

AVALIAÇÃO DE RUÍDO GERADO NA INTERFACE PNEU/PAVIMENTO EM REVESTIMENTOS ASFÁSTICOS PELO MÉTODO DA PROXIMIDADE IMEDIATA EM ARACAJU-SE

**Diogo Nascimento Oliveira
Fernando Silva Albuquerque
Osvaldo de Freitas Neto**
Universidade Federal de Sergipe

RESUMO

O ruído do tráfego influencia negativamente a sociedade causando problemas relativos à saúde física e mental das pessoas. Os diversos tipos de revestimentos asfálticos utilizados na pavimentação podem proporcionar maiores ou menores níveis de ruído, sendo importante à avaliação deste aspecto. Neste trabalho foi aplicado o método da proximidade imediata (Método CPX), baseado na ISO 11819-2, para a medição de ruído na interface pneu/pavimento. Foram avaliados, para velocidades de tráfego diferentes, o nível sonoro e o espectro de frequência do ruído gerado em pavimentos revestidos em concreto asfáltico convencional e o asfalto borracha na cidade de Aracaju-SE. Estes dados foram correlacionados também com a textura superficial dos revestimentos. O maior nível sonoro registrado foi de 93,73 dB (A) no asfalto borracha. Os espectros de frequência entre 100 e 2.000 Hz foram os mais relevantes. Quanto à velocidade, observou-se que quanto maior, mais elevado se torna o nível sonoro. Entre as velocidades de 60 e 80km/h a diferença de nível sonoro foi aproximadamente 4,35 dB (A). A macro e microtextura dos revestimentos foram medidas através de ensaios de Mancha de Areia e Pêndulo Britânico, respectivamente. A diferença da macrotextura entre os revestimentos foi pequena, bem como a diferença de nível sonoro entre os revestimentos analisados. A microtextura provavelmente não interferiu de forma significativa no ruído.

ABSTRACT

Traffic noise affects negatively the human life with consequent physical and mental health problems. The sorts of asphalt pavements wearing courses may produce higher or lower noise levels, and evaluate its aspects is highly important. In this work, the Close Proximity Method (CPX Method) was developed and applied based on ISO 11819-2, for noise measurement on tire/pavement surface. The noise sound level and it's frequency spectrum were evaluated, in different speeds, on concrete asphalt and asphalt rubber wearing courses in Aracaju-SE. The surface texture was also correlated with those results. The highest noise level recorded was 93.73 dB (A) in the asphalt rubber. The frequencies between 100 Hz and 2,000 Hz were the most relevant. The higher the speed vehicle, the higher the noise level, and increasing the speed of 60 to 80 km/h the difference of noise level is 4,35 dB (A). The macro and microtexture of double pavements were measured by the Sand Patch and British Pendulum, respectively. The macrotexture results were equivalents for concrete asphalt and asphalt rubber wearing courses shown similar noise levels too. Probably the microtexture didn't interfere significantly the noises levels results.

1. INTRODUÇÃO

A investigação da problemática da poluição sonora é consequência da preocupação do ser humano em adequar o meio ambiente ao seu bem-estar físico e mental. Em níveis altos por longos períodos de tempo, o ruído pode causar perda de audição e efeitos adversos na saúde como hipertensão. Em amplitudes mais moderadas, o ruído pode causar interferência na fala, distúrbios de sono e irritação. (Bernhard e Wayson, 2008).

Formas de mitigação desta fonte de poluição são estudadas. Barreiras acústicas já foram bastante empregadas. E agora surge como alternativa o uso de camadas de desgaste para pavimentos com características de textura que proporcionem melhor desempenho em relação aos níveis sonoros emitidos (Specht *et al*, 2009).

O ruído gerado na interface pneu/pavimento é a única fonte de ruído controlada pela engenharia de pavimentos. Depende de várias características do revestimento, como textura superficial, porosidade, espessura, adesão pneu/pavimento, elasticidade e cor da superfície (Raitanen, 2005). O método da proximidade imediata é um dos métodos normatizados internacionalmente para a avaliação do ruído gerado na interface pneu/pavimento.

