

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

E. Freitas<sup>1</sup>, J. Paulo<sup>2</sup>, J. Bento Coelho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UM-DEC, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal  
efreitas@civil.uminho.pt

<sup>2</sup>ISEL, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal  
jpaulo@deetc.isel.ipl.pt

<sup>3</sup>CAPS-DEEC, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal  
bcoelho@ist.utl.pt

### Resumo

A classificação acústica de pavimentos rodoviários tem sido abordada em diversos países europeus, sendo essencial para o controlo do ruído rodoviário. Este artigo apresenta uma primeira abordagem à avaliação das superfícies rodoviárias portuguesas, tendo por objectivo estabelecer linhas de orientação para o apoio às estratégias de redução do ruído e constituir a base de um sistema de classificação de superfícies de pavimentos rodoviários. Das superfícies de pavimentos avaliadas, destacam-se as superfícies com betume modificado com borracha e com granulometria otimizada. O ruído de contacto pneu-pavimento gerado pela passagem de veículos ligeiros e pesados foi medido usando o método de “Passagem Controlada”. Três tipos de superfícies foram ainda avaliados pelo método da “Proximidade Imediata”. Com base no nível máximo de ruído foi estabelecido um *ranking*, do qual resultou a identificação de três grupos de pavimentos com comportamento acústico semelhante, apresentando diferenças de emissão de ruído que em alguns casos podem atingir 10 dB(A).

**Palavras-chave:** ruído rodoviário, avaliação, classificação, passagem controlada, proximidade imediata.

### Abstract

The acoustical classification of road pavements, which is essential to control traffic noise, has been addressed in many European countries. This paper presents a first approach to the assessment of Portuguese road surfaces, aiming at establishing guidelines to support noise abatement policies and to constitute the basis of a road noise classification system. From the set of assessed road surfaces, the ones with rubberized asphalt and with an optimized grading were emphasized. The tyre/surface noise generated by light vehicles and heavy vehicles was measured by the Controlled Pass-By method. Three types of surfaces were assessed by the Close ProXimity method. The maximum noise levels measured were used to establish a ranking, from which three groups with similar acoustical behaviour were identified. In some cases, noise level differences can attain 10 dB(A).

**Key words:** traffic noise, assessment, classification, controlled pass-by, close proximity

## 1 Introdução

O aumento dos níveis de ruído resultante do tráfego rodoviário, principalmente nos aglomerados populacionais, levou ao desenvolvimento de acções de avaliação e de correcção, por parte de várias administrações rodoviárias no sentido de os reduzir, conferindo um maior conforto e, consequentemente, traduzindo-se numa melhor qualidade ambiental.

O ruído ambiente de génese rodoviária resulta da contribuição das emissões dos veículos que circulam em determinada via de tráfego. Considerando o sistema automóvel composto por várias fontes sonoras, verifica-se que a fonte preponderante corresponde à interacção pneu-pavimento, na gama de velocidades usualmente praticadas.

Assim, para baixas velocidades predomina a componente do ruído do motor, enquanto que para velocidades acima dos 50 km/h o efeito do contacto pneu/pavimento é a principal fonte de ruído.

Os mecanismos de geração de ruído associados à interacção pneu/pavimento referem-se: (i) às vibrações, que resultam do contacto dos pneus na superfície e da aderência, e (ii) ao efeito de bombeamento de ar que ocorre no momento em que o pneu interage com a superfície [1]. Estes são, por um lado, amplificados devido ao efeito de pavilhão. Por outro lado, podem ser amplificados ou atenuados em função da relação entre a impedância acústica e mecânica da superfície e da frequência de ressonância do sistema roda/pneu.

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, irregularidade, porosidade, rigidez, idade, desgaste e presença de água) e pelo clima (temperatura e vento) [2].

Nos últimos anos o ruído produzido pelos automóveis tem diminuído consideravelmente devido à legislação e ao progresso tecnológico. Por sua vez, ainda não existe legislação sobre as superfícies dos pavimentos rodoviários. Desta forma, existe já um número significativo de países que desenvolveu os seus próprios métodos de avaliação e classificação. A nível europeu surgiram duas propostas concretas integradas nos projectos HARMONOISE [3] e SILVIA [4] que, contudo, ainda não são de fácil aplicação.

