

A REDUÇÃO NO RUÍDO RODOVIÁRIO COM A UTILIZAÇÃO DE PAVIMENTOS DE BAIXO RUÍDO

E. Freitas¹, J. P. Paulo², J. L. Bento Coelho³

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

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

³CAPS, DEEC, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal
bcoelho@ist.utl.pt

Resumo

A aplicação de camadas de desgaste de baixo ruído, particularmente em áreas urbanas, tem-se revelado como uma medida eficaz de redução do ruído rodoviário. Assim, neste artigo analisa-se o ruído gerado em três camadas de desgaste integradas num projecto de reabilitação de uma estrada urbana, das quais duas são de utilização inédita.

Os procedimentos de medição do ruído usados foram o método da “Passagem Controlada” e o método da “Proximidade Imediata”. No primeiro método, os veículos de ensaio foram seleccionados, sendo medido o nível máximo de ruído de passagem. No segundo método, recorreu-se a um sistema de aquisição e processamento de ruído utilizando microfones localizados junto a uma roda de um veículo ligeiro, sendo medido o ruído de contacto pneu/pavimento. Nesta fase inicial de exploração da rodovia verificou-se que os níveis de ruído obtidos nas superfícies experimentais são consideravelmente inferiores aos da camada de utilização corrente.

Palavras-chave: ruído rodoviário, camada de desgaste, passagem controlada, proximidade imediata.

Abstract

The use of low noise wearing courses has proven to be an effective noise abatement measure, particularly in urban areas. Therefore, this paper intends to analyse the noise generated by three wearing courses, two of which considered innovative and integrated in the design of an urban road rehabilitation project.

The methods used for measuring noise were the Controlled Pass-By Method and the Close ProXimity Method. In the first method, the testing vehicles were selected and the pass-by maximum noise level was measured. In the second method, a system to store and process noise using microphones ensembled near one of the tires on a light vehicle was used to measure tyre/surface noise. In this early stage of the life of the pavement, noise levels in relation to the innovative surfaces are considerably lower than those of the current surface.

Key words: traffic noise, wearing course, controlled pass-by, close proximity

1 Introdução

O desenvolvimento urbano que se verificou em Portugal nos últimos anos foi acompanhado por um rápido e elevado crescimento do tráfego e, conseqüentemente, pela construção de vias rodoviárias quer urbanas quer rurais. A partir dos anos 80, as políticas de controlo do ruído levaram as administrações rodoviárias e os construtores a aplicarem medidas de mitigação do ruído. Nos últimos anos, tem-se assistido à construção massiva de barreiras acústicas, as quais muitas vezes não são aceites pelas populações locais.

Actualmente, os valores limite para o ruído ambiente preconizados na legislação são ainda mais severos o que obriga à procura de soluções inovadoras de redução do ruído rodoviário. Essas soluções passam pelo desenvolvimento de camadas de desgaste de baixo ruído, dado que o ruído resultante do contacto pneu/pavimento é determinante no ruído total produzido pelos veículos a velocidades superiores de 40 a 50km/h para veículos ligeiros [1-2].

As administrações rodoviárias têm recorrido a camadas de desgaste em betão betuminoso drenante, nas auto-estradas, e em mistura betuminosas aberta ou rugosa com betume modificado com borracha, nas auto-estradas, em estradas nacionais e municipais, embora estas camadas de baixo ruído apresentem problemas a curto e médio prazo de colmatação dos poros e de durabilidade [3-4], o que compromete o desempenho acústico.

Em Portugal foram realizados em auto-estrada apenas quatro estudos que abordam estes dois tipos de misturas. Em dois estudos foi comparada uma mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha com um betão de cimento armado contínuo [5] e depois com um betão betuminoso rugoso [6]. Para o primeiro caso verificou-se que a mistura que incorpora betume modificado com borracha proporciona reduções de ruído global (L_{Aeq}) compreendidas entre 8 e 10dB(A) e do nível máximo de ruído (L_{Amax}) de 3 a 8dB(A). Para o segundo caso registaram-se diferenças de 5dB(A) para o ruído global e diferenças inferiores a 2dB(A) para o nível máximo de ruído. O terceiro estudo indica reduções do nível de ruído entre 3 e 5dB(A) [7]. No quarto estudo, foi comparado o nível máximo de ruído medido numa camada em betão betuminoso drenante e outra em betão betuminoso “convencional” considerando as superfícies secas e molhadas. Para a velocidade de 80km/h, na condição de superfície seca, a redução do ruído é neste estudo pouco significativa, da ordem de 2dB(A), passando para cerca de 5dB(A) na condição de superfície molhada [8].