A aplicação deste método deve fornecer subsídios para a escolha e controle de pavimentos “silenciosos”. Isto torna possível planejar e definir que tipo de revestimento poderá ser adequado em determinadas áreas, respeitando patamares mínimos que possam atender ao conforto acústico da população.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os primeiros resultados de avaliação realizada com o método de proximidade imediata em pavimentos asfálticos da cidade de Aracaju-SE. Foram escolhidas duas seções de pavimento (concreto asfáltico convencional e asfalto borracha) para a avaliação da influencia da textura no ruído gerado na interface pneu/pavimento.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Método da Proximidade Imediata (*CPX Method*)

O nível de ruído foi determinado em levantamento pelo Método da Proximidade Imediata, preconizado pela *ISO 11819-2* (2000). O equipamento desenvolvido possui um suporte acoplado na roda do próprio veículo, no qual é usado para instalação de dois microfones, localizados na parte frontal e traseira do pneumático (Figuras 1 e 2). Estes, devidamente calibrados, fazem a captação dos dados, que são processados por uma interface de áudio e analisadas em tempo real por um software computacional, que fornece gráficos que relacionam o nível sonoro dB(A) x frequência (Hz).

Este projeto permite medições nos diversos tipos de revestimentos aplicados em pavimentação e é compatível com veículos com roda de aro entre 13” e 15”. As distâncias reguladas pela *ISO 11819-2* (2000) para a aplicação deste método foram as seguintes: distância entre os dois microfones de 40 cm; entre o pneu e o microfone de 20 cm e entre o microfone e o pavimento de 10 cm.



Figura 1: Suporte desenvolvido para levantamento de ruído pelo Método CPX – Vista lateral.



Figura 2: Suporte desenvolvido para levantamento de ruído pelo Método CPX – Vista frontal.

2.2. Revestimentos Analisados

Os testes dos revestimentos asfálticos foram efetuados de acordo com a disponibilidade na cidade de Aracaju-SE. Foram escolhidos pavimentos situados em áreas residenciais dos tipos: asfalto borracha e concreto asfáltico convencional (CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado à Quente).

O revestimento composto de concreto asfáltico com ligante modificado com borracha de pneu situa-se em área da cidade onde as especificações da pavimentação tiveram que atender à concepção ecológica de uma área de especulação imobiliária (Figura 3).



Figura 3: Segmento teste revestido com asfalto borracha.

Já o revestimento que consiste de concreto asfáltico convencional usinado a quente (Figura 4) é o tipo aplicado em praticamente toda a cidade de Aracaju, segundo informação do corpo técnico de engenharia da EMURB (Empresa Municipal de Obras e Urbanização). Foi analisado um trecho com pouca movimentação de tráfego e boas características geométricas.



Figura 4. Segmento teste revestido em concreto asfáltico convencional.

2.3. Textura Superficial

Para correlacionar os efeitos da textura superficial em termos de micro e macrotextura dos revestimentos, com o ruído gerado na interface pneu/pavimento, foram utilizados os ensaios de mancha de areia (Figura 5) e de pêndulo britânico, de acordo a ABPv (1999).

Os resultados da altura de mancha de areia para os revestimentos com asfalto borracha e concreto asfáltico convencional encontram-se nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1: Resultados do ensaio de mancha de areia para revestimento em **asfalto borracha**.

Revestimento - Asfalto Borracha	Medidas de diâmetro		Diâmetro médio da mancha (mm)	Altura de mancha de areia (mm)
	D1 (mm)	D2 (mm)		
Medida 1	250	270	260	0,47
Medida 2	250	255	252,5	0,50
Medida 3	250	260	255	0,49
			Média	0,49

Tabela 2. Resultados do ensaio de mancha de areia para **CBUQ**.

Revestimento - CBUQ	Medidas de diâmetro		Diâmetro médio da mancha (mm)	Altura de mancha de areia (mm)
	D1 (mm)	D2 (mm)		
Medida 1	245	255	250	0,51
Medida 2	235	245	240	0,55
Medida 3	260	260	260	0,47
			Média	0,51



Figura 5: Ensaio de Mancha de Areia nos segmentos analisados.

