

# **AVALIAÇÃO DO RUÍDO CAUSADO PELO TRÁFEGO DE VEÍCULOS EM DIFERENTES RODOVIAS**

**Luciano Pivoto Specht, Raquel Kohler, Oleg A. Khatchatourian, Sérgio C. Callai**

UNIJUÍ - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Curso de Engenharia Civil / Mestrado em Modelagem Matemática

**Jorge A. Pereira Ceratti**

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## **RESUMO**

O transporte rodoviário causa grande impacto no meio ambiente, tanto pelo grande consumo de energia quanto pela infra-estrutura física necessária a sua operação. A emissão de gases e os ruídos causados pela tráfego causam danos irreversíveis ao meio ambiente e tem sido alvo de inúmeros estudos e pesquisas. Sabe-se que o atrito pneu/pavimento e as propriedades acústicas dos revestimentos influenciam de sobremaneira a geração e a propagação do ruído. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o ruído causado pelo tráfego de veículos em quatro diferentes revestimentos implantados em diferentes rodovias do Estado do Rio Grande do Sul: CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente), TSD (Tratamento Superficial Duplo), CPA (Camada Porosa de Atrito) e CCP (Concreto de Cimento Portland). A metodologia adotada seguiu as prescrições da norma ISO 11819-1 utilizando o processo *pass by* de medida onde um decibelímetro é instalado na lateral da via e mede o ruído máximo causado pela passagem de um veículo. O revestimento em CCP é o pavimento cujas maiores medidas foram observadas (84,31dBA) seguido do CBUQ (82,52dBA), do TSD (82,19 dBA) e do CPA (79,29 dBA). Os resultados mostraram que a velocidade e tipo de veículo tem importância nas medidas de ruído, mas que as características de textura e volume de vazios do pavimento são mais importante.

## **ABSTRACT**

The highway transportation causes great impact in the environment, as much as the great consumption of energy as for the necessary physical infrastructure for its operation. The gases emission and the noises caused by the traffic cause irreversible damages to the environment and it has been the objective of a lot of studies and researches. It is known that the friction between tire and pavement surface and the acoustic properties of the coverings influence the generation and the propagation of the noise. This research aims to evaluate the noise caused by the traffic of vehicles in four different pavement implanted in different highways of Rio Grande do Sul State: Hot Mix Asphalt (HMA), Surface Treatments (ST), Porous Course (PC) and Portland Cement Concrete (PCC). The noise measured methodology followed the prescriptions of the norm ISO 11819-1 using the by-pass process; the decibelimeter is installed in the lateral of the road and it records the maximum noise caused by the vehicle. PCC presents higher noise measurement (84,31dBA) following by HMA (82,52dBA), ST (82,19 dBA) and PC (79,29 dBA). The results shown that speed and vehicle have influence on the noise measurements, however the pavement features are the most important factor.

## **1. INTRODUÇÃO**

O modal rodoviário de transporte tem papel indiscutível e é insubstituível tanto na economia quanto no cotidiano das pessoas. No Brasil, onde 63% das cargas e 97% dos passageiros são transportados em rodovias tais valores são ainda mais marcantes (Mello, 2001). Todavia é inegável o nefasto efeito ambiental causado tanto pela implantação das vias quanto pela operação de veículos; destacam-se na operação a poluição do ar pela emissão de dióxido de carbono e o ruído causados pelos veículos.

Shafer (1977) apresenta uma compilação de diversas pesquisas (Londres e Vancouver em 1969, Chicago em 1971, Joanesburgo, Paris e Munique em 1972) sobre os ruídos ambientais que mais afetam o público em geral e o tráfego de veículos foi o mais lembrado. Nos últimos anos o Brasil tem experimentado um expressivo aumento nas taxas de motorização, passando de 122 habitantes/veículo na década de 1950 para 6 habitantes/veículo em 1995 o que acentuou ainda mais o problema (ANTP, 2003). O USDOT/FHWA (1995) complementa que

o ruído, tanto em zonas urbanas quanto rurais, está intimamente associando com os transportes.

Na Suécia um estudo de perdas causadas pelo ruído apresenta cifras da ordem de 330 milhões de dólares por ano e estão ligadas principalmente a desvalorização imobiliária (Sandenberg, 2001). A cada vez mais tem se buscado alternativas para reduzir o ruído causado pelo tráfego ou minimizar seus efeitos. É bastante comum na Europa e nos Estados Unidos a utilização de barreiras anti-ruído que são muros ou cortinas que atenuam a passagem do som. Outra forma de se minimizar a geração e reduzir a propagação do ruído é através da utilização de revestimentos de rodovias com propriedades fonoabsorventes.

