

**IAG437-07-2013**  
**PLANOS DE AÇÃO DE REDUÇÃO DO RUÍDO: CONSIDERAÇÃO DO**  
**CUSTO BENEFÍCIO DE SUPERFÍCIES DE BAIXO RUÍDO E DO**  
**IMPACTO DE MEDIDAS DE GESTÃO DA VELOCIDADE**  
**PLANES DE ACCIÓN DE REDUCCIÓN DEL RUIDO: CONSIDERACIÓN**  
**DEL COSTE BENEFICIO DE SUPERFICIES DE BAJO RUIDO Y DEL**  
**IMPACTO DE MEDIDAS DE GESTIÓN DE LA VELOCIDAD**

Elisabete Freitas  
Universidade do Minho  
Guimarães, Portugal  
efreitas@civil.uminho.pt

Pedro Machado  
Universidade do Minho  
Guimarães, Portugal  
b5060@civil.uminho.pt

Jorge Santos  
Universidade do Minho  
Guimarães, Portugal  
jorge.a.santos@psi.uminho.pt

Paulo Pereira  
Universidade do Minho  
Guimarães, Portugal  
ppereira@civil.uminho.pt

## **Resumen**

La elaboración de los Planos de Acción para la gestión del ruido, de acuerdo con la Directiva Europea N ° 2002/49/CE es una tarea con la que los municipios densamente poblados tienen que tratar y coordinar con otros planos o proyectos existentes o en elaboración. En este contexto, la Agencia Portuguesa de Medio Ambiente identifica el uso de pavimentos de bajo ruido como la mejor medida de costo-beneficio para la reducción del ruido. A pesar del enorme esfuerzo para desarrollar superficies de bajo ruido en Europa, este tema, muchas veces ha sido abordado de una forma incorrecta y pequeña, así como los aspectos relacionados con la incomodidad generada por el ruido causado por los vehículos que circulan en la vía pública y de algunas medidas de control de la velocidad. Así, este trabajo tiene como principal objetivo contribuir para el desarrollo de los planes de acción para reducir el ruido de dos maneras. En primer lugar, por análisis del coste / beneficio de las diversas superficies de pavimento, tales como, las superficies delgadas de asfalto con o sin betún modificado y con granulado de caucho, y otros materiales innovadores. A continuación, se discutirá los aspectos relativos a la incomodidad proporcionada por algunas de estas superficies y el impacto de las medidas de control de la velocidad, tales como, la

implementación de reductores de velocidad y bandas sonoras o resaltos. Por eso, la escoja de la mejor solución para la reducción del ruido no debe tener en cuenta solamente la análisis costo-beneficio, que se apoya en indicadores objetivos de ruido, sino que, también debe integrar la percepción de la población, sobre la base de los indicadores subjetivos del ruido, y los efectos de elementos de caminos que pueden perturbar los individuos en lugares específicos.

## **Resumo**

A elaboração de Planos de Ação para gestão do ruído, de acordo com a diretiva Europeia nº 2002/49/CE é uma tarefa com a qual os municípios de elevada densidade populacional têm que lidar e coordenar com outros planos. Neste contexto a Agência Portuguesa para o Ambiente identifica o uso de pavimentos de baixo ruído como a melhor medida custo/benefício para redução do ruído. Não obstante o imenso esforço para desenvolver superfícies rodoviárias de baixo ruído na Europa, este assunto é ainda muitas vezes tratado de forma incorreta e breve, assim como os aspetos relacionados com a incomodidade provocada pelo ruído rodoviário e de algumas medidas de gestão de velocidade. Assim, este trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento de Planos de Ação para reduzir o ruído de duas formas. Em primeiro lugar, através da análise custo/benefício de várias superfícies de pavimentos, tais como superfícies delgadas com ou sem betume modificado com borracha, e outros materiais inovadores. Seguidamente, serão discutidos os aspetos relativos incomodidade causada por algumas destas superfícies e o impacto das medidas de gestão da velocidade, tais como a implementação de lombas redutoras de velocidade e bandas sonoras. A seleção da melhor solução para redução do ruído não deve ser somente baseada na análise custo/benefício, que se apoia em indicadores de ruído objetivos, mas deve também integrar a percepção da população, com base em indicadores de ruído subjetivos, e nos efeitos dos elementos das estradas que podem perturbar os indivíduos em locais específicos.