Os dois revestimentos encontram-se na mesma categoria para altura de mancha de areia (entre 0,40 mm e 0,80 mm), classificados então com uma macrotextura superficial média (DNIT, 2005). Estão abaixo do limite aceitável sugerido pelo DNIT, que recomenda valores de 0,60 mm a 1,20 mm (textura superficial média a grossa). O revestimento em CBUQ apresentou valor de altura de mancha de areia 4,08% maior que o revestimento em asfalto borracha.

Pelo ensaio de Pêndulo Britânico (Figura 6), obtiveram-se os resultados de valor de resistência a derrapagem (VRD) expressos na Tabela , que caracterizaram a microtextura das superfícies dos

dois pavimentos como rugosa, conforme classificação do DNIT (2005).

Tabela 3: Valores de VRD corrigidos pela temperatura da água para os pavimentos analisados.

	Asfalto Borracha	CBUQ
Medida 1	63,90	55,70
Medida 2	65,90	54,70
Medida 3	64,90	54,70
Média	64,90	55,03

O revestimento em asfalto borracha teve VRD médio de 64,90 e o revestimento em CBUQ de 55,03. O limite sugerido para o VRD é um valor maior ou igual a 55 (DNIT, 2005). Sendo assim, os dois revestimentos atendem a este patamar. O revestimento em asfalto borracha apresentou um VRD 17,94% maior que o CBUQ.



Figura 6: Ensaio de Pêndulo Britânico nos segmentos analisados.

2.4. Avaliação do ruído na interface pneu/pavimento

O ruído analisado na interface pneu/pavimento é obtido em termos de Nível de Pressão Sonora (NPS), que é a pressão sonora expressa em escala decibel (Yamamoto, 2005), e também pelo espectro de frequência, que é o número de vezes que o movimento das ondas sonoras é repetido na unidade de tempo e da qual depende a altura do som que resulta da impressão produzida no órgão auditivo (Leme, 1984). Para a correção da escala decibel, é utilizada a curva de ponderação A (a que mais se aproxima da percepção auditiva humana) e seu valor expresso em dB(A).

Observa-se nas Figuras 7 e 8, os níveis sonoros obtidos entre as de 20 Hz e 5 kHz para o asfalto borracha e CBUQ, respectivamente, com os resultados medidos pelo microfone dianteiro e traseiro. Nestas mesmas Figuras é possível observar curvas diferentes de pressão sonora de acordo com a velocidade imprimida no veículo na realização do ensaio CPX (40, 60 e 80 km/h).

