

A INFLUÊNCIA DO PAVIMENTO COMO MEDIDA DE REDUÇÃO DO RÚIDO NA FONTE | UM CASO DE ESTUDO

Maria João Rato¹, Maria Inês Ramos¹, Rosa Daniela Domingues¹, Maria Margarida Braga¹, Luis Dias Fernandes¹, Elisabete Fraga Freitas²

¹ BRISA, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal

² Universidade do Minho, ISE, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800 058 Guimarães, Portugal

RESUMO

No quadro das diretivas europeias sobre avaliação e gestão do ruído ambiente, a Brisa tem desenvolvido ações que visam avaliar a influência dos pavimentos como medida de redução do ruído e, subsequentemente, ajustar a aplicabilidade do método de previsão de ruído CNOSSOS à realidade da rede rodoviária concessionada.

Neste sentido, foram selecionados diversos sublanços onde ocorreu a substituição da camada de desgaste em Betão Betuminoso Drenante (PA 12,5) e em Betão Betuminoso (AC 14), em fim de vida, por camadas em Stone Mastic Asphalt (SMA 12) e Betão Betuminoso rugoso (AC 14).

Nesses sublanços realizaram-se medições do ruído pneu-pavimento, antes e após intervenção em tempos distintos, utilizando duas metodologias: o método Estatístico de Passagem (SPB *Method*) e o método da Proximidade Imediata (CPX *Method*). Desta forma, foi possível aferir o efeito da intervenção e da evolução do ruído nos primeiros meses de exploração das camadas em SMA12 e AC 14.

ABSTRACT

Trough the framework of the European directives on the assessment and management of environmental noise, Brisa has developed some actions to assess the influence of pavements as a noise reduction measure and, subsequently, adjusting the applicability of the CNOSSOS noise prediction method, to the reality of the concession road network.

To achieve this, several sub-sections were selected where the end-of-life of a Porous Asphalt (PA 12.5) and Asphalt Concrete (AC 14) wear layer were replaced with Stone Mastic Asphalt (SMA 12) and new Asphalt Concrete (AC 14) layers.

Noise tyre-pavement measurements were made on these sections, before and after the intervention at different times, using two methodologies: the Statistical Pass-By method (SPB method) and Close Proximity method (CPX method). Using these methodologies, it was possible to evaluate the effect of the intervention and the evolution of the noise in the first few months of the exploration of the layers.

Key-words— Sustainability, Pavements, Noise, Tests, Models

1. INTRODUÇÃO

O ruído pneu-pavimento é influenciado por vários fatores, nomeadamente pelo comportamento dos condutores, pelas características dos pneus, pelas características da superfície do pavimento (macro e megatextura, irregularidade, porosidade, rigidez, idade, desgaste e presença de água) e pelo clima [1]. As relações causa-efeito estabelecidas têm vindo a ser confrontadas ou confirmadas, encontrando-se resumidas, por exemplo, em [2]. A evolução do ruído pneu-pavimento ao longo do tempo não tem tido a atenção devida. Porém, a necessidade sentida de ajustar a aplicabilidade do método de previsão de ruído CNOSSOS à realidade de cada rede rodoviária veio impulsionar este tipo de estudos.

Para a medição do ruído pneu-pavimento existem métodos de ensaio específicos, que devem ser complementados com outros ensaios de caracterização da superfície como é o caso da textura, da absorção sonora e da rigidez da camada superficial [3]. Em Portugal o Método Estatístico de Passagem (*Statistical Pass-By method*, SPB) e Método da Proximidade Imediata (*Close ProXimity method*, CPX), começaram a ser aplicados de forma sistemática na rede rodoviária recentemente, sendo os estudos mais antigos de carácter exploratório ou para apoiar atividades de investigação [4, 5].

Recentemente, foi adaptado para as condições portuguesas o manual referente aos critérios de contratação pública ecológica, no âmbito da ENCPE 2020 que visa apoiar os processos de «Conceção, construção, reabilitação e conservação de estradas» [6]. Neste documento são indicados requisitos mínimos aplicáveis à conceção de pavimentos de baixo ruído, que dentro dos critérios essenciais para pavimentos novos de baixo ruído, tomam os seguintes valores, mas apenas para método CPX:

- 90 dB(A) a 50 km/h; e/ou
- 95 dB(A) a 70 km/h; e/ou
- 98 dB(A) a 90 km/h.

