

2.5.2 Efeitos diretos do ruído

A degeneração das células sensoriais do órgão de Corti caracteriza os danos diretos causados pelo ruído. Quando a pressão sonora apresenta níveis em torno de 140 dB(A), a lesão denomina-se “trauma acústico”, uma lesão imediata, geralmente permanente. A energia acústica provoca uma distensão da membrana timpânica (ouvido médio), podendo rompê-la. Exposições a ruídos de 90 dB(A) a 140 dB(A) danificam a cóclea metabolicamente. Nesta faixa de

freqüências, a extensão da lesão dependerá do tempo e do nível de exposição a que os trabalhadores ficam expostos. A perda auditiva induzida por ruído (PAIR), como é chamada, manifesta-se de modo lento e cumulativo, evoluindo progressivamente com os anos de exposição (CLARK, 1992).

A PAIR apresenta uma simetria, com lesão das freqüências entre 4000 e 6000 Hz, sendo que as freqüências abaixo de 1500 Hz comumente não são lesadas pelo ruído, talvez pela proteção do reflexo estapédio. A freqüência que sofre alteração precoce é a de 6000 Hz. Fatores como: intensidade, duração, vibrações, suscetibilidade, hipertensão e sexo são marcantes no desenvolvimento das perdas auditivas induzidas pelo ruído (AXELSSON, 1979).

Jerger e Jerger (1989) caracterizam a PAIR como neurossensorial, bilateral, simétrica, tendo uma curva do tipo descendente. Ela possui grau progressivo de perda, iniciando-se leve, em torno de 3000 e 6000 Hz, com maior acentuação em 4000 Hz, piorando conforme a continuidade de exposição. A PAIR atinge as células ciliadas do ouvido interno, danificando, aproximadamente 5 a 15 milímetros desde a janela oval, na região receptora dos estímulos sonoros de 4000 a 6000 Hz. As causas da sensibilidade desta região podem estar ligadas à ressonância do ouvido externo e médio, a características mecânicas e anatômicas da cóclea ou de seu suprimento sangüíneo.

2.5.3 Suscetibilidade e exposição ao ruído

A suscetibilidade pode ser definida como uma tendência para perceber influências ou adquirir enfermidades; maneira pessoal de reagir a agentes externos; maneira de ver, sentir e reagir próprias de cada pessoa (AURÉLIO, 1986).

Existe uma extensa variabilidade individual na sensibilidade à exposição sonora. As mudanças temporárias e permanentes dos limiares em resposta a uma dada exposição intensa ao ruído, diferem de 30 – 50 dB entre os indivíduos. Outros fatores estão associados às diferenças na suscetibilidade individual: a transferência acústica ineficiente através do ouvido externo e médio, como um determinante do volume da energia ligada à estrutura do ouvido interno e a perda auditiva preexistente, que pode implicar em menor perda adicional. Ocorre se a estrutura sensível do ouvido já estiver comprometida (SUTER, 1991).

De acordo com Alexandry (1985), a adaptabilidade refere-se à defesa orgânica gerada por determinado fator repetido. A suscetibilidade é que vai definir o tempo de superação do problema causado pelo ruído, dependendo também de sua gravidade.

Para Alexandry (1985), existem níveis de risco de ruído a que o trabalhador se submete: nível de moléstia, nível de risco e nível de perigo. São esses níveis que vão determinar os efeitos do ruído sobre o homem. O nível de moléstia corresponde a alguma resposta frente ao ruído, com interferências no trabalho, no sono, na comunicação (oral, visual e escrita); o nível de risco corresponde a lesões temporárias e o nível de perigo, a lesões permanentes, choques e traumas, podendo levar à morte.

A idade é outro fator considerado no estudo da suscetibilidade, no qual Yanz e Abbas (1982), argumentam variabilidade entre os indivíduos de diferentes idades na ocorrência de perdas auditivas induzidas pelo ruído.

2.5.4 Mudança temporária do limiar auditivo

A “*Temporary Threshold Shift – TTS*”, ou mudança temporária no limiar da audição, significa alterações dos limiares auditivos que, nos indivíduos ditos com audição normal, não superam a 40 dB(A) (BURNS, 1973; KRYTER, 1985). Essas alterações variam de acordo com a frequência de excitação do estímulo sonoro, cujos desvios mais acentuados ocorrem entre 4000 e 6000 Hz. A recuperação da fadiga auditiva requer horas, ou seja, é preciso mais tempo do que o da instalação da fadiga para que os limiares voltem ao normal. Merluzzi (1979) realizou estudos sobre a recuperação dos limiares, concluindo que essa recuperação obedece a um andamento proporcional ao logaritmo do tempo e que a maior parte da TTS se recupera nas primeiras duas a três horas. O restante poderá levar até dezesseis horas, dependendo do estímulo recebido pelo indivíduo.

Segundo Gelfand (1998), a Mudança Temporária do Limiar, ou seja, a redução sensitiva auditiva, ocorre por aproximadamente dezesseis horas após a exposição ao ruído, tendo um melhoramento que se segue após esse tempo de queda da sensibilidade auditiva. A fadiga pós-estimulatória parece ser uma manifestação das mudanças temporárias nas células sensoriais (ciliadas), resultado da estimulação aos ruídos estressantes.

O término da exposição é seguido de uma elevação dos limiares auditivos, sendo um primeiro efeito notável da exposição ao som intenso. O grau

da TTS é função primária da intensidade e duração do ruído, mas depende de outros fatores: envelhecimento, estilo de vida, otites, lesões na cabeça e o consumo de drogas ototóxicas, que estão envolvidos no desenvolvimento da perda auditiva (MIYAKITA e UEDA, 1997).

2.5.5 Mudança permanente do limiar auditivo

A “*Permanent Threshold Shift – PTS*”, ou mudança permanente no limiar auditivo, encontra-se nos trabalhadores submetidos a altas intensidades durante períodos prolongados (ALVES FILHO, 2002).

A perda auditiva permanente induzida pelo ruído, conseqüente da mudança permanente do limiar auditivo, ainda acomete muitos trabalhadores expostos ao ruído, apesar dos conhecimentos adquiridos sobre os danos causados por sua exposição prolongada sem o uso de protetores adequados. O dano causado é um enfraquecimento auditivo lento, ocorrendo durante anos com exposições excessivas ao ruído, motivo pelo qual o trabalhador não percebe o perigo. O ruído geralmente não causa dores, e, quando ocorrem sintomas dolorosos, eles desaparecem assim que o estímulo cessa. O prejuízo auditivo causado pela exposição ao ruído ocupacional, somado ao estilo de vida resulta em várias alterações.

Conforme Gasaway (1985), alguns indícios aparecem durante o início da perda auditiva induzida pelo ruído: a mudança é bilateral, com um ouvido um pouco mais envolvido que o outro; a alteração ocorre dentro da faixa auditiva acima de 2000 Hz; a primeira mudança é mais acentuada em 4000 Hz, e depois em 3000 e 6000 Hz; o indivíduo não percebe, inicialmente a mudança, já que ela

envolve outras faixas de frequência e não a faixa de audição da fala (500 – 2000 Hz); o indivíduo pode sentir um som estridente (tinidos/zumbidos).

2.5.6 Perda auditiva induzida pelo ruído

“A probabilidade de que um ruído possa danificar a audição está relacionada com o nível de pressão global, com o espectro de frequência, e com o parâmetro temporal de um ruído versus duração da exposição” (JERGER e JERGER, 1989: 133).

De acordo com Jerger e Jerger (1989), a exposição a ruídos de forte intensidade resulta numa perda auditiva temporária ou permanente; podendo ocorrer de forma lenta, pela exposição prolongada a ruídos ambientais de risco (PAIR), ou ainda, de forma brusca, pela exposição de curta duração a um ruído intenso (trauma acústico).

A relação de tempo de exposição, a presença ou ausência de ruído de fundo, o espectro sonoro e o tipo de ruído são elementos que precisam ser considerados durante o estudo relacionado de exposição ao ruído e perdas auditivas (PLOMP, GRAVENDEEL e MIMPEN, 1963; AXELSSON, 1979; YERG, 1975; SATO, 1988).

Burns (1973), Peterson e Gross (1978) e Harris (1979), relatam que em ambientes de trabalho na faixa de 20 a 200 Hz, cujas fontes de ruído são ventiladores, bombas, compressores, geradores, veículos pesados, entre outros, o ruído é de frequência baixa. Esse tipo de ruído é muito incômodo, já que pode ser ouvido a longas distâncias, por consequência de seu grande comprimento de onda, e seu reduzido poder de atenuação do meio no qual se propaga. O ruído de

alta freqüência tende a ser mais prejudicial ao sistema auditivo e mais desconfortável do que o de baixa freqüência.

O Comitê Nacional de Ruído e Conservação Auditiva (1994), órgão multidisciplinar integrado pela SBORL, ANAMT, SBFono e SOBRAC, definiu e caracterizou a PAIR relacionada ao trabalho com objetivo de apresentar o posicionamento oficial da comunidade científica brasileira sobre o tema. Definiu a PAIR diferentemente do trauma acústico, como sendo uma perda auditiva gradual, ocasionada pela exposição continuada ao estímulo sonoro intenso. Com características neurossensoriais, quase sempre bilaterais, com danos causados ao órgão de Corti, raramente a perda auditiva do tipo profunda (geralmente não ultrapassa os 40 dB(A) nas baixas freqüências e os 75 dB(A) nas freqüências altas). Acomete, primeiramente, as freqüências de 6000, 4000 ou 3000 Hz e, com a progressão da lesão, afeta as freqüências de 8000, 2000, 1000, 500 e 250 Hz. O trabalhador que apresenta PAIR pode queixar-se de intolerância a ruídos intensos, zumbidos e não compreensão da fala (inteligibilidade) pois trata-se de uma lesão coclear. Geralmente chega ao nível máximo de alteração para as freqüências de 3000, 4000 e 6000 Hz, nos primeiros 10 a 15 anos de trabalho com ruído intenso (BELTRAMI, 1999).

Segundo Oliveira (2002), a perda auditiva induzida por ruído é uma doença cumulativa e insidiosa, que evolui com o tempo de exposição, associada ao ambiente de trabalho. Pode ser conseqüência de níveis de ruído que excedam uma média de 90 dB; oito horas por dia, sucessivamente, por vários anos. Após poucos anos de contato diário com o estímulo sonoro elevado, a perda auditiva inicia na freqüência de 4000 Hz e atinge uma faixa de 3000 a 6000 Hz. Conforme

Sataloff (1967), existem algumas características da PAIR (excluindo os casos de trauma acústico):

- A perda auditiva é irreversível, neurosensorial e predominantemente coclear;
- O trabalhador que apresenta perda auditiva deve ter história prolongada de exposição a níveis de ruído elevados (maior que 85 dB(A) / 8h / dia);
- A perda auditiva deve ter iniciado nas altas frequências (6000, 4000, 8000, 3000 e 2000 Hz ou 4000, 6000, 8000, 3000 e 2000 Hz) e ser semelhante nos dois ouvidos;
- Os resultados da audiometria tonal e da audiometria vocal devem ser condizentes;
- A perda auditiva deve estabilizar-se quando a exposição ao ruído for cessada.

Além de afetar o sistema auditivo, a exposição diária a níveis elevados de ruído traz conseqüências do tipo: zumbido, interferência na comunicação, incômodo ambiental, queda no desempenho das atividades, irritação, dores de cabeça; interferindo diretamente no sistema biológico e psicológico do trabalhador (MILLER, 1972 e MALATHI, 2001).

Conforme Mendes (1996), a lesão induzida pelo ruído é ocasionada por uma intensidade excessiva de ruído incapaz de ser amortecida até os níveis seguros pelo reflexo estapédio e tensor do tímpano, imprimindo-se na janela oval uma onda de pressão excessiva que passa para a escala média e para a rampa timpânica do ouvido interno; se isso ocorrer de forma crônica, pode determinar o morte das células ciliares. Primeiramente, ocorre uma deformação dos cílios com

comprometimento parcial da audição, para mais tarde haver a morte das células ciliadas

2.6 CONTROLE DO RUÍDO NA FONTE

A prevenção de alterações auditivas provocadas pelo som excessivo deve ser inicialmente aplicada à fonte geradora de ruído. A empresa necessita investir na atenuação e controle do nível de pressão sonora das máquinas e/ou motores, sendo esta conduta considerada uma intervenção primária (ALVES FILHO, 2002).

Melnick (1999) acredita que o controle do ruído deveria ser feito na fonte, por meio de projetos acústicos bem estudados por engenheiros, porém, isso nem sempre é realizado. O principal objetivo do PCA é impedir o aparecimento da PAIR, mas, na maioria das empresas o controle do ruído na fonte torna-se inviável (administrativamente ou economicamente), o que leva a medidas de controle através do uso de protetores auditivos individuais.

Gerges (2000) afirma que, quando não há possibilidades de realizar o controle do ruído na fonte por razões técnicas ou econômicas, podem ser utilizados outros recursos para a diminuição do barulho: materiais de absorção sonora – mecanismo resistivo (usados para revestimentos: espuma, lã de vidro, algodão, lã de rocha); dispositivo reativo (placas vibrantes, silenciadores de escapamento de automóveis) e dispositivo ativo.

A atuação de profissionais como engenheiros, médicos, fonoaudiólogos, técnicos em segurança do trabalho e administradores no desenvolvimento do PCA de uma empresa são, de acordo com Ibañez (1999), um fator primordial.

2.7 PRINCIPAIS FONTES DE RUÍDO VEICULAR

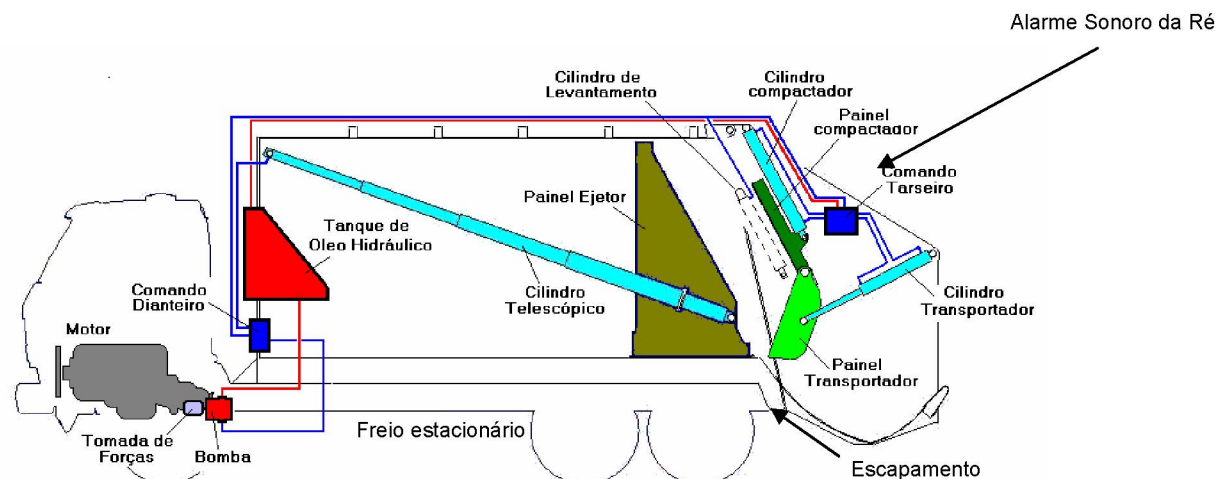


Figura 5: Fontes de ruído veicular

Fonte: USIMECA, 2002

Várias fontes são responsáveis por ruídos em caminhões, localizadas na frente no meio e na parte traseira do mesmo, conforme ilustrado na figura 5. Estes são o motor, o escapamento, o ventilador, o sistema de admissão, transmissão, freio estacionário, pneus, o eixo cardan, alarme sonoro da ré e o equipamento de coleta propriamente dito.

O ruído gerado por veículos de utilidade pública, tal como o veículo de coleta de resíduos domiciliares, tende a ser uma fonte de incômodo para a comunidade, como também para os próprios funcionários (motorista e coletores). Zannin (2002) considera que o conhecimento atual das pesquisas sobre a influência do ruído não permite ainda uma afirmação sobre a dimensão dos riscos à saúde. No entanto, pode-se tomar como concreto, que distúrbios duradouros devido ao ruído, conduzem a danos à saúde. Em cidades como Curitiba, os caminhões de lixo se fazem presentes no cotidiano da vida das pessoas e às vezes nem se apercebe do incômodo que os mesmos trazem para o meio

ambiente, embora existam vários tipos de compactadores de lixo, tais como: sistema de uma placa, sistema de duas placas, sistema de leme, sistema rotativo, sistema moinho e sistema rosca. Para esse estudo será abordado o sistema de duas placas, conforme ilustrado na figura 6 (b) abaixo.

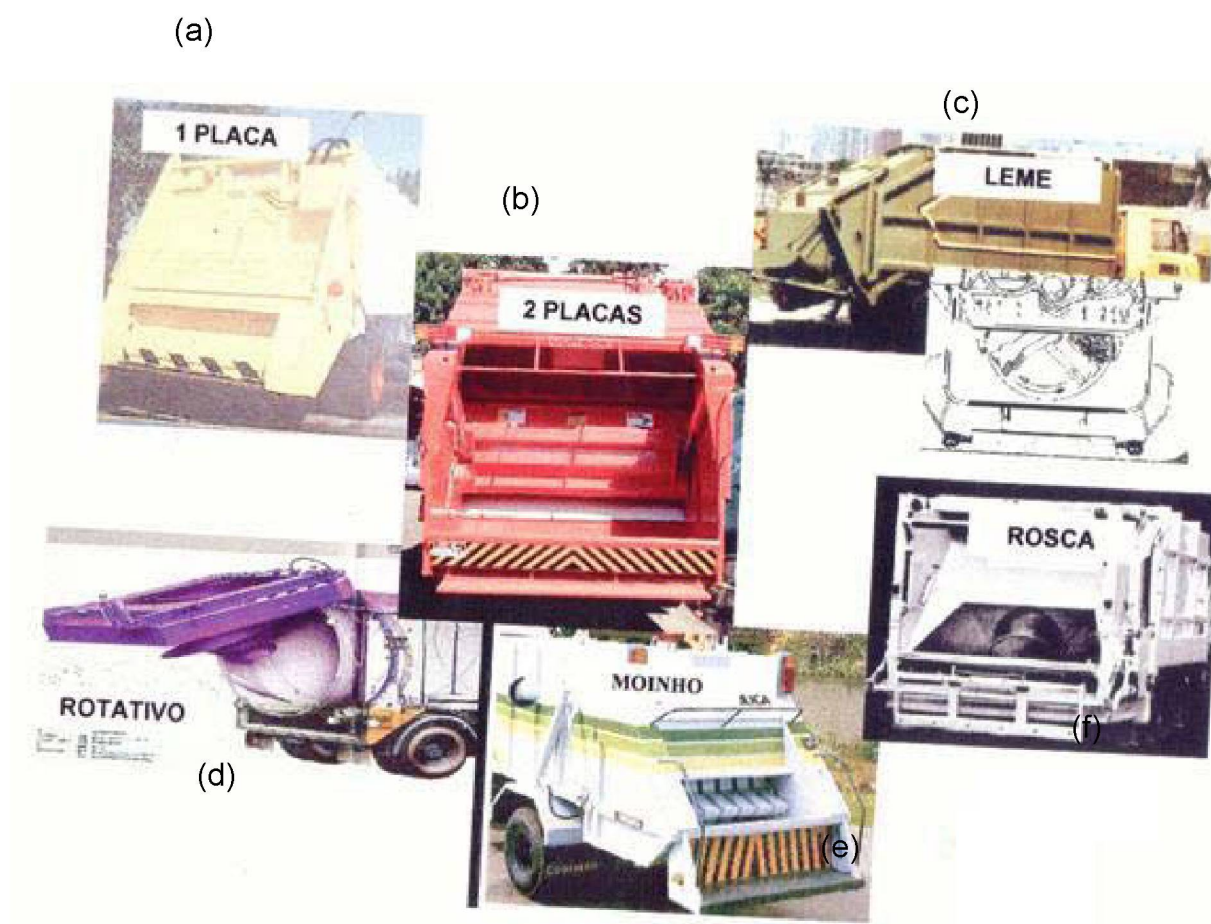


Figura 6 (a, b, c, d, e, f) : Modelos de sistemas de compactação

Fonte: USIMECA, 2002

Na figura 7, ilustra-se o funcionamento dos componentes do compactador de lixo.

