

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

JULIANA ROMAGNOLLI LESKI

**ANÁLISE COMPARATIVA DO RUÍDO PRODUZIDO PELO TRÁFEGO
DE VEÍCULOS LEVES EM DIFERENTES SUPERFÍCIES DE
ROLAMENTO, NAS CONDIÇÕES MOTOR LIGADO E DESLIGADO**

**MARINGÁ
2012**

JULIANA ROMAGNOLLI LESKI

**ANÁLISE COMPARATIVA DO RUÍDO PRODUZIDO PELO TRÁFEGO
DE VEÍCULOS LEVES EM DIFERENTES SUPERFÍCIES DE
ROLAMENTO, NAS CONDIÇÕES MOTOR LIGADO E DESLIGADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Soares.
Co-orientadora: Prof. Nelcí H. M. Gutierrez

**MARINGÁ
2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

L629a Leski, Juliana Romagnolli
Análise comparativa do ruído produzido pelo tráfego de veículos leves em diferentes superfícies de rolamento, nas condições motor ligado e desligado / Juliana Romagnolli Leski. -- Maringá, 2012.
117 f. : il. col., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Soares.
Co-orientadora: Prof.a Dr.a Nelcí H. M. Gutierrez.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2012.

1. Tráfego - Veículos leves - Ruído - Interação - Pneu e pavimento - Ambiente urbano e rural. 2. Controle do ruído - Tráfego - Veículos leves - Ambiente urbano e rural. 3. Ruído do motor - Interação - Pneu e pavimento - Ambiente urbano e rural. I. Soares, Paulo Fernando, orient. II. Gutierrez, Nelcí H. M., co-orient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. IV. Título.

CDD 21.ed. 621.38224

JULIANA ROMAGNOLLI LESKI

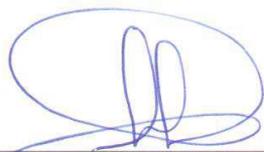
**ANÁLISE COMPARATIVA DO RUÍDO PRODUZIDO PELO TRÁFEGO
DE VEÍCULOS EM DIFERENTES SUPERFÍCIES DE ROLAMENTO,
NAS CONDIÇÕES MOTOR LIGADO E DESLIGADO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, na área de concentração Infraestrutura e Sistemas Urbanos, para obtenção do título de Mestre.

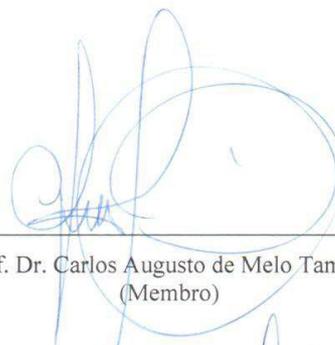
APROVADA em 29 de março de 2012.



Prof.ª Dr.ª Maria de Fátima Ferreira Netto
(Membro)



Prof. Dr. Paulo Fernando Soares
(Orientador)



Prof. Dr. Carlos Augusto de Melo Tamanini
(Membro)



Prof.ª Dr.ª Nelci Helena Maia Gutierrez
(Co-orientadora)

A Deus, “que me cinge de força e aperfeiçoa meu caminho” Salmo 18.32

Aos meus pais, Jerson Godoy Leski e Susette Romagnolli Leski.

Ao meu noivo, Anderson da Costa de Araújo.

Aos meus irmãos, Letícia Romagnolli Leski e Jerson Godoy Leski Junior.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo, sempre.

À Universidade Estadual de Maringá.

Ao Professor Paulo Fernando Soares, pela orientação e conhecimento transmitido.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, pela contribuição que deram à minha formação profissional, e em especial à Professora Fernanda Antonio Simões, pela dedicação e auxílio nos trabalhos desenvolvidos em conjunto.

À professora Nelcí Helena Maia Gutierrez, pela co-orientação e assistência à docência.

Ao DER/PR, pelas informações prestadas.

Aos amigos e colaboradores, Caroline Salgueiro, Victor Antunes e Ricardo Leon.

Ao meu noivo, Anderson de Araújo, pelo apoio, compreensão e auxílio nas medições. Sempre do meu lado, amor e confiança.

À minha irmã Letícia Leski, pelo apoio e presteza.

Aos meus pais, pelo exemplo de dedicação e carinho infinito.

A todos que me apoiaram para a realização desta pesquisa, minha eterna gratidão.

RESUMO

O aumento do nível sonoro, tanto no ambiente urbano como no rural tem sido uma preocupação mundial e vem alarmando as cidades brasileiras nos últimos tempos. O grande aumento do volume de tráfego de veículos, devido à densidade demográfica, e peculiarmente no Brasil e países emergentes, com o crescimento da economia, com facilidades na aquisição de veículos, aumento no transportes de bens e serviços e também do turismo; são fatores determinantes no crescimento dos índices de poluição sonora no ambiente urbano e rural. Na busca pela qualidade ambiental, combate-se a emissão de gases e a geração de ruído de tráfego como causadores de danos irreversíveis ao meio ambiente, e por isso têm sido alvo de inúmeros estudos e pesquisas. Os estudos a respeito do ruído de tráfego apontam para o veículo, em especial ao atrito pneu/pavimento, somado às propriedades da superfície de rolamento, como influenciadores na geração e propagação do ruído sonoro, considerando velocidades altas, acima dos 100 km.h⁻¹. A velocidade tem um papel importante e influenciador na demanda de ruído. Nas velocidades baixas, inferiores a 50 km.h⁻¹, estudos revelam que o ruído predominante não seria mais da interação pneu/pavimento, e sim do ruído do motor. Considerando que, em um cenário urbano, as velocidades predominantes são as baixas e médias, e em um cenário rural, predominam as velocidades médias e altas, este trabalho propõe avaliar o ruído causado pelo tráfego de diferentes superfícies de rolamento, em trechos urbanos e rurais, de regiões no entorno da cidade de Maringá, e analisar através de ensaios de campo, a influência da velocidade, do ruído motor e da superfície de rolamento, na propagação e geração do ruído. Para tanto, foram realizados ensaios de monitoramento com um veículo teste, deslocando-se nos trechos escolhidos, com o motor desligado e também ligado, para se verificar a influência do ruído do motor nas baixas e médias velocidades e a influência da interação pneu/pavimento nas médias e altas velocidades. A análise foi realizada nas seguintes superfícies de rolamento: uma em “TST – tratamento superficial triplo”, outra em “CAUQ (concreto asfáltico usinado a quente) com ligante modificado com asfalto-borracha”, e um terceiro pavimento, chamado “intertravado”. Os resultados apontaram que o ruído do motor tem muita influência na geração do ruído de tráfego, mas a influência maior é para as velocidades inferiores a 50 km.h⁻¹. Nas velocidades acima de 50 km.h⁻¹ prevalece o ruído da interação pneu-pavimento. Desta forma, espera-se contribuir na proposição de ações de mitigação dos impactos ambientais negativos causados pela poluição sonora, em especial, na geração e propagação de ruídos em vias urbanas e rurais, influenciando nas buscas por alternativas para melhoria da qualidade ambiental.

Palavras-chave: Ruído de tráfego; Controle do ruído; Interação pneu/pavimento; Ruído do motor; Ambiente urbano e rural.

ABSTRACT

The noise sound increase, both in urban and rural areas has been a global concern and has alarmed the Brazilian cities in recent times. The great increase of vehicular traffic volume, due to population density, and peculiarly in Brazil and others emerging nations, with the growth of the economy, facilitating cars acquisition, and increasing transport of goods and services and tourism, are determining factors of noise pollution increase in urban and rural environment. Aiming for environmental quality, man has combating gas emissions and traffic noise generation as causes of irreversible damage to the environment, and so they have been subject of numerous studies and research. The studies on traffic noise indicates the vehicle, especially the tire-pavement friction, and the surface bearing properties, that influence the generation and propagation of acoustic noise, considering high speeds above 54 miles per hour. Speed plays an important role in influencing noise demand. At low speeds below 27 m / h, studies show that predominant noise would not be from the interaction of tire / pavement, but from the engine noise. Considering that in an urban scennary, prevailing speeds are low and medium, and in a rural one, predominate medium and high speeds, this paper proposes to evaluate the noise caused by traffic of different bearing surfaces in urban and rural areas of regions around the Maringa City, and analyse, through field tests, the influence of speed, engine noise and bearing surface, on the noise propagation and generation. So, tests with a monitoring test vehicle were conducted, moving at the chosen places, with the engine off and on, to verify the engine noise influence in low and medium speeds and the effect of interaction between tire and pavement in medium and high speeds. The analysis was performed in the following areas of rolling in a "TST - Triple surface treatment," another on "CAUQ (machined hot asphalt concrete) with ligand-modified asphalt-rubber", and a third floor, called "interlocked. The results showed that the engine noise has a strong influence on the generation of traffic noise, but the influence is greater for speeds below 50 km.h-1. At speeds above 50 km.h-1 prevails noise of tire-pavement interaction. Thus, on hope to contribute in proposing initiatives to mitigate the negative environmental impacts caused by noise pollution, especially in the generation and propagation of noise in urban streets and rural areas, influencing the search for alternatives to improve environmental quality.

Keywords: Traffic noise, noise control, tire-pavement interaction; engine noise, urban and rural environment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 2.1	Relações de variação de nível sonoro e perda de energia acústica.....	21
Figura 2.2	Processamento do som no seres humanos, do nível físico ao psíquico	24
Figura 2.3	Esquema do sistema auditivo que transforma sons (grandezas físicas) em sensações psíquicas (grandezas psico-acústicas).....	24
Figura 2.4	Deslocamento do limiar da audição por tom puro.....	26
Quadro 3.1	Nível-critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A).	30
Figura 4.1	Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre.....	31
Quadro 4.1	Principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre	32
Quadro 5.1	Fontes geradoras do ruído de tráfego produzidos pelos veículos automotores.....	35
Quadro 5.2	Principais mecanismos de geração do ruído que ocorrem na área de contato pneu/pavimento.	36
Figura 5.1	Diferentes tipos de textura existentes no pavimento.....	39
Figura 5.2	Influência da textura da superfície do pavimento	40
Figura 5.3	Textura positiva	43
Figura 5.4	Textura negativa.....	43
Figura 5.5	Reflexão do ruído na superfície de pavimento denso	44
Figura 5.6	Reflexão do ruído na superfície de pavimento poroso.....	45
Figura 6.1	Mecanismos envolvidos na propagação do ruído da interação pneumático/revestimento	46
Quadro 6.1	Níveis de ruído oriundos da interação pneumático/revestimento em função do tipo do revestimento do pavimento e da velocidade de deslocamento do veículo.....	47
Figura 6.2	Exemplo de fluxograma para gestão dos revestimentos porosos.....	50
Figura 6.3	Seção transversal dos revestimentos dos pavimentos eufônicos	52
Figura 6.4	Processos de mistura da borracha e terminologia	53
Figura 6.5	Esquema de tratamentos superficiais (sem escala)	59
Quadro 6.2	Exemplos de faixas granulométricas para tratamento superficial triplo.....	60
Figura 7.1	Forma esquemática de medição de ruído de circulação.....	65
Figura 7.2	Representação esquemática do reboque empregado na quantificação do ruído da interação pneumático-revestimento	67
Figura 8.1	Posicionamento do medidor de ruído em metros.....	70
Figura 8.2	Dimensões do local de ensaios	71
Figura 8.3	Posição dos medidores no trecho da PR-317, entre Maringá e Floresta.....	73
Figura 8.4	Posição dos medidores no trecho Nossa Senhora das Graças.....	74

Figura 8.5	Posição dos medidores no trecho da Avenida Rio Branco, em Cruzeiro do Oeste	74
Figura 8.6	Avenida Rio Branco, na cidade de Cruzeiro do Oeste, Noroeste do Paraná, Brasil	75
Figura 8.7	Perfil das camadas do pavimento intertravado, onde se observa o colchão de areia de assentamento sobre a base.....	76
Figura 8.8	Trecho Nossa Senhora das Graças, na PR-317, entre as cidades de Nossa Senhora das Graças e Alto Alegre, no Noroeste do Paraná, Brasil	77
Figura 8.9	Perfil das camadas do pavimento com revestimento em TST.....	78
Figura 8.10	Trecho da PR-317 entre as cidades de Maringá e Floresta, no Noroeste do Paraná, Brasil	79
Figura 8.11	Características dimensionais do veículo teste.....	80
Figura 8.12	Pneu dianteiro do veículo utilizado nos ensaios e os detalhes de banda de rodagem.....	81
Figura 8.13	Medidor da velocidade do vento.....	83
Figura 9.1	Pavimento intertravado: níveis totais de ruído externo para cada velocidade	86
Figura 9.2	Tratamento superficial triplo (TST): níveis totais de ruído externo para cada velocidade	87
Figura 9.3	CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha: níveis totais de ruído externo para cada velocidade.....	87
Figura 9.4	Ruído de fundo para o pavimento intertravado, motor ligado e desligado	88
Figura 9.5	Ruído de fundo para superfície com TST, motor ligado e desligado	88
Figura 9.6	Ruído de fundo para superfície em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, motor ligado e desligado	89
Figura 9.7	Comparação do nível de ruído equivalente (L_{EQ}), conforme o aumento da velocidade (km.h^{-1}), entre o pavimento intertravado e o pavimento com revestimento em TST, na condição motor desligado.	90
Figura 9.8	Comparação do nível de ruído equivalente (L_{EQ}), conforme o aumento da velocidade (km.h^{-1}), entre o pavimento intertravado e o pavimento com revestimento em TST, na condição motor ligado.	90
Figura 9.9	Comparação do nível de ruído equivalente, conforme o aumento da velocidade, entre o pavimento com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor desligado.	91
Figura 9.10	Comparação do nível de ruído equivalente, conforme o aumento da velocidade, entre o pavimento com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor ligado.....	91

Figura 9.11	Comparação do nível de ruído equivalente, na velocidade de 40 e 60 km.h ⁻¹ , entre os pavimentos intertravado, com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor desligado.....	92
Figura 9.12	Comparação do nível de ruído equivalente, na velocidade de 40 e 60 km.h ⁻¹ , entre os pavimentos intertravado, com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor ligado.	93
Figura 9.13	Comparação do nível de ruído equivalente, na velocidade de 40 km.h ⁻¹ , entre os pavimentos intertravado, com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor ligado e desligado.....	93
Figura 9.14	Comparação do nível de ruído equivalente, na velocidade de 60 km.h ⁻¹ , entre os pavimentos intertravado, com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor ligado e desligado.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1	Tabela de classificação da textura superficial do revestimento	39
Tabela 5.2	Tabela de métodos específicos para realização de ensaios para determinação das características dos revestimentos	44
Tabela 8.1	Dados da média da medição da velocidade do vento (m/s) para cada estação teste	82
Tabela 8.2	Condições climáticas das estações teste. NM: Não medido	84
Tabela 9.1	Resultados dos níveis sonoros versus velocidade para os ensaios com o motor desligado.....	85
Tabela 9.2	Resultados dos níveis sonoros versus velocidade para os ensaios com o motor ligado	86
Tabela Apêndice A	Nível sonoro global em dB(A) para velocidade de 40 km.h ⁻¹ com motor desligado – trecho de Cruzeiro do Oeste – pavimento intertravado.....	107
Tabela Apêndice B	Nível sonoro global em dB(A) para velocidade de 80 km.h ⁻¹ com motor ligado – trecho Nossa senhora das Graças – superfície em TST	110
Tabela Apêndice C	Nível sonoro global em dB(A) para velocidade de 110 km.h ⁻¹ com motor ligado – trecho da PR-317 entre Maringá e Floresta – superfície em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BBTM	<i>Béton Bitumineux Très Mince</i>
CA	Cimento Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CEE	<i>Economic Commission for Europe</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia
CPA	Camada Porosa de Atrito
DEFRA	<i>Department for Environment Food and Rural Affairs</i>
DENATRAN	Departamento Nacional do Trânsito
DER/PR	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná
DNIT	Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes
dB(A)	Decibel Ponderado na curva A
EME	<i>Enrobé à Module é Levé</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FHWA	Federal Highway Administration
ISO	International Organization for Standardization
L _{EQ}	Nível de Ruído Equivalente
L ₉₀	O nível estatístico que representa o valor do nível de pressão sonora que foi excedido em 90% do intervalo de tempo considerado
NBR	Normas Brasileiras de Regulamentação
NCA	Nível de Critério de Avaliação
OCDE	<i>Organization for Economic Development</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PERS	Superfícies Porosas-emborrachadas
SAM	<i>Stress Absorbing Membrane</i>
SAMI	<i>Stress Absorbing Membrane Interlayer</i>
SMA	<i>Stone Mastic Asphalt</i>

TST	Tratamento Superficial Triplo
UEM	Universidade Estadual do Paraná
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UR	Umidade Relativa
<i>USDOT</i>	<i>United States Department of Transportation</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	PROBLEMÁTICA E IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	19
1.2	OBJETIVO	19
1.3	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	19
2	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO SOM	21
2.1	A NATUREZA DO SOM	21
2.2	REAÇÃO DOS SERES HUMANOS AO SOM.....	23
2.3	LIMIAR DIFERENCIAL.....	24
2.3.1.	Limiar diferencial do nível de pressão sonora.....	25
2.3.2.	Limiar diferencial da frequência do som.....	25
2.4	MASCARAMENTO	25
2.5	INCÔMODO DO RUÍDO.....	26
3	GRANDEZAS, PROCEDIMENTOS, NORMAS E LEGISLAÇÕES PARA MEDIÇÃO DO RUÍDO	27
3.1	GRANDEZAS PARA AVALIAR RUÍDOS ESTACIONÁRIOS	27
3.2	GRANDEZAS PARA AVALIAR RUÍDOS NÃO ESTACIONÁRIOS.....	27
3.3	PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DO RUÍDO DE TRÁFEGO	28
3.4	NORMAS E LEGISLAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DO RUÍDO.....	29
4	PROPAGAÇÃO SONORA AO AR LIVRE E RUÍDO AMBIENTAL	31
4.1	PRINCIPAIS MECANISMOS DE ATENUAÇÃO SONORA AO AR LIVRE	32
5	RUÍDO DE TRÁFEGO	34
5.1	FONTE GERADORA DO RUÍDO DE TRÁFEGO VEICULAR	34
5.1.1.	Veículos automotores	35
5.1.2.	Mecanismo de geração e transmissão de ruído pneu/pavimento	35
5.1.3.	Características do pavimento que interferem na geração de ruído.....	37
5.1.3.1.	Impedância mecânica	38
5.1.3.2.	Textura do pavimento.....	38
5.1.3.3.	Porosidade e atrito	40
5.1.3.4.	Textura positiva e textura negativa	42
5.1.4.	Geometria simples da reflexão do ruído na superfície do pavimento	44
6	A UTILIZAÇÃO DO REVESTIMENTO DO PAVIMENTO COMO FORMA DE REDUÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO	46
6.1	REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS COM DESEMPENHO ACÚSTICO.....	47

6.1.1.	Faixa granulométrica descontínua ou revestimento do tipo a	48
6.1.2.	Revestimento drenante ou do tipo b	48
6.1.3.	Revestimentos porosos com grandes espessuras ou tipo c.....	51
6.1.4.	Revestimento eufônico ou tipo d.....	51
6.1.5.	Revestimentos bicapa	52
6.2	REVESTIMENTO ASFÁLTICO EM ASFALTO-BORRACHA.....	52
6.2.1.	Reaproveitamento de pneus em obras de pavimentação	54
6.2.2.	Vantagens da utilização da borracha como ligante asfáltico.....	54
6.2.3.	Aplicação do ligante asfalto-borracha.....	55
6.2.3.1.	Pavimento com superfície emborrachada.....	56
6.2.3.2.	Superfície porosa emborrachada	56
6.3	OUTROS TIPOS DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS	57
6.3.1.	Tratamento superficial.....	57
6.3.2.	Concreto asfáltico denso (CA)	61
6.3.3.	Gap-graded	62
6.3.4.	Misturas <i>in situ</i> em usinas móveis.....	63
6.3.4.1.	Lama asfáltica.....	63
6.3.4.2.	Microrrevestimento asfáltico.....	63
7	MÉTODOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDOS DE TRÁFEGO	65
7.1	MÉTODO DE MEDIÇÃO DE RUÍDO NA INTERAÇÃO PNEU- REVESTIMENTO DO PAVIMENTO	66
7.1.1.	Método do tambor	66
7.1.2.	Método compatível ao da ISO - 362	66
7.1.3.	Método do reboque combinado com medida de absorção acústico global	66
7.1.4.	Método estatístico do “veículo isolado”	68
7.1.5.	Método do “veículo controlado”	68
7.1.6.	Método do R.I.M.A.	68
8	METODOLOGIA APLICADA	69
8.1	MÉTODO UTILIZADO	69
8.2	CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO ENSAIO	72
8.2.1.	Caracterização do local	74
8.2.2.	Caracterização do veículo de ensaio	79
8.2.3.	Caracterização da velocidade de ensaio	81
8.2.4.	Caracterização das condições climáticas.....	82
9	ANÁLISE E RESULTADOS	85
9.1	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	85
9.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	86
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	95
10.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95

10.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	96
	REFERÊNCIAS	98
	ANEXO.....	103
Anexo A	Especificação do medidor de nível de pressão sonora dl 4200 – utilizado em todos os ensaios	104
	APÊNDICE	106
Apêndice A	Dados do medidor de nível de pressão sonora dl 4200 – no trecho de Cruzeiro do Oeste	107
Apêndice B	Dados do medidor de nível de pressão sonora dl 4200 – no trecho Nossa Senhora das Graças	110
Apêndice C	Dados do medidor de nível de pressão sonora dl 4200 – no trecho da PR-317 entre Maringá e Floresta.....	113

1 INTRODUÇÃO

O ruído resultante da passagem do tráfego é em todo o mundo e, em particular, nas áreas densamente povoadas, uma das mais importantes preocupações ambientais. Segundo Bistafa (2011), uma das principais fontes de poluição sonora ambiental é o tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo.

Cerca de 80 a 90% da poluição sonora é proveniente do tráfego rodoviário (SANTOS, 2007). O modal rodoviário de transporte tem papel indiscutível e é insubstituível na economia e no cotidiano das pessoas. No Brasil 63% das cargas e 97% dos passageiros são transportados em rodovias (MELLO, 2001). Nos últimos anos houve um aumento expressivo nas taxas de motorização, passando de 122 habitantes/veículo na década de 1950 para 6 habitantes/veículo em 1995 (ANTP, 2003), o que fez aumentar as preocupações com o ruído de tráfego. O ruído, tanto em zonas urbanas quanto rurais, está intimamente associado aos transportes (SPECHT et al., 2009).

A sociedade ecologicamente consciente em que vivemos vem exigindo o enfrentamento de problemas que prejudicam a qualidade de vida. O ruído afeta as pessoas de várias formas. Os problemas relacionados ao ruído incluem perda de audição, *stress*, hipertensão, perda de sono, falta de concentração, baixa produtividade, deterioração da qualidade de vida e redução de oportunidades de repouso (BISTAFA, 2011).

Além dos problemas relacionados com a saúde, o aumento do nível sonoro tem causado outras preocupações. Na Suécia, por exemplo, em um estudo realizado, apontou que as perdas causadas pelo ruído apresenta prejuízos na ordem de 330 milhões de dólares por ano e estão ligadas principalmente à desvalorização imobiliária (SANDEMBERGER, 2001). E segundo CARNEIRO (2004), os imóveis residenciais nas proximidades da avenida Paulista, na capital do estado de São Paulo, no Brasil, podem sofrer desvalorização de até 35% por causa da intensa poluição sonora.

A busca por alternativas capazes de reduzir o ruído, ou pelo menos minimizar seus efeitos, são cada vez mais frequentes. É bastante comum na Europa e nos Estados Unidos a utilização de barreiras antirruído que são muros ou cortinas que atenuam a passagem do som (SPECHT et al., 2009).

Outros métodos, como o controle do tráfego (com a limitação da velocidade), a alteração do traçado vertical e horizontal, a definição de zonas protegidas, também são alternativas utilizadas na Europa (SANTOS, 2007).

Um método inovador de limitação do ruído é a construção de “pavimentos silenciosos” (CAMOMILLA; LUMINARI, 2004), cujas necessidades e aceitação vêm aumentando ultimamente. A implantação de pavimentos silenciosos como atenuador da poluição sonora nas vias rurais e urbanas vem se mostrando como uma das formas mais eficazes de reduzir o ruído do tráfego de veículos nos países europeus e norte americanos, onde a sua utilização é mais freqüente.

Atualmente as superfícies de estrada mais silenciosas são as porosas ou as de textura fina. Com base nos estudos elaborados pelo grupo de trabalho do projeto Europeu SILVIA (*Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control*), pode-se concluir que foram atingidos progressos significativos, no que diz respeito a camadas de superfície silenciosas, já que, para condições muito favoráveis, foram registradas reduções iniciais de ruído de cerca de 10 dB(A) em relação a uma superfície de referência. No entanto, a redução sofrerá um decréscimo ao longo do tempo (NILSSON, 2005).

Há pavimentos com melhores propriedades de ruído inicial, como o asfalto poroso e o asfalto-borracha, mas infelizmente as reduções de ruídos para estes tipos de asfalto são temporárias. Os espaços abertos nestes pavimentos atuam no sentido de captar e reduzir a energia sonora. Estas aberturas no pavimento podem encher de sujeira e areia depois de alguns anos, sendo a redução de ruído comprometida (*Washington State Department of Transportation, 2005*).

Cada pavimento tem pontos fortes e pontos fracos. Pesquisas mostram que a mudança no tipo de pavimento não reduz o ruído de motores e sistemas de exaustão de ônibus e caminhões pesados. Em velocidades de 50 ou mais quilômetros por hora a maior parte do ruído é proveniente do atrito dos pneus sobre os pavimentos. Abaixo de 50 quilômetros por hora, por exemplo, em locais com ruas arteriais, o ruído do motor e do escape são mais dominantes do que os do atrito pneu/pavimento (*Washington State Department of Transportation, 2005*).

O ruído de tráfego total produzido em um ambiente depende de vários fatores, incluindo quantidade e velocidade do tráfego, porcentagem de caminhões, idade e desgaste do pavimento, sendo que, quanto mais velhos, tendem a ser mais ruidosos (*Washington State Department of Transportation, 2005*).

1.1 PROBLEMÁTICA E IMPORTÂNCIA DO TEMA

O ruído deteriora a qualidade de vida, causa problemas à saúde e impacta econômica e financeiramente a vida das pessoas e de organizações. Infelizmente, como os problemas de saúde associados ao ruído não ameaçam tanto a vida como os poluentes do ar, das águas e o lixo químico e atômico, o ruído está em último lugar na lista de prioridades ambientais (BISTAFA, 2011). Sendo assim, a necessidade de buscar soluções é patente, bem como difundir o conhecimento sobre este assunto em nosso país (CALLAI, 2011). Com isto, este estudo pretende contribuir para a avaliação de técnicas existentes e no desenvolvimento de novas técnicas mais favoráveis à redução do ruído urbano e rural.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a análise comparativa entre diferentes superfícies de rolamento, em trechos de regiões situadas no entorno da cidade de Maringá, no Noroeste do Paraná.

Através de ensaios de monitoramento, pôde-se verificar o desempenho acústico de alguns tipos de revestimentos de pavimentos empregados na região. O ensaio foi realizado com um veículo teste, deslocando-o nos trechos escolhidos, com o motor desligado e ligado, onde se pôde verificar a influência do ruído do motor nas baixas e médias velocidades e a influência da interação pneu/pavimento nas médias e altas velocidades.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1 - Introdução ao tema, abordando a sua importância e o objetivo da pesquisa;
- Capítulo 2 – Início da revisão bibliográfica: os conceitos fundamentais do som; Como é a reação dos seres humanos ao som;
- Capítulo 3 – Este capítulo apresenta as grandezas, procedimentos, normas e legislações para avaliação de ruído. A existência de órgãos normalizadores e agências reguladoras, que procuram estabelecer métodos para quantificar e avaliar

o impacto que o ruído produz nas pessoas. Limites de níveis sonoros para rodovias e comunidades. Nível-critério de avaliação para ambientes externos;

- Capítulo 4 – A propagação sonora ao ar livre: a fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor. Os mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre;
- Capítulo 5 – Descreve a respeito das principais fontes geradoras do ruído veicular: os veículos automotores, os mecanismos de geração e propagação do ruído pneu/pavimento e as características do pavimento que interferem na geração do ruído;
- Capítulo 6 – A utilização do revestimento do pavimento como forma de atenuação de ruído. Como resultado do desenvolvimento dos métodos de medição acústica, do conhecimento dos fenômenos que produzem o ruído da interação pneumático/revestimento e da comparação do desempenho acústico entre os diferentes tipos de revestimentos dos pavimentos.
- Capítulo 7– Apresentação dos métodos de medição de ruído tráfego na interação pneu/pavimento;
- Capítulo 8 – Expõe o programa metodológico utilizado nos ensaios de campo;
- Capítulo 9 – Apresentação das análises e dos resultados;
- Capítulo 10 – As considerações finais a respeito da pesquisa e a apresentação de sugestões para estudos futuros;
- No apêndice encontram-se algumas das planilhas de medição do nível sonoro nos trechos de ensaio, antes do tratamento de dados.
- No anexo consta da especificação geral e técnica do aparelho utilizado para medição de ruído, da marca DL 4200;

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO SOM

O som é uma onda mecânica longitudinal e produz sensação auditiva se estiver nas frequências entre 20 e 20.000Hz. O ruído pode ser definido como uma mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa ou simplesmente como todo som indesejável (ABNT, 1983). A pressão sonora é utilizada para definir os níveis de ruído ou sua intensidade e sua unidade é o decibel. O decibel (dB) é a unidade logarítmica que expressa a razão entre a pressão sonora que está sendo medida e uma pressão de referência. O som é composto por uma variedade de frequências, todavia o ouvido humano é capaz de sentir apenas parte dessa frequência (audiofrequência de 20 a 20.000Hz). Os medidores de nível de pressão sonora (MNPS) são capazes de selecionar tais frequências e a escala A, dos MNPS, é a que melhor representa a percepção auditiva humana (SPECHT et al., 2009).

USDOT/FHWA (1995) ressalta que a interpretação das medidas de ruído deve ser cuidadosa, visto que, como mencionado, o decibel é uma escala logarítmica.

O Quadro 2.1 apresenta algumas relações de variação de nível sonoro e perda de energia acústica.

Alteração do Nível Sonoro	Nível de Percepção	Perda de Energia Acústica (%)
0 dB(A)	Referência	0,0
-3 dB(A)	Mudanças pouco perceptíveis	50,0
-5 dB(A)	Mudanças perceptíveis	67,0
-10 dB(A)	Metade do volume	90,0
-20 dB(A)	¼ volume	99,0
-30 dB(A)	⅛ volume	99,9

Quadro 2.1 Relações de variação de nível sonoro e perda de energia acústica.

Fonte: Adaptado de USDOT/FTHW, 1995

2.1 A NATUREZA DO SOM

O som pode ser definido como uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo. A pressão ambiente diminui com a altitude. A menor pressão ambiente

detectável pelo sistema auditivo é da ordem de 0,00002 Pa. Esta pressão chama-se limiar da audição. Teoricamente, para que a pressão ambiente sofra uma variação igual à do limiar da audição é suficiente uma variação de altitude da ordem de 0,17 micrometros (0,17 μm). A variação da pressão ambiente deve ocorrer de forma cíclica, como mostra na Figura 2.1, para que essa variação seja detectada como som (BISTAFA, 2011).

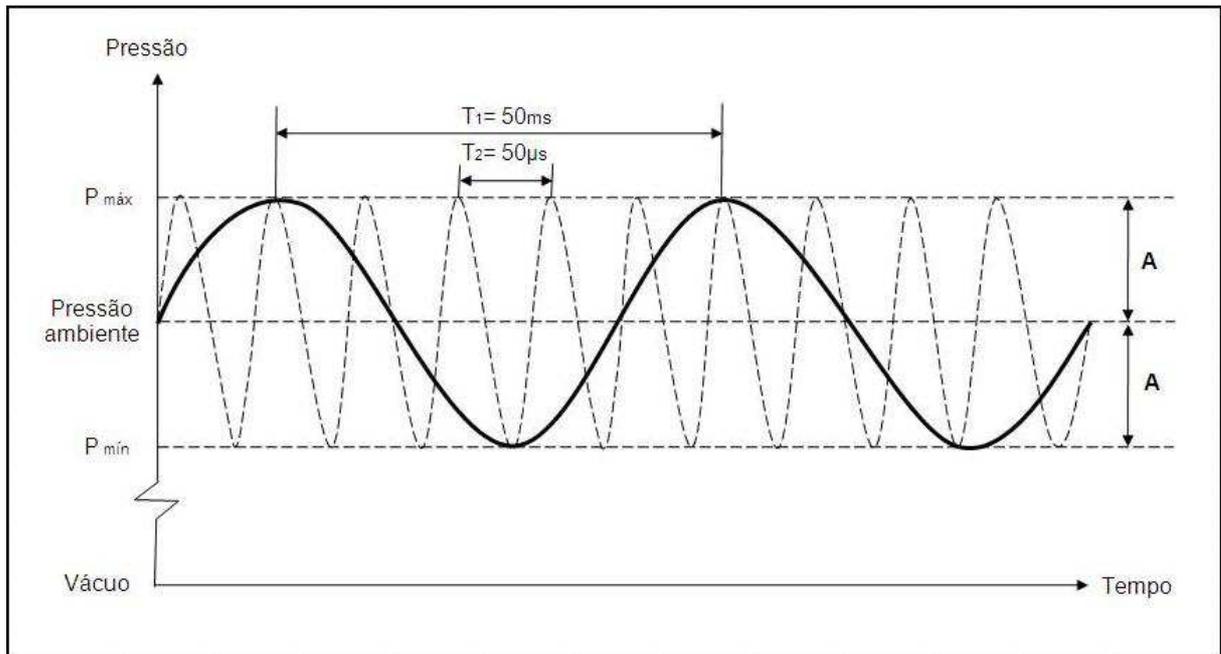


Figura 2.1 Variações da pressão ambiente em função do tempo para sons com períodos $T_1 = 50 \text{ ms}$ e $T_2 = 50 \mu\text{s}$.

Fonte: BISTAFA, 2011.

A Figura 2.1 não está em escala, e mostra a pressão ambiente variando entre um valor máximo ($\rho_{\text{máx}}$) e um valor mínimo ($\rho_{\text{mín}}$), devido à presença do som no ambiente. A amplitude de variação da pressão ambiente (A), é dada por: $A = \rho_{\text{máx}} - \rho_{\text{ambiente}} = \rho_{\text{ambiente}} - \rho_{\text{mín}}$. Duas situações estão representadas na Figura 2.1: na linha contínua, o tempo decorrido para que um ciclo se complete é 50 ms; na linha tracejada, o tempo decorrido para que um ciclo se complete é 50 μs (BISTAFA, 2011).

Define-se período (T) como o intervalo de tempo decorrido para que um ciclo se complete na curva de variação da pressão ambiente com o tempo. Portanto, os períodos para as variações da pressão ambiente esquematizadas na Figura 2.1 são: $T_1 = 50 \text{ ms}$ para a variação da pressão ambiente representada pela linha contínua, e $T_2 = 50 \mu\text{s}$ para a variação da pressão ambiente representada pela linha tracejada (BISTAFA, 2011).

Quando a variação da pressão ambiente for cíclica, com período T compreendido entre T_1 e T_2 , e quando a amplitude (A) for maior que o limiar da audição, o sistema auditivo

detectará o som. Nessas condições, a variação da pressão ambiente é chamada de pressão sonora (p), ou pressão acústica (BISTAFA, 2011).

Em acústica, é usual trabalhar-se com o inverso do período, que recebe o nome de frequência (f), portanto definida como na Equação 2.1:

$$f = \frac{1}{T} \text{ Hz} \quad (2.1)$$

A unidade frequência é ciclos por segundo, ou hertz (Hz), em homenagem a Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894).

Segundo BISTAFA (2011), a frequência indica o número de períodos existentes em um segundo. Para os sons da Figura 2.1, aquele com o $T_1 = 50 \text{ ms}$, a frequência f_1 é 20 Hz, e para o som com período $T_2 = 50 \mu\text{s}$, a frequência f_2 é 20.000 Hz (20 kHz).

Nosso sistema auditivo percebe o som de frequência f_1 como grave, e o de frequência f_2 como agudo. Na realidade os sons com frequências nessa faixa são aqueles que o sistema auditivo consegue detectar. Essa faixa de frequência recebe o nome de faixa de áudio. Sons com frequência abaixo de 20 Hz chamam-se infrassons, e sons com frequência acima de 20 kHz são os ultrassons (BISTAFA, 2011).

2.2 REAÇÃO DOS SERES HUMANOS AO SOM

Informações no nível físico do som, na forma de ondas sonoras, são captadas, processadas e codificadas em nível fisiológico pela orelha, e enviadas ao cérebro pelas fibras nervosas auditivas, como na Figura 2.2 que mostra o processamento do som nos seres humanos, do nível físico ao psíquico. No nível psíquico, o cérebro interpreta as informações recebidas e determina seu significado e importância (BISTAFA, 2011).