Neste documento admite-se um aumento inferior a 3 dB(A) durante o período mínimo de garantia (cinco anos), que o nível de ruído máximo, medido pelo método CPX, pode sofrer. Não obstante, é apenas um documento orientador e, por isso, em Portugal não existe documentação técnica que

defina valores de referência no que respeita à conformidade de produção ou desempenho ao longo do tempo.

No enquadramento ditado pelas diretivas europeias sobre avaliação e gestão do ruído ambiente (2002/49/CE [7] e (EU)2015/996 [8], de 25 de junho e de 19 de maio, respetivamente), a Brisa – Concessão Rodoviária, S.A. tem desenvolvido esforços para determinar a influência dos pavimentos como medida de redução do ruído na fonte e, simultaneamente, validar a aplicabilidade do método de previsão de ruído CNOSSOS à realidade da rede rodoviária de que é Concessionária.

Neste contexto, este trabalho analisa o efeito da substituição da camada de desgaste em Betão Betuminoso Drenante (PA 12,5) e em Betão Betuminoso Rugoso (AC 14), em fim de vida, por uma nova camada de Betão Betuminoso Rugoso (AC 14) e por uma camada de elevado desempenho em Stone Mastic Asphalt (SMA 12), através dos métodos SPB e CPX.

2. SECÇÕES DE ESTUDO E METODOS DE ENSAIO

2.1. Metodologia do estudo

Para este estudo exploratório foram selecionados três sublanços de autoestradas diferentes, onde estavam previstas intervenções no pavimento, isto é, a substituição da camada de desgaste existente por uma do tipo SMA 12 e AC 14. Antes e após a intervenção, o ruído pneu-pavimento foi avaliado utilizando duas metodologias distintas: o método Estatístico de Passagem (SPB), e o método da Proximidade Imediata (CPX). Deste modo, foram consideradas 3 fases de avaliação do ruído: a fase 1 corresponde ao momento antes da intervenção e reflete o estado deste em fim de vida funcional; a fase 2 corresponde à avaliação efetuada pouco tempo depois da intervenção efetuada e a fase 3 reflete o desempenho em termos acústicos ao fim de cerca de 1 ano de vida útil.

2.2. Descrição das secções de estudo

Na Tabela 1 são identificadas as secções de Autoestradas selecionadas para o estudo e caracterizadas em termos de tipo, idade e volume do tráfego a que foram submetidas.

Tabela 1. Identificação e caracterização das autoestradas.

Autoestrada	A	B	C
Extensão (km)	9,4	8	20,1
Tipo de mistura antes da intervenção	PA 12.5	AC 14	PA 12.5
Tipo de mistura depois da intervenção	AC 14	SMA	SMA
Idade na fase 2 (meses)	1	1	1
Idade na fase 3 (anos)	-	1,4	1,4
Tráfego acumulado F1-F2 (NV)	420930	312720	561840
Tráfego acumulado F2-F3 (NV)	-	5129173	10939758

2.3. Método estatístico de passagem (SPB)

O método estatístico de passagem (*Statistical Pass-By method* - SPB) é um método normalizado publicado pela norma ISO 11819-1:1997 - Acústica – Medição da influência dos pavimentos no ruído de tráfego rodoviário, para a determinação de um indicador que considera o ruído emitido pelo tráfego rodoviário de passagem.

Com este método pretende-se obter uma avaliação quantitativa das superfícies dos pavimentos rodoviários relativamente ao ruído do tráfego rodoviário.

O método SPB implica a realização de várias medições “*in situ*” do nível máximo de pressão sonora, L_{max} , à passagem de um veículo e da respetiva velocidade de circulação, em condições normais de circulação. Após a passagem de, pelo menos, 100 veículos ligeiros e 80 pesados, é estabelecida uma correlação linear entre o logaritmo da velocidade e o nível sonoro máximo obtido, determinando-se em seguida o nível sonoro correspondente a uma determinada velocidade de referência estabelecida em função do tipo de rodovia. O indicador SPB resultante do presente método é um valor em índice, em dB(A), com o objetivo de comparar pavimentos e que tem por base, níveis de ruído de diferentes categorias de veículos.

Neste trabalho, dado que o objetivo do método era medir cada veículo “*per si*” sem a interferência de outros veículos, foram utilizadas apenas duas classes de veículos (ligeiros e pesados).