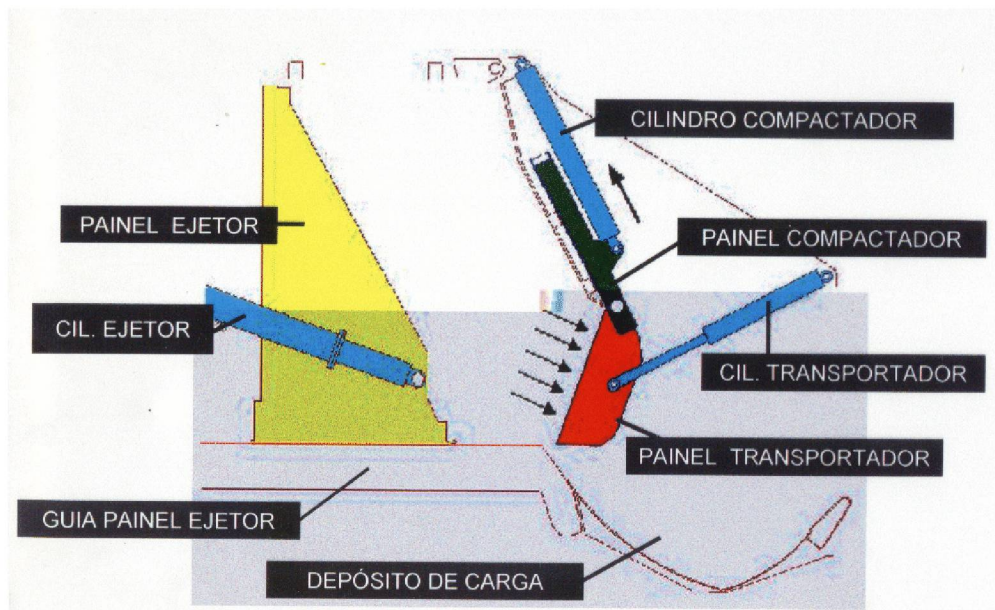


Figura 7: Funcionamento do compactador

Fonte: USIMECA, 2002

Tipos de acionamento

A caçamba coletora compactadora pode ser equipada com acionamento por alavanca ou por botão. (figura 8)

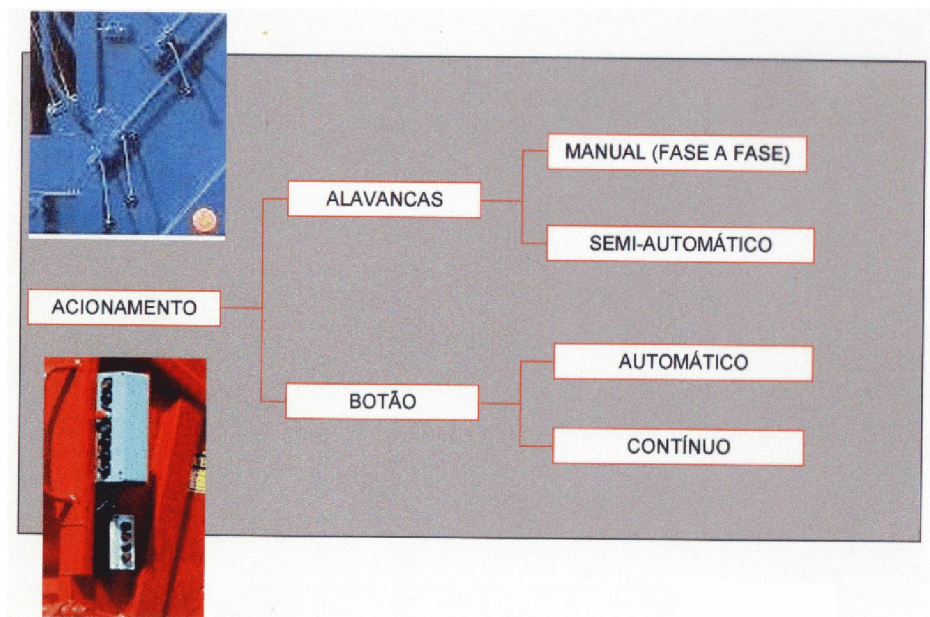


Figura 8: Tipos de ciclos de compactação

Fonte: USIMECA, 2002

Tomada de força

A tomada de força pode ser engatada através de acionamento de uma alavanca, de um botão e pode ser do tipo: acoplada, cardan ou direta. (Figura 9)

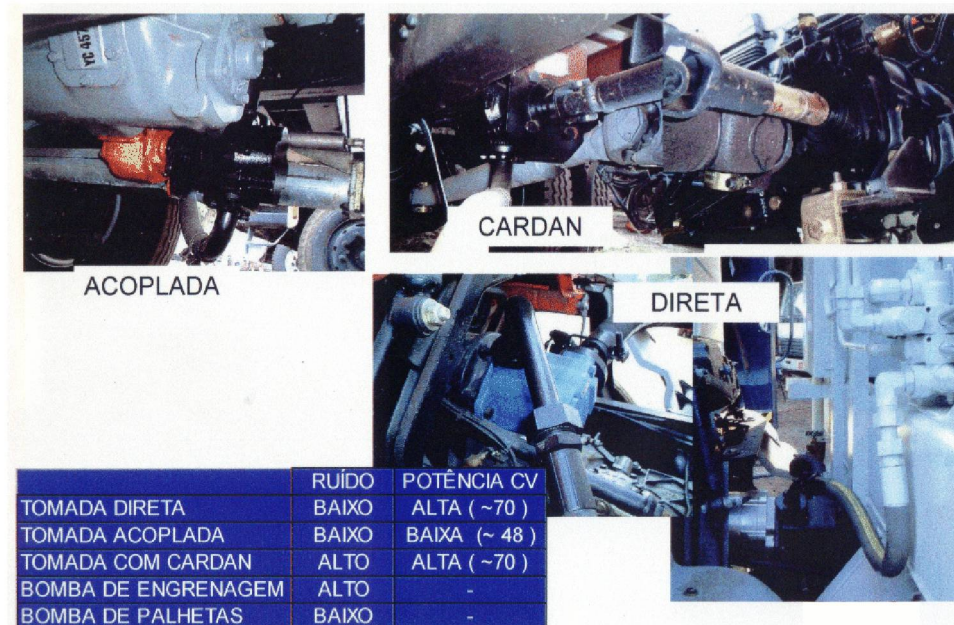


Figura 9: Tipos de tomada de força

Fonte: USIMECA, 2002

A aceleração automática

A aceleração automática do motor veicular consiste de um comando liga/desliga acoplado a uma válvula solenóide, um relê limite localizado junto às alavancas do comando de compactação da porta traseira, uma botoeira elétrica localizada na porta dianteira, lado esquerdo da caçamba e um cilindro pneumático. Esta chave de comando elétrico, localizada no painel da cabine do chassis permite o funcionamento do sistema que tem por finalidade acelerar o motor veicular e proporcionar mais torque à bomba hidráulica e,

conseqüentemente, a todo circuito hidráulico durante a operação dos vários cilindros existentes no equipamento. (figura10)

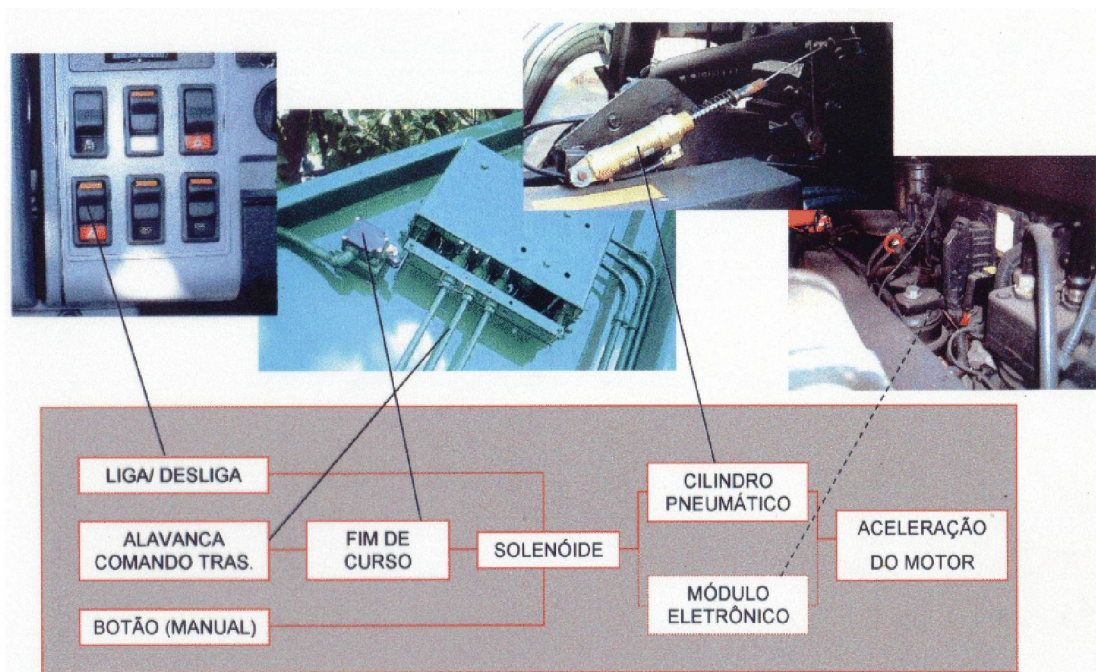


Figura 10 : Funcionamento da aceleração automática

Fonte: USIMECA, 2002

Operações de carga

Com o veículo parado, conforme especificado pelo manual do fabricante (Usimeca), sugere-se :

- engatar a tomada de força;
- Acionar simultaneamente as alavancas de comando das placas compactadora e transportadora, puxando para trás até a posição de travamento. Pode-se soltar as alavancas, que elas permanecerão nessa posição até o final dos movimentos das placas;
- Ao atingir a posição da fase 1 os cilindros de acionamento das placas terão atingido o final de seus cursos e o destrave das alavancas é

automático. Nesse momento, acione simultaneamente as alavancas de comando das placas compactadoras e transportadora, empurrando-as para frente até a posição de travamento. Uma vez atingida a posição, permanecerão nela até o final dos movimentos das placas. Esse procedimento fechará a placa compactadora, iniciando a compactação do lixo e subirá a placa transportadora, encerrando a compactação do lixo. Novamente os cilindros de acionamento das placas terão atingido o final de seus cursos e o destrave das alavancas é automático. (figura 11)

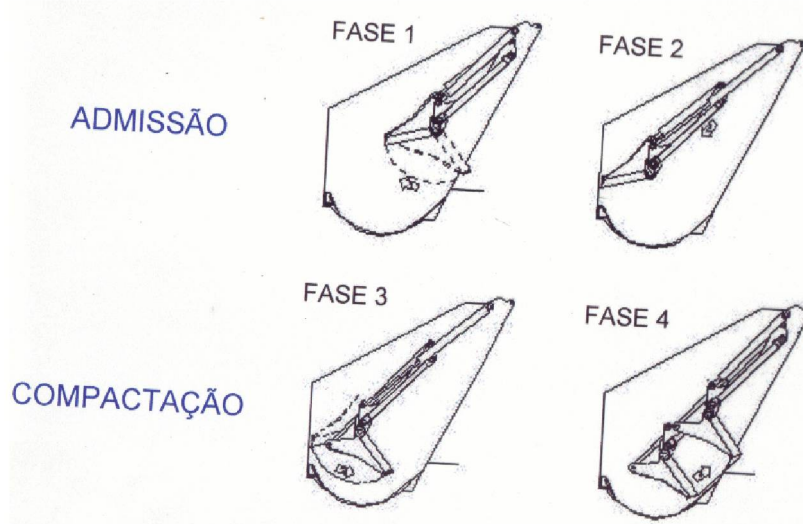


Figura 11: Fases de funcionamento do sistema de compactação de 2 placas

Fonte: USIMECA, 2002

2.7.1 Veículos de utilidades públicas – Norma Alemã RLS-90

Algumas recomendações para minimizar o ruído identificado em veículos de utilidades públicas, segundo a Norma Alemã RLS-90 são as seguintes:

- Quanto ao motor e transmissão:
 - Blindagem do motor e da transmissão;
 - Atenuação de ruídos dos equipamentos de ar comprimido.

- Quanto à carroceria:
 - Cilindros com mancal final de amortecimento;
 - Carenagem de segurança lateral alongada para baixo em toda a extensão;
 - Amortecimento (atenuação) da cuba de enchimento;
 - Bomba hidráulica de baixo ruído.

- Quanto ao sistema de elevação:
 - Comando eletrônico;
 - Comando hidráulico otimizado;
 - Instalação hidráulica otimizada;
 - Batentes com amortecimento.

As providências e as correspondentes exigências ambientais estão relacionadas na tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Nível de Potência Sonora

Tipo de veículo	Nível de emissões sonoras L_{wA} conforme DIN 45 648 em dB(A) de equip. tradicionais.	Exigências conforme RAL – UZ59	Providências para a redução de ruídos.
Veículo de sucção (aspiração)	91 - 115	97	Blindagem total sobre o motor e a bomba auxiliares. Aplicação de bomba de circulação de água.
Veículos combinados de sucção/ lavagem com alta pressão	92 - 112	99	As mesmas providências mencionadas acima.
Veículo de lavagem com alta pressão	100 - 110	97	Elevada potência do motor com correspondentes baixas rotações – Providência de blindagem.
Veículos com vassouras mecânicas	02 - 114	99	Melhor regulagem (sincronização) dos sopradores. Providências de blindagem nos sopradores (ventiladores).
Veículos de coleta de lixo	105 – 115 dB (A)*	99 e acréscimo de impulso <3dB(A)	Eliminação de golpes (amortecedores de borracha). Redução da rotação do motor, absorção do som.
Veículos de serviços de inverno.	102 – 118 dB(A) com acentuados efeitos sonoros e de impulsos (até o momento não há especificações, limites de medição)		Providências nas transmissões (do veículo suporte) bem como na hidráulica, no arado e na fresa de neve.

* Devido à acentuada presença de impulsos, com avaliação de impulsos.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 METODOLOGIA

Este capítulo propõe uma análise da qualidade ambiental do ruído gerado por veículos de utilidade pública, especificamente o “veículo de coleta de resíduos domiciliar” na cidade de Curitiba – PR, a partir de uma análise comparativa de avaliações, em 3 setores de coleta de lixo.

3.1.1 Etapas da Pesquisa

Como procedimento de análise, seguiu-se o seguinte passo:

- 1- Escolha dos setores onde seriam feitas as medições do ruído provocado pelos caminhões de coleta de resíduos domiciliar;
- 2- Escolha dos veículos de coleta de resíduos domiciliar para análise;
- 3- Realização de medições em campo com o analisador de ruído;
- 4- Entrada dos dados coletados em campo no software Sound Plan para análise do impacto do ruído na vizinhança;
- 5- Análise dos dados coletados, comparando com a legislação municipal nº 10625/2002, NBR 10151 (junho 2002) e pelo Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos Estados Unidos (HUD).

3.2 LOCAL DE ESTUDO E CAMINHÕES UTILIZADOS

3.2.1 A cidade de Curitiba

A Capital do Estado do Paraná tem 310 anos e está localizada no Sul do Brasil. Com um PIB de U\$ 12,1 bilhões/ano, tem renda per capita de aproximadamente U\$ 8 mil/ano, contra uma média nacional de U\$ 5 mil/ano.

Fonte: PMC - Prefeitura Municipal de Curitiba

É a única cidade brasileira a entrar no século 21 como referência nacional e internacional de planejamento urbano e qualidade de vida. Em março de 2001, uma pesquisa patrocinada pela ONU aponta Curitiba como a melhor capital do Brasil pelo Índice de Condições de Vida (ICV).

A maior parte de sua população de 1,6 milhão de habitantes descende de imigrantes italianos, poloneses, alemães, ucranianos, japoneses, sírios e libaneses.

Reconhecida nacional e internacionalmente por soluções urbanas inovadoras, a cidade tem o mais eficiente sistema de transporte coletivo do país e ostenta o índice de 55 metros quadrados de área verde por habitante, o que a faz ser considerada a “Capital Ecológica do Brasil”, feito este considerado na escolha de cidade como local do estudo de caso.

Tabela 4: Dados geográficos da Cidade de Curitiba

DADOS GEOGRÁFICOS	
Área	432,17 km ²
Relevo	Levemente ondulado
Área verde por habitante	55m ²
Extensão Norte-Sul	35 km
Extensão Leste-Oeste	20 km
Altitude média	908 m
Latitude	25°25'48" Sul
Longitude	49°16'15" Oeste
Fuso horário	Brasília
Clima	Temperado
Pluviosidade	1.500 mm/ano
Temp. média no verão	21°C
Temp. média no inverno	13°C

Fonte: PMC - Prefeitura Municipal de Curitiba

O Município de Curitiba e Região Metropolitana, antes da implantação do Aterro Sanitário da Caximba, não possuíam um local adequado para a disposição de Resíduos Sólidos Urbanos (lixo). A cidade utilizava depósitos de lixo (lixões) da Lamenha Pequena - CIC e de São José dos Pinhais, os quais tiveram uma vida útil de apenas seis meses. Os lixões foram desativados, sendo que os da Lamenha Pequena e de São José dos Pinhais foram recuperados e hoje estão na condição de aterros controlados.

Em 20 de novembro de 1989, iniciou-se a operação do Aterro Sanitário, localizado ao sul do Município de Curitiba a 23 km do centro, no bairro da Caximba, localizado entre os municípios de Araucária e Fazenda Rio Grande. A área total do Aterro Sanitário é de 410.000m², sendo que a área destinada à disposição de lixo é de 237.000m².

O Aterro Sanitário da Caximba recebe resíduos de 14 municípios da Região Metropolitana, a saber: Almirante Tamandaré, Araucária, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Campo Magro, Colombo, Contenda, Fazenda Rio Grande, Itaperuçu, Pinhais, Piraquara, São José dos Pinhais, Mandirituba e Quatro Barras.

Para escolha deste local, a Prefeitura Municipal de Curitiba, fundamentada em estudos preliminares e normas operacionais, certificou-se de que a confinamento dos resíduos sólidos seria segura em termos de controle de poluição e proteção ambiental.

Foi adotada em projeto uma produção per capita média de lixo de 0.55 kg/hab/dia, e uma abrangência variável do sistema de coleta de 75 a 90%, dos anos de 1988 a 2010.

Considerando-se a capacidade aproximada de projeto do aterro de 3.239.500 toneladas, e a projeção populacional para o município de Curitiba, estimou-se uma vida útil aproximada de 11 anos e 5 meses.

Em 20 de novembro de 1989, iniciou-se a operação do Aterro Sanitário da Caximba. Até julho/02, foi depositada a quantidade de 6.167.190,88 toneladas de Resíduos Sólidos (PMC, 2004).

3.2.2 Local e condições para as avaliações

Os locais abaixo determinados foram escolhidos com os seguintes critérios: Setor 77 por ser um bairro com um grande volume populacional e com grande geração de lixo; setor 17, região central onde a coleta é realizada à noite com possibilidade de avaliar o ruído no período noturno e por último o setor 81

por ser um bairro tipicamente residencial com pouco volume de tráfego de veículos.

Na avaliação objetiva, foram realizadas medições dos níveis sonoros entre março e agosto de 2004, em diferentes pontos do setor 77, que compreende o bairro Vila Guaíra, no turno diurno; do setor 17, que compreende o setor central da cidade, no período noturno; e do setor 81 Jardim das Américas, no período diurno com medidor Bruel & Kjaer 2238. Foi utilizado o Software Evaluator 7820, programa este que captura e converte as medições do impacto do ruído ambiental, seguindo as recomendações da Norma Brasileira NBR 10151 / Junho 2000 (ABNT, 2000).

As medições ambientais foram feitas com ausência de fontes sonoras atípicas, tais como chuva e vento forte.

Os setores foram determinados de acordo com a quantidade de lixo e os horários em que é efetuada a coleta de lixo domiciliar.

3.2.3 Escolha dos caminhões

Embora a empresa prestadora de serviços na cidade de Curitiba utilize outros tipos de caminhões em várias modalidades de limpeza pública, focou-se a pesquisa nos veículos de coleta de resíduos domiciliar, visto os mesmos serem considerados uma fonte ruidosa que causa incômodo para a comunidade, principalmente porque rodam dia e noite de segunda-feira a sábado nas ruas da cidade.

3.3 ATIVIDADES ROTINEIRAS DA COLETA DE LIXO

A Coleta Domiciliar é realizada diariamente, alternada com a Coleta de Recicláveis, abastecendo todo o município de Curitiba. Atende a região central e os bairros adjacentes em dois turnos – diurno e noturno – evitando o tráfego excessivo de veículos pesados em horário comercial. Nos demais bairros, a frequência de coleta é de três vezes por semana, no período diurno, ocasionando a redução do trajeto a ser percorrido e a maior uniformidade na quantidade de resíduos dispostos para coleta, otimizando a frota e mão-de-obra.

Os setores são percorridos de segunda a sábado, das 07:00 às 16:00 h e das 19:00 às 04:00 h.

3.3.1 Organização do Trabalho

A coleta é executada por veículos coletores de lixo domiciliar, com capacidade de carga de 17,5 m³ (toco) e 21,3 m³ (truck).

A coleta de resíduos orgânicos é feita através de setores na cidade de Curitiba por meio de equipes de trabalho. Antes de saírem do pátio da empresa, um líder de pátio, responsável por 4-5 equipes, reúne-as, verificando se não existem problemas ou necessidades de remanejamento. Cada equipe é composta por três coletores e um motorista. Em condições normais, estas equipes são fixas, não havendo mudanças nem mesmo de caminhão, uma vez que o entrosamento entre seus elementos deve ser grande.

As equipes saem do pátio com todos os coletores dentro da cabine do caminhão até chegarem ao setor de coleta.