Neste quesito as camadas porosas de atrito (CPA) merecem destaque e têm sido estudadas em todo mundo com esta finalidade (Sainton, 1990; Zhu e Carlson, 1999; Sacramento County, 1999; Homem, 2001; Hanson *et al.*, 2005; Brosseaud, 2006; Astrana, 2006). O estado do Arizona (EUA) tem se destacado na utilização de ligantes modificados com borracha reciclada para a produção de misturas porosas de atrito objetivando a redução do ruído (Carlson *et al.*, 2003). Segundo Scofield e Donovan (2003) o Arizona está desenvolvendo um programa para reduzir o ruído em áreas urbanas e utiliza camadas porosas sobrepostas a pavimentos de concreto; o ADOT pretende reduzir o ruído em quatro decibéis com tal medida, o que possibilitaria economia na utilização de barreiras anti-ruído.

No Brasil os trechos com CPA ainda são poucos, destaque para a Estrada do Côco na Bahia (BA 099), a Rodovia das Cataratas no Paraná (BR 277) e a BR 285 entre Entre-Ijuís e São Borja no Rio Grande do Sul. Tem-se notícias também de trechos menores em São Paulo e Santa Catarina além de revestimentos aeroportuários.

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o ruído causado pelo tráfego de veículos em quatro diferentes revestimentos implantados em diferentes rodovias do Estado do Rio Grande do Sul: CBUQ – Concreto Betuminosos Usinado à Quente, TSD – Tratamento Superficial Duplo, CPA – Camada Porosa de Atrito e CCP – Concreto de Cimento Portland.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O som é o resultado das vibrações dos corpos elásticos, quando essas vibrações se encontram em determinados limites de frequência. Essas vibrações são mais ou menos rápidas e recebem o nome de vibrações sonoras. As vibrações sonoras se propagam com velocidade uniforme em todas as direções, se a propriedade elástica do meio for igual em todos os sentidos.

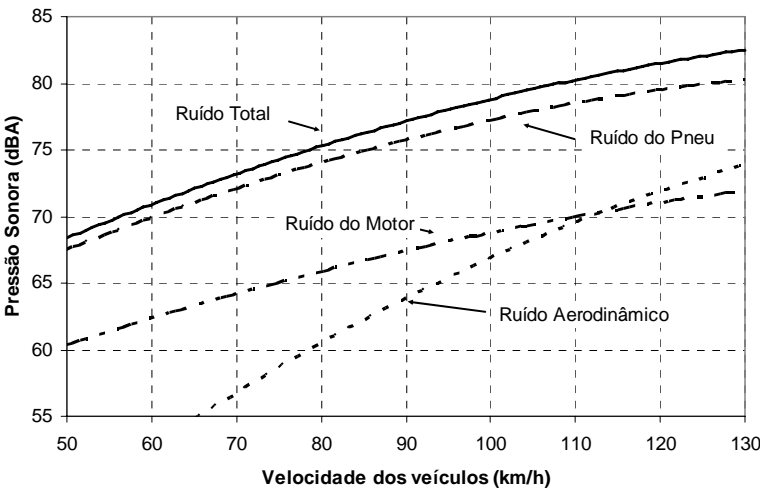
Ruído pode ser definido como uma mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa ou simplesmente como todo som indesejável (ABNT 1983). A pressão sonora é utilizada para definir os níveis de ruído ou sua intensidade e sua unidade é o decibel. O decibel (dB) é a unidade logarítmica que expressa a razão entre a pressão sonora que está sendo medida e uma referência. O som é composto por uma variedade de frequências, todavia o ouvido humano é capaz de sentir apenas parte desta frequência (áudio- frequência 20-20000Hz). Os medidores de ruído são capazes de selecionar tais frequências e a escala A dos decibelímetros é a que melhor representa a percepção humana.

USDOT/FHWA (1995) ressalta que a interpretação das medidas de ruído deve ser cuidadosa visto que, como mencionado, o decibel é uma escala logarítmica. A Tabela 1 apresenta algumas relações de variação de nível sonoro e perda de energia acústica.

**Tabela 1:** Relações de variação de nível sonoro e perda de energia acústica  
Fonte: USDOT/FTHW (1995)

Alteração Nível Sonoro	Percepção	Perda de Energia Acústica
0dBA	Referência	0
-3dBA	Mudanças pouco perceptíveis	50%
-5dBA	Mudanças perceptíveis	67%
-10dBA	Metade do volume	90%
-20dBA	$\frac{1}{4}$ volume	99%
-30dBA	$\frac{1}{8}$ volume	99,9%

No caso do transporte rodoviário, o ruído é causado pelo sistema de motor, escapamento e sistema de transmissão, contato pneu/pavimento e efeito aerodinâmico. Na Figura 1 está representada a contribuição de cada parcela no ruído total, nota-se claramente a importância do ruído pneu/pavimento no ruído total (Hanson *et al.*, 2005). Se considerarmos a velocidade de 100km/h a participação do ruído pneu/pavimento chega a 78% contra 12% do motor, escapamento e sistema de transmissão e 10% do ruído aerodinâmico.