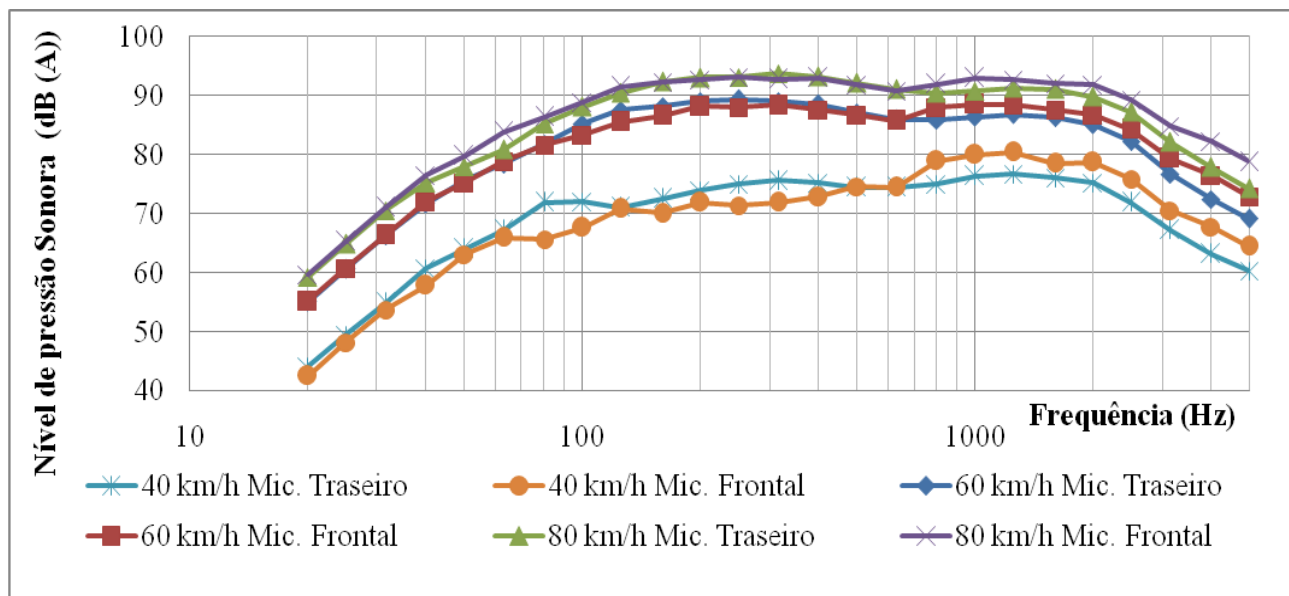


Figura 7: Resultados de levantamento CPX para o asfalto borracha.

Os resultados de levantamento do ruído evidenciam que a faixa de frequência que registrou os maiores níveis sonoros e que são mais relevantes para a análise de ruído na interface pneu/pavimento localiza-se entre 100 e 2.000 Hz, com valores de ruído que variaram entre 80,46 e 93,73 dB(A).

Comparando-se os resultados de pico de NPS nos dois tipos de revestimentos, as diferenças não foram significativas. O revestimento em CBUQ gera menor NPS que o Asfalto Borracha em frequências abaixo de 1.000 Hz. Acima desta frequência, os valores de NPS se tornam bastante próximos e com desenvolvimento similar, com valores de pico em torno de 1.000 Hz e queda mais acentuada a partir dos 2.000 Hz.

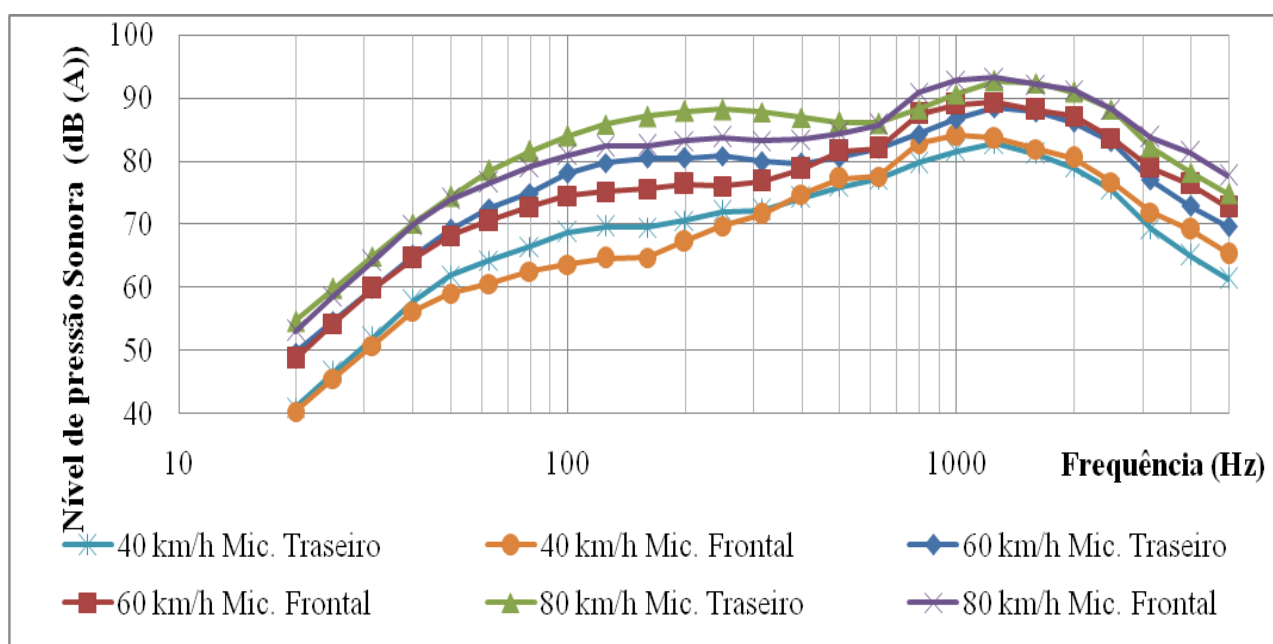


Figura 8: Resultados de levantamento CPX para o CBUQ.