O tempo/distância que não seja de efetiva coleta de lixo é chamado de tempo/quilometragem “improdutivo”. Em seguida, os coletores passam à parte posterior do veículo iniciando-se o processo de coleta. Todo o tempo de coleta, bem como a distância percorrida neste período, é chamado de “produtivo”.

Uma vez que o caminhão está carregado, este se desloca ao aterro da Caximba, para fazer o depósito do lixo. Durante os deslocamentos improdutivo, os coletores devem permanecer na cabine. Em média, o deslocamento do caminhão da coleta é de 78 km (saída do caminhão da empresa, o percurso no setor e o deslocamento até o aterro sanitário) e o percurso por viagem efetivamente coletado no setor é em média de 38 km.

3.3.2 Dificuldades encontradas nos setores

Alguns setores têm uma grande extensão de área (Região Norte). Outros graus de dificuldade encontrados são os aclives e declives – ex.: Bairro Alto, Taboão, Pilarzinho, Vila Nory, etc.

Há setores que demandam grande frequência de transposição de níveis – Região Sul (muitos pontos de coleta de pequeno volume), por exemplo o bairro Umbará.

3.3.3 Sazonalidade do Volume

Conforme estatística fornecida pela empresa prestadora de serviço, com base na evolução da produção realizada entre o período de 1999 a 2001, nota-se que existem determinados meses do ano, nos quais a tendência do volume do

lixo é de aumentar. Por exemplo, nos meses de dezembro e janeiro o volume é cerca de 7% a mais que a média dos outros 10 meses do ano. Os dias de maiores volumes de lixo (aumento) na semana são segunda feira e terça feira, o que influencia mais horas trabalhadas por caminhão.

3.4 PONTOS DE MEDIÇÕES

Para se fazer as medições, foi feita uma programação dos locais a serem mapeados.

Nas tabelas 5 e 6 a seguir, se indicam os pontos de medição, sua localização no bairro e o tempo de ciclo (s) (Tempo gasto para prensar o lixo).

Tabela 5 - Pontos e medições do setor 77

Ponto N.º	Localização	Tempo de Ciclo(s)
01	Rua Bahia n° 149	19
02	Rua Piauí n° 1722	15
03	Rua Bahia n° 249	29
04	Rua Augusto de Mari n° 1545	14
05	Rua Augusto de Mari n° 1545	15
06	Rua Assis Figueiredo n° 763	14
07	Rua Assis Figueiredo n° 548	16
08	Rua Assis Figueiredo n° 548	15
09	Rua Paraíba n° 1581	16
10	Rua Minas Gerais n° 465	15
11	Rua Rio Grande do Norte n° 1658	17
12	Rua Santa Zita n° 90	28
13	Rio Vila Guaira n°82	18
14	Rua Felício da Costa Vieira n° 151	15
15	Rua Manoel Hygino dos Santos n°225	16
16	Rua Santa Zita n° 281	15
17	Rua Santa Zita n° 281	29
18	Rua Santa Zita n° 281	15
19	Rua Santa Zita n° 281	16
20	Rua Alagoas n° 1469	15
21	Rua Bahia n° 734	16
22	Rua Bahia n° 583	15
23	Rua Previsto Columbia n° 220	17
24	Rua Previsto Columbia n° 340	15
25	Rua Sergipe n° 414	25
26	Rua Bahia n° 1008	16
27	Rua Bahia n° 1008	17
28	Rua Bahia n° 34	16
29	Rua Assis Figueiredo esq Alagoas	16
30	Rua Eugênio José de Souza	16

Fonte: O Autor

Tabela 6 - Pontos e medições do setor 17

Ponto N.º	Localização	Tempo de Ciclo(s)
01	Rua Luiz Xavier n° 10	21
02	Rua Ermelino de Leão (largo Frederico F. de Oliveira)	30
03	Rua Ermelino de Leão n° 220	15
04	Rua Saldanha Marinho n° 418	26
05	Rua Saldanha Marinho n° 674	30
06	Rua Candido Lopes n° 331	30
07	Rua Candido Lopes n° 331	25
08	Rua Candido Lopes n° 331	20
09	Rua Cruz Machado n° 301	23
10	Rua Dr Muricy n° 827	20
11	Rua Dr Muricy n° 600	37
12	Rua Dr Muricy n° 600 Praça Zacarias	23
13	Rua Ébano Pereira n° 138	22
14	Rua Ermelino de Leão n° 18	20
15	Rua Ermelino de Leão n° 18	20
16	Rua Carlos de Carvalho n° 74	21
17	Rua Carlos de Carvalho n° 256	24
18	Rua Candido Lopes n° 234	25
19	Rua Carlos de Carvalho n° 122	20
20	Rua Carlos de Carvalho n° 122	17
21	Rua Visconde de Nácar n° 1200	23
22	Rua Vicente Machado n° 401	57
23	Rua Vicente Machado n° 141	20
24	Rua Vicente Machado n° 47	22
25	Rua Alameda Cabral n° 105	26
26	Rua Carlos de Carvalho n° 485	20
27	Rua Carlos de Carvalho n° 580	21
28	Rua Carlos de Carvalho n° 926	20
29	Rua Carlos de Carvalho n° 1474	37
30	Rua Francisco Rocha n° 848	23

Fonte: O Autor

Setor 81 – As medições no setor 81 foram efetuadas apenas na Rua Benedicto Berillo Fangueiro.

Os mapas dos setores 77, 17 e 81 com a localização dos pontos onde foram realizadas as medições encontram-se no anexo.

3.4.1 Avaliação Ambiental

A avaliação ambiental foi feita através de mapeamento acústico onde será considerado o conjunto do ruído de tráfego sem a presença do caminhão e o comparativo com a presença do mesmo.

3.5 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MEDIÇÃO

3.5.1 Analisador de Ruído

Para este estudo foi utilizado o instrumento portátil programável analisador Brüel & Kjaer 2260, com o qual se pode realizar medições ao vivo e retransmiti-los por Internet através de um computador, e controlá-las a distância de forma automática.

O analisador possui as seguintes funções:

- Medição do ruído ambiental;
- Análises de oitava banda;
- Análises de oitava a 1/3 oitava;
- Monitoramento do ruído;
- Estimativa do esforço de redução do ruído;
- Acumulação de dados de pesquisa para posterior análise.

E apresenta as seguintes características técnicas:

- IEC e ANSI Tipo 1 medição de nível de ruído;
- 8 Hz a 20 kHz de faixa de frequência em 1/3 banda de oitava de análise; Anotações ao vivo e exclusões de dados;
- Controle de ruído gravado em um computador;
- Registro automático dos eventos;

- Operação remota via conexão modem;
- Carga automática de Controle de Injeção e Calibragem (CIC);
- Bandas de frequências largas e espectros estáticos.

3.5.2 Medidor de pressão sonora

O Medidor de pressão sonora utilizado foi o do tipo 2238, marca Brüel & Kjaer classe 1, precisão $\pm 0,41$ dB, instrumento de medição de ampla faixa que permite avaliar por meio do ambiente acústico medido os ruídos nos locais de trabalho.

Também, permite uma completa medição estática. Podem ser selecionados sete valores de LN (de L1 a L 99). No instante que o instrumento grava a distribuição estatística completa em cada medição permite uma análise posterior utilizando um computador através do software Brüel & Kjaer 7820 Evaluator, 7825 Noise Explorer. Faixa de frequência: 8 Hz a 16 kHz ± 2 dB.

3.5.3 Calibrador Acústico

Para a calibragem do medidor de pressão sonora Brüel & Kjaer 2238 e do Analisador Brüel & Kjaer 2260 se utilizou o calibrador Brüel & Kjaer 4231. A calibragem do aparelho, segundo o fabricante, está conforme as normas do IEC942 (1988) Classe 1 e ANSI S1.40-1984 (R1997). A precisão do calibrador é de ± 0.2 dB, sendo a frequência de calibragem : 1kHz.

3.6 PROGRAMA PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Para a avaliação ambiental foi utilizado o avaliador tipo 7820, o qual é um software utilizado em avaliações do ruído ambiental. Suas ferramentas são versáteis e utilizadas para analisar os dados baixados do medidor de pressão sonora Brüel&Kjær 2238, sendo o mesmo uma solução completa para a determinação de níveis de avaliação ambiental de acordo com vários padrões nacionais e internacionais.

O avaliador possui características avançadas, incluindo a gravação e som repetitivo, avaliação do tonal usando espectro de FFT e a opção de dados remotos dos medidores de Brüel&Kjær através de uma conexão do modem.

Usos:

- Cálculo de níveis de avaliação de acordo com padrões nacionais e internacionais;
- Medida do perfil do ruído:
Ruído industrial, ruído residencial e ruído do tráfego da estrada e de trilho;
- Avaliação do ruído ambiental de encontro aos limites do ruído de acordo com padrões nacionais e internacionais.

As características principais do software de avaliação adotado são:

- Transferência de dados do medidor 2238 e do 2260;
- Armazenamento de dados em um PC;
- Marcadores automáticos para os períodos mais altos, o índice do impulso, os tons constantes (derivados dos espectros de 1/3-oitava)

O avaliador permite editar e combinar dados armazenados dos medidores Brüel&Kjær e de outros pacotes de software de Brüel&Kjær a fim de calcular o nível de avaliação para a fonte de ruído. O nível de avaliação é baseado em um perfil do gráfico criado das medições selecionadas.

Os resultados são apresentados de acordo com uma estrutura dos parâmetros que você define, e podem incluir dia e semana.

Na prática a medição do ruído ambiental e do ruído da comunidade (níveis de avaliação), é processado em quatro etapas:

1. Medidas de campo usando um analisador;
2. Transferência de dados medidos a um PC;
3. Preparação dos dados para calcular um nível de avaliação ;
4. Geração de resultados através de soluções oferecidas por Brüel&Kjær.

Os dados podem ser baixados no avaliador através de um PC-cartão ou através de uma ligação da série RS 232. Os arquivos de dados são armazenados nos projetos do avaliador, que são agrupamentos das linhas que contêm todos os dados iniciais, cálculos e resultados.

Para auxiliar na visualização gráfica de dados medidos, o avaliador pode apresentar parâmetros medidos nas seguintes maneiras: como uma exposição do perfil do ruído (em nível contra o tempo), como uma exposição do espectro filtros de 1/1-oitava e de 1/3-oitava, como o espectro de um FFT (em nível contra a frequência), ou como uma exposição estatística das distribuições cumulativas ou niveladas (porcentagem contra o nível).

Na figura 12 apresenta-se o modelo de diagrama de conexão de instrumentos com o computador.

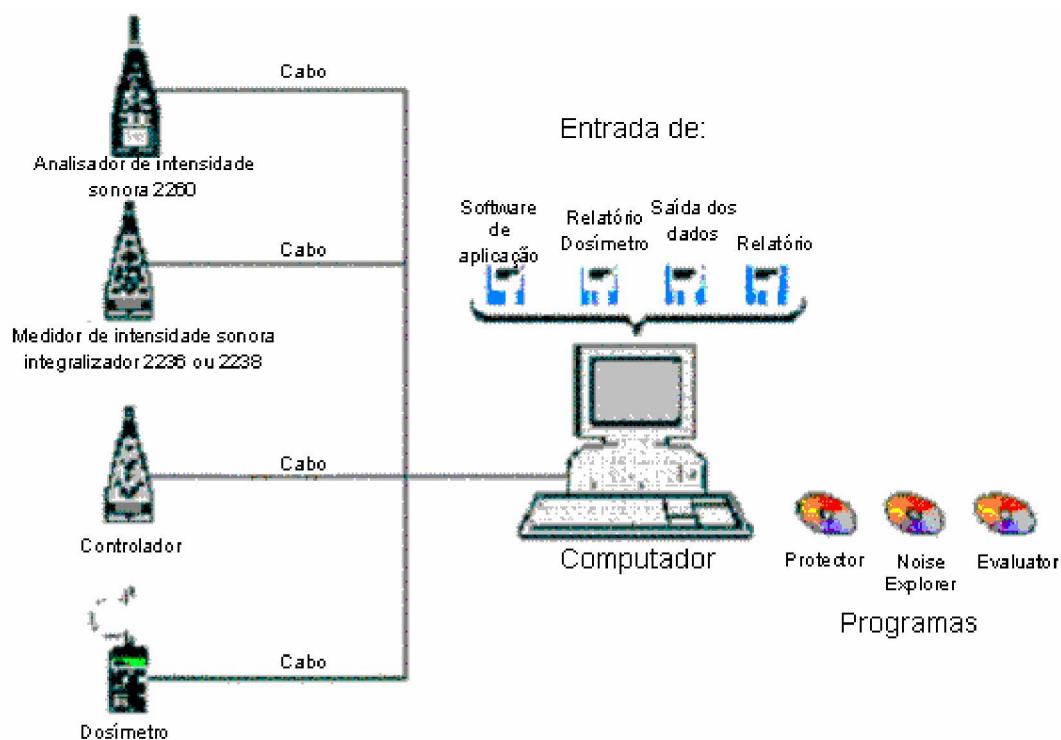


Figura 12: Diagrama de conexão de instrumentos com o computador

Fonte: BRUEL & KJAER, 2002

O software Noise Explorer Tipo 7815, é usado para exibir e relatar as medições de ruídos com um número de instrumentos portáteis da Brüel & Kjaer, incluindo o B&K 2260. Pode exibir os dados graficamente, curvas de espectro e estatística. O Noise Explorer tem uma faixa de características para exportar seus dados medidos a outro programa ou imprimi-lo em uma impressora.

3.7 MODELAGEM DOS TERRENOS/UTILIZAÇÃO DO SOUND PLAN

A primeira tarefa para as simulações acústicas consistiu em se fazer a modelagem das áreas a serem estudadas. Apesar do *Sound Plan* dispor de um

módulo para se modelar a região de estudo, é preferível fazer uso de um programa tipo CAD (*Computer Aided Designer*). Para tanto, o AutoCad versão R14, versão oficial, foi utilizado, e as áreas em estudo foram modeladas com a ajuda de plantas baixas. Depois de feito o desenho procedeu-se à colocação das moradias mais próximas, ou seja, àquelas mais afetadas pelo ruído do veículo de coleta de resíduos domiciliar. Os muros das casas e a topografia do terreno também foram considerados. O *Sound Plan* trata a topografia através de curvas de nível, as quais foram desenhadas no AutoCad.

Foram coletadas informações sobre as características das áreas, junto ao IPPUC, URBS e Prefeitura Municipal de Curitiba: tipos de edificações, tipo de zona, topografia, características construtivas das edificações, características das vias (informações sobre a infra e superestrutura do pavimento, altimetria, planimetria, tipo de revestimento, existência de defeitos na pista, planejamento do tráfego, sinalização viária, volume mensal de tráfego);

3.7.1 Procedimento de modelação do programa.

A norma RLS-90, utilizada pelo *Sound Plan* para modelar acusticamente o ruído gerado pelo tráfego de veículos nas ruas ou rodovias, foi a escolhida. Apesar da norma ser alemã, Calixto (2002) mostrou em seu trabalho que ela poderia ser aplicada nas condições brasileiras com ótima precisão.

Neste trabalho a Norma é usada para calcular o ruído gerado pelo fluxo de veículos. Leva-se em consideração alguns fatores para chegar a esse nível (BRAUNSTEIN e BERNDT, 1999):

- Número de veículos por hora;

- Porcentagem de veículos pesados;
- Velocidade dos veículos leves;
- Velocidade dos veículos pesados;
- Tipo de superfície da rua ou rodovia;
- Gradiente da rua ou rodovia;
- Adições devido a reflexões múltiplas;

Veículos pesados, segundo esse procedimento de cálculo, são aqueles que excedem 2,8 toneladas.

A precisão de uma modelagem para posterior simulação acústica (ou qualquer tipo de simulação) influenciará na precisão dos resultados obtidos. Como especificado pelo manual do Sound Plan , “Os modelos não possuem descrição completa do mundo real, os modelos precisam ser construídos com muita atenção, e se possível, calibrados com medidas” (BRAUNSTEIN E BERNDT, 1999, p. 293). Tomou-se, portanto, o cuidado de construir modelos o mais próximo possível da realidade e, conforme especificado no item "Inserção das Fontes Sonoras", calibrados com diversas medições nos locais.

Outro parâmetro que influi sobremaneira na precisão dos resultados de uma simulação é a metodologia de cálculo utilizada pelo software. O Sound Plan é baseado em normas, onde as equações derivadas dos estudos das leis da Acústica foram escritas. As normas são selecionadas no ato do cálculo e a precisão dos cálculos será tão boa quanto a das normas selecionadas (BRAUNSTEIN E BERNDT, 1999, p. 293).

3.7.2 Inserção das Fontes Sonoras

Os dados de entrada se concentraram em fontes pontuais para caracterizar o caminhão, assim como no fluxo de veículos e característica das ruas e rodovias.

Uma vez terminado o processo de representação das áreas com a ajuda do AutoCad v.14 e da importação dos arquivos pelo *Sound Plan*, procedeu-se à determinação das potências sonoras, dados esses que deveriam ser inseridos no programa. Para tanto, o medidor de nível sonoro BRÜEL & KJAER 2238 e o analisador BRÜEL & KJAER 2260 foram utilizados.

Um caminhão pode ser considerado um paralelepípedo para efeitos de estudo de emissão sonora, de acordo com Medeiros et. al. (2001). As 6 faces funcionam como radiadores sonoros. Como este estudo centra-se em determinar a pressão sonora nas moradias, portanto em distâncias grandes em relação às dimensões do caminhão, a fonte sonora como um todo pode ser resumida a um ponto. Por este motivo, fontes sonoras pontuais foram utilizadas no *Sound Plan* no lugar do veículo de coleta de resíduos domiciliar.

A determinação da potência sonora do veículo de coleta de resíduos domiciliar foi feita através de várias medições sob condições meteorológicas favoráveis, ou seja, sem chuva e sem vento. Tomou-se o cuidado de evitar a interferência de ruídos externos.

Os pontos de medição foram inseridos no *Sound Plan* de modo a proceder-se ao cálculo da potência sonora do caminhão em questão. A determinação do tipo de fonte representativa do veículo de coleta de resíduos domiciliar foi feita utilizando-se o critério da norma RLS-90 (Alemã).

A unidade da potência sonora é dB, e o *Sound Plan* , em seus cálculos, aplica a ponderação da curva A.

3.7.3 Cálculo do volume de tráfego

O cálculo do volume diário de tráfego e composição do tráfego de todas as vias foi feito utilizando a planilha de PAZ, 2004, em anexo, e foram realizadas contagens de veículos no local.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão descritos os resultados do estudo realizado da seguinte forma: avaliação ambiental, com sua respectiva análise.

A avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do veículo de coleta de resíduos domiciliar nas ruas e avenidas de Curitiba foi feita com a comparação dos níveis equivalentes de imissão do ruído do caminhão com determinados níveis de referência.

O conhecimento dos níveis de imissão do ruído é fundamental para este ou para qualquer outro estudo que pretenda avaliar o impacto ambiental causado pela poluição sonora ambiental na cidade de Curitiba.

Sendo os níveis de imissão sonora os níveis da pressão sonora que efetivamente chegam ao receptor, torna-se evidente que eles dependerão sempre dos níveis de emissão do ruído, a distância entre o observador e a fonte e das condições da propagação do som.

4.1 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Foram adotados, para fins de avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do veículo de coleta de resíduos domiciliar, os limites estabelecidos através dos seguintes critérios:

- O primeiro é determinado pela legislação municipal, Lei N.º 10.625/2002, o segundo através da NBR 10151 (JUN 2000) e o terceiro é determinado pelo HUD;

- Análise do mapeamento acústico nos setores de coleta onde se considerou conjunto do ruído de tráfego sem a presença do veículo de coleta de resíduos domiciliar;
- Análise do mapeamento acústico nos setores de coleta onde se considerou conjunto do ruído de tráfego com a presença do veículo de coleta de resíduos domiciliar;
- Análise do mapeamento acústico através de simulação no Sound Plan para se obter um mapa de conflito com a lei municipal nº 10.625/2002;
- Análise distribuição cumulativa dos níveis sonoros no Evaluator BK 7820;

A seguir iniciamos as simulações computacionais no Sound Plan para as situações: sem o caminhão (fonte: vias de tráfego), com o caminhão (fonte: vias de tráfego e veículo de coleta de resíduos domiciliar em operação de recolhimento de resíduos sólidos domiciliar).

Para o setor 81 no período diurno, considerando-se a situação sem o caminhão, a simulação com o Sound Plan gerou a figura 13.

As simulações acústicas foram feitas com a ajuda do software Sound Plan, iniciando-se com a modelagem das áreas estudadas. Utilizou-se também o programa Auto Cad versão R14, versão oficial, e a área do setor 81 foi modelada através de planta baixa.

Depois de feito o desenho colocou-se as moradias mais próximas da passagem do veículo.

Levou-se em consideração alguns fatores:

Número de veículos por hora, porcentagem de veículos pesados, velocidade dos veículos leves, velocidade dos veículos pesados.

Após terminar o processo de representação das áreas, procedeu-se à determinação das potências sonoras.

