

ESTUDO DA EFICÁCIA DOS PAVIMENTOS DRENANTES NA REDUÇÃO DO RUÍDO RODOVIÁRIO PARA AS CONDIÇÕES SECO E MOLHADO

ADRIANA SANTOS

ENGENHEIRA CIVIL, AENOR

ELISABETE FREITAS

PROFESSORA AUXILAR, UNIVERSIDADE DO MINHO

LUÍS DE PICADO-SANTOS

PROFESSOR ASSOCIADO COM AGREGAÇÃO, UNIVERSIDADE DE COIMBRA

RESUMO

A experiência portuguesa no domínio da avaliação dos níveis sonoros em diferentes tipos de pavimentos e dos factores que os determinam ainda é insuficiente, face às exigências europeias de qualidade ambiental. Assim, neste artigo estuda-se a eficácia dos pavimentos drenantes na redução do ruído de tráfego, quer na presença, quer na ausência de precipitação. No estudo consideram-se duas secções consecutivas, integradas na A41/IC24, uma com camada de desgaste em betão betuminoso drenante e a outra, com camada de desgaste em betão betuminoso. A avaliação dos níveis sonoros em cada uma das secções foi realizada pelo Método Estatístico de Passagem. Para as condições de ensaio consideradas – tipo de veículo, velocidade de ensaio, superfície seca e molhada – verificou-se que o nível de ruído é inferior na secção com camada drenante com a superfície seca e molhada, embora os benefícios da sua utilização sejam reduzidos quando se trata de veículos pesados.

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. Na realidade, 80 a 90% da poluição sonora tem origem no tráfego rodoviário.

Na Europa, os métodos correntes para a limitação do ruído rodoviário incluem a construção de barreiras acústicas, o controlo do tráfego (com a limitação da velocidade), a alteração do traçado vertical e horizontal, a definição de zonas protegidas. Um método inovador de limitação do ruído é a construção de “pavimentos silenciosos” [1], cujas necessidade e aceitação têm vindo a aumentar.

As camadas de desgaste porosas e, mais recentemente, a camada superficial “*twinlay*”, típica da Holanda, têm sido recorrentemente usadas como uma medida de redução do ruído[2].

Uma redução aceitável do ruído pode também ser obtida através da utilização de camadas delgadas como a “*Poroelastic Surface*” [3], concebidas controlando a textura e os vazios e introduzindo novos materiais como a borracha, e de novos conceitos de pavimento como o “*Ecotechic Pavement*” e o “*Euphonic Pavement*” [1].

No sentido de reduzir o impacto ambiental, traduzido pela redução do ruído rodoviário, na Europa e mais recentemente nos Estados Unidos, têm sido desenvolvidos alguns projectos. Os projectos europeus SILINCE e HARMONOISE têm como objectivo chamar a atenção para a problemática do ruído e proporcionar ferramentas para uma redução efectiva do ruído. Nos Estados Unidos estão a ser desenvolvidos projectos que abordam o estudo do contacto pneu-pavimento (NCHRP Project 1-44) e a textura de pavimentos rígidos (NCHRP Project 10-67).

Embora os “pavimentos silenciosos” mais recentes pareçam muito eficazes, estes ainda não são construídos correntemente [4], tendo-se optado pelas camadas de desgaste porosas, as quais permitem simultaneamente aumentar as condições de visibilidade na presença de precipitação e reduzir o ruído de circulação do tráfego. No entanto, este tipo de camadas apresenta alguns problemas, como uma durabilidade reduzida e, ao longo do tempo, uma redução da permeabilidade com o conseqüente aumento do ruído. Além disso, no que respeita à redução do ruído, a eficácia das camadas drenantes pode ficar ainda mais comprometida na presença de água. O valor do aumento do ruído nestas condições pode determinar uma alteração das políticas actuais de selecção de camadas superficiais, quer em pavimentos novos, quer em pavimentos reabilitados.

Assim, neste artigo pretende-se estudar a eficácia das camadas drenantes na redução do ruído, para as condições da superfície seca e molhada, tendo como referência uma camada de desgaste em betão betuminoso “clássico”.