**Figura 1:** Influência dos diversos fatores no ruído  
Fonte: Hanson *et al.*, 2005

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, 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.

Existem diversas maneiras de se medir o ruído causado pelo tráfego de veículos, as mais comuns são as medições realizadas junto ao veículo em que microfones são instalados junto

ao pneu (CPX – *Close Proximity Test*) e as medições em que os microfones de medição são instalados na lateral da via. Neste caso podem ser medidas a pressão sonora causada pela passagem de um veículo, do tráfego ou ainda a pressão sonora equivalente.

Algumas pesquisa realizadas no Brasil mediram as propriedades acústicas dos materiais de revestimento utilizando técnicas do tubo de impedância (Nascimento *et al.*, 2005; Láo, 2004; Astrana, 2006). Segundo Sandemberg (2001) e Hanson *et al.* (2004) a tendência para se construir pavimentos considerando a segurança, desempenho, custo e baixos níveis de ruído deve considerar os seguintes possibilidades: a superfícies com baixa textura e agregados pequenos; camadas porosas com altos volumes de vazios; superfícies com baixa rigidez no contato pneu/pavimento.

Os limites aceitáveis/toleráveis de ruído causados pelo tráfego de veículos variam de país para país. Nos Estados Unidos a EPA (*Environmental Protection Agency*) fixa valores entre 80dBA e 87dBA dependendo do tipo veículo e da velocidade (USDOT/FTHW, 1995). No Brasil a NBR10151 (ABNT 2000) fixa como valores máximo de ruído flutuante para áreas externa e no período diurno valores entre 40dBA para sítios e fazendas até 70dBA para áreas predominantemente industriais.

A exposição dos seres humanos a altos níveis de ruído acaba por ocasionar respostas involuntárias e inconscientes do organismo a esse estímulo. As principais alterações fisiológicas reversíveis são: dilatação das pupilas, hipertensão sanguínea, mudanças gastrintestinais, reações musculares e vaso constrição das veias. Além das alterações fisiológicas existem as bioquímicas que são: mudanças na produção de cortisona, do hormônio tiróide, de adrenalina, na glicose sanguínea e na proteína do sangue. O ruído também provoca efeitos cardiovasculares, tais com aumento da pressão sanguínea causando hipertensão arterial (Fernandes, 2002).

### **3. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

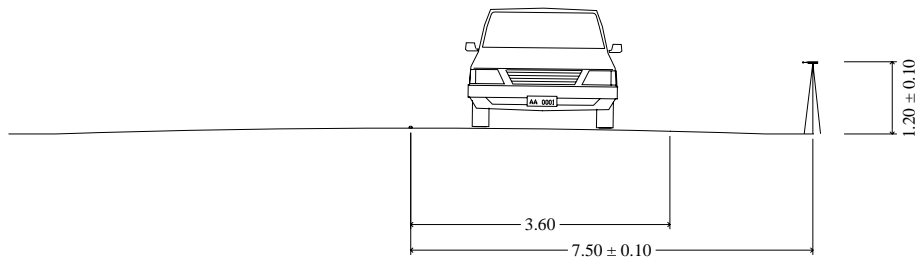
#### **3.1. Planejamento do Experimento**

O planejamento do experimento contempla a medição de ruído, da velocidade, a classificação do tráfego e medição da macrotextura em quatro diferentes revestimentos utilizados em rodovias no Rio Grande do Sul e que são comuns em outras partes do Brasil e do Mundo. As rodovias selecionadas foram as seguintes:

- RS 342 – trecho entre Ijuí – Cruz Alta. Revestimento: CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado à Quente; faixa densa IVB do Instituto do Asfalto, com tamanho máximo de granulares de 19mm e teor de ligante de 5,6% (Oliveira *et al.*, 2000), executado no ano de 2000.
- RS 522 – trecho entre Ijuí – Augusto Pestana. Revestimento: TSD – Tratamento Superficial Duplo; executado no ano de 2004.
- BR 285 - trecho Entre-Ijuís – São Borja. Revestimento: CPA – Camada Porosa de Atrito; construído sobre camada de concreto asfáltico no ano de 2005.
- BR 290 - trecho Porto Alegre – Osório. Revestimento: CCP – Concreto de Cimento Portland; construído sobre camada de concreto asfáltico no ano de 2000.