## **INTRODUÇÃO**

A poluição sonora é um problema comum dos centros urbanos. A gestão da poluição sonora tornou-se nos últimos anos um dos novos desafios da política ambiental, como se comprova pelo elevado número de projetos europeus dedicados a este assunto. Na verdade, diminuir o ruído resultará não só em benefícios sociais e de saúde, mas também em benefícios económicos importantes, especialmente quando a redução é na fonte (Kloth et al., 2012).

Seguindo a política ambiental europeia, a Agência Europeia do Ambiente Português desenvolveu um manual para a elaboração de planos locais de redução de ruído (PLRR) onde o uso de pavimentos de baixo ruído é indicado como a melhor medida de custo / benefício para reduzir o ruído (Carvalho e Rocha, 2008). No entanto, há outros aspetos que devem ser considerados na seleção de medidas de redução de ruído, como a incomodidade e a deteção de veículos, em particular por peões.

Os PLRR são baseados na análise de mapas de ruído, que utilizam níveis médios de pressão sonora, determinados por exemplo pelos indicadores  $L_{den}$  ou  $L_n$ . Estes indicadores podem esconder eventos ruidosos que perturbam a população. Por exemplo, as lombas são construídas para reduzir a velocidade, mas originam picos de ruído que podem ser muito incómodos (Kloth et

al., 2012). Quando os mapas de ruído são baseados em cálculos, há outros aspetos que podem interferir com a perceção do ruído, relacionados com a sua origem, como é o caso o ruído do tráfego rodoviário e do tráfego ferroviário, e o ruído da vizinhança (Kloth et al., 2012). No caso do ruído rodoviário, os diferentes tipos de superfícies de estrada interferem com o nível de incomodidade da população (Freitas et al., 2012). Portanto, o equilíbrio entre medidas de redução do ruído, medidas de acalmia de tráfego, tendo em conta ao seu impacto direto na incomodidade gerada nas populações, é um passo em frente no que diz respeito à gestão integrada das estradas. Consequentemente, este trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento de planos de ação de redução do ruído de duas formas. Em primeiro lugar, por meio da análise custo/benefício de diversas superfícies de pavimentos que geram diferentes níveis de ruído, tais como superfícies delgadas, com e sem incorporação de borracha reciclada de pneus e outros materiais inovadores. Em seguida, discutir o incômodo de algumas dessas superfícies e do impacto das medidas de gestão de velocidade, tais como a implementação de lombas redutoras de velocidade e bandas sonoras.

## **LINHAS DE ORIENTAÇÃO PARA PLANOS LOCAIS DE REDUÇÃO DO RUÍDO EM PORTUGAL**

### **Enquadramento legal**

Em meados da primeira década do novo milênio, devido à transposição para o direito interno da Diretiva Europeia relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente (Diretiva 2002/49), toda a legislação nacional portuguesa sobre o ruído passou por um processo de adaptação ao novo quadro legal introduzido por esta política. Esta diretiva propõe novos indicadores de ruído ambiente, respetivamente o  $L_{den}$  e o  $L_n$  (nível sonoro médio de longa duração, diurno-entardecer-noturno; e nível de sonoro determinado por uma série de períodos noturnos que representam um ano).

Esta transposição para o direito interno português ocorreu em 2006, dando origem ao Decreto-Lei n. 146/2006 de 31 de Julho, que tem como princípio estratégico quantificar e reduzir o número de cidadãos expostos a altos níveis de ruído nos países europeus. Consequentemente, a fim de integrar na legislação nacional, os indicadores ambientais  $L_{den}$  e  $L_n$  constantes dessa diretiva, o regulamento do ruído ambiente nacional teve que ser atualizado, dando origem ao Decreto-Lei n. 9/2007 de 17 de janeiro. Como consequência, o regulamento de acústica de edifícios que regula a interface entre o local de implantação dos edifícios e o interior dos mesmos, onde se requer tranquilidade e sossego também teve de ser adaptado. Isso ocorreu com a publicação do novo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei n. No. 96/2008, de 9 de junho), ficando assegurada a consistência entre dois normativos.