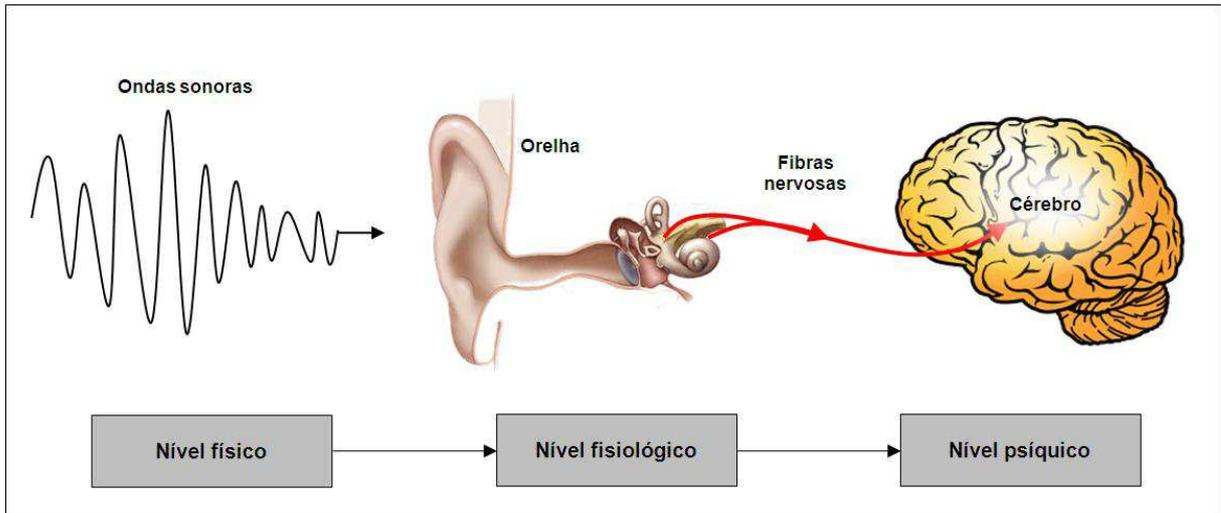


Figura 2.2 Processamento do som no seres humanos, do nível físico ao psíquico.

Fonte: Adaptado de BISTAFA, 2011

O som é caracterizado por grandezas físicas, enquanto as sensações são caracterizadas por grandezas psicoacústicas. O sistema auditivo transforma sons em sensações psíquicas, como na Figura 2.3, que mostra o esquema do sistema auditivo que transforma sons (grandezas físicas) em sensações psíquicas (grandezas psicoacústicas).



Figura 2.3 Esquema do sistema auditivo que transforma sons (grandezas físicas) em sensações psíquicas (grandezas psicoacústicas).

Fonte: BISTAFA, 2011

2.3 LIMIAR DIFERENCIAL

No desenvolvimento de grandezas psicoacústicas, uma das principais tarefas está em determinar a variação mínima da grandeza física capaz de provocar uma variação apenas perceptível da sensação subjetiva. Essa variação recebe o nome de *variação apenas perceptível* (“Just noticeable difference”, JND), ou *limiar diferencial* (BISTAFA, 2011).

2.3.1 Limiar diferencial do nível de pressão sonora

Um dos motivos para adoção do decibel foi por tratar-se de uma unidade física igual à variação mínima de nível de pressão sonora detectável pelo sistema auditivo – ou seja, o limiar diferencial do nível de pressão sonora é aproximadamente 1 dB. Na realidade, esse limiar diferencial é aquele que se verifica aproximadamente para sons de baixos níveis sonoros, em torno de 30 – 40 dB, e nas médias e altas frequências.

O limiar diferencial do nível de pressão sonora é de apenas 1/3 – 1/2 dB para sons de níveis sonoros elevados, em quaisquer frequências (BISTAFA, 2011).

2.3.2 Limiar diferencial da frequência do som

O sistema auditivo é bastante sensível a variações de frequência. O limiar diferencial para tons puros com frequências abaixo de 500 Hz é de aproximadamente 2-3 Hz. Para tons puros com frequências acima de 500 Hz, o limiar diferencial relativo ($\Delta f/f$) está em torno de 0,5% (BISTAFA, 2011).

2.4 MASCARAMENTO

Ocorre o mascaramento quando um som interfere na percepção de outro. Diz-se que o tom indesejável (chamado de mascarante) mascara o tom desejável (chamado de mascarado).

Conforme ilustra a Figura 2.4, o tom mascarante eleva o limiar da audição dos tons mascarados. Os dois tons puros nas frequências adjacentes à do tom mascarante não são percebidos, pois suas amplitudes estão abaixo da curva de deslocamento do limiar da audição. No entanto, o tom mascarante não consegue mascarar o tom de mais baixa frequência da Figura 2.4. Para que os dois tons puros, nas frequências adjacentes à do tom mascarante, possam ser percebidos, será necessário elevar suas amplitudes acima da curva de deslocamento do limiar da audição (BISTAFA, 2011).

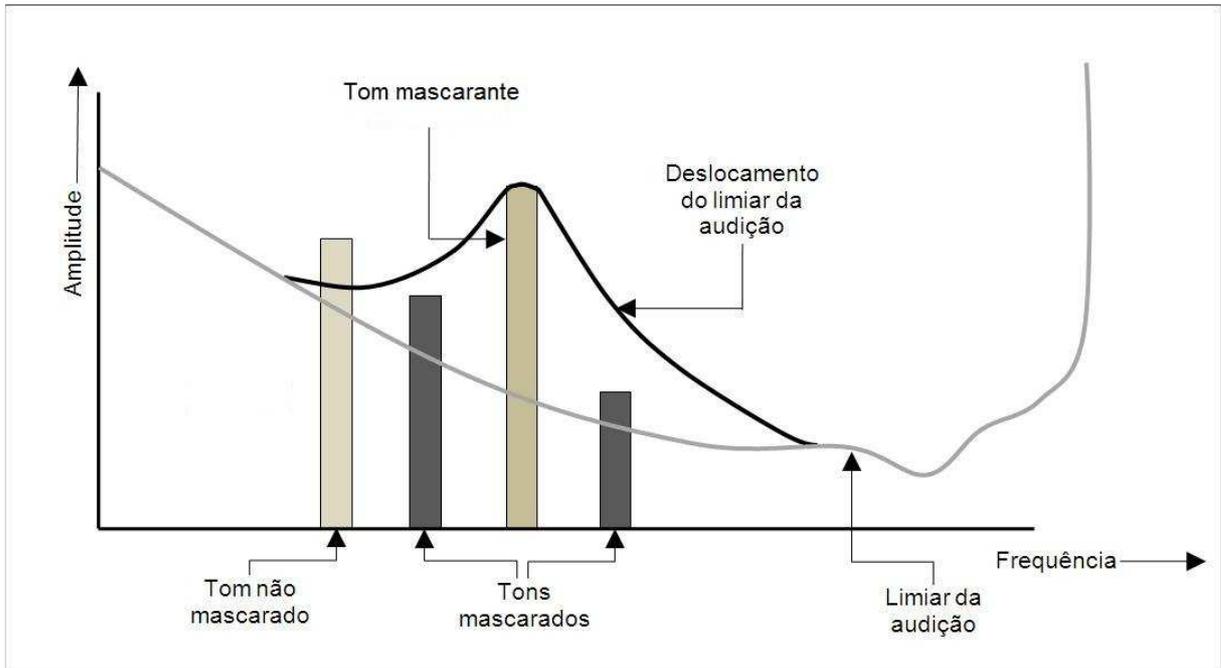


Figura 2.4 Deslocamento do limiar da audição por tom puro

Fonte: BISTAFA, 2011

2.5 INCÔMODO DO RUÍDO

Segundo BISTAFA (2011), o incômodo do ruído é um atributo extremamente subjetivo. Pesquisadores têm encontrado dificuldade em avaliar quantitativamente o incômodo do ruído, pois este parece depender da noção de audibilidade do ouvinte, do grau de aceitação do ruído, do seu potencial intrusivo, assim como da perturbação que ele causa. Embora o incômodo do ruído ainda careça de definição mais precisa, os parâmetros físicos que mais contribuem com a sensação subjetiva de incômodo são:

- conteúdo espectral e níveis sonoros associados;
- a complexidade do espectro e a existência de tons puros;
- duração;
- amplitude e frequência das flutuações de nível;
- tempo de subida de sons impulsivos.

3 GRANDEZAS, PROCEDIMENTOS, NORMAS E LEGISLAÇÕES PARA MEDIÇÃO DO RUÍDO

Os ruídos são de natureza bastante variável, o que torna a sua avaliação bastante complexa. A reação das pessoas ao ruído depende de fatores como audibilidade, tonalidade, características espectrais, hora de ocorrência, duração etc. (BISTAFA, 2011).

Os métodos que vêm sendo desenvolvidos para avaliação de ruídos levam em consideração os fatores físicos e comportamentais mais significativos para situações específicas. Tais métodos estão associados a critérios de aceitabilidade que refletem o grau de incômodo ou interferência nas atividades humanas. Os métodos, os critérios e as escalas de aceitabilidade tornam a avaliação do ruído objetiva, permitindo sua classificação, comparação de medidas mitigadoras, formando também a base de normas e legislações aplicáveis (BISTAFA, 2011).

3.1 GRANDEZAS PARA AVALIAR RUÍDOS ESTACIONÁRIOS

Níveis sonoros ponderados (totais ou em bandas de frequência) são as medidas mais básicas e elementares para se avaliar o grau de perturbação causado por ruídos estacionários.

Os filtros ponderadores A, B, C são os mais usuais. O filtro A-ponderado aproxima a resposta auditiva para sons do cotidiano, são os sons moderados. O filtro B-ponderado aproxima a resposta para sons medianos, são raramente utilizados. O filtro C-ponderado aproxima a resposta do sistema auditivo para níveis sonoros elevados (CALLAI, 2011).

A quase totalidade das normas e legislações requerem a medição do nível sonoro total A-ponderado independentemente do nível sonoro. Embora a audibilidade de altos níveis sonoros esteja mais correlacionada a medições C-ponderadas, considera-se que o incômodo e o risco da perda de audição são mais bem avaliados com medições A-ponderadas (BISTAFA, 2011).

3.2 GRANDEZAS PARA AVALIAR RUÍDOS NÃO ESTACIONÁRIOS

Define-se *ruído ambiente* como uma superposição de ruídos, normalmente de naturezas diferentes e origens distintas, próximas ou remotas. Devido a causas diversas, os registros apresentam variações significativas no nível de ruído acima de um nível básico. Esse

nível básico, denominado de *nível de ruído de fundo*, é o nível sonoro mínimo, o qual parece não se reduzir durante o intervalo de tempo de medição. O nível de ruído de fundo pode ser devido ao tráfego de veículos em vias mais distantes, ruído do movimento da vegetação causado pelo vento, ou outras fontes que, quando combinadas, geram um ruído estacionário básico. Mas nem sempre é possível caracterizar ruídos não estacionários por meio de registros de níveis sonoros em função do tempo, pois estes registros contêm muitos detalhes. (BISTAFA, 2011).

3.3 PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DO RUÍDO DE TRÁFEGO

Há situações em que a fonte de ruído varia em número e em potência sonora ao longo do tempo, como no caso do ruído ambiente em que se verificam bastantes flutuações nos níveis de pressão sonora num intervalo de tempo (T).

O nível sonoro contínuo equivalente (L_{EQ}) determinado pela Equação 1 representa o nível de um som contínuo (estacionário) que, em um intervalo de tempo específico, tem a mesma energia sonora do som em estudo, cujo nível varia com o tempo (ISO 1996/1, 1982).

$$L_{EQ} = 10 \text{LOG} \left\{ \left(\frac{1}{T} \right) \times \left[\sum t_i \times 10^{(L_i/10)} \right] \right\} \quad (3.1)$$

Onde:

T: Tempo total em horas;

Li: Nível de Intensidade Sonora (NIS) ou Nível de Pressão Sonora (NPS);

t_i: Tempo parcial em horas.

Segundo CAMPO (2010), em alguns estudos do ruído ambiental, pode ser desejável descrever uma situação sonora, tanto pelo uso do L_{EQ} como pela distribuição estatística dos níveis de pressão sonora na escala A-ponderado. Com este propósito, níveis estatísticos tais como L_{95} , L_{50} e L_5 podem ser determinados (ISO 1996/2, 1987). O nível estatístico representa o valor do nível de pressão sonora ponderado em A que foi excedido em uma porcentagem (N%) do intervalo de tempo considerado. Por exemplo, o L_{95} , 1h é o nível que foi excedido em 95% de um período de uma hora (ISO 1996/1, 1982). Além dos níveis estatísticos citados anteriormente, são utilizados, também, o L_{10} e o L_{90} , sendo que o L_{10} é mais usado para estudos de ruído ambiental (ruído de trânsito).

3.4 NORMAS E LEGISLAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DO RUÍDO

As leis que regulamentam o ruído rodoviário em áreas urbanas utilizam métodos de medição variados e, dependendo do país, estabelecem diferentes níveis de ruído para diferentes situações (CALLAI, 2011).

O Parlamento da União Europeia promulgou em 2002 a diretiva 49 (EUROPEAN PARLIAMENT, 2002), que serve como orientação e tem índices mínimos a serem obedecidos e alcançados. Contudo, nessa diretiva é dito que os países signatários têm a liberdade de estabelecer limites próprios, desde que estes limites sejam inferiores e as legislações não contradigam aquelas impostas pela União Européia (CALLAI, 2011).

De acordo com a DEFRA (2009), o governo Britânico estabelece o Ato de Compensação do Solo/1973, juntamente com as recomendações quanto ao isolamento acústico do ano de 1975, em que o governo é obrigado a compensar financeiramente os cidadãos e ainda fornecer o isolamento acústico correto sem limitar a ventilação das residências. Esta compensação é feita de acordo com o nível de exposição ao ruído (CALLAI, 2011).

Quanto a limites de níveis de ruído para rodovias, o departamento de meio ambiente, alimentos e rural da Inglaterra declara que não existem limites formais em vigor no país (DEFRA, 2009), então sugere-se obedecer os limites impostos pela União Europeia (CALLAI, 2011).

A EPA (U.S. Environmental Protection Agency) adotou o L_{DN} (nível dia e noite) como grandeza para avaliação da exposição de comunidades ao ruído. A fim de obter o nível-critério para o L_{DN} exteriormente a habitações, a EPA recomenda que o L_{EQ} de 45 dB(A) não deve ser excedido internamente. Considerando-se uma diferença média de 15 dB entre o nível de ruído externo e interno, estando a habitação com as janelas abertas, obtém-se o nível-critério externo L_{EQ} de 60 dB(A). A EPA aplica então correções, considerando outros fatores de perturbação, tais como a penalidade de 10 dB para ruídos noturnos e uma margem de segurança de 5 dB, obtendo o nível-critério L_{DN} de 55 dB(A) em áreas residências (BISTAFA, 2011).

Sabe-se, no entanto, que a maioria das áreas urbanas e suburbanas nos Estados Unidos encontram-se sujeitas a L_{DN} superiores a 55 dB(A).

No Brasil, a Resolução n. 001 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 9 de março de 1990, estabelece padrões para emissão de ruídos no território brasileiro.

Trata-se de uma resolução que visa limitar a emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, no interesse da saúde e do sossego público. Não consta especificamente dessa resolução menção ao ruído de tráfego (veicular, aéreo ou ferroviário), indicando que a emissão de ruídos produzidos por veículos automotores obedecerá à norma expedida pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Essa mesma Resolução indica que todas as normas regulamentadoras da poluição sonora, emitidas a partir da data da Resolução, deverão ser compatibilizadas com a resolução n. 001 do CONAMA (BISTAFA, 2011).

No entanto, a ausência de métodos e critérios específicos para avaliação de ruídos em comunidade, no Brasil, não tem impedido que se avalie o impacto de ruído com base na legislação de outros países, em especial dos Estados Unidos (BISTAFA 2011).

A norma em vigor no Brasil para avaliação de ruído em comunidade é a NBR 10151 (2000) – *Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimentos*, cujo o objetivo passou a ser o estabelecimento das condições para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independentemente da existência de reclamações e que estabelece valores do *nível-critério de avaliação para ambientes externos* (NCA), conforme apresentado na Quadro 3.1.

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

Quadro 3.1 Nível-critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A).

Fonte: NBR 10151, 2000

4 PROPAGAÇÃO SONORA AO AR LIVRE E RUÍDO AMBIENTAL

A propagação sonora ao ar livre é normalmente baseada em três componentes: a fonte sonora, que emite uma certa potência sonora, gerando um nível sonoro que pode ser medido nas imediações da fonte; a trajetória de transmissão, aonde o nível sonoro é atenuado à medida que o som se propaga; e o receptor. (BISTAFA, 2011).

A Figura 4.1 ilustra os mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre. O nível sonoro se reduz com a distância, à medida que o som diverge da fonte, a qual poderá ser direcional. A absorção sonora do ar atmosférico atenua o som ao longo de sua trajetória. Reflexões no solo interferem com o som direto, causando atenuação, ou menos frequentemente, amplificação. Áreas densamente arborizadas, barreiras naturais e artificiais conferem atenuação adicional ao som. O espalhamento do som na copa de árvores pode reduzir a eficácia das barreiras. Gradientes verticais de vento e temperatura refratam (“curvam”) as trajetórias sonoras para cima e para baixo, gerando regiões de “sombra” acústica, alterando a interferência com o solo e modificando a efetividade das barreiras (BISTAFA, 2011).

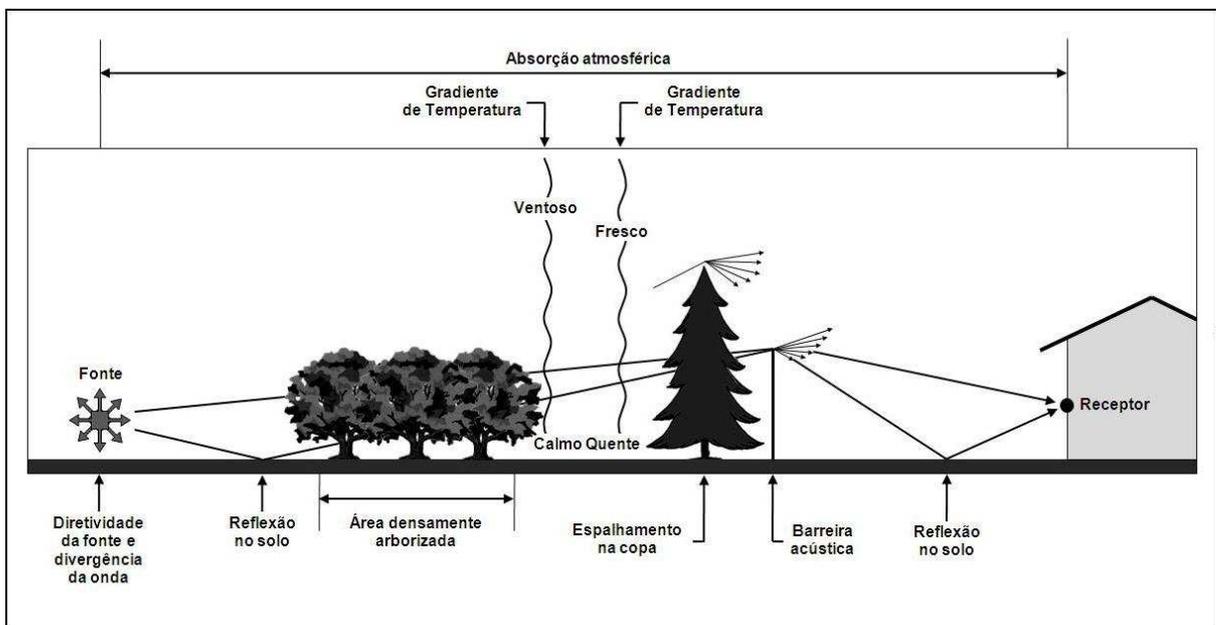


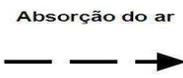
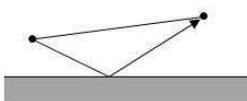
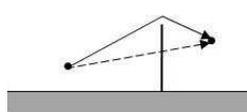
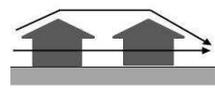
Figura 4.1 Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre

Fonte: Adaptado de ANDERSON; KURZE, 1992

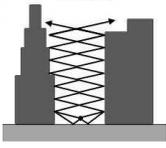
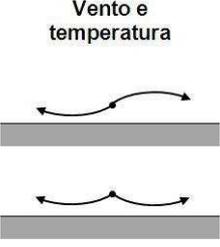
4.1 PRINCIPAIS MECANISMOS DE ATENUAÇÃO SONORA AO AR LIVRE

Muitos são os mecanismos de atenuação, porém o Quadro 4.1 resume os principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre, indicando sob que condições cada um deles é mais significativo. O quadro não inclui os efeitos da neblina, precipitação e turbulência atmosférica, por serem pouco significativos. Os principais mecanismos de atenuação sonora são discutidos nas próximas seções deste capítulo.

Quadro 4.1 – Principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre

Mecanismo	Descrição sucinta	Atenuação aproximada de 5 dB		
		Condições	À distância de	
Absorção do ar 	Absorção sonora do ar atmosférico.	A 10 °C e 70% de umidade relativa.	800 m	A
			1.500 m em 50 Hz 250 m em 4 kHz	Oitava
Solo macio 	Interferência (quase sempre destrutiva) entre o som direto e o refletido sobre o solo acusticamente “macio”.	Para alturas da fonte e do receptor da ordem de 1.2 m.	85 m	A
			10 m em 250 e 500 Hz 50 m em 125 e 1.000 Hz Não há em 63 e 2.000 Hz	Oitava
Barreira 	Atenuação provocada por uma barreira acústica entre a fonte e o receptor, combinada com uma atenuação adicional de solo acusticamente “macio”.	Quando o receptor encontra-se na sombra acústica gerada pela barreira, em temperaturas normais e sem vento.	Todas	-----
Edificações 	Atenuação provocada por edificações entre a fonte e o receptor.	Com uma fileira de edificações com aproximadamente 25% de abertura,	Todas	-----
Vegetação densa 	Atenuação provocada por vegetação densa entre a fonte e o receptor.	Áreas com muitas árvores e vegetação densa no solo.	30 m	A
			100 m em 500 Hz 50 m em 4.000 Hz	Oitava

(continuação)

 <p>Reverberação urbana</p>	Amplificação sonora devida a múltiplas reflexões em desfiladeiros urbanos.	Com edificações de no mínimo 10m de altura em ambos os lados da rua.	-----	-----
 <p>Vento e temperatura</p>	Alteração da atenuação do solo e/ou da barreira, ou criação de sombras acústicas causadas por gradientes verticais de temperatura e de ventos.	Em dias ensolarados, para alturas da fonte e do receptor da ordem de 1,2 m.	150 m	A
			150 m em 500 Hz 50 m em 4.000 Hz	Oitava

Fonte: BISTAFA, 2011

5 RUÍDO DE TRÁFEGO

O tráfego de veículos rodoviários e ferroviários e o modal aéreo são considerados as principais fontes geradoras de ruído (WHO, 1999). Publicação da FHWA (1995) também sustenta que o ruído, tanto em zonas urbanas quanto rurais, está intimamente associado aos transportes.

Estudos e estimativas do ruído de tráfego geralmente são incluídos nos relatórios de impacto ambiental, quando do projeto de novas vias existentes. Assim, avalia-se o impacto causado pelo ruído, nas comunidades, no entorno da via (BISTAFA, 2011).

5.1 FONTE GERADORA DO RUÍDO DE TRÁFEGO VEICULAR

No caso do transporte rodoviário, pode-se dizer que o ruído é causado pela composição, volume e velocidade do tráfego (veículos de passeio, motocicletas, veículos pesados etc.), além do comportamento dos motoristas. É oportuno lembrar que o ruído dos veículos é originário dos sistemas de motor, escapamento e transmissão, do contato pneu/pavimento e do efeito aerodinâmico.

Quando considerada a velocidade de 100 km.h⁻¹, a participação do ruído pneu/pavimento chega a 78% contra 12% do motor, escapamento e transmissão e 10% do ruído aerodinâmico (SPECHELT et al., 2009). Todavia, em trechos urbanos e de baixas velocidades, o sistema motor/escapamento torna-se relevante. Sandberg (2001) afirma que, para veículos de carga, o ruído do motor (incluindo escapamento e transmissão) é a principal fonte para acelerações de 0 – 50 km.h⁻¹, porém o atrito pneu/pavimento é a principal fonte acima de 40-50 km.h⁻¹ ou para o caso de velocidades constantes.

O ruído pneu/pavimento depende de muitos fatores: modelo e idade do veículo; peso por eixo; pressão de inflação dos pneus; tipo e tamanho dos pneus (para neve, esportivo, para lama etc.); temperatura; textura e material de composição dos pneus; superfície da rodovia (textura, qualidade, umidade e temperatura).

Seus mecanismos de geração são bastante complexos e não são completamente entendidos, principalmente por acontecerem de maneira simultânea.

De maneira geral, podem ser divididos em dois grupos: mecânicos, relacionados à vibração; aerodinâmicos, relacionados ao contato pneu/superfície. O ruído causado pela expulsão de ar (air pumping) é considerado o mais relevante dentro do grupo aerodinâmico.

A velocidade de circulação condiciona a contribuição de cada uma das componentes para o ruído originado pelo veículo. As baixas velocidades predomina o efeito do ruído do motor, enquanto que para altas velocidades, como no caso das autoestradas, o efeito do contacto pneu/pavimento é a principal causa do ruído.

5.1.1 Veículos automotores

O ruído de tráfego tem como origem o acúmulo dos níveis sonoros produzidos pelos veículos automotores em funcionamento (ruído da mecânica do veículo) e/ou em movimento (ruído aerodinâmico, ruído da interação pneumático/revestimento e o efeito da velocidade e da aceleração dos veículos). Nestas condições, os ruídos emitidos têm como procedência um grande número de fontes geradoras necessitando diferenciá-las (LÁO, 2004). As mais importantes são descritas no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Fontes geradoras do ruído de tráfego produzidos pelos veículos automotores

Fontes		Descrição sucinta
Motocicletas		A velocidade, a potência do motor, a regulagem da válvula de escape e a exaustão são parâmetros importantes que contribuem para a geração do ruído
Veículos leves e pesados	Estrutura e tamanho do motor	A intensidade do ruído resultante do motor é função de sua estrutura e de sua potência mecânica (os motores a diesel são mais ruidosos que os a gasolina)
	Entrada de ar e escape	A entrada de ar e a exaustão de gases são fontes predominantes de ruído, quando não é usado o silenciador. Este tipo de ruído aumenta com o aumento da velocidade do motor
	Influência da idade do veículo	O aumento do ruído emitido pelos veículos ocorre com acréscimo da idade devido a sua deterioração
	Efeito da velocidade e da marcha	O ruído produzido pela movimentação do veículo é constituído por dois efeitos: o da velocidade e o da marcha. Se o ruído aumentar e a marcha for mantida, o ruído aumentara cerca de 10 dB(A)
	Ruído aerodinâmico	Considerado desprezível em relação aos demais ruídos (sua maior contribuição é quando o veículo está em alta velocidade)
	Ruído da interação pneu-revestimento	A percepção do ruído oriundo desta interação está fortemente influenciada pelas características do veículo, pela banda de rodagem dos pneumáticos e pelo tipo de revestimento que constitui o pavimento.

Fonte: Adaptado de LÁO, 2004

5.1.2 Mecanismo de geração e transmissão de ruído pneu/pavimento

Os mecanismos de geração e transmissão de ruído pneu/pavimento são bastante complexos. A geração está ligada às vibrações mecânicas do pneumático (impacto, choque e

adesão) e a mecanismos aerodinâmicos. A magnitude de cada fator depende da via (textura superficial, propriedades dos agregados utilizados e temperatura), do pneu (tipo e pressão de inflação) e do veículo (tipo, velocidade e condições de condução). A transmissão pode ser direta (da fonte ao receptor) ou refletida em alguma barreira ou no próprio pavimento (SPECHT et al., 2009).

Segundo um estudo europeu com o objetivo de divulgar o conhecimento sobre o ruído pneu/pavimento chamado de SILVIA (*Silenda Via – Sustainable road surfaces for traffic noise control*), os mecanismos de geração podem ser classificados em três grandes classes (FEHRL, 2006 *apud* CALLAI, 2011).

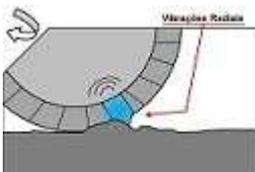
- impactos e choques;
- processos aerodinâmicos;
- efeitos de adesão e micromovimentações da borracha do pneu em contato com a superfície do pavimento.

Segundo Ejsmont (1997), os mecanismos de geração do ruído advindo com contato pneu/pavimento são divididos em dois grupos, de acordo com o meio onde o ruído ocorre e de acordo com seus efeitos. O primeiro mecanismo é relacionado com as vibrações mecânicas que ocorrem no pneu, o segundo mecanismo é relacionado aos fenômenos aerodinâmicos. O primeiro mecanismo pode ainda ser subdividido em mecanismos de impacto e de choques e mecanismos de adesão.

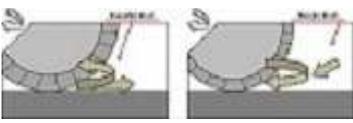
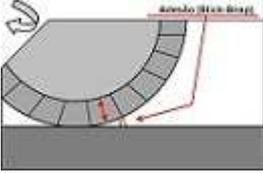
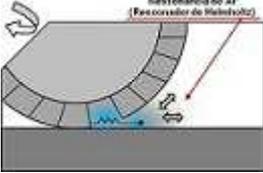
A contribuição de cada um desses mecanismos varia em função do tipo de pneu verificado, da superfície do pavimento e da velocidade do veículo (SANDBERG, 2001).

No quadro 5.2. estão sumarizados os principais mecanismos de geração do ruído que ocorrem na área de contato pneu/pavimento.

Quadro 5.2 – Principais mecanismos de geração do ruído que ocorrem na área de contato pneu/pavimento

Mecanismo		Descrição sucinta
Vibração da banda de rodagem		Os blocos da banda de rodagem giram com a rolagem dos pneus, ocorrendo um impacto oblíquo dos blocos da banda com a superfície do pavimento na área de contato de entrada entre o pneu-pavimento

(continuação)

Bombeamento do ar		Dentro da área de contato do pneu-pavimento, os canais formados pelos sulcos do pneu são comprimidos e distorcidos. O ar que entra nestes canais é bombeado e comprimido para dentro e para fora destas passagens, gerando o ruído
Movimentos de escorregamento e travamento (Slip – Stick)		Dentro da área de contato de entrada, existe uma transferência de forças de tração no pneu, tanto na aceleração quanto na frenagem. Além disso, ocorrem distorções da carcaça do pneu na interface da área de contato e entre os blocos da banda de rodagem com o pavimento, que experimentam forças horizontais. Se estas forças excedem o limite, ocorre um deslizamento, seguido de um travamento rápido, gerando o ruído e a vibração
Adesão (Stick – Snap)		O contato entre os blocos da banda de rodagem com a superfície, durante a rolagem, causa uma adesão entre estes blocos e o pavimento. Logo após ocorre a liberação do bloco, criando a energia sonora e a vibração na carcaça do pneu.
Ressonador de Helmholtz		Reflexões das ondas sonoras entre o pneu e a superfície do pavimento. O volume da cavidade atua como mola, e o ar presente entre a banda de rodagem e a superfície do pavimento atuam como massa.
Vibração da carcaça do pneu		A energia criada pela vibração do pneu na interface da área de contato o pavimento é realçada pela resposta da carcaça do pneu. Além disso, a área lateral da carcaça do pneu, próxima da área de contato, também vibra e irradia o ruído
Ressonância acústica interna do pneu		O ar dentro do pneu é excitado pela excitação do pneu durante a rolagem. Em certas frequências, associadas à frequência natural de ressonância do pneu, a resposta do ar dentro do pneu é suficiente para fazer ressonar este ar interno e torná-lo audível externamente

Fonte: Adaptado de EJS MONT, 1997 e OLEK, 2004

5.1.3 Características do pavimento que interferem na geração de ruído

Segundo FEHRL (2006), a geração de ruído no contato pneu/pavimento depende também das características de textura do pavimento, volume de vazios interconectados e da impedância mecânica. A redução de ruído será tanto maior quanto maior o volume de vazios interconectados e desobstruídos e menor a impedância mecânica do revestimento. A textura do pavimento tem um papel importante, mas é mais importante o padrão desta textura (textura positiva ou negativa) somada às características anteriores (CALLAI, 2011).

5.1.3.1 Impedância mecânica

A impedância mecânica é a relação entre o módulo de elasticidade do pavimento e o módulo de elasticidade do pneu, que de acordo com o relatório da FEHRL (2006), “geralmente a impedância mecânica do revestimento da rodovia é em muitas ordens de grandeza maior que a borracha do pneu. Reduzir a impedância mecânica do revestimento ocasionará uma redução nas forças transmitidas pelo impacto do pneu, as quais irão reduzir os níveis de vibrações e, portanto, reduzir a geração do ruído”. A impedância mecânica ou rigidez é associada ao ruído devido aos mecanismos de impacto (CALLAI, 2011).

5.1.3.2 Textura do pavimento

A textura do pavimento deve auxiliar na frenagem, resistência à derrapagem, drenagem superficial, conforto ao dirigir, dirigibilidade e consumo de combustível. A textura do pavimento pode auxiliar em todos os itens citados acima, bem como na redução do ruído. Porém, nem sempre se pode extrair todas as vantagens conjuntamente; em algumas situações deve-se priorizar ou privilegiar um aspecto sobre outro. A escolha de um dentre todos os aspectos citados terá sempre de ser favorável à segurança, visto que a preservação do bem-estar e da vida dos usuários da via são mais importantes.

Muitas vezes a escolha de um revestimento de pavimento é muito seguro em relação à resistência à derrapagem ou à aderência, principalmente em pistas molhadas, porém, pode levar a uma geração de ruído mais intensa. No entanto, pode-se, em determinadas situações, optar por revestimentos que combinem estes dois aspectos: segurança na condução do veículo e ruído menos intenso. A superfície do pavimento é sempre responsável por parcela importante da segurança e do ruído gerado. A superfície do pavimento abrange quatro grandezas (FEHRL, 2006; WAMBOLD, ANTLE; HENRY, 1995; SANDBERG, 1997), como apresentado na Figura 5.1.

As diferentes classificações de texturas podem ser descritas na forma de uma senóide, apresentando variação na altura e no espaçamento entre vales ou picos. O relatório da FEHRL (2006) afirma que “qualquer forma de um perfil pode ser descrito como a soma de um número de variações senoidais, que se alteram tanto em amplitude, como comprimento da onda”.

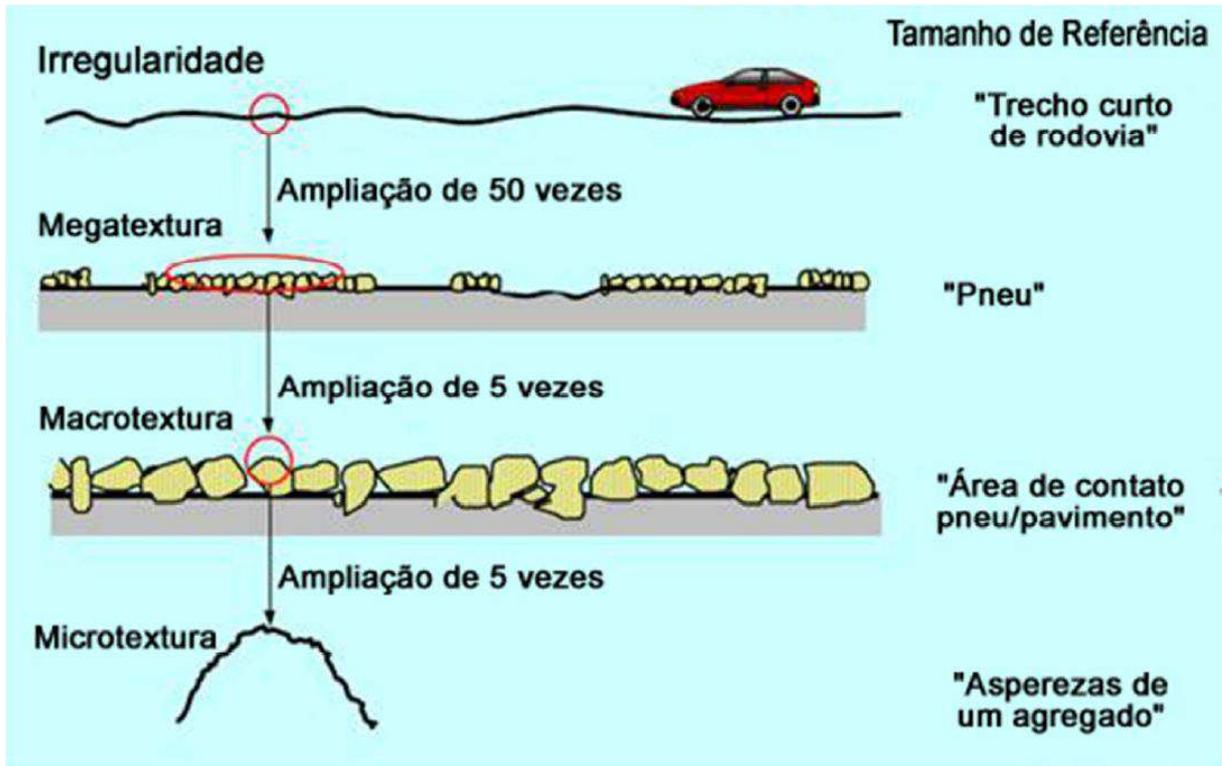


Figura 5.1 Diferentes tipos de textura existentes no pavimento
 Fonte: SANDBERG, 1997

Na Tabela 5.1 a ASTM – E 867-92B classifica a textura do pavimento de acordo com a variação no comprimento de onda (λ), na horizontal e a amplitude, na vertical.