### 3.2. Metodologia

A metodologia adotada seguiu as prescrições da norma ISO 11819-1 utilizando o processo *pass by* de medida onde um decibelímetro é instalado na lateral da via e mede o ruído máximo causado pela passagem de um veículo. A Figura 2 apresenta a posição de instalação do equipamento. Todas as medições foram feitas entre 8h e 30min e as 17h e 30min durante os meses de setembro de 2006 à março de 2007 com temperaturas entre 23 e 38°C em dias ensolarados.



**Figura 2:** Posicionamento do decibelímetro (em metros)

O equipamento utilizado é um decibelímetro da marca Minipa MSL 1351 com display digital, microfone de eletreto de 1/2", faixa dinâmica de 50dB, precisão de  $\pm 1,5\text{dB}$  (94dB/1kHz); a escala A foi adotada para as medições, assim como a resposta rápida. As leituras eram feitas manualmente. A Figura 3 apresenta fotos do equipamento utilizado.



**Figura 3:** Decibelímetro utilizado

O local escolhido para a realização das medidas deve ser livre de obstáculos ou elementos que interfiram nas medidas e a pista deve estar seca e representar adequadamente o revestimento que se pretende caracterizar. A medida de velocidade era feita com a determinação do tempo que o veículo levava para percorrer uma distância pré-estabelecida (entre duas estacas = 100m) e então calculada a velocidade média.

O tráfego foi classificado segundo a ISO 11819-1 e de acordo com o Manual de Estudos de

Tráfego do DNIT (2006). A norma ISO classifica os veículos em apenas duas categorias: 1 – carro e 2 – caminhões e ônibus, subdividindo-se em 2a para os veículos com dois eixos e 2b para veículos com mais de 2 eixos; o DNER utiliza classificar os veículos em 32 tipos diferentes e fornece também o peso máximo e o número de eixos.

As medidas de macrotextura foram feitas segundo a técnica da mancha ou altura de areia onde é espalhado sobre a superfície do pavimento um volume conhecido de microesferas de vidro e então medida o tamanho da mancha para cálculo da macrotextura; foram seguidas as prescrições da norma ASTM D965-96.

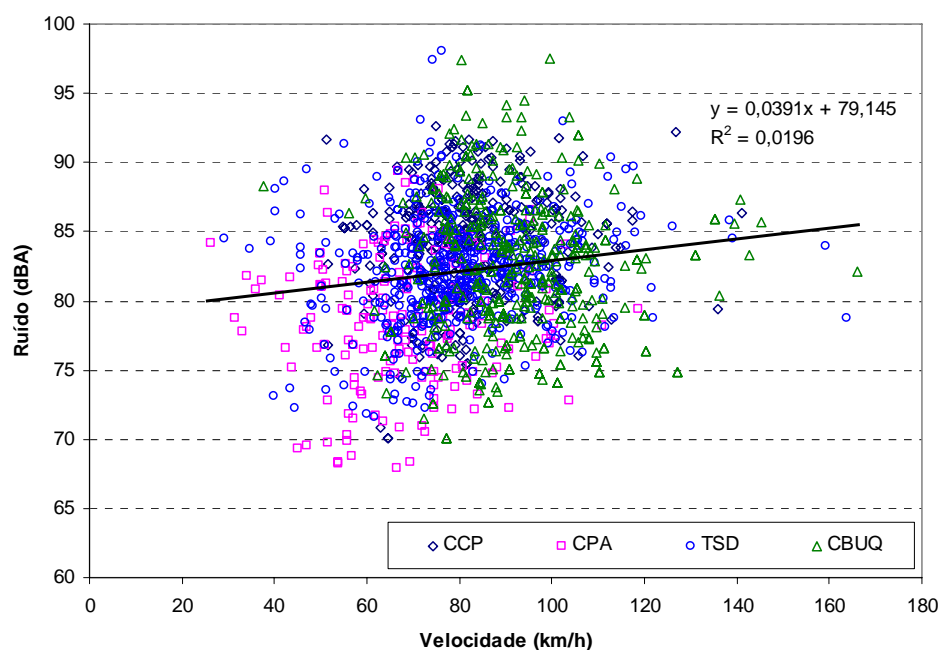
#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos nas medições de ruído nos quatro trechos propostos. Foram também calculados os valores médios de textura, velocidade, número de eixos e peso. O peso foi determinado relacionando o tipo de veículo com o peso informado no manual do DNIT (2006); neste caso não se pode afirmar com precisão este valor pois os veículos poderiam estar com um menor carga embarcada ou, eventualmente, com excesso de peso.