A legislação acústica portuguesa tem como princípio base o licenciamento/planeamento em função do uso do solo, seja para a construção de edifícios ou implantação de acessibilidade e atividades de vários tipos. Estes critérios são baseados na definição de zonas de uso sensível e misto para as quais são parametrizados valores específicos de ruído ambiente. A definição (ou classificação) dessas áreas é de responsabilidade dos municípios, que devem integrá-los nos seus instrumentos de gestão da política territorial. Neste sentido, cada município deverá ter mapas de ruído de áreas existentes ou planeadas. Os planos de redução do ruído locais devem, então, ser

elaborados depois de se cruzar a definição administrativa de uso do solo com limites de ruído máximos previstos na lei, identificados nos mapas de ruído ambiental.

### Planos locais de redução do ruído e planos de ação

Os municípios são responsáveis pelo desenvolvimento de planos locais de redução de ruído e estão sujeitos aos regulamentos de ruído portugueses e à diretiva relativa ao ruído ambiente, como explicado antes. O principal objetivo dos PLRR é estabelecer e implementar uma estratégia para a redução do ruído ambiente, integrando diversos setores municipais (meio ambiente, planeamento, obras, trânsito, etc), a cooperação externa (consultores, administrações das infraestrutura, investidores, etc), relações públicas e o envolvimento da população (Carvalho e Rocha, 2008). Estes plano estão organizadas como se mostra na Figura 1.



**Figura 1: Organização dos planos locais de redução de ruído portugueses**

O desenvolvimento de Planos de Ação (PA) é necessário para que os municípios com uma população residente superior a 100 000 habitantes e uma densidade populacional superior a 2 500 habitantes por quilómetro quadrado. Os planos de ação são integrados numa estratégia global de longo prazo de redução de ruído e deve integrar medidas preventivas para preservar o ambiente acústico e a participação da população.

### CAMADAS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS PARA REDUÇÃO DO RUÍDO

Os PA consideram três formas de diminuir o ruído: agindo nas fontes de ruído (infraestrutura, veículos e gestão), agindo na propagação (barreiras acústicas, a posição e uso da terra de construção) e, finalmente, agindo sobre o recetor (isolamento de fachada).

A ação sobre as fontes de ruído, principalmente na superfície dos pavimentos rodoviários, é considerada a medida cujo custo-benefício é mais interessante. É um fato que os diferentes tipos de superfícies podem reduzir o ruído pneu-pavimento até cerca de 10 dB (A) (Sandberg e Ejsmont, 2002). Os fatores mais relevantes para a emissão de ruído pneu-pavimento são a textura da superfície, o padrão de textura (em camadas de betão de cimento) e a porosidade da superfície. Atualmente as superfícies de pavimentos consideradas de baixo ruído são superfícies delgadas e em betão betuminoso drenante, com uma ou duas camadas. As superfícies delgadas são camadas betuminosas com uma espessura máxima de 3 cm e um tamanho reduzido de agregado (4-8 mm de dimensão máxima). Está em desenvolvimento uma nova geração de superfícies de baixo ruído - as camadas poroelásticas - embora tenham o melhor desempenho acústico, são muito dispendiosas. No entanto, o desempenho acústico de uma camada de superfície pode mudar ao longo do tempo, com um incremento de ruído que depende do seu tipo (Kragh, 2011; Freitas, 2012) ou pode ficar comprometido com a presença de elementos externos, tais como lombas, bandas cromáticas e tampas de esgotos, porque são elementos aumentam significativamente o ruído. Além disso, superfícies com o mesmo nível de ruído podem causar níveis de incomodidade diferentes nas populações (Kloth et al, 2012).

A seguir são discutidos estes dois aspetos – a incomodidade e o efeito de algumas medidas de acalmia de tráfego no ruído – tendo como referência três superfícies de pavimento usadas em Portugal (Figura 2):

- Cubos de granito (*Cobble stones*), amplamente utilizados nos centros urbanos;
- Misturas betuminosas densas (*dense asphalt*), a superfície de pavimento mais usada em vias urbanas ou rurais;
- Mistura betuminosa com betume modificado com borracha (*open asphalt rubber*), amplamente utilizado para diminuir o ruído.



