

DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DE SUPERFÍCIES DE BAIXO RUÍDO

Elisabete Freitas¹, Paulo Pereira²

¹Universidade do Minho, Dep. de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800 058, Guimarães, Portugal
email: efreitas@civil.uminho.pt <http://www.civil.uminho.pt/departamento.php?sm=3>

²Universidade do Minho, Dep. de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800 058, Guimarães, Portugal

Sumário

As superfícies de pavimentos de baixo ruído são atualmente a medida de redução do ruído preferida pela maioria dos decisores por ser uma medida relativamente barata e por estarem na gênese do ruído rodoviário. No entanto, para se averiguar se uma determinada superfície pode ser classificada de “baixo ruído” é fundamental a adoção de um sistema de classificação. Os principais objetivos deste trabalho são apresentar o problema da classificação de pavimentos, discutir a seleção de um limite ou de uma superfície de referência para apoiar a seleção de superfícies com desempenho acústico melhorado e identificar as características que conduzem a níveis de ruído de contato pneu-pavimento mais baixos, abordando-se particularmente a contribuição da macro e da megatextura.

Palavras-chave: Pavimentos de baixo ruído; classificação; superfície de referência, ruído pneu-pavimento.

1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos de baixo ruído (PBR) são uma importante medida de redução de ruído de tráfego rodoviário.

De fato, não há muitas medidas infraestruturais que possam ser tomadas pelas administrações rodoviárias para reduzir o ruído rodoviário. As principais medidas são os pavimentos de baixo ruído, as barreiras sonoras e o isolamento de fachada. Os PBR são para situações típicas (centro da cidade, circulares e rodovias) a medida mais rentável, no que diz respeito quer ao investimento por km de estrada quer ao custo da redução de ruído por dB (A) e por km de estrada. Além disso, protegem o ambiente acústico fora e dentro das habitações e têm várias vantagens em termos funcionais, como por exemplo: reduzida resistência ao rolamento, levando a menos consumo de combustível e, conseqüentemente, menos emissões de CO₂; as superfícies porosas reduzem a projeção de água e o risco de aquaplanagem durante o tempo chuvoso e reduzem a reflexão da luz proveniente dos faróis dos veículos que aproximam na direção contrária durante o tempo de chuva e escuridão. Todas estas vantagens acústicas e não acústicas justificam a promoção da utilização de PBR.

Mas, o que caracteriza um pavimento de baixo ruído?

Existe uma definição simples de PBR, aceite de uma forma geral, que diz que um pavimento, ou mais concretamente uma camada superficial, pode ser considerado de baixo ruído quando o nível de ruído resultante da interação pneu-pavimento é mais baixo pelo menos 3 dB(A) comparativamente a outro tomado como referência e de utilização corrente [1].

A aplicação da definição anteriormente enunciada para classificar um determinado pavimento ou camada de baixo ruído é naturalmente simplista, particularmente quando tudo se trata a uma escala global ou no mínimo europeia. Os PBR são uma medida muito atrativa aplicada com frequência nos planos de ação resultantes da elaboração de mapas de ruído. Os seus efeitos no ruído de tráfego rodoviário devem ser conhecidos, o que requer um sistema de classificação confiável.

A maioria dos países europeus já tem algum tipo de sistema de classificação acústica que varia de muito básico a muito sofisticado. Porém, estes sistemas são inconsistentes, entre outras razões, porque se baseiam no aumento ou redução de ruído em relação a uma superfície de pavimento de referência nacional, que parece diferir

significativamente de país para país. Por exemplo, a superfície de referência alemã é 2,5 dB (A) mais ruidosa do que a holandesa.

O desenvolvimento de um sistema de classificação acústica de pavimentos rodoviários europeu seria a solução desejável que permitiria ensaiar um produto com um nome europeu exclusivo de acordo com um único procedimento europeu e atribuindo-lhe uma pontuação exclusiva para classificar a sua qualidade acústica. Aliás, estão a ser feitas diligências com vista à elaboração de uma norma europeia de classificação acústica de pavimentos. Além disso, os modelos de previsão de ruído utilizados por exemplo na elaboração de mapas de ruído aumentariam a fiabilidade dos resultados, como demonstrado em [2] para algumas camadas superficiais portuguesas.