Domínio		Horizontal (λ)	Vertical (Amplitude)
Microtextura		0 – 0,5 mm	0 – 0,2 mm
Macrotextura		0,5 – 50 mm	0,2 – 10 mm
Megatextura		5 – 50 cm	1 – 50 mm
Irregularidade (Defeitos Superficiais)	Curta	0,5 – 5 cm	1 – 20 mm
	Média	5 – 15 cm	0,5 – 5 cm
	Longa	15 – 50 cm	1 – 20 cm

Tabela 5.1 Tabela de classificação da textura superficial do revestimento
 Fonte: Adaptada de ASTM – E 867 – 92B

Um estudo realizado por Sandberg (1997) apresenta os comprimentos de onda que tem influência no ruído, resistência ao rolamento e resistência a derrapagem, como é apresentado esquematicamente na Figura 5.2.

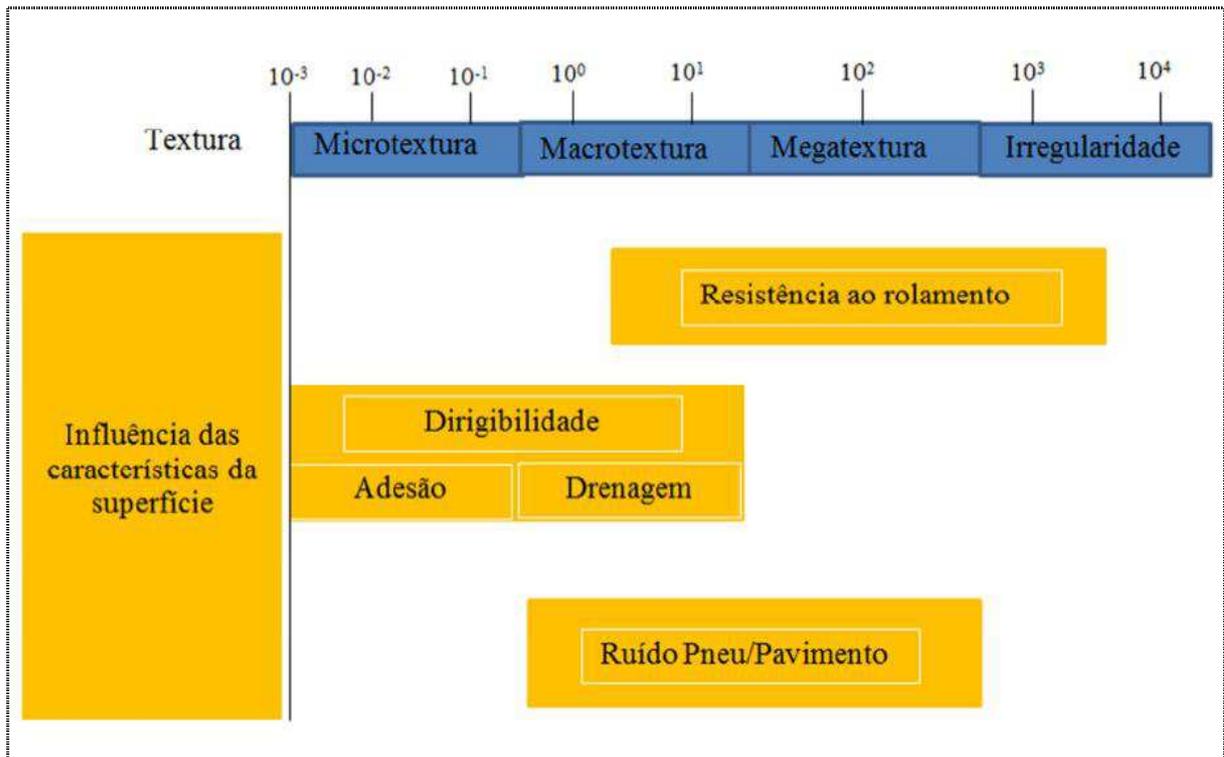


Figura 5.2 Influência da textura da superfície do pavimento

Fonte: FEHRL, 2006

A partir da Figura 5.2, pode-se verificar que a principal responsável pelo ruído é a macrotextura, juntamente com a megatextura. Verifica-se também que uma parcela da macrotextura, e toda a megatextura até a irregularidade, causam ou interferem na resistência ao rolamento. Tal resistência pode acabar por ocasionar maior consumo de combustível e ainda desconforto aos ocupantes do veículo, e um desgaste maior no pneu. Ainda com base na Figura 5.2, percebe-se que a resistência à derrapagem, um fator importante da segurança, está presente na macrotextura e na microtextura.

FERHL (2006) afirma que os comprimentos de onda importantes para o controle do ruído são a megatextura (i.e. $0,5 \text{ mm} \leq \lambda < 500 \text{ mm}$). Importante ressaltar que a necessidade em estudar-se a microtextura, pois mesmo sem uma contribuição expressiva ao ruído, colabora parcialmente com a resistência à derrapagem, especialmente em pistas molhadas.

5.1.3.3 Porosidade e atrito

Os vazios contidos internamente a um revestimento possibilitam que a propagação da onda sonora seja atenuada, pois o som se “perde” dentro do pavimento. Estes vazios têm de ser interconectados, formando canais irregulares para a entrada do som a partir da superfície. Como exemplos de revestimentos asfálticos de alta porosidade, podem ser citados: a Camada

Porosa de Atrito (CPA), que é porosa e drenante, permitindo entrada de água e ar; os BBTM – *Béton Bituminiex Très Mince* do tipo 2 porosos, entre outros. Os revestimentos chamados de densos, como o concreto asfáltico ou concreto betuminoso usinado a quente (CA ou CBUQ, que são denominações diferentes para o mesmo material) apresentam volume de vazios (com ar) entre 4-6%, não permitindo a entrada de água ou de ar. Estes revestimentos asfálticos são na prática impermeáveis. Misturas ditas abertas possuem um volume mais alto de vazios (com ar): o CPA tem volume de vazios acima de 18% (CALLAI, 2011).

A porosidade reduz eficazmente o efeito do bombeamento do ar, diminuindo a emissão do ruído gerado pelo contato pneu/pavimento. Os efeitos de realce do ruído, como o efeito corneta, também são reduzidos pela passagem das ondas sonoras pelos poros do material da camada de superfície (ASTRANA, 2006).

A absorção acústica ocorre quando as ondas sonoras passam pelos poros da camada e dissipam-se por atrito viscoso, transformando a energia sonora em calor. Além deste efeito benéfico, a porosidade ajuda a diminuir o “spray” gerado pela rolagem dos pneus de um veículo em condições molhadas e aumenta o atrito. No que tange aos mecanismos de geração mecânica do ruído, ainda não está evidenciado o modo como a estrutura porosa afeta estes mecanismos (ASTRANA, 2006).

Atrito é a propriedade que rege a segurança a rolagem dos pneus na interação pneu/pavimento e é função das condições ou características da superfície e do número de pneus em contato com a superfície. Devido ao atrito, o pneu pode transmitir forças longitudinais e laterais entre a superfície do pavimento e o veículo. Uma boa condição de atrito constitui a chave para a segurança à derrapagem e conseqüentemente à dirigibilidade (MOMM, 2000).

Antes dos estudos para a concepção de vias silenciosas, acreditava-se que para a obtenção de um pavimento com boa condição de atrito, necessariamente deveria existir uma grande geração de ruído de rolagem. Com o avanço da tecnologia das misturas de concreto asfáltico se aceita atualmente, que alcançar um alto coeficiente de atrito e ainda um baixo nível de emissão de ruído de rolagem, não são necessariamente requisitos conflitantes (ASTRANA, 2006).

Como colocado anteriormente, as características de superfície que determinam o atrito são a megatextura, a microtextura e a macrotextura, e também a interação da borracha do pneu com o pavimento (ASTRANA, 2006).

A porosidade permite não só a drenagem da água do pavimento como também do ar que preenche as ranhuras do pneu. Deste modo, uma superfície porosa proporciona uma

melhor absorção sonora, que se traduz na redução da reflexão acústica do pavimento e na atenuação da propagação das ondas na superfície deste. A porosidade reduz o efeito de pavilhão que ocorre entre a superfície do pavimento e a parte do piso do pneu que não está em contacto com o mesmo. Para que estes efeitos sejam eficazes, a porosidade deve ser superior a 20% (SILVIA, 2006).

A água na superfície dos pavimentos ocupa o espaço resultante da irregularidade da superfície das camadas com misturas densas e abertas, principalmente o correspondente à macrotextura, e os poros dos pavimentos drenantes, tendo como consequência o aumento das vibrações e do bombeamento de ar. A água pode conduzir a um aumento de ruído até 15 dB(A). Nas camadas densas e porosas usadas em Portugal, verificou-se um aumento de 3 dB(A) (FREITAS et al., 2006), o que corresponde a um aumento do volume de tráfego de 50% (FREITAS, 2008).

5.1.3.4 Textura positiva e textura negativa

A macrotextura do pavimento, em especial, apresenta a capacidade de reduzir ou ampliar o ruído, como dito anteriormente. Sua capacidade de amplificação e redução se dá de acordo com a distribuição espacial dos agregados na superfície, decorrente da distribuição granulométrica da mistura. A forma que a textura (disposição dos agregados, forma dos agregados) encontra-se distribuída na superfície influencia a geração e a propagação do ruído (CALLAI, 2011).

A distribuição da textura em seu plano vertical determina se ela é “positiva” ou “negativa”, e se positiva, apresenta partículas e acículas (cumes) e protuberâncias acima de um plano que pode ser definido do contato da superfície, como mostrado na Figura 5.3. Tal forma de distribuição é comumente encontrada em revestimentos com tratamentos superficiais asfálticos de penetração invertida, microrevestimento asfáltico a frio, entre outros. Nesta configuração, o material granular é introduzido na superfície. Este tipo de textura também é encontrada nos revestimentos de concreto escovado transversalmente (FEHRL, 2006).

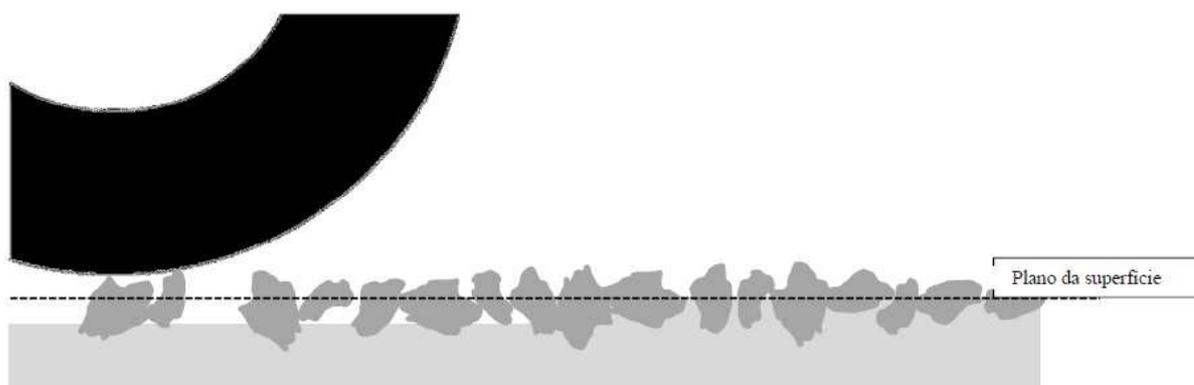


Figura 5.3 Textura positiva
 Fonte: CALLAI, 2011

A textura negativa, na Figura 5.4, é encontrada quando o revestimento é composto por agregados que tenham uma relação de vazios superficiais interconectados, e a superfície superior de acabamento seja plana (FEHRL, 2006).

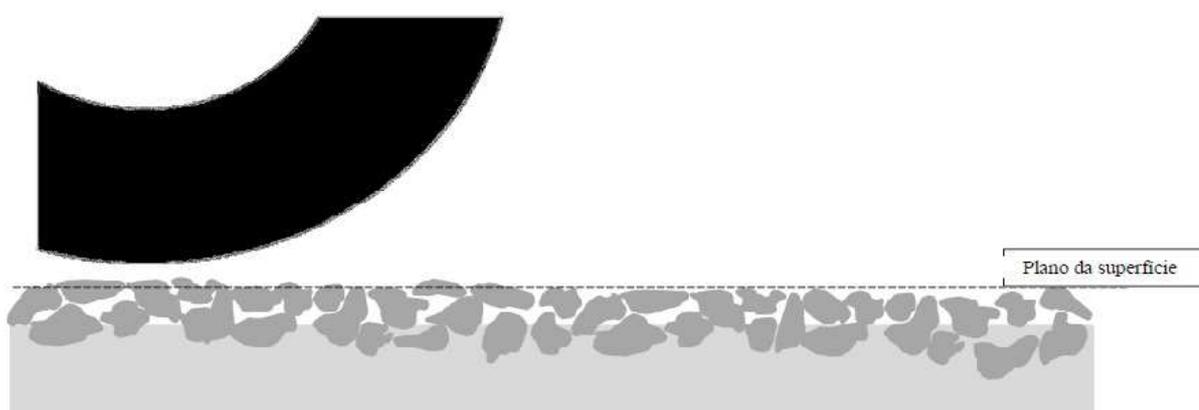


Figura 5.4 Textura negativa
 Fonte: CALLAI, 2011

Segundo FEHRL (2006), “dependendo do tamanho dos agregados, a textura positiva leva a níveis mais altos de vibrações no rolamento do pneu, enquanto texturas negativas contribuem para níveis de ruído menores”.

Para a determinação das características do revestimento quanto à microtextura, macrotextura, percentagem de vazios, percentagem de betume, distribuição geométrica e absorção acústica, são utilizados métodos específicos, porém neste trabalho optou-se por não fazer estes ensaios.

A Tabela 5.2 apresenta métodos e normas para a realização de ensaios para determinação das características dos pavimentos.

Características	Métodos de ensaios
Microtextura	Método do Pêndulo Britânico (ASM E-303/93)
Macrotextura	Método da Mancha de Areia (ISO E-965/96)
Percentagem de vazios	DNER ME 117/94 – Determinação da densidade aparente de mistura asfáltica
Percentagem de betume	DNER ME 053/94 – Determinação da percentagem de betume em misturas asfálticas
Distribuição granulométrica	DNER ME 083/94 – Análise granulométrica de agregados
Absorção acústica	Método do Tubo de Impedância (ISO 10534-2 1998)

Tabela 5.2 Tabela de métodos específicos para realização de ensaios para determinação das características dos revestimentos

5.1.4 Geometria simples da reflexão do ruído na superfície do pavimento

Para uma superfície de concreto asfáltico denso, a diferença de trajeto entre a onda incidente e refletida é pequena e nenhuma interferência destrutiva ocorre entre estes. Sob estas circunstâncias, as ondas sonoras que chegam dos dois trajetos adicionam a intensidade sonora em 6 dB(A) sobre a amplitude de campo livre (meio sem obstáculos significativos que possam interagir com o nível sonoro). As frequências e as amplitudes destes efeitos da interferência dependem fortemente das propriedades acústicas da camada de superfície e do ângulo de incidência das ondas sonoras nesta superfície. A Figura 5.5 mostra uma geometria simples de uma fonte e de um receptor acima de uma superfície plana.

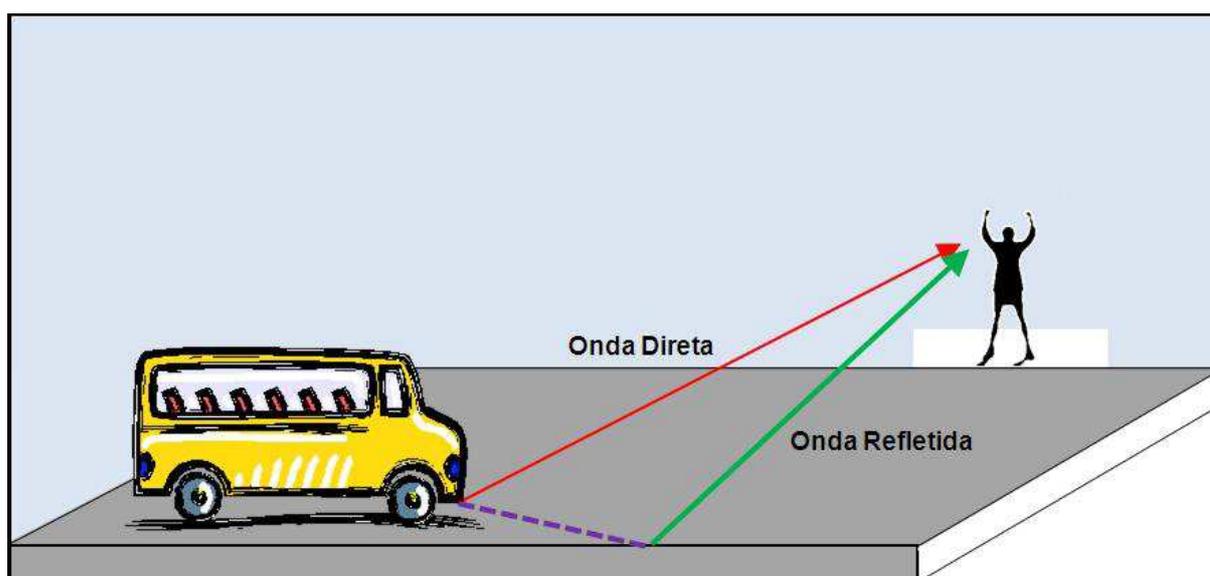


Figura 5.5 Reflexão do ruído na superfície de pavimento denso

Fonte: adaptado de OLEK, 2004

Quando a superfície de um pavimento é porosa, a diferença de comprimentos de trajeto entre as ondas sonoras diretas e refletidas é grande, como mostra a Figura 5.6, ocorrendo interferência destrutiva no caminho da onda. Esta interferência ocorre em uma faixa de frequência entre 250 - 1000 hertz. O ruído dessa forma chega ao observador, com uma intensidade mais fraca.

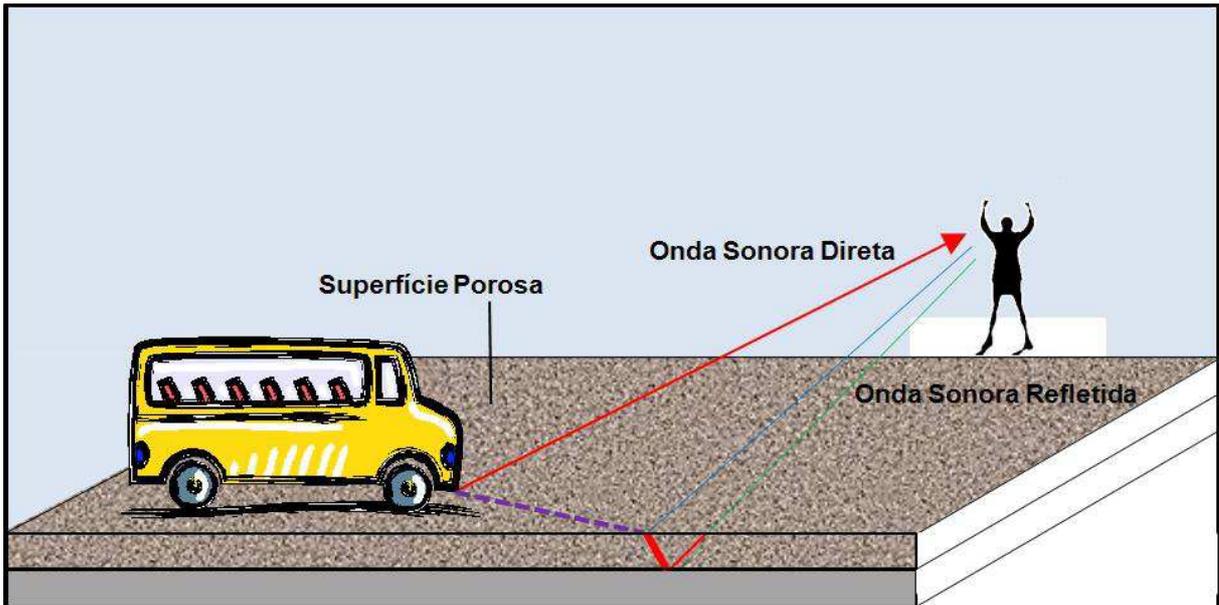


Figura 5.6 Reflexão do ruído na superfície de pavimento poroso

Fonte: adaptado de OLEK, 2004

6 A UTILIZAÇÃO DO REVESTIMENTO DO PAVIMENTO COMO FORMA DE REDUÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO

A partir da década de setenta, como resultado do desenvolvimento dos métodos de medição acústica, do conhecimento dos fenômenos que produzem o ruído da interação pneumático/revestimento e da comparação do desempenho acústico entre os diferentes tipos de revestimentos dos pavimentos, têm-se incrementado regularmente a adoção de medidas voltadas à redução deste tipo de ruído, como as relacionadas ao projeto da via a ser implantada, aos materiais constituintes dos revestimentos e às técnicas de execução (LÁO, 2004).

O desempenho acústico de diferentes tipos de revestimento do pavimento foi verificado pelos países membros da OCDE (*Organization for Economic Development*) através de medições dos níveis de ruído realizadas no interior e no exterior do veículo, ou seja a 7,5 m de seu eixo, cuja velocidade de deslocamento era constante e de 80 Km.h⁻¹. O Quadro 6.1 mostra de forma ilustrativa os resultados obtidos (LÁO, 2004).

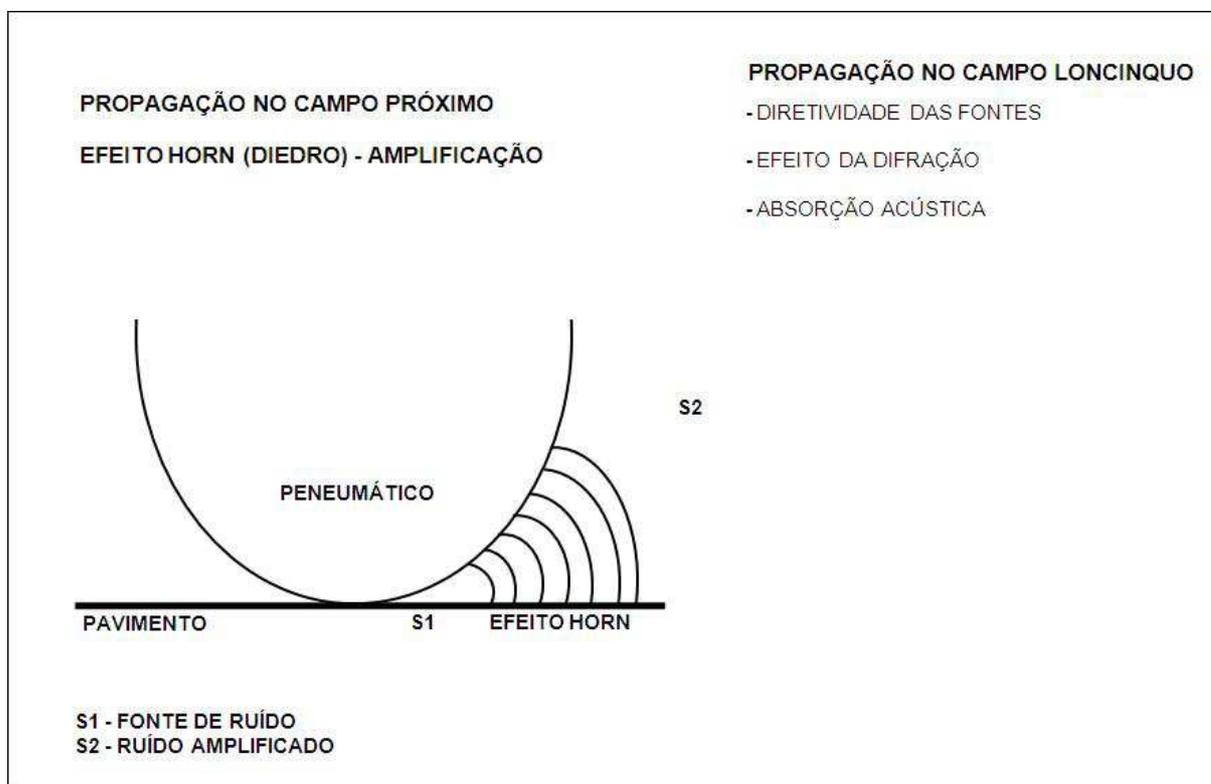
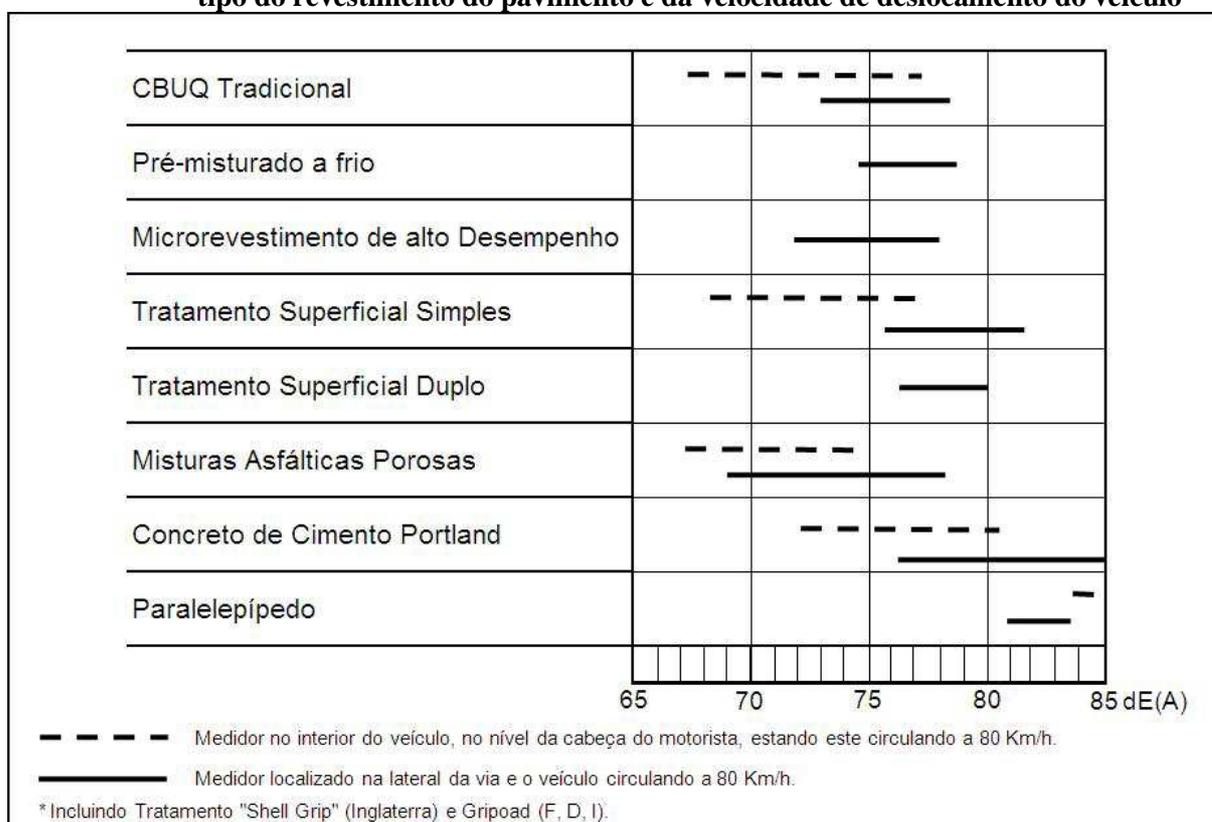


Figura 6.1 Mecanismos envolvidos na propagação do ruído da interação pneumático/revestimento

Fonte: OCDE, 1995 *apud* LÁO, 2004.

Com base nestes resultados, pode-se verificar que o revestimento poroso é o que apresenta melhor rendimento acústico e que o CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) tradicional, também contribui, minimizando o ruído de rodagem devido à redução do ruído induzido das deformações localizadas dos pneumáticos, embora apresente valores elevados oriundos do mecanismo aderência/ruptura entre a borracha dos pneumáticos e o ligante do revestimento. Quando este apresentou água em sua superfície o nível de ruído foi bem superior ao do poroso (drenante), em virtude do deslocamento da lâmina d'água de sua superfície (LÁO, 2004).

Quadro 6.1 Níveis de ruído oriundos da interação pneumático/revestimento em função do tipo do revestimento do pavimento e da velocidade de deslocamento do veículo



Fonte: OCDE, 1995 *apud* LÁO, 2004.

6.1 REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS COM DESEMPENHO ACÚSTICO

Os revestimentos asfálticos com desempenho acústico ou também chamados de revestimentos asfálticos fonoabsorventes são capazes de reduzir o ruído produzido pela circulação do tráfego, tanto na geração (S1) como na propagação (S2), sem comprometer a segurança e o conforto ao rolamento (LÁO, 2004).

Com base na Figura 6.1 identifica-se S1 como o ponto de contato pneumático/revestimento onde é gerado o ruído e em S2 a sua propagação, que se processa através do efeito HORN ou diedro, resultante da reflexão das ondas sobre as faces do diedro formado entre as superfícies do pneumático e do revestimento do pavimento; posteriormente estas ondas sofrem várias reflexões até atingir o receptor (LÁO, 2004).

A porosidade superficial é capaz de limitar o efeito de ressonância do ar entre os sulcos dos pneumáticos e o revestimento do pavimento e, pela teoria de Descornet, se a macro-textura possuir um comprimento de onda e uma amplitude próxima da ótima, a superfície com estas características será capaz de minimizar as vibrações dos pneumáticos; além disso, os vazios superficiais e internos irão conferir a esta superfície propriedades absorventes, pois as ondas acústicas, ao refletirem em seu interior, são transformadas em calor (LÁO, 2004).

Estes tipos de revestimento, que vêm sendo aplicados desde os anos oitenta por países membros da OCDE (1995), estão relacionados a seguir:

6.1.1 Faixa granulométrica descontínua ou revestimento do tipo A

Existem dois tipos de misturas betuminosas do tipo A: as finas e os tratamentos superficiais (LÁO, 2004).

As finas ou ultrafinas são misturas que contém agregados porosos com pequenas dimensões, porém de grande resistência e de baixa angulosidade, e tendo como material coesivo a resina epóxi. Este tipo de revestimento são conhecidos como “*Shell-grip*”, “*Griproad*” e “*Spray Grip*”.

Os tratamentos superficiais são misturas de camada de pequena espessura, de dois a três centímetros, que pode ser aplicada sobre qualquer tipo de revestimento já existente, desde que este apresente boa regularidade superficial. Possui granulometria aberta e descontínua, cujo tamanho máximo dos agregados está compreendido entre 6 e 8 milímetros, com porosidade nula ou reduzida e a percentagem de vazios deve estar preferencialmente entre 6 e 8%. (BIANCHETTO, 1986; OCDE, 1995).

6.1.2 Revestimento drenante ou do tipo B

O revestimento asfáltico drenante são também denominado de absorvente ou Camada Porosa de Atrito (CPA), foi o primeiro a ser identificado como superfície com poder de absorção acústica, e sua eficácia fortemente influenciada por sua macrotextura negativa,

resultante do tamanho máximo dos agregados, da distribuição granulométrica descontínua e do processo construtivo (LÁO, 2004).

Sua aplicação inicial na Europa foi como tratamento superficial, com dois centímetros de espessura, que teve como objetivo, melhorar a resistência à derrapagem, posteriormente, passaram a ter espessuras superiores e com alta porosidade (LÁO, 2004).

É o mais aplicado em vários países, com finalidades diversas, tais como (BIANCHETTO, 1986; OCDE, 1995):

- minimizar a geração de ruído de rodagem graças à redução do fenômeno vibratório, devido ao posicionamento dos agregados na superfície, resultante da aplicação da mistura, e o fenômeno da ressonância do ar, devido à macroporosidade elevada e à macro-textura negativa, que impedem a pressurização do ar retido;
- reduzir a amplificação do ruído originado do contato pneumático/revestimento;
- eliminar substancialmente os efeitos negativos da presença d'água na superfície do revestimento, como a aquaplanagem, a projeção de água por ação do tráfego, a reflexão dos raios luminosos dos faróis dos veículos e o aumento do ruído proveniente do deslocamento da água;
- aumentar a aderência pneumático/revestimento, reduzindo a derrapagem pela elevada macrotextura negativa associada à microtextura áspera, a velocidade elevada em pista seca, e em qualquer velocidade em pista molhada;
- corrigir pequenas deformações superficiais, visto seu bom comportamento ante a deformação plástica;
- retardar as reflexões de trincas moderadas;
- funcionar como reforço estrutural, apesar de a contribuição ser inferior, em torno de vinte e cinco por cento em relação aos revestimentos constituídos por misturas asfálticas densas.

A absorção acústica dos revestimentos drenantes está ligada à conservação da porosidade, cuja manutenção depende do rendimento dos materiais (granulometria, tipo e percentagem de ligante), da permeabilidade, das condições de circulação (velocidade, tipo e percentagem diária de veículos) e das operações de manutenção (processo de descolmatação dos vazios e melhora da drenagem lateral). De um modo geral, a absorção acústica se mantém mais tempo que a função drenante (LÁO, 2004).

Estudos têm mostrado que os revestimentos drenantes de melhor rendimento acústico são os que contêm percentagem de vazios na ordem de 20 a 23% e diâmetro máximo dos agregados entre dez e doze milímetros, a fim de manter as condições hidráulicas e de aumentar seu poder de absorção acústica. A percentagem de vazios intercomunicáveis não deve ultrapassar os vinte e cinco por cento (OCDE, 1995 *apud* LÁO, 2004).

Com a circulação do tráfego, os poros deste tipo de revestimento se colmatam, reduzindo significativamente a drenabilidade e o rendimento acústico (LÁO, 2004).

Com o objetivo de aumentar o tempo de vida útil dos revestimentos drenantes em relação à drenabilidade e à absorção acústica, foram desenvolvidas algumas medidas de gestão que implicam na conservação dos vazios comunicantes, conforme indicado como exemplo no fluxograma da Figura 6.2.

A conservação da porosidade é mantida inicialmente pelo processo de lavagem realizada pelo próprio tráfego quando circulando na via molhada e posteriormente através da aplicação de alguns dos procedimentos corretivos que constituem o sistema de gestão, conservação e manutenção (LÁO, 2004).



Figura 6.2 Exemplo de fluxograma para gestão dos revestimentos porosos
 Fonte: OCDE, 1995 *apud* LÁO, 2004.

6.1.3 Revestimentos porosos com grandes espessuras ou tipo C

Este tipo de revestimento vem sendo empregado na Alemanha e na França, e consiste em se aplicar uma única camada ou várias camadas com espessuras variadas, cuja porosidade cresce de cima para baixo. São constituídas de concreto betuminoso ou de cimento com forte macroporosidade, que são responsáveis pela redução do ruído e pela drenabilidade. A espessura total é de aproximadamente 50 cm (LÁO, 2004).

Os fatores que levam a atenuação do ruído neste tipo de revestimento estão ligados tanto à redução da emissão por contato pneumático/revestimento quanto à absorção acústica. Este tipo de revestimento pode ser aplicado sobre quaisquer tipos de revestimentos (LÁO, 2004).

6.1.4 Revestimento eufônico ou tipo D

É uma versão melhorada do revestimento composto polifuncional desenvolvido e aplicado nas autopistas da Itália. É constituído por uma camada de mistura asfáltica porosa fonoabsorvente de 40 a 60 mm de espessura, aplicada sobre uma camada de concreto com armadura contínua, contendo ressonadores distribuídos em toda a sua superfície, que são capazes de absorver o ruído, especialmente os de baixas frequências, conforme representado na Figura 6.3. A camada porosa absorve os ruídos de média e alta frequência enquanto os ressonadores absorvem os de baixa frequência (LÁO, 2004).