Em estradas nacionais, foi realizado um outro estudo que abordou sete superfícies de estrada: a) três misturas betuminosas abertas com betume modificado com borracha com granulometrias distintas, b) um betão betuminoso, c) três misturas delgadas de granulometria descontínua não convencionais. Ao contrário do que seria de esperar, tendo em conta os resultados anteriormente referidos, as misturas delgadas de granulometria descontínua proporcionam uma redução de ruído semelhante à das misturas com betume modificado com borracha, podendo atingir diferenças superiores a 7dB(A) a velocidades elevadas relativamente às misturas betuminosas convencionais [9].

O trabalho que se apresenta a seguir é um caso de estudo integrado na reabilitação de uma estrada urbana que tem por objectivo avaliar o impacto no ruído rodoviário da utilização de camadas de desgaste delgadas, de granulometria descontínua optimizada e com betume modificado com polímeros. Estas misturas seguem as recomendações do projecto SILVIA [10] para a construção de camadas de desgaste de baixo ruído.

2 Caso de estudo

2.1 Âmbito do estudo

O estudo do impacto da utilização de camadas de baixo ruído que se apresenta a seguir insere-se num largo programa experimental implementado no âmbito da reabilitação de uma via urbana no centro da cidade de Braga cujo tráfego diário é de cerca de 40 000 veículos. Esse programa contemplou, ainda, a caracterização estrutural e funcional do pavimento.

2.2 Localização do trecho de estudo

O estudo desenvolve-se ao longo de uma extensão de 3km numa via urbana no centro da cidade de Braga (Portugal), reabilitada recentemente. O perfil da estrada caracteriza-se por duas faixas de rodagem com duas vias de tráfego em cada sentido. A estrutura do pavimento é do tipo semi-rígido, sendo constituído por uma camada de base estabilizada com cimento, uma camada de regularização em betão betuminoso e por três tipos de camada de desgaste. Uma das camadas é feita em betão betuminoso de desgaste convencional (BB 0/12) com 4cm de espessura. As outras duas foram especialmente concebidas para minimizar o ruído de contacto pneu/pavimento, sendo constituídas por misturas abertas (MA1 e MA2) com 3cm de espessura. A mistura MA1 tem a característica adicional de ser mais resistente a esforços de tracção, tendo sido colocada numa zona de curvas sucessivas (Figura 1).

2.3 Propriedades das misturas

As principais propriedades das misturas utilizadas nas camadas de desgaste são apresentadas na Tabela 1. As diferenças mais relevantes para o comportamento destas misturas referem-se à granulometria, a qual determina o volume de vazios e as vibrações dos blocos do pneu. No caso das misturas MA1 e MA2, a curva granulométrica foi otimizada com vista à redução do ruído de contacto pneu-pavimento e à redução da projecção de água (aumento da drenabilidade da superfície). O menor volume de vazios da camada MA1 confere-lhe uma maior resistência aos esforços de tracção.

Tabela 1 – Propriedades das misturas

Tipo de camada	Dimensão máxima do agregado (mm)	Percentagem de betume (%)	Volume de vazios* (%)
MA1	8	5,7	15,0
MA2	8	5,7	18,5
BB (0/12)	12	5,1	4,9

* obtido em provetes Marsall

2.4 Métodos de avaliação do ruído e respectivos indicadores

A avaliação do ruído de tráfego pode ser feita sob duas vertentes, a ambiental e a do pneu/pavimento. Na vertente ambiental, actualmente o Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, estabelece e articula o novo Regulamento Geral do Ruído com outras normas e/ou regimes jurídicos.