Em Portugal foram dados apenas os primeiros passos no sentido da classificação acústica de pavimentos, com a medição do ruído por vários métodos e a diversas velocidades num vasto conjunto de superfícies de pavimentos rodoviários, no âmbito de dois projetos de investigação [3-4].

Neste trabalho aborda-se o problema da classificação de pavimentos e, para as condições portuguesas, discute-se como solução temporária a definição de um limite ou de uma superfície de referência para apoiar a seleção de superfícies com desempenho acústico melhorado. Além disso, identifica-se as características das camadas que conduzem a níveis de ruído de contato pneu-pavimento mais baixos, abordando-se particularmente a contribuição da macro e da megatextura.

2 SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

Na Europa, vários países 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 fatores de correção aos outros tipos de superfícies. Fatores 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 fatores de correção. 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.

Fora da Europa, como por exemplo no Japão e nos Estados Unidos da América esta metodologia também é aplicada.

A falta de uma abordagem com uma base comum para a avaliação do desempenho acústico, e conseqüentemente, a existência de uma elevada diversidade de classificações cria alguns problemas, nomeadamente de operação, quando se ultrapassa fronteiras.

Os projetos europeus *Harmonoise* [6] e SILVIA [7] dedicaram um capítulo à classificação acústica de pavimentos com vista à resolução desses 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 projeto *Harmonoise* propôs um modelo complexo de correção do ruído, que depende da definição de um conjunto de superfícies com características acústicas similares. Por conseguinte, cada país poderá fazer pequenas correções tendo em vista a normalização.

O projeto SILVIA não propôs correções específicas, em vez disso neste projeto foi desenvolvido um sistema de rotulagem, a ser utilizado na fase de homologação e de verificação de conformidade de produção das camadas superficiais. O sistema de classificação proposto identifica os procedimentos específicos necessários para a medição do nível sonoro em cada uma das fases referidas, baseados na medição do ruído por diferentes métodos (em função do objetivo) e na medição de propriedades acústicas, como por exemplo a absorção sonora, a impedância mecânica e a textura [7].

A adoção a nível europeu de um sistema de classificação semelhante ao proposto no projeto teria várias vantagens para os interessados em PBR, nomeadamente:

- (i) Para as administrações rodoviárias, possibilitando a comparação do ponto de vista acústico das ofertas de fornecedores nacionais e estrangeiros;

- (ii) Para as empresas de construção, por proporcionar condições para a criação e expansão de um mercado de PBR, estimular a concorrência entre prestadores de serviços, desenvolver a realização de PBR a um preço inferior, sendo que o desempenho acústico se tornaria um argumento de vendas;
- (iii) Para os consultores, uma vez que a existência de um único procedimento de classificação acústica de PBR que possa ser usado na previsão do ruído seria uma contribuição para a melhoria da qualidade dos mapas de ruído.

Por conseguinte, um sistema de classificação completo deve compreender pelo menos três componentes essenciais:

- (i) Procedimento de homologação: um tipo de pavimento ou um produto proprietário deve ser ensaiado acusticamente, o resultado indica a redução de ruído que pode ser atingida,
- (ii) Conformidade de produção: após a construção de um determinado tipo de pavimento é preciso certificar-se de que a redução indicada na fase de homologação do mesmo é, no mínimo, atingida. Portanto, após a construção de qualquer pavimento dito de baixo ruído as propriedades acústicas devem ser ensaiadas. Deste forma o dono de obra obtém a garantia de que tem a qualidade acústica pela qual pagou.
- (iii) Procedimento de controlo de durabilidade acústica: geralmente os pavimentos tendem a tornar-se mais ruidosos quando a sua idade aumenta. Por esta razão é necessário um procedimento para se certificar que o aumento de ruído com o tempo permanece dentro de determinados limites.