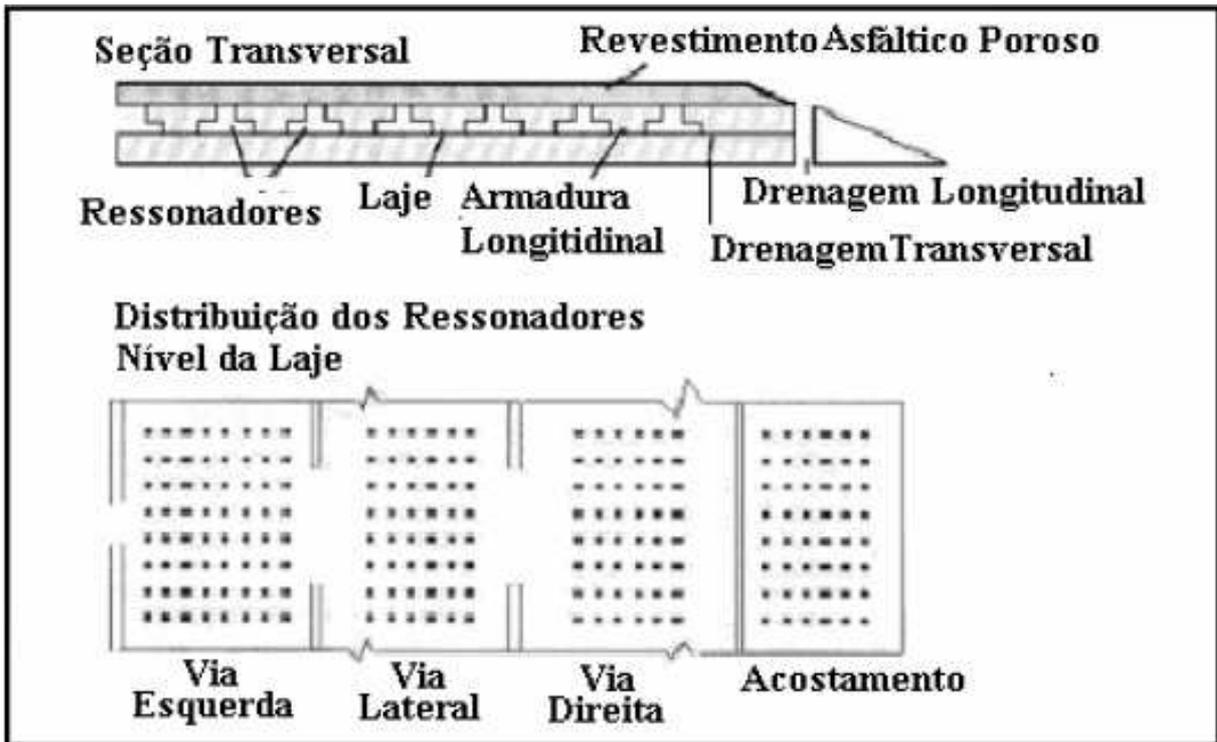


Figura 6.3 Seção transversal dos revestimentos dos pavimentos eufônicos
 Fonte: OCDE, 1995 *apud* LÁO, 2004.

6.1.5 Revestimentos Bicapa

São revestimentos que apresentam bom rendimento acústico e são constituídos por duas camadas porosas: a superior, com 2 a 3 cm de espessura, e a inferior, com 3 a 5 cm (LÁO, 2004).

A camada superior é constituída por agregados menores, que tem a finalidade de minimizar a geração do ruído e de reduzir o efeito da colmatção de seus vazios, mantendo por um intervalo de tempo maior as propriedades drenante e fonoabsorvente. A camada inferior é constituída por agregados maiores que os da camada superior, que possibilita aproveitar melhor as propriedades fonoabsorvente e drenante dos revestimentos porosos (LÁO, 2004).

6.2 REVESTIMENTO ASFÁLTICO EM ASFALTO-BORRACHA

Os pavimentos asfálticos com borracha são normalmente produzidos com restos ou resíduos de borracha e de acordo com várias técnicas, incluindo o processo seco e úmido. Na Figura 6.4 são apresentados, esquematicamente, os processos de mistura e suas respectivas terminologias. No processo seco (misturas modificadas com borracha), os grânulos da borracha representam 0,5 – 3,0% da massa do agregado, enquanto que no processo úmido

(asfalto-borracha - AR) o pó de pneu representa 3,0 – 20,0% da massa de ligante ou menos que 1,5% da massa total da mistura (SPECHT et al., 2009).

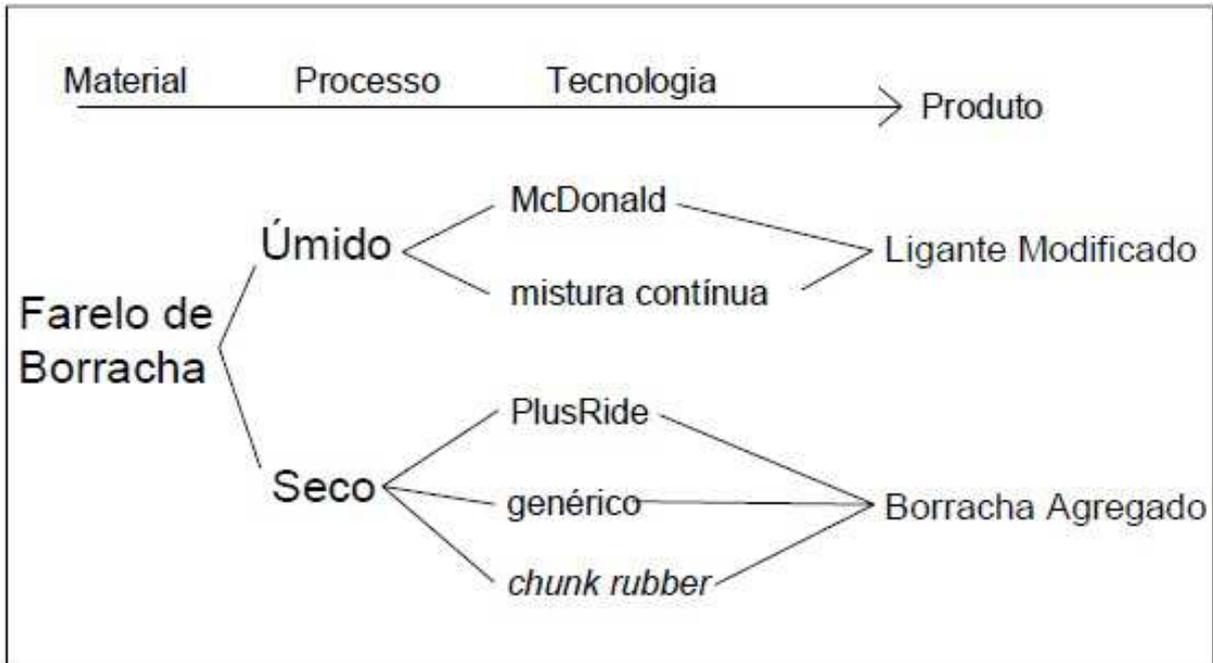


Figura 6.4 Processos de mistura da borracha e terminologia.

Fonte: HEIZTMAN, 1992

As aplicações típicas do asfalto-borracha são viáveis em pavimento novos e em restaurações. O ligante (*wet process*) é empregado em praticamente todas as utilizações comuns a ligantes asfálticos, entretanto seus benefícios são mais evidentes quando utilizados em SAM – *Stress Absorbing Membrane*, em SAMI – *Stress Absorbing Membrane Interlayer* (estes processos constituem no espalhamento do ligante sobre o pavimento e posterior cobertura por um agregado pré-aquecido) ou em CAUQ – *Concreto Asfáltico Usinado a Quente*, utilizado para manutenção de pavimentos com fissuração excessiva (SPECHT et al., 2009).

Além do processo via úmida e via seca, existe um terceiro, denominado processo misto: a mistura é feita de forma semelhante ao via seca, entretanto, utilizando o ligante modificado com borracha. A melhor interação entre o ligante modificado e os grânulos de borracha levam a um concreto asfáltico de boa qualidade e um grande consumo de borracha, tornando o processo via mista atrativo do ponto de vista ambiental (SPECHT et al., 2009).

6.2.1 Reaproveitamento de pneus em obras de pavimentação

Em obras de pavimentação, a borracha de pneus pode ser incorporada aos materiais asfálticos, como já visto, através nos dois processos: úmido e seco. No processo úmido, a borracha moída de pneus descartados é incorporada ao ligante asfáltico antes de se adicionar o agregado. Quando da adição de borracha ao ligante asfáltico, ocorre reação entre os componentes e a alteração de suas propriedades. No processo seco, a borracha de pneus é misturada com o agregado antes de se adicionar o ligante asfáltico. As técnicas de produção de mistura para o processo seco são semelhantes às utilizadas na produção de CAUQ convencional. Apesar de algumas evidências de que misturas betuminosas executadas com adição de borracha picada tenham suas propriedades melhoradas, o que pode ser verificado em vários trabalhos realizados nas décadas de 70, 80 e 90, não existem resultados conclusivos sobre o desempenho dos pavimentos em longo prazo (ODA; FERNANDES JR, 2001).

6.2.2 Vantagens da utilização da borracha como ligante asfáltico

Segundo Oda; Fernandes Jr (2001), muitas são as vantagens previstas em função da incorporação de borracha de pneus usados a um cimento asfáltico que merecem destaque:

- redução do envelhecimento - a presença de antioxidantes e carbono na borracha dos pneus que é incorporada ao cimento asfáltico proporciona uma redução do envelhecimento por oxidação;
- aumento da flexibilidade - misturas asfálticas com o ligante asfalto-borracha são mais flexíveis que as misturas asfálticas convencionais (STEPHENS, 1982; TAKALLOU; HICKS, 1988; MCQUILLEN et al., 1988), em virtude da maior concentração de elastômeros na borracha de pneus;
- aumento do ponto de amolecimento - a adição de borracha faz com que o ponto de amolecimento do ligante asfalto-borracha aumente, em relação ao do ligante convencional (SALTER; MAT, 1990), o que significa um aumento da resistência ao acúmulo de deformação permanente nas trilhas de rodas;
- redução da susceptibilidade térmica - o uso de um ligante asfalto-borracha proporciona misturas asfálticas mais resistentes às variações de temperatura, ou seja, tanto o desempenho a baixas quanto a altas temperaturas são melhores quando comparados com pavimentos construídos com ligante asfáltico convencional (HEIZTMAN, 1992; RUTH et al., 1997).

Specht et al. (2009) relacionam as vantagens técnicas e econômicas:

- proporciona uma redução na espessura da camada asfáltica, tanto em recapeamentos quanto em pavimentos novos;
- reduz nível de ruído provocado pelo atrito pneu/pavimento;
- possui uma relação custo/benefício vantajosa sobre os ligantes convencionais, tendo em vista a baixa manutenção necessária com o passar dos anos;
- ideal para utilização em restauração sobre pavimentos com níveis de trincamento severos, ligante com maior ductilidade; retardamento no tempo da reflexão de trincas;
- indicado para utilização em camadas de rolamento, devido à manutenção da sua elasticidade com o passar dos anos, ótima aderência, e resistência ao envelhecimento;
- a utilização de subprodutos da indústria ou resíduos de borracha torna-o um produto ecologicamente correto (proteção de fontes ambientais).

6.2.3 Aplicação do ligante asfalto-borracha

O ligante asfalto-borracha tem sido aplicado em vários serviços de pavimentação, de selagem de trincas até um concreto asfáltico usinado a quente. Apesar da ocorrência de defeitos na superfície de rolamento, de uma maneira geral os resultados têm sido positivos. Os principais defeitos relatados são a exsudação e as trincas por contração de origem térmica, associados, principalmente, à dosagem inadequada do teor de asfalto-borracha (ESTAKHRI et al., 1992). Quando comparado com o ligante convencional, pode-se verificar que a quantidade de asfalto-borracha necessária para uma determinada mistura é maior, o que justifica o problema de exsudação, mas ao mesmo tempo proporciona uma maior durabilidade à mistura asfáltica (ODA e FERNANDES JR, 2001). As principais formas de aplicação do ligante asfalto-borracha são:

- selante de trincas e juntas (*asphalt-rubber crack/joint sealant*) - comparando-se a vida útil de selantes com e sem asfalto-borracha, verifica-se que o selante com asfalto-borracha dura cerca de 3 vezes mais que o sem asfalto-borracha.
- SAM (*Stress Absorbing Membrane*) - trata-se de um “tratamento superficial” com asfalto-borracha, geralmente usado para prevenir e/ou retardar a formação de trincas por reflexão em pavimentos asfálticos. Consiste em distribuir uma camada de ligante asfalto-borracha (com cerca de 20% de borracha) sobre a superfície do

pavimento existente, seguida de uma camada de agregados uniformes, espalhados sobre o ligante (HICKS et al., 1995 *apud* SPECHT et al., 2009).

- SAMI (*Stress Absorbing Membrane Interlayer*) - é uma camada de asfalto-borracha aplicada entre camadas de CAUQ (existentes e de reforço) quando da execução de uma reabilitação, para retardar o desenvolvimento de trincas por reflexão e reduzir a penetração de água em camadas subjacentes (HICKS et al., 1995 *apud* SPECHT et al., 2009).
- concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) - o uso do ligante asfalto-borracha em misturas asfálticas de graduação densa, em substituição ao ligante asfáltico convencional, reduz o acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda, as trincas por fadiga e as trincas por contração de origem térmica (TAKALLOU; SAINTON, 1992).

6.2.3.1 Pavimentos com superfícies emborrachadas

Podem-se citar, como superfícies emborrachadas de pavimentos, os concretos asfálticos densos ou SMA (*Stone Mastic Asphalt*) com uma certa porcentagem de borracha granular moída de pneu adicionada à mistura (ASTRANA, 2006).

A borracha pode ser adicionada como grânulos a mistura. Este processo é o chamado "seco", como visto anteriormente, ou também chamado de asfalto-borracha a seco. A borracha também pode ser adicionada como um pó, chamado "processo úmido" (ASTRANA, 2006).

Segundo Sandberg (2002), não há evidência conclusiva para se afirmar que a incorporação de pequenas quantidades de borracha à mistura betuminosa possa reduzir a emissão de ruído em pavimentos, necessitando mais estudos a este respeito. Este tipo de pavimento teve seu início na Suécia, onde é chamado de Rubit. Nos E.U.A. é chamado de Plusride (ASTRANA, 2006).

6.2.3.2 Superfícies porosas/emborrachadas

Definem-se, por superfícies porosas/emborrachadas (PERS), aquelas superfícies que possuem graduação aberta e alto teor de vazios comunicantes, a fim de facilitar a passagem do ar e da água através dele. A superfície é dita elástica pela incorporação de material elástico à mistura, como borracha ou outros produtos elásticos, como principal agregado. O índice de vazios é menor do que 20% por volume total e a quantidade de material elástico a ser incorporado é menor do que 20% sobre o peso total (ASTRANA, 2006).

A mistura típica de um PERS consiste de partículas de borracha em forma cúbica ou partículas de fibra de borracha (borracha nova ou de pneu). Agregados minerais, areia ou outro material que possa realçar o atrito às vezes são utilizados na mistura, colando-os com poliuretano ou outra resina artificial. A espessura típica deste tipo de pavimento é de 3 a 4 cm. O PERS pode ser executado em campo ou pré-fabricados como um “tapete” que pode ser colada à camada inferior rígida. Para isso faz-se uso de resina epoxy (ASTRANA, 2006).

O PERS possui alto poder de mitigação do ruído de rolagem, chegando a valores de diminuição do NPS de até 12 dB(A). Os inconvenientes reportados sobre o PERS são a dificuldade de manter-se unido à camada inferior e problemas relacionados à aderência. Além disso, seu custo de produção é muito alto, devido à utilização de resinas no seu processo de fabricação. A utilização do PERS ainda está em estágio experimental, sendo já executado na Suécia e Japão (ASTRANA, 2006).

6.3 OUTROS TIPOS DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

Nesta seção serão apresentados alguns tipos de revestimento asfálticos facilmente encontrados nas rodovias do Brasil.

6.3.1 Tratamento superficial

Segundo Bernucci et al. (2007), o tratamento superficial é um revestimento flexível de espessura delgada, executado por espalhamento sucessivo de ligantes asfáltico e agregado, sem mistura prévia, na pista, com posterior compactação que promove o recobrimento parcial e a adesão entre agregados e ligantes, classificado em dois tipos:

- O tratamento superficial simples (TSS) inicia-se pela aplicação do ligante, sendo recoberto em seguida por uma única camada de agregado. O ligante penetra de baixo para cima no agregado (penetração invertida). A prática em alguns estados brasileiros recomenda subdividir a taxa de emulsão em duas aplicações, sendo a primeira antes da distribuição dos agregados e a segunda, diluída em água como banho superficial sobre os agregados espalhados;
- O tratamento múltiplo inicia-se pela aplicação do ligante que penetra de baixo para cima (penetração invertida) na primeira camada de agregado, enquanto a penetração das camadas seguintes de ligante é tanto invertida como direta. A espessura acabada é da ordem de 10 a 20 mm. Os tratamentos múltiplos dividem-se em tratamento superficial duplo (TSD) e tratamento superficial triplo (TST);

As principais funções do tratamento superficial são:

- proporcionar uma camada de rolamento de pequena espessura, porém, de alta resistência ao desgaste;
- impermeabilizar o pavimento e proteger a infraestrutura do pavimento;
- proporcionar um revestimento antiderrapante;
- proporcionar um revestimento de alta flexibilidade que possa acompanhar deformações relativamente grandes da infraestrutura;

Devido à sua pequena espessura, o tratamento superficial não aumenta substancialmente a resistência estrutural do pavimento e não corrige irregularidades (longitudinais ou transversais) da pista, caso seja aplicado em superfície com esses defeitos (BERNUCCI et al., 2007).

A Figura 6.5 mostra esquematicamente dois tipos de revestimentos. Nos tratamentos múltiplos em geral a primeira camada é de agregados de tamanhos maiores e eles vão diminuindo à medida que constituem nova camada.

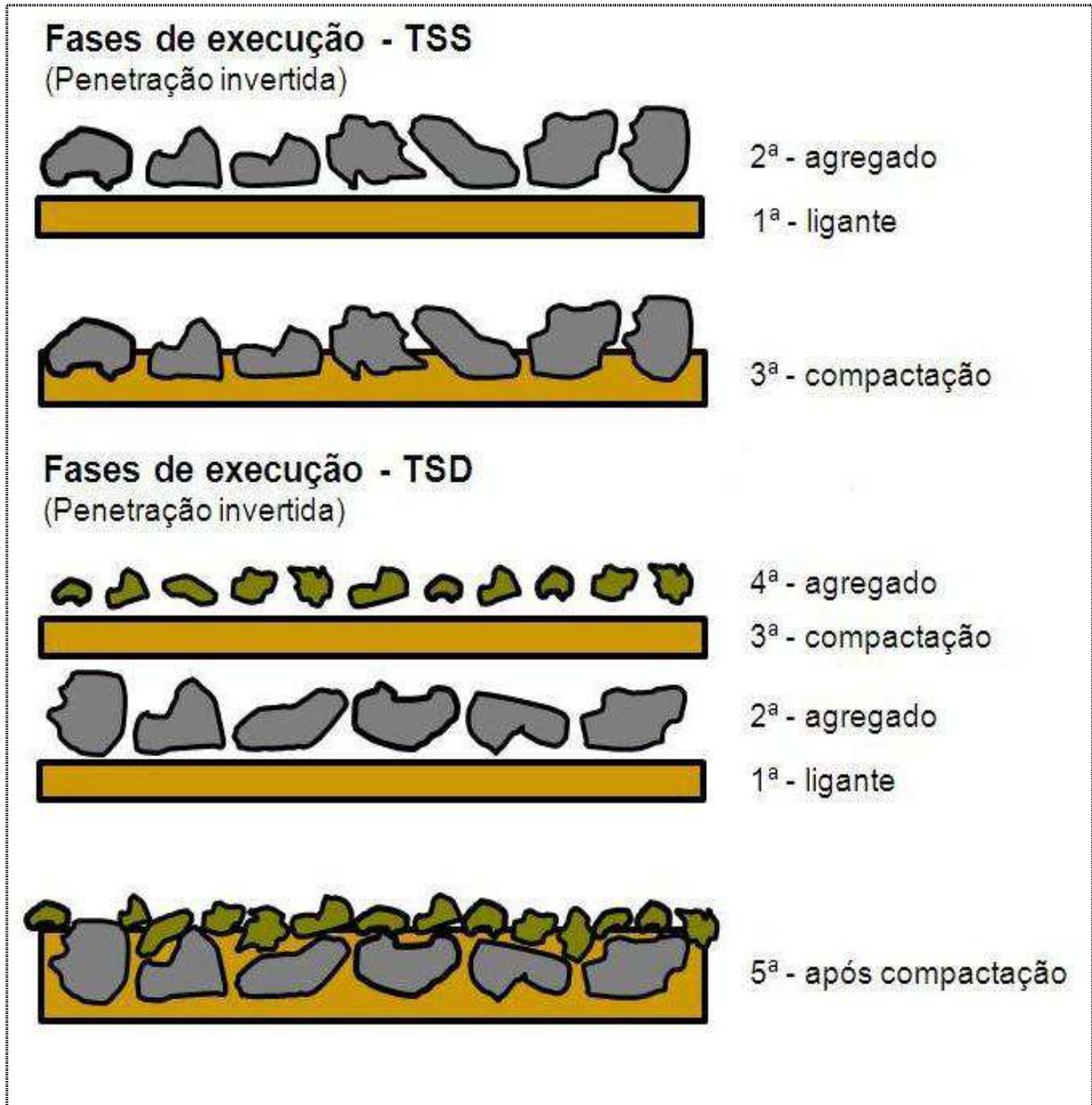


Figura 6.5 Esquema de tratamentos superficiais (sem escala)

Fonte: NASCIMENTO, 2004 *apud* BERNUCCI et al., 2007

O Quadro 6.2 mostra um exemplo de tabela de faixas granulométricas que podem ser empregadas no TST, segundo critério DER/PR ES-P 18/05.

Quadro 6.2 Exemplos de faixas granulométricas para tratamento superficial triplo

Tratamento superficial simples - TST											
Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso									Tolerâncias da faixa de projeto
ABNT	Abertura, mm	Triplo I-4			Triplo I-5			Triplo I-6			
		1º cam	2º cam	3º cam	1º cam	2º cam	3º cam	1º cam	2º cam	3º cam	
1 1/2"	38,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±7
1"	25,4	-	-	-	100	-	-	-	-	-	±7
7/8"	22,4	-	-	-	-	-	-	100	-	-	±7
3/4"	19,1	100	-	-	90-100	-	-	-	-	-	±7
5/8"	15,9	90-100	-	-	-	-	-	-	-	-	±7
1/2"	12,7	-	-	-	20-45	100	-	0-30	100	-	±7
3/8"	9,5	20-50	100	-	0-10	90-100	-	0-5	90-100	100	±7
nº 4	4,8	0-10	65-85	100	0-5	20-55	100	-	10-40	85-100	±5
nº 8	2,4	-	-	45-85	-	-	-	-	-	-	±5
nº 10	2,0	-	0-10	20-35	-	0-10	15-35	-	0-15	10-35	±5
nº 16	1,2	-	-	0-12	-	-	-	-	-	-	±3
nº 20	0,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±3
nº 40	0,42	-	-	0-8	-	-	0-5	-	-	0-5	±3
nº 50	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±2
nº 200	0,074	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	±2

Fonte: DER/PR ES-P 18/05

No tratamento superficial é o agregado que confere a textura e a cor da pista, sendo as seguintes suas funções principais (BERNUCCI et al., 2007):

- transmitir as cargas até o substrato;
- resistir à abrasão e à fragmentação pela ação do tráfego;
- resistir ao intemperismo;
- assegurar uma superfície antiderrapante;
- promover uma drenagem superficial adequada.

Com respeito à graduação, a distribuição mais uniforme é a mais adequada. Com agregados bem graduados (graduação contínua) há um envolvimento heterogêneo das partículas, podendo-se chegar à ausência total de cobertura de alguns grãos, diminuindo-se, assim, também, uma área máxima de contato pneu-agregado (BERNUCCI et al., 2007).

De forma geral, quanto mais pesado e intenso o tráfego, maior deverá ser o tamanho do agregado. Por outro lado, quanto mais rígido o substrato, menor deverá ser este tamanho. Para fixação adequada do tratamento superficial na base de solo mais fino, é indicado o agulhamento de agregado na mesma, previamente à colocação do TSS. Na escolha do

tamanho do agregado, deve-se ainda considerar que, acima de um certo valor, da ordem de 12,5 mm (tratamento simples) a dificuldade em se fixar o agregado no ligante aumenta significativamente, sendo maior o risco de rejeição. Quanto maior o tamanho do agregado, maior será também o ruído gerado e maior o desgaste dos pneus (BERNUCCI et al., 2007).

Para os tratamentos múltiplos, o agregado de tamanho maior (primeira camada) é protegido pela (s) camada (s) superior (es), e o risco de rejeição ou de exsudação é menor. O tamanho relativo do agregado, nas várias camadas do tratamento múltiplo, é frequentemente escolhido de tal maneira que o tamanho nominal do agregado em cada camada seja a metade do correspondente tamanho na camada inferior (BERNUCCI et al., 2007).

A dosagem exata das taxas a serem empregadas deve ser indicada pelo laboratório. A subdosagem de ligante resultará em um revestimento pouco durável, sujeito a desagregação. O excesso de ligante asfáltico resultará em uma camada de rolamento com pouco atrito e sujeita à exsudação (BERNUCCI et al., 2007).

6.3.2 Concreto asfáltico denso (CA)

O concreto asfáltico é uma mistura asfáltica muito resistente em todos os aspectos, desde que adequadamente selecionados os materiais e dosados convenientemente. Pode ser (BERNUCCI et al., 2007):

- convencional - CAP e agregados aquecidos, segundo a especificação DNIT-ES 031/2004;
- especial quanto ao ligante asfáltico:
 - com asfalto modificado por polímero ou com asfalto-borracha;
 - com asfalto duro, misturas de módulo elevado (*Enrobé à Module Élevé - EME*).

Concretos asfálticos densos são as misturas asfálticas usinadas a quente (CAUQ) mais utilizadas como revestimentos asfálticos de pavimentos no Brasil. Suas propriedades, no entanto, são muito sensíveis à variação do teor de ligante asfáltico. Uma variação positiva, às vezes dentro do admissível em usinas, pode gerar problemas de deformação permanente por fluência e/ou exsudação, com fechamento da macrotextura superficial. De outro lado, a falta de ligante gera um enfraquecimento da mistura e sua resistência à tração é bastante afetada. Sua vida de fadiga fica muito reduzida (BERNUCCI et al., 2007).

Uma das formas de reduzir a sensibilidade dos concretos asfálticos a pequenas variações de teor de ligante e torná-lo ainda mais resistente e durável em vias de tráfego

pesado é substituir o ligante asfáltico convencional por ligante modificado por polímero ou por asfalto-borracha.

As misturas asfálticas a quente podem ser subdivididas pela graduação dos agregados e preenchimento. São destacados três tipos mais usuais nas misturas a quente (BERNUCCI et al., 2007):

- Graduação **densa** - curva granulométrica contínua e bem graduada, de forma a proporcionar um esqueleto mineral com poucos vazios, visto que os agregados de dimensões menores preenchem os vazios dos maiores - concreto asfáltico (CA);
- Graduação **aberta** - curva granulométrica uniforme, com agregados quase exclusivamente de um mesmo tamanho, de forma a proporcionar um esqueleto mineral com muitos vazios interconectados, com insuficiência de material fino (menor que 0,075 mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, com o objetivo de tornar a mistura com elevado volume de vazios com ar e, portanto, drenante, possibilitando a percolação de água no interior da mistura asfáltica - mistura asfáltica drenante, conhecida no Brasil por camada porosa de atrito (CPA);
- Graduação **descontínua** - curva granulométrica com proporcionamento dos grãos de maiores dimensões em quantidade dominante em relação aos grãos de dimensões intermediárias, completados por certa quantidade de finos, de forma a ter uma curva descontínua em certas peneiras, com o objetivo de tornar o esqueleto mineral mais resistente à deformação permanente com o maior número de contatos entre os agregados graúdos - matriz pétreo asfáltica (Stone mastic asphalt – SMA); mistura sem agregados de certa graduação (gap-graded).

6.3.3 Gap-graded

Segundo BERNUCCI et al. (2007), outra opção mais recentemente introduzida no Brasil é a graduação com intervalo (gap) – descontínua densa, conhecida por *gap-graded*, que é uma faixa granulométrica especial que resulta em macrotextura superficial aberta ou rugosa, mas não tem o teor de vazios elevado. Algumas utilizações dessa faixa vêm sendo realizadas com asfalto-borracha. Esse tipo de mistura asfáltica tem sido empregado como camada estrutural de revestimento, como na restauração da pavimentação e na duplicação de trechos na Rodovia BR-040, com asfalto-borracha, trecho Rio de Janeiro – Juiz de Fora, sob concessão da Concer S.A. (Cordeiro, 2006 *apud* BERNUCCI et al., 2007).

6.3.4 Misturas *in situ* em usinas móveis

Em casos principalmente de selagem e restauração de algumas características funcionais, além dos tipos de mistura descritos acima, que empregam usinas estacionárias ou mesmo móveis em alguns casos, é possível usar outros tipos de misturas asfálticas que se processam em usinas móveis especiais que promovem a mistura agregados-ligante imediatamente antes da colocação no pavimento. São misturas relativamente fluidas, como a lama asfáltica e o microrrevestimento (BERNUCCI et al., 2007).

6.3.4.1 Lama asfáltica

As lamas asfálticas consistem basicamente de uma associação, em consistência fluida, de agregados minerais, material de enchimento ou fíler, emulsão asfáltica e água, uniformemente misturas e espalhadas no local da obra, à temperatura ambiente. Esse tipo de mistura *in situ* começou a ser utilizado na década de 1960, nos Estados Unidos (*Slurry Seal*), na França e no Brasil (IBP, 1999; Abeda, 2001).

A lama asfáltica tem sua aplicação principal em manutenção de pavimentos, especialmente nos revestimentos com desgaste superficial e pequeno grau de trincamento, sendo, nesse caso, um elemento de impermeabilização e rejuvenescimento da condição funcional do pavimento. Aplica-se especialmente em ruas e vias secundárias. Eventualmente ainda é usada em granulometria mais grossa, para repor a condição de atrito superficial e resistência à aquaplanagem. Outro uso é como capa selante, aplicada sobre tratamentos superficiais envelhecidos. No entanto, não corrige irregularidades acentuadas nem aumenta a capacidade estrutural, embora a impermeabilização da superfície possa promover, em algumas situações, a diminuição das deflexões devido ao impedimento ou redução de penetração de água nas camadas subjacentes ao revestimento (BERNUCCI et al., 2007).

6.3.4.2 Microrrevestimento asfáltico

Esta é uma técnica que pode ser considerada uma evolução das lamas asfálticas, pois usa o mesmo princípio e concepção, porém utiliza emulsões modificadas com polímero para aumentar a sua vida útil. O microrrevestimento é uma mistura a frio processada em usina móvel especial, de agregados minerais, fíler, água e emulsão com polímero, e eventualmente adição de fibras (ABNT NBR 14948/2003).

Há vantagens em se aplicar o microrrevestimento com emulsão asfáltica de ruptura controlada modificada por polímero. A emulsão é preparada de tal forma que permita sua

mistura aos agregados como se fosse lenta e em seguida sua ruptura torna-se rápida, para permitir a liberação do tráfego em pouco tempo - duas horas (BERNUCCI et al., 2007).

O microrrevestimento é utilizado em (BERNUCCI et al., 2007):

- recuperação funcional de pavimentos deteriorados;
- capa selante;
- revestimento de pavimentos de baixo volume de tráfego;
- camada intermediária antirreflexão de trincas em projetos de reforço estrutural;

7 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DO RUIDOS DE TRÁFEGO

Na medição deste tipo de ruído são empregados equipamentos capazes de avaliar os níveis de pressão sonora equivalentes, durante um período de tempo, e situados em diferentes posições (LÁO, 2004). A Figura 7.1 apresenta na forma esquemática o posicionamento do medidor do nível de pressão sonora emitido pelo tráfego.

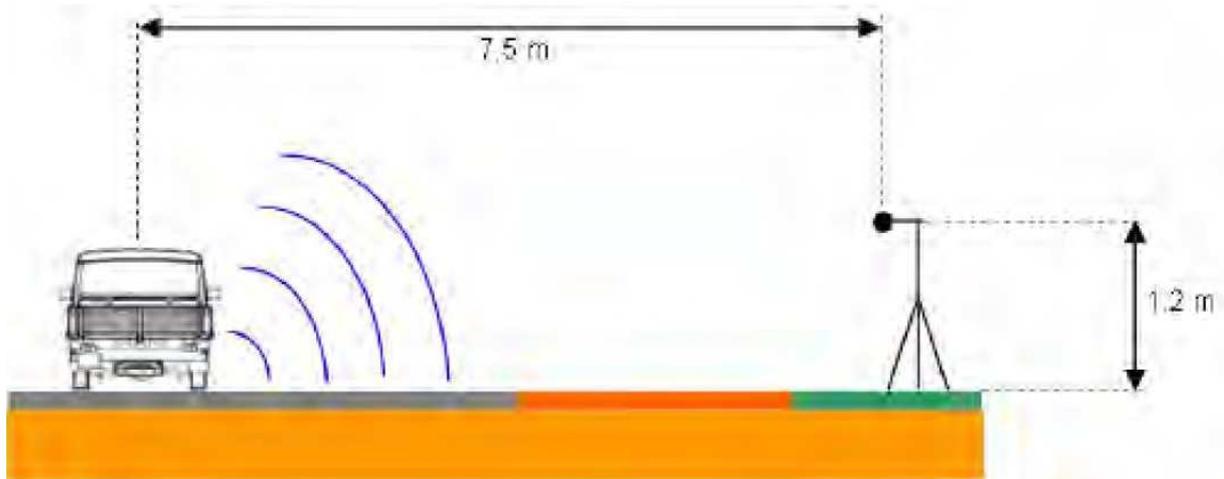


Figura 7.1 Forma esquemática de medição de ruído de circulação

Fonte: SILVA, 2009

A quantidade e a localização dos pontos a serem avaliados é função do tipo de medição a ser realizada, do estudo a ser desenvolvido, e das condições de emissão e propagação do som na região (LÁO, 2004).

Os métodos requerem tempo e cuidados na obtenção dos dados, de forma que os resultados sejam precisos e confiáveis. O intervalo mínimo de medição para caracterizar o ruído de tráfego é normalmente 15 minutos e, quando não se tem conhecimento da distribuição este intervalo deve ser longo, necessitando muitas vezes mais de 24 horas (LÁO, 2004).

Os resultados obtidos nas medições proporcionam informações para uma determinada situação em um dado instante. Como o tráfego, as condições atmosféricas e outros fatores envolvidos na medição variam ao longo do tempo, somente se podem comparar medições simultâneas ou aquelas nas quais se realizaram correções pertinentes (LÁO, 2004).

O parâmetro frequentemente utilizado nas medições é o L_{EQ} expresso em dB(A) que pode ser obtido em diferentes intervalos de tempo, em função das normas vigentes de cada país, das características do tráfego e dos objetivos da avaliação (LÁO, 2004).

7.1 MÉTODO DE MEDIÇÃO DE RUÍDO NA INTERAÇÃO PNEU/REVESTIMENTO DO PAVIMENTO

O objetivo dos estudos e de investigações nesta área, em todo o mundo, é de desenvolver métodos que permitam mensurar a componente do ruído imputável exclusivamente ao pavimento, que venha possibilitar o controle de sua qualidade acústica (LÁO, 2004).

Entre os numerosos métodos utilizados pelos países da OCDE para medir o ruído da interação pneumático/revestimento destacam-se como exemplo:

7.1.1 Método do tambor (OCDE, 1995 e TARRIÓ, 1992)

Este método foi desenvolvido em laboratório. Uma roda equipada por um pneumático de referência gira sobre a superfície interna ou externa de um tambor, em rotação, que é recoberta por um revestimento similar ao que se quer analisar. O microfone se situa próximo à zona de contato (LÁO, 2004).

As condições de ensaio são perfeitamente controladas e os resultados são bastante precisos, mas é um método pouco realista e de alto custo (OCDE, 1995 *apud* LÁO, 2004).

7.1.2 Método compatível ao da ISO – 362 (OCDE, 1995 e TARRIÓ, 1992)

Um veículo equipado com pneumático de referência é lançado, com o motor desligado e as rodas livres, sobre a superfície a ser analisada, estando o microfone situado a 7,5 m do eixo do veículo e a 1,2 m acima da superfície do pavimento. É um método mais realista e de baixo custo, mas que tem caráter pontual, necessitando a repetição das medições, para que se tenha maior confiabilidade nos dados obtidos (LÁO, 2004).

A ISO 362 (1981) foi substituída em 2004 pela NBR 15145 – “Acústica – Medição do ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração – Método de engenharia”. O método utilizado para a realização dos ensaios, desta pesquisa, foi baseado nesta norma.