Este estudo enquadra-se no contexto desta problemática com a avaliação do desempenho acústico de 13 camadas de desgaste, uma proposta de classificação das superfícies para veículos ligeiros considerando diferentes velocidades de circulação, com base no método Estatístico de Passagem, SPB, e uma primeira abordagem à classificação de superfícies com base no método de Proximidade Imediata, CPX.

## 2 Classificação/avaliação acústica de pavimentos

Vários países europeus implementaram ou estão a implementar programas para a classificação de superfícies de pavimentos rodoviários [5]. A maioria desses países toma uma superfície como referência e aplica factores de correcção aos outros tipos de superfícies. Factores como o tipo de veículo, a percentagem de veículos pesados, inclinação longitudinal e transversal da estrada, o espectro de ruído e a profundidade média da textura da superfície são usados de forma isolada como

factores de correcção. Alguns países, como a França e a Holanda, usam modelos de previsão do ruído para diferentes tipos ou categorias de superfícies em função da categoria dos veículos e da velocidade.

No Japão, é utilizado o modelo ASJ Model, apenas para pavimentos porosos, para a determinação do factor de correcção, o qual é função da velocidade. Este modelo está a ser revisto de modo a considerar factores como a idade do pavimento.

Nos Estados Unidos da América, existe um modelo (*Traffic Noise Model*) que contém uma tabela com factores de correcção a serem aplicados aos níveis sonoros das superfícies, a todas as velocidades. Neste modelo, são considerados três tipos de superfícies de referência (camadas betão betuminoso denso e de granulometria descontínua e camadas em betão de cimento) e quatro categorias de veículos.

A falta de uma abordagem comum para a avaliação do desempenho acústico, e conseqüentemente, a existência de uma elevada diversidade de classificações cria alguns problemas, nomeadamente de operação fora dos mercados nacionais. Os projectos europeus HARMONOISE [3] e SILVIA [4] dedicaram um capítulo à classificação acústica de pavimentos com vista à resolução destes problemas.

Sendo impossível definir uma superfície de referência para todos os estados membros, uma vez que cada estado terá as suas preferências e diferentes políticas, o projecto HARMONOISE propõe um modelo complexo de correcção do ruído, que depende da definição de um conjunto de superfícies com características acústicas similares (*Golden Reference*). Deste modo, cada país poderá fazer pequenas correcções tendo em vista a normalização.

O projecto SILVIA não propõe correcções específicas - em vez disso, este projecto desenvolveu um sistema de rotulagem, a ser utilizado na fase de aprovação, e de verificação da conformidade de produção das camadas superficiais. O sistema de classificação proposto identifica os procedimentos específicos à medição do nível sonoro necessários em cada uma das fases referidas.

A nível nacional, não existe qualquer tipo de classificação. No entanto, sempre que necessário e possível, são usadas camadas superficiais consideradas de baixo ruído como camadas em betão betuminoso drenante e mais recentemente, de acordo com recomendações governamentais, camadas que incorporam betume modificado com borracha reciclada de pneus.

## 2.1 Métodos de medição do ruído rodoviário

Os métodos que têm vindo a ser utilizados para a comparação do desempenho acústico de superfícies de estradas são essencialmente três:

- Método da proximidade imediata (**C**lose **P**ro**X**imity method, CPX);
- Método estatístico de passagem (**S**tatistical **P**ass-**B**y method, SPB);
- Método da passagem controlada (**C**ontrolled **P**ass-**B**y method, CPB).

O método SPB baseia-se na medição individual dos níveis máximos de pressão sonora, ponderada A, de um número estatisticamente significativo de veículos em passagem, num trecho específico da estrada para as velocidades de circulação dos veículos. O microfone é colocado a 7,5m do centro da via de tráfego e a velocidade de circulação é medida através de um sistema de radar. O nível de ruído de uma determinada categoria de veículos a uma determinada velocidade de referência é calculado através de uma recta de regressão em função do logaritmo da velocidade [6]. As principais desvantagens deste método referem-se à área de ensaio requerida sem a presença de objectos susceptíveis de introduzem reflexões e à sua aplicabilidade em estradas com elevado volume de tráfego.

O método da passagem controlada, CPB, é semelhante ao método SPB. Neste método, os veículos de ensaio são seleccionados e as restantes condições, como a velocidade, o tipo de pneu, a mudança engrenada no veículo e o número de passagens, são controladas.

Para a medição do ruído pelo método CPX, é utilizado um atrelado normalizado (puxado por um veículo comum) onde são colocados pneus de ensaio e pelo menos dois microfones junto do pneu ou, alternativamente, os microfones são colocados junto a uma roda do próprio veículo ligeiro [7].