A terceira componente deste sistema é a única que ainda não foi objeto de um estudo a nível europeu, havendo estudos nacionais que indicam que o aumento do ruído pode ser muito significativo [8] e, com consequências igualmente significativas nos mapas de ruído.

3 SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

Apesar da adoção de superfícies de referência não ser o melhor método de classificação, os projetos de investigação mais recentes que visam a harmonização de procedimentos cujo objetivo último é a elaboração de mapas de ruído, como por exemplo o projetos IMAGINE [9] e CNOSSOS-EU [10] baseiam-se nele. Por essa razão e para apoiar a discussão relativa às condições portuguesas, apresenta-se a seguir as características da superfície de referência considerada nestes projetos, com origem nos resultados projeto *Harmonoise*.

A definição da referência para o ruído teve em consideração as preferências e políticas de cada estado membro, tendo, por isso, sido estabelecidos 2 grupos de superfícies de referência com características a nível de ruído muito similares. As superfícies de referência definidas são: betão betuminoso – BB – (0/08, 0/09, 0/10, 0/11, 0/12, 0/13, 0/14, 0/16) e *Stone Mastic Asphalt* – SMA – (0/08, 0/09, 0/10, 0/11, 0/12, 0/13, 0/14, 0/16).

A partir destes dois grupos de superfícies foi definida uma referência virtual, denominada “*Golden Reference*”, que corresponde à média entre as superfícies SMA 0/11 e BB 0/11, com um ano de idade ou mais, mas nunca em fim da vida útil. Depois, dependendo da superfície atual de referência de cada país e a sua situação particular, aplicam-se correções de forma a normalizar a dita superfície de referência para a “*Golden Reference*” de acordo com a Figura 1, sendo que a velocidade de referência é de 70 km/h e aplica-se apenas a veículos ligeiros. As correções relativas a outras situação encontram-se em [6].

Quadro 1: Correções a aplicar às superfícies pertencentes ao grupo de referência [6]

| Pavimento | Correções a realizar em relação à referência virtual |
|--|---|
| Referência virtual: média entre o pavimento BB 0/11 e SMA 0/11 | ± 0 dB |
| BB | -0,3 dB |
| SMA | +0,3 dB |
| Dimensão do Agregado (de 8 a 16 mm) | +0,25 dB/mm acima dos 11 mm -0,25 dB/mm abaixo dos 11 mm |
| Idade | $-(0,2T^2 - 1,2T + 1,6); T \leq 2 \text{ anos}$ |