7.1.3 Método do reboque combinado com medida de absorção acústica global (OCDE, 1995 e TARRIÓ, 1992).

Segundo LÁO (2004), vários países empregam esta metodologia: Alemanha, Áustria, Espanha, Finlândia, Itália, Portugal, Suécia, Estados Unidos etc.

É um procedimento móvel que quantifica apenas o ruído da interação pneumático/revestimento do pavimento. É constituído por um reboque especialmente

construído, com uma ou mais rodas dotadas de pneumáticos de referência, estando este isolado acusticamente do ambiente através de uma câmara, com o propósito de eliminar o ruído de fundo e o ruído do veículo que puxa o reboque à velocidade constante sobre o revestimento a ser investigado (LÁO, 2004).

No interior da câmara anecoica (em seu interior não ocorre reflexão das ondas sonoras, conseqüentemente, possibilita a medição apenas de ondas diretas) são instalados os microfones próximos à região de contato do pneumático/revestimento, conforme esquema da Figura 7.2, que apresenta a representação esquemática do reboque empregado na quantificação do ruído da interação pneumático/revestimento.

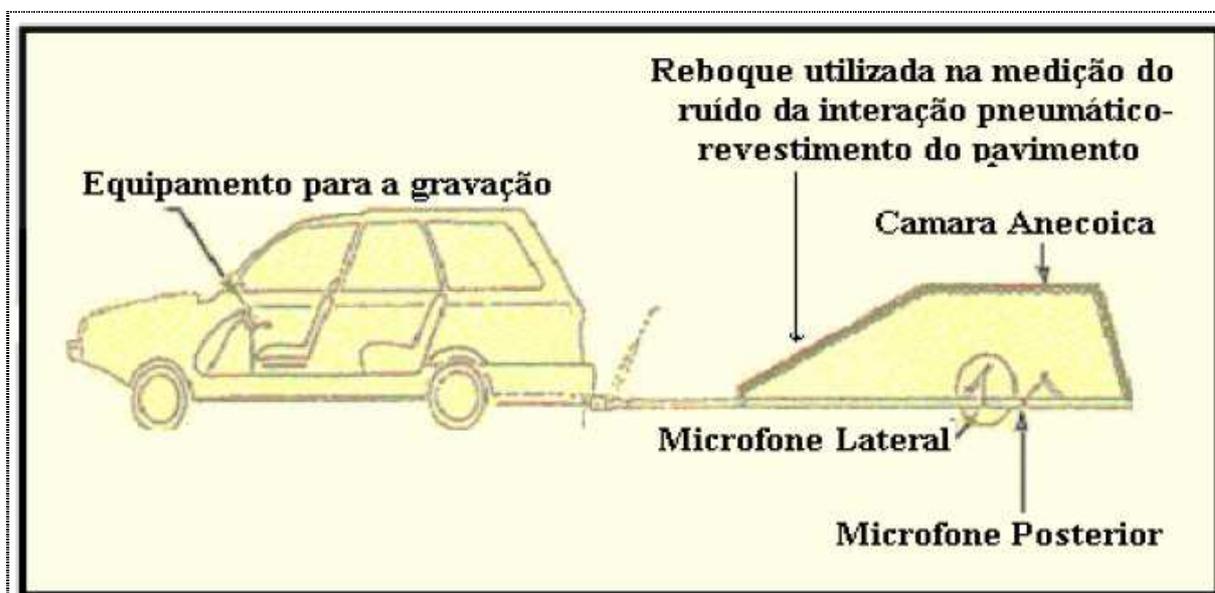


Figura 7.2 Representação esquemática do reboque empregado na quantificação do ruído da interação pneumático/revestimento

Fonte: TARRIÓ, 1992 *apud* LÁO, 2004

O emprego de uma única roda permite evitar a influência do ruído eventual das demais rodas. Com este dispositivo é possível analisar e comparar tipos diferentes de revestimento, de textura e de pneumáticos em relação aos diferentes desenhos, estrutura e processo de fabricação (LÁO, 2004).

É importante que se conheça o grau de absorção acústica dos revestimentos dos pavimentos, que pode ser determinada através de medidas *in situ* e/ou em laboratório, com o objetivo de se conhecer o grau de reflexão do ruído (LÁO, 2004).

A partir destes elementos, tem sido possível a aproximação da otimização das propriedades acústicas dos revestimentos porosos na construção de revestimentos absorventes de ruído (LÁO, 2004).

7.1.4 Método estatístico do “veículo isolado” (OCDE,1995 e TARRIÓ, 1992)

Países que empregam esta metodologia: Inglaterra, Alemanha, França, Dinamarca, Noruega, Suécia e Itália (LÁO, 2004).

A medida é realizada com um número estatisticamente significativo de veículos em circulação, separados por categorias pré-estabelecidas (leves, médio e pesado) ou em função das condições de tráfego ou das diferentes velocidades (LÁO, 2004).

O equipamento de medida é posicionado lateralmente à via. Este procedimento necessita de um grande período de análise, para que seja medido o nível de ruído e/ou o espectro de frequência, que são relacionados com o tipo e as velocidades desenvolvidas pelos veículos e as condições de fluxo (LÁO, 2004).

7.1.5 Método do “veículo controlado” (OCDE,1995 e TARRIÓ, 1992)

Países: França e Alemanha (LÁO, 2004).

A medição é efetuada empregando veículos-testes, equipados com pneumáticos selecionados, que se deslocam a determinada velocidade, em ponto morto ou em aceleração, ficando a via fechada ao tráfego. O equipamento de medida se posiciona lateralmente à via (LÁO, 2004).

7.1.6 R.I.M.A. (OCDE,1995 e TARRIÓ, 1992).

Países: Itália e França (LÁO, 2004).

A Itália desenvolveu recentemente um equipamento denominado de R.I.M.A. Esta técnica consiste em gerar um sinal de curta duração, a partir de uma fonte específica, e captar, por meio de microfones, os sinais das ondas diretas, refletidas e refratadas, após a incidência da onda sonora sobre os objetos encontrados (LÁO, 2004).

O método se baseia em uma série de medidas pontuais, incluindo a presença do tráfego, de maneira simples e rápida, permitindo comparar os resultados obtidos de diferentes lugares. Este método não é capaz de medir o efeito diedro formado entre o pneumático e o revestimento (LÁO, 2004).

8 METODOLOGIA APLICADA

Este capítulo expõe o programa metodológico utilizado nesta pesquisa.

O objetivo desta etapa é apresentar o desempenho acústico de três diferentes tipos de pavimentos, cada um com um tipo de revestimento, típicos da região de Maringá.

Para aplicação da metodologia foram escolhidos os seguintes revestimentos de pavimentos: um em “*TST – tratamento superficial triplo*”, alternativa para vias de tráfego médio, outro em “*CAUQ (concreto asfáltico usinado a quente) com ligante modificado com asfalto-borracha*”, alternativa para revestimentos de pavimentos de rodovias de tráfego intenso e pesado, e um terceiro pavimento, chamado “*intertravado*”, utilizado para vias de tráfego leve, mais comumente em vias urbanas ou vicinais de baixo movimento veicular.

O estudo avalia as superfícies de rolamento de cada pavimento com relação à emissão e propagação do ruído proveniente da interação pneumático-revestimento, com e sem a influência do ruído do motor veicular.

As avaliações em campo, metodologia empregada e os resultados estão expostos a seguir.

8.1 MÉTODO UTILIZADO

Para a avaliação do ruído emitido na interação pneu/pavimento foi desenvolvida uma metodologia que teve como base as prescrições da norma ABNT NBR 15145:2004 – “Acústica – Medição do ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração – Método de engenharia”, em que um veículo-teste (veículo equipado com pneumático de referência) é lançado com motor desligado e as rodas livres, sobre a superfície a ser analisada, estando o medidor de nível de pressão sonora 7,5 m do eixo do veículo e a 1,2 m acima da superfície de rolamento. Foram feitas repetidas medições, de caráter pontual, em diferentes velocidades. Os resultados foram comparados e analisados em gráficos dispostos posteriormente.

A Figura 8.1. apresenta o posicionamento do medidor de ruído, em metros.

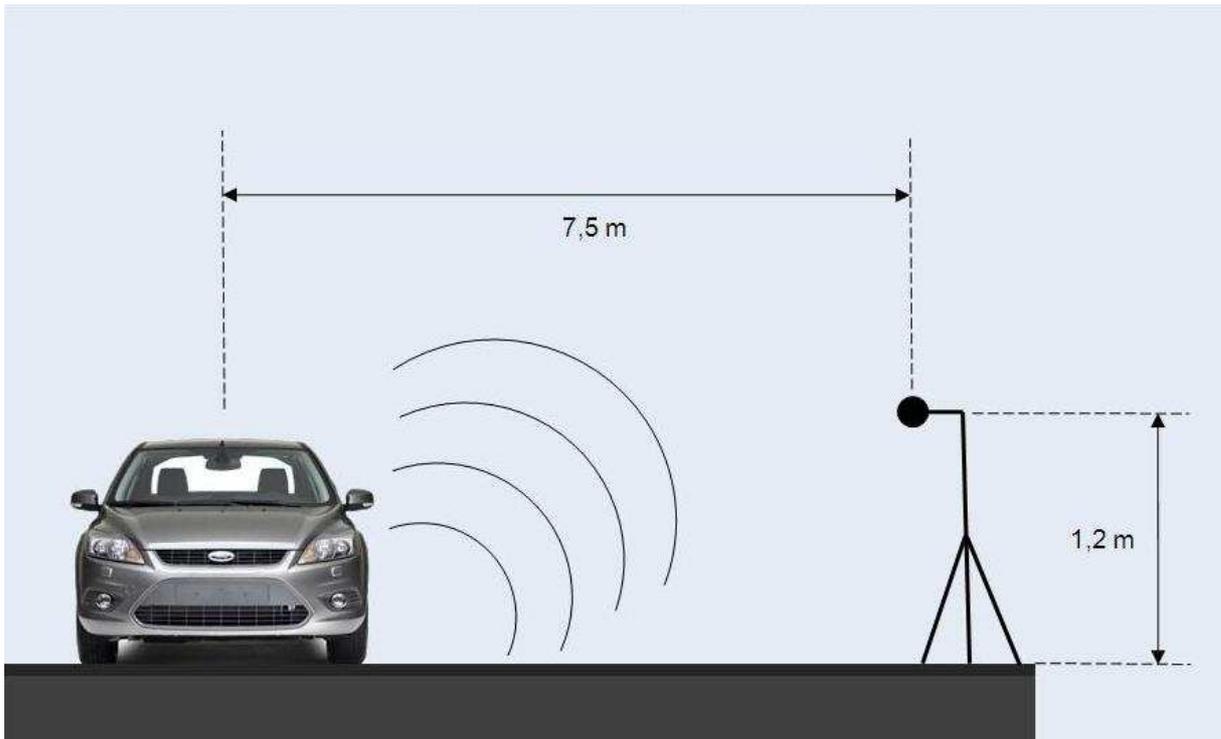


Figura 8.1 Posicionamento do medidor de ruído em metros

Fonte: SILVA, 2009

Para a avaliação, considerando o ruído do motor, foi utilizada a mesma norma, porém os ensaios foram realizados com o motor ligado e os resultados foram comparados entre os diferentes trechos. Foi também realizada uma análise da influência do ruído do motor no ruído da interação pneu/pavimento conforme se aumenta a velocidade. Ambos os dados também estão expostos em gráficos, posteriormente.

Todas as medições para este estudo foram realizadas somente com um tipo de veículo, e os ensaios realizados em um ambiente acústico ideal, num extenso espaço aberto, ambos atendendo à exigência da norma que preconiza tais condições:

- medições em estações oficiais de ensaio;
- medições de aprovação do veículo.

O veículo utilizado atende à categoria M1 da norma, para veículos motorizados com pelo menos quatro rodas, utilizados para transporte de passageiros, compreendendo não mais que oito assentos, além do motorista.

A Figura 8.2 apresenta um esquema das dimensões do local dos ensaios.

condições preconizadas na norma com relação às características das seções transversais e longitudinais das vias e seu entorno, e também a necessidade de se reduzir ao máximo a influência do ruído de fundo no espaço teste.

Em alguns trechos, as velocidades selecionadas não puderam ser atendidas porque as extensões dos trechos de aproximação eram pequenas e não tinha como atingir alta velocidade.

As estações testes, onde foram executas as medições, foram:

- trecho da via urbana “Avenida Rio Branco”, de pavimento intertravado, na cidade de Cruzeiro do Oeste, entre Maringá e Umuarama;
- trecho Nossa Senhora das Graças, de pavimento com revestimento em tratamento superficial triplo, entre a cidade de Maringá e Colorado;
- trecho da Rodovia PR-317, de pavimento com revestimento de CAUQ com ligante modificado de asfalto-borracha, entre a cidade de Maringá e Floresta.

8.2 CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO ENSAIO

As medições foram realizadas todas no período da manhã, do mês de janeiro de 2012, no intervalo das 9h às 11h, e atendendo às condições de temperatura e demais condições climáticas preconizadas na norma e detalhadas posteriormente neste capítulo.

Os aparelhos utilizados para medição do ruído com motor ligado e motor desligado foram:

- medidor de nível de pressão sonora DL4200 - Decibelímetro Digital com Datalogger (armazenamento digital) DL-4200;
- medidor de nível de pressão sonora SOLO;
- calibrador acústico padrão, de sinal senoidal, com 94 dB a 1 Khz – CAL 3000 Instruterm IEC 942 classe 1;
- relógio termo-higrômetro da marca MINIPA (MT 241);
- medidor DataLogger TESTO (177-H1);
- medidor de velocidade do vento da marca TESTO (405-V1);

No trecho de pavimento intertravado, o medidor SOLO não foi acionado.

Em todas as medições, o medidor de nível de pressão sonora DL4200 foi calibrado antes e após os ensaios, e todas as leituras apresentaram valores próximos de 94 dB(A). A calibração do medidor de nível de pressão sonora da marca SOLO é automática.

Como o medidor SOLO não foi acionado no Trecho de Cruzeiro do Oeste, os dados conseguidos nos demais trechos (com o medidor SOLO) não foram utilizados nesta pesquisa. Os dados utilizados para esta pesquisa referem-se somente aos dados obtidos com o medidor DL-4200, realizados nos três trechos.

Durante as medições não foi permitida a presença de qualquer objeto próximo aos microfones, para que não houvesse interferência no campo acústico.

As Figuras 8.3, 8.4 e 8.5, respectivamente, mostram os equipamentos de medida e o seu posicionamento no momento de medição, nos trechos da rodovia PR-317 entre Maringá e Floresta, no trecho Nossa Senhora das Graças e no trecho de Cruzeiro do Oeste, respectivamente.



Figura 8.3 Posição dos medidores no trecho da PR-317, entre Maringá e Floresta



Figura 8.4 Posição dos medidores no trecho Nossa Senhora das Graças.



Figura 8.5 Posição dos medidores no trecho da Avenida Rio Branco, em Cruzeiro do Oeste.

8.2.1 Caracterização do Local

Para o ensaio foram escolhidas três estações testes. Os trechos de monitoramento de cada estação foram selecionados de tal forma que se apresentassem, tanto quanto possível, retos e de elevada extensão, para que os veículos pudessem atingir as velocidades pretendidas. A área envolvente do ponto de medição do ruído ficou livre, tanto quanto possível, de

também os pavimentos intertravados para realização de pesquisas relacionadas a ruído de tráfego.

Os pavimentos intertravados do trecho de Cruzeiro do Oeste são compostos por peças pré-moldadas em concreto, de formato sextavado, que comumente são assentados sobre camada de areia e travados entre si, como se pode observar na Figura 10.5.

Na Figura 8.7 tem-se um perfil das camadas do pavimento intertravado, onde se observa o colchão de areia de assentamento sobre a base.

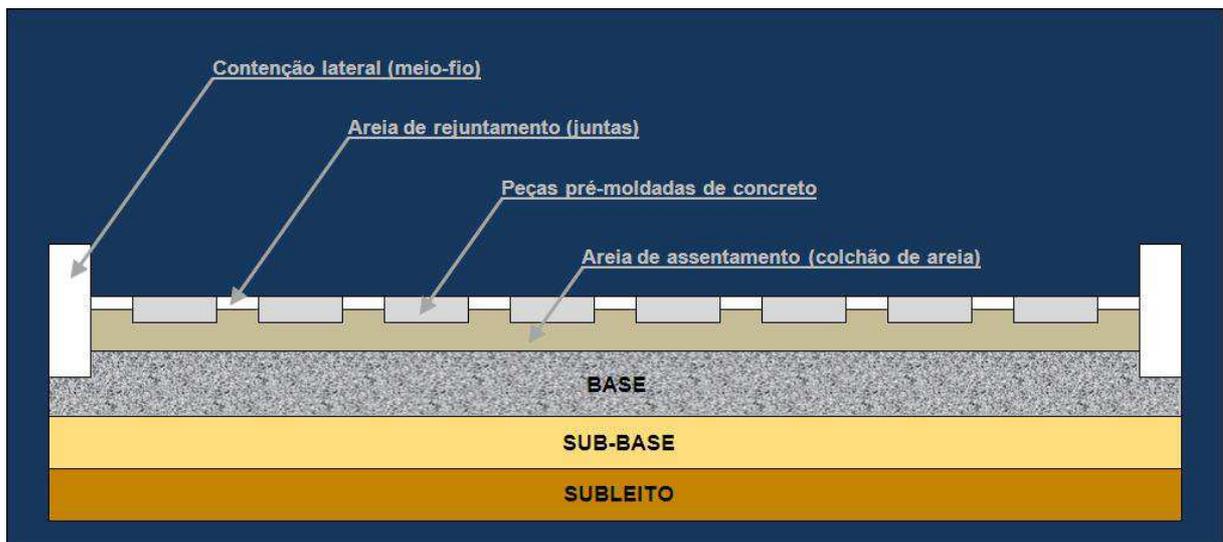


Figura 8.7 Perfil das camadas do pavimento intertravado, onde se observa o colchão de areia de assentamento sobre a base.

Fonte: HALLACK, 1998

Esta mesma estrutura é empregada para todos os tipos de blocos utilizados neste tipo de pavimento (ARY, 2007).

A segunda estação teste fica entre as cidades de Nossa Senhora da Graças e Alto Alegre, na PR-317, chamado de Trecho Nossa Senhora das Graças, localizado aproximadamente a 70 km da cidade de Maringá, Paraná, conforme realçado em vermelho na Figura 8.8.

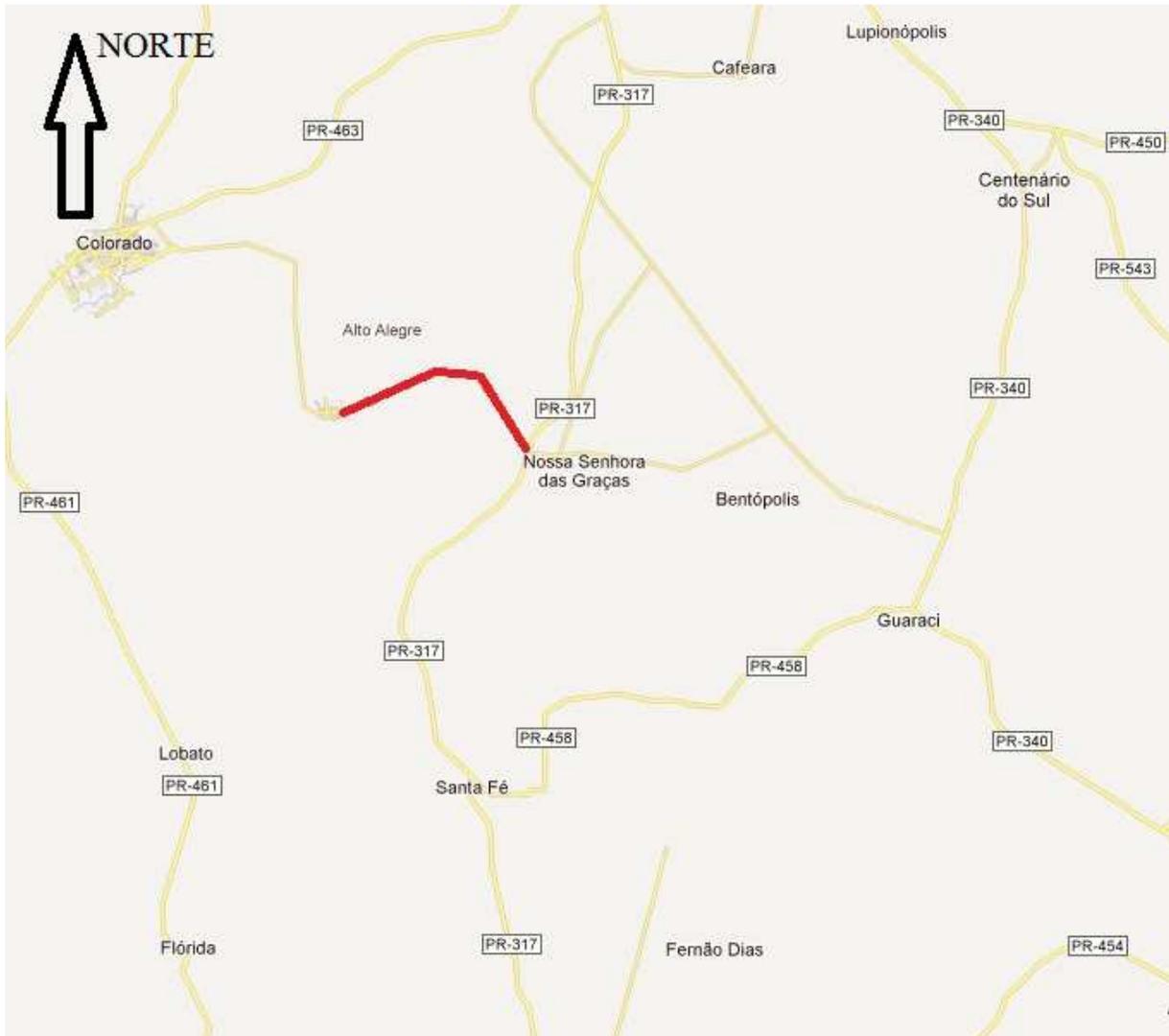


Figura 8.8 Trecho Nossa Senhora das Graças, na PR-317, entre as cidades de Nossa Senhora das Graças e Alto Alegre, no Noroeste do Paraná, Brasil

Fonte: GOOGLE MAPS, 2012

Trata-se de um trecho de pavimento com revestimento asfáltico de TST – Tratamento Superficial Triplo, de tráfego médio, onde as velocidades alcançadas para o ensaio foram as baixas de 40 e 60 km.h^{-1} , as médias de 70 e 80 km.h^{-1} e a alta de 110 km.h^{-1} .

De acordo com o projeto executivo do DER/PR, o pavimento com TST, do trecho de ensaio, foi concluído em 2007, e é constituído das seguintes camadas:

1. tratamento superficial triplo com polímero – TST (novo);
2. tratamento superficial triplo – TST (antigo);
3. base de solo melhorado com cimento (± 15 cm);
4. sub-base de solo melhorado com cimento (± 15 cm).

Na Figura 8.4 pode ser visto o trecho de ensaio, com revestimento em TST. E na Figura 8.9 uma figura representativa do perfil.

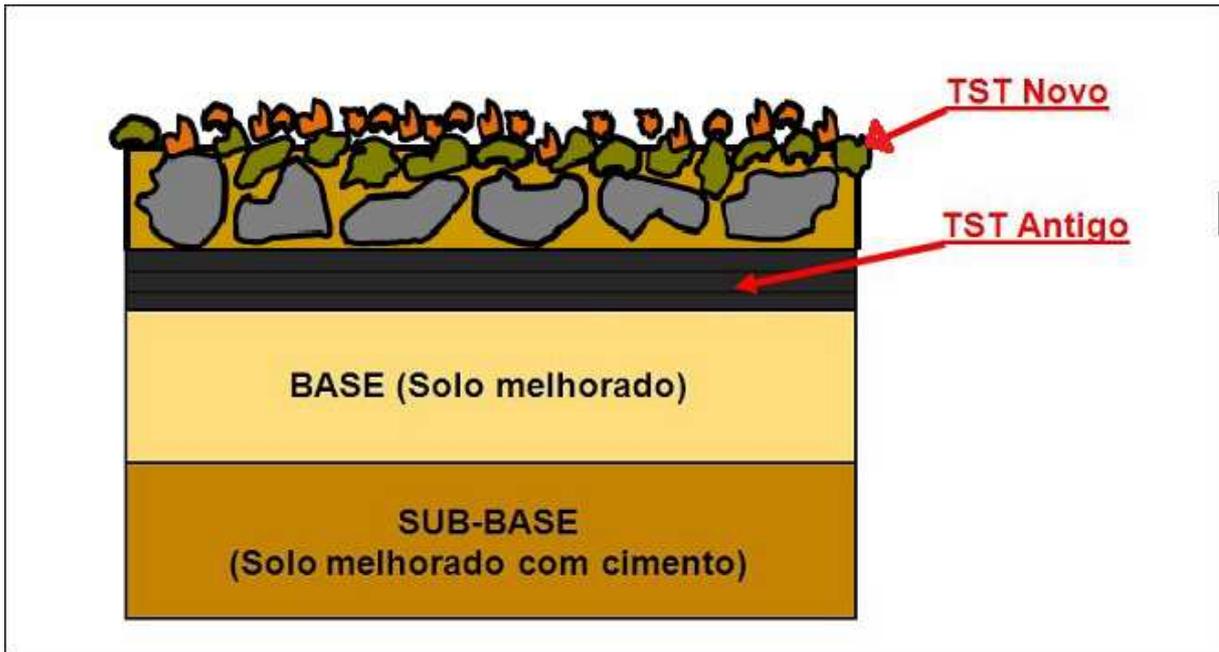


Figura 8.9 Perfil das camadas do pavimento com revestimento em TST.

A terceira estação teste fica entre as cidades de Maringá e Floresta, na PR-317, chamado de Trecho da PR-317 entre Maringá e Floresta, localizado a aproximadamente 20 km da cidade de Maringá, Paraná, conforme realçado em vermelho na Figura 8.10.

Trata-se de um trecho de pavimento com revestimento em concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ), com ligante modificado em asfalto-borracha, de tráfego intenso e pesado, onde as velocidades alcançadas para o ensaio foram as baixas de 40 e 60 km.h⁻¹, a média de 80 km.h⁻¹ e a alta de 110 km.h⁻¹.

Conforme informação do DER/PR, o pavimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha foi concluído há um ano e é constituído das seguintes camadas:

1. concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) com ligante modificado com asfalto-borracha (20 cm);
2. base de solo-cimento (10 cm);
3. sub-base de arenito (18 cm);

Na Figura 8.3 pode ser visto o trecho de ensaio, com revestimento em asfalto-borracha.



Figura 8.10 Trecho da PR-317 entre as cidades de Maringá e Floresta, no Noroeste do Paraná, Brasil

Fonte: GOOGLE MAPS, 2012

8.2.2 Caracterização do veículo de ensaio.

Para a realização do ensaio de monitoramento nas três estações de teste foi utilizado um mesmo veículo padrão. O veículo de teste foi um Focus Hatch 1.6, ano 2011, da marca Ford, cujas características dimensionais estão expostas na Figura 8.11.

A escolha deste veículo teste se deu por ser um modelo característico da frota nacional, com baixa quilometragem no início do ensaio. A quilometragem do veículo teste no começo e no final da campanha foram respectivamente 8.313 km e 8.971 km.

O peso do veículo em ordem de marcha, ou seja, pronto para dirigir (com o líquido de arrefecimento, lubrificantes, tanque de combustível de 90% da capacidade, ferramentas e pneu sobressalente), incluindo o motorista, foi de 1.380 kg. A potência do motor do veículo é de 116 cv. O combustível utilizado para os ensaios foi o álcool (etanol).

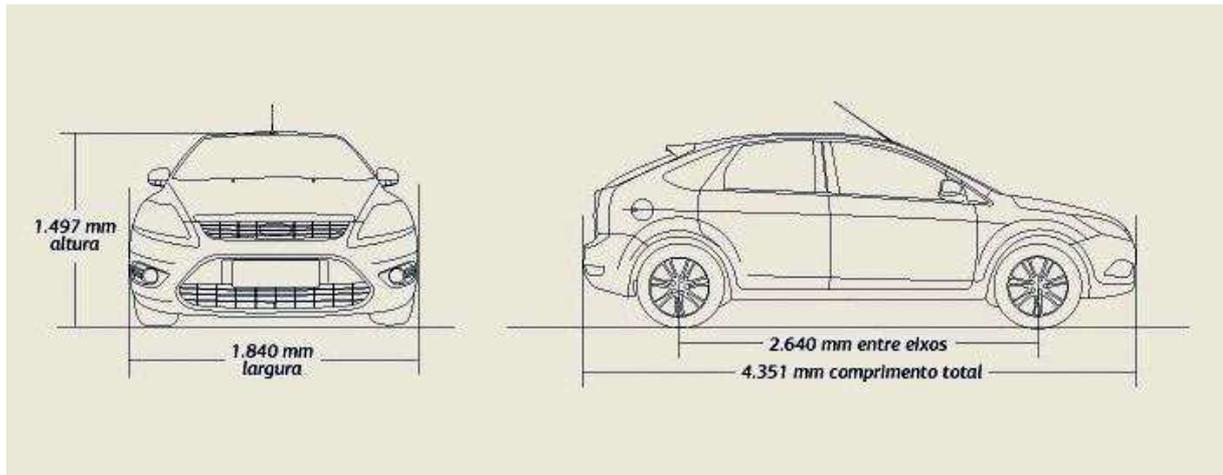


Figura 8.11 Características dimensionais do veículo teste

Fonte: Site oficial da FORD BRASIL, 2011

Os pneumáticos utilizados no veículo teste foram os originais do veículo, modelo P 205/55 R16 91V da marca Pirelli, cujas siglas, segundo informações do site da Pirelli, indicam:

- P pneu de veículo de passageiro;
- 205 largura da seção transversal (mm);
- 55 relação altura/largura da seção transversal (%);
- R construção radial;
- 16 diâmetro do aro (polegadas);
- 91 índice de carga do pneu;
- V índice de velocidade do pneu.

A medida dos sulcos pneumáticos foram próximos a 4 mm, superior à mínima exigida pela norma, que é de 1,6 mm. Os detalhes de banda de rodagem do pneumático podem ser observados na Figura 8.12 obtidos pela autora.

A pressão média dos pneus durante os ensaios foram mantidas entre 28 e 30 lb, seguindo as recomendações do fabricante do veículo.



Figura 8.12 Pneu dianteiro do veículo utilizado nos ensaios e os detalhes de banda de rodagem

8.2.3 Caracterização da velocidade de ensaio

A velocidade de ensaio, para esta pesquisa, foi estabelecida em função dos limites legais para o tipo de veículo teste e categoria da estrada, o que compreendeu os três níveis:

- velocidade baixa – entre 50 km/h e 60 km.h⁻¹;
- velocidade média – entre 65 km/h e 90 km.h⁻¹;
- velocidade alta – entre 100 km/h a 110 km.h⁻¹;

As velocidades conseguidas dependeram da categoria de cada estação teste.

Na primeira estação teste – Avenida Rio Branco, na cidade de Cruzeiro do Oeste – foram realizados ensaios nas velocidades 40, 60 e 70 km.h⁻¹, com o motor ligado e com o motor desligado, sendo realizadas quatro passagens por velocidade, conforme orienta a norma, num total de 24 passagens.

Na segunda estação teste – Trecho Nossa senhora das Graças, na PR-317 – foram realizados ensaios nas velocidades 40, 60, 70, 80 e 110 km.h⁻¹, com o motor ligado e com o

motor desligado, sendo realizadas quatro passagens por velocidade, num total de 40 passagens.

Na terceira estação teste – Trecho da PR-317 entre Maringá e Floresta – foram realizados ensaios nas velocidades 40, 60, 80 e 110 km.h⁻¹, com o motor ligado e com o motor desligado, sendo realizadas quatro passagens por velocidade, num total de 32 passagens.

Algumas das planilhas com os dados dos medidores estão expostos no ANEXO.

8.2.4 Caracterização das condições climáticas

A norma ABNT NBR 151445:2004 recomenda que os ensaios não sejam executados se a velocidade do vento, incluindo as rajadas, na altura do microfone, exceder o valor de 5 m/s durante o intervalo de medição de ruído.

A velocidade do vento influencia fortemente o ruído aerodinâmico a velocidades superiores a 120 km.h⁻¹ para veículos ligeiros (SANTOS et al., 2011). As velocidades de ensaio foram inferiores a este limite.

Na tabela 8.1 estão dispostos os dados da média da medição da velocidade do vento (m/s) para cada estação teste.

Orientação	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
Pavimento intertravado	0,98	0,90	0,41	0,23	0,34	1,14	0,48	0,65	0,98
Superfície TFT	3,56	5,08	0,62	0,42	5,35	4,69	0,71	1,15	3,56
Superfície Asfalto/Borracha	2,06	4,78	1,92	0,47	0,57	3,27	2,28	0,73	2,06

Tabela 8.1 Dados da média da medição da velocidade do vento (m/s) para cada estação teste

Os dados relativos à velocidade do vento estiveram relativamente todas dentro do intervalo permitido, no entanto, os dados, no trecho com revestimento em TST, nas orientações de 45° e 180°, ultrapassaram um pouco o limite da norma, porém não foi feita a correção dos níveis de ruído, uma vez que a alteração resultante seria inferior ao erro do equipamento de medida e à variabilidade dos níveis de ruído registrados.

A Figura 8.13 mostra a medição do vento no momento do ensaio em Cruzeiro do Oeste.



Figura 8.13 – Medidor da velocidade do vento

Quanto à temperatura, a norma refere que a temperatura ambiente deve estar compreendida entre 0°C e 40°C. Segundo FREITAS (2008), a temperatura do pavimento deve estar compreendida entre os 5°C e 50°C.

Os dados relativos à temperatura ambiente e também a temperatura do asfalto, nos três dias em que foram realizados os ensaios, estiveram dentro do intervalo permitido. Nos ensaios também foram realizadas as medições de umidade relativa do ar (%), conforme orienta a norma.

Os ensaios de monitoramento foram executados todos no mês de janeiro de 2012, no período matutino entre 09h00 e 11h00, do horário brasileiro de verão.

Na tabela 8.2 estão dispostos a data, o horário, o local e as demais condições climáticas: umidade relativa (UR), temperatura do ambiente e temperatura do asfalto, de cada estação teste, durante todo o período do ensaio.

Trecho	Data	Horário	UR (%)	T_{ar} (°C)	T_{asfalto} (°C)
Intertravado	19/01/2012	Início – 9h42	64,10	26,60	NM
		Fim – 10h27	59,0	27,70	35,20
TST	21/01/2012	Início – 9h13	74,00	26,60	34,00
		Fim – 10h33	71,00	28,40	45,00
Asfalto borracha	22/01/2012	Início – 9h54	75,90	23,80	26,00
		Fim – 10h45	67,70	26,60	37,00

Tabela 8.2 Condições climáticas das estações teste. NM: não medido

Na estação teste com pavimento intertravado, em Cruzeiro do Oeste, não foi realizada a medição da temperatura do asfalto no início do ensaio, somente no final. No entanto, como a temperatura final do asfalto foi de 35,20°C, e a temperatura ambiente neste horário era superior à temperatura inicial, supõe-se que no início do ensaio a temperatura do asfalto era inferior a 35,20°C e, portanto, inferior ao limite de 50°C, conforme orienta Freitas (2008).

9 ANÁLISE E RESULTADOS

Neste capítulo estão dispostos os resultados dos ensaios após tratamento de dados.

Isto se deu através de ensaios de monitoramento de um veículo teste padrão, nas três superfícies de revestimento, em diferentes velocidades, nas condições motor ligado e desligado.

Para a execução dos ensaios, todas as variáveis envolvidas foram compatibilizadas, a fim de evitar conflitos nos resultados. As condições climáticas e de velocidades atenderam às normas nos três trechos de ensaio. O veículo teste foi o mesmo nos três monitoramentos e suas condições de uso atenderam às especificações da norma e do fabricante, tais como as medidas mínimas dos sulcos e calibração dos pneumáticos, além da baixa quilometragem.

Alguns dos dados obtidos no momento dos ensaios, através do aparelho de medição, antes do tratamento de dados, estão apresentados no APÊNDICE, para melhor entendimento da pesquisa.

9.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos no monitoramento foram organizados por velocidade de ensaio, de acordo com o limite estabelecido para cada categoria de estrada. Através do tratamento de dados obteve-se o nível sonoro equivalente (L_{EQ}), o índice estatístico de projeto (L_{10}) e o ruído de fundo (L_{90}) para cada velocidade. Na Tabela 9.1 estão dispostos os resultados dos níveis sonoros versus velocidade para os ensaios com o motor desligado.