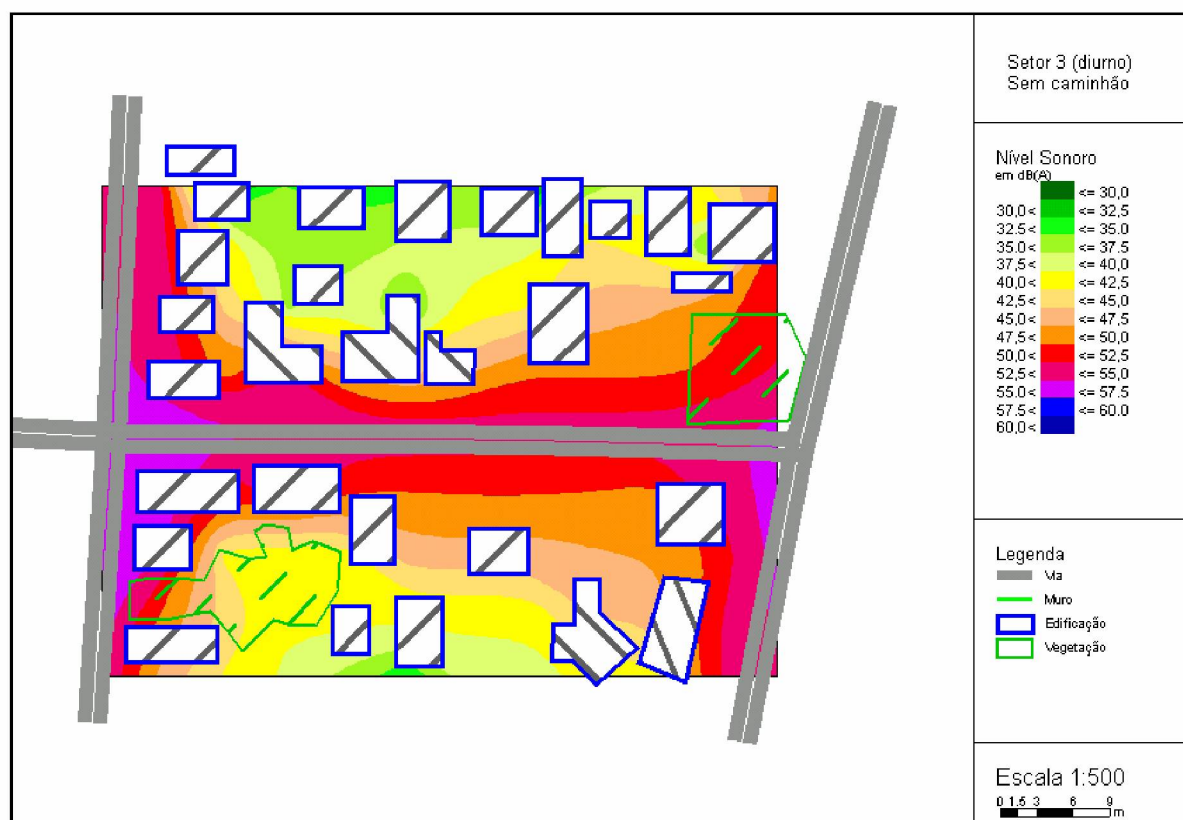


Figura 13: Setor 81 diurno – sem caminhão

A comparação dos níveis com a legislação da cidade de Curitiba (período diurno), indicou o seguinte resultado:

- Para as ruas principais de acesso existe uma zona concentrada, com níveis na faixa de 55-57,5 dB(A), estando estes acima da legislação em 2,5 dB(A).
- A via secundária não apresenta níveis que ultrapassem a legislação.
- O setor 81 (Jardim das Américas), segundo a Lei Municipal 10625/2002, fixa os seguintes limites de emissão sonora: zonas residenciais, especiais habitacionais, verdes, agrícolas, especiais de habilitação de interesse social: diurno das 7:00 h às 19:00 h (55 dB).

Para o setor 81 no período diurno, agora com a presença do caminhão, a simulação com o Sound Plan gerou a figura 14.

As simulações acústicas foram feitas com a ajuda do software Sound Plan, iniciando-se com a modelagem das áreas estudadas. Utilizou-se também o programa Auto Cad versão R14, versão oficial, e a área do setor 81 foi modelada através de planta baixa.

Depois de feito o desenho colocou-se as moradias mais próximas da passagem do veículo.

Levou-se em consideração alguns fatores:

Número de veículos por hora, porcentagem de veículos pesados, velocidade dos veículos leves, velocidade dos veículos pesados.

Após terminar o processo de representação das áreas, procedeu-se à determinação das potências sonoras.

A medição com a presença do caminhão deu-se da seguinte maneira: O veículo chegando no ponto, parando, acionando o freio estacionário e posteriormente engatando a tomada de força e acionando simultaneamente as alavancas de comando das placas compactadora e transportadora, iniciando-se a operação de compactação do lixo domiciliar.

Ao engatar a tomada de força e acionar simultaneamente as alavancas de comando das placas, puxando-as para trás até a posição de travamento, soltando-se as alavancas, as mesmas permanecerão nessa posição até o final dos movimentos das placas.

Ao atingir a posição de admissão os cilindros de acionamento das placas terão atingido o final de seus cursos e o destrave das alavancas é automático. Nesse momento, aciona-se simultaneamente as alavancas de comando das

placas compactadoras e transportadora empurrando-as para frente até a posição de travamento. Uma vez atingida a posição permanecerão nessa posição até o final dos movimentos das placas. Esse procedimento fechará a placa compactadora, iniciando a compactação do lixo e subirá a placa transportadora, encerrando o ciclo. Novamente os cilindros de acionamento das placas terão atingido o final de seus cursos e o destrave das alavancas é automático, procedendo-se assim a compactação total do lixo domiciliar.

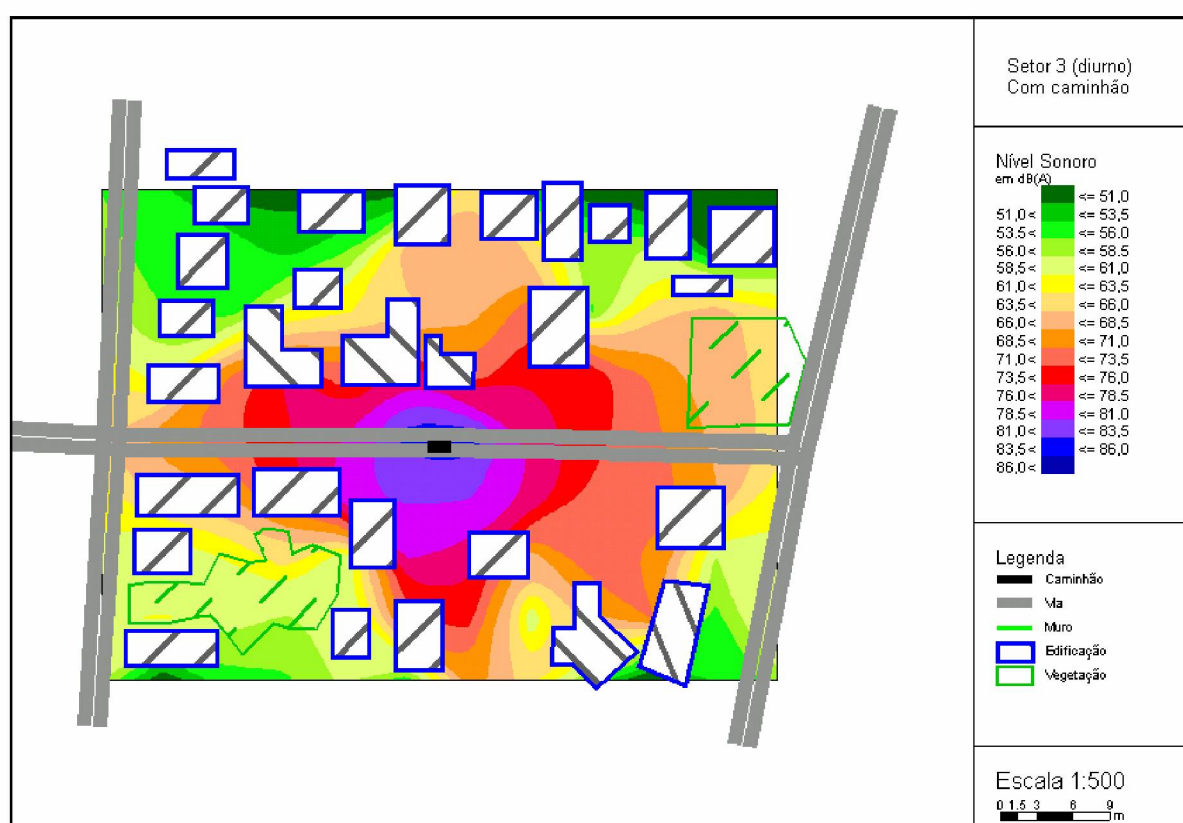


Figura 14: Setor 81 diurno – com caminhão

A comparação dos níveis com a legislação da cidade de Curitiba (período diurno) com a presença do caminhão (fonte em linha), indicou o seguinte resultado:

- Para as ruas principais de acesso existe uma zona concentrada, com níveis na faixa de 66 – 68,5 dB(A), estando acima da legislação em 13,5 dB(A)

- Na via secundária existe uma zona concentrada de níveis de 81 - 83 dB(A), estando acima da legislação em 28,5 dB(A).
- O setor 81 (Jardim das Américas), segundo a Lei Municipal 10625/2002, fixa os seguintes limites de emissão sonora: zonas residenciais, especiais habitacionais, verdes, agrícolas, especiais de habilitação de interesse social: diurno das 7:00 h às 19:00 h (55 dB).

Realizou-se simulação computacional no Sound Plan para que se obtivesse um mapa de conflito com a Lei Municipal 10.625 / 2002. Este nos dá para cada ponto o quanto está acima da legislação.

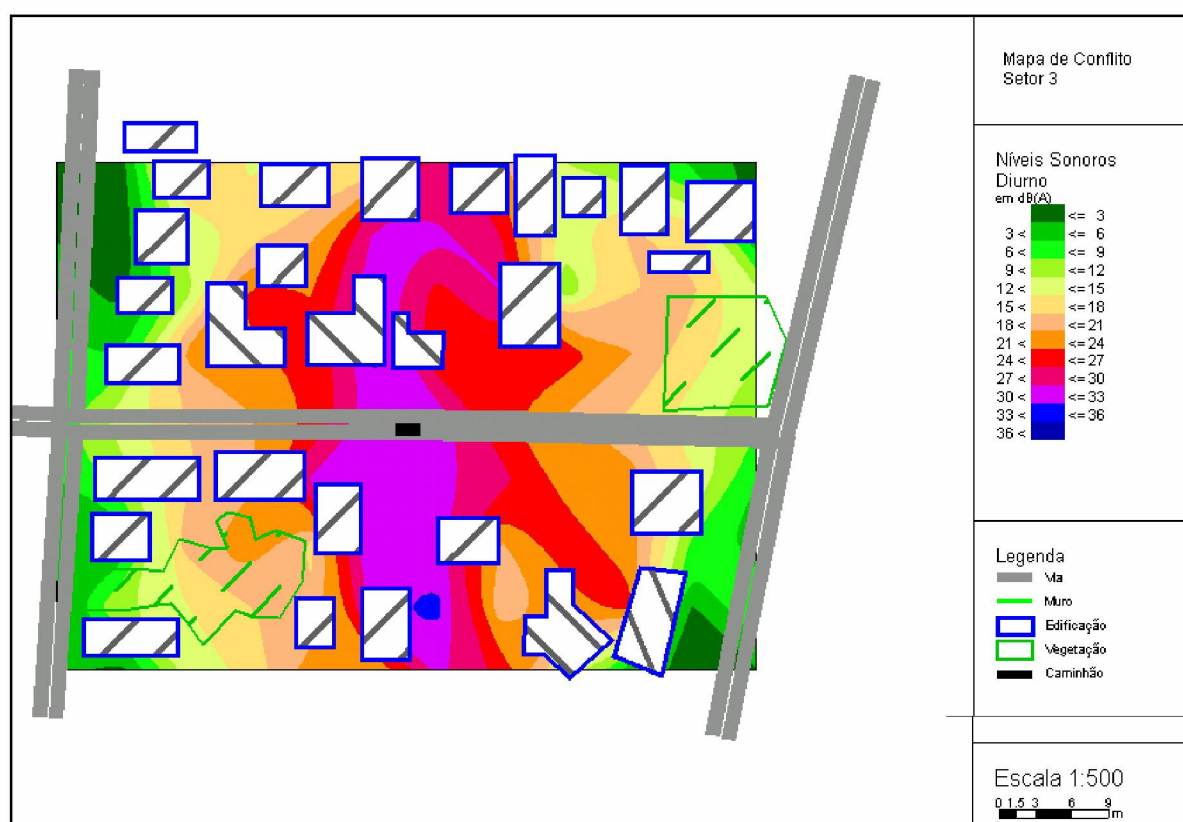


Figura 15: Setor 81 diurno – mapa de conflito

A figura acima mostra que há uma zona concentrada que potencializa o impacto nas vias principais. Os valores de níveis sonoros emitidos pelo caminhão de

coleta de lixo domiciliar estão acima dos prescritos pela lei municipal nº 10.625/2002, a qual especifica os níveis de emissão sonora máxima permitida para a região. Para esta localidade a lei prescreve o máximo de 55 dB no horário de 7:00 h às 19:00 h.

Para o setor 77 no período diurno, considerando-se a situação sem o caminhão, a simulação com o Sound Plan gerou a figura 16.

As simulações acústicas foram feitas com a ajuda do software Sound Plan, iniciando-se com a modelagem das áreas estudadas. Utilizou-se também o programa Auto Cad versão R14, versão oficial, e a área do setor 77 foi modelada através de planta baixa. Depois de feito o desenho colocou-se as moradias mais próximas da passagem do veículo.

Levou-se em consideração alguns fatores:

Número de veículos por hora, porcentagem de veículos pesados, velocidade dos veículos leves, velocidade dos veículos pesados.

Após terminar o processo de representação das áreas, procedeu-se à determinação das potências sonoras.

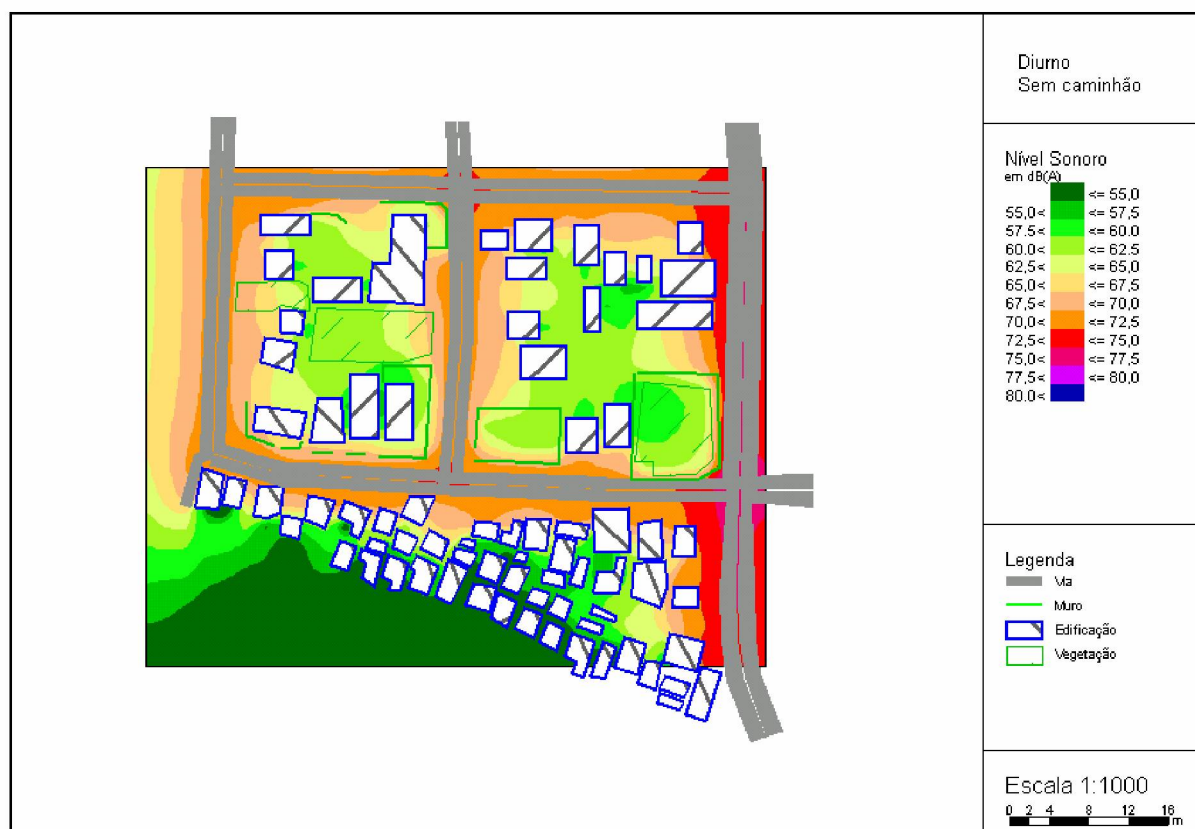


Figura 16: Setor 77 diurno – sem caminhão

A comparação dos níveis com a legislação da cidade de Curitiba (período diurno) indicou o seguinte resultado:

- Via principal, no sentido longitudinal, sem a presença do caminhão já apresenta uma zona concentrada, com níveis na faixa de 75 – 77,5 dB(A), estando acima da legislação em 17,5 dB(A).
- Vias secundárias sem a presença do caminhão apresenta uma zona concentrada com níveis de 67,5 – 70,0 dB(A), estando acima da legislação em 10 dB(A).
- O setor 77 (Parolin), segundo a Lei Municipal 10.625/2002, fixa os seguintes limites de emissão sonora: zonas residenciais mistas, setor de recuperação residência, centro cívico, nova Curitiba, uso misto – CIC, setor comercial: diurno das 7:00 h às 19:00 h (60dB).

Para o setor 77 no período diurno, considerando-se a situação com a presença do caminhão, a simulação com o Sound Plan gerou a figura 17.

As simulações acústicas foram feitas com a ajuda do software Sound Plan, iniciando-se com a modelagem das áreas estudadas. Utilizou-se também o programa Auto Cad versão R14, versão oficial, e a área do setor 77 foi modelada através de planta baixa.

Depois de feito o desenho colocou-se as moradias mais próximas da passagem do veículo.

Levou-se em consideração alguns fatores:

Número de veículos por hora, porcentagem de veículos pesados, velocidade dos veículos leves, velocidade dos veículos pesados.

Após terminar o processo de representação das áreas, procedeu-se à determinação das potências sonoras.

A medição com a presença do caminhão deu-se da seguinte maneira: O veículo chegando no ponto, parando, acionando o freio estacionário e posteriormente engatando a tomada de força e acionando simultaneamente as alavancas de comando das placas compactadora e transportadora, iniciando-se a operação de compactação do lixo domiciliar.

Ao engatar a tomada de força e acionar simultaneamente as alavancas de comando das placas, puxando-as para trás até a posição de travamento, soltando-se as alavancas, as mesmas permanecerão nessa posição até o final dos movimentos das placas.

Ao atingir a posição de admissão os cilindros de acionamento das placas terão atingido o final de seus cursos e o destrave das alavancas é automático. Nesse momento, aciona-se simultaneamente as alavancas de comando das

placas compactadoras e transportadora empurrando-as para frente até a posição de travamento. Uma vez atingida a posição, permanecerão nela até o final dos movimentos das placas. Esse procedimento fechará a placa compactadora, iniciando a compactação do lixo e subirá a placa transportadora, encerrando o ciclo. Novamente os cilindros de acionamento das placas terão atingido o final de seus cursos e o destrave das alavancas é automático, procedendo-se assim a compactação total do lixo domiciliar.