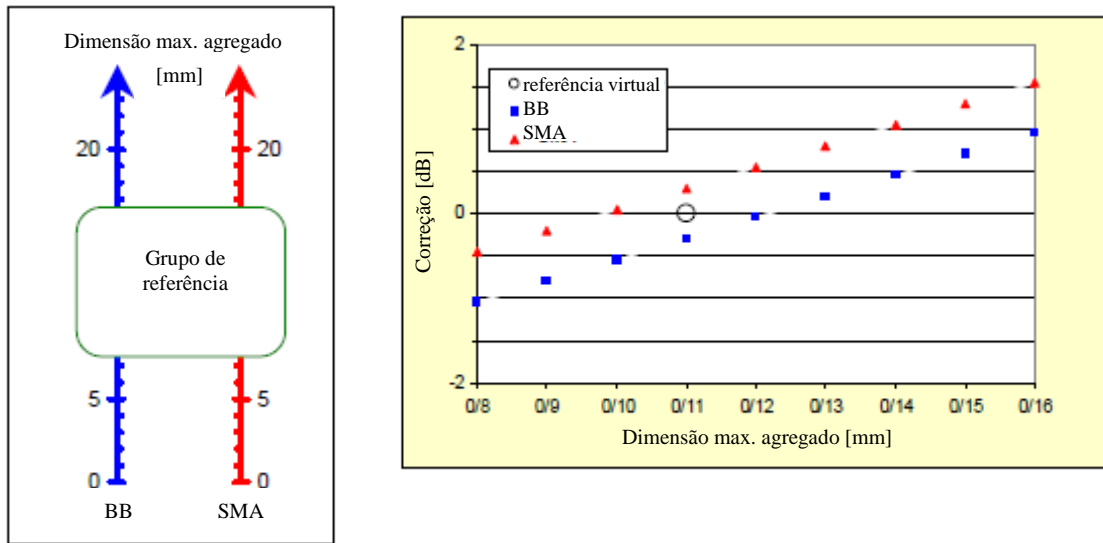


Fig. 1: Correções a aplicar a diferentes superfícies de referência, adaptado de Erro! A origem da referência não foi encontrada.

4 CARACTERÍSTICAS DAS CAMADAS DE BAIXO RUÍDO

Entre as diversas características de uma superfície, a que mais determina o ruído é a textura. Após a análise espectral do perfil da superfície dos pavimentos, a textura que os caracteriza pode ser descrita pelo nível de textura e pelo comprimento de onda (Figura 2).

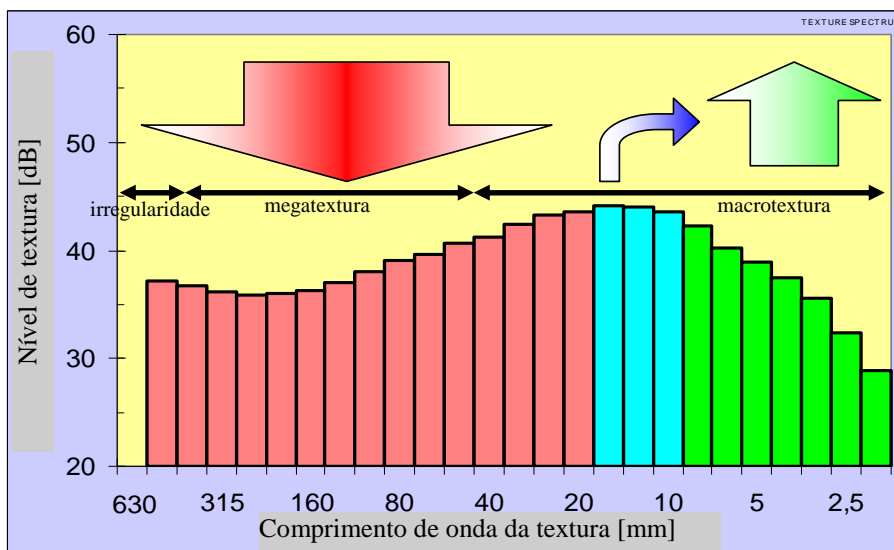


Fig. 2: Espectro de textura (adaptado de [1])

A textura divide-se em quatro tipos de acordo com os comprimentos de onda da seguinte forma:

- (i) Microtextura: comprimento de onda inferior a 0,5 mm;
- (ii) Macrotextura: comprimento de onda entre 0,5 e 50 mm;
- (iii) Megatextura: comprimento de onda entre 50 e 500 mm;

- (iv) Irregularidade: comprimento de onda superior a 500 mm.

A macro e megatextura são determinantes no controlo do ruído. Um aumento da amplitude na gama de comprimentos de onda de 0,5 a 10 mm pode reduzir o ruído gerado nas frequências superiores a 1000 Hz. Ao invés, o aumento da amplitude da textura na gama de comprimentos de onda entre 10 a 500 mm provoca um aumento dos níveis de ruído nas frequências inferiores a 1000 Hz.

A porosidade e a elasticidade são duas propriedades que também têm uma contribuição considerável no controlo do ruído pneu-pavimento. Assim, uma camada de baixo ruído deve contemplar os seguintes requisitos [11].