2. MECANISMOS DE PRODUÇÃO DE RUÍDO

O ruído produzido pelos veículos tem 3 origens distintas: o ruído resultante da configuração aerodinâmica dos veículos; o ruído resultante do motor; o ruído resultante da interacção pneu/pavimento. Esta última predomina a velocidades superiores a 50 km/h, tendo por esta razão uma maior importância fora das localidades [5].

Os mecanismos de geração de ruído associados à interacção pneu/pavimento referem-se às vibrações, que resultam do impacto dos pneus na superfície e da aderência, e ao deslocamento de ar que envolve o pneu [5]. Estes são amplificados devido ao efeito de “*horn*” e podem ser

amplificados ou atenuados em função da impedância acústica e mecânica da superfície e da ressonância dos pneus. Além disso, os mecanismos referidos são influenciados pelo comportamento dos condutores (através do controlo da velocidade e da pressão dos pneus), pelas características dos pneus (estrutura, dimensão, rigidez da borracha, relevo, desgaste e idade), pelas características da superfície do pavimento (macro e megatextura, cor, irregularidade, porosidade, rigidez, idade, desgaste e presença de água) e pelo clima (temperatura e vento).

A presença de água na superfície dos pavimentos, em função da sua quantidade, do tipo de superfície, do tipo de veículo, das condições de circulação, entre outros factores, pode aumentar o nível de ruído emitido pelos veículos até 15 dB(A) [6]. Os mecanismos de geração de ruído em condições molhadas são basicamente os mesmos em condições secas, embora ainda não se conheça exactamente de que forma a presença de água contribui para o aumento do ruído [5]. De qualquer modo, podem referir-se os seguintes mecanismos de ruído em condições molhadas:

- deslocamento de água na frente da área de contacto (projecção de água);
- compressão de água nas ranhuras dos pneus e conseqüente projecção;
- contacto entre a água projectada (em forma de jacto ou de gotas) e o corpo do veículo;
- impacto do relevo dos pneus na superfície da água;
- quebra de ligação entre a borracha dos pneus e a água.

Apesar da presença de água aumentar de uma forma geral o nível de ruído, quando se analisa o respectivo espectro, parece haver uma redução a baixas e médias frequências, com particular importância para os veículos pesados [7]. As razões desta redução ainda estão por determinar, verificando-se deste modo que constitui uma matéria de interesse significativo no domínio do ruído rodoviário.

3. METODOLOGIA DE ENSAIO

3.1. Descrição

Para a avaliação do ruído do tráfego adoptou-se a norma ISO 11819-1:1997(E) “*Acoustics – measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: statistical pass-by method*” [8]. Esta norma preconiza a medição do nível sonoro máximo (L_{max} (dB(A))) de um número estatisticamente significativo de passagens individuais de 3 categorias de veículos a determinadas velocidades em dois tipos de superfícies, uma considerada de referência e outra que se pretende estudar. De acordo com a categoria da estrada, consideram-se 3 níveis de velocidade de ensaio:

- baixa – entre 45 km/h e 64 km/h para tráfego urbano;
- média – entre 65 km/h e 99 km/h, para tráfego suburbano e zonas rurais;
- alta – superior a 100 km/h, para auto-estradas.

Para cada nível de velocidade e para cada categoria de veículos determina-se a recta de regressão L_{max} (dB(A)) versus logaritmo da velocidade. A partir desta recta calcula-se o nível sonoro do veículo (L_{veh}) para uma determinada velocidade de referência (V_{Ref}). O desempenho acústico da superfície é calculado através do índice SPBI (*Statistical Pass-By Index*) (Equação 1) em função dos níveis sonoros de cada categoria de veículos, da velocidade de referência e de um factor de ponderação, de acordo com o Quadro 1.

$$SPBI = 10 \log \left[W_1 \times 10^{L_1 / 10} + W_{2a} (V_1 / V_{2a}) \times 10^{L_{2a} / 10} + W_{2b} (V_1 / V_{2b}) \times 10^{L_{2b} / 10} \right] \quad (1)$$

em que:

- SPBI = índice estatístico de passagem (*Statistical Pass-By Index*);
- L_1, L_{2a}, L_{2b} = nível sonoro dos veículos (L_{veh}) ligeiros, pesados de 2 eixos e pesados multi-eixos, respectivamente;
- W_1, W_{2a}, W_{2b} = factores de ponderação (Quadro 1);
- V_1, V_{2a}, V_{2b} = velocidade de referência (Quadro 1).