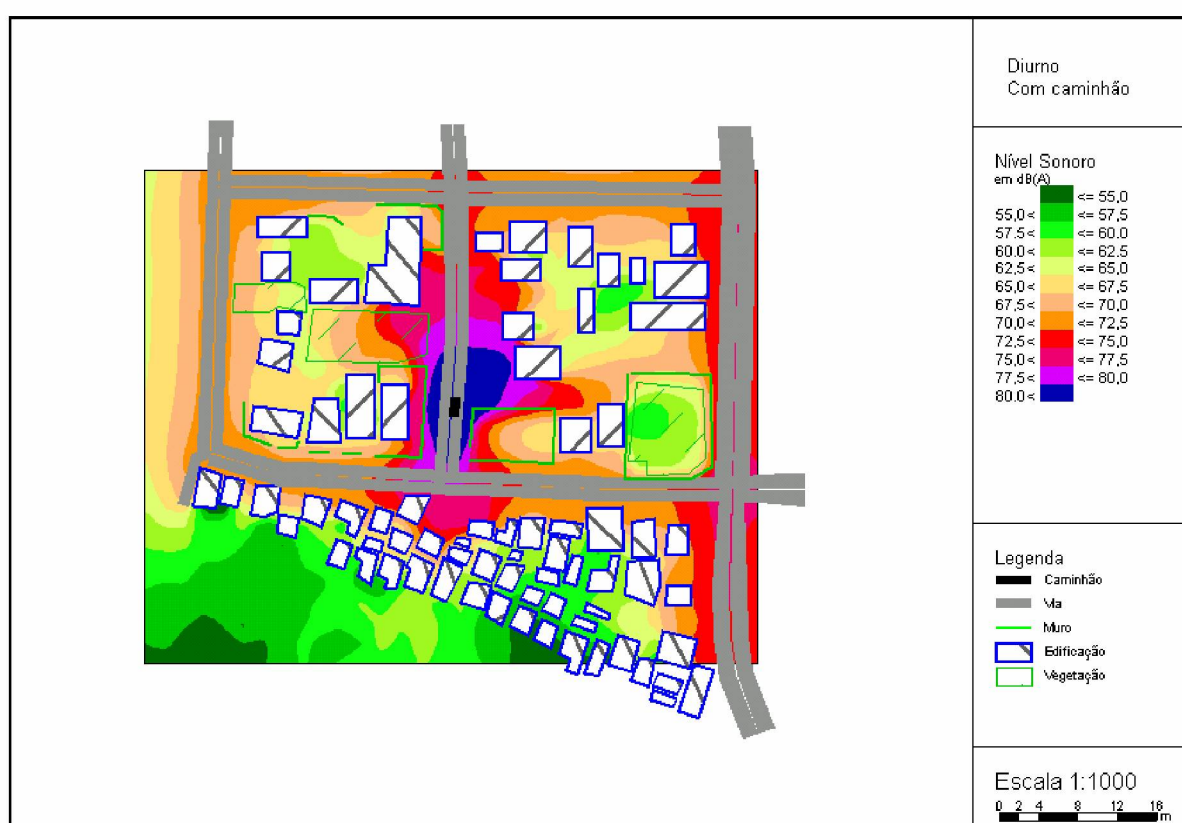


Figura 17: Setor 77 diurno - com caminhão

A comparação dos níveis com a legislação da cidade de Curitiba (período diurno) indicou o seguinte resultado:

- Via principal, no sentido longitudinal, com a presença do caminhão não altera os níveis, pois os mesmos continuam na faixa de 75,0 – 77,5 dB(A), estando acima da legislação os mesmos em 17,5 dB(A) .

- Vias secundárias com a presença do caminhão apresenta uma zona concentrada com níveis de 80,0 estando acima da legislação em 20 dB(A).
- O setor 77 (Parolin), segundo a Lei Municipal 10625/2002, fixa os seguintes limites de emissão sonora: zonas residenciais mistas, setor de recuperação residência, centro cívico, nova Curitiba, uso misto – CIC, setor comercial: diurno das 7:00 h às 19:00 h (60dB).

Realizou-se simulação computacional no Sound Plan para que se obtivesse um mapa de conflito com a Lei Municipal 10.625 / 2002. Este nos dá para cada ponto o quanto está acima da legislação.

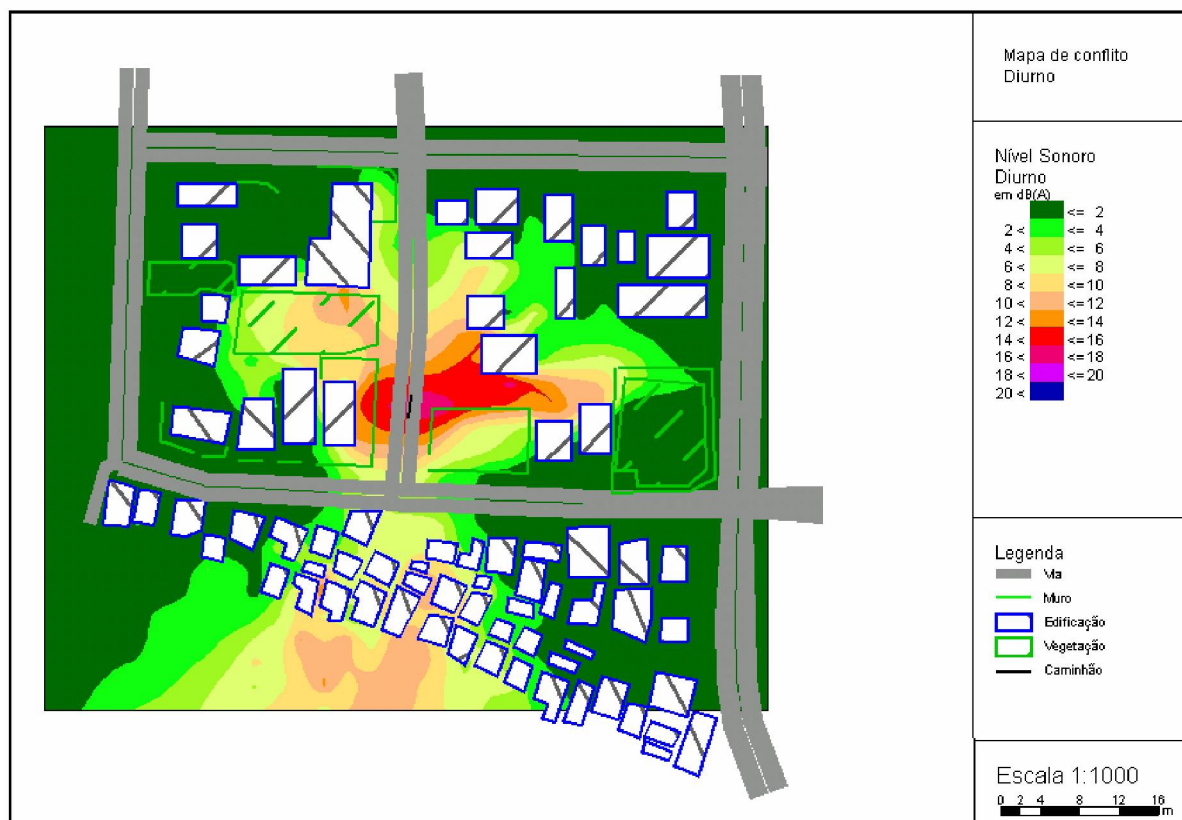


Figura 18: Setor 77 diurno – mapa de conflito

A figura acima mostra que há uma zona concentrada que potencializa o impacto nas vias principais. Os valores de níveis sonoros emitidos pelo caminhão de coleta de lixo domiciliar estão acima dos prescritos pela lei municipal nº 10625/2002, a qual especifica os níveis de emissão sonora máxima permitida para a região. Para esta localidade a lei prescreve o máximo de 60 dB no horário de 7:00 h às 19:00 h.

Para o setor 17 no período noturno, considerando-se a situação sem a presença do caminhão, a simulação no Sound Plan gerou a figura 19.

As simulações acústicas foram feitas com a ajuda do software Sound Plan, iniciando-se com a modelagem das áreas estudadas. Utilizou-se também o programa Auto Cad versão R14, versão oficial, e a área do setor 17 foi modelada através de planta baixa. Depois de feito o desenho colocou-se as moradias mais próximas da passagem do veículo.

Levou-se em consideração alguns fatores:

Número de veículos por hora, porcentagem de veículos pesados, velocidade dos veículos leves, velocidade dos veículos pesados.

Após terminar o processo de representação das áreas, procedeu-se à determinação das potências sonoras.

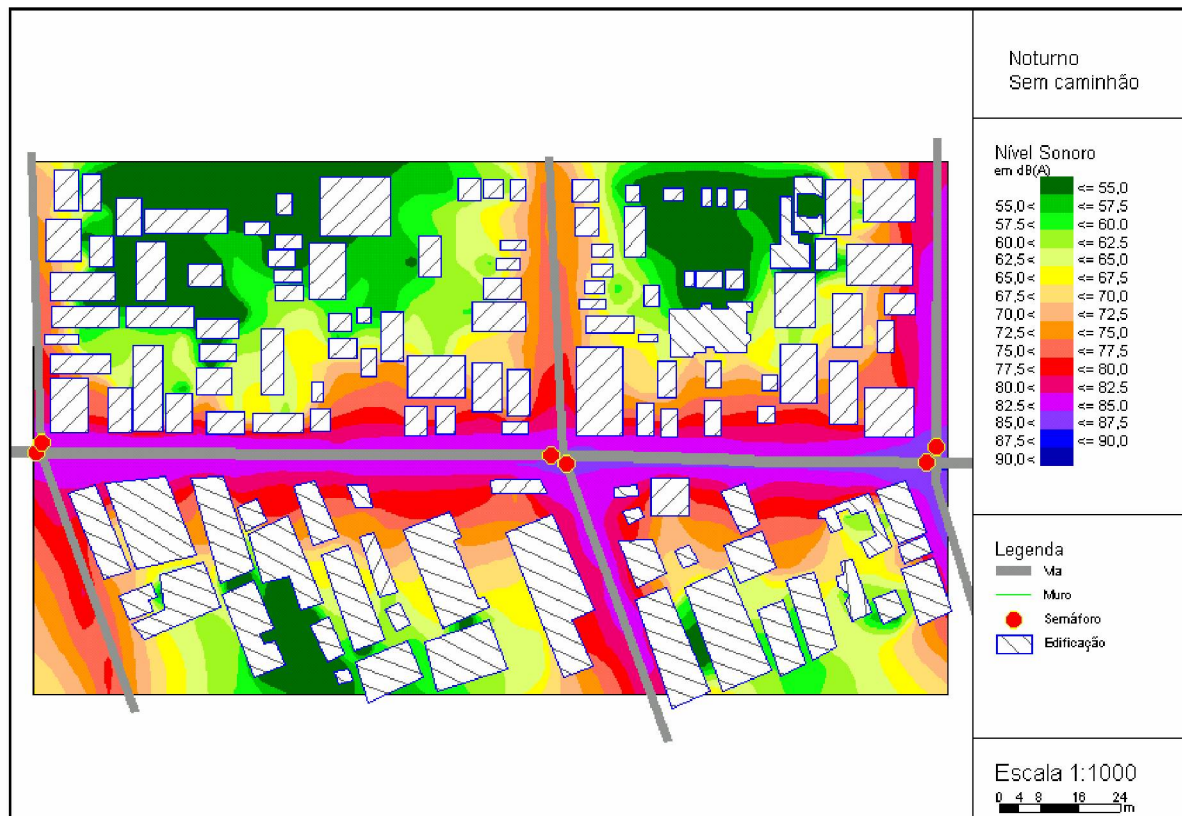


Figura 19: Setor 17 noturno – sem caminhão

A comparação dos níveis com a legislação da cidade de Curitiba (período noturno) indicou o seguinte resultado:

- Todas as vias estão com níveis de emissão sonora acima da legislação.
- O setor 17 (Centro), segundo a Lei Municipal 10.625/2002, fixa os seguintes limites de emissão sonora: zonas de apoio à indústria, de serviço, especial de serviço, industrial, terminal de carga, terminal de transporte, centro: noturno das 22:00 h às 7:00 h (60dB).

Para o setor 17 no período noturno, considerando-se a presença do caminhão, a simulação com o Sound Plan gerou a figura 20.

As simulações acústicas foram feitas com a ajuda do software Sound Plan, iniciando-se com a modelagem das áreas estudadas. Utilizou-se também o programa Auto Cad versão R14, versão oficial, e a área do setor 17 foi modelada através de planta baixa. Depois de feito o desenho colocou-se as moradias mais próximas da passagem do veículo.

Levou-se em consideração alguns fatores:

Número de veículos por hora, porcentagem de veículos pesados, velocidade dos veículos leves, velocidade dos veículos pesados.

Após terminar o processo de representação das áreas, procedeu-se à determinação das potências sonoras.

A medição com a presença do caminhão deu-se da seguinte maneira: O veículo chegando no ponto, parando, acionando o freio estacionário e posteriormente engatando a tomada de força e acionando simultaneamente as alavancas de comando das placas compactadora e transportadora, iniciando-se a operação de compactação do lixo domiciliar.

Ao engatar a tomada de força e acionar simultaneamente as alavancas de comando das placas, puxando-as para trás até a posição de travamento, soltando-se as alavancas, as mesmas permanecerão nessa posição até o final dos movimentos das placas.

Ao atingir a posição de admissão os cilindros de acionamento das placas terão atingido o final de seus cursos e o destrave das alavancas é automático. Nesse momento, aciona-se simultaneamente as alavancas de comando das placas compactadoras e transportadora empurrando-as para frente até a posição

de travamento. Uma vez atingida a posição, permanecerão nela até o final dos movimentos das placas. Esse procedimento fechará a placa compactadora, iniciando a compactação do lixo e subirá a placa transportadora, encerrando o ciclo. Novamente os cilindros de acionamento das placas terão atingido o final de seus cursos e o destrave das alavancas é automático, procedendo-se assim a compactação total do lixo domiciliar.

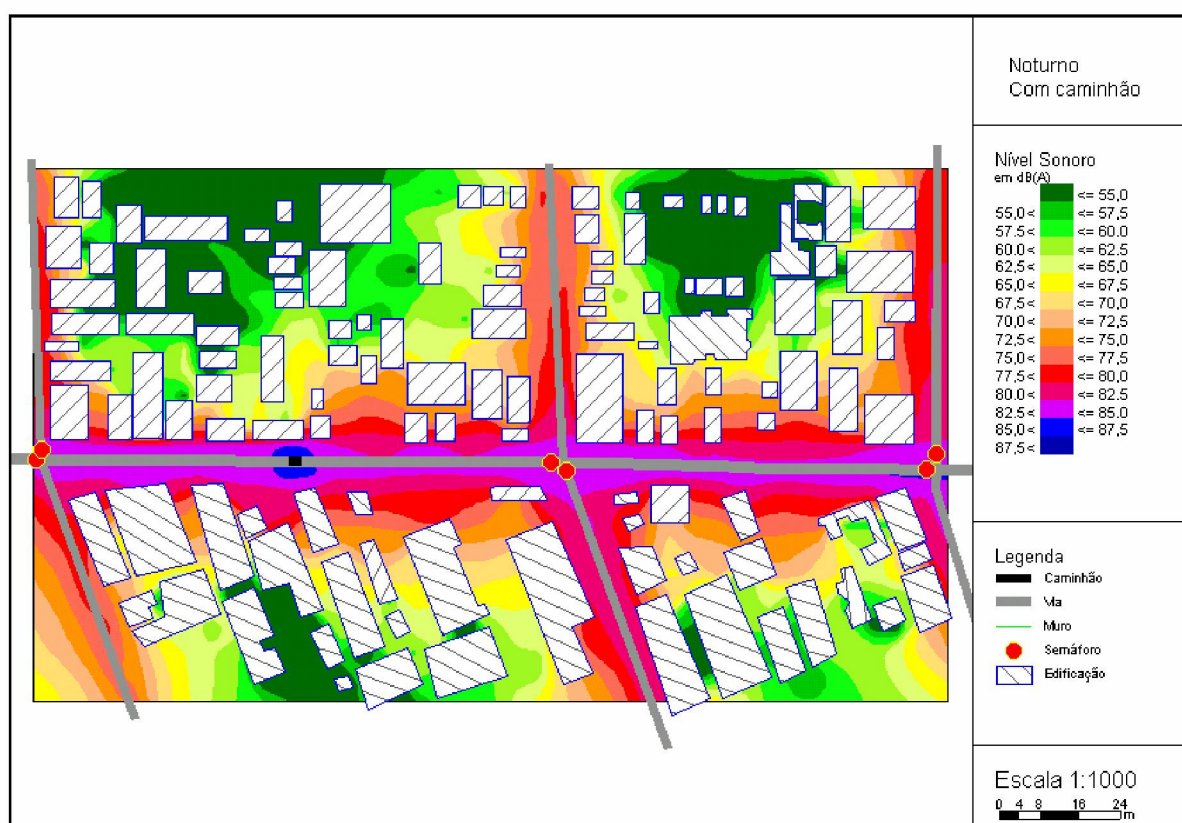


Figura 20: Setor 17 noturno - com caminhão

A comparação dos níveis com a legislação da cidade de Curitiba (período noturno) indicou o seguinte resultado:

- Podemos observar que a presença do caminhão não altera os níveis de emissão sonora.
- O setor 17 (Centro), segundo a Lei Municipal 10.625/2002, fixa os seguintes limites de emissão sonora: zonas de apoio à indústria, de serviço, especial de

serviço, industrial, terminal de carga, terminal de transporte, centro: noturno das 22:00 h às 7:00 h (60dB).

Realizou-se simulação computacional no Sound Plan para que se obtivesse um mapa de conflito com a Lei Municipal 10.625 / 2002. Este nos dá para cada ponto o quanto está acima da legislação.

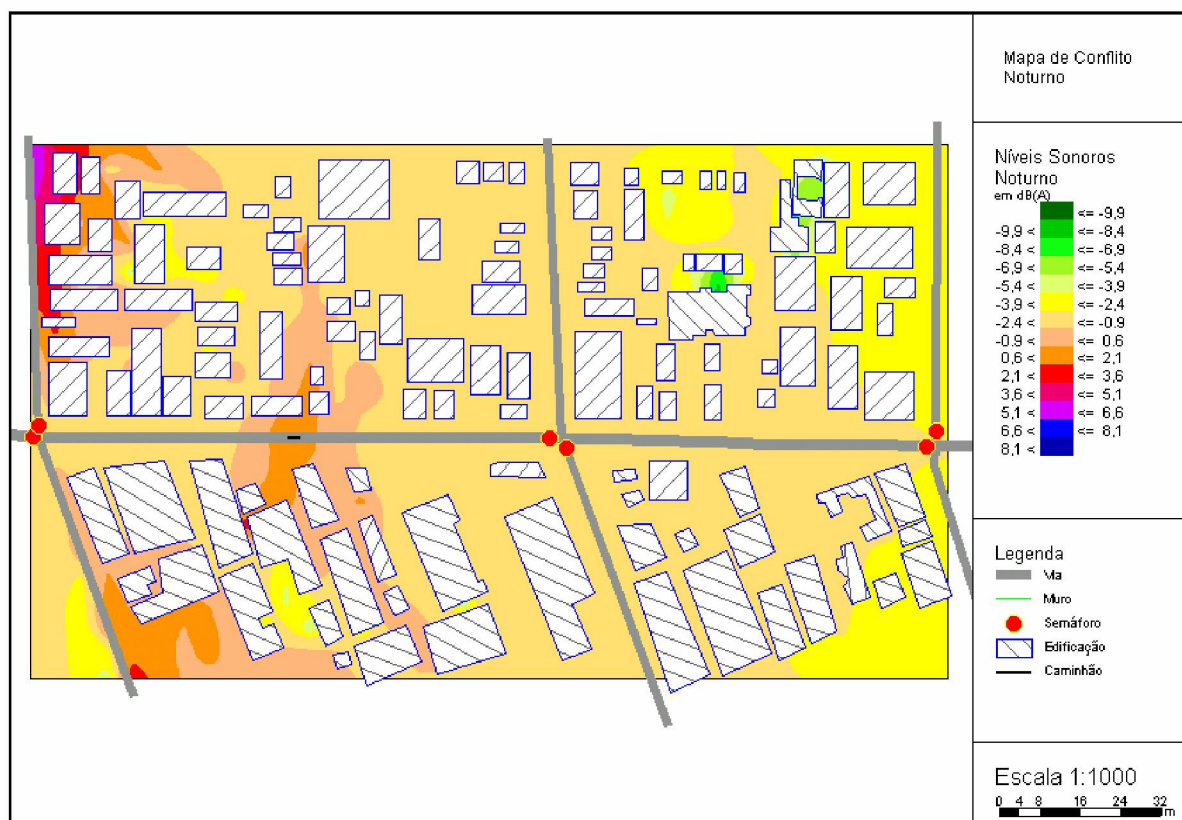


Figura 21 : Setor 17 noturno – mapa de conflito

A figura acima mostra que o caminhão gera uma zona pontual, não afeta as emissões sonoras das vias de tráfego, e estas são as fontes principais de ruído.

A simulação computacional no Sound Plan mostrou resultados de uma seção a 10 metros de altura quando da operação do caminhão no setor 81 diurno (figura 22).