Para o asfalto borracha, os valores mais altos de pressão sonora nas frequências mais baixas estão relacionados aos ruídos causados pela vibração do pneu em contato com o pavimento. Estas vibrações foram causadas pelas deformações na faixa de rodagem (detectadas visualmente) e não pela microtextura. Provavelmente a macrotextura também não tenha sido responsável por esta diferença na comparação dos dois revestimentos, pois os valores da altura de mancha de areia foram bastante próximos.

Nas frequências superiores a 1.000 Hz, onde se encontram geralmente os ruídos originados de fatores aerodinâmicos, principalmente pelo bombeamento de ar, há influência da macrotextura. Os valores medidos de pressão sonora foram bastante próximos para os dois revestimentos analisados, coerentemente à pequena diferença dos resultados de altura da mancha de areia.

Embora se tenha um forte indicador da influência da macrotextura e microtextura no ruído gerado na interface pneu/pavimento, os resultados não podem ser totalmente conclusivos sem analisar também a influência causada por defeitos na superfície e a irregularidade longitudinal. Contudo, baseado nos resultados obtidos, pode-se afirmar que a microtextura não influencia significativamente nos níveis de ruído gerados na interface pneu/pavimento.

Na Tabela 4 são apresentados os picos de nível sonoro com suas correspondentes frequências registradas para cada velocidade de teste. Nesta mesma Tabela 4 está registrada a posição do microfone que registrou a frequência de pico.

Ao observar os resultados da Tabela 4, percebe-se que o microfone localizado na parte traseira do pneumático registrou um valor máximo de ruído em frequências baixas, situadas entre 250 e 315 Hz, enquanto o microfone frontal manteve seus picos registrados em 1.000 e 1.250 Hz.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados de nível sonoro dos microfones frontal e traseiro do levantamento, nas velocidades a 40, 60 e 80 km/h, em frequências arbitradas de 315 e 1.250 Hz. A importância de analisar a faixa de frequência é identificar as principais fontes de geração de ruído de tráfego e obter parâmetros para sua mitigação. Conforme as Tabelas 4 e 5, nota-se, em frequências que são relacionadas à vibração dos pneumáticos (menores que 1.000 Hz), que os picos de NPS foram registrados pelo microfone traseiro. Já no ruído relacionado aos efeitos aerodinâmicos (maiores que 1.000 Hz), foram registrados maiores valores pelo microfone frontal.

Tabela 4: Posição do microfone de acordo com o registro de máxima pressão sonora e frequência de pico.

Revestimento	Velocidade (Km/h)	Frequência (Hz)	NPS (dB (A))
Asfalto Borracha	40	1250	80,46 (Mic. Frontal)
Asfalto Borracha	60	250	89,38 (Mic. Traseiro)
Asfalto Borracha	80	315	93,73 (Mic. Traseiro)
CBUQ	40	1000	84,08 (Mic. Frontal)
CBUQ	60	1250	89,40 (Mic. Frontal)
CBUQ	80	1250	93,30 (Mic. Frontal)

Tabela 5: Nível sonoro na interface pneu/pavimento para frequências de 315 e 1.250 Hz.