Quadro 1 – Velocidades de referência (V_{ref}) e factores de ponderação (W_x)

Categoria do veículo	Nível de velocidade do veículo					
	Baixa		Média		Alta	
	V_{ref} (km/h)	W_x	V_{ref} (km/h)	W_x	V_{ref} (km/h)	W_x
Ligeiro	50	0.900	80	0.800	110	0.700
Pesado de 2 eixos	50	0.075	70	0.100	85	0.075
Pesado multi-eixos	50	0.025	70	0.100	85	0.225

Como neste estudo se pretende estudar a eficácia na redução do ruído das camadas em betão betuminoso drenante para condições de superfície seca e molhada, determinaram-se os respectivos índices SPBI, para os níveis de velocidade média e alta. O estudo é feito comparando os índices obtidos com os determinados nas mesmas condições numa superfície em betão betuminoso com características de desgaste tomada como referência.

3.2. Localização e características geométricas do trecho de estudo

Para a realização do estudo foram consideradas duas secções na auto-estrada A41-IC24 (km 8+800). A estrutura das secções é semelhante, diferindo apenas o tipo de camada de desgaste: uma em betão betuminoso drenante e outra em betão betuminoso “clássico”. Na Figura 1 apresenta-se a geometria das secções referidas, com a indicação da localização do equipamento de medição do ruído, definida de acordo com a norma adoptada [8].



Figura 1 – Esquema de localização dos microfones

4. CONDIÇÕES DE ENSAIO

Os ensaios foram realizados numa estrada ainda em construção, o que permitiu o controlo do efeito de alguns factores que determinam o nível de ruído. Este controlo é proporcionado pela possibilidade de selecção dos veículos de ensaio (2 pesados e 4 ligeiros) e pela repetição da sua passagem. Como exemplo desses factores pode referir-se o tipo e o desgaste dos pneus, a forma do veículo (efeito aerodinâmico), o ruído produzido pelo motor e a carga dos veículos pesados.

Para evitar uma possível reflexão do ruído, as guardas de segurança foram retiradas. A condição de superfície molhada foi simulada através da utilização de um camião cisterna.

A seguir descreve-se as condições de realização dos ensaios no que respeita à superfície do pavimento, aos veículos e ao clima.

4.1. Características das camadas superficiais

No Quadro 2 apresentam-se as principais características físicas e da superfície das misturas betuminosas seleccionadas. A profundidade da textura e a resistência ao deslizamento foram medidas em 3 pontos pertencentes a secções transversais afastadas entre si de 12.5 m.

Quadro 2 – Características das camadas superficiais

Característica	Betão betuminoso drenante	Betão betuminoso
Dimensão máxima dos inertes	15 mm	16 mm
Teor em betume	4.5 %	5.1 %
Profundidade da textura	1.2 – 1.6 mm	0.7 – 1.0 mm
Atrito (Pêndulo Britânico)	0.65 – 0.80 BPN	0.65 - 0.70 BPN

4.2. Caracterização dos veículos e velocidade de ensaio

O conjunto de veículos seleccionados para a realização dos ensaios fazem parte das categorias preconizadas na norma adoptada (Figura 2), sendo constituído por:

- 4 veículos ligeiros (1 Nissan Terrano, 1 Citroen XSara, 1 Volvo S40, 1 Renault Traffic);
- 1 veículo pesado de 2 eixos (Mercedes);
- 1 veículo pesado multi-eixos (Scania).