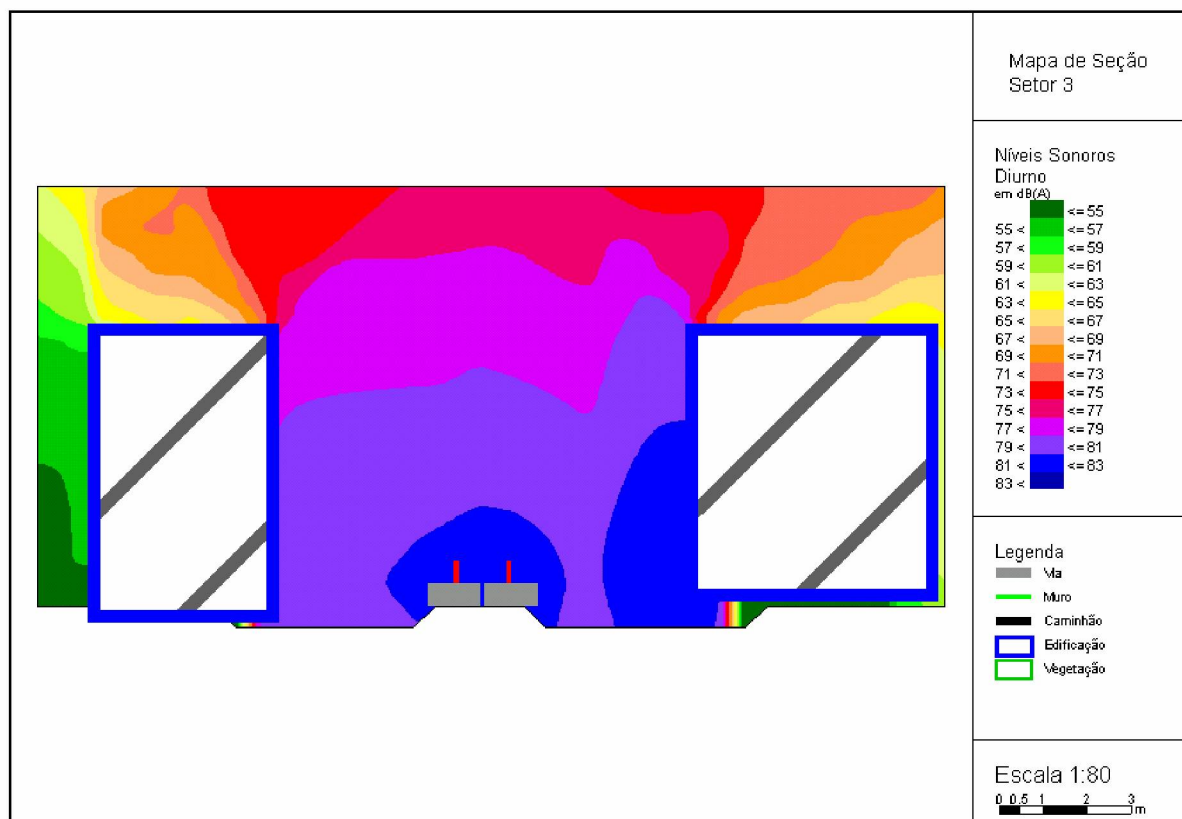


Figura 22: Setor 81 diurno – mapa de seleção

O nível sonoro máximo devido à presença do caminhão que chega à edificação está situado na faixa de 77-79 dB(A), mostrando assim que o caminhão em operação é o principal contribuinte do aumento do nível sonoro. Portanto, depois do mesmo entrar em operação em frente às residências da rua, os moradores sentem o impacto ambiental gerado pelo ruído do mesmo.

Como as ruas têm tráfego pouco intenso, de modo que praticamente não se ouvem carros, sobra apenas o ruído gerado pelo caminhão.

A norma NBR 10151 (ABNT, 2000), avaliação do ruído em áreas habitadas, visando do conforto da comunidade, estabelece na tabela 2 como

nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A), para área estritamente residencial urbana, para o período diurno, 50 dB(A).

Portanto, conclui-se que o térreo e o andar superior das casas ficam expostos a um nível sonoro maior que o permitido pela legislação.

A simulação computacional do Sound Plan mostrou resultados de uma seção a 10 metros de altura quando da operação do caminhão no setor 77 diurno (figura 23).

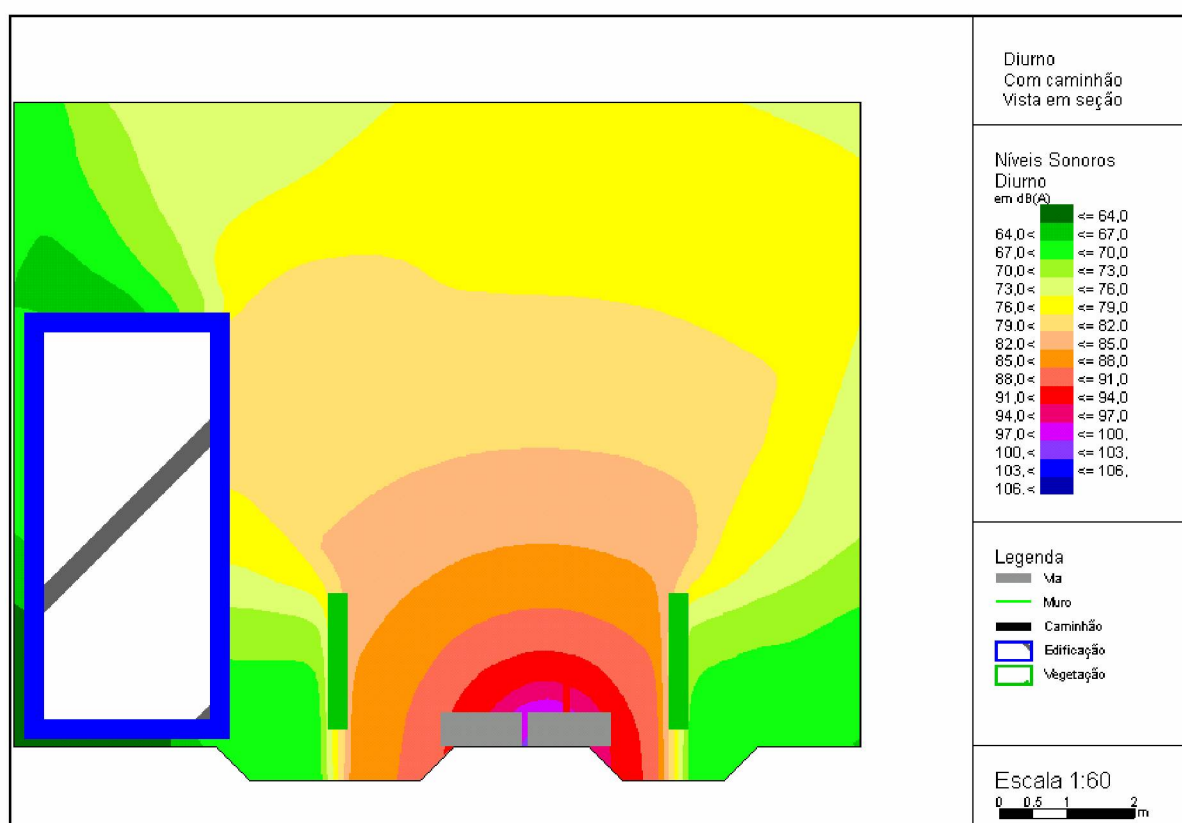


Figura 23: Setor 77 diurno – mapa de seleção

O impacto do ruído devido ao caminhão de coleta sobre a população da vizinhança foi analisado com base na norma NBR 10151 (ABNT, 2000), avaliação do ruído em áreas habitadas, visando do conforto da comunidade, que estabelece na tabela 2 como nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em

dB(A), para área mista predominantemente residencial, para o período diurno, 55 dB(A).

Como a maioria das residências possuem muro, observa-se que o nível sonoro no andar térreo não atinge a residência com o nível sonoro da fonte.

Porém, no 1º andar chega-se de 79,0 a 82,0 dB(A).

Conclui-se que a população deste setor fica exposta a níveis sonoros maiores que o permitido pela legislação.

A simulação computacional no Sound Plan mostrou resultados de uma seção a 10 metros de altura quando da operação do caminhão no setor 17 noturno (figura 24).

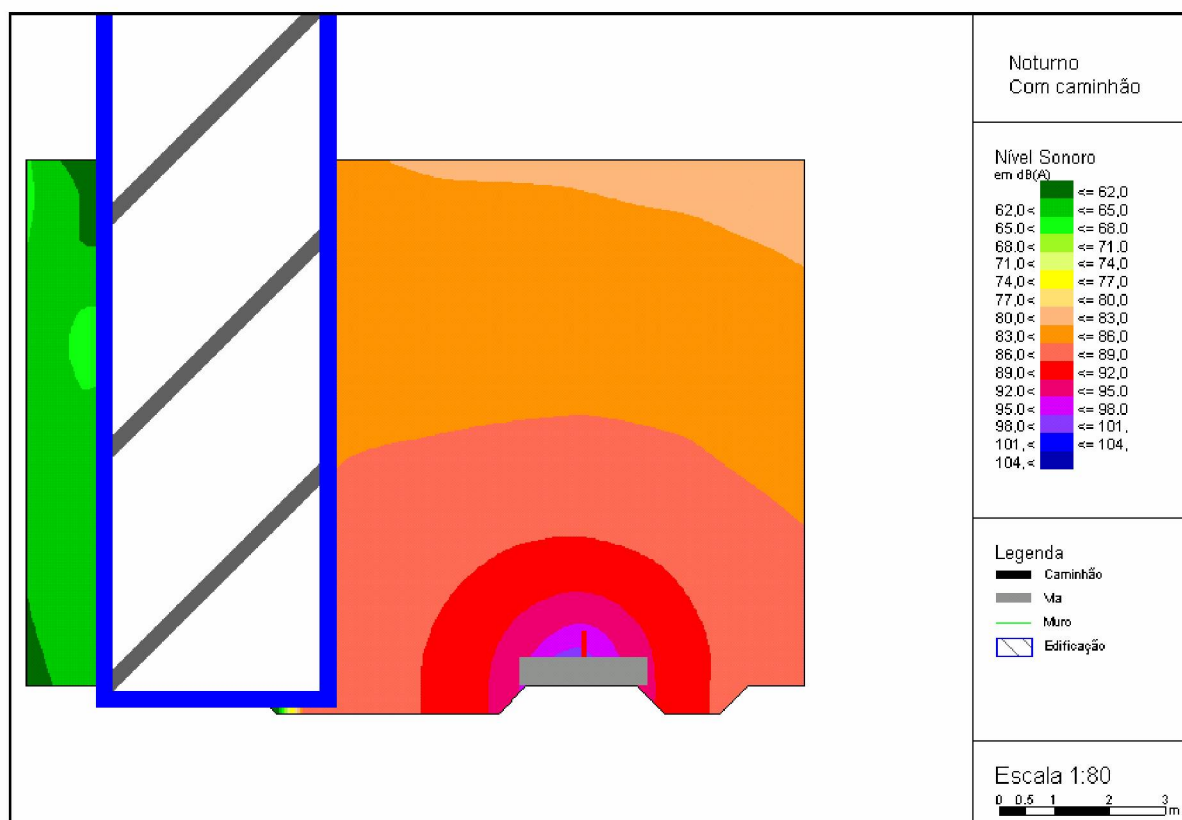


Figura 24: Setor 17 noturno – mapa de seleção

No centro, o impacto do ruído devido à presença do caminhão sobre a população da vizinhança foi analisado comparativamente com a Norma NBR 10151 (ABNT, 2000), avaliação do ruído em áreas habitadas, visando do conforto da comunidade, que estabelece na tabela 2 como nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A), para área mista com vocação comercial e administrativa, para o período noturno, 55 dB(A).

Térreo e 1º andar: Nível sonoro: 86,0 – 89,0 dB(A)

2ª andar até o 4ª andar: Nível sonoro: 80,0 – 83,0 dB(A)

Conclui-se que a população deste setor de coleta está exposta a níveis sonoros maiores que o permitido pela legislação. A exposição a esses níveis é pontual e ocorre em curto período de tempo.

- Distribuição Cumulativa dos Níveis Sonoros no Setor 81

A medição com o caminhão no setor 81 ocorreu no dia 26 de agosto de 2004, sendo o $Leq = 75,2$ dB(A).

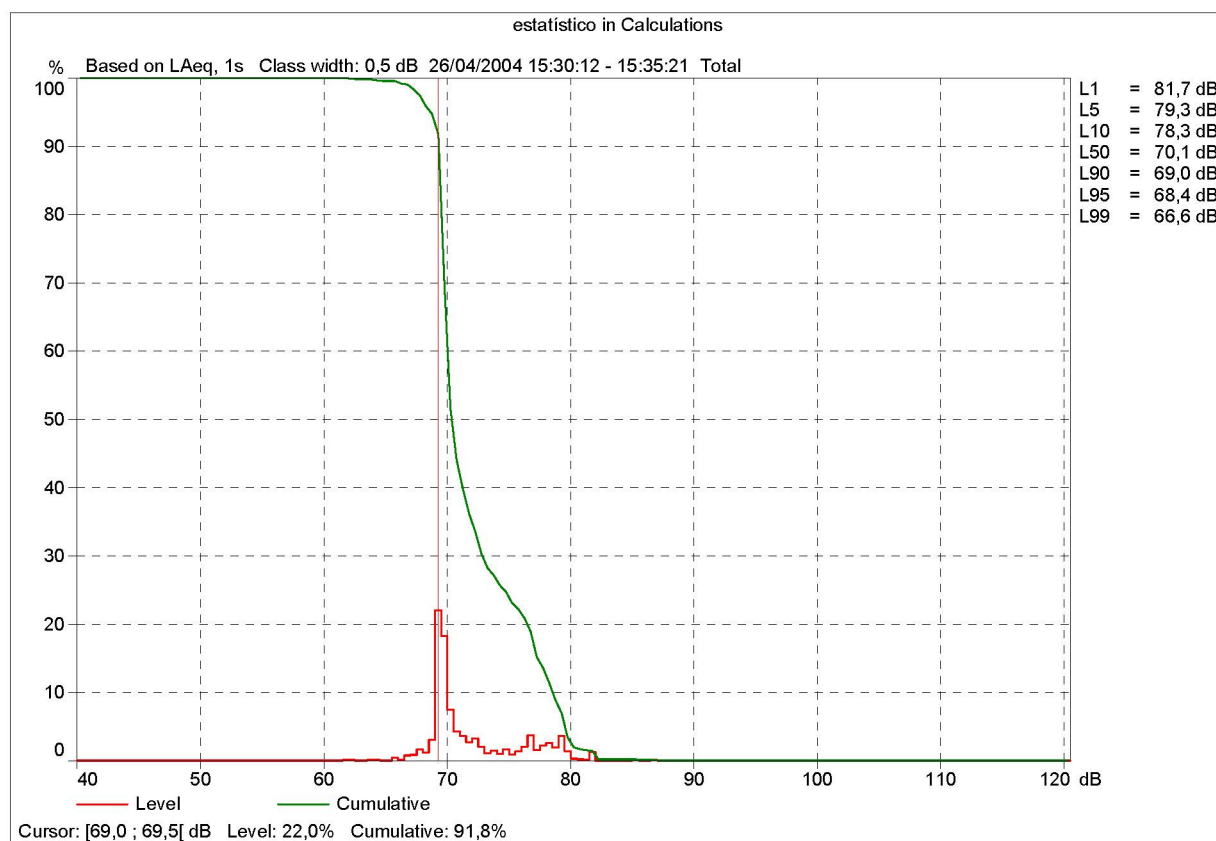


Figura 25: Gráfico estatístico

Verificou-se a ocorrência de 22% de níveis sonoros na faixa 69 a 69,5 dB(A) mascarados em 91,8% durante a medição.

$L_{10} = 78,3$ dB(A) - Segundo o HUD, está classificado como normalmente inaceitável.

$L_{90} = 69,0$ dB(A) - Segundo o HUD, está classificado como normalmente inaceitável.

- Distribuição Cumulativa dos Níveis Sonoros no Setor 77

A medição com o caminhão no setor 77 ocorreu no dia 20 de Maio de 2004, $L_{eq}=81,6$ dB(A).

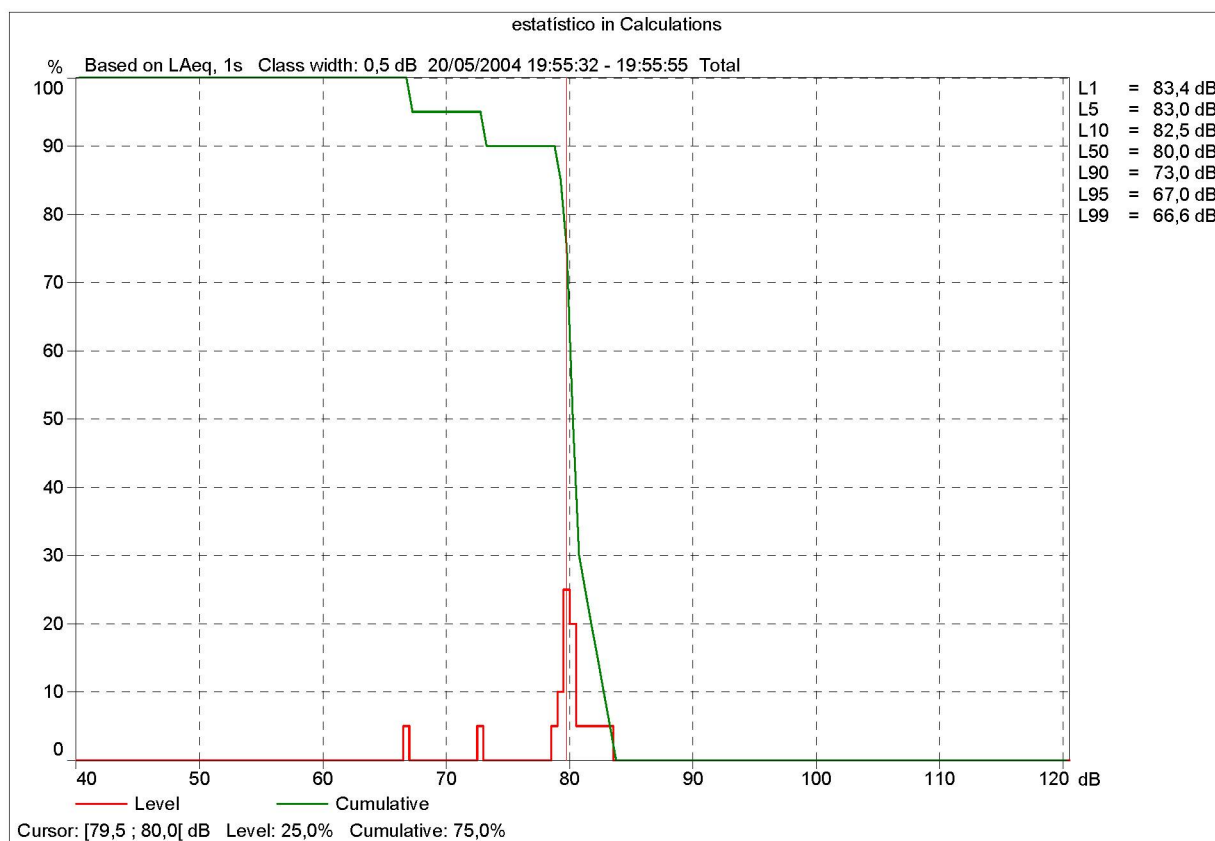


Figura 26: Gráfico estatístico

Verificou-se a ocorrência de 25% de níveis sonoros na faixa de 79,5 a 80,0 db(A) mascarados em 75% durante a medição.

$L_{10} = 82,5$ dB(A) - Segundo o HUD, está classificado como claramente inaceitável.

$L_{90} = 73,0$ dB(A) - Segundo o HUD, está classificado como claramente inaceitável.

- Distribuição Cumulativa dos Níveis Sonoros no Setor 17

A medição com o caminhão no setor 17 ocorreu no dia 19 de Abril de 2004, sendo o $L_{eq} = 79,2 \text{ dB(A)}$.

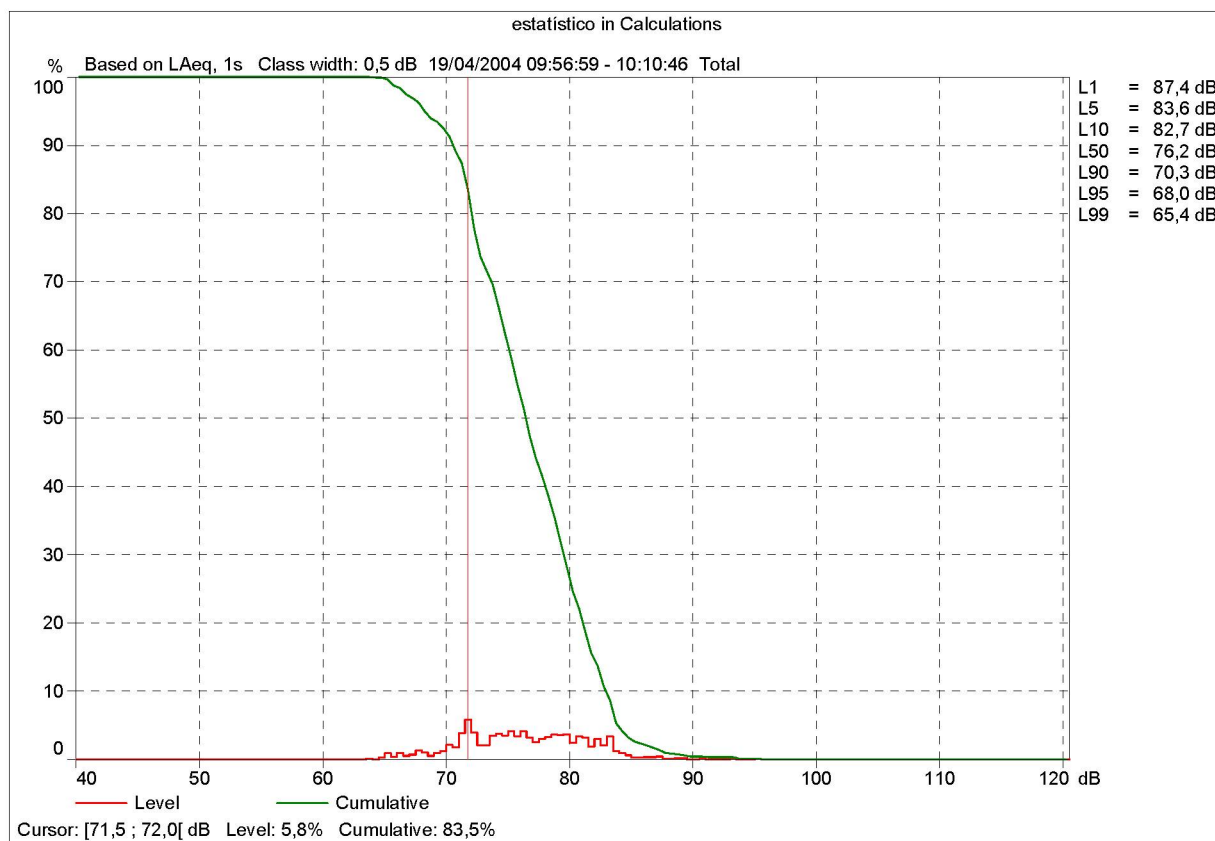


Figura 27: Gráfico estatístico

Verificou-se a ocorrência de 5,8% de níveis sonoros na faixa de 71,5 a 72,0 dB(A) mascarados em 83,5% durante a medição.