Velocidade (km.h ⁻¹)	Pavimento intertravado			Revestimento em TST			Revestimento em Asfalto Borracha		
	L_{EQ} dB(A)	L_{10} dB(A)	L_{90} dB(A)	L_{EQ} dB(A)	L_{10} dB(A)	L_{90} dB(A)	L_{EQ} dB(A)	L_{10} dB(A)	L_{90} dB(A)
40	62,8	67,8	49,8	61,6	65,5	53,4	62,1	64,6	55,1
60	68,1	72,9	47,0	66,5	71,8	54,2	64,5	68,3	54,0
70	70,1	75,3	50,6	67,3	72,4	52,1			
80				68,4	73,7	51,3	69,8	74,7	56,0
110				76,5	80,1	52,7	73,2	78,8	54,1

Tabela 9.1 Resultados dos níveis sonoros versus velocidade para os ensaios com o motor desligado

Na Tabela 9.2 estão dispostos os resultados dos níveis sonoros versus velocidade para os ensaios com o motor ligado.

Velocidade (km.h ⁻¹)	Pavimento intertravado			Revestimento em TST			Revestimento em Asfalto Borracha		
	L _{EQ} dB(A)	L ₁₀ dB(A)	L ₉₀ dB(A)	L _{EQ} dB(A)	L ₁₀ dB(A)	L ₉₀ dB(A)	L _{EQ} dB(A)	L ₁₀ dB(A)	L ₉₀ dB(A)
40	65,1	68,7	51,9	64,1	66,6	53,7	64,4	65,5	58,1
60	69,3	72,6	48,9	66,6	71,0	55,4	65,6	70,2	56,2
70	70,8	75,2	47,9	69,0	73,0	52,6			
80				69,4	75,3	51,9	70,3	74,9	56,5
110				76,7	79,0	51,6	75,1	80,9	58,1

Tabela 9.2 Resultados dos níveis sonoros versus velocidade para os ensaios com o motor ligado

9.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nas Figuras 9.1, 9.2 e 9.3, respectivamente, foi analisada a influência do motor (ligado e desligado) na geração de ruído na interação pneu/pavimento, conforme o aumento da velocidade.

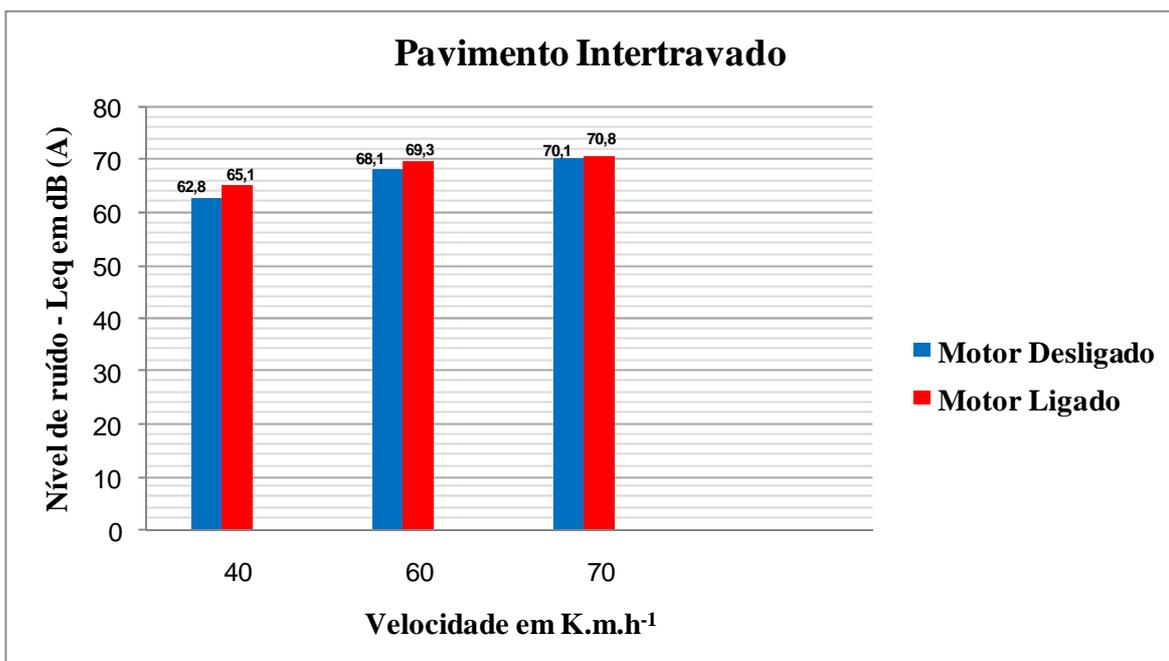


Figura 9.1 Pavimento intertravado: níveis totais de ruído externo para cada velocidade

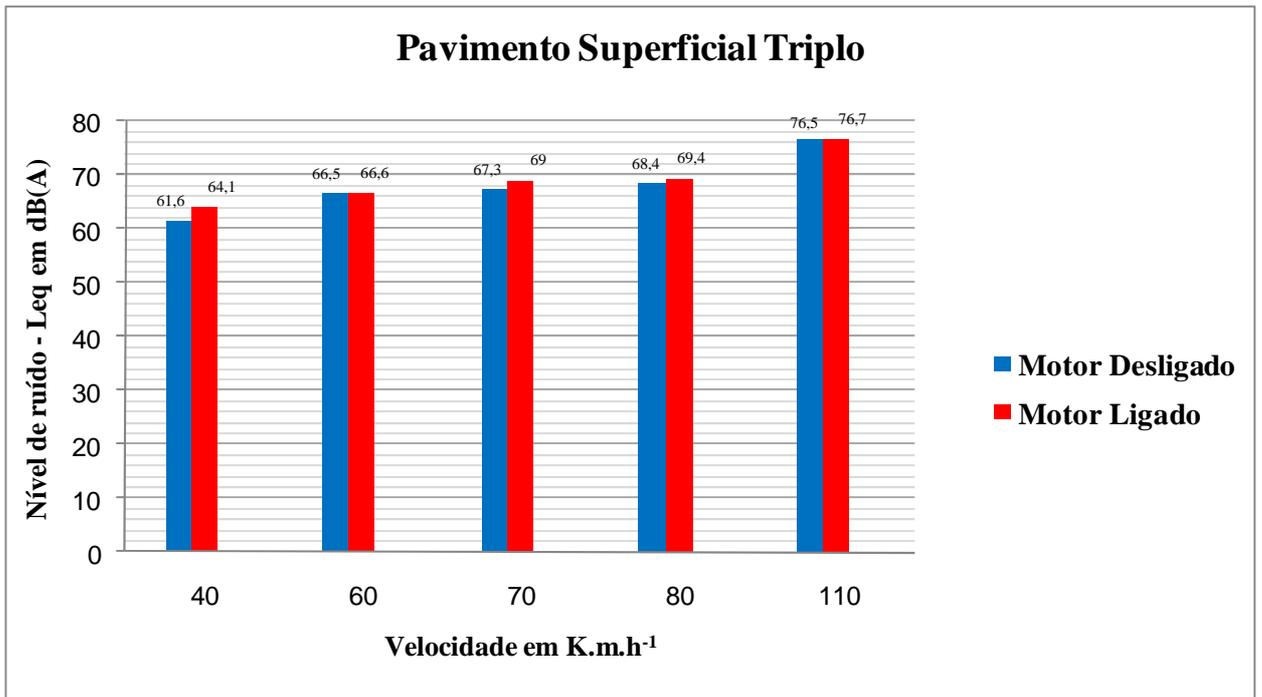


Figura 9.2 Tratamento superficial triplo (TST): níveis totais de ruído externo para cada velocidade

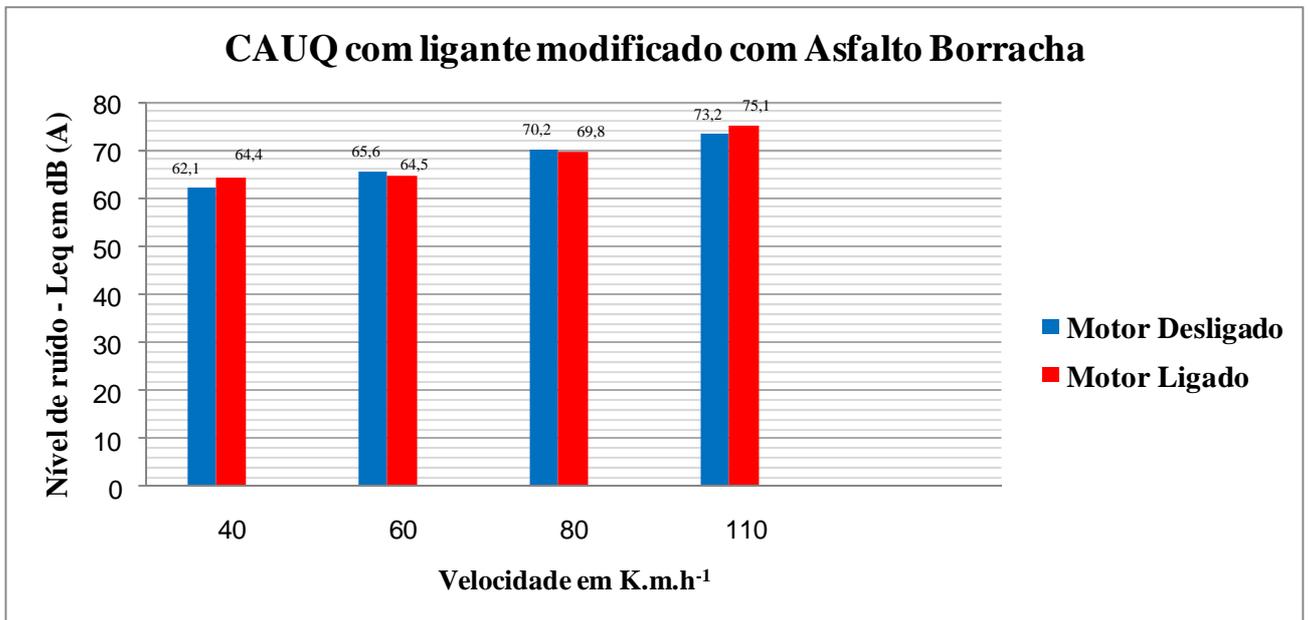


Figura 9.3 CAUQ com ligante modificado em asfalto-borracha: níveis totais de ruído externo para cada velocidade

Ao comparar o resultado dos níveis sonoros de cada velocidade, com o motor ligado e desligado, nos três trechos, percebe-se que o pavimento intertravado apresenta o nível de ruído maior em todas as velocidades que foram ensaiadas, seja com o motor ligado ou não.

Mesmo o ruído de fundo, no ensaio do pavimento intertravado, sendo o menor dos três trechos. As Figuras 9.4, 9.5 e 9.6, respectivamente, mostram o ruído de fundo para cada velocidade nos ensaios realizados nos três trechos.

Percebe-se também que das três superfícies de rolamento, a de pavimento intertravado e TST foram as que demonstraram a maior diferença aos 40 km.h⁻¹, entre motor desligado e ligado.

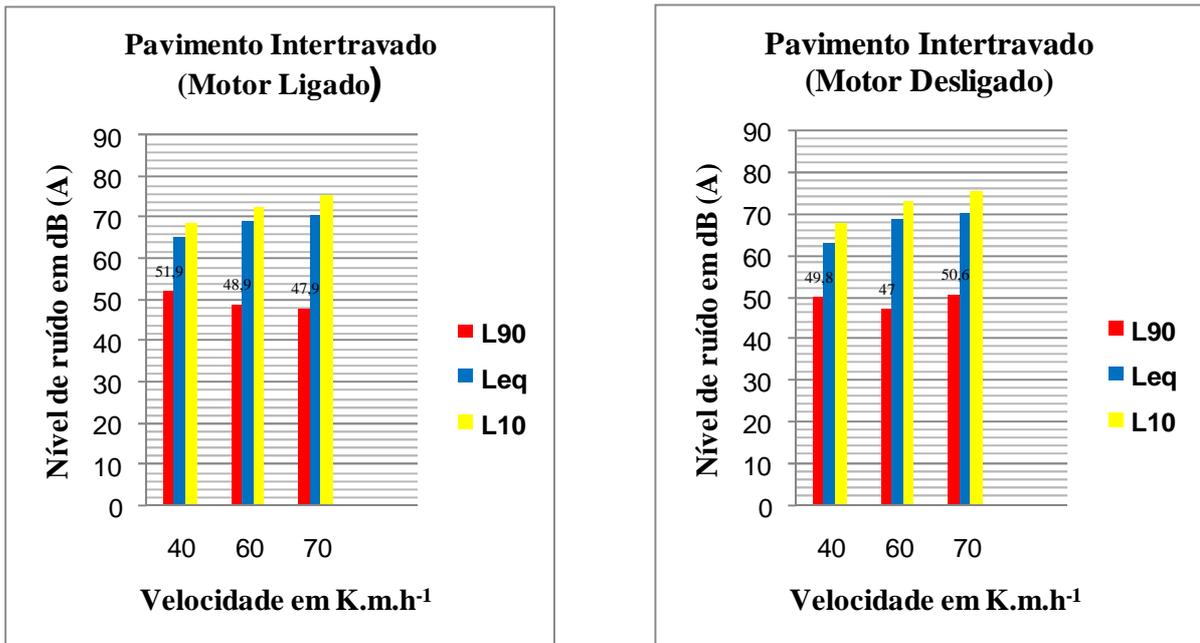


Figura 9.4 Ruído de fundo para o pavimento intertravado, motor ligado e desligado

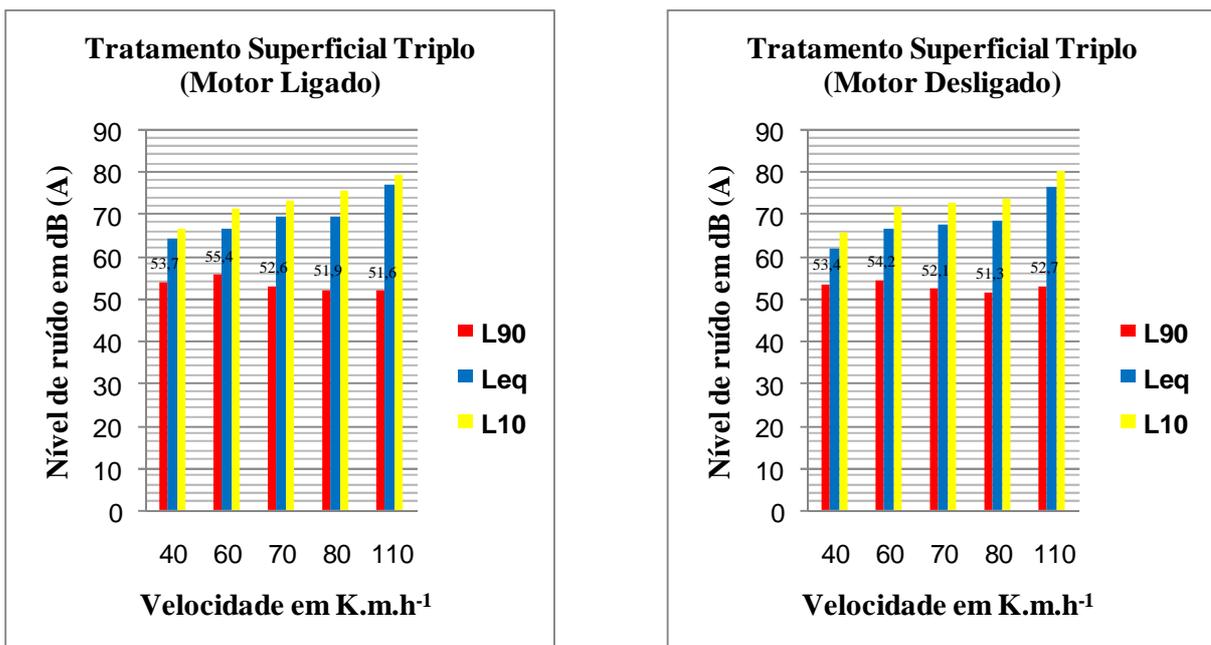


Figura 9.5 Ruído de fundo para superfície com TST, motor ligado e desligado

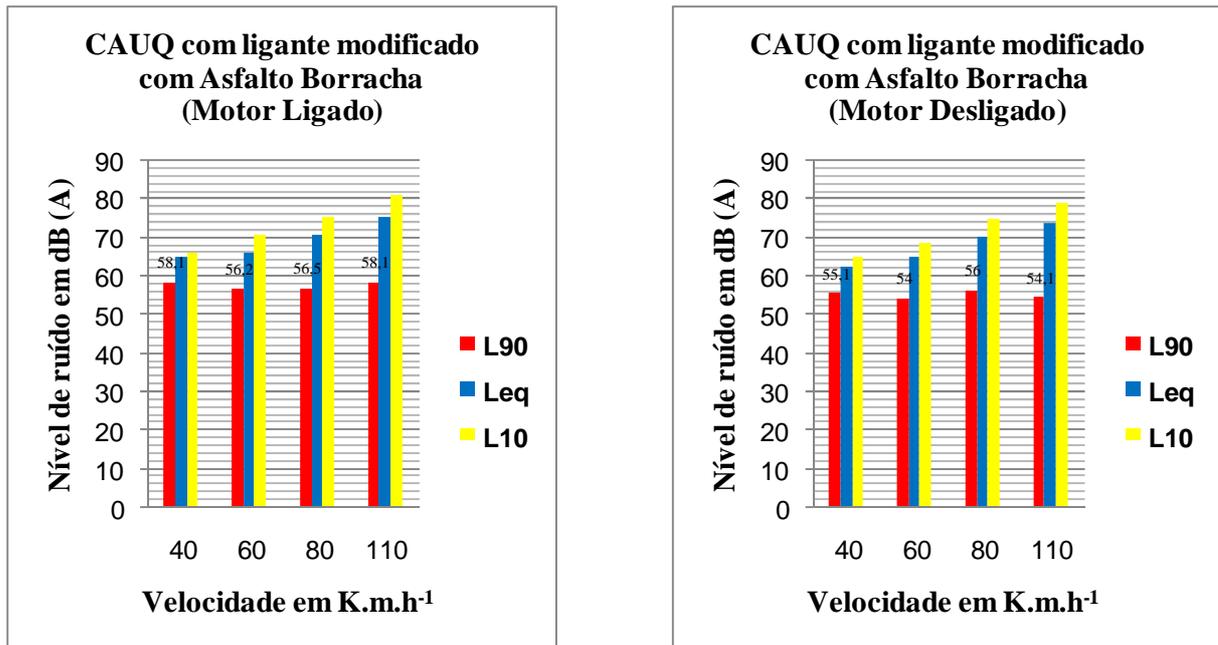


Figura 9.6 Ruído de fundo para superfície em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, motor ligado e desligado

Nas velocidades inferiores a 50 km.h⁻¹, nas quais deve prevalecer o ruído do motor e não o da interação pneu/pavimento, é possível perceber que a diferença aumenta de 2 a 3 decibéis, ao comparar a velocidade do motor desligado com o motor ligado.

Comparando os níveis sonoros no monitoramento do pavimento em TST com o pavimento em asfalto-borracha, percebe-se que o segundo apresenta os níveis inferiores em quase todas as velocidades, com exceção das velocidades inferiores a 50 km.h⁻¹, nas quais prevalece o ruído do motor e, mesmo assim, a diferença é mínima entre um pavimento e outro. Conclui-se que, mesmo o ruído de fundo sendo maior no monitoramento realizado no pavimento em asfalto-borracha, o pavimento ecológico garantiu os níveis de ruídos menores.

Os gráficos que revelam o ruído de fundo tiveram como objetivo ilustrar a influência do campo acústico das estações testes em mascarar as medições realizadas. Algumas medições sofrem a influência do mascaramento. No caso do trecho da PR-317, entre Maringá e Floresta, houve a maior influência das três estações. Isto se deve ao movimento intenso de tráfego de veículos e à existência de duas pistas na estação teste, que, mesmo as medições sendo pontuais e efetuadas nos intervalos de ausência da passagem de veículos, ainda sofreram interferência do ruído de fundo.

As Figuras 9.7 e 9.8 comparam o nível de ruído equivalente (L_{EQ}), conforme o aumento das velocidades de ensaio, entre o pavimento intertravado e o pavimento com revestimento em TST, nas condições motor desligado e ligado, respectivamente.

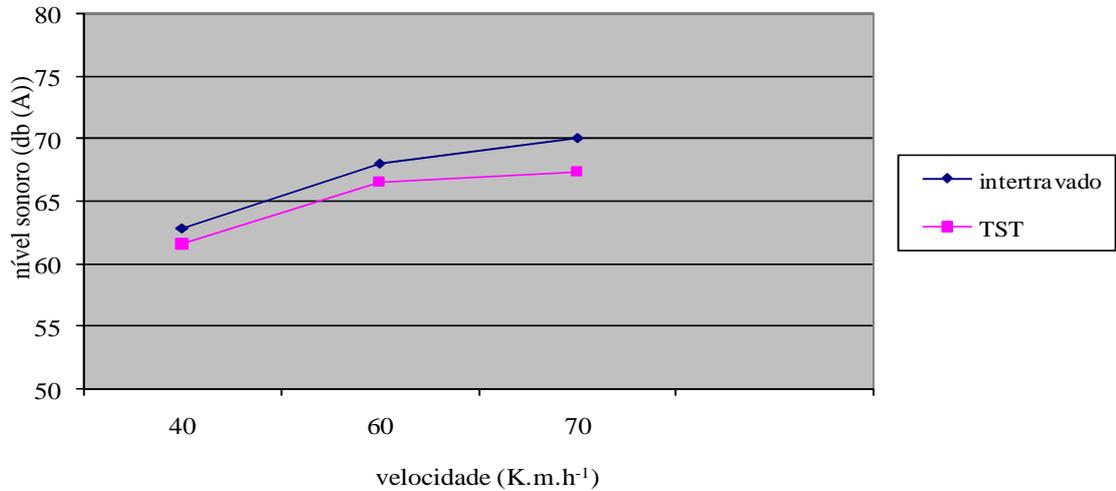


Figura 9.7 Comparação do nível de ruído equivalente (LEQ), conforme o aumento da velocidade (km.h⁻¹), entre o pavimento intertravado e o pavimento com revestimento em TST, na condição motor desligado.

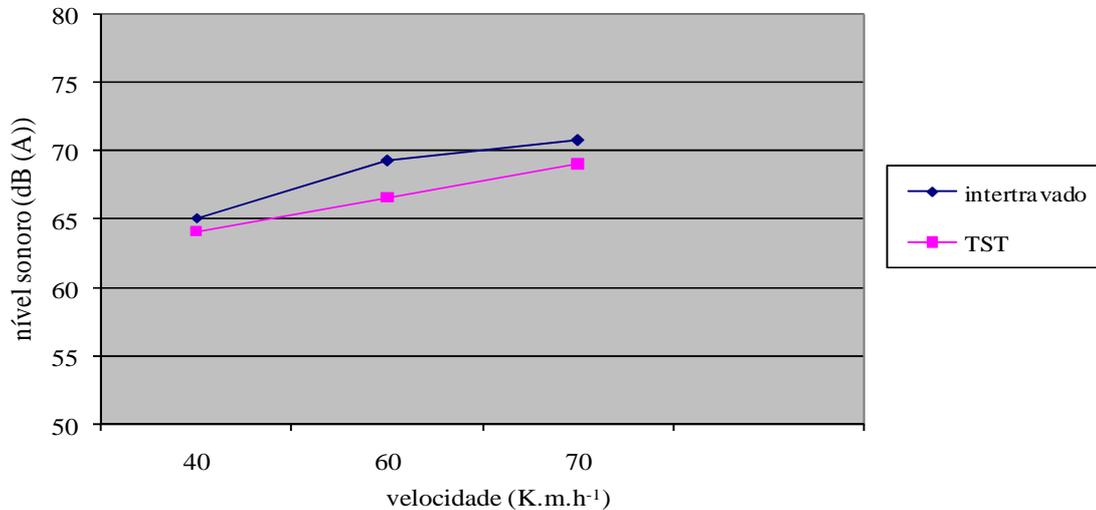


Figura 9.8 Comparação do nível de ruído equivalente (LEQ), conforme o aumento da velocidade (km.h⁻¹), entre o pavimento intertravado e o pavimento com revestimento em TST, na condição motor ligado.

Observa-se, ao comparar os dois gráficos, que o pavimento intertravado, devido ao elevado número de juntas e modo de execução (encaixado sobre colchão de areia), garante o maior nível sonoro em todas as velocidades, esteja o motor desligado ou ligado.

As Figuras 9.9 e 9.10 comparam o nível de ruído equivalente (L_{EQ}), conforme o aumento das velocidades de ensaio, entre o pavimento com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado em asfalto-borracha, nas condições motor desligado e ligado, respectivamente.

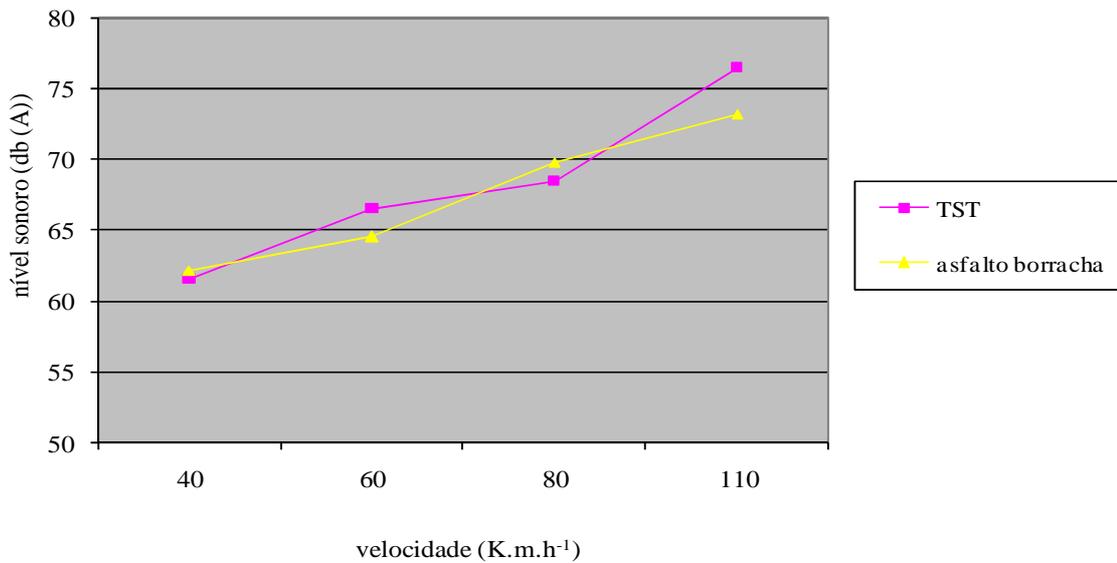


Figura 9.9 Comparação do nível de ruído equivalente, conforme o aumento da velocidade, entre o pavimento com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor desligado.

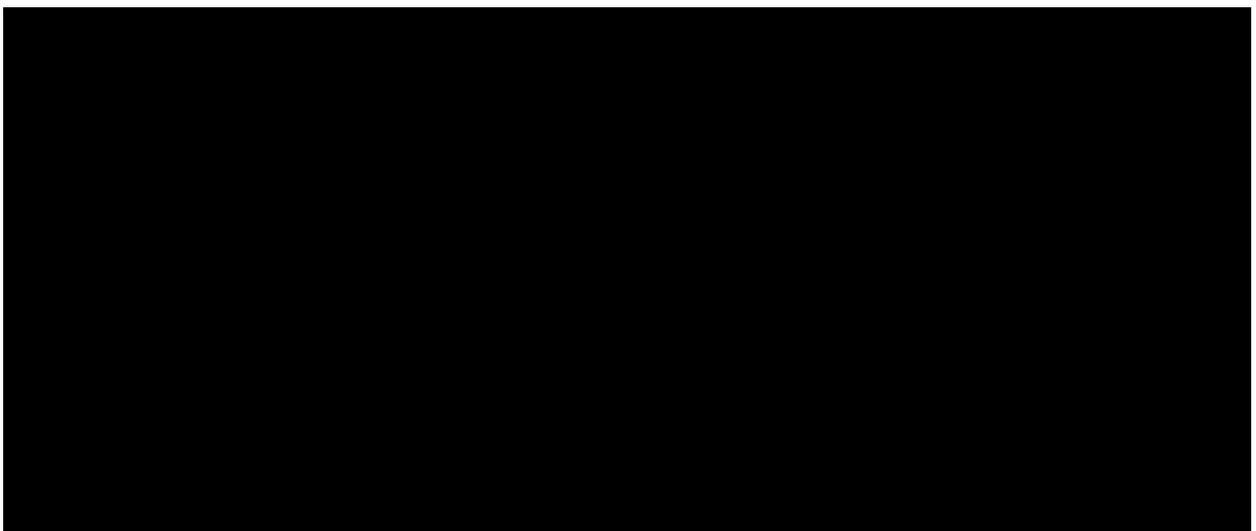


Figura 9.10 Comparação do nível de ruído equivalente, conforme o aumento da velocidade, entre o pavimento com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor ligado.

Ao comparar os dois gráficos de pavimentos de revestimento asfáltico, nota-se que a diferença de ruído por velocidade, levando em conta as condições motor ligado e desligado, é mínima, e que as duas retas estão bem próximas, se cruzando em alguns pontos.

Os pavimentos em revestimento asfáltico ainda são a melhor solução para vias urbanas, uma vez que os pavimentos intertravados se apresentaram bastante ruidosos, nas duas condições: motor ligado e desligado.

Nota-se também que nas baixas e médias velocidades, as duas condições praticamente mantiveram os mesmos níveis de ruído, nos dois revestimentos. E que a diferença de nível sonoro foi maior na velocidade alta, de 110 km.h^{-1} , ao comparar as duas condições. Ou seja, o pavimento com revestimento em CAUQ com modificante com asfalto-borracha, mostrou-se menos ruidoso em alta velocidade e comprova que, para vias de tráfegos intensos, seria a melhor opção.

As Figuras 9.11 e 9.12 comparam o nível de ruído equivalente (L_{EQ}), nas velocidades de 40 e 60 km.h^{-1} , entre os pavimentos intertravado, os com revestimento em TST e o com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, nas condições motor desligado e ligado, respectivamente.

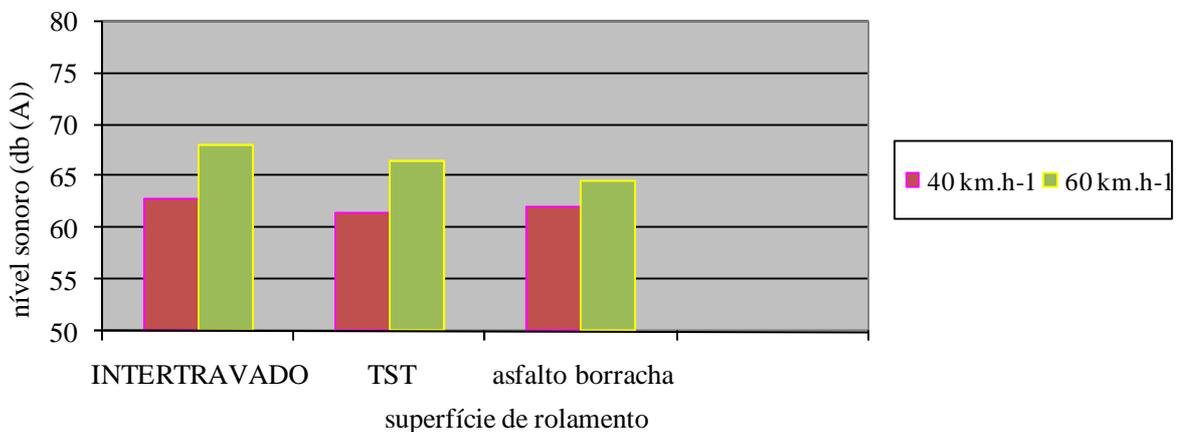


Figura 9.11 Comparação do nível de ruído equivalente, nas velocidades de 40 e 60 km.h^{-1} , entre os pavimentos intertravado, com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor desligado.

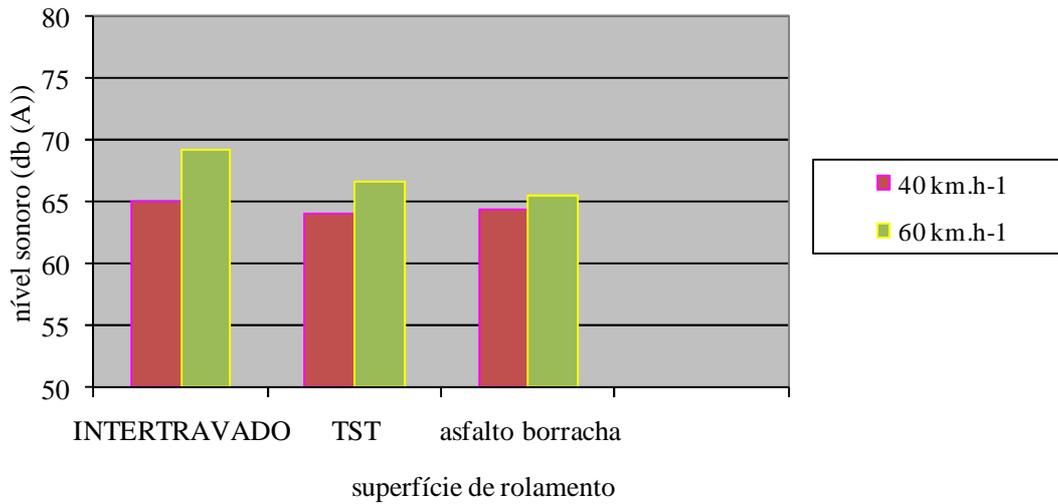


Figura 9.12 Comparação do nível de ruído equivalente, nas velocidades de 40 e 60 km.h⁻¹, entre os pavimentos intertravado, com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor ligado.

Nota-se que a diferença maior do nível de ruído entre as velocidades, para cada pavimento, é no pavimento intertravado, nas duas condições (ligado e desligado). Os pavimentos com revestimentos asfálticos apresentam níveis menores de ruído, comparado com o intertravado, porém o revestimento em CAUQ com ligante modificado em asfalto borracha é que apresenta a menor diferença.

A Figura 9.13 compara o nível de ruído equivalente (L_{EQ}), na velocidade de 40 km.h⁻¹, entre os pavimentos intertravado, com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, nas condições motor desligado e ligado.

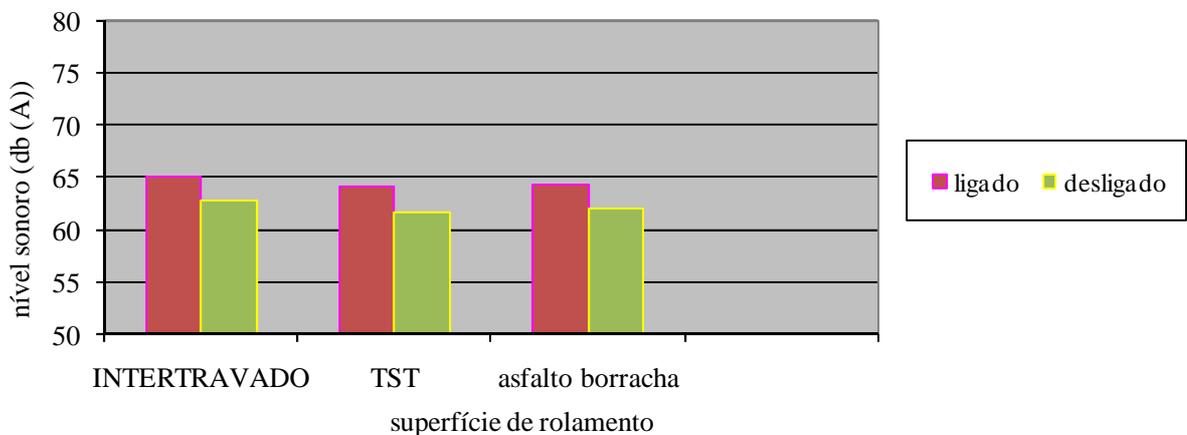


Figura 9.13 Comparação do nível de ruído equivalente, na velocidade de 40 km.h⁻¹, entre os pavimentos intertravado, com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor ligado e desligado.

A Figura 9.14 compara o nível de ruído equivalente (L_{EQ}), na velocidade de 60 km.h^{-1} , entre os pavimentos intertravado, com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, nas condições motor desligado e ligado.