A Figura 4 apresenta a relação entre velocidade e pressão sonora; nota-se que a maioria dos pontos encontra-se entre 65 e 110km/h, o que caracteriza de maneira adequada a velocidade das rodovias rurais do Brasil. É verificada uma relação de proporcionalidade direta entre a velocidade e pressão sonora, com variação chegando a 5bBA nos extremos, o que é bastante expressivo. Tal aumento deve-se ao efeito areodinâmico e pela dinâmica do contato pneu/pavimento. O ajuste linear apresentado com  $R^2$  de 0,019 não tem objetivo de servir como modelo de previsão, mas de indicar a complexidade de fatores que não são controlados e afetam o ruído; isso também denotado pela dispersão dos dados.

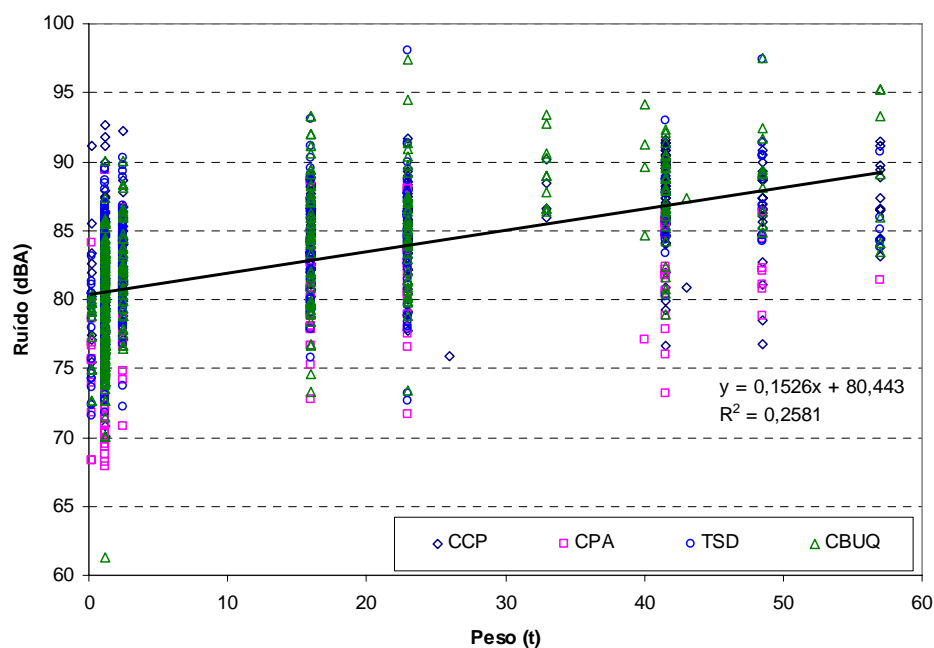
**Tabela 2:** Resumo dos resultados obtidos nas medições

<i>Parâmetros</i>	<b>Revestimento</b>			
	<i>CBUQ</i>	<i>TSD</i>	<i>CPA</i>	<i>CCP</i>
<i>Nº de Medidas</i>	374	538	215	360
<i>Macrotextura (mm)</i>	0,42	2,30	2,04	0,58
<i>Velocidade (km/h)</i>	91,89	80,71	70,13	82,35
<i>Desvio Padrão (km/h)</i>	15,36	16,67	15,67	13,08
<i>Coef. Variação (%)</i>	16,71	20,66	22,35	15,88
<i>N eixos</i>	2,67	2,30	2,51	3,17
<i>Desvio Padrão</i>	1,25	0,87	1,14	1,53
<i>Coef. Variação (%)</i>	46,69	38,01	45,32	48,30
<i>Peso (t)</i>	13,23	7,60	10,97	20,36
<i>Desvio Padrão (t)</i>	15,75	11,95	14,68	17,60
<i>Coef. Variação (%)</i>	119,09	157,21	133,88	86,44
<i>Pressão Sonora (dbA)</i>	82,52	82,19	79,29	84,31
<i>Desvio Padrão (dbA)</i>	5,33	3,83	4,70	4,10
<i>Coef. Variação (%)</i>	6,46	4,66	5,93	4,86



**Figura 4:** Relação entre velocidade e pressão sonora

Na Figura 5 é apresentado a influência dos diferentes veículos na pressão sonora. Escolheu-se o número de eixo como característica tangível para caracterizar os veículos. Observa-se que, de maneira geral, quanto maior o número de eixos maior será a pressão sonora. O aumento do número de eixos implica também no aumento do número de pneus e conseqüentemente maior contato com a superfície do pavimento gerando, assim, maior ruído.