2.4. Método da proximidade imediata (CPX)

O método da proximidade imediata (*Close Proximity method* - CPX) é também um método normalizado, estando descrito na norma ISO 11819-2. No presente caso, a medição do ruído foi feita junto a uma das rodas do veículo de aquisição, onde se colocou dois microfones conforme o esquema de montagem definido na norma. Os sinais registados durante o ensaio são processados por um software de análise e a emissão do ruído global (com ponderação A) é avaliada através da aplicação do método das médias temporais em secções de 20 metros à média energética dos níveis sonoros registados por cada microfone, e ainda pelo espectro sonoro correspondente em bandas de 1/3 oitava (LCPX). Neste estudo utilizou-se apenas o pneu representativo dos veículos ligeiros (P) e foram efetuadas medições ao longo das secções de Autoestrada selecionadas para as velocidades de referência de 50 km/h, 80 km/h e 100 km/h.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MÉTODO SPB

3.1. Nível de ruído medido em cada autoestrada

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados obtidos pelo ensaio SPB nos três sublanços de autoestrada, antes e depois da substituição da camada de desgaste. Nas Figuras 1, 2 e 3 são apresentados os espectros sonoros para cada Autoestrada.

Tabela 2. Resultados do ensaio SPB.

Autoestrada	FASE	Tip. Veículo	% passagem de veículos (ligeiros/pesados)	L_{max} médio dB(A)	Velocidade média (km/h)	L_{veh} (veloc. Ref.) dB(A) 90km/h e 120km/h	SPB dB(A)
A	1	Lig	93%	80	114	80	81
		Pes	7%	83	82	84	
	2	Lig	93%	79	115	79	80
		Pes	7%	83	88	83	
B	1	Lig	77%	82	114	82	84
		Pes	23%	86	87	87	
	2	Lig	77%	82	122	82	85
		Pes	23%	89	92	88	
	3	Lig	77%	82	107	83	86
		Pes	23%	87	84	88	
C	1	Lig	90%	87	120	86	86
		Pes	10%	87	90	87	
	2	Lig	93%	82	121	81	82
		Pes	7%	84	93	82	
	1a	Lig	94%	78	120	78	78
		Pes	6%	81	85	79	

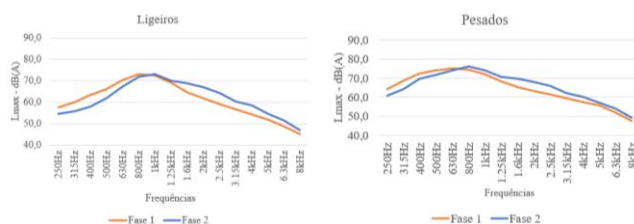


Figura 1. Nível sonoro versus frequência na Autoestrada A.

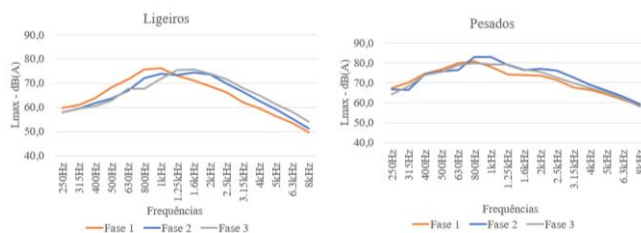


Figura 2. Nível sonoro versus frequência na Autoestrada B.

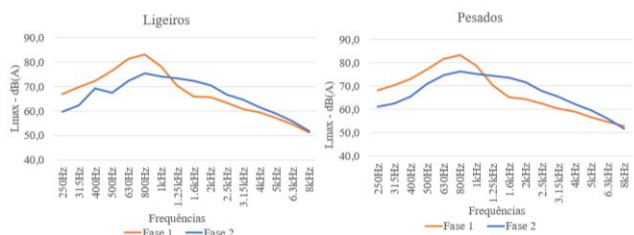


Figura 3. Nível sonoro versus frequência na Autoestrada C.

A comparação dos valores para o indicador SPBI indica uma redução significativa de 4 dB(A), no sublanço da autoestrada C e 1 dB(A) no sublanço da autoestrada A. No sublanço da autoestrada B não se verificou redução deste indicador, mas sim o seu aumento.

Os espectros sonoros provenientes do contacto pneu-pavimento são determinados por vários mecanismos e fatores, sendo que os principais são as vibrações promovidas pela textura do pavimento nos pneus e estado de conservação do pavimento (frequências inferiores a cerca de 1000 HZ), e os movimentos de ar resultantes da interação do piso do pneu com as irregularidades da superfície do pavimento (frequências superiores a cerca de 1000 Hz) e ainda pela absorção sonora [9].