O ensaio do tipo SPB é considerado o melhor na quantificação do ruído total na zona lateral da estrada ou imediações, tendo em conta todos os tipos de fonte de ruído rodoviário, em vez de apenas os componentes pneu/pavimento.

## **2.2 Métodos complementares**

As características da superfície têm uma forte influência no ruído de interacção pneu-pavimento. Superfícies com características diferentes podem conduzir a níveis de ruído semelhantes. Assim, para caracterizar uma superfície não é suficiente medir o ruído por ela proporcionado. Existe um conjunto de métodos de avaliação complementares que permitem determinar as características acústicas da superfície relevantes, nomeadamente, textura, absorção sonora e impedância mecânica.

A determinação da textura é relevante para todos os tipos de superfícies, nomeadamente nas gamas da macrotextura e da megatextura [1]. A absorção sonora é relevante apenas em superfícies com porosidade elevada e a impedância mecânica em superfícies de rigidez reduzida, como por exemplo as que incorporam borracha [4].

## **3 Avaliação acústica de pavimentos rodoviários**

### **3.1 Enquadramento do estudo**

O estudo que se apresenta resulta da reunião de dados de vários estudos de avaliação do ruído rodoviário realizados por diversos métodos de ensaio, quer em estradas nacionais quer em auto-estradas [8-9].

### **3.2 Metodologia de ensaio**

Para a avaliação do ruído de contacto-pneu pavimento foram seleccionados dois métodos de ensaio: o método da passagem controlada (CPB) e o método da proximidade imediata (CPX). O método CPB foi preferido ao método estatístico de passagem (SPB), uma vez que na zona norte de Portugal, de um modo geral, as estradas são caracterizadas por elevados declives, rectas pouco extensas e elevados volumes de tráfego. Estas razões constituem dificuldades de operação que podem tornar os resultados das medições pouco credíveis.

Assim, de modo a garantir a fiabilidade dos resultados, as medições foram realizadas na sua generalidade durante a noite com o tráfego normal cortado em ambos os sentidos, de modo a eliminar a influência da passagem de veículos não pertencentes ao conjunto de teste. O ruído foi medido a cada passagem de pelo menos 2 veículos ligeiros e 1 pesado, com o motor ligado e a velocidade de circulação constante, compreendida entre 50km/h e 130km/h. Foram registadas 470 passagens válidas.

Para a medição do ruído pelo método CPX, foi desenvolvido um sistema de suporte para dois microfones colocados junto a uma das rodas traseiras de um veículo de ensaio, cujas posição e metodologia de análise dos resultados se encontra definida em [7]. Para a análise dos resultados em pós-processamento foi desenvolvido um programa na plataforma MATLAB.

### 3.3 Tipo e características das camadas avaliadas

As camadas superficiais de pavimentos rodoviários avaliadas são do tipo flexível, incluindo camadas em betão betuminoso drenante, camadas em betão betuminoso denso e camadas delgadas de granulometria descontínua com e sem incorporação de borracha. Este último grupo inclui duas camadas cuja granulometria foi otimizada para a redução do ruído. Na totalidade foram estudadas 14 camadas superficiais, identificadas pelas siglas de S1 a S14 e pelas seguintes características:

Camadas delgadas, de espessura compreendida entre 2,5 e 4,0 cm

- Superfícies S1 – é uma mistura de granulometria descontínua, de reduzida percentagem de vazios que pode ser incluída no grupo dos betões betuminosos rugosos (BBR);
- S2 e S5 – são misturas de granulometria descontínua com menos de 6% de volume de vazios que podem ser incluídas no grupo dos microbetões betuminosos rugosos (MBR);
- Superfície S3 – é uma mistura betuminosa rugosa com betume modificado com borracha (MBR-BMB);
- Superfícies S6, S7 e S13 – são misturas betuminosas abertas com betume modificado com borracha (MBA-BMB), com cerca de 13% de volume de vazios e 18 a 20% de borracha (relativamente ao peso do betume);
- Superfícies S10 e S11 – são misturas betuminosas abertas (MA) de granulometria otimizada, com 15% e 18% de vazios, respectivamente.

Betão betuminoso drenante (BDr)

- Superfícies S9 e S14 – com 4 cm de espessura e cerca de 22% de vazios.

Betão betuminoso (BB)

- Superfícies S4, S8 e S12 – integram-se no tipo mais comum de superfícies em Portugal. Utilizam-se em todas as categorias de estradas (rurais e urbanas).