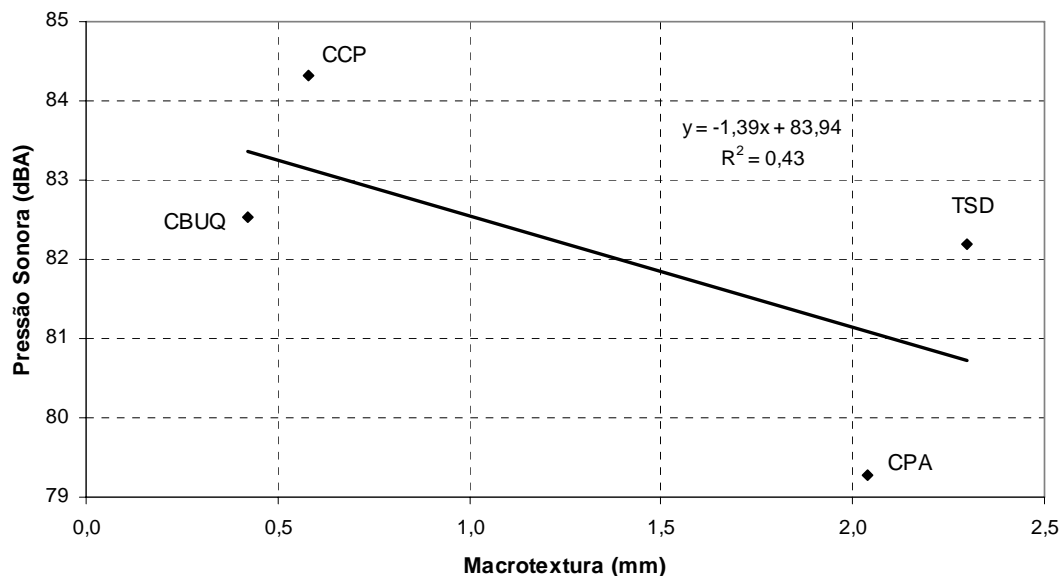


**Figura 5:** Relação entre número de eixos e pressão sonora

Dentre os fatores estudados que contribuem para o aumento ou diminuição da pressão sonora, a velocidade e o tipo de veículo são variáveis que a engenharia de operação pode tentar disciplinar, restringindo a velocidade e/ou proibindo o tráfego de alguns tipos de veículos em alguns locais em certos horários, todavia, tais medidas trazem outras consequências associadas, e nem sempre são bem aceitas pelos usuários.

Uma das maneiras de alterar a geração e reduzir a propagação do ruído proveniente do contato pneu/pavimento é através da utilização de superfícies com propriedades acústicas adequadas. Na prática de engenharia isso significa criar uma superfície que auxilie na atenuação do ruído seja pela adequada textura ou pela baixa rigidez.

A Figura 6 apresenta a relação obtida entre a pressão sonora e a macrotextura, medida através da técnica de altura de areia. Nota-se claramente, apesar da dispersão, uma tendência de redução na geração e propagação do ruído quando o pavimento apresenta texturas maiores.



**Figura 6:** Relação entre macrotextura e pressão sonora

Nota-se também, na Figura 6, que existe uma inversão nos dois pontos de maior pressão sonora; o CBUQ possui macrotextura mais fina que o CCP e um ruído menor, o mesmo acontece comparando-se o TSD e o CPA. Comparando os pontos que representam o CBUQ e o TSD notamos também uma discrepância, afinal a textura é bastante diferente e o ruído muito próximo. A explicação para isso pode ser a inadequada caracterização, para este fim, da macrotextura através do ensaio de mancha de areia. A macrotextura, por si só, não é um bom indicador de ruído.

A Tabela 3 e na Figura 7 apresentam a média da pressão sonora para cada tipo de revestimento considerando também o tipo de veículo, segundo a classificação da ISO 11819; nota-se que os maiores valores, independentemente do tipo de veículo, foram encontrados para o CCP, seguido do CBUQ, TSD e CPA; nota-se que o tipo de revestimento causa modificações muito mais expressivos no ruído do que o tipo de veículo, denotando a importância de se levar em consideração esta variável em projetos rodoviários onde o ruído