$L_{10} = 82,7 \text{ dB(A)}$ - Segundo o HUD, está classificado como claramente inaceitável.

$L_{90} = 70,3 \text{ dB(A)}$ - Segundo o HUD, está classificado como normalmente inaceitável.

Assim, segundo o critério da Organização Mundial de Saúde, as pessoas que habitam nessas áreas (setores) avaliados, vivem expostas a níveis equivalentes de ruído tais, que podem apresentar desde leve estresse acompanhado do desconforto até estados iniciais de desgaste do organismo, aumentando portanto o risco de doenças coronárias, derrames, infecções e outras doenças.

5 CONCLUSÕES

Ao término da discussão dos resultados obtidos, pode-se observar que o conforto sonoro avaliado é bastante deficiente, havendo uma elevada exposição ao ruído nos 3 setores avaliados face ao tráfego dos caminhões de coleta de resíduos domiciliar, os quais ficaram superiores aos níveis recomendados pela literatura e pelos órgãos de normatização.

Dessa forma, as fontes produtoras de ruído excessivo precisam ser melhor identificadas para que esses dados sirvam de subsídios aos responsáveis, no sentido de que possam ser tomadas as devidas medidas para a atenuação dos níveis de ruído a níveis mais aceitáveis.

A contribuição de cada um deve ser estabelecida de modo que medidas mais eficientes para sua redução possam ser adotadas, pois o ruído ambiental origina-se de várias fontes.

Novos caminhões de coleta de lixo estão sendo comprados para substituição dos caminhões mais antigos (mais ruidosos). Os “novos caminhões” possuem um sistema de aceleração tecnologicamente avançado, com menores níveis de pressão sonora.

A prevenção do ruído deveria ter início antes da instalação e aquisição de equipamentos ou manuseio destes, pois modificações posteriores podem ser mais onerosas. Algumas fontes de ruído, como o alarme de ré, freio estacionário e os equipamentos de compactação não podem ser alterados, entretanto, poderiam ser mais silenciosos, especialmente durante a noite.

Atualmente estão sendo oferecidos no mercado diversos tipos de veículos de serviços públicos com baixa intensidade de ruídos.

A aplicação regular de veículos de serviços públicos com acentuados níveis de ruído, como por exemplo, veículos coletores de lixo e veículos com vassouras, durante horários noturnos como de 22:00 até 6:00 horas, em áreas residenciais, não mais é sustentável do ponto de vista da legislação de proteção contra ruídos (poluição sonora). Também nos horários de descanso (6:00 – 7:00 e 19:00 – 22:00 horas) somente deveriam ser aplicados veículos que comprovadamente estivessem em acordo com as exigências de níveis de ruído em conformidade com o símbolo ambiental (UZ59A). (Fonte: Agência Federal da Alemanha, Meio Ambiente).

Foram observadas as condições de trabalho, principalmente em relação ao ruído, e a partir das considerações acima realizadas têm-se condições de tecer algumas sugestões e recomendações, sendo elas:

- Seria de grande valor que os projetistas procurassem antes de começar os projetos sobre veículos de coleta de resíduos domiciliar, ou sobre as empresas de coleta de lixo, conhecer as concepções de valores por parte da administração, para que não ocorram obstáculos inesperados à sua execução.
- Prosseguir a troca dos caminhões de coleta antigos por caminhões novos, menos ruidosos (tomada de força acoplada, kit silêncio) .
- Regulagem e manutenção periódica dos motores, sistemas de freio e dos alarmes da ré dos caminhões da coleta.
- Instalação de silenciadores mais restritivos na descarga dos veículos.

- Proceder à monitoração e medição periódicas dos níveis de pressão sonora nos vários setores de coleta da cidade.
- Proceder à monitoração dos níveis de ruído do caminhão.
- Muitos dos problemas causados pelo ruído poderiam ser prevenidos se houvesse uma conscientização dos fabricantes dos equipamentos os quais deveriam preocupar-se em fazer uma detecção do ruído com reavaliações periódicas, para buscar soluções. O resultado desse estudo reporta a idéia de que a irritação sonora é um fenômeno altamente individual, influenciada pela inter-relação de fatores pessoais e ambientais.
- Influência acentuada de emissões de ruídos na coleta de lixo doméstico é exercida pela configuração do latão de lixo. Através de providências especiais na área da tampa e nos contornos, os ruídos incômodos de transporte e os causados pela tampa podem ser reduzidos em mais de 8dB(A).
- A fim de tornar o meio ambiente o mais silencioso e agradável possível, sugerimos a adoção de algumas medidas para garantir a redução dos níveis de ruído, tais como: colocar dispositivos nos alarmes acústicos para desligá-los no período noturno, quando possível; criação de diferentes categorias de alarmes e revisão dos equipamentos utilizados e das atividades. Desligar a prensa pelo nível do RPM estabelecidos.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Existe uma dificuldade muito grande de verificar os níveis de ruído ambiental nos vários setores de coleta da cidade, tais como: tecnologia e correta utilização dos aparelhos utilizados para medição do nível de pressão sonora, grau de conhecimento técnico do avaliador, fatores biológicos e psicológicos os quais interferem na avaliação.

O ruído do meio ambiente interage com outros fatores, afetando as pessoas que moram e trabalham nos vários setores de coleta da cidade.

Tenho consciência de que as questões levantadas foram o princípio de uma grande construção, que devem ainda suscitar muitas outras discussões.

Sugere-se o estudo de acompanhamento dos trabalhadores, bem como o estudo da implantação de medidas de controle de ruído na fonte, atenuando os níveis de pressão sonora destes veículos.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação de Normas Técnicas. **NBR 10.151**: Acústica – Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas, visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro. 2000.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, **Lei Municipal 10625**, Curitiba, 2002.

ALEXANDRY, F. C. **O problema do ruído industrial e seu controle**. São Paulo: FUNDACENTRO. 1985. p. 86.

ALVES FILHO, J. M. **O ruído no ambiente de trabalho: sua influência nos aspectos biopsicossociais do trabalhador**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-10151**: Avaliação do Ruído em áreas Habitadas visando do conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.

AXELSSON, A. **Diagnostics and treatment of occupational noise-induced hearing loss**. Acta Otolaryngol, Supp. P. 360, 86-87. 1979.

BERANEK, L.L.; VÉR,I.L. **Noise and Vibration Control Engineering – Principles and Applications**. 4 ed. New York: Wiley Interscience Publication, p. 823, 1992.

BRAUNSTEIN E BERNDT. **Sound Plan 5.5** Backnan. Alemanha, 2001. 1 CD.
Programa de predição acústica.

BRAUNSTEIN E BERNDT. **Sound Plan User's Manual**, p. 293, 1999.

BELTRAMI, C. B. **Dos limiares de audibilidade nas frequências de 250 a 18000 Hz em indivíduos expostos a ruído ocupacional**. 1999. Tese (Doutorado) – Escola paulista medicina: São Paulo.

BERGLUND, B. HASSMÉN, P.: JOB SOAMES, R.G. **Sources and effects of low frequency noise**. J. Acoust. Soc. Am. v.99, n. 5. may, 1996.

BURNS, W. **Noise and man**. John Murray. London. 1973. p. 105.

BROWN, A. L. **Exposure of the Australian Population to Road Traffic Noise**. Applied Acoustic, Australia, v. 43, p. 169-176, 1994.

CALIXTO, A. **O Ruído gerado pelo tráfego de veículo em “Rodovias – Grandes Avenidas” Situadas dentro do Perímetro Urbano de Curitiba, Analisado sob Parâmetros Acústicos Objetivos e seu Impacto Ambiental**. Curitiba, 2002, 125 f. Dissertação (Mestrado de Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná.

CLARK, W.W. **Hearing**: The effects of noise. Otorringologo head surg. 1992. v. 106, p. 669-676

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 252 de 01 de Fevereiro de 1999**. Estabelece, para os veículos rodoviários, inclusive veículos encarroçados, complementados e modificados, nacionais ou importados, limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso. Brasília, 1999.

DER BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR – DBV. **RLS/90: RICHTLINIEN FÜR DEN LÄRMSCHUTZ NA STRABEN** (Diretrizes para Controle do Ruído em Rodovias). Norma Alemã, Bonn, 1990.

DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT – HUD. **The noise guide book**, 2 ed., Washington: HUD, p. 256, 2002.

DICIONÁRIO **AURÉLIO**, 1986, **Aurélio** B. Holanda Ferreira.

DICIONÁRIO OXFORD – **Português–Inglês/Inglês-Português**. Oxford University Press, 1999.

DICIONÁRIO PRÁTICO MICHAELIS - **Português–Inglês/Inglês-Português**. São Paulo. Edição Melhoramentos, 1987.

FRANÇA, A. C. L.; RODRIGUES, A. L. **Stress e trabalho**. Guia prático com abordagem psicossomática. São Paulo: Atlas. 1997.

GASAWAY, D. C. **Hearing conservation:** A practical manual and guide. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs Jersey. 1985.

GELFAND, S. A. **Hearing:** A introduction at psychological and physiological acoustics. New York. Marcel Dekker. 1998.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Ruído** – Fundamentos e controles. 2 ed. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2000

GRANADA, H. **Psicología y salud ambiental:** Percepción y valoración de factories de riesgo en un escenario laboral. Cadernos de psicologia. V. 13, n. 1, p. 2. 1994.

GRIFFITHS, I.D.; LANGDON, F.J. **Subjective response to road traffic noise.** Journal of Sound Vibration, UK, v. 8 n. 1, p. 16-32, 1968.

GOELZER B., HANSEN C. H., SEHRNDT G. A. **Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control.** Dortmund: Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2001.

GOLEBIEWSKI, R.; MAKAREWICK, R.; NOWAK, M.; PREIS, A. **Traffic Noise Reduction due the porous Road Surface.** Applied Acoustics, Poland, v. 64, p. 481-494, 2003.

HARRIS, C. M. **Handbook of noise control**. McGraw-Hill Book Company. London. 1979.

HASSAL J. R., ZAVERI, K. **Acoustic Noise Measurement**. 4. ed. 1979.

IBAÑEZ, R. N. **Programa de conservação auditiva**. In: NUDELMANN, A. A.; COSTA, E. A.; SELIGMAN, J.; IBAÑEZ, R. N. **Perda auditiva induzida pelo ruído**. São Paulo. Bagagem. 1997. v. 1, 297, p.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA – IPPUC. **Curitiba em Dados**. Curitiba, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARTIZATION – ISO. **ISO 3744**: Acoustics – Determinations of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane. Geneva, 1994.

JERGER, S.; JERGER, J. **Alterações auditivas, um manual para avaliação clínica**. São Paulo, 1989. p 53 e 133. Livraria Atheneu Editora.

KRYTER, K. D. **The effects of noise on man**. New York. N. Y: Academy Press. 1985.

LANGDON, F.J.; SCHOLLES, W.E. **The traffic noise index: a method of controlling noise nuisance.** Journal of Sound and Vibration, UK, v. 7, n. 2, p. 287-309, 1968.

MALATHI, A. **Auditory and extra-auditory effects of noise stress and underlying mechanisms of its causation in occupation environment of aviation.** Disponível em: <http://www.indiapilots.org/auditory.htm>. Acesso em: mai. 2001.

MASCHKE, C. **Preventive Medical Limits for Chronic Traffic Noise Exposure.** Acústica, Germany, v.85, p. 448-461, 1999.

MELNICK, W. **Saúde auditiva do trabalhador.** In KATZ, J. Tratado de audiologia clínica. 4 Ed. São Paulo: Manole. 1999. p. 529-547.

MENDES, R. **Patologia do trabalho.** Rio de Janeiro: Atheneu. 1996.

MERLUZZI, F. **Metodologia di esecuzione del controllo dell'udito dei lavoratori esposti a rumore.** Nuovo archivio italiano di otologia, v. 7, n. 4, p. 685-714. 1979.

MILLER, J. D. **Effects of noise on people.** JASA. v. 56, n. 3, p. 729–764. 1972.

MIYAKITA, T.; UEDA, A. **Estimates of workers with noise-induced hearing loss and population at risk.** JSV: v. 295, n. 4, p. 491– 449. 1997.

MURGEL, E. **Medidas de Controle de Ruídos em Rodovias**. 18º Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Florianópolis, p. 267-270, 1998.

OLIVEIRA, J. A. A.; NUDELMANN, A. A.; COSTA, E.; SELIGMAN, J.; IBAÑEZ, R. N. In: PAIR – **Perda Auditiva Induzida Pelo Ruído**. Porto Alegre: Bagagem Comunicação. p. 101–142. 2002.

OSADA, Y. **An overview of health effects of noise**. JSV: v. 127, n. 3, p. 407–410. 1988.

PAZ, E. C. **Estudo de um modelo de avaliação e predição acústica para o ruído de tráfego**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná

PETERSON, A. P. G.; GROSS, Jr. E. E. **Handbook of noise measurement**. Copyright by Genrad Inc. Concord. Massachusetts. USA. 1978.

PIMENTEL, SOUZA F.; ÁLVARES, P.A.S. **A poluição sonora urbana no trabalho e na saúde**. [on line]. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/lpf>. Acesso em: 27 de julho de 2004.

PLOMP, R.; GRAVENDEEL, D. W.; MIMPEN, A M. **Relation of hearing loss to noise spectrum**. Jasa. v. 35, n. 8. aug., 1963.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA - PMC, SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – SMMA. **Lei nº 10.625, de 19 de Fevereiro de 2002**: Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público e dá outras providências. Curitiba, 2002.

PMC – **Prefeitura Municipal de Curitiba**, 2004, disponível em <http://www.curitiba.pr.gov.br>, acessado em 22 de setembro de 2004.

RAMALINGESWARA RAO, P. SESHAGIRI RAO, M. G. **Community Reactions to Road Traffic Noise**. Applied Acoustic. India, v. 37, p. 51-64. 1992.

SALIBA, T. M. **Manual Prático de Avaliação de Ruído – PPRA**. São Paulo, LTr, 2000.

ROBINSON, D. W. **Towards a unified system of noise assessment**. Journal of Sound and Vibration, UK, versão R14, p. 279-298, 1971.

SANDBERG, H. R. **Quality: missing ingredient of engineering engagements**. Journal of Professional Issues in Engineering, v.113, n.3, p.216-20, July 1987.

SATALOFF, J.; VASSALLO, L. E.; MENDUKE, H. **Occupational hearing loss and high frequency thresholds** – Arch Envir Health. v.14, p.832–6. 1967.

SATO, K. **Effects of noise on higher nervous activity**. JSV: v. 127, n. 3, p. 419–424. 1988.

SCHULTZ, T. **Community Noise Rating**. 2. ed. Inglaterra: Applied Science Publishers LTD, 1982.

SELIGMAN, J. **Efeitos não-auditivos e aspectos psicossociais no indivíduo submetido ao ruído intenso**. Rev. Bras. de Otorrinolaringologia. v. 59, n. 4. 1993.

SMITH, A. **A review of the non-auditory effects of noise on health**. Work and stress. v. 5, n. 1. p. 49–62. 1991.

SOUND PLAIN LLC. **User's Manual of Sound Plain 6.0**. Berlin: Braunstein + Berndt GmbH, p. 208, 1999.

SUTER, A. H. **Noise and its effects** – Conference Consultant. p. 1–53. nov., 1991.

ÜBER Larun Schultz Wissen - **Was Sie schon immer über lärm wissen wollten**
– Wallten - Editora = Verlog W. Kohlhammer - Stuttgart - Berlin – Köln -
HERAUSGEBEN: Umweltbundesant - Editor: Berlin - Deutschland(Agência
Federal da Alemanha Meio Ambiente)

VAN DYK, F. J. H. **Non-auditory effects of noise in industry II – a review of the literature**. Int Arch Occup Environ Heath. v. 58, p. 325-332. 1986.

WEBB, J. D. **Noise control in industry**. John Willey and sons. Inc. New York. 1978.

YAMAGUCHI, S; SAEKI, T.; KATO, Y. **A Fundamental Consideration on Estimating Leq of Especific Noise Under the Existence Background Noise**. Applied Acoustic, Japan, v.55, nº 3, p. 165-180, 1998.

YANZ, J. L.; ABBAS, P. J. **Age effects in susceptibility to noise-induced hearing loss**. Jasa. v. 72, n. 5, p. 1450 – 1455. nov., 1982.

YERG, R. A. **Protocol of inter-industry noise study**. J. Occup. Med. v. 17, n. 12, p. 760–764. dec., 1975.

ZANELLA, A. et al **Segurança do trabalho na construção civil na área de edificações**. São Paulo: Universidade Mackenzie. 1981.

ZANNIN P.H.T., CALIXTO A., DINIZ F. B. D., BARBOSA W. A. Environmental Noise Pollution in Residencial Areas of the City of Curitiba. **Acústica Acta Acústica**, Alemanha, v.87, p. 625-628, 2001.

ZANNIN P.H.T., CALIXTO A., DINIZ F. B. D., FERREIRA J. A. C., SCHULLER R. **Incômodo Causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba**, PR. Revista de Saúde Pública, São Paulo, v.36, n. 4, p. 521-524, 2002.