Na Tabela 1 apresenta-se para cada superfície, identificada pelo respectivo acrónimo seguido da dimensão máxima do inerte que caracteriza a mistura, a profundidade média da textura determinada de acordo com [10-11] e a idade na data do ensaio. Estas propriedades são relevantes para a classificação acústica das superfícies.

### 3.4 Condições climatéricas

A temperatura, a velocidade do vento e a água são factores responsáveis por variações consideráveis dos níveis de ruído. Para se assegurar que as medições de ruído são válidas, a velocidade do vento deve ser inferior a 5 m/s, a temperatura do ar deve estar compreendida entre 5 e 30°C, a temperatura da superfície entre 5 e 50°C e a superfície deve estar seca [12]. Estes parâmetros foram medidos a cada passagem dos veículos, nunca tendo sido ultrapassados. Contudo, não foram feitas correcções devido ao efeito da temperatura.

Tabela 1 – Propriedades das misturas

Superfície	Profundidade da textura (mm)	Idade na data do ensaio (anos)
S1(BBR12)	1,0	1
S2(MBR6)	0,6	2
S3(BBR-BMB15)	0,6	7
S4(BB16)	0,7	10
S5(MBR7)	0,6	4
S6(MBA-BMB12)	0,7	< 1
S7(MBA-BMB10)	0,8	< 1
S8(BB16*)	0,9	Após construção
S9(BDr15)	1,5	Após construção
S10 (MA-8)	1,0	< 1
S11(MA-8)	1,3	< 1
S12(BB12)	0,7	< 1
S13 (MBA-BMB12)	-	1
S14(BDr15)	-	2

## 4 Avaliação do desempenho acústico com base em ensaios CPB

### 4.1 Considerações iniciais

O método CPX consiste em medir o ruído junto a uma roda do veículo, em campo próximo. Desta forma, apenas as fontes sonoras associadas à geração de ruído de interação pneu/pavimento são contempladas.

Nos métodos SPB e CPB, o microfone é colocado a uma distância considerável do veículo, correspondendo a uma medição em zona afastada. Para esta distância, o veículo pode ser modelado por uma fonte sonora equivalente constituída pela contribuição da radiação proveniente, essencialmente, pelas quatro rodas, considerando que o ruído devido ao motor e sistema de exaustão, é desprezável para as velocidades consideradas. A estimação dos níveis de ruído é realizada considerando a atenuação introduzida pelo caminho de propagação entre o veículo e o receptor. Esta atenuação é devida à dispersão em espaço livre das ondas acústicas e pela absorção através do pavimento (a atenuação introduzida pelo meio de transmissão, devido às trocas de energia entre as partículas de ar, é considerada insignificante).

### 4.2 Resultados - método CPB

Nas Figuras 1 a 3 apresenta-se o nível de ruído máximo calculado pela recta de regressão do nível de ruído versus logaritmo da velocidade para as velocidades de 50, 70 e 90km/h de 12 das 14 superfícies seleccionas (S1 a S12).

Para os três níveis de velocidade, observa-se uma diferença significativa de cerca de 10 dB(A) entre as superfícies mais silenciosa (S11) e mais ruidosa (S3). Tendo em conta o efeito da dimensão máxima

do agregado no ruído de contacto pneu-pavimento, o desempenho da superfície S5 é pior do que as outras com granulometria semelhante.