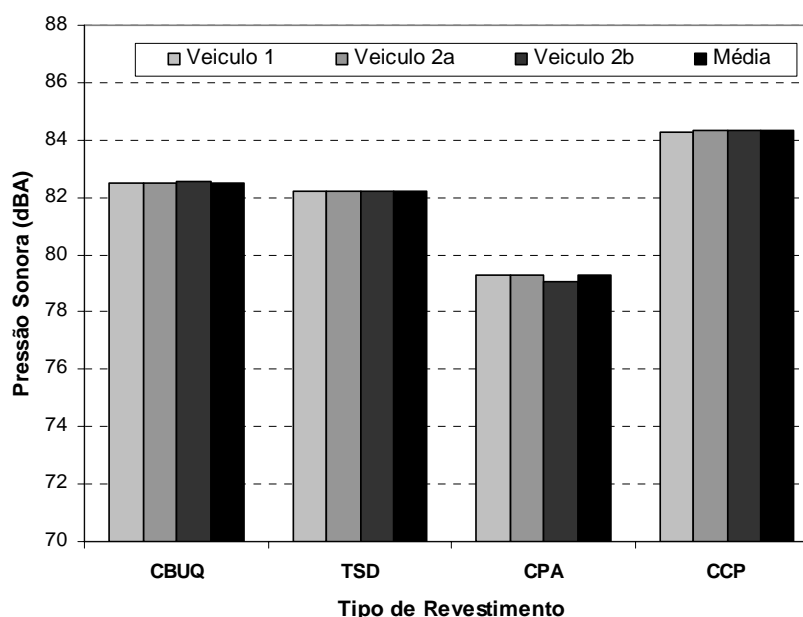


tornar-se importante, como travessias urbanas e ruas e avenidas de cidades. As diferenças entre as médias globais (Tabela 2) do CPA e CCP chegam a 5dBA, o que é bastante expressivo; a diferença entre CPA e CBUQ e CPA e TSD foram de 3,23 e 2,90, respectivamente. Segundo USDOT/FTHW (1995) alterações de -3 e -5dBA no ruído representam 50 e 67% de perda na energia acústica.

O fato do CPA apresentar as menores medidas de ruído pode ser atribuída ao seu elevado índice de vazios (18-24%) e sua textura negativa, ou seja, a um conjunto de canalículos interconectados que permite a entrada e dissipação do som no interior do revestimento.

**Tabela 3:** Média da pressão sonora, em dBA, medida para os diferentes revestimentos e veículos

Veículo (ISO 11819)	Revestimento			
	CBUQ	TSD	CPA	CCP
1 - carros	82,51	82,19	79,29	84,29
2a - veículos pesados com 2 eixos	82,52	82,18	79,27	84,33
2b - veículos pesados mais de 2 eixos	82,58	82,20	79,08	84,33



**Figura 7:** Média da pressão sonora medida para os diferentes revestimento e veículos

## 5. CONCLUSÕES

A cada vez mais o ruído causado pelo tráfego rodoviário tem se tornado um quesito de projeto de rodovias e tem sido alvo de pesquisas e preocupação da sociedade em geral. A presente pesquisa mediu o ruído causado por diferentes veículos em quatro diferentes trechos rodoviário no estado do Rio Grande do Sul, totalizando 1487 medidas.

Verificou-se uma relação de proporcionalidade direta entre a velocidade e pressão sonora e

características dos veículos (número de eixos) e pressão sonora. O aumento do número de eixos implica também no aumento do número de pneus e conseqüentemente maior contato com a superfície do pavimento, gerando, assim, maior ruído.

A análise conjunta da pressão sonora considerando o tipo revestimento e o tipo de veículo denota a importância das propriedades acústicas dos revestimentos; os maiores valores foram encontrados para o CCP de 84,31dBA seguido de 82,52dBA para o CBUQ, 82,19 dBA para o TSD e de 79,29 dBA para o CPA. A diferença entre o CPA e CCP chega a 5dBA, o que é bastante expressivo e representa 67% de perda na energia acústica.

Os resultados apresentados indicam a importância de se considerar o tipo de revestimento no ruído ambiental bem podem auxiliar na tomada de decisão de futuros projetos de engenharia rodoviária.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar os seus agradecimentos ao MEC pela bolsa PET do primeiro e do terceiro autor e a Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre S/A pela apoio na realização dos ensaios na BR 290.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2000) *Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique*. D965-96. In: ASTM ...Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, v 4.03, 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000) *NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983) *NBR 7731: Guia de execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (2003) *Política Nacional de transportes públicos*. ANTP. São Paulo. 9p.
- ASTRANA, C. A. L. (2006) *Estudo da absorção sonora e permeabilidade de concretos asfálticos drenantes*. Florianópolis, Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 155p.
- BROSSEAUD, Y. (2006) *Propriedades das superfícies dos pavimentos em relação à segurança e ao conforto dos usuários*. In: 18ª Encontro do Asfalto. Anais... Rio de Janeiro. p.01-11.
- CARLSON, D. C.; ZHU, H.; XIAO, C. (2003) *Analysis of traffic noise before and after paving with asphalt-rubber*. In: Asphalt Rubber 2003. Anais... Brasília, p.413-428.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (2006) *Manual de estudos de tráfego*. Publicação IPR723. Rio de Janeiro. 384p.
- FERNANDES, J. C. (2002) *O ruído ambiental: Seus efeitos e seu controle*. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNESP. Campus de Bauru, 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.
- HANSON, D. I.; JAMES, S. J.; NESMITH, C. (2004) *Tire/pavement noise study*. NCAT - National Center for Asphalt Technology. Auburn, report n.04-02. 44p
- HOMEM, T. R. (2002) *Comportamento de misturas asfálticas porosas com ligantes modificados por polímeros e adição de fibras*. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 111p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1997) *ISO 11819: Acoustics – measurement of the influence of road surface on traffic noise*. Genebra, (parte 1) 31p.
- 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.