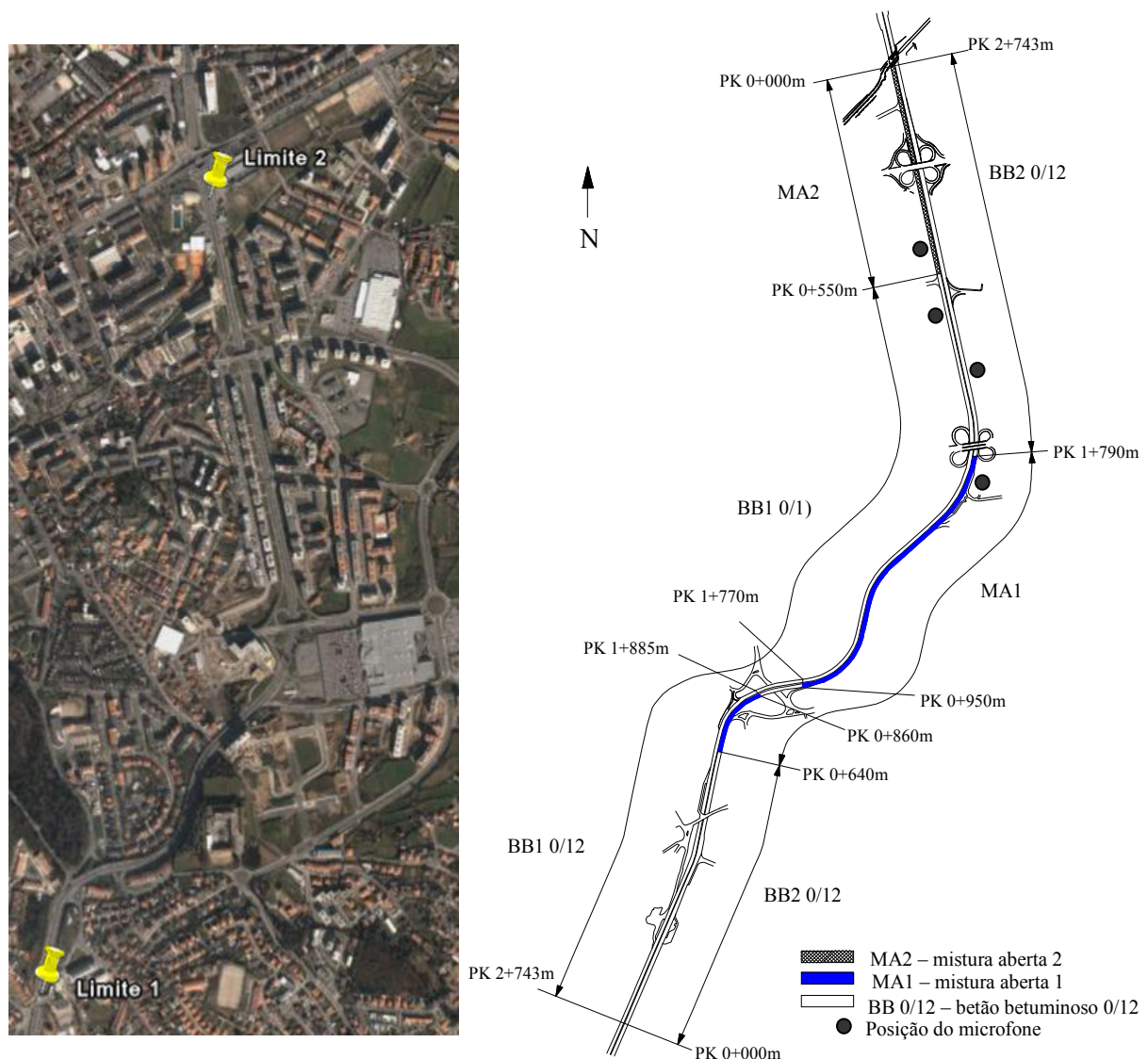


Figura 1 – Envolvente da estrada e representação esquemática do posicionamento das diversas camadas de desgaste

Os parâmetros de ruído usados para a avaliação do ruído ambiental são o L_{den} , que agrega o ruído nos períodos diurno-entardecer-nocturno, e o L_n , que é o nível sonoro médio de longa duração no período nocturno (das 23 às 7 horas), cujos limites máximos foram estabelecidos em função da classificação da zona onde se está a efectuar a medição.

Na outra vertente, vários são os métodos que têm vindo a ser utilizados para a comparação do desempenho acústico de superfícies de estradas. De entre os métodos mais utilizados destacam-se os seguintes:

- 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).

A medição do ruído pelo método CPX pode ser realizada de duas formas: (i) utilizando um atrelado normalizado (puxado por um veículo comum) onde são colocados pneus de ensaio e pelo menos dois

microfones junto do pneu ou, alternativamente, (ii) os microfones são colocados junto a uma roda do próprio veículo. O esquema de montagem dos microfones deve estar de acordo com o definido na norma ISO CD 11819-2 [11] Figura 2.