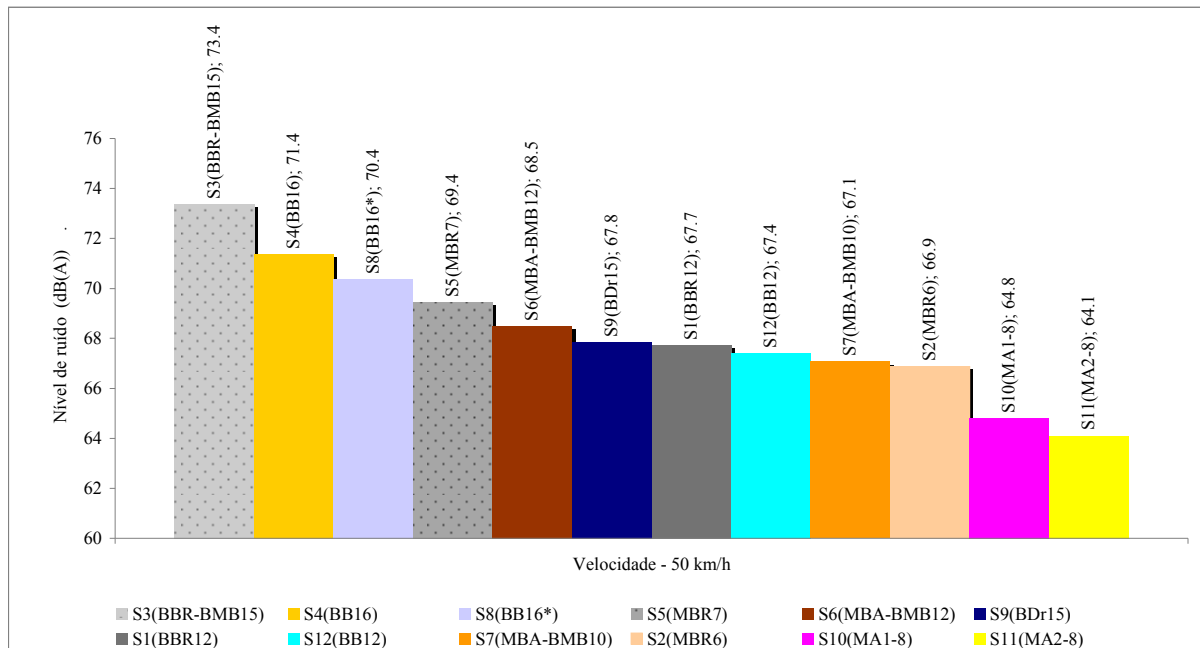


Figura 1 – Nível máximo de ruído a 50 km/h (CPB)

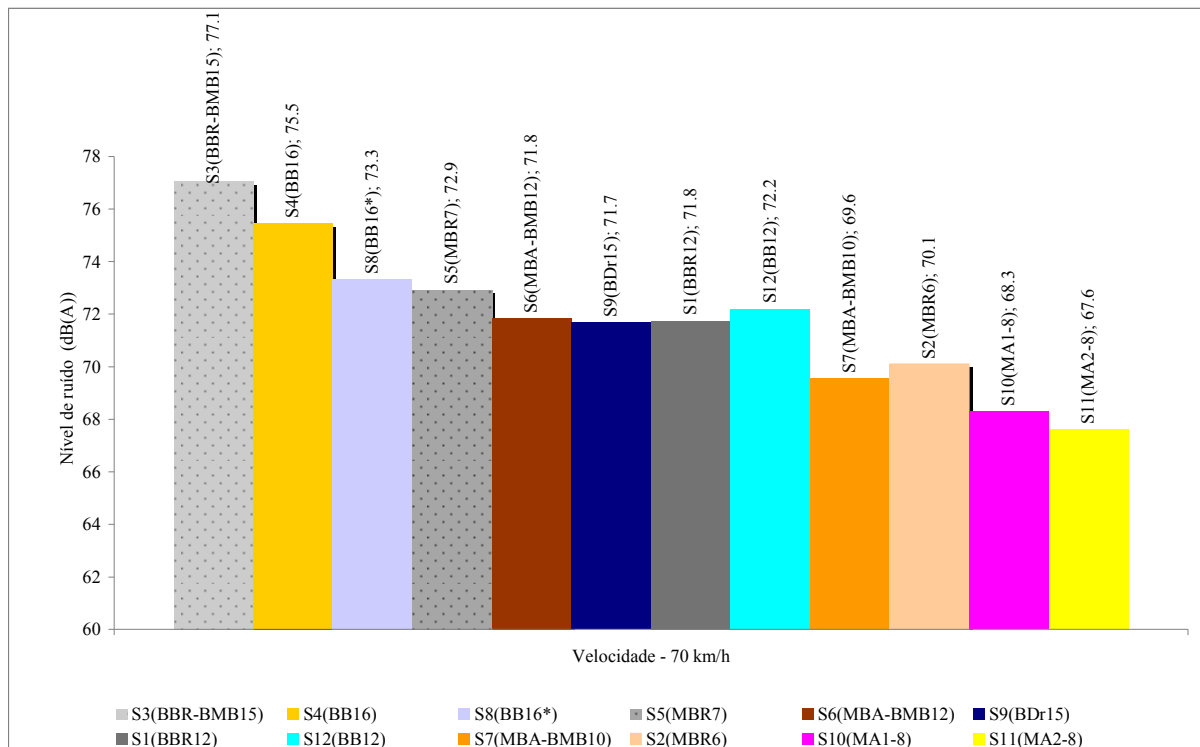


Figura 2 – Nível máximo de ruído a 70 km/h (CPB)