- (i) A superfície deve ter uma estrutura homogénea, ser compactada com cilindro e estar isenta de irregularidades na gama da megatextura, para evitar fenómenos de vibração nos pneus.
- (ii) A superfície não deve ser lisa, mas ter uma macrotextura adequada (aberta e negativa) conferida de preferência por agregados angulares com dimensão inferior a 8 mm. A dimensão ideal compreende-se entre os 3 e os 5 mm. Desta forma reduz-se o efeito de bombeamento de ar.
- (iii) A superfície deve também ter uma porosidade adequada para assegurar uma boa capacidade de absorção do som, sendo condição fundamental que os vazios sejam comunicantes, reduzindo também o bombeamento de ar e limitando o efeito de propagação do ruído.
- (iv) As superfícies com propriedades viscoelásticas amortecem as vibrações dos pneus e desta forma absorvem o ruído mecanicamente.

5 NÍVEIS DE RUÍDO PNEU-PAVIMENTO NAS ESTRADAS PORTUGUESAS

Na Figura 3 reúne-se os resultados das medições do ruído pneu-pavimento num conjunto de superfícies muito alargado utilizadas em Portugal. Essas medições foram efetuadas pelo método de passagem controlada (CPB) [12] a diversas velocidades para aumentar o grau de confiança na comparação de resultados, apenas com veículos ligeiros. Mais pormenores sobre as condições de ensaio podem ser encontrados em [3-4]. A idade das superfícies é inferior a 5 anos. Por ser uma solução muito utilizada nos centros urbanos, incluiu-se neste conjunto os cubos de granito, que por se destacar das misturas betuminosas será tratado separadamente.

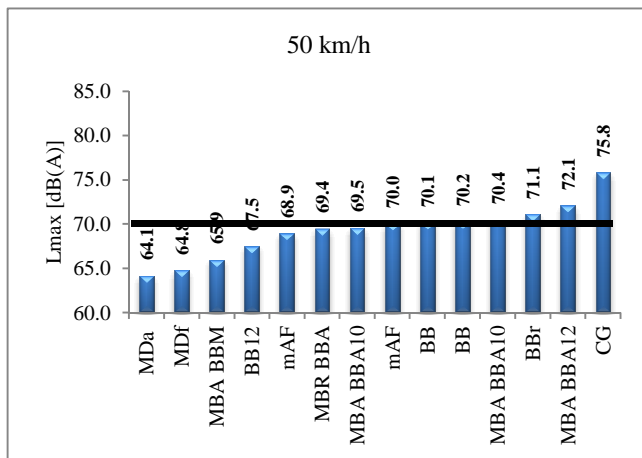
Esta figura mostra claramente que existem dois grupos de superfícies com comportamento distinto. Um que proporciona níveis de ruído mais baixo e cujas características se enquadram nas apresentadas para os PBR, constituído pelas misturas delgadas e pela mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha (média percentagem de borracha) e o outro que inclui as restantes superfícies observadas.

Embora os resultados tenham sido obtidos por um método diferente – método estatístico da passagem (SPB) – e de forma a completar o conjunto de superfícies existentes em Portugal, é aceitável integrar-se no grupo de superfícies com níveis mais baixos as misturas betuminosas rugosas com incorporação de borracha por via seca. De igual forma, o microbetão betuminoso rugoso e o betão betuminoso drenante podem integrar-se no outro grupo [4].

Para os 3 níveis de velocidade considerados, os 3 dB(A) de diferença entre os níveis de ruído médios dos dois grupos são excedidos largamente, o que indica que o ouvido humano é perfeitamente capaz de os distinguir. Portanto, pode-se considerar desde já que o grupo com níveis de ruído mais baixos, para as condições portuguesas, constitui os PBR. Neste ponto é importante enfatizar que estes PBR são experimentais.

No que diz respeito ao grupo de superfícies tradicionais, observa-se que o betão betuminoso ocupa uma posição intermédia e dada a sua frequência de utilização elevada pode ser considerado de referência. Além disso, facilitaria a utilização dos métodos de previsão do ruído.