Figura 2 – Veículos de ensaio

O estabelecimento da velocidade de ensaio teve em conta as restrições previstas na legislação portuguesa para as vias com características de auto-estrada e os níveis recomendados na norma de ensaio (Quadro 1). Para os veículos pesados considerou-se o limite máximo de 90 km/h e o nível de velocidade média, correspondendo a uma velocidade de referência de 70 km/h. Para os veículos ligeiros considerou-se o limite máximo de 120 km/h e os níveis de velocidade média e alta, correspondendo respectivamente a 80 km/h e 110 km/h. No Quadro 3 apresenta-se o número de passagens válidas para cada nível de velocidade, categoria de veículo, estado da superfície e tipo de camada de desgaste.

Quadro 3 – Número de passagens válidas de cada categoria de veículos

Categoria de veículo	Velocidade média (70/80 km/h)		Velocidade alta (110 km/h)	
	Sup. seca (D/C)	Sup. molhada (D/C)	Sup. seca (D/C)	Sup. molhada (D/C)
Ligeiro	23/24	19/16	11/21	16/16
Pesado de 2 eixos	6/8	9/9	-	-
Pesado multi-eixos	8/8	7/6	-	-

Legenda: D – superfície drenante; C – superfície em betão betuminoso clássico.

4.3. Temperatura e velocidade do vento

A temperatura da superfície do pavimento e a velocidade do vento são dois factores climáticos que influenciam o ruído, devendo os seus efeitos serem corrigidos. De uma forma geral, um aumento de temperatura ou uma redução da velocidade do vento traduz-se numa redução do nível de ruído. Em função do local onde são efectuadas as medições da temperatura (ar, pneu, superfície do pavimento), a correcção a fazer-se ao nível de ruído é variável. A Directiva Europeia 2001/43/EC recomenda a correcção do nível de ruído obtido para os veículos ligeiros para uma temperatura da superfície de 20°C. De acordo com esta directiva, neste estudo a variação máxima do nível de ruído é aproximadamente de -0.5 dB(A), não tendo sido por isso considerada.

A velocidade do vento influencia fortemente o ruído aerodinâmico a velocidades superiores a 120 km/h para os veículos ligeiros e a 90 km/h para os veículos pesados. Como a velocidade de ensaio foi, de uma forma geral, inferior a estes limites e a velocidade do vento se compreendeu entre 1 m/s e 4 m/s, não foram efectuadas correcções relativas ao vento.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na análise dos resultados obtidos consideram-se duas abordagens: i) análise do nível sonoro máximo para cada categoria de veículos em função da velocidade; ii) análise do ruído através do índice SPBI.

Com a primeira abordagem é possível avaliar o efeito da presença de água na superfície no nível sonoro medido de cada tipo de veículo. Com a segunda abordagem é possível avaliar o efeito da presença de água na superfície no ruído obtido pela ponderação dos níveis sonoros das 3 categorias de veículos, para a velocidade de referência apresentada no Quadro 1.

5.1. Nível sonoro máximo versus velocidade dos veículos

Nas Figuras 3 a 6 apresenta-se os níveis sonoros máximos em função da velocidade de ensaio de cada categoria de veículos. De uma forma geral, o nível sonoro máximo é inferior para a superfície em betão betuminoso drenante em condições secas e aumenta com a velocidade.

Para a categoria de veículos ligeiros pode hierarquizar-se o nível de ruído em função do tipo de superfície e do estado hídrico. Assim, quer para o nível de velocidade alta quer para o nível de velocidade média (Figuras 3 e 4), o nível máximo de ruído aumenta na seguinte ordem: 1) superfície drenante seca; 2) superfície clássica seca; 3) superfície drenante molhada; 4) superfície clássica molhada. O mesmo já não se passa para as duas categorias de veículos pesados. Neste caso, os níveis de ruído são muito próximos para os dois tipos de superfícies e em particular em condições molhadas (Figuras 5 e 6).