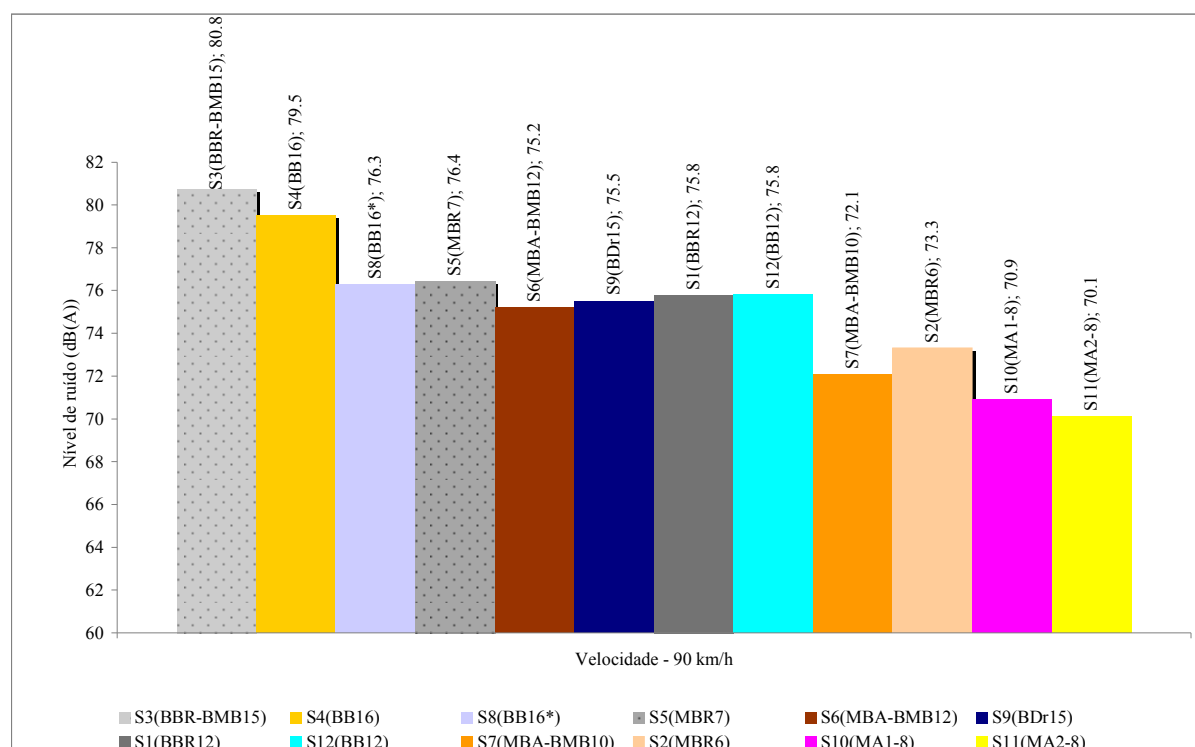


Figura 3 – Nível máximo de ruído a 90 km/h (CPB)

Este desempenho pode ser explicado pelo facto da idade do pavimento ser superior e pelo elevado volume de tráfego. Se esta superfície (S5) for ignorada na análise pelas razões expostas, é possível identificar 3 grupos de superfícies com desempenho semelhante para as velocidades de 70 e 90km/h:

- i) o primeiro grupo, de desempenho fraco, caracteriza-se por uma dimensão elevada dos agregados (superfícies S3, S4 e S8);
- ii) o segundo grupo tem um desempenho intermédio e semelhante (S1, S6, S12), com uma dimensão máxima do agregado de 12 mm, inclui também a superfície drenante S9;
- iii) o terceiro grupo, com o melhor desempenho, caracteriza-se por uma dimensão máxima do agregado inferior a 10 mm (superfícies S2, S7 e S11).

Para a velocidade de 50km/h, o desempenho do grupo intermédio e do terceiro grupo (com melhor desempenho) é semelhante verificando-se o contrário para 90km/h.

Nesta fase do estudo, em vez de se optar por uma superfície de referência e aplicar um factor de correcção do nível de ruído para as outras superfícies, como acontece na maioria dos países europeus, foi dada preferência ao agrupamento de superfícies com comportamento semelhante.