Por outro lado, dada a semelhança dos valores observados entre superfícies para os 3 níveis de velocidade e, enfatiza-se, na fase inicial da vida em serviço, adotar um nível de ruído de referência também pode ser uma opção. No Quadro 2 indica-se os níveis de ruído médios calculados para as superfícies tradicionais e o respetivo desvio padrão da amostra, assim como os valores mínimos. Na prática o valor médio corresponde ao betão betuminoso, o que não traz qualquer vantagem. No entanto, o valor de referência a adotar pode ser teórico e aproximar-se do valor mínimo, como incentivo à melhoria do desempenho acústico das camadas de superfície em geral. No Quadro 3 apresenta-se essa proposta.



Legenda:

- BB Betão betuminoso
- BB12 Betão betuminoso (Dmax 12 mm)
- BBr Betão betuminoso rugoso
- CG Cubos de granito
- mAF Microaglomerado a frio duplo
- MBA BBA10 Mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha - alta percentagem de borracha (Dmax 10 mm)
- MBA BBA12 Mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha - alta percentagem de borracha (Dmax12 mm)
- MBA BBM Mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha - média percentagem de borracha
- MBR BBA Mistura betuminosa rugosa com betume modificado com borracha - alta percentagem de borracha
- MDa Mistura delgada aberta
- MDf Mistura delgada fechada

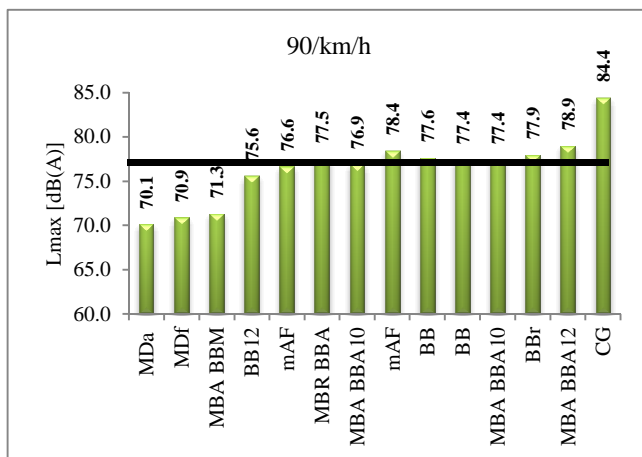
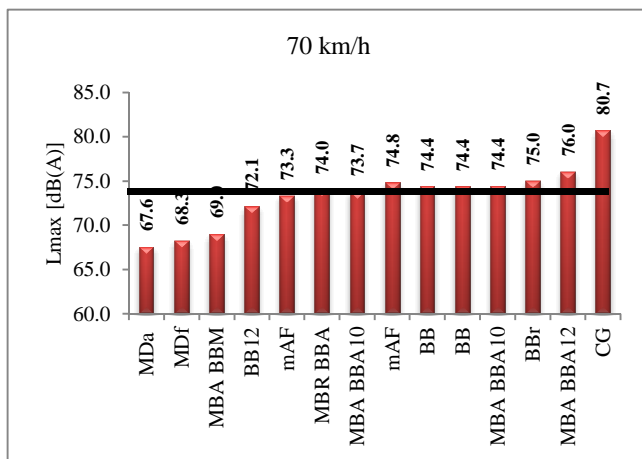


Fig. 3: Nível de ruído para as superfícies de pavimentos usadas em Portugal

Quadro 2: Mínimo, média e desvio padrão da amostra das superfícies tradicionais em função da velocidade

| Velocidade [km/h] | 50 | 70 | 90 |
|-----------------------|------|------|------|
| Mínimo [dB(A)] | 67.5 | 72.1 | 75.6 |
| Média [dB(A)] | 69.9 | 74.2 | 77.4 |
| Desvio padrão [dB(A)] | 1.2 | 1.0 | 0.9 |

Quadro 3: Proposta de nível de ruído de referência em função da velocidade

| | | | |
|-----------------------------|------|------|------|
| Velocidade [km/h] | 50 | 70 | 90 |
| Nível de referência [dB(A)] | 68.0 | 72.0 | 75.0 |

Para esta alternativa e atendendo aos pressupostos enunciados anteriormente e para as condições portuguesas, qualquer superfície para ser considerada de baixo ruído deverá proporcionar uma redução dos níveis de ruído, em função da velocidade de circulação, de pelo menos 3 dB(A) em relação aos valores estabelecidos no Quadro 3.