- MELLO, J. C. (2001) *Transporte: Presente e Futuro*. In: Reunião Anual de Pavimentação, 33º, Florianópolis, Anais... p.31 – 39.
- NASCIMENTO, L. A. H.; LEITE, L. F. M.; LÁO, V.L.E.S.T.; JESUS, G. F. J. (2005) *Pavimentos silenciosos*. In: Reunião Anual de Pavimentação, 36º, Curitiba, Anais... p.01 – 12.
- OLIVEIRA, J.A.; SILVA, S.F.; CERATTI, J.A. P.; PALMA S. L. (2000) *Implantação de um trecho experimental na RS/342 – estudo do desempenho de manta geotêxtil como retardador da propagação de trincas em pavimentos flexíveis*. In: Encontro do Asfalto, 15º, Rio de Janeiro, Anais... p.01 – 09.
- SACRAMENTO COUNTY. (1999) *Report on the status of rubberized asphalt traffic noise reduction in Sacramento County*. Department of Environmental Review and Assessment. Sacramento. <http://www.rubberpavements.org/library/> (artigo consultado em Maio de 2000).
- SANDEMBERG, U. (2001) *Tyre/road noise – myths and realities*. In: 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. Anais... The Hauge, p.01-22.
- SAINTON, A. (1990) Advantages of asphalt rubber binder of porous asphalt concrete. *Transportation Research Record*. Washington, n.1265, p.69-86.
- SCHAFER, R. M. (1977) *The tuning of the World*. Knopf, New York, 382p.
- SCOFIELD, L; DONAVAN, P. R. (2003) *Development of Arizona's quiet pavement research program*. In: Asphalt Rubber 2003. Anais... Brasília, p.429-452.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION / FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. (1995) *Highway traffic noise analysis and abatement policy and guidance*. Washington, 95p.
- ZHU, H.; CARLSON, D. C. (1999) *A spray based crumb rubber technology in highway noise reduction application*. Tempe, 12p. <http://www.rubberpavements.org/library/> (artigo consultado em Maio de 2000).

---

Luciano Pivoto Specht, Dr.

Professor Adjunto – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
Curso de Engenharia Civil / Mestrado em Modelagem Matemática – Rua do Comércio 3000, Bairro Universitário, CEP: 98700-000 – Ijuí – RS  
Fone: 55 3332 0514 e-mail: [specht@unijui.edu.br](mailto:specht@unijui.edu.br).

Raquel Kohler, M Arq.

Professora Assistente – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
Curso de Engenharia Civil – Rua do Comércio 3000, Bairro Universitário, CEP: 98700-000 – Ijuí – RS  
Fone: 55 3332 0514 e-mail: [kohler@unijui.edu.br](mailto:kohler@unijui.edu.br).

Oleg A. Khatchatourian, Dr.

Professor Titular – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
Mestrado em Modelagem Matemática – Rua do Comércio 3000, Bairro Universitário, CEP: 98700-000 – Ijuí – RS  
Fone: 55 3332 0205 e-mail: [olegkha@unijui.edu.br](mailto:olegkha@unijui.edu.br).

Sérgio Copetti Callai

Graduando – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
Curso de Engenharia Civil – Rua do Comércio 3000, Bairro Universitário, CEP: 98700-000 – Ijuí – RS  
Fone: 55 3332 0512 e-mail: [sergiocallai@yahoo.com.br](mailto:sergiocallai@yahoo.com.br)

Jorge A. Pereira Ceratti, Dr.

Professor Adjunto – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Rua Osvaldo Aranha 99 – Centro, CEP: 90035-190 – Porto Alegre – RS  
Fone: 51 3316 3590 e-mail: [lapav1@genesis.cpgec.ufrgs.br](mailto:lapav1@genesis.cpgec.ufrgs.br)