APÊNDICE

Tabela 7 - Especificações técnicas do caminhão VW 17-220 (6X2)

Motor

Modelo	Cummins 6CTAA Turbo e Intercooler
Nº de cilindros	6 em linha
Cilindrada (cm ³)	8270
Diâmetro do pistão (mm)	114
Curso do pistão (mm)	135
Relação de compressão	17,3:1
Potência líquida máxima – cv (kW)/rpm(*)	218 (160)/2200
Torque líquido máximo – kgfm (Nm)/rpm(*)	88 (863)/1600
Consumo específico – g/cv.h (g/kW.h)/rpm(*)	153 (208)/1600
Seqüência de injeção	1-5-3-6-2-4
Bomba injetora	Bosch A-2000 - em linha
Compressor de ar	Wabco
(*) valores conforme norma NBR 5484	

Transmissão

Caixa de mudanças	Eaton FS-6306-A
Acionamento	alavanca no assoalho
Nº de marchas	6 à frente (sincronizadas), 1 à ré
Relação de transmissão	1ª 9,01:1
	2ª 5,27:1
	3ª 3,22:1
	4ª 2,04:1
	5ª 1,36:1
	6ª 1,00:1
	ré 8,63:1
Tração	4 x 2

Embreagem

Tipo	disco duplo, revestimento orgânico
Modelo	Eaton - Casia 1402
Acionamento	hidráulico, assistido a ar, "pull-type"
Diâmetro do Disco (mm)	350

Eixo Dianteiro

Tipo	Viga "I" em aço forjado
Modelo	Sifco 13K ou Meritor FF-84

Eixo Traseiro

Tipo	eixo rígido em aço estampado
Modelo	Meritor RS 23-155
Relação de redução	4,10:1 ou 4,88:1

Modelo	Meritor RS 23-240
Relação de redução	4,56/6,21:1 ou 4,10/5,59:1

Suspensão Dianteira

Tipo	eixo rígido em aço estampado
Tipo	eixo rígido
Molas	semi-elípticas de duplo estágio
Amortecedores	hidráulicos, telescópicos de dupla ação
Barra estabilizadora	normal de série

Suspensão Traseira

Tipo	eixo rígido motriz
Molas principais	semi-elípticas de ação progressiva
Molas auxiliares	Parabólicas
Amortecedores	hidráulicos telescópicos – opcional (exceto para DEE 3560mm)
Barra estabilizadora	opcional (não disponível para DEE 3560 mm)

Direção

Tipo	hidráulica integral com esferas recirculantes
Modelo	ZF 8097
Relação de redução	20,1:1 a 23,8:1

Rodas e Pneus

Aros das rodas	7.5" x 20.0"
	7.5" x 22.5"
Pneus	10.00 x 20 - 16 PR
	10.00R20
	11R22.5
	275/80R22.5

Freios

Freio de serviço	a ar, "S" came
Tipo	tambor nas rodas dianteiras e traseiras
Circuito	duplo, independente, três reservatórios de ar
Área efetiva de frenagem (cm ²)	4232
Freio de estacionamento	câmara de mola acumuladora
Atuação	rodas traseiras
Acionamento	válvula moduladora no painel
Freio-motor	válvula tipo borboleta no tubo do escapamento
Acionamento	eletropneumático, tecla no painel e comando no acelerador/pedal da embreagem

Sistema Elétrico

Tensão nominal	12V
Bateria	12V – 170Ah
Alternador	14V – 65 A

Chassi

Tipo	escada, perfil constante, superfície Fotos aéreas, rebitado e parafusado
Material	LNE 38
Módulo seccional (cm3)	251,5

Volumes (litros)

Tanque de combustível em plástico	275,0
Carter	22,0
Caixa de mudanças	8,6
Diferencial	18,0 (dupla)
Direção	3,7
Sistema de arrefecimento sem aquecimento	31,6
Sistema de arrefecimento com aquecimento	33,2

Dimensões (mm)

Distância entre eixos (DEE)	3560	4340		4800	5207
Balanço dianteiro			1423		
Balanço traseiro	990	2134		2286	2286
Comprimento total	5973	7897		8509	8916
Largura máxima dianteira (extremos dos protetores das rodas)			2510		
Largura máxima traseira			2468		
Bitola dianteira			2105		
Bitola traseira			1836		
Vão livre dianteiro			260		
Vão livre traseiro			246		
Altura da plataforma do chassi ao solo com PBT traseira			955		
Mínima distância do eixo dianteiro ao Equipamento			860		
Círculo de viragem – parede a parede (m)	14,8	17,2		19,1	19,6

Peso (kg)

Peso em ordem de marcha eixo dianteiro	3270	3320		3340	3480
Peso em ordem de marcha eixo traseiro	1850	1970		1950	2110
Peso em ordem de	5120	5240		5290	5590

marcha total					
(s/motorista, 90% da capacidade do tanque de combustível e pneu sobressalente)					
Capacidade técnica por eixo dianteiro			6000		
Capacidade técnica por eixo traseiro			10800		
Capacidade técnica por eixo total admissível			16800		
Peso Bruto Total (PBT) – homologado			16000		
PBT com 3º eixo (instalado por terceiros)			23000		
Peso Bruto Total Combinado (PBTC) – homologado		27000(simples)		35000(dupla)	
Capacidade Máxima de Tração (CMT)			27000		
Redução dupla			35000		
Capacidade de carga útil + carroceria	10880	10760		10710	10410
Obs.: Os pesos podem sofrer alterações devido aos itens opcionais.					

Desempenho

Relação de redução do eixo traseiro	4,10:1	4,88:1	4,10/5,59:1	4,56/6,21:1
Velocidade máxima (km/h)	101	90	101	94
Capacidade de rampa com PBT (%)	39	45	51	57
Partida em rampa com PBT (%)	28	32	36	40
Relação PBT/Potência (kg/cv)			74,5	

Fonte: VOLKSWAGEN do Brasil, 2003

Tabela 8 - Especificações técnicas do compactador USIMECA E280-HD

Dimensões	Chassi "trucado"	
	E280 HD – 25	
Capacidade da Caixa	25,0 jd ³	18,2 m ³
Capacidade do Depósito Traseiro	2,8 jd ³	2,1 m ³
Capacidade Total	27,8 m ³	21,3 m ³
AF Balanço Traseiro	33"	840 mm
B Comprimento Total	246"	6,26 m
CA Distância da cabine ao centro do eixo traseiro	159"	4,05 m
D Altura acima do quadro do chassi	92"	2,34 m
I Largura Total	96"	2,44

J Largura Interna	89"	2,26 m
K Profundidade do Depósito Traseiro	221/2"	570 mm
N Vão livre Caixa / Cabine	8"	200 mm
Q Distância Fundo Depósito ao Chassi	235/8"	600 mm
R Abertura Praça de Carga – Largura	62"	2,08 m
S Abertura Praça de Carga – Altura	59"	1,50 m
I Comprimento da Traseira	61"	1,55 m
Abertura com a porta Traseira Aberta	150"	3,82 m
Peso Aproximado (Versão STD)	11680 lbs	5.300 kg
PBT mínimo recomendado (2)	50.650 lbs	23,0 t

Notas:

(1) CA deverá ser totalmente livre acima do quadro do chassis

(2) O PBT do chassi selecionado deverá ser compatível com a carga a ser transportada

Fonte: USIMECA, 2003

Tabela 9: Especificações técnicas do caminhão Ford Cargo 1617 (4x2)

Comprimento	5,88	7,81	8,42
Distância entre eixos	3,56	4,34	4,8
Bitola dianteira	2,09	2,09	2,09
Bitola traseira	1,83	1,83	1,83
Largura	2,46	2,46	2,46
Distância entre a parte traseira da cabine e o centro do eixo traseiro	3,3	4,08	4,54
Altura carregado	2,76	2,76	2,76
Distância mínima do solo – eixo traseiro – carregado	0,23	0,23	0,23
Diâmetro de giro (Parede a parede)	14,75	17,10	18,96

Capacidade – peso (kg)

Carga Máxima permissível – por eixo	
- Eixo dianteiro	6.000
- Eixo traseiro	
4 x 2	10.000
6 x 2	2x8.500
- Peso bruto total	
4 x 2	16.000
6 x 2	23.000
Capacidade máxima de tração	27.000
Peso em ordem de marcha c/	
- Distância entre eixo (m)	
2,97	--
3,56	4.614
4,12	--
4,34	4.740

4,8	4.840
5,03	--
5,72	--

Capacidade (l)

Direção hidráulica			3,6
Sistema de Arrefecimento	motor Diesel 5.9 l Turbo		26,6
	motor Diesel 8.9 l Turbo		33,2
Carter do Motor	motor Diesel 5.9 l	c/ filtro	16,4
		s/ filtro	14,2
	motor Diesel 8.9 l	c/ filtro	22
		s/ filtro	18,9
Sistema hidráulico da embreagem			0,25
Caixa de mudanças			5,2
Eixo Traseiro			18
Reservatório de Combustível			150 ou 275 (opc)

Embreagem

Monodisco cerâmico a seco com platô acionado por molas inclinadas e assistência interna	350 mm (14")
---	--------------

Caixa de Mudanças – relação de engrenagens

FS-5205-A(5 Marchas)	
Super reduzida	--
Reduzida	--
1º marcha	7,52:1
2º marcha	4,35:1
3º marcha	2,54:1
4º marcha	1,52:1
5º marcha	1,00:1
6º marcha	--
7º marcha	--
8º marcha	--
Marcha ré - Alta	--
Marcha ré – Reduzida	--
Marcha ré – Super reduzida	--
Marcha ré	--
Caixa de 5 Marchas – 2ª, 3ª, 4ª e 5ª marchas, sincronizadas	

Direção

Ângulo de Caster	
Com Carga	3°15' ± 0° 30'
Sem Carga	2°30' ± 0° 30'
Convergência das rodas dianteira	3 ± 1,0 mm

Ângulo de Camber (s/ Carga)	Lado esquerdo	0°22' ± 0° 22'
	Lado direito	0°07' ± 0° 22'

Ângulo inclinação do pino mestre (referência)	Lado esquerdo	5°45' ± 0° 30'
	Lado direito	6°15' ± 0° 30'

Eixo traseiro – reduções

4 x 2	6 x 2
4,88 / 6,65:1	5,38 / 7,33:1

Sistema elétrico

Alternador	14 V – 60 A
Baterias	1 de 12 V – 150 Ah – 1100 CCA

Freios

De Serviço (tambor)	A ar – com circuito duplo	A ar – com circuito duplo
Dianteiro	381,0 x 152,4 mm (15.00" x 6.00")	381,0 x 101,6 mm (15.00" x 4.00")
Traseiro	381,0 x 177,8 mm (15.00" x 6.00")	381,0 x 152,4 mm (15.00" x 6.00")
De estacionário	A ar – com molas acumuladoras atuando nas rodas traseiras	

Eixo/ suspensão

Dianteira	
Eixo	rígido
Molas	Feixe de molas semi-elípticas
Amortecedores	Dupla ação
Barra estabilizadora	

Traseira

Traseira	
Eixo	Flutuante
Feixe de molas principal e auxiliar semi-elípticas de ação progressiva, com apoio deslizante e lâmina tensora	

Rodas e Pneus

Rodas	Pneus		Dianteiro	Traseiro
20 x 7,5	10.00 x 20 - 16	Diagonal	7,7 (110)	7,4 (105)
		Diagonal Borrachudo	7,4 (105)	6,0 (85)
	10R x 20 - 16	Radial c/ câmara	8,0 (115)	7,7 (110)
			8,0 (115)	7,7 (110)
22,5 x 7,5	11 R x 22,5 - 16	Radial s/ câmara	8,0 (115)	8,0 (115)
			8,0 (115)	8,0 (115)

Motor

Modelo	Cummins – Diesel 6BT 8.3 I
Tipo	Em linha - 6 cil
Diâmetro dos cilindros	144 mm
Curso de êmbolos	135 mm
Cilindradas	8270 cm ³

Taxa de compressão		16;4:1
Potência máxima líquida (ABNT-NBR-5484)		122 kW (165,9 cv) a 2.500 rpm
Torque máximo líquido (ABNT-NBR-5484)		554 N.m (56,5 kgf.m) a 1.200 rpm
Máxima rpm	Com carga	2.500
	Sem carga	2.905
Ordem de injeção		1-5-3-6-2-4
Início de injeção – estático		22° apms
Pressão de injeção (bicos)		2.500 – 21.300 kPa
Marcha lenta		750-780 rpm
Pressão da bomba do óleo lubrificante (min)		69 kPa 750 – 780 rpm
Folga das válvulas com o motor frio	Admissão	0,30
	Escapamento	0,61

Fonte: FORD do Brasil, 1995

Tabela 10 – Especificações técnicas do compactador Usimeca EZC –200/20

Dimensões	Chassi “toco”	
	EZC 200 – 20	
Capacidade da Caixa	20,0 jd ³	15,38 m ³
Capacidade do Depósito Traseiro	2,4 jd ³	1,85 m ³
Capacidade Total	22,4 m ³	940 mm
AF Balanço Traseiro	37”	5,38 m
B Comprimento Total	212”	5,38 m
CA Distância da cabine ao centro do eixo traseiro	124”	3,14 m
D Altura acima do quadro do chassi	92”	2,34 m
I Largura Total	96”	2,44
J Largura Interna	89”	2,26 m
K Profundidade do Depósito Traseiro	201/2”	520 mm
N Vão livre Caixa / Cabine	8”	200 mm
Q Distância Fundo Depósito ao Chassi	215/8”	550 mm
R Abertura Praça de Carga – Largura	82”	2,08 m
S Abertura Praça de Carga – Altura	59”	1,50 m
I Comprimento da Traseira	59”	1,50 m
Abertura com a porta Traseira Aberta	150”	3,82 m
Peso Aproximado (Versão STD)	10670 lbs	4.8480 kg
PBT mínimo recomendado (2)	35.000 lbs	16,0 t

O PBT do chassi selecionado deverá ser compatível com a carga a ser transportada.

Fonte: USIMECA, 1995

ANEXO 1 - CAMINHÃO COMPACTADOR – DADOS TÉCNICOS

Modelo 1 de caminhão pesquisado. (Figura 28)



Figura 28: Caminhão VW 17.220 (6X2)

Fonte: CAVO, 2004

Modelo 2 de caminhão pesquisado. (Figura 29)



Figura 29: Caminhão FC 1617 (4X2)

Fonte: CAVO, 2004

ANEXO 2 – FOTOS AÉREAS DOS SETORES ESTUDADOS

Seleção das áreas de estudo a partir da fotogrametria, obtida junto ao Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba - IPPUC;



Figura 30: Fotos aéreas do setor 77 diurno

Fonte: IPPUC, 2004



Figura 31: Fotos aéreas do setor 17 diurno

Fonte: IPPUC, 2004



Figura 32: Fotos aéreas do setor 81 diurno

Fonte: IPPUC, 2004

DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES EFETIVOS

INFORMAÇÕES DE REGISTRO			
ESTUDO:	mestrado-ferdinando	PONTO:	diurno, simulação, pista simples
FOLHA:	1		

Dados SOUNDPLAN	
Md [veíc./h.dia]	56
Mn [veíc./h.noite]	24
ADT (calc.) [veíc./h]	933
coef. p/ dia (fixo)	0,06
coef. p/ noite (calc.)	0,025714

INFORMAÇÕES GERAIS DA PISTA			
No. DE FAIXAS:	1	LARG. DAS FAIXAS:	3,5 m
LARG. DO CANTEIRO CENTRAL:	0,4 m	CLASSE DA VIA:	II
TIPO DE REVESTIMENTO:	concreto asfáltico em boas condições		
TIPO DE ÁREA:	residencial tipo 2	TIPO DE REGIÃO:	ondulada

VOLUME DE DIA (7:01 ÀS 22:00 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM	3ª CONTAGEM	4ª CONTAGEM	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 6t)	10				10	40	71,43
Veículo Pesado (acima de 6t)	4				4	16	28,57
TOTAL	14	0	0	0	14	56	100,00

VOLUME À NOITE (22:01 ÀS 7:00 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM	3ª CONTAGEM	4ª CONTAGEM	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 6t)	4				4	16	66,67
Veículo Pesado (acima de 6t)	2				2	8	33,33
TOTAL	6	0	0	0	6	24	100,00

VOLUME DIÁRIO (PARA 24 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	VOLUME DE DIA	VOLUME DE NOITE	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 6t)	10	4	7	28	70,00
Veículo Pesado (acima de 6t)	4	2	3	12	30,00
TOTAL	14	6	10	40	100,00

DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES EFETIVOS

INFORMAÇÕES DE REGISTRO			
ESTUDO:	mestrado-ferdinando	PONTO:	diurno, simulação, pista dupla
		FOLHA:	2

Dados SOUNDPLAN	
Md [veic./h.dia]	132
Mn [veic./h.noite]	44
ADT (calc.) [veic./h]	22,00
coef. p/ dia (fixo)	0,06
coef. p/ noite (calc.)	0,02

INFORMAÇÕES GERAIS DA PISTA			
No. DE FAIXAS:	2	LARG. DAS FAIXAS:	3,5 m
		CLASSE DA VIA:	II
LARG. DO CANTEIRO CENTRAL:	0,4 m	VELOC. PERMITIDA:	40 km/h
TIPO DE REVESTIMENTO:	concreto asfáltico em boas condições		
TIPO DE ÁREA:	residencial tipo 2	TIPO DE REGIÃO:	ondulada

VOLUME DE DIA (7:01 ÀS 22:00h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM	3ª CONTAGEM	4ª CONTAGEM	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 6t)	22				22	88	66,67
Veículo Pesado (acima de 6t)	11		0	0	11	44	33,33
TOTAL	33	0	0	0	33	132	100,00

VOLUME À NOITE (22:01 ÀS 7:00 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM	3ª CONTAGEM	4ª CONTAGEM	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 6t)	8				8	32	72,73
Veículo Pesado (acima de 6t)	3		0	0	3	12	27,27
TOTAL	11	0	0	0	11	44	100,00

VOLUME DIÁRIO (PARA 24 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	VOLUME DE DIA	VOLUME DE NOITE	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 6t)	22	8	15	60	68,18
Veículo Pesado (acima de 6t)	11	3	7	28	31,82
TOTAL	33	11	22	88	100,00

DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES EFETIVOS

INFORMAÇÕES DE REGISTRO			
ESTUDO:	mestrado-ferdinando	PONTO: noturno, simulação, pista simples	FOLHA: 1

Dados SOUNDPLAN	
Md [veic./h.dia]	1312
Mn [veic./h.noite]	664
ADT (calc.) [veic./h]	21867
coef. p/ dia (fixo)	0,06
coef. p/ noite (calc.)	0,030366

INFORMAÇÕES GERAIS DA PISTA			
No. DE FAIXAS:	2	LARG. DAS FAIXAS:	3,5 m
		CLASSE DA VIA:	I-B
LARG. DO CANTEIRO CENTRAL:		VELOC. PERMITIDA:	60 km/h
TIPO DE REVESTIMENTO:	concreto asfáltico em boas condições		
TIPO DE ÁREA:	central	TIPO DE REGIÃO:	plana

VOLUME DE DIA (7:01 ÀS 22:00 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM	3ª CONTAGEM	4ª CONTAGEM	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 8t)	307				307	1228	93,60
Veículo Pesado (acima de 8t)	21				21	84	6,40
TOTAL	328	0	0	0	328	1312	100,00

VOLUME À NOITE (22:01 ÀS 7:00 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM	3ª CONTAGEM	4ª CONTAGEM	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 8t)	154				154	616	92,77
Veículo Pesado (acima de 8t)	12				12	48	7,23
TOTAL	166	0	0	0	166	664	100,00

VOLUME DIÁRIO (PARA 24 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	VOLUME DE DIA	VOLUME DE NOITE	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 8t)	307	154	231	922	93,32
Veículo Pesado (acima de 8t)	21	12	17	66	6,68
TOTAL	328	166	247	988	100,00

DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES EFETIVOS

INFORMAÇÕES DE REGISTRO			
ESTUDO:	mestrado-ferdinando	PONTO:	noturno, simulação, pista dupla
		FOLHA:	2

Dados SOUNDPLAN	
Md [veic./h.dia]	2880
Mn [veic./h.noite]	1440
AD T (calc.) [veic./h]	48000
coef. p/ dia (fixo)	0,06
coef. p/ noite (calc.)	0,03

INFORMAÇÕES GERAIS DA PISTA			
No. DE FAIXAS:	3	LARG. DAS FAIXAS:	3,5 m
		CLASSE DA VIA:	LB
LARG. DO CANT EIRO CENTRAL:	0,4 m	VELOC. PERMITIDA:	60 km/h
TIPO DE REVESTIMENTO:	concreto asfáltico em boas condições		
TIPO DE ÁREA:	central	TIPO DE REGIÃO:	plana

VOLUME DE DIA (7:01 ÀS 22:00 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM	3ª CONTAGEM	4ª CONTAGEM	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 6t)	690				690	2760	95,83
Veículo Pesado (acima de 6t)	30				30	120	4,17
TOTAL	720	0	0	0	720	2880	100,00

VOLUME À NOITE (22:01 ÀS 7:00 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM	3ª CONTAGEM	4ª CONTAGEM	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 6t)	345				345	1380	95,83
Veículo Pesado (acima de 6t)	15				15	60	4,17
TOTAL	360	0	0	0	360	1440	100,00

VOLUME DIÁRIO (PARA 24 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	VOLUME DE DIA	VOLUME DE NOITE	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 6t)	690	345	518	2070	95,83
Veículo Pesado (acima de 6t)	30	15	23	90	4,17
TOTAL	720	360	540	2160	100,00

DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES EFETIVOS

INFORMAÇÕES DE REGISTRO			
ESTUDO:	mestrado-ferdinando	PONTO:	diurno, simulação, pista simples
		FOLHA:	1

Dados SOUNDPLAN	
Md [veic./h.dia]	8
Mn [veic./h.noite]	8
ADT (calc.) [veic./h]	133
coef. p/ dia (fixo)	0,06
coef. p/ noite (calc.)	0,06

INFORMAÇÕES GERAIS DA PISTA			
No. DE FAIXAS:	1	LARG. DAS FAIXAS:	3,5 m
		CLASSE DA VIA:	III-A
LARG. DO CANTEIRO CENTRAL:	0,4 m	VELOC. PERMITIDA:	40 km/h
TIPO DE REVESTIMENTO:	concreto asfáltico em boas condições		
TIPO DE ÁREA:	residencial tipo 1	TIPO DE REGIÃO:	plana

VOLUME DE DIA (7:01 ÀS 22:00 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM	3ª CONTAGEM	4ª CONTAGEM	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 8t)	2				2	8	100,00
Veículo Pesado (acima de 8t)	0				0	0	0,00
TOTAL	2	0	0	0	2	8	100,00

VOLUME À NOITE (22:01 ÀS 7:00 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	1ª CONTAGEM	2ª CONTAGEM	3ª CONTAGEM	4ª CONTAGEM	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 8t)	2				2	8	100,00
Veículo Pesado (acima de 8t)	0				0	0	0,00
TOTAL	2	0	0	0	2	8	100,00

VOLUME DIÁRIO (PARA 24 h)

TIPO DE VEÍCULO (em função do peso em tonelada por eixo)	VOLUME DE DIA	VOLUME DE NOITE	CONTAGEM MÉDIA	VEÍC./HORA	(%)
Veículo Leve (até 8t)	2	2	2	8	100,00
Veículo Pesado (acima de 8t)	0	0	0	0	0,00
TOTAL	2	2	2	8	100,00