Revestimento	Velocidade (Km/h)	Frequência (Hz)	NPS Mic. Frontal (dB (A))	NPS Mic. Traseiro (dB (A))
Asfalto Borracha	40	315	71,92	75,59
Asfalto Borracha	60	315	88,38	89,04
Asfalto Borracha	80	315	92,78	93,73
Asfalto Borracha	40	1250	80,46	76,76
Asfalto Borracha	60	1250	88,45	86,78
Asfalto Borracha	80	1250	92,68	91,35
CBUQ	40	315	71,62	72,28
CBUQ	60	315	76,88	79,94
CBUQ	80	315	83,30	87,88
CBUQ	40	1250	83,64	82,83
CBUQ	60	1250	89,40	88,53
CBUQ	80	1250	93,30	92,78

Na Figura 9 observa-se a relação existente entre o desenvolvimento do pico de nível pressão sonora em função da velocidade. A partir deste relacionamento, pode-se definir modelos determinísticos que descrevem o comportamento do ruído na interface pneu/pavimento dos dois revestimentos, com bons coeficientes de determinação, resultando nas seguintes equações:

(a) Para o CBUQ:

$$\text{NPS}(\text{cbuq}) = 0,230V + 75,09 \quad (1)$$

(b) Para o asfalto borracha:

$$\text{NPS}(\text{ab}) = 0,331V + 67,95 \quad (2)$$

Em que: NPS: Nível de pressão sonora
 V: Velocidade

Sobre o nível sonoro relacionado à variação da velocidade, tem-se que para o asfalto borracha, a diferença de nível sonoro entre as velocidades de 40 e 60 km/h foi de 8,92 dB(A), equivalente a 11,09% de aumento, e entre as velocidades de 60 e 80 km/h foi de 4,35 dB(A), com 4,87% de aumento. Para o CBUQ, a diferença de nível sonoro entre as velocidades de 40 e 60 km/h foi de 5,32 dB(A), equivalente a 6,33% de aumento, e entre as velocidades de 60 e 80 km/h foi de 3,90 dB(A), com 4,36% de aumento.

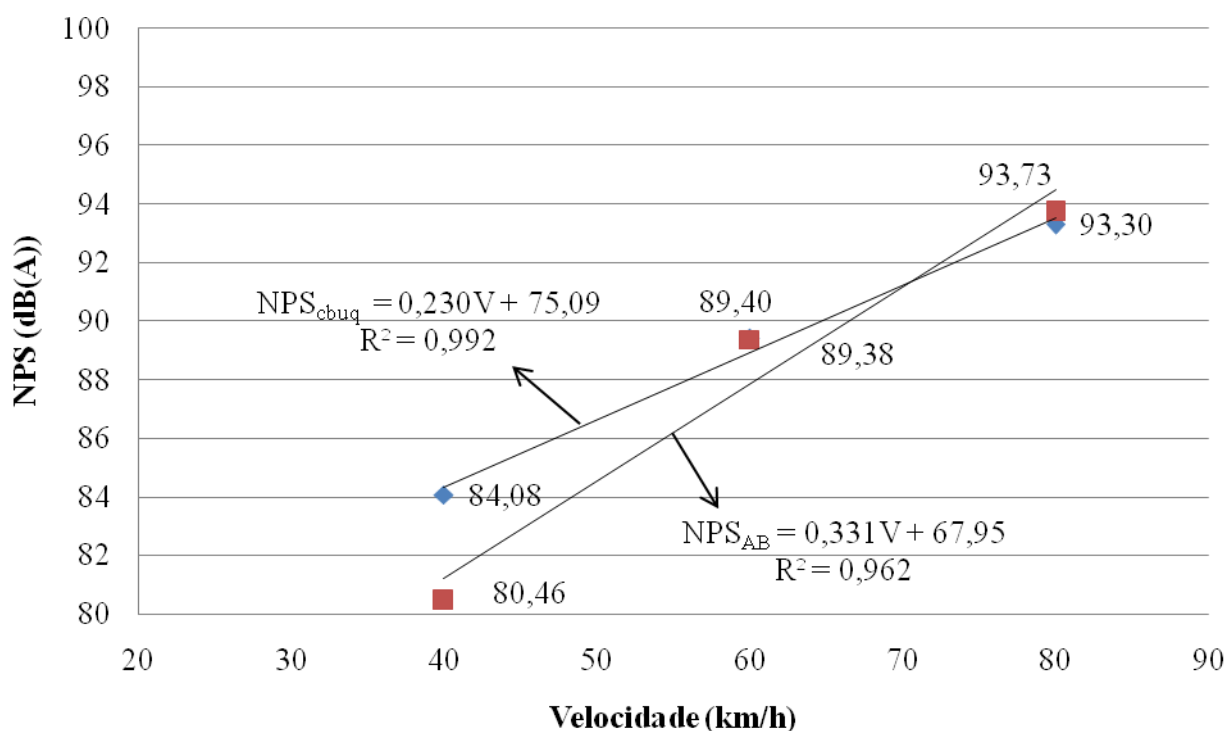


Figura 9: Modelos de regressão linear para os picos de NPS em função da velocidade nos revestimentos analisados.

3. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram avaliados os níveis sonoros do ruído gerado na interface pneu/pavimento pelo método de proximidade imediata. Procurou-se relacionar estes resultados à microtextura e macrotextura de pavimentos revestidos com asfalto borracha e concreto asfáltico convencional.

Os resultados dos levantamentos evidenciam que o nível sonoro gerado na interface pneu/pavimento é diretamente proporcional ao aumento da velocidade, sendo que a diferença do nível sonoro entre as velocidades de 40 e 60 km/h é maior que entre 60 e 80 km/h.

Os dois revestimentos apresentaram valores de pico de nível sonoro próximos na velocidade de 80 km/h.

As faixas de frequências relevantes do ruído na interface pneu/pavimento estiveram entre 100 e 2.000 Hz, sendo que em frequências abaixo de 1.000 Hz o ruído esteve relacionado a vibrações no pneumático e acima de 1.000 Hz aos fatores aerodinâmicos, fortemente influenciados pelas ranhuras do pneu e pela macrotextura do pavimento.

O desenvolvimento similar de nível sonoro de ruído na interface pneu/pavimento para os revestimentos em asfalto borracha e CBUQ, em frequências superiores a 1.000 Hz, foi coerente com a pequena diferença da macrotextura. Para frequências inferiores a 1.000 Hz, a diferença de nível sonoro entre os revestimentos foi mais visível e pode ter sido causada por deformações na faixa de rodagem do asfalto borracha, criando maiores vibrações no pneu. A microtextura pouco influenciou nos resultados de ruído registrados neste trabalho em baixas e altas frequências.

Os modelos para obtenção de picos de NPS em função da velocidade do automóvel foram obtidos para resultados preliminares, porém já demonstram uma boa relação das variáveis, com altos coeficientes de determinação.

BIBLIOGRAFIA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO. *Informativo técnico sobre avaliação da resistência à derrapagem através de aparelhagem portátil*. Boletim Técnico Nº 18, Rio de Janeiro, 1999.
- BERNHARD, R.; WAYSON, R. L. *An introduction to tire/pavement noise of asphalt pavement, 2008*. Disponível em: <http://www.quietpavement.com/learningcenter.html>. Acesso em: 03/09/2010.
- DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de Restauração de pavimentos asfálticos - 2. ed.* - Rio de Janeiro, 2005. 310p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO/CD 11819-2: 2000, "Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise -- Part 2: The Close Proximity Method."* International Organization for Standards (ISO). Geneva, Switzerland.
- LEME, F. P. *Engenharia do Saneamento Ambiental 2ª Ed.* Rio de Janeiro, Livros Técnicos e científicos editora S.A., 1984.
- RAITANEN, Nina. *Measuring of Noise and Wearing of Quiet Surfaces*. Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology. Finland, 2005.
- SPECHT, Luciano Pivoto; KOHLER, Raquel; POZZOBON, Cristina Elisa; CALLAI, Sergio Copetti. *Causas, formas de medição e métodos para mitigação do ruído decorrente do tráfego de veículos*. Rev. Tecnol. Fortaleza, v.30, n.1, p.12-26, jun/2009.
- YAMAMOTO, Tieko Arabori. *Avaliação do ruído urbano na área central de Cuiabá*. Trabalho de especialização - Universidade Federal do Mato Grosso, 2005.

Diogo Nascimento Oliveira (diogonoliveira87@gmail.com)

Fernando Silva Albuquerque (albuquerque.f.s@uol.com.br)

Osvaldo de Freitas Neto (osvaldocivil@hotmail.com)

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Topografia e Transportes – LTT, Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, CEP: 49100-000, São Cristóvão, SE, Brasil