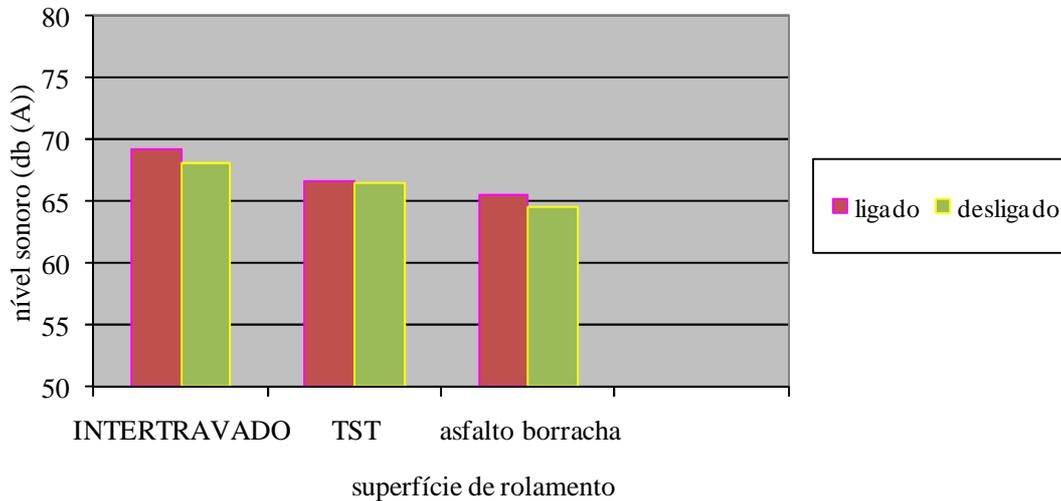


Figura 9.14 Comparação do nível de ruído equivalente, na velocidade de 60 km.h^{-1} , entre os pavimentos intertravado, com revestimento em TST e o pavimento com revestimento em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha, na condição motor ligado e desligado.

Através também dos ensaios nas condições motor ligado e desligado, aonde foram realizados ensaios a 40 km.h^{-1} e a 60 km.h^{-1} nos três tipos de revestimento, constatou-se que nas velocidades inferiores a 50 km.h^{-1} o ruído do motor prevalece ao ruído do pneu/pavimento, pois nos três ensaios de monitoramento a diferença de ruído na velocidade de 40 km.h^{-1} , nas condições do motor desligado e ligado, foram maiores do que nas velocidades superiores a 50 km.h^{-1} , ou seja, a 60 km.h^{-1} .

Isto comprova que o ruído do motor também tem muita influência na geração do ruído de tráfego, mas a influência maior é para as velocidades inferiores a 50 km.h^{-1} .

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

10.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho verificou-se uma relação de proporcionalidade direta entre a velocidade e pressão sonora, em diferentes superfícies de rolamento, nas condições motor ligado e desligado do veículo de circulação.

A análise conjunta da pressão sonora considerando o tipo de revestimento e a velocidade mostra a importância das propriedades acústicas dos revestimentos. E ao comparar esta mesma análise considerando a influência do motor, tem-se que esta variável (o motor do veículo) tem grande importância no aumento do ruído em baixa velocidade e deve também ser alvo de mitigação na proposição controle do ruído.

Os resultados dos ensaios nas três estações testes comprovaram que, à medida que se aumenta a velocidade, há um crescimento do nível sonoro e que a intensidade deste crescimento depende do tipo de revestimento da superfície de rolamento. Portanto, as características destes revestimentos são de grande importância para a geração de ruído.

Nas três superfícies estudadas, uma em concreto sextavado (intertravado) e outras duas em revestimento asfáltico, pôde-se notar que os pavimentos flexíveis (os pavimentos com revestimentos asfálticos) são menos ruidosos do que o intertravado, e que estudos mais aprofundados na textura destes revestimentos, melhor avaliariam a disposição dos agregados nas misturas asfálticas com relação à amplitude e comprimento de onda destas superfícies, obtendo-se melhores resultados com relação à emissão, propagação e absorção do ruído nos trechos de estudo.

O pavimento intertravado, devido à forma de execução (encaixado sobre colchão de areia) e elevado número de juntas, são grandes transmissores, junto à interação pneu/pavimento, do ruído rodoviário, e que, comparado com os ensaios dos dois demais trechos, obteve o maior nível de ruído e a maior diferença de nível entre motor ligado e desligado.

Através também dos ensaios nas condições motor ligado e desligado, constatou-se que nas velocidades inferiores a 50 km.h^{-1} o ruído do motor prevalece ao ruído do pneu/pavimento, pois nos três ensaios de monitoramento a diferença de ruído na velocidade de 40 km.h^{-1} , nas condições do motor desligado e ligado, foram maiores do que nas velocidades superiores a 50 km.h^{-1} .

Isto comprova que o ruído do motor também tem muita influência na geração do ruído de tráfego, mas a influência maior é para as velocidades inferiores a 50 km.h⁻¹.

No Brasil, as vias coletoras e vias locais, dos centros urbanos, apresentam velocidades máximas permitidas de 40 Km.h⁻¹ e 30 Km.h⁻¹, respectivamente, conforme DENATRAN (Departamento Nacional do Trânsito). Sendo assim, reduzir o ruído externo do tráfego de veículos, nestas vias, através da pavimentação, não seria o melhor método. Cabe aqui, estudar outros mecanismos de atenuação sonora, como visto no capítulo 4, no sentido de melhorar a qualidade ambiental destes usuários.

Ao analisar os resultados dos níveis sonoros nas três estações teste, nas velocidades médias e altas, principalmente nas de 80 e 110 km.h⁻¹, percebe-se que a diferença do nível sonoro, nas condições motor ligado e desligado, praticamente não existiu. Porém, o pavimento em CAUQ, com ligante modificado em asfalto-borracha, garantiu menores níveis, comparado ao revestimento em TST. Uma das alternativas viáveis para esta realidade seria apontar a idade dos dois revestimentos, uma vez que o desgaste do pavimento influencia no ruído – pavimentos desgastados são mais ruidosos – e o pavimento com asfalto-borracha tem apenas um ano do término da sua execução. O pavimento com revestimento em TST foi finalizado em 2007. Por outro lado, conforme visto em exemplos de pesquisas, no capítulo 5, estudos mais apurados da textura dos dois revestimentos poderiam validar esta afirmativa.

Sabe-se que pavimentos silenciosos são aqueles cuja textura apresenta maiores porcentagens de vazios e que a disposição dos agregados também é de grande importância.

Sendo assim, com esta pesquisa de Mestrado, em que foi caracterizado o ruído proveniente da passagem de um veículo, nas condições motor ligado e desligado, com diferentes velocidades e em diferentes pavimentos da nossa região, espera-se contribuir para a proposição diretrizes de controle do ruído.

10.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conhecimento aprofundado a respeito da textura superficial dos revestimentos a serem ensaiados seriam de grande valia, uma vez que poderiam aferir o tamanho do comprimento de onda e da amplitude dos agregados. A fim de mensurar se os revestimentos estudados apresentam resultados desejáveis (micro e macrotextura) ou indesejáveis (megatextura e rugosidade). E desta forma, compará-los com as variáveis velocidade e condições do motor (ligado e desligado).

Expandir a pesquisa para demais pavimentos, com revestimentos asfálticos, característicos da região: assim como o microrrevestimento asfáltico, a lama asfáltica e o CAUQ convencional.

Uma vez que a sugestão para a execução de “pavimentos silenciosos” é de apresentar soluções de redução do ruído não somente aos usuários externos, mas também aos usuários dos veículos, propõe-se fazer campanhas de ensaios nos trechos de estudo também para a avaliação do ruído interno do veículo, o que permitiria analisar o ruído sentido pelos condutores e passageiros.

Concluir a pesquisa com o aparelho SOLO no trecho de Cruzeiro do Oeste, onde não foi possível seu funcionamento, para avaliar a pesquisa com relação ao nível sonoro e frequência, para cada velocidade, nos três trechos, uma vez que o aparelho permite resultados do espectro sonoro.

Verificar o nível sonoro nos revestimentos nas condições de pista seca e pista molhada. Em estudos já realizados, comprovou-se que a intensidade e altura do nível de ruído nas condições pista molhada, são superiores aos na pista seca, causado pelo deslocamento da lâmina de água presente entre a superfície do revestimento do pavimento e os sulcos do pneumático. Comparar esta diferença nos três revestimentos e verificar qual seria a mais ruidosa.

REFERÊNCIAS

- ABEDA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO (2001). *Manual Básico de Emulões Asfálticas*. Soluções para pavimentar sua cidade. 1ª edição. Rio de Janeiro, 2001.
- AIPCR/PIARC (2003). *Surface Characteristics Paris*. Associação Mundial de Estradas, 2003.
- ANDERSEN, B.; BENDTSEN, H.; LARSEN, L. E. Silvia Project Report (2000). “*Acoustic Performance of Low-noise Road Pavements*”. Edited by Hans Bendtsen. Denmark.
- ANDERSON, G. S.; KURZE, U.J., “*Outdoor sound propagation*”, in: Beranek L. L., Vér II (eds.), *Noise and vibration control – principles and applications*, John Wiley and Sons, New York, 1992.
- ANDREA, A.; MASCIO, P.; DOMENICHINI, L.; RANZO, A. (1999). “*Tino Prototype of a Low Noise Asphalt*”. 1º International Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction. Rome, 1999.
- ANTP (2003). Associação Nacional dos Transportes Públicos. *14º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito Vitória* - outubro 2003.
- ARY JUNIOR, I. J. (2007). “*Pavimento Intertravado como Ferramenta de Moderação no Tráfego nos Centros Comerciais de Travessias Urbanas – Estudo de Caso Guaíuba CE, 2007*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7731 (1983): “*Guia para Execução de Serviços de Medições de Ruído Aéreo e Avaliação dos seus Efeitos sobre o Homem*”, pp 11, Rio de Janeiro, Brasil, fevereiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151 (2000): *Acústica - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14948 (2003): *Microrrevestimentos Asfálticos a frio Modificados por Polímero: Materiais, Execução e Desempenho*. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15145 (2004): *Acústica – Medição do Ruído Emitido por Veículos Rodoviários Automotores em Aceleração – Método de Engenharia*. Rio de Janeiro, 2004.
- ASTRANA, C. A. L. J. (2006). *Estudo da Absorção Sonora e Permeabilidade em Concretos Asfálticos Drenantes*. Florianópolis, 2006. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (2003). *Política nacional de transportes públicos*. ANTP. São Paulo. 9p.

BARRETO, L. Q. J. et al. (2006). *Avaliação do Comportamento do Ligante Asfalto-Borracha e de Fibras Naturais em Misturas Asfálticas Descontínuas*. Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, Vol. 10, Nº 1, 2006.

BERNUCCI, L. B. et al. (2007). *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras - Asfaltos. Rio de Janeiro, 2007.

BIANCHETTO, H. D. (1986), “*Disminución del Ruido Mediante el uso de Pavimentos Porosos*”. 30a Reunião Anual de Pavimentação da Associação Brasileira de Pavimentação, pp 1321 – 1351, Bahia, Brasil, novembro, 1996.

BISTAFSA S. R. (2011), “*Acústica Aplicada ao Controle de Ruído*”- 2ª edição – São Paulo: Bluncher, 2011.

CALIXTO, A. O. (2002). *Ruído Gerado pelo Tráfego de Veículos em “Rodovias - Grandes Avenidas” situadas dentro do Perímetro Urbano de Curitiba, Analisado sob Parâmetros Acústicos Objetivos e seu Impacto Ambiental*. 2002. 122 f. Dissertação de mestrado (engenharia mecânica) – Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_002.pdf>. Acesso em: 16 set. 2010.

CALLAI, S. C. (2011). *Estudo do Ruído Causado pelo Tráfego de Veículos em Rodovias com diferentes Tipos de Revestimentos de Pavimentos*. 2011. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2011. 92p.

CAMOMILLA G.; LUMINARI M. (2004). *Silent Road for Urban and Extra-urban use: the Innovative Resilient and Resonant Pavements*. 5TH Symposium on Pavement Surface Characteristics - Roads and Airports. World Road Association. CD-ROM. Toronto, Canada, 2004.

CAMPO R. V. M. (2010). *O impacto ambiental do ruído gerado pelo tráfego de veículos na Avenida Colombo na cidade de Maringá*. IV Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial – FECILCAM, Campo Mourão, PR (2010).

CORDEIRO W. R. (2006). *Comportamento de Concretos Asfálticos Projetados com Cimento Asfáltico Modificado por Borracha de Pneu*. Dissertação de mestrado – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.

CARNEIRO, W. A. M. (2004). *Perturbações Sonoras nas Edificações Urbanas*. 3ª Ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2004. 332p.

COSTA A. L. A. (2007). *Caracterização do Comportamento Vibracional do Sistema Pneu-suspensão e sua Correlação com o Desgaste Irregular Verificado em Pneus Dianteiros de Veículos Comerciais*. 164 p. Tese de doutorado – Escola de Engenharia São Carlos, USP São Carlos. São Carlos, 2007.

DEFRA (2009). *Draft Noise Action Plain Agglomeration Template* – Environmental noise regulations. DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, Londres, 2009.

DONAVAN, P. R.; B. RYMER (2003). *Assessment of Highway Pavements for Tire/road Noise Generation*. SAE2003 Noise & Vibration Conference and Exhibition, Grand Traverse, MI, USA, session: drive-by-noise.

EDEL, G. (2005). *Novas tecnologias - Asfalto borracha*. Partilha de Conhecimento. Construção Civil na Prática, ANCOVAP - 1ª Edição, São José dos Campos, SP, 2005.

EJSMONT, J. A. (1997). *Tire/Road Noise Generating Mechanisms and Possible Ways of their Reduction*. Proc. of the Second International Seminar TIRE/ROAD NOISE, TUG, Gdansk, Polônia, 25 de junho de 1997.

EUROPEAN PARLIAMENT (2002/49/EC). *Official Journal of the European Communities*: Official Journal of de European Communities 49 2002.

FEHRL. SILVIA (2006). “*Guidance Manual for the Implementation of Low-noise Road Surfaces*”. FEHRL. Bélgica, Bruxelas: 2006. 318p.

FERNANDES JÚNIOR, J. L. (1995). *Investigação dos Efeitos das Solicitações do Tráfego sobre o Desempenho de Pavimentos*, d.sc. , USP, São Carlos, SP, Brasil.

FREITAS E.; PEREIRA P.; PICADO-SANTOS L.; SANTOS A. (2006). “*A Influência da Água no Ruído Produzido pelo Tráfego Rodoviário*”. Engenharia Civil. pp 5-15. Universidade do Minho, Portugal.

FREITAS E. (2008). “*Contribuição da Superfície dos Pavimentos para a Produção de Ruído*”. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil. Azurém, p – 4800-058 Guimarães, Portugal.

GOOGLE MAPS (2012). Dados Cartográficos.

HALLACK A. (1998). Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais, Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo.

HANSON, D. I.; DONAVON, P.; JAMES, R. (2005). Tire/pavement noise characteristics for HMA pavements. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, v.74, p.1-38, 2005.

HEITZMAN, M. (1992). *Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber Modifier*. Transportation Research Record. Washington, n.1339, p.1-8. 1992.

IBP – INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO (1999). Informações Básicas sobre Materiais Asfálticos. Rio de Janeiro, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1996/1: Acoustics: Description and Measurements of Environmental Noise. *Part 1: Basic Quantities and Procedures*, 1996/1. Suíça, 1982. 5p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1996/2: Acoustics: Description and Measurements of Environmental Noise. *Part 2: Acquisition of Data Pertinent to Land Use*, 1996/2. Suíça, 1987. 7p.

ISO 11819-1:1997(E) – “*Acoustics – Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 1: Statistical Pass-by Method*”. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.

- LACERDA, A. B. M.; MAGNI, C.; MORATA, THAIS C.; MARQUES, J. M.; ZANNIN, P. H. T. (2005). *Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora*. Ambiente & Sociedade – vol. VIII n°. 2 jul./dez. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v8n2/28606.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2010.
- LÁO, V. L. E. S. T. (2004). *Estudo Comparativo do Desempenho Acústico de Diferentes Tipos de Revestimento dos Pavimentos*. Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado – COPPE/UFRJ. 266p.
- LARSEN, J. (1985). *Tratamento Superficial na Conservação e Construção de Rodovias*. Rio de Janeiro. Abeda, 1985
- MCQUILLEN, J. R. et al. (1988). *Economic Analysis of Rubber-modified Asphalt Mixes*. J. Transp. Eng., reston, v.114, n.3, p.259-277, 1988.
- MELLO, J. C. (2001). *Transporte: Presente e Futuro*. In: Reunião Anual de Pavimentação, 33º, Florianópolis, anais... p.31 – 39.
- MOMM, L. (2000). *Pavimento drenante em concreto asfáltico*. 2º Seminário Nacional de Modernas Técnicas Rodoviárias, Florianópolis, SC, 2000.
- NELSON, P. M.; PHILLIPS, S.. (1994). *Designing Porous Road Surfaces to Reduce Traffic Noise. Transportation Research*. Laboratory Annual Review 1994. Transportation Research Laboratory, Crow Thorne, Inglaterra, 1994.
- NEVES FILHO, C. L. D. (2004). *Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas SMA Produzidas com Ligante Asfalto-Borracha*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2004.
- NILSSON, R. (2005). *Innovative surfaces - Competitive and sustainable solutions (Work Package 4)*. Presented at FEHRL Road Research Meeting, 14-17 June 2004, Brussels.
- OCDE (1995). *Reduccion del Ruído em el Entorno de las Carreteras*, España, Centro de Republicaciones Secretaria General Técnica, Ministério de Obras Públicas, Transportes y Médio Ambiente.
- ODA S.; FERNANDES J. R. (2001). *Borracha de Pneus como Modificador de Cimentos Asfálticos para uso em Obras de Pavimentação*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- OLEK, J. (2004). Fundamentals final report, SQDH The Institute for Safe. *Quiet and Durable Highways*. Purdue University, 2004.
- RUTH B.E. et al. (1997). *Recycling of Asphalt Mixtures Containing Crumb Rubber*. Final Report. Fl/dot/mo d510717. Florida: University of Florida. Florida Department of Transportation, 1997.
- SALTER, R. J.; MAT, J. (1990). *Some Effects of Rubber Additives on Asphalt Mixes*. Transp. Res. Rec., Washington, D.C., n.1269, p.79-86, 1990.

- SANDEMBERG, U. (2001). *Tire/road noise - myths and realities*. International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. *Anais...*The Hauge, p.01-22, 2001.
- SANTOS, A. P. S. (2007). *Estudo da Eficácia na redução do Ruído de Tráfego em Pavimentos Drenantes*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Rodoviária. Escola de Engenharia. Universidade do Minho, março de 2007.
- SANTOS, A., FREITAS, E., PICADO-SANTOS, L. (2011). *Estudo da Eficácia dos Pavimentos Drenantes na Redução do Ruído Rodoviário para as Condições Seco e Molhado*. Aenor. Universidade do Minho. Universidade de Coimbra.
- SILVIA (2006). “*Guidance Manual for the Implementation of Low-noise Road Surfaces*”. Report. Forum of European National Highway Research Laboratories. Brussels. Belgium
- SILVA, J. R. A. (2009). *Caracterização do Ruído Emitido por Veículos Rodoviários num Troço da EN109 em Vagos*. Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil. Ano 2009.
- SPECHT, L. P. et al. (2009). *Avaliação do ruído através do SPBI (Statistical Pass-By Index) em Diferentes Pavimentos*. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 62(4): 439-445, out. dez., 2009.
- STEPHENS, J. E. (1982). *Field Evaluation of Rubber-modified Bituminous Concrete*. Transp. Res. Rec., Washington, D.C., n.843, p.11-21, 1982.
- TAKALLOU, B. H.; HICKS, R. G. (1988). *Development of Improvement Mix and Construction Guidelines for Rubber-modified Asphalt Pavements*. Transportation Research Record. Washington, n.1171, p.113-120. 1988.
- TAKALLOU, H. B.; SAINTON, A. (1992). *Advances in Technology of Asphalt Paving Materials Containing Used Tire Rubber*. Transp. Res. Rec., Washington, D.C., n.1339, p.2329, 1992.
- TARRIÓ, F. R (1992). “*El Ruido Producido por la Circulación*”. Revista de la Asociación Técnica de Carreteras, m. 29 (marzo/abril), pp. 6 – 16, España.
- USDOT/FHWA (1995) - UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION / FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1995). *Highway traffic noise analysis and abatement policy and guidance*. Washington, 1995. 95p.
- WAMBOLD J. C., ANTLE C. E., HENRY J. J. (1995). *International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements*. PIARC, 1995.
- WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2005). *Quieter Pavements*. Options & Challenges for Washington Brief Sheet Washington State Department of Transportation. February 15, 2005.
- WHO (1999). *Constituição da Organização Mundial de Saúde*. World Health Organization.

ANEXO

ANEXO A ESPECIFICAÇÃO DO MEDIDOR DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DL 4200 – UTILIZADO EM TODOS OS ENSAIOS

O DL-4200 é um decibelímetro digital portátil que além das funções comuns também possui a função Data Logger que o permite armazenar as leituras na memória e a saída analógica que permite a utilização de um analisador de espectro. Ele foi desenvolvido com o que existe de mais moderno em tecnologia de semicondutores, o que lhe proporciona uma alta exatidão, durabilidade e simplicidade de operação.

D.1 GERAIS

- a. Display: de cristal líquido (LCD 1999) com iluminação e Barra gráfica.
- b. Resolução e atualização do display: 0,1dB / 2 vezes por segundo.
- c. Funções: Decibel de 30 a 130dB, armazenamento de dados (DataLogger até 32.000 registros) valor máximo e mínimo (MAX / MIN), 'congelamento' da leitura (HOLD), desligamento automático após 15 minutos (Auto Power Off), indicação de 'Sobre-escala (OVER) e Subescala (UNDER)' e interface USB.
- d. Segue o padrão das normas IEC-61672 classe 2.
- e. Microfone do tipo capacitivo com 12,5mm de diâmetro (½ polegada).
- f. Temperatura de operação: De 0° a 40°C.
- g. Umidade de operação: Menor que 90% sem condensação.
- h. Alimentação: Uma bateria de 9V; adaptador de 9V DC. 'será exibido no display.
- i. Indicação de bateria fraca: O símbolo '
- j. Resposta em frequência: de 31,5Hz até 8kHz.
- k. Escalas: 30 a 80dB, 50 a 100dB e 80 a 130dB e automática de 30 a 130 dB com resolução de 0,1dB.
- l. Saída analógica: AC: 1 Vrms / DC: 10mV/dB (jack P2 3,5mm).
- m. Dimensões e peso: 278 X 76 X 50mm / 350g (incluindo a Bateria).
- n. O DL-4200 vem acompanhado de um manual, uma bateria de 9V, uma espuma de cobertura para o microfone, um adaptador de 9V DC/0,5A, uma chave de fenda, um cabo USB, um CD de software, um suporte tipo tripé, uma maleta plástica para transporte e uma caixa de embalagem.

D.2 TÉCNICAS

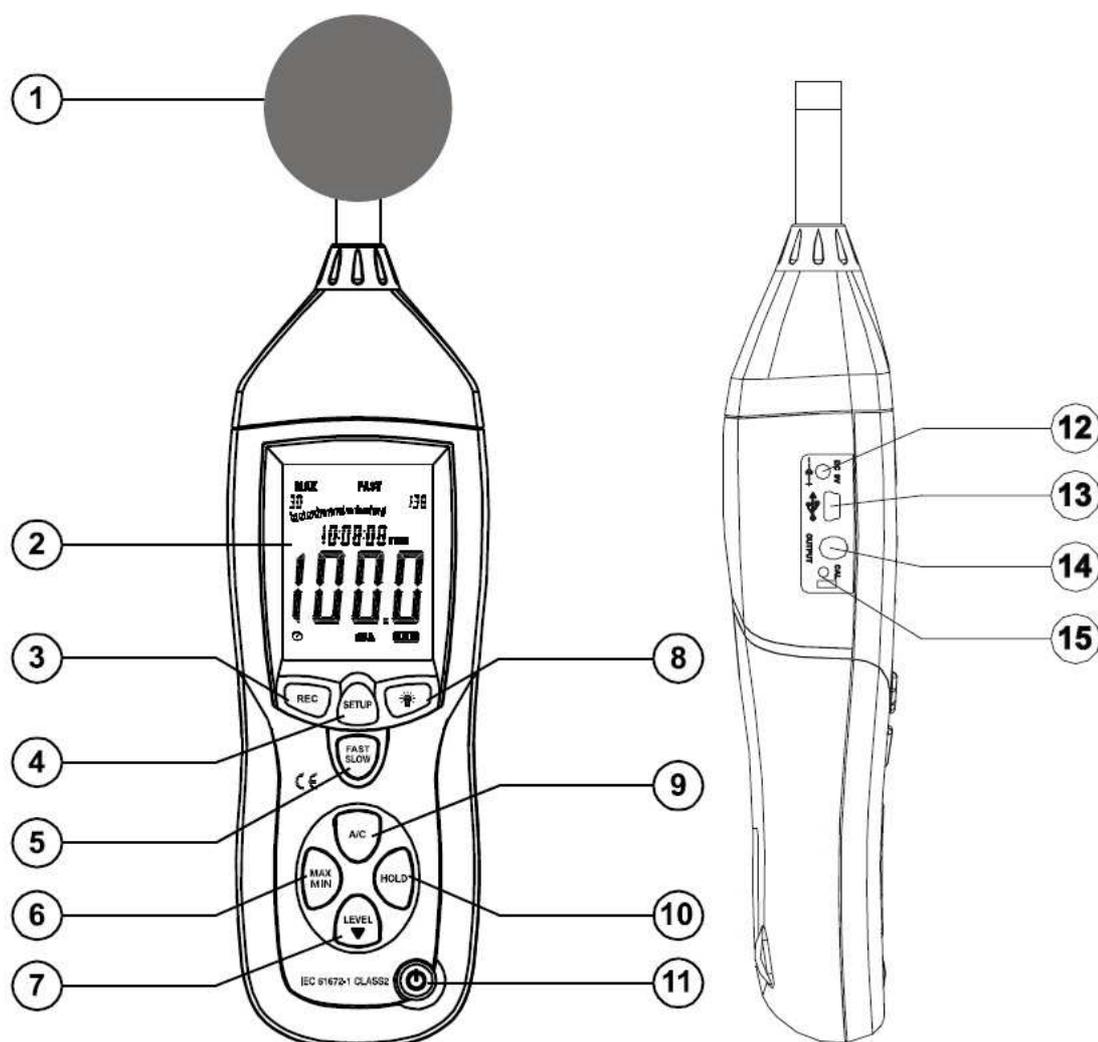
- a. Exatidão: $\pm 1,4$ dB (94dB / 1KHz).
- b. Especificações do tempo de resposta

Modo	Tempo de Resposta
F (Fast)	125mS
S (Slow)	1S

- c. Especificações das opções "A" e "C"

Na opção 'A' o DL-4200 irá simular a curva de resposta do ouvido humano. Essa deverá ser a opção escolhida quando se quiser fazer a medição do ruído ambiente. Na opção 'C' a curva de resposta do DL-4200 será praticamente plana. Essa opção deverá ser escolhida quando se quiser medir o ruído gerado por máquinas e equipamentos.

D.3 DESCRIÇÃO



1. Microfone capacitivo, 12,5mm coberto com espuma para quando a velocidade do vento for acima de 10m/S.
2. Display.
3. Botão para Iniciar a função Data Logger.
4. Botão para ajuste 'Setup'.
5. Botão para seleção do Tempo de Resposta (FAST / SLOW).
6. Registro de máximo e mínimo
7. Botões para seleção manual das escalas.
8. Iluminação do display e ajuste do intervalo do Data Logger.
9. Botão para seleção da Curva de Resposta (A / C).
10. Botão para 'congelamento' da leitura (Hold).
11. Botão Liga / Desliga.
12. Soquete para adaptador de 9V
13. Conector USB.
14. Saída de sinal AC / DC.
15. Trimpot para Calibração ' O DL-4200 já vem calibrado, o usuário não deve mexer neste trimpot sem que tenha um calibrador padrão'

APÊNDICE

APÊNDICE A DADOS DO MEDIDOR DE NÍVEL DE PRESÃO SONORA DL 4200 – NO TRECHO DE CRUZEIRO DO OESTE

Os dados levantados no Trecho de Cruzeiro do Oeste (pavimento intertravado) serão apresentados apenas na velocidade de 40 km.h⁻¹, com motor desligado, devido a muita quantidade de dados. Os dados destacados em *itálico*, sublinhado e **negrito** são as amostragens recolhidas no momento da passagem do veículo com o motor desligado, para cálculo dos índices estatísticos. O horário da planilha não está no horário brasileiro de verão.

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
19/01/2012	8:42:24	51,00	dB(A)	19/01/2012	8:42:50	42.10	dB(A)
19/01/2012	8:42:25	54,90	dB(A)	19/01/2012	8:42:51	44.80	dB(A)
19/01/2012	8:42:26	55,10	dB(A)	19/01/2012	8:42:52	46.90	dB(A)
19/01/2012	8:42:27	57,40	dB(A)	19/01/2012	8:42:53	49.40	dB(A)
19/01/2012	8:42:28	59,80	dB(A)	19/01/2012	8:42:54	48.90	dB(A)
19/01/2012	8:42:29	56,20	dB(A)	19/01/2012	8:42:55	49.70	dB(A)
19/01/2012	8:42:30	55,70	dB(A)	19/01/2012	8:42:56	50.90	dB(A)
19/01/2012	8:42:31	56,90	dB(A)	19/01/2012	8:42:57	54.20	dB(A)
19/01/2012	8:42:32	53,80	dB(A)	19/01/2012	8:42:58	58.30	dB(A)
19/01/2012	8:42:33	49,70	dB(A)	19/01/2012	8:42:59	60.90	dB(A)
19/01/2012	8:42:34	48,00	dB(A)	19/01/2012	8:43:0	65.50	dB(A)
<u>19/01/2012</u>	<u>8:42:35</u>	<u>67,10</u>	<u>dB(A)</u>	19/01/2012	8:43:1	67.80	dB(A)
19/01/2012	8:42:36	54,90	dB(A)	19/01/2012	8:43:2	65.70	dB(A)
19/01/2012	8:42:37	53,60	dB(A)	19/01/2012	8:43:3	61.80	dB(A)
19/01/2012	8:42:38	50,70	dB(A)	19/01/2012	8:43:4	56.10	dB(A)
19/01/2012	8:42:39	45,90	dB(A)	19/01/2012	8:43:5	49.10	dB(A)
19/01/2012	8:42:40	46,20	dB(A)	19/01/2012	8:43:6	44.60	dB(A)
19/01/2012	8:42:41	45,10	dB(A)	19/01/2012	8:43:7	44.20	dB(A)
19/01/2012	8:42:42	46,10	dB(A)	19/01/2012	8:43:8	45.40	dB(A)
19/01/2012	8:42:43	43,70	dB(A)	19/01/2012	8:43:9	45.20	dB(A)
19/01/2012	8:42:44	45,10	dB(A)	19/01/2012	8:43:10	47.40	dB(A)
19/01/2012	8:42:45	51,90	dB(A)	19/01/2012	8:43:11	46.50	dB(A)
19/01/2012	8:42:46	48,40	dB(A)	19/01/2012	8:43:12	45.50	dB(A)
19/01/2012	8:42:47	46,20	dB(A)	19/01/2012	8:43:13	45.00	dB(A)
19/01/2012	8:42:48	46,00	dB(A)	19/01/2012	8:43:14	45.20	dB(A)
19/01/2012	8:42:49	43,70	dB(A)	19/01/2012	8:43:15	47.80	dB(A)

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
19/01/2012	8:43:16	48.30	dB(A)	19/01/2012	8:44:5	42.80	dB(A)
19/01/2012	8:43:17	54.10	dB(A)	19/01/2012	8:44:6	42.30	dB(A)
19/01/2012	8:43:18	53.20	dB(A)	19/01/2012	8:44:7	40.90	dB(A)
19/01/2012	8:43:19	54.60	dB(A)	19/01/2012	8:44:8	40.30	dB(A)
19/01/2012	8:43:20	59.30	dB(A)	19/01/2012	8:44:9	41.50	dB(A)
19/01/2012	8:43:21	60.90	dB(A)	19/01/2012	8:44:10	43.70	dB(A)
19/01/2012	8:43:22	63.20	dB(A)	19/01/2012	8:44:11	44.60	dB(A)
19/01/2012	8:43:23	62.20	dB(A)	19/01/2012	8:44:12	45.90	dB(A)
19/01/2012	8:43:24	61.00	dB(A)	19/01/2012	8:44:13	50.60	dB(A)
19/01/2012	8:43:25	59.10	dB(A)	19/01/2012	8:44:14	57.20	dB(A)
19/01/2012	8:43:26	56.80	dB(A)	19/01/2012	8:44:15	58.70	dB(A)
19/01/2012	8:43:27	56.80	dB(A)	19/01/2012	8:44:16	65.10	dB(A)
19/01/2012	8:43:28	54.60	dB(A)	<u>19/01/2012</u>	<u>8:44:17</u>	<u>65.30</u>	<u>dB(A)</u>
19/01/2012	8:43:29	55.60	dB(A)	19/01/2012	8:44:18	62.80	dB(A)
19/01/2012	8:43:30	51.50	dB(A)	19/01/2012	8:44:19	58.90	dB(A)
19/01/2012	8:43:31	47.30	dB(A)	19/01/2012	8:44:20	55.80	dB(A)
19/01/2012	8:43:32	46.80	dB(A)	19/01/2012	8:44:21	54.60	dB(A)
19/01/2012	8:43:33	43.40	dB(A)	19/01/2012	8:44:22	52.50	dB(A)
19/01/2012	8:43:34	42.50	dB(A)	19/01/2012	8:44:23	48.70	dB(A)
19/01/2012	8:43:35	42.10	dB(A)	19/01/2012	8:44:24	46.70	dB(A)
19/01/2012	8:43:36	42.10	dB(A)	19/01/2012	8:44:25	45.60	dB(A)
19/01/2012	8:43:37	42.00	dB(A)	19/01/2012	8:44:26	44.30	dB(A)
19/01/2012	8:43:38	41.00	dB(A)	19/01/2012	8:44:27	43.40	dB(A)
19/01/2012	8:43:39	41.50	dB(A)	19/01/2012	8:44:28	42.40	dB(A)
19/01/2012	8:43:40	40.90	dB(A)	19/01/2012	8:44:29	42.10	dB(A)
19/01/2012	8:43:41	39.90	dB(A)	19/01/2012	8:44:30	42.00	dB(A)
19/01/2012	8:43:42	39.50	dB(A)	19/01/2012	8:44:31	42.30	dB(A)
19/01/2012	8:43:43	39.90	dB(A)	19/01/2012	8:44:32	42.30	dB(A)
19/01/2012	8:43:44	39.90	dB(A)	19/01/2012	8:44:33	42.30	dB(A)
19/01/2012	8:43:45	40.70	dB(A)	19/01/2012	8:44:34	41.20	dB(A)
19/01/2012	8:43:46	41.90	dB(A)	19/01/2012	8:44:35	40.10	dB(A)
19/01/2012	8:43:47	41.30	dB(A)	19/01/2012	8:44:36	39.70	dB(A)
19/01/2012	8:43:48	42.60	dB(A)	19/01/2012	8:44:37	39.60	dB(A)
19/01/2012	8:43:49	46.20	dB(A)	19/01/2012	8:44:38	39.70	dB(A)
19/01/2012	8:43:50	50.70	dB(A)	19/01/2012	8:44:39	39.90	dB(A)
19/01/2012	8:43:51	53.60	dB(A)	19/01/2012	8:44:40	40.70	dB(A)
19/01/2012	8:43:52	57.30	dB(A)	19/01/2012	8:44:41	41.30	dB(A)
19/01/2012	8:43:53	60.90	dB(A)	19/01/2012	8:44:42	43.50	dB(A)
19/01/2012	8:43:54	63.80	dB(A)	19/01/2012	8:44:43	43.90	dB(A)
19/01/2012	8:43:55	68.10	dB(A)	19/01/2012	8:44:44	44.40	dB(A)
19/01/2012	8:43:56	67.80	dB(A)	19/01/2012	8:44:45	46.00	dB(A)
19/01/2012	8:43:57	61.20	dB(A)	19/01/2012	8:44:46	48.40	dB(A)
19/01/2012	8:43:58	57.00	dB(A)	19/01/2012	8:44:47	51.30	dB(A)
19/01/2012	8:43:59	52.30	dB(A)	19/01/2012	8:44:48	55.40	dB(A)
19/01/2012	8:44:0	49.80	dB(A)	19/01/2012	8:44:49	59.30	dB(A)
19/01/2012	8:44:1	45.10	dB(A)	19/01/2012	8:44:50	60.90	dB(A)

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
19/01/2012	8:44:54	60.10	dB(A)	19/01/2012	8:45:43	58.10	dB(A)
19/01/2012	8:44:55	55.40	dB(A)	19/01/2012	8:45:44	59.70	dB(A)
19/01/2012	8:44:56	49.80	dB(A)	19/01/2012	8:45:45	63.90	dB(A)
19/01/2012	8:44:57	45.50	dB(A)	<u>19/01/2012</u>	<u>8:45:46</u>	<u>66.60</u>	<u>dB(A)</u>
19/01/2012	8:44:58	43.00	dB(A)	19/01/2012	8:45:47	66.10	dB(A)
19/01/2012	8:44:59	42.50	dB(A)	19/01/2012	8:45:48	61.00	dB(A)
19/01/2012	8:45:0	41.80	dB(A)	19/01/2012	8:45:49	55.80	dB(A)
19/01/2012	8:45:1	41.30	dB(A)	19/01/2012	8:45:50	51.50	dB(A)
19/01/2012	8:45:2	40.10	dB(A)	19/01/2012	8:45:51	48.70	dB(A)
19/01/2012	8:45:3	40.50	dB(A)	19/01/2012	8:45:52	46.50	dB(A)
19/01/2012	8:45:4	41.30	dB(A)	19/01/2012	8:45:53	45.60	dB(A)
19/01/2012	8:45:5	40.80	dB(A)	19/01/2012	8:45:54	46.00	dB(A)
19/01/2012	8:45:6	41.10	dB(A)	19/01/2012	8:45:55	44.70	dB(A)
19/01/2012	8:45:7	43.70	dB(A)	19/01/2012	8:45:56	44.50	dB(A)
19/01/2012	8:45:8	52.20	dB(A)	19/01/2012	8:45:57	44.90	dB(A)
19/01/2012	8:45:9	52.70	dB(A)	19/01/2012	8:45:58	45.00	dB(A)
19/01/2012	8:45:10	52.40	dB(A)	19/01/2012	8:45:59	43.00	dB(A)
19/01/2012	8:45:11	58.80	dB(A)	19/01/2012	8:46:0	43.50	dB(A)
19/01/2012	8:45:12	61.70	dB(A)	19/01/2012	8:46:1	45.20	dB(A)
19/01/2012	8:45:13	64.50	dB(A)	19/01/2012	8:46:2	45.60	dB(A)
<u>19/01/2012</u>	<u>8:45:14</u>	<u>65.30</u>	<u>dB(A)</u>	19/01/2012	8:46:3	48.10	dB(A)
19/01/2012	8:45:15	62.00	dB(A)	19/01/2012	8:46:4	47.30	dB(A)
19/01/2012	8:45:16	58.90	dB(A)	19/01/2012	8:46:5	47.00	dB(A)
19/01/2012	8:45:17	57.00	dB(A)	19/01/2012	8:46:6	48.40	dB(A)
19/01/2012	8:45:18	55.10	dB(A)	19/01/2012	8:46:7	47.20	dB(A)
19/01/2012	8:45:19	51.40	dB(A)	19/01/2012	8:46:8	46.60	dB(A)
19/01/2012	8:45:20	49.70	dB(A)	19/01/2012	8:46:9	46.60	dB(A)
19/01/2012	8:45:21	47.30	dB(A)	19/01/2012	8:46:10	47.20	dB(A)
19/01/2012	8:45:22	45.20	dB(A)	19/01/2012	8:46:11	46.50	dB(A)
19/01/2012	8:45:23	43.00	dB(A)	19/01/2012	8:46:12	47.60	dB(A)
19/01/2012	8:45:24	40.80	dB(A)	19/01/2012	8:46:13	46.50	dB(A)
19/01/2012	8:45:25	41.60	dB(A)	19/01/2012	8:46:14	46.80	dB(A)
19/01/2012	8:45:26	41.90	dB(A)	19/01/2012	8:46:15	46.50	dB(A)
19/01/2012	8:45:27	42.60	dB(A)	19/01/2012	8:46:16	47.70	dB(A)
19/01/2012	8:45:28	40.50	dB(A)	19/01/2012	8:46:17	57.50	dB(A)
19/01/2012	8:45:29	40.50	dB(A)	19/01/2012	8:46:18	59.30	dB(A)
19/01/2012	8:45:30	40.40	dB(A)	19/01/2012	8:46:19	67.10	dB(A)
19/01/2012	8:45:31	40.20	dB(A)	19/01/2012	8:46:20	68.10	dB(A)
19/01/2012	8:45:32	40.30	dB(A)	19/01/2012	8:46:21	61.70	dB(A)
19/01/2012	8:45:33	40.20	dB(A)	19/01/2012	8:46:22	60.10	dB(A)
19/01/2012	8:45:34	40.30	dB(A)	19/01/2012	8:46:23	55.70	dB(A)
19/01/2012	8:45:35	39.80	dB(A)	19/01/2012	8:46:24	54.80	dB(A)
19/01/2012	8:45:36	40.10	dB(A)	19/01/2012	8:46:25	51.00	dB(A)
19/01/2012	8:45:37	42.70	dB(A)	19/01/2012	8:46:26	48.10	dB(A)
19/01/2012	8:45:38	43.00	dB(A)	19/01/2012			dB(A)
19/01/2012	8:45:39	45.60	dB(A)	19/01/2012			dB(A)

Tabela Apêndice A Nível sonoro global em dB(A) para velocidade de 40 km.h⁻¹ com motor desligado – Trecho de Cruzeiro do Oeste – Pavimento intertravado.