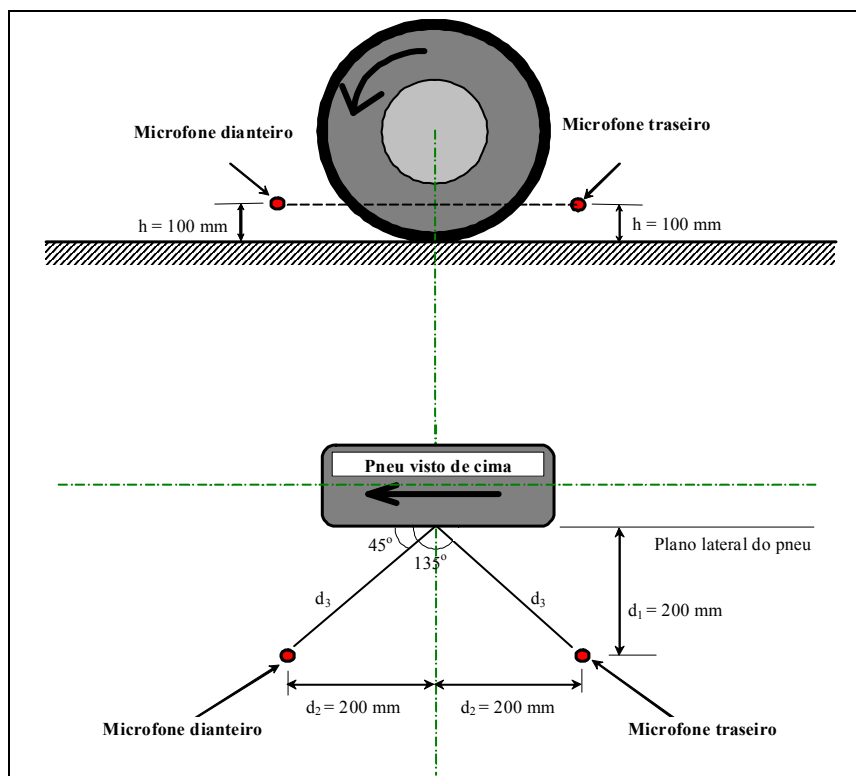


Figura 2 – Posição dos microfones para medição do ruído utilizando o método CPX.

O método SPB baseia-se na medição dos níveis máximos de pressão sonora, ponderada A, pela passagem de um número considerável de veículos com significado estatístico de diversas categorias, num trecho específico da estrada para as velocidades de circulação recomendadas [12]. O microfone deverá estar localizado a $1,2\text{m} \pm 0,1\text{m}$ acima do plano da faixa de rodagem e a $7,5\text{m}$ da linha central da via de tráfego. Assim, a cada passagem individual de um veículo, o nível sonoro (máximo) e a velocidade do veículo são registados. A configuração do ensaio encontra-se apresentada na Figura 3.

Os níveis de ruído dos veículos ligeiros, veículos pesados de eixo duplo e veículos pesados de eixo múltiplo são adicionados, assumindo determinadas proporções destas categorias de veículos, para fornecer um único "índice" que constitua o resultado final. Este índice é designado por Índice Estatístico de Passagem (SPBI) e pode ser usado na comparação da camada superficial de pavimentos rodoviários, de modo a que a sua influência no nível de ruído de um fluxo de tráfego misto possa ser determinada.

O método da passagem controlada, CPB, é semelhante ao método SPB [13]. 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.

O ensaio do tipo SPB é considerado o mais adequado para a quantificação do ruído total na berma da estrada ou imediações, uma vez que contabiliza todos os tipos de fontes de ruído rodoviário, e os

efeitos de absorção no solo entre a fonte sonora e o receptor, em vez de apenas os componentes pneu/pavimento, como é o caso do ensaio do tipo CPX.

Para além do SPBI, não foram desenvolvidos outros índices especificamente para a avaliação do ruído de contacto pneu-pavimento. No entanto, o nível sonoro máximo (L_{max}) tem sido usado como parâmetro associado ao ruído de contacto pneu/pavimento.

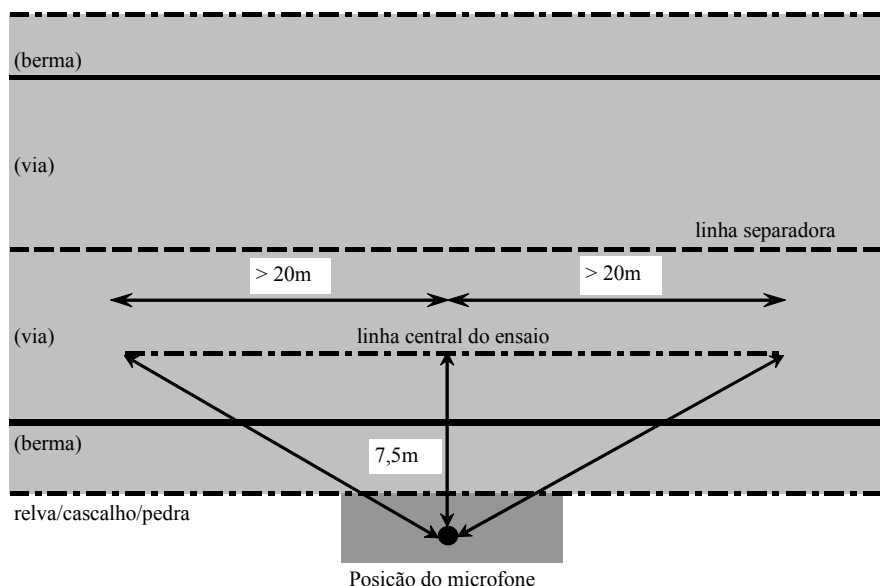


Figura 3 – Configuração do ensaio pelo método estatístico de passagem.