A análise do espectro em frequência evidencia comportamentos idênticos para as baixas e para as altas frequências, em todas as autoestradas, ou seja, nas baixas frequências verificou-se uma redução dos valores de L_{max} , após a aplicação do pavimento e nas altas verificou-se um aumento.

Evidencia-se o espetro da autoestrada B, que revela uma redução de L_{max} na medição de 3ª fase, face à 2ª fase, nas baixas frequências, no caso dos veículos ligeiros, e nas altas frequências, no caso dos veículos pesados. No entanto, o valor de SPB aumentou 1 unidade na comparação entre fases sucessivas.

Relativamente à autoestrada C, apresentam-se os resultados da medição de 3ª fase, na Tabela 2, mas não se procede à apresentação da respetiva curva espectral na Figura 3 por não ser possível efetuar a comparação desses resultados com os das fases anteriores, porque o local de medição teve de ser alterado.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MÉTODO CPX

4.1. Nível de ruído medido em cada autoestrada

A velocidade a que o veículo se encontra no momento da aquisição é determinante para o nível de ruído medido. Para permitir a comparação de resultados nos 3 níveis de velocidade definidos, a partir dos níveis de ruído determinados em cada segmento de 20 m e da velocidade correspondente, foram definidas retas de regressão $LCPX - \log_{10}(\text{velocidade})$, cujo declive (m) pode ser utilizado para corrigir o LCPX medido para uma dada velocidade de referência. Na Figura 4 mostram-se os dados obtidos e as retas de ajuste para as autoestradas B e C. Na Autoestrada A, até à data, existe apenas uma medição. Nesta figura apresentam-se também os parâmetros da reta de regressão obtidos, declive (m) e ordenada na origem (b), e o coeficiente de determinação (R^2).

Observa-se que o parâmetro que representa o aumento do ruído com a velocidade se altera de forma relevante da fase 1 para a fase 2, isto é, antes e após a reabilitação. Além disso, o impacto da intervenção em termos de redução do ruído é superior a velocidades mais elevadas. Entre as fases 2 e 3, o declive manteve-se relativamente estável e próximo do valor de referência recomendado para a correção do efeito da velocidade ($m = 30$).

A partir das retas de regressão, todos os valores de LCPX foram ajustados para as velocidades de referência (50, 80 e 100 km/h). Na Figura 5 mostra-se para as Autoestradas B e C os valores obtidos para a velocidade de referência de 80 km/h antes e após intervenção (fases 2 e 3). Este tipo de visualização, para além de facilitar a comparação dos níveis de ruído obtidos ao longo de um trecho em diversos momentos da vida do pavimento, ajuda a identificar zonas de comportamento homogêneo e heterogêneo, que podem ser relacionadas com fatores explicativos do desempenho, como por exemplo a textura. Ao longo do trecho, antes da intervenção, é notória a variabilidade do ruído particularmente para a autoestrada C. Depois da intervenção, para além de se observar uma redução significativa do LCPX também se observa uma redução da variabilidade do ruído.

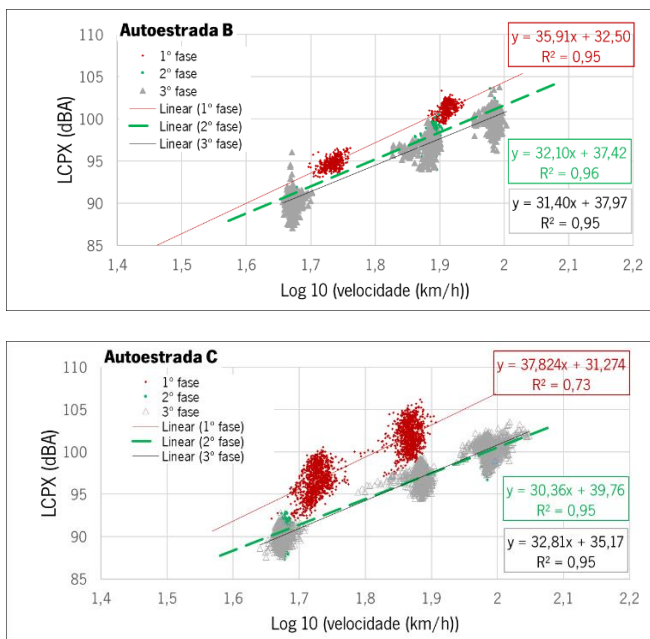


Figura 4. LCPX a 50 (1,7), 80 (1,9) e 100 (2,0) km/h nas Autoestradas B e C.