### 4.3 Resultados - método CPX

As superfícies avaliadas pelo método CPX foram apenas 5: superfícies S10 a S14. Na Figura 4, são apresentados níveis máximos de ruído para as velocidades de ensaio de 50, 80 e 110km/h.

Apesar do número reduzido de superfícies observadas, verifica-se que o método CPX, consistindo numa medição em campo próximo, é menos sensível ao tipo de superfície e à velocidade de ensaio do



que o método CPB. No método CPB o fenómeno de propagação do ruído entre o emissor (veículo) e receptor determina o nível de ruído global medido e depende do tipo de superfície e da sua idade.

Neste estudo, os níveis de ruído gerados pelas superfícies S10 e S11 têm aproximadamente o mesmo valor. As diferenças de nível de ruído entre estas superfícies e a superfície S12 é de cerca de 3dB(A) para todos os valores de velocidade, enquanto que pelo método CPB essas diferenças aumentaram para cerca de 5dB(A) a 70km/h e a 90km/h.

Das 5 superfícies estudadas, a S13 e a S14 são responsáveis pelos níveis de ruído mais elevados. Embora estas misturas incorporem betume modificado com borracha e tenham porosidades elevadas, a granulometria dos agregados, que não é otimizada para a redução do ruído, deve ter contribuído significativamente para os níveis de ruído gerados e registados em campo próximo.

Estes resultados mostram que a aproximação usada para a classificação do ruído baseada nos ensaios CPB, pelo agrupamento de superfícies com o mesmo desempenho acústico, leva a resultados provavelmente diferentes. Por este motivo, os resultados obtidos pelo método CPX devem ser complementados pela análise de outros parâmetros capazes de explicarem as diferenças encontradas, nomeadamente pela análise avançada da textura e do efeito de atenuação devido ao tipo de superfície.

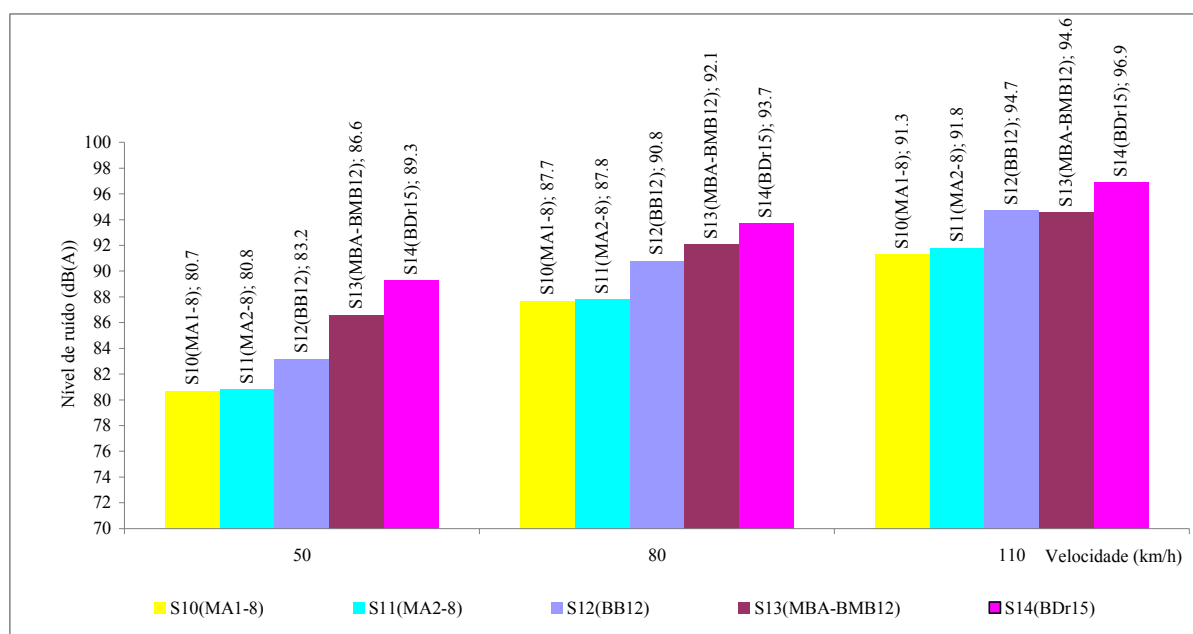


Figura 4 – Nível de ruído máximo para o veículo ligeiro instrumentado

## 5 Conclusões

Neste artigo, foram abordadas sucintamente as metodologias europeias de classificação de superfícies de pavimentos rodoviários quanto ao ruído, os métodos fundamentais de medição do ruído e ainda os métodos complementares de avaliação do ruído a partir das características das superfícies. A avaliação e classificação do ruído efectuada nesta fase de estudo foram baseadas na realização de ensaios pelo método de passagem controlada (CPB) em 12 superfícies e pelo método da proximidade imediata (CPX) em 5 superfícies.