2.4.1 Método CPX

Para a avaliação do desempenho acústico dos três tipos de superfície da estrada pelo método da estrada proximidade adoptou-se o projecto de norma [11]. O equipamento de medição do ruído de contacto pneu/pavimento foi instalado num veículo ligeiro. Os microfones foram colocados num suporte montado na roda traseira direita, como se vê na Figura 4.



Figura 4 – Sistema de aquisição usado no ensaio CPX.

Os sinais adquiridos foram registados e processados num módulo desenvolvido especialmente para o efeito baseado na plataforma Matlab. A emissão de ruído global foi avaliada através da aplicação do método das médias temporais em secções com extensão superior a 100m, o que permitiu reduzir o

número de amostras do ensaio a cada velocidade de referência. Deste modo, foram efectuadas apenas duas medições às velocidades de referência de 50km/h, 80km/h e 110km/h em cada faixa de rodagem, totalizando 12 passagens.

O nível de ruído final corresponde à média aritmética dos níveis registados pelos microfones traseiro e dianteiro.

2.4.2 Método CPB

Para a avaliação do desempenho acústico pelo método da passagem controlada foram seleccionados dois veículos ligeiros e um pesado de três eixos.

As velocidades de ensaio de cada veículo foram as recomendadas na norma aplicável [12]. O ensaio consistiu na passagem dos veículos a velocidade constante em cada faixa de rodagem junto à qual se colocaram dois sonómetros para a medição do ruído simultaneamente em cada tipo de mistura e um radar para a medição da velocidade de passagem. Assim, em cada faixa de rodagem foram efectuadas medições nas seguintes condições:

- Veículos ligeiros – duas passagens a 50, 80 e 110km/h;
- Veículo pesado – duas passagens a 60, 80 e 90km/h.

3 Análise dos resultados

3.1 Condições climatéricas

Para se assegurar que as medições de ruído são válidas, no decorrer dos ensaios deve verificar-se a velocidade do vento, a temperatura do ar e da superfície do pavimento. Assim, a velocidade do vento deve ser inferior a 5m/s, a temperatura ambiente deve estar compreendida entre 5 e 30°C e a temperatura da superfície entre 5 e 50°C [12]. Estes parâmetros foram medidos a cada passagem dos veículos, nunca tendo sido ultrapassados.

3.2 Textura das camadas de desgaste

A textura da superfície dos pavimentos é um dos principais factores que influencia o nível de ruído resultante do contacto pneu/pavimento de um veículo em movimento. Por essa razão, a profundidade média da textura foi medida na totalidade da extensão da estrada por um equipamento de medição em contínuo do tipo multifunções.

Como se verificou uma variabilidade muito significativa deste parâmetro ao longo do trecho correspondente à mistura BB e porque foi avaliada duas vezes, considerou-se na análise duas camadas independentes. Assim, daqui em diante designa-se por mistura BB1 a parte correspondente ao sentido Norte-Sul e BB2 a correspondente ao sentido inverso.

Na zona de medição do ruído, a profundidade média da textura apresentava os seguintes valores:

- MA1 – 1,2mm;
- MA2 – 1,4mm;
- BB1 – 0,8mm;
- BB2 – 0,6mm.

3.3 Ruído – método CPX

Os níveis de ruído máximo (L_{max}) medidos a cada passagem a diferentes velocidades estão apresentados na Figura 5.

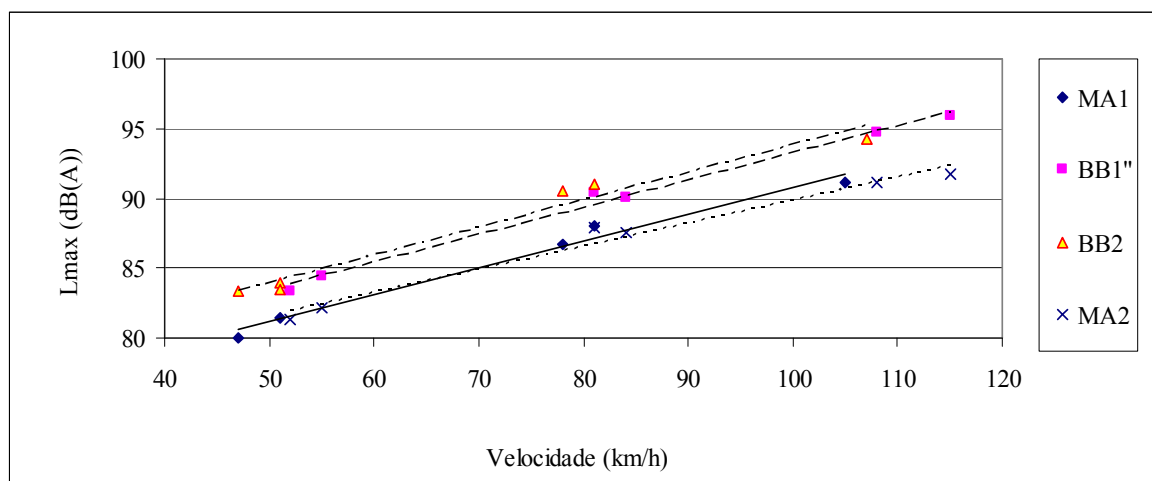


Figura 5 – Nível máximo de ruído para o veículo ligeiro instrumentado.