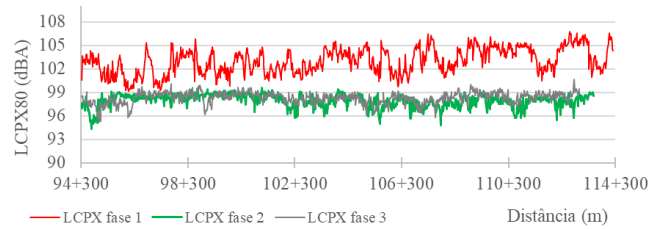
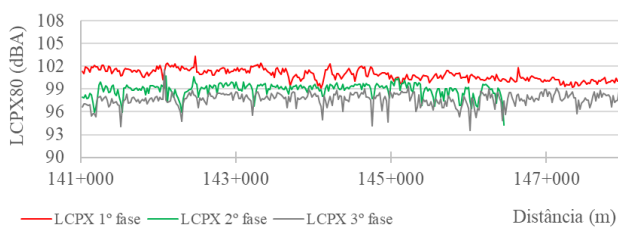


Figura 5. LCPX a 80 km/h na Autoestrada B (em cima) e C (em baixo) antes e após intervenção (exemplo).

Para uma avaliação global do efeito da alteração da camada de desgaste determinou-se a média do LCPX a cada velocidade de referência, nos 2 sentidos de circulação, e o respetivo coeficiente de variação (Tabela 3). A Autoestrada C foi a que mais beneficiou com a alteração da camada, reduzindo o ruído em cerca de 5 dBA, enquanto a Autoestrada B apresentou apenas uma pequena redução (Figura 6). Observa-se também um coeficiente de variação superior antes da intervenção, o que indica que o ruído pneumopavimento passou a ser mais homogêneo e que o efeito da intervenção em alguns locais é muito superior ao efeito médio determinado pela diferença do LCPX médio.

Tabela 3. Níveis de ruído LCPX a 50, 80 e 100 km/h e coeficientes de variação por sentido.

Autoestrada B - Sentido 1		Fase 1		Fase 2		Fase 3			
Velocidade de referência (km/h)		50	80	50	80	100	50	80	100
LCPX (dBA)	Máximo	95,7	103,4	92,9	101	104	92,4	99,8	103
	Mínimo	92,4	99,1	89,5	94,2	96,3	87	93,5	96,6
	Média	93,7	100,9	91,8	98,8	101	90,7	97,7	101
cv (%) médio		0,65	0,73	0,76	0,88	0,98	0,88	0,89	0,88
Autoestrada B - Sentido 2		Fase 1		Fase 2		Fase 3			
Velocidade de referência (km/h)		50	80	50	80	100	50	80	100
LCPX (dBA)	Máximo	96,4	102,6	94,1	101	104	96,3	99,9	103
	Mínimo	90,9	98	88,9	94,6	96,4	87,6	94,5	98,4
	Média	93,2	100,3	92,5	99,4	102	90,9	98	101
cv (%) médio		1,06	0,86	0,77	0,79	1,13	1,18	0,98	0,91
Autoestrada C - Sentido 1		Fase 1		Fase 2		Fase 3			
Velocidade de referência		50	80	50	80	100	50	80	100
LcpX (dBA)	Máximo	99,3	107,4	93,6	99,6	102	93,1	101	104
	Mínimo	91,7	99,2	88	94,1	96,6	87,8	95,2	99
	Média	95,5	103,2	90,8	97,4	100	90,6	98,3	102
cv (%) médio		1,58	1,56	1,04	1,05	0,89	0,71	0,75	0,73
Autoestrada C - Sentido 2		Fase 1		Fase 2		Fase 3			
Velocidade de referência		50	80	50	80	100	50	80	100
LcpX (dBA)	Máximo	99,5	106,8	92,8	99,1	101	93,4	99,6	103
	Mínimo	92,5	98,7	88,3	94,1	96,6	87,3	94,3	97,9
	Média	95,7	102,7	90,2	96,9	99,3	90,1	97,2	101
cv (%) médio		1,45	1,54	1,21	0,93	1,02	0,9	0,88	0,87



Figura 6. Níveis de ruído LCPX a 50, 80 e 100 km/h médios nas três fases de intervenção.