APÊNDICE B DADOS DO MEDIDOR DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DL 4200 – NO TRECHO NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS

Os dados levantados no Trecho Nossa Senhora das Graças (superfície com tratamento superficial triplo) serão apresentados apenas na velocidade de 80 km.h⁻¹, com motor ligado, também devido a muita quantidade de dados. Os dados destacados em *itálico*, sublinhado e **negrito** são as amostragens recolhidas no momento da passagem do veículo com o motor ligado, para cálculo dos índices estatísticos. O horário da planilha não está no horário brasileiro de verão.

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
21/01/2012	9:17:43	48.80	dB(A)	21/01/2012	9:18:9	43.80	dB(A)
21/01/2012	9:17:44	50.80	dB(A)	21/01/2012	9:18:10	44.60	dB(A)
21/01/2012	9:17:45	50.50	dB(A)	21/01/2012	9:18:11	44.20	dB(A)
21/01/2012	9:17:46	49.30	dB(A)	21/01/2012	9:18:12	42.60	dB(A)
21/01/2012	9:17:47	50.50	dB(A)	21/01/2012	9:18:13	43.70	dB(A)
21/01/2012	9:17:48	55.90	dB(A)	21/01/2012	9:18:14	46.60	dB(A)
21/01/2012	9:17:49	64.60	dB(A)	21/01/2012	9:18:15	47.00	dB(A)
<u>21/01/2012</u>	<u>9:17:50</u>	<u>76.20</u>	<u>dB(A)</u>	21/01/2012	9:18:16	45.20	dB(A)
21/01/2012	9:17:51	75.50	dB(A)	21/01/2012	9:18:17	49.90	dB(A)
21/01/2012	9:17:52	66.50	dB(A)	21/01/2012	9:18:18	54.20	dB(A)
21/01/2012	9:17:53	61.60	dB(A)	21/01/2012	9:18:19	59.20	dB(A)
21/01/2012	9:17:54	58.20	dB(A)	21/01/2012	9:18:20	70.10	dB(A)
21/01/2012	9:17:55	53.60	dB(A)	21/01/2012	9:18:21	83.30	dB(A)
21/01/2012	9:17:56	52.80	dB(A)	21/01/2012	9:18:22	77.20	dB(A)
21/01/2012	9:17:57	51.60	dB(A)	21/01/2012	9:18:23	65.40	dB(A)
21/01/2012	9:17:58	51.50	dB(A)	21/01/2012	9:18:24	61.40	dB(A)
21/01/2012	9:17:59	51.40	dB(A)	21/01/2012	9:18:25	60.90	dB(A)
21/01/2012	9:18:0	49.40	dB(A)	21/01/2012	9:18:26	57.30	dB(A)
21/01/2012	9:18:1	47.00	dB(A)	21/01/2012	9:18:27	56.20	dB(A)
21/01/2012	9:18:2	46.30	dB(A)	21/01/2012	9:18:28	57.30	dB(A)
21/01/2012	9:18:3	45.50	dB(A)	21/01/2012	9:18:29	54.90	dB(A)
21/01/2012	9:18:4	48.00	dB(A)	21/01/2012	9:18:30	54.80	dB(A)
21/01/2012	9:18:5	48.30	dB(A)	21/01/2012	9:18:31	56.40	dB(A)
21/01/2012	9:18:6	48.30	dB(A)	21/01/2012	9:18:32	55.20	dB(A)
21/01/2012	9:18:7	46.00	dB(A)	21/01/2012	9:18:33	54.60	dB(A)
21/01/2012	9:18:8	45.40	dB(A)	21/01/2012	9:18:34	56.90	dB(A)

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
21/01/2012	9:18:35	59.50	dB(A)	21/01/2012	9:19:24	48.00	dB(A)
21/01/2012	9:18:36	66.50	dB(A)	21/01/2012	9:19:25	48.00	dB(A)
21/01/2012	9:18:37	71.40	dB(A)	21/01/2012	9:19:26	49.00	dB(A)
21/01/2012	9:18:38	76.10	dB(A)	21/01/2012	9:19:27	50.30	dB(A)
21/01/2012	9:18:39	68.30	dB(A)	21/01/2012	9:19:28	48.40	dB(A)
21/01/2012	9:18:40	61.20	dB(A)	21/01/2012	9:19:29	48.10	dB(A)
21/01/2012	9:18:41	56.40	dB(A)	21/01/2012	9:19:30	48.70	dB(A)
21/01/2012	9:18:42	51.90	dB(A)	21/01/2012	9:19:31	51.40	dB(A)
21/01/2012	9:18:43	49.70	dB(A)	21/01/2012	9:19:32	55.00	dB(A)
21/01/2012	9:18:44	47.60	dB(A)	21/01/2012	9:19:33	61.90	dB(A)
21/01/2012	9:18:45	46.80	dB(A)	21/01/2012	9:19:34	68.10	dB(A)
21/01/2012	9:18:46	46.60	dB(A)	21/01/2012	9:19:35	73.60	dB(A)
21/01/2012	9:18:47	46.40	dB(A)	21/01/2012	9:19:36	86.10	dB(A)
21/01/2012	9:18:48	45.60	dB(A)	21/01/2012	9:19:37	83.10	dB(A)
21/01/2012	9:18:49	46.30	dB(A)	21/01/2012	9:19:38	74.10	dB(A)
21/01/2012	9:18:50	47.20	dB(A)	21/01/2012	9:19:39	66.50	dB(A)
21/01/2012	9:18:51	48.70	dB(A)	21/01/2012	9:19:40	63.20	dB(A)
21/01/2012	9:18:52	48.50	dB(A)	21/01/2012	9:19:41	61.40	dB(A)
21/01/2012	9:18:53	47.90	dB(A)	21/01/2012	9:19:42	58.40	dB(A)
21/01/2012	9:18:54	48.80	dB(A)	21/01/2012	9:19:43	57.10	dB(A)
21/01/2012	9:18:55	46.40	dB(A)	21/01/2012	9:19:44	57.60	dB(A)
21/01/2012	9:18:56	45.60	dB(A)	21/01/2012	9:19:45	57.20	dB(A)
21/01/2012	9:18:57	45.80	dB(A)	21/01/2012	9:19:46	61.20	dB(A)
21/01/2012	9:18:58	47.20	dB(A)	21/01/2012	9:19:47	61.60	dB(A)
21/01/2012	9:18:59	48.60	dB(A)	21/01/2012	9:19:48	67.50	dB(A)
21/01/2012	9:19:0	48.40	dB(A)	21/01/2012	9:19:49	75.70	dB(A)
21/01/2012	9:19:1	46.70	dB(A)	21/01/2012	9:19:50	75.30	dB(A)
21/01/2012	9:19:2	47.00	dB(A)	21/01/2012	9:19:51	66.50	dB(A)
21/01/2012	9:19:3	45.40	dB(A)	21/01/2012	9:19:52	62.30	dB(A)
21/01/2012	9:19:4	45.60	dB(A)	21/01/2012	9:19:53	58.70	dB(A)
21/01/2012	9:19:5	48.20	dB(A)	21/01/2012	9:19:54	56.60	dB(A)
21/01/2012	9:19:6	49.00	dB(A)	21/01/2012	9:19:55	56.70	dB(A)
21/01/2012	9:19:7	49.30	dB(A)	21/01/2012	9:19:56	52.50	dB(A)
21/01/2012	9:19:8	49.50	dB(A)	21/01/2012	9:19:57	51.70	dB(A)
21/01/2012	9:19:9	49.70	dB(A)	21/01/2012	9:19:58	51.60	dB(A)
21/01/2012	9:19:10	53.20	dB(A)	21/01/2012	9:19:59	51.90	dB(A)
21/01/2012	9:19:11	51.90	dB(A)	21/01/2012	9:20:0	51.90	dB(A)
21/01/2012	9:19:12	52.50	dB(A)	21/01/2012	9:20:1	51.50	dB(A)
21/01/2012	9:19:13	55.50	dB(A)	21/01/2012	9:20:2	52.30	dB(A)
21/01/2012	9:19:14	60.30	dB(A)	21/01/2012	9:20:3	52.60	dB(A)
21/01/2012	9:19:15	65.50	dB(A)	21/01/2012	9:20:4	49.90	dB(A)
21/01/2012	9:19:16	72.40	dB(A)	21/01/2012	9:20:5	49.30	dB(A)
21/01/2012	9:19:17	84.70	dB(A)	21/01/2012	9:20:6	50.90	dB(A)
21/01/2012	9:19:18	72.20	dB(A)	21/01/2012	9:20:7	52.10	dB(A)
21/01/2012	9:19:19	65.50	dB(A)	21/01/2012	9:20:8	61.20	dB(A)
21/01/2012	9:19:20	63.60	dB(A)	21/01/2012	9:20:9	65.70	dB(A)

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
21/01/2012	9:20:10	73.70	dB(A)	21/01/2012	9:20:23	74.10	dB(A)
21/01/2012	9:20:11	79.60	dB(A)	<u>21/01/2012</u>	<u>9:20:24</u>	<u>75.30</u>	<u>dB(A)</u>
21/01/2012	9:20:12	78.30	dB(A)	21/01/2012	9:20:25	65.70	dB(A)
21/01/2012	9:20:13	70.80	dB(A)	21/01/2012	9:20:26	60.80	dB(A)
21/01/2012	9:20:14	60.00	dB(A)	21/01/2012	9:20:27	54.70	dB(A)
21/01/2012	9:20:15	55.00	dB(A)	21/01/2012	9:20:28	53.70	dB(A)
21/01/2012	9:20:16	59.40	dB(A)	21/01/2012	9:20:29	57.20	dB(A)
21/01/2012	9:20:17	60.90	dB(A)	21/01/2012	9:20:30	56.40	dB(A)
21/01/2012	9:20:18	59.80	dB(A)	21/01/2012	9:20:31	63.40	dB(A)
21/01/2012	9:20:19	56.90	dB(A)	21/01/2012	9:20:32	51.20	dB(A)
21/01/2012	9:20:20	55.40	dB(A)	21/01/2012	9:20:33	51.90	dB(A)
21/01/2012	9:20:21	57.00	dB(A)	21/01/2012	9:20:34	55.10	dB(A)
21/01/2012	9:20:22	63.10	dB(A)	21/01/2012	9:20:35	50.90	dB(A)

Tabela Apêndice B Nível sonoro global em dB(A) para velocidade de 80 km.h⁻¹ com motor ligado – Trecho Nossa Senhora das Graças – Superfície em TFT.

**APÊNDICE C DADOS DO MEDIDOR DE NÍVEL DE PRESÃO SONORA DL 4200 –
NO TRECHO DA PR-317 ENTRE MARINGÁ E FLORESTA**

Os dados levantados no Trecho da PR-317 – entre Maringá e Floresta (superfície em asfalto-borracha) serão apresentados apenas na velocidade de 110 km.h⁻¹, com motor ligado, também devido a muita quantidade de dados. Os dados destacados em *itálico*, sublinhado e **negrito** são as amostragens recolhidas no momento da passagem do veículo com o motor ligado, para cálculo dos índices estatísticos. O horário da planilha não está no horário brasileiro de verão.

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
22/01/2012	9:26:56	61.10	dB(A)	22/01/2012	9:27:22	77.80	dB(A)
22/01/2012	9:26:57	60.30	dB(A)	22/01/2012	9:27:23	74.90	dB(A)
22/01/2012	9:26:58	63.50	dB(A)	22/01/2012	9:27:24	81.20	dB(A)
22/01/2012	9:26:59	68.50	dB(A)	22/01/2012	9:27:25	73.30	dB(A)
22/01/2012	9:27:0	71.30	dB(A)	22/01/2012	9:27:26	82.10	dB(A)
22/01/2012	9:27:1	68.60	dB(A)	22/01/2012	9:27:27	81.20	dB(A)
22/01/2012	9:27:2	67.50	dB(A)	22/01/2012	9:27:28	69.20	dB(A)
22/01/2012	9:27:3	66.60	dB(A)	22/01/2012	9:27:29	62.20	dB(A)
22/01/2012	9:27:4	67.70	dB(A)	22/01/2012	9:27:30	57.10	dB(A)
22/01/2012	9:27:5	67.70	dB(A)	22/01/2012	9:27:31	55.90	dB(A)
22/01/2012	9:27:6	71.40	dB(A)	22/01/2012	9:27:32	53.80	dB(A)
<u>22/01/2012</u>	<u>9:27:7</u>	<u>82.70</u>	<u>dB(A)</u>	22/01/2012	9:27:33	51.70	dB(A)
22/01/2012	9:27:8	73.30	dB(A)	22/01/2012	9:27:34	51.80	dB(A)
22/01/2012	9:27:9	65.30	dB(A)	22/01/2012	9:27:35	52.30	dB(A)
22/01/2012	9:27:10	60.80	dB(A)	22/01/2012	9:27:36	50.30	dB(A)
22/01/2012	9:27:11	58.10	dB(A)	22/01/2012	9:27:37	53.80	dB(A)
22/01/2012	9:27:12	56.50	dB(A)	22/01/2012	9:27:38	57.70	dB(A)
22/01/2012	9:27:13	56.40	dB(A)	22/01/2012	9:27:39	62.60	dB(A)
22/01/2012	9:27:14	56.40	dB(A)	22/01/2012	9:27:40	64.20	dB(A)
22/01/2012	9:27:15	56.40	dB(A)	22/01/2012	9:27:41	69.80	dB(A)
22/01/2012	9:27:16	60.80	dB(A)	22/01/2012	9:27:42	82.30	dB(A)
22/01/2012	9:27:17	63.40	dB(A)	22/01/2012	9:27:43	73.20	dB(A)
22/01/2012	9:27:18	65.20	dB(A)	22/01/2012	9:27:44	63.90	dB(A)
22/01/2012	9:27:19	73.70	dB(A)	22/01/2012	9:27:45	60.90	dB(A)
22/01/2012	9:27:20	85.10	dB(A)	22/01/2012	9:27:46	61.10	dB(A)
22/01/2012	9:27:21	75.40	dB(A)	22/01/2012	9:27:47	63.80	dB(A)

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
22/01/2012	9:27:48	70.90	dB(A)	22/01/2012	9:28:34	58.50	dB(A)
22/01/2012	9:27:49	78.00	dB(A)	22/01/2012	9:28:35	63.20	dB(A)
22/01/2012	9:27:50	80.60	dB(A)	22/01/2012	9:28:36	64.20	dB(A)
22/01/2012	9:27:51	72.20	dB(A)	22/01/2012	9:28:37	62.60	dB(A)
22/01/2012	9:27:52	77.80	dB(A)	22/01/2012	9:28:38	63.90	dB(A)
22/01/2012	9:27:53	80.40	dB(A)	22/01/2012	9:28:39	64.50	dB(A)
22/01/2012	9:27:54	68.40	dB(A)	22/01/2012	9:28:40	65.50	dB(A)
22/01/2012	9:27:55	61.90	dB(A)	22/01/2012	9:28:41	68.00	dB(A)
22/01/2012	9:27:56	58.30	dB(A)	22/01/2012	9:28:42	69.90	dB(A)
22/01/2012	9:27:57	58.30	dB(A)	22/01/2012	9:28:43	82.60	dB(A)
22/01/2012	9:27:58	62.20	dB(A)	22/01/2012	9:28:44	80.90	dB(A)
22/01/2012	9:27:59	70.20	dB(A)	22/01/2012	9:28:45	79.80	dB(A)
22/01/2012	9:28:0	70.90	dB(A)	22/01/2012	9:28:46	70.00	dB(A)
22/01/2012	9:28:1	69.30	dB(A)	22/01/2012	9:28:47	66.50	dB(A)
22/01/2012	9:28:2	69.90	dB(A)	22/01/2012	9:28:48	61.00	dB(A)
22/01/2012	9:28:3	79.90	dB(A)	22/01/2012	9:28:49	61.80	dB(A)
22/01/2012	9:28:4	82.00	dB(A)	22/01/2012	9:28:50	56.00	dB(A)
22/01/2012	9:28:5	75.70	dB(A)	22/01/2012	9:28:51	63.60	dB(A)
22/01/2012	9:28:6	73.90	dB(A)	22/01/2012	9:28:52	58.90	dB(A)
22/01/2012	9:28:7	76.20	dB(A)	22/01/2012	9:28:53	55.90	dB(A)
22/01/2012	9:28:8	70.80	dB(A)	22/01/2012	9:28:54	52.90	dB(A)
22/01/2012	9:28:9	64.90	dB(A)	22/01/2012	9:28:55	54.50	dB(A)
22/01/2012	9:28:10	62.20	dB(A)	22/01/2012	9:28:56	56.60	dB(A)
22/01/2012	9:28:11	62.00	dB(A)	22/01/2012	9:28:57	61.00	dB(A)
22/01/2012	9:28:12	66.70	dB(A)	22/01/2012	9:28:58	66.70	dB(A)
22/01/2012	9:28:13	71.80	dB(A)	22/01/2012	9:28:59	75.30	dB(A)
22/01/2012	9:28:14	71.60	dB(A)	22/01/2012	9:29:0	78.50	dB(A)
22/01/2012	9:28:15	69.40	dB(A)	22/01/2012	9:29:1	65.70	dB(A)
22/01/2012	9:28:16	67.90	dB(A)	22/01/2012	9:29:2	67.10	dB(A)
22/01/2012	9:28:17	67.20	dB(A)	22/01/2012	9:29:3	73.30	dB(A)
22/01/2012	9:28:18	70.20	dB(A)	22/01/2012	9:29:4	86.90	dB(A)
22/01/2012	9:28:19	83.70	dB(A)	22/01/2012	9:29:5	83.50	dB(A)
22/01/2012	9:28:20	77.30	dB(A)	22/01/2012	9:29:6	73.90	dB(A)
22/01/2012	9:28:21	67.50	dB(A)	22/01/2012	9:29:7	73.70	dB(A)
22/01/2012	9:28:22	60.60	dB(A)	22/01/2012	9:29:8	86.60	dB(A)
22/01/2012	9:28:23	56.80	dB(A)	22/01/2012	9:29:9	73.20	dB(A)
22/01/2012	9:28:24	64.80	dB(A)	22/01/2012	9:29:10	68.20	dB(A)
22/01/2012	9:28:25	60.00	dB(A)	22/01/2012	9:29:11	69.60	dB(A)
22/01/2012	9:28:26	72.40	dB(A)	22/01/2012	9:29:12	72.00	dB(A)
22/01/2012	9:28:27	70.00	dB(A)	22/01/2012	9:29:13	71.00	dB(A)
22/01/2012	9:28:28	66.40	dB(A)	22/01/2012	9:29:14	82.90	dB(A)
22/01/2012	9:28:29	62.40	dB(A)	22/01/2012	9:29:15	77.70	dB(A)
22/01/2012	9:28:30	58.70	dB(A)	22/01/2012	9:29:16	77.10	dB(A)
22/01/2012	9:28:31	58.10	dB(A)	22/01/2012	9:29:17	79.60	dB(A)
22/01/2012	9:28:32	66.30	dB(A)	22/01/2012	9:29:18	68.70	dB(A)
22/01/2012	9:28:33	63.40	dB(A)	22/01/2012	9:29:19	66.50	dB(A)

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
22/01/2012	9:29:20	71.80	dB(A)	22/01/2012	9:30:6	63.20	dB(A)
22/01/2012	9:29:21	80.60	dB(A)	22/01/2012	9:30:7	58.90	dB(A)
22/01/2012	9:29:22	86.80	dB(A)	22/01/2012	9:30:8	54.20	dB(A)
22/01/2012	9:29:23	77.30	dB(A)	22/01/2012	9:30:9	57.20	dB(A)
22/01/2012	9:29:24	67.40	dB(A)	22/01/2012	9:30:10	55.00	dB(A)
22/01/2012	9:29:25	60.80	dB(A)	22/01/2012	9:30:11	50.70	dB(A)
22/01/2012	9:29:26	58.10	dB(A)	22/01/2012	9:30:12	52.60	dB(A)
22/01/2012	9:29:27	57.60	dB(A)	22/01/2012	9:30:13	62.80	dB(A)
22/01/2012	9:29:28	69.80	dB(A)	22/01/2012	9:30:14	54.40	dB(A)
22/01/2012	9:29:29	65.90	dB(A)	22/01/2012	9:30:15	52.10	dB(A)
22/01/2012	9:29:30	72.90	dB(A)	22/01/2012	9:30:16	51.00	dB(A)
22/01/2012	9:29:31	84.10	dB(A)	22/01/2012	9:30:17	54.70	dB(A)
22/01/2012	9:29:32	68.90	dB(A)	22/01/2012	9:30:18	53.70	dB(A)
22/01/2012	9:29:33	66.20	dB(A)	22/01/2012	9:30:19	52.90	dB(A)
22/01/2012	9:29:34	59.20	dB(A)	22/01/2012	9:30:20	52.20	dB(A)
22/01/2012	9:29:35	57.90	dB(A)	22/01/2012	9:30:21	53.30	dB(A)
22/01/2012	9:29:36	70.00	dB(A)	22/01/2012	9:30:22	52.60	dB(A)
22/01/2012	9:29:37	68.00	dB(A)	22/01/2012	9:30:23	53.70	dB(A)
22/01/2012	9:29:38	65.00	dB(A)	22/01/2012	9:30:24	53.30	dB(A)
22/01/2012	9:29:39	60.30	dB(A)	22/01/2012	9:30:25	65.20	dB(A)
22/01/2012	9:29:40	60.10	dB(A)	22/01/2012	9:30:26	59.90	dB(A)
22/01/2012	9:29:41	70.20	dB(A)	22/01/2012	9:30:27	58.90	dB(A)
22/01/2012	9:29:42	71.00	dB(A)	22/01/2012	9:30:28	57.00	dB(A)
22/01/2012	9:29:43	67.10	dB(A)	22/01/2012	9:30:29	60.30	dB(A)
22/01/2012	9:29:44	62.80	dB(A)	22/01/2012	9:30:30	60.60	dB(A)
22/01/2012	9:29:45	58.50	dB(A)	22/01/2012	9:30:31	65.20	dB(A)
22/01/2012	9:29:46	62.40	dB(A)	22/01/2012	9:30:32	66.00	dB(A)
22/01/2012	9:29:47	68.50	dB(A)	22/01/2012	9:30:33	69.40	dB(A)
22/01/2012	9:29:48	66.70	dB(A)	22/01/2012	9:30:34	75.40	dB(A)
22/01/2012	9:29:49	64.00	dB(A)	22/01/2012	9:30:35	88.50	dB(A)
22/01/2012	9:29:50	64.00	dB(A)	22/01/2012	9:30:36	84.30	dB(A)
22/01/2012	9:29:51	65.50	dB(A)	22/01/2012	9:30:37	75.90	dB(A)
22/01/2012	9:29:52	62.60	dB(A)	22/01/2012	9:30:38	71.00	dB(A)
22/01/2012	9:29:53	66.40	dB(A)	22/01/2012	9:30:39	63.80	dB(A)
22/01/2012	9:29:54	69.30	dB(A)	22/01/2012	9:30:40	58.00	dB(A)
22/01/2012	9:29:55	72.90	dB(A)	22/01/2012	9:30:41	55.80	dB(A)
22/01/2012	9:29:56	87.40	dB(A)	22/01/2012	9:30:42	55.00	dB(A)
22/01/2012	9:29:57	80.20	dB(A)	22/01/2012	9:30:43	54.60	dB(A)
22/01/2012	9:29:58	66.60	dB(A)	22/01/2012	9:30:44	54.80	dB(A)
22/01/2012	9:29:59	62.60	dB(A)	22/01/2012	9:30:45	55.90	dB(A)
22/01/2012	9:30:0	68.50	dB(A)	22/01/2012	9:30:46	59.00	dB(A)
22/01/2012	9:30:1	72.10	dB(A)	22/01/2012	9:30:47	61.40	dB(A)
22/01/2012	9:30:2	66.90	dB(A)	22/01/2012	9:30:48	67.70	dB(A)
22/01/2012	9:30:3	68.10	dB(A)	22/01/2012	9:30:49	74.10	dB(A)
22/01/2012	9:30:4	78.00	dB(A)	22/01/2012	9:30:50	83.70	dB(A)
22/01/2012	9:30:5	75.70	dB(A)	22/01/2012	9:30:51	85.60	dB(A)

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
22/01/2012	9:30:52	80.70	dB(A)	22/01/2012	9:31:38	88.10	dB(A)
22/01/2012	9:30:53	86.60	dB(A)	22/01/2012	9:31:39	73.60	dB(A)
22/01/2012	9:30:54	73.40	dB(A)	22/01/2012	9:31:40	65.50	dB(A)
22/01/2012	9:30:55	67.90	dB(A)	22/01/2012	9:31:41	57.30	dB(A)
22/01/2012	9:30:56	64.20	dB(A)	22/01/2012	9:31:42	59.50	dB(A)
22/01/2012	9:30:57	61.40	dB(A)	22/01/2012	9:31:43	65.50	dB(A)
22/01/2012	9:30:58	62.20	dB(A)	22/01/2012	9:31:44	74.10	dB(A)
22/01/2012	9:30:59	65.50	dB(A)	22/01/2012	9:31:45	82.90	dB(A)
22/01/2012	9:31:0	66.70	dB(A)	22/01/2012	9:31:46	69.80	dB(A)
22/01/2012	9:31:1	74.30	dB(A)	22/01/2012	9:31:47	64.80	dB(A)
22/01/2012	9:31:2	84.60	dB(A)	22/01/2012	9:31:48	64.90	dB(A)
22/01/2012	9:31:3	71.50	dB(A)	22/01/2012	9:31:49	69.40	dB(A)
22/01/2012	9:31:4	64.60	dB(A)	22/01/2012	9:31:50	69.80	dB(A)
22/01/2012	9:31:5	59.50	dB(A)	22/01/2012	9:31:51	71.80	dB(A)
22/01/2012	9:31:6	59.90	dB(A)	22/01/2012	9:31:52	70.60	dB(A)
22/01/2012	9:31:7	63.80	dB(A)	22/01/2012	9:31:53	70.40	dB(A)
22/01/2012	9:31:8	69.30	dB(A)	22/01/2012	9:31:54	69.60	dB(A)
22/01/2012	9:31:9	67.90	dB(A)	22/01/2012	9:31:55	66.30	dB(A)
22/01/2012	9:31:10	65.20	dB(A)	22/01/2012	9:31:56	64.40	dB(A)
22/01/2012	9:31:11	61.00	dB(A)	22/01/2012	9:31:57	63.70	dB(A)
22/01/2012	9:31:12	59.00	dB(A)	22/01/2012	9:31:58	59.80	dB(A)
22/01/2012	9:31:13	57.40	dB(A)	22/01/2012	9:31:59	61.50	dB(A)
22/01/2012	9:31:14	58.40	dB(A)	22/01/2012	9:32:0	57.50	dB(A)
22/01/2012	9:31:15	59.70	dB(A)	22/01/2012	9:32:1	55.30	dB(A)
22/01/2012	9:31:16	60.10	dB(A)	22/01/2012	9:32:2	54.90	dB(A)
22/01/2012	9:31:17	64.00	dB(A)	22/01/2012	9:32:3	52.20	dB(A)
22/01/2012	9:31:18	64.40	dB(A)	22/01/2012	9:32:4	51.90	dB(A)
22/01/2012	9:31:19	66.70	dB(A)	22/01/2012	9:32:5	49.60	dB(A)
22/01/2012	9:31:20	69.70	dB(A)	22/01/2012	9:32:6	57.30	dB(A)
22/01/2012	9:31:21	77.80	dB(A)	22/01/2012	9:32:7	52.60	dB(A)
22/01/2012	9:31:22	93.40	dB(A)	22/01/2012	9:32:8	52.20	dB(A)
22/01/2012	9:31:23	83.40	dB(A)	22/01/2012	9:32:9	50.90	dB(A)
22/01/2012	9:31:24	82.10	dB(A)	22/01/2012	9:32:10	49.90	dB(A)
22/01/2012	9:31:25	77.20	dB(A)	22/01/2012	9:32:11	51.30	dB(A)
22/01/2012	9:31:26	72.60	dB(A)	22/01/2012	9:32:12	53.00	dB(A)
22/01/2012	9:31:27	70.60	dB(A)	22/01/2012	9:32:13	62.80	dB(A)
22/01/2012	9:31:28	60.40	dB(A)	22/01/2012	9:32:14	67.90	dB(A)
22/01/2012	9:31:29	60.20	dB(A)	22/01/2012	9:32:15	67.80	dB(A)
22/01/2012	9:31:30	61.60	dB(A)	22/01/2012	9:32:16	66.70	dB(A)
22/01/2012	9:31:31	62.40	dB(A)	22/01/2012	9:32:17	63.20	dB(A)
22/01/2012	9:31:32	61.40	dB(A)	22/01/2012	9:32:18	58.10	dB(A)
22/01/2012	9:31:33	64.40	dB(A)	22/01/2012	9:32:19	57.00	dB(A)
22/01/2012	9:31:34	77.10	dB(A)	22/01/2012	9:32:20	59.10	dB(A)
22/01/2012	9:31:35	80.80	dB(A)	22/01/2012	9:32:21	58.10	dB(A)
22/01/2012	9:31:36	71.80	dB(A)	22/01/2012	9:32:22	55.20	dB(A)
22/01/2012	9:31:37	73.60	dB(A)	22/01/2012	9:32:23	54.60	dB(A)

Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade	Data	Horário	Nível Sonoro	Unidade
22/01/2012	9:32:24	57.70	dB(A)	22/01/2012	9:32:53	70.70	dB(A)
22/01/2012	9:32:25	58.70	dB(A)	22/01/2012	9:32:54	77.10	dB(A)
22/01/2012	9:32:26	59.80	dB(A)	22/01/2012	9:32:55	69.90	dB(A)
22/01/2012	9:32:27	64.00	dB(A)	22/01/2012	9:32:56	62.60	dB(A)
22/01/2012	9:32:28	69.60	dB(A)	22/01/2012	9:32:57	58.80	dB(A)
22/01/2012	9:32:29	73.90	dB(A)	22/01/2012	9:32:58	55.40	dB(A)
22/01/2012	9:32:30	72.60	dB(A)	22/01/2012	9:32:59	55.10	dB(A)
22/01/2012	9:32:31	84.90	dB(A)	22/01/2012	9:33:00	57.20	dB(A)
22/01/2012	9:32:32	70.80	dB(A)	22/01/2012	9:33:01	60.30	dB(A)
22/01/2012	9:32:33	66.20	dB(A)	22/01/2012	9:33:02	68.20	dB(A)
22/01/2012	9:32:34	59.00	dB(A)	22/01/2012	9:33:03	80.40	dB(A)
22/01/2012	9:32:35	60.80	dB(A)	22/01/2012	9:33:04	85.00	dB(A)
22/01/2012	9:32:36	68.40	dB(A)	22/01/2012	9:33:05	74.80	dB(A)
22/01/2012	9:32:37	72.00	dB(A)	22/01/2012	9:33:06	65.90	dB(A)
22/01/2012	9:32:38	68.10	dB(A)	22/01/2012	9:33:07	60.90	dB(A)
22/01/2012	9:32:39	66.70	dB(A)	22/01/2012	9:33:08	66.20	dB(A)
22/01/2012	9:32:40	68.30	dB(A)	22/01/2012	9:33:09	63.40	dB(A)
22/01/2012	9:32:41	70.20	dB(A)	22/01/2012	9:33:10	61.80	dB(A)
22/01/2012	9:32:42	69.20	dB(A)	22/01/2012	9:33:11	65.50	dB(A)
22/01/2012	9:32:43	75.30	dB(A)	22/01/2012	9:33:12	72.50	dB(A)
22/01/2012	9:32:44	77.70	dB(A)	22/01/2012	9:33:13	82.90	dB(A)
22/01/2012	9:32:45	70.60	dB(A)	22/01/2012	9:33:14	71.40	dB(A)
22/01/2012	9:32:46	83.10	dB(A)	22/01/2012	9:33:15	61.10	dB(A)
22/01/2012	9:32:47	78.20	dB(A)	22/01/2012	9:33:16	57.70	dB(A)
22/01/2012	9:32:48	71.40	dB(A)	22/01/2012	9:33:17	59.50	dB(A)
22/01/2012	9:32:49	78.80	dB(A)	22/01/2012	9:33:18	62.70	dB(A)
22/01/2012	9:32:50	74.90	dB(A)	22/01/2012	9:33:19	70.10	dB(A)
22/01/2012	9:32:51	67.70	dB(A)	22/01/2012	9:33:10	61.80	dB(A)
22/01/2012	9:32:52	65.70	dB(A)	22/01/2012	9:33:11	65.50	dB(A)

Tabela Apêndice C Nível sonoro global em dB(A) para velocidade de 110 km.h⁻¹ com motor ligado – Trecho da PR-317 entre Maringá e Floresta – Superfície em CAUQ com ligante modificado com asfalto-borracha.