Na Tabela 2 apresenta-se os parâmetros de regressão linear: (a) – inclinação da recta e (b) – ordenada na origem, das rectas de regressão linear definidas a partir de L_{max} e do logaritmo da velocidade. Na Tabela 3 apresenta-se os níveis de ruído estimados para cada velocidade de referência, de forma a facilitar a análise dos resultados.

Tabela 2 – Parâmetros de regressão para o método da estrita proximidade

Tipo de veículo	MA1		BB1		BB2		MA2	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Ligeiro	31,6	27,3	32,7	28,3	35,8	22,0	30,4	29,2

Tabela 3 – Nível de ruído para as velocidades de referência para o método da estrita proximidade

Tipo de veículo	Velocidade (km/h)	Nível de ruído (dB(A))				
		MA1	BB1	BB2	MA2	Max-Min
Ligeiro	50	81,0	83,8	82,7	80,9	2,9
	80	87,4	90,5	90,0	87,1	3,1
	110	91,8	95,0	95,0	91,3	3,3

Os níveis de ruído medidos em campo próximo aumentam de uma forma geral 6 a 7dB(A) para um aumento de velocidade de 50 para 80 km/h e 4 a 5dB(A) para um aumento de velocidade de 80 para 110km/h. Os valores mais reduzidos correspondem aos gerados com a utilização da mistura MA2, mais porosa, embora as diferenças sejam desprezáveis relativamente à mistura MA1. No entanto, observa-se que estas misturas apresentam emissões de ruído de cerca de 3dB(A) abaixo da mistura BB1.

Apesar das misturas BB1 e BB2 serem iguais, o facto da textura superficial ser ligeiramente diferente explica a variação de resultados a velocidades mais baixas.

O espectro de ruído de emissão correspondente a vários tipos de superfícies é mostrado na Figura 6. Observa-se uma diferença de cerca de 1dB entre as misturas BB e cerca de 5dB entre as DA e MA, para as bandas de frequência compreendidas entre os 800Hz e os 2500Hz. Este resultado mostra o óptimo desempenho das camadas finas de desgaste, MA.

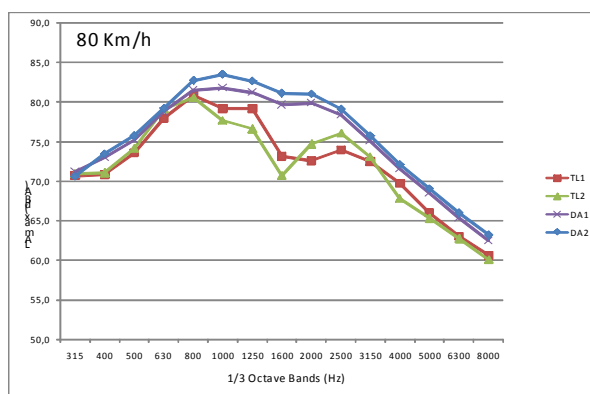


Figura 6 – Espectro do ruído medido com o sistema CPX para diferentes tipos de pavimentos à velocidade de 80km/h.

Apresentam-se na Figura 7 os espectros de ruído analisados pelos métodos CPX e CPB para as velocidades recomendadas. Dado que associado a cada método de medida estão presentes fenomenologias físicas diferentes, os espectros apresentam um andamento em frequência bastante distinto. Observa-se uma redução significativa da energia, sensivelmente na banda de frequências centrada em 1600Hz, utilizando o método CPX. No método CPB, o ruído medido tem várias componentes sendo constituído pela fonte de ruído veículo, que engloba essencialmente o ruído gerado pelas quatro rodas e a radiação devida à vibração da estrutura, e pela atenuação acústica introduzida pelo pavimento entre o veículo e o receptor. As diferenças entre os níveis de ruído por bandas de frequência de terços de oitava são apresentadas na Figura 7.