Comparando os valores médios com os propostos no ENCP2020, verifica-se facilmente que os valores são ultrapassados para os pavimentos em fim de vida, o que se justifica pela idade dos mesmos. Para o pavimento novo, SMA 12, constata-se que na autoestrada B, a 50 km/h, e na fase 2, o LCPX médio ultrapassa em 2 dB(A) o valor definido, e que sofre uma redução na fase 3. Na autoestrada C este valor também é ultrapassado, mas residualmente. Para a velocidade de 80 km/h, verifica-se que a mistura adotada proporciona mais cerca de 1 dB(A) e para 100 km/h pode atingir os 2 dB(A) em termos médios.

4.2 Análise dos espectros

Na Figura 7 apresentam-se os espectros sonoros para a velocidade de referência de 80 km/h, por sentido, antes e após a intervenção nas autoestradas B e C.

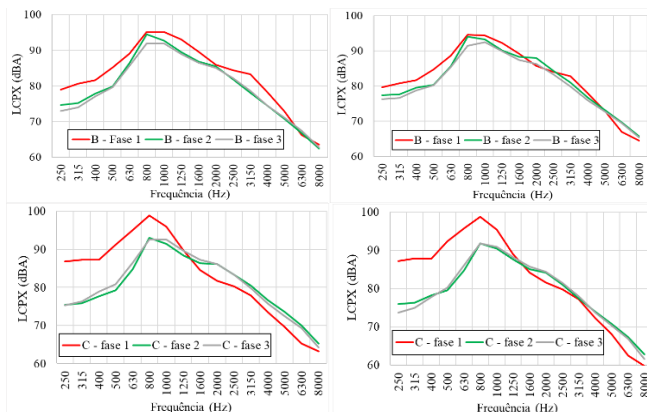


Figura 7. LCPX a 80 km/h versus frequência nas Autoestradas B e C nas três fases de intervenção (sentido 1 na esquerda e sentido 2 na direita).

Na autoestrada C, após a intervenção há uma redução muito significativa do ruído nas baixas frequências e um pequeno aumento nas frequências altas. Deste modo, a nova camada proporcionou uma redução das vibrações nos pneus e afetou negativamente os mecanismos de movimento de ar resultantes da interação pneu pavimento.

Na autoestrada B o efeito da alteração da camada de desgaste é visível ao longo de todo o espectro, o que significa que a redução de ruído se deveu quer à redução da vibração dos

pneus quer ao favorecimento dos movimentos de ar, ambos possivelmente proporcionados pela textura.

Considerando a velocidade de 100 km/h, por ser mais próxima da velocidade operacional neste tipo de vias de comunicação, salienta-se que o padrão de desempenho é muito semelhante.

4. COMPARAÇÃO DOS METODOS SPB E CPX

Pela análise dos dados obtidos pelos dois métodos, é possível constatar a redução de ruído após a substituição da camada de desgaste pelo SMA12, excetuando os resultados obtidos pelo método SPB para a Autoestrada B que apontam para um ligeiro aumento.

Verifica-se que os resultados de ambos os métodos permitem estabelecer a mesma hierarquia no que respeita à ordenação das autoestradas em função dos níveis de redução de ruído após a substituição da camada de desgaste, concretamente: Autoestrada C e Autoestrada B.

De igual forma, verifica-se que existe alguma similitude quanto aos níveis de redução de ruído após a substituição da camada de desgaste nas várias autoestradas que são obtidos pelos 2 métodos, designadamente para os veículos ligeiros constata-se uma redução de cerca de 5 dB(A) na autoestrada C e variando entre uma redução de 1,6 dB(A) e um aumento de 1 dB(A) na autoestrada B.

Apenas na análise mais detalhada da redução dos níveis de ruído por gamas de frequência, se verifica uma maior dissonância entre os dois métodos. Efetivamente, na comparação da Fase 1 com as restantes Fases, os resultados do método CPX apontam para que a substituição da camada de desgaste, gere uma maior redução dos níveis de ruído nas baixas frequências, no caso das autoestradas B e C, embora também se verificando alguma redução nas frequências altas, no caso da autoestrada B. Os resultados do método SPB, por seu turno, apontam para que a substituição da camada de desgaste não permita uma redução dos níveis de ruído nas altas frequências em qualquer das autoestradas e que permite uma redução nas baixas frequências.