A partir dos ensaios CPB foram identificados 3 grupos de desempenho acústico semelhante: o primeiro, composto por superfícies com elevada dimensão máxima do agregado, é caracterizado por um desempenho fraco (S3, S4 e S8); o segundo grupo, com um desempenho intermédio e agregados de dimensão máxima de 12 mm, é composto por misturas de granulometria descontínua (S1, S6 e S12) e por betão betuminosos drenante (S9); o terceiro, com o melhor desempenho, também é composto por misturas abertas e de granulometria descontínua, com dimensão máxima do agregado inferior a 10 mm (S2, S7, S10 e S11). Em todos os grupos se encontram superfícies com betume modificado com borracha.

Os ensaios realizados pelo método CPX mostraram que os resultados são menos sensíveis às variações das características das superfícies do que os resultados obtidos pelo método CPB, mostrando ser menos adequado para a classificação das superfícies. O método CPX, dado ser um método de medição em campo próximo, caracteriza melhor os mecanismos de interacção pneu-pavimento. O método SPB inclui ainda o efeito da propagação do som até ao receptor. Estas duas aproximações sugerem o uso de ambas as técnicas de medição no sistema de classificação baseado na avaliação do desempenho acústico de superfícies, tal como recomendado no projecto SILVIA.

Estes resultados, embora preliminares, mostraram ser consistentes. No futuro, por questões de representatividade e de validação dos resultados, será alargado o número e a tipologia das superfícies e serão repetidos os ensaios nas superfícies já avaliadas de forma a ser possível ter em conta o efeito da idade.

Apesar de terem sido realizados ensaios pelo método CPB com veículos pesados, os resultados obtidos não foram aqui apresentados por não serem representativos. Contudo, é importante que os próximos estudos incluam esta categoria de veículos.

## Agradecimentos

Parte da investigação foi suportada pelo financiamento plurianual FCT-CAPS/IST através do programa POS\_C e fundos do FEDER.

## Referências

- [1] Sandberg, U.; Ejsmont, J. *Tyre / Road Noise Reference Book*. Informex SE – 59040. Kisa, Sweden ([www.informex.info](http://www.informex.info)), 2002.
- [2] Santos, A. Estudo da eficácia da redução do ruído de tráfego em pavimentos drenantes. *Tese de Mestrado*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Março, 2007.
- [3] HARMONOISE. *Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine tuning*. Technical Report HAR32TR-040922-DGMR20 (Deliverable D18), 2005. Available at <http://www.imagine-project.org>.
- [4] Padmos, D.; Morgan, P.; Abbott, P.; Blokland, G.; Roovers, M.; Bartolomeaus, W.; Anfosso-Ledée, F. *Classification Scheme and COP Method*. SILVIA Project Deliverable – SILVIA-DWW-025-14-WP2-141005, 2005.
- [5] Descornet, G.; Goubert, L. *Noise Classification of Road Pavements, Task 1: technical background information 1*, Draft Report 05. Directorate-General Environment, European Commission, 2006.

- [6] ISO 11819-1:1997. *Acoustics – Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 1: Statistical Pass-By Method*. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneve, Switzerland.
- [7] ISO CD 11819-2. *Acoustics – Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 1: The Close Proximity Method*. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneve, Switzerland.
- [8] Freitas, E.; Pereira, P.; Picado-Santos, L.; Santos A. A influência da Água no Ruído Produzido pelo Tráfego Rodoviário. *Revista de Engenharia Civil n.º 26*, Universidade do Minho, pp. 5-15, Portugal, 2006.
- [9] Freitas, E.; Pereira, P.; Lédée, F. Assessment of the Performance of Asphalt Rubber Layers on Noise Abatement. *First International Conference on Transport Infrastructure - ICTI 2008*, Beijing, China, 2008.
- [10] ASTM E965-96. *Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique*. American Society for Testing and Materials, 2006.
- [11] ISO 13473-1:1997. *Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 1: Determination of Mean Profile Depth*. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneve, Switzerland