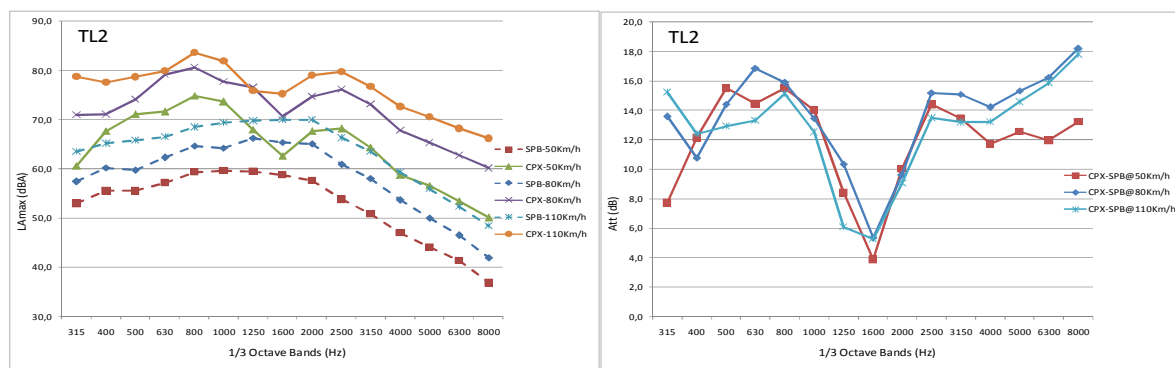


Figura 7 – Espectros de amplitude do ruído através dos métodos CPX e SPB (lado esquerdo) e atenuação introduzida (lado direito), para as camadas finas MA em função da velocidade.

3.4 Ruído – método CPB

A metodologia de análise anteriormente apresentada foi seguida novamente nos ensaios realizados pelo método CPB, para o veículo pesado, Figura 8 a), e para os veículos ligeiros, Figura 8 b).

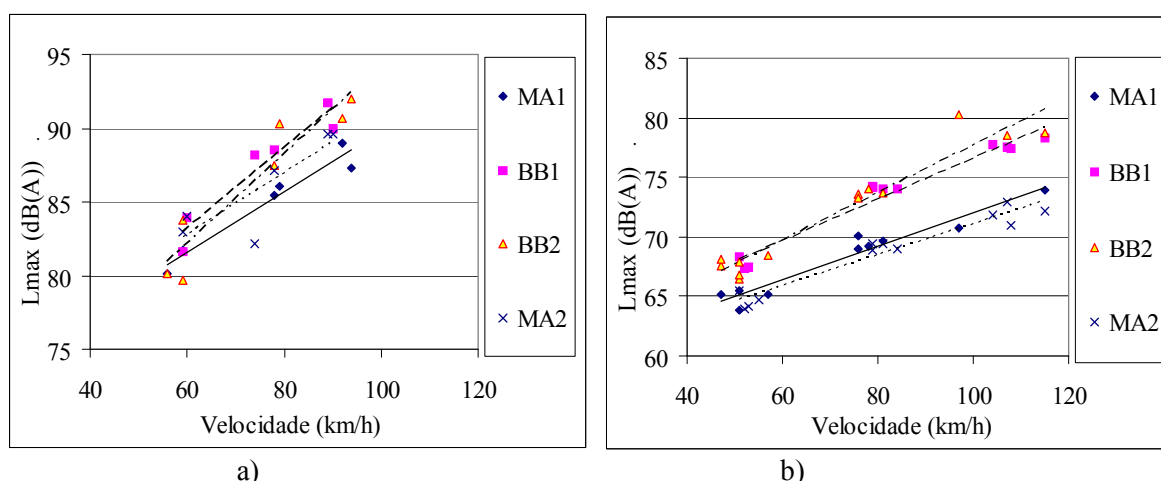


Figura 8 – Nível máximo de ruído: a) para o veículo pesado; b) para os veículos ligeiros

Na Tabela 4 apresenta-se os parâmetros de regressão linear (a) – inclinação da recta e (b) – ordenada na origem das rectas de regressão definidas a partir de L_{max} e do logaritmo da velocidade. Na Tabela 5 apresentam-se os níveis de ruído estimados para cada velocidade de referência.

Tabela 4 – Parâmetros de regressão para o método da passagem controlada

Tipo de veículo	MA1		BB1		BB2		MA2	
	a	b	slope	b	slope	b	slope	b
Pesado	34,9	19,6	46,0	1,4	51,4	-9,2	34,1	22,1
Ligeiro	23,9	24,3	31,2	14,4	34,1	9,6	23,5	24,3

Tabela 5 – Nível de ruído para as velocidades de referência para o método da passagem controlada

Tipo de veículo	velocidade (km/h)	Nível de ruído máximo (dB(A))				
		MA1	BB1	BB2	MA2	Max-Min
Pesado	60	81,6	83,1	82,2	82,8	1,6
	80	85,9	88,9	88,6	87,1	2,9
	90	87,7	91,2	91,2	88,8	3,5
Ligeiro	50	65,5	67,0	67,7	63,8	3,9
	80	69,5	73,4	74,1	68,5	5,6
	110	72,2	77,8	78,5	71,7	6,8

Para o veículo pesado e para todos os valores de velocidade, a camada MA1 apresentou os mais baixos níveis de ruído, tendo por isso o melhor desempenho. A seguir encontra-se a camada MA2 e finalmente as camadas BB1 e BB2. As diferenças encontradas a 60km/h são pouco significativas, da ordem de 1,6dB(A).