5. CONCLUSÕES

Em suma, pela análise dos dados obtidos pelos dois métodos, é possível constatar a redução de ruído após a substituição da camada de desgaste pelo SMA 12, excetuando os resultados obtidos pelo método SPB para a Autoestrada B que apontam para um ligeiro aumento.

Relativamente à comparação da Fase 3 com a Fase 2, as diferenças nos valores de SPB e de CPX são muito reduzidas. Por forma a relacionar a redução do ruído verificada com a variação das características superficiais da camada de desgaste do pavimento, haverá ainda que continuar a avaliar estas características após a intervenção efetuada, através de medição em contínuo, para comparação dos valores de MPD obtidos antes da intervenção.

Os dois métodos SPB e CPX apontam para níveis de redução de ruído globais gerados, pela substituição da camada de

desgaste, semelhantes. Todavia, a análise mais detalhada dos níveis de redução de ruído por frequência já indicia alguma dissonância nos resultados que são obtidos pelos dois métodos, o que resulta do efeito de propagação sonora nos resultados do método SPB. Por conseguinte, afigura-se que a utilização dos dois métodos poderá ser complementar, desde logo porque o método SPB permite a observação da redução dos níveis de ruído numa maior panóplia de tipo de veículos e considera uma maior diversidade de fatores e o método CPX permite caracterizar uma extensão de estrada longa num curto período de tempo.

A análise dos dados resultantes dos métodos CPX e SPB sugeriu que estes métodos podem contribuir para a obtenção de dados de base relativos às características do pavimento para os modelos previsionais de ruído. Esses dados, sendo recolhidos “in loco”, deverão ser mais adaptados à realidade e poderão proporcionar a obtenção de modelos mais ajustados às condições existentes [10]. Perspetiva-se, por isso, como um futuro desafio, o desenvolvimento de metodologias para a obtenção dos parâmetros de caracterização dos pavimentos para a sua utilização nos modelos de simulação do ruído, concebendo e delineando os ensaios baseados nos métodos CPX e SPB, desde logo, com esse objetivo, tendo em consideração a tipologia dos pavimentos utilizada na rede operada pela Brisa.

6. REFERÊNCIAS

1. U. Sandberg and E. Jerzy, *Tyre/road noise. Reference book*. Informex, 2002.
2. O. Sirin, *State-of-the-Art Review on Sustainable Design and Construction of Quieter Pavements-Part 2: Factors Affecting Tire-Pavement Noise and Prediction Models*, Sustainability, 8(7), 692.
3. S. Ling, F. Yu, D. Sun, G. Sun, and L. Xu, *A comprehensive review of tire-pavement noise: Generation mechanism, measurement methods, and quiet asphalt pavement*, Journal of Cleaner Production, 287, 125056, 2021.
4. A. Santos, *Estudo da eficácia da redução do ruído de tráfego em pavimentos drenantes*, dissertação de mestrado, curso de Mestrado em Engenharia Rodoviária, Universidade do Minho, 2007.
5. M. Antunes, S. Coutinho, J. Patrício, E. Freitas, J. Paulo, J. Coelho, *Avaliação do ruído de Tráfego: Metodologia para a Caracterização de Camadas de Desgaste Aplicadas em Portugal*, Evaluation of Pavement Surfaces Characteristics, Proceedings of the Seminar, pp 137-145, Guimarães, Portugal, 2008.
6. APA, *Critérios de contratação pública ecológica, no âmbito da ENCPPE 2020, para Concessão, Construção, Reabilitação e Conservação de Estradas*, Agência Portuguesa do Ambiente, 2020.
7. Dir. 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 – Avaliação e gestão do ruído ambiente. Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=PT>.
8. Dir. (UE) 2015/996 da Comissão de 19 de maio de 2015 - métodos comuns de avaliação do ruído de acordo com a Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0996&from=IT>.
9. E. Bühlmann and T. Ziegler, *Interpreting measured acoustic performance on Swiss low-noise road surfaces using a tyre/road interaction model*, Proceedings of the Acoustics 2012 Hong Kong, 2012.
10. F. Anfosso-Ledee and L. Goubert, *The determination of road surface corrections for CNOSSOS-EU model for the emission of road traffic noise*, Universitätsbibliothek der RWTH Aachen, 2019.