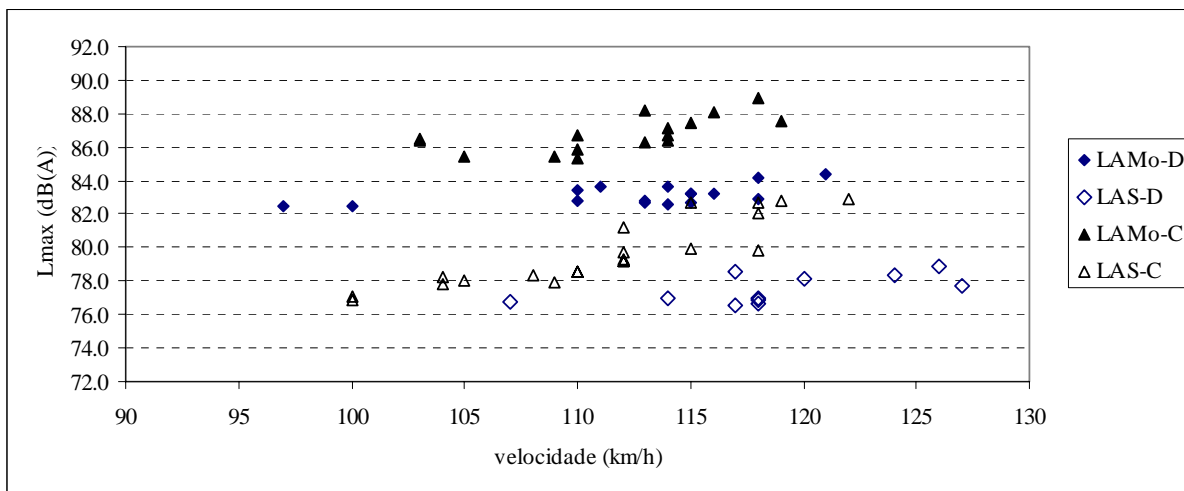


Figura 3 – Nível sonoro máximo versus velocidade alta dos veículos ligeiros

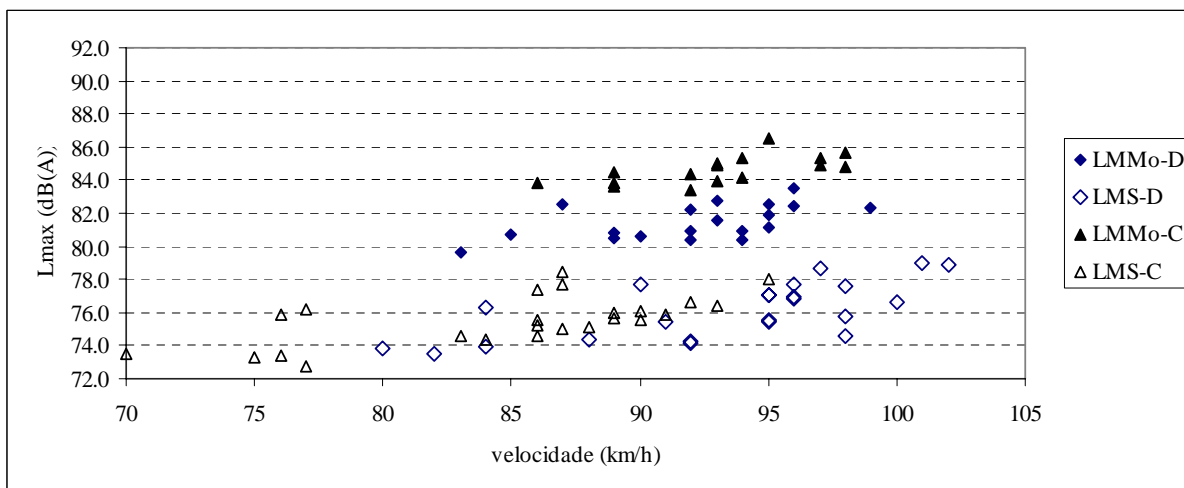


Figura 4 – Nível sonoro máximo versus velocidade média dos veículos ligeiros

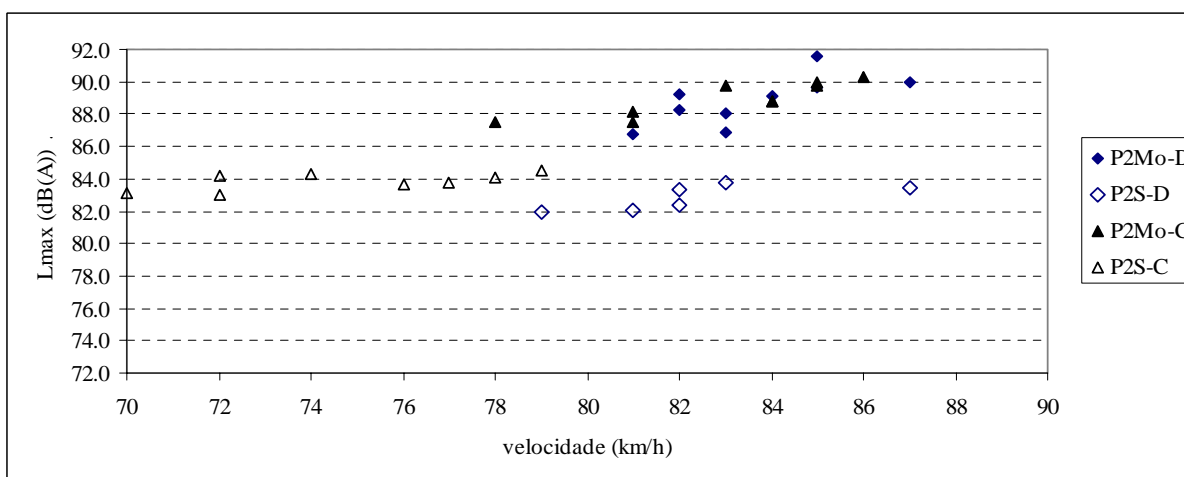


Figura 5 – Nível sonoro máximo versus velocidade média do veículo pesado com 2 eixos