**Figura 2: Aspeto da superfície: (a) cubos de granito, (b) mistura betuminosa densa, (c) mistura betuminosa com betume modificado com borracha**

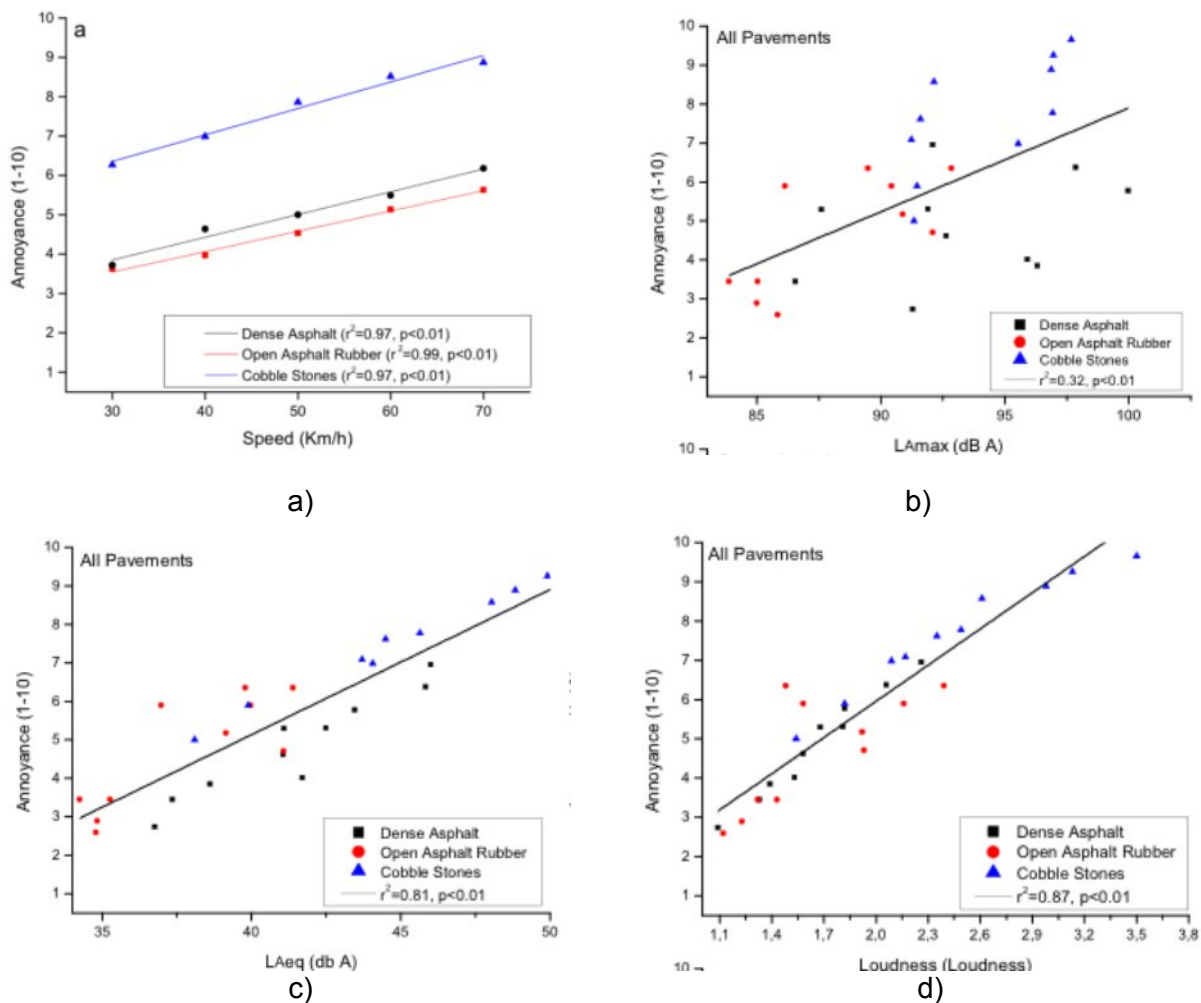
## Incomodidade

Uma abordagem comum para estudar o impacto do ruído e, em particular, do ruído do tráfego rodoviário na saúde é através de avaliação da incomodidade, através de inquéritos e questionários dirigidos a grandes populações, ou por meio de ensaios laboratoriais com amostras selecionadas (Guski et al, 1999; Ouis, 2001). A Figura 3 a) apresenta os resultados de incomodidade (*annoyance*) em função da velocidade dos veículos e por tipo de pavimento no ensaio descrito em (Freitas et al., 2012), que incluiu as superfícies anteriormente descritas. Esta figura mostra claramente que a incomodidade é consideravelmente influenciada pela velocidade e pelo tipo de

superfície. No entanto, superfícies bastante diferentes, tais como a mistura densa e a mistura com betume modificado com borracha tiveram resultados estatisticamente semelhantes.