6 DISCUSSÃO

Neste trabalho foram apresentadas duas soluções possíveis para a classificação das superfícies de pavimentos rodoviários. A primeira consiste na adoção de uma superfície de referência – o betão betuminoso (0-14) e a segunda a adoção de limites de ruído teóricos. Ambas, nesta fase do estado dos conhecimentos, têm o problema de serem válidas para superfícies na fase inicial da vida em serviço.

A evolução do ruído resultante do contacto pneu-pavimento para os diversos tipos de pavimentos ao longo do tempo ou em função do tráfego ainda não foi suficientemente observada para se poder estabelecer relações com um elevado grau de confiança. Porém, sabe-se que o ruído pneu-pavimento sofre um aumento considerável nos primeiros anos de vida em serviço dos pavimentos [8]. No projeto *Harmonoise* admite-se que entre o segundo e o sétimo ano de vida em serviço do pavimento, asseguradas as condições de conservação, não há uma evolução significativa do ruído [6]. No entanto, o aparecimento de degradações acarreta alterações da macro e megatextura e conseqüentemente um aumento do ruído. Portanto, é importante estudar a evolução do ruído com o tempo, o que só poderá ser feito com rigor através da observação periódica do ruído pneu-pavimento das diversas superfícies. Salienta-se ainda que a geometria da estrada, a temperatura, a água e o tipo de veículo alteram os níveis de ruído, sendo que estes não se refletem nos valores de referência.

A consideração de valores teóricos, não só na fase inicial da vida das superfícies como posteriormente, tem como vantagem incentivar o desenvolvimento tecnológico e melhorar soluções existentes no que respeita à durabilidade acústica.

Considerando os valores teóricos apresentados, está-se a adotar valores de referência similares aos da “*golden reference*” e, por isso, mais próximos da média europeia e mais exigentes. Desta forma, soluções não tradicionais podem ser classificadas com maior rigor.

Na definição de limites há ainda duas questões a considerar. A primeira refere-se à definição dos limites máximos. Os limites máximos devem existir porque têm um impacto na qualidade de vida das pessoas muito importante. No entanto, existem diferenças entre o ruído medido pelos equipamentos comuns (os sonómetros) e o ruído percebido pelas pessoas. O ruído percebido integra uma componente subjetiva relacionada com fenómenos psicológicos e sociológicos. Neste contexto, já foi realizado para as condições portuguesas um estudo [13] que mostra que superfícies com características diferentes podem conduzir a níveis de incomodidade semelhantes. Esta componente subjetiva também deveria ser incorporada na classificação das superfícies.

A segunda questão refere-se aos limites mínimos de ruído de contacto pneu-pavimento. Devido à redução generalizada do ruído dos veículos e em particular da sua componente de contacto pneu-pavimento, a segurança dos utentes vulneráveis das estradas, os peões, em ambiente urbano, pode ficar comprometida, sendo que não está ainda comprovado o aumento da sinistralidade por este motivo [14]. Todavia, para o mesmo nível de ruído ambiente, os veículos que produzem menos ruído, seja com origem no motor seja do contacto pneu-pavimento, são menos detetados por crianças e jovens e particularmente por idosos [15]. Assim, para evitar problemas de segurança, a limitação dos níveis de ruído a velocidades reduzidas deve ser ponderada.

7 CONCLUSÕES

As superfícies de pavimentos de baixo ruído são atualmente uma medida de redução do ruído popular por ser uma medida relativamente barata determina a emissão do ruído rodoviário. No entanto, a classificação de uma superfície de baixo ruído pode ser ambígua, isto é, em alguns países pode ser classificada como tal, enquanto que

noutros países não. A nível europeu a adoção de superfícies de referência é o sistema de classificação mais utilizado, apesar de não ser o mais adequado.