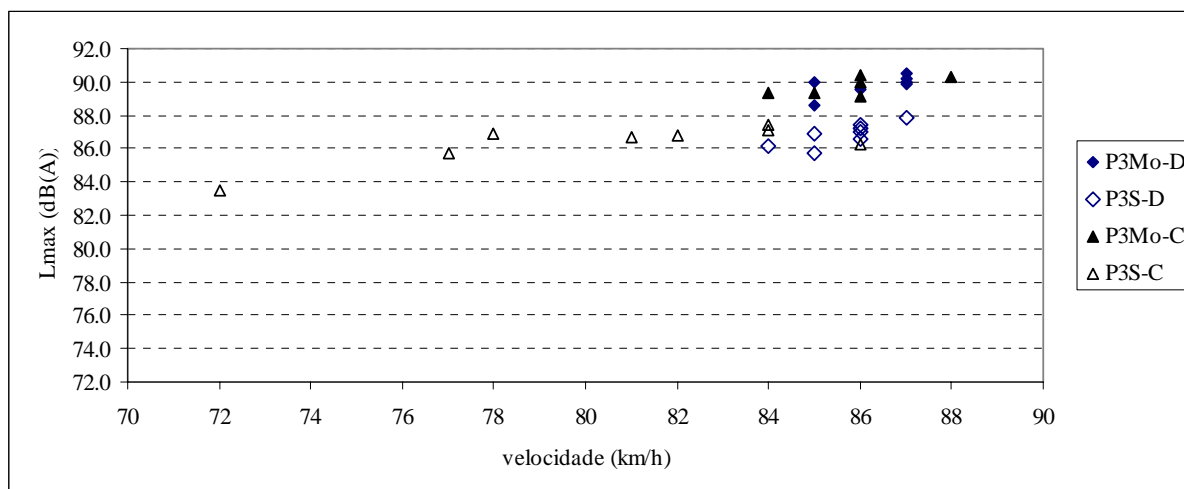


Figura 6 – Nível sonoro máximo versus velocidade média do veículo pesado com 3 eixos

Quanto às variações observadas devido ao estado hídrico da superfície, para os veículos ligeiros verifica-se que estas se aproximam dos 8 dB(A) para os dois tipos de camadas, enquanto que para os veículos pesados com 3 eixos estas são cerca de metade.