Para os veículos ligeiros e a todos os níveis de velocidade, a camada MA2 conduziu ao melhor desempenho, apresentando os mais baixos níveis de ruído. As camadas BB1 e BB2 também apresentaram um desempenho inferior ao da camada MA1. Neste caso, as diferenças de ruído entre as camadas com melhor e com pior desempenho são significativas a todos os níveis de velocidade. Se a camada em BB 0/12 for tomada como referência, é possível obter-se reduções de ruído até cerca de 7dB(A) para 110km/h. As vantagens da utilização deste tipo de camadas delgadas, do ponto de vista do ruído, ficam deste modo comprovadas.

4 Conclusões

A implementação de camadas de baixo ruído como medida de mitigação do ruído é um assunto desde há muito abordado no domínio rodoviário, mas pouco explorado em Portugal. Por essa razão, foi desenvolvido o estudo aqui apresentado, realizado numa via de tráfego urbana do centro da cidade de Braga. Neste estudo, foi analisado o ruído através de dois métodos de ensaio: o método da proximidade imediata (CPX) e o método da passagem controlada (CPB).

O nível de ruído de contacto pneu/pavimento produzido nas duas camadas de desgaste com textura otimizada é inferior ao nível de ruído das misturas betuminosas convencionais. O impacto da utilização destas misturas no ruído ambiente é muito significativo, sobretudo a velocidades elevadas, quer para veículos ligeiros quer para pesados.

Os resultados obtidos pelo método CPX indicam que é possível uma redução de ruído na fonte de cerca de 3dB(A). Redução essa que aumenta até cerca de 7dB(A) para a velocidade de 110km/h quando o receptor se encontra a 7.5m da fonte (método de ensaio CPB). Estes resultados seriam ainda mais significativos se a mistura tomada como referência fosse, por exemplo, um betão betuminoso com agregados de dimensão máxima de 16mm em vez de 12mm (mistura de utilização corrente).

Os resultados mostram que a redução do ruído rodoviário passa pelo uso mais alargado, principalmente em estradas com limite de velocidade elevada, de camadas de desgaste delgadas com agregados de dimensão máxima reduzida, neste caso particular de 8mm, com ou sem recurso a modificação do betume com borracha dos pneus.

Apesar da obtenção destes resultados encorajadores, é necessário acompanhar a evolução do desempenho acústico destas camadas ao longo do tempo com o objectivo de se conhecer a sua eficácia a longo prazo.

Agradecimentos

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

Referências

- [1] Bendtsen, H.; Raaberg, J. “*French Experiences on Noise Reducing Thin Layers*”, Report, Denmark, 2006, Disponível em <http://www.vejdirektoratet.dk/publikationer/VInot028/index.htm>.
- [2] Sans. “*Evaluación del Ruido de Rodadura en Carreteras*”. UCLM, Ciudad Real, 2006.
- [3] Baugham, C.; Chinn, L.; Harris, G.; Stait, R.; Philips, S. *Resurfacing a Motorway with Porous Asphalt: Effects on Rural Noise Exposure and Community Response*. TRL Report, TRL 536, 2002.
- [4] Hofman, R.; Kooij, J. Results from the Dutch Noise Innovation Program Road Traffic (IPG) and Roads to the Future Program (WnT). *Internoise 2003, 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, Korea, 2003.
- [5] Ruivo, F. *Avaliação do Efeito do Pavimento no Ruído de Tráfego Rodoviário – relatório de ensaios pavimento B.M.B. versus pavimento B.A.C.*, CERTIPROJECTO, Lisboa, 2004.

- [6] Ruivo, F. *Avaliação do Efeito do Pavimento no Ruído de Tráfego Rodoviário (II) – relatório de ensaios pavimento B.M.B. versus pavimento B.B.R.*, CERTIPROJECTO, Lisboa, 2004.
- [7] Gomes, L.; Seixas, P. Utilização de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha na obra do IC24, entre Freixieiro e Alfena. *Seminário LNEC/CRP - Pavimentos Rodoviários Verdes*, Lisboa, 2006.
- [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] SILVIA. *Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces*. FEHRL report 2006/02. Forum of European National Highway Research Laboratories, Brussels, Belgium, 2006.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Sandberg, U.; Ejsmont, J. *Tyre / Road Noise Reference Book*. Informex SE – 59040. Kisa. Sweden (www.informex.info), 2002.