Na falta de um sistema de classificação a nível internacional, nomeadamente europeu, a adoção de uma referência para Portugal é premente. Por conseguinte, neste trabalho foi discutido este problema e foram apresentadas duas propostas a partir de dados disponíveis a nível nacional. A primeira proposta, mais conservadora, indica a adoção do betão betuminoso 0/14 como referência. A segunda proposta consistiu na definição de limites teóricos de ruído, em função da velocidade, que se aproximam dos valores médios europeus. Com estas propostas, espera-se que estejam lançadas as bases para a discussão da classificação de pavimentos, ou de superfícies de pavimentos rodoviários.

AGRADECIMENTOS

Este artigo contém informação proveniente dos projetos FCOMP-01-0124-FEDER-007560 e PEst-OE/ECI/UI4047/2011, financiados no âmbito do Programa Operacional Temático Fatores de Competitividade (COMPETE) e participados pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER.

REFERÊNCIAS

1. Sandberg U., Ejsmont J., *Tyre / Road Noise Reference Book*. Informex SE – 59040, Kisa, Sweden, 2002. (www.informex.info)
2. McDade A., Cardoso C., Freitas E., Inácio O., Impacto das camadas superficiais dos pavimentos nos mapas de ruído – casos de estudo, *Acústica 2012: VIII Congresso Ibero-americano de Acústica, VII Congresso Ibérico de Acústica e XLIII Congresso Espanhol de Acústica TECNIACUSTICA2012*, 1 a 3 de outubro, Évora, Portugal. <http://hdl.handle.net/1822/21542>
3. Freitas E., Machado P. e Raimundo I., Caracterização do ruído pneu-pavimento nas estradas portuguesas, *Gestão da velocidade e do ruído rodoviário*, Universidade do Minho, 29 e 30 de maio, Guimarães, 2012 (disponível em <http://www.civil.uminho.pt/GVR/>).
4. Antunes M., Coutinho A., Freitas E. e Paulo J., *Camadas de desgaste para a redução do ruído de tráfego – avaliação de pavimentos em serviço*, relatório 376/2011 – NIRA, pp-30, 2011.
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. 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>.
7. Padmos D., Morgan P., Abbott P., Blokland G., Roovers M., Bartolomaeus W., Anfosso-Ledée F., *Classification Scheme and COP Method*, SILVIA Project Deliverable – SILVIA-DWW-025-14-WP2-141005, 2005.
8. Freitas E., The effect of time on the contribution of asphalt rubber mixtures to noise abatement, *Noise and Control Engineering Journal*, 60 (1), Jan-Feb 2012. <http://dx.doi.org/10.3397/1.3676311>.
9. IMAGINE, *Guidelines for the use of traffic models for noise mapping and noise action planning*, Deliverable 7 of the IMAGINE project, 2006. http://www.tmleuven.be/project/imagine/WP2_rapport.pdf
10. Kephelopoulous S., Paviotti M., Anfosso-Lédée F., *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*, Publications Office of the European Union, 2012. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/26390>
11. Goubert L., *Tire-road noise: a state of affairs, Management of speed and traffic noise*, Gestão da velocidade e do ruído rodoviário, Universidade do Minho, 29 e 30 de maio, Guimarães, 2012. <http://www.civil.uminho.pt/GVR/>.

12. ISO 11819-1, Acoustics – *Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 1: Statistical Pass-By Method*. International Organisation for Standardisation (ISO). Geneva, Switzerland, 1997.
13. Freitas E., Mendonça C., Santos J.A., Murteira C., Ferreira JP., Traffic noise abatement: how different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels, *Transportation research (Part D): Transport and environment*, n.17, pp 321–326, 2012 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2012.02.001>).
14. Sandberg U., Adding noise to quiet electric and hybrid vehicles: An electric issue. *Noise/News*, international journal, Volume 20, Number 2, pp 51-67, 2012.
15. Mendonça C., Freitas E., Ferreira J., Raimundo I.; Santos A Jorge, Noise abatement and traffic safety: The trade-off of quieter engines and pavements on vehicle detection, *Accident analysis and prevention*, 2012 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2012.10.018>).