Quanto à diferença dos níveis sonoros máximos entre veículos ligeiros e veículos pesados, esta é cerca de 10 dB(A) para velocidades próximas dos 75 km/h e cerca de 6 dB(A) para velocidades próximas dos 85 km/h.

5.2. Índice estatístico de passagem (SPBI)

Nesta análise deve ter-se em atenção que o índice estatístico de passagem não é comparável com o nível sonoro equivalente e não pode ser usado para estimar os efeitos da velocidade dos veículos. A eficácia na redução do ruído produzido pelo tráfego rodoviário em condições secas e molhadas fica claramente demonstrada (Quadro 4). Verifica-se uma redução no SPBI de pelo menos 3 dB(A) para as duas condições hídricas da superfície. Contudo, estes resultados foram obtidos antes da entrada do pavimento ao serviço, sendo possível a sua alteração ao longo do tempo.

Quadro 4 – Índice estatístico de passagem (SPBI)

Nível de velocidade	SPBI (dB(A))						
	Mo-D	Mo-C	S-D	S-C	Diferença Mo	Diferença S	Diferença máxima
Média	80.2	83.1	76.1	78.9	3	3	7
Alta	82.6	86.5	78.4	81.5	4	3	8

Legenda: Mo – superfície molhada; S – superfície seca; D – superfície drenante; C – superfície em betão betuminoso clássico.

6. CONCLUSÕES

A procura de soluções para a redução do ruído está, a nível europeu, em franco desenvolvimento. Contudo, subsistem ainda algumas questões relativas a soluções de uso corrente, como é o caso das camadas de desgaste drenantes.

Neste artigo procurou-se responder à questão da eficácia na redução do ruído deste tipo de camadas na presença de água. Verificou-se que o ruído rodoviário traduzido pelo índice SPBI é 3 dB(A) a 4 dB(A) inferior na superfície drenante estudada relativamente a uma superfície convencional, para as condições de superfície molhada e também seca. Este valor corresponde a uma redução muito significativa do volume de tráfego [5]. No entanto, quando se considera o efeito isolado de diferentes tipos de veículos verifica-se que a superfície drenante é mais eficaz para os veículos ligeiros. No caso dos veículos pesados, os níveis sonoros máximos das duas superfícies estudadas são semelhantes.

Assim, futuras contribuições neste domínio devem integrar uma análise mais detalhada do ruído e da superfície, baseada numa análise espectral do ruído e da textura, assim como de outras propriedades acústicas da superfície habitualmente não consideradas. A partir deste tipo de abordagem será possível identificar como se poderá melhorar o comportamento acústico das camadas drenantes, para as duas condições de estado hídrico da superfície.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – Camomilla G. and Luminari M. – *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.
- [2] – Hofman R. and Kooij J. – Results from the Dutch Noise Innovation Program Road Traffic (IPG) and Roads to the Future Program (WnT). Proceedings of Internoise 2003, 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering. Korea, 2003.
- [3] – Fujiwara T., Meiarashi S., Namikawa Y. and Hasebe M. – Noise Reduction Effect of Porous Elastic Road Surface and Drainage Asphalt Pavement. 84th Transportation Research Board Annual Meeting. Transportation Research Board. Washington, 2005.
- [4] – FHWA-PL-05-011 – Quiet Pavement Systems in Europe. Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, 2005.
- [5] – Sandberg U. and Ejsmont J. – Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, SE-59040 Kisa, Sweden, 2002.
- [6] – Descornet G., Faure B., Hamet J., Kestemont X., Luminari M., Quaresma L. and Sandulli D. – Traffic Noise and Road Surfaces: State of the Art. Report for SIRUUS project, Belgian Road Research Centre, Brussels, 2000.
- [7] – Descornet G. (2000) – Wet Road Influence on Vehicle Noise. Proceedings of Internoise 2000. Nice, France.
- [8] – 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.