Numa primeira abordagem estes resultados põem em causa o investimento substancial que tem sido feito em novas misturas que incorporam borracha sob o argumento de que reduzem o ruído do tráfego. O mesmo pode ocorrer para outras superfícies de pavimento não abordados no estudo.

Ao mesmo tempo, cria-se um problema no que diz respeito aos indicadores de ruído. O nível de ruído máximo, com ponderação A (L<sub>Amax</sub>) é o parâmetro indicado nas normas internacionais de avaliação de ruído pneu-pavimento (por exemplo, EN ISO 11819-1), os mapas de ruído são definidos com base em níveis de ruído equivalente tais como o L<sub>den</sub> e o L<sub>n</sub> e a incomodidade é melhor avaliada através de indicadores psicoacústicos, como o *Loudness*, conforme mostrado na Figura 3 b), c) e d).

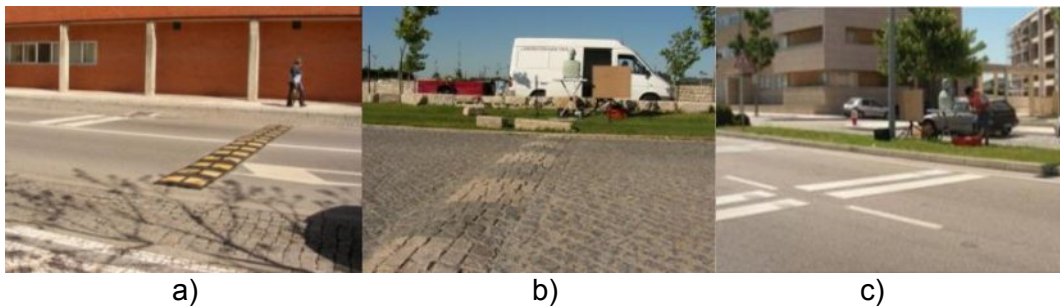


**Figura 3: Incomodidade versus: a) velocidade; b) L<sub>Amax</sub>; c) L<sub>Aeq</sub>; d) Loudness para os diversos tipos de superfície (adaptado de Freitas et al., 2012)**

## Impacto de medidas de acalmia de tráfego no ruído

O objetivo das medidas de acalmia do tráfego é reduzir a velocidade e desta forma aumentar a segurança. Com a implementação deste tipo de medidas, a velocidade diminui e assim o ruído ambiente. No entanto, algumas delas, tais como lombas e bandas sonoras, podem criar picos de ruído que são notavelmente maiores do que o ruído gerado pela superfície do pavimento.

A Figura 4 a) mostra um exemplo de lombas de borracha vulgarmente utilizadas (lomba 1), a Figura 4 b) mostra um outro exemplo de lombas realizadas por cubos de granito (lomba 2) e a Figura 4 c) mostra um detalhe das bandas sonoras, que são normalmente aplicadas perto de travessias de peões e de rotundas.



**Figura 4: Exemplo de medidas de acalmia de tráfego analisados: a) lomba 1, b) lomba 2; c) banda sonora**

A fim de avaliar o aumento do ruído devido à implementação dessas medidas, o nível de ruído resultante do contato entre os pneus e as lombas e as bandas sonoras foi medido pelo método CPB (ISO 11918-1, 1997). Neste método, o nível de ruído máximo (com ponderação A) é medido quando um certo veículo passa junto ao microfone instalado a 7.5 m do centro da via.

Para entender melhor o impacto causado por essas medidas, a diferença do nível de ruído medido a 30 e a 50 km/h, foi comparado com o medido, pelo mesmo método, nas superfícies de pavimento abordados neste estudo. A Tabela 1 apresenta os resultados.

**Tabela 1: Aumento do nível máximo de ruído (dB (A)), devido às lombas e às bandas sonoras**

Superfície de referência	Tipo de elemento	30 km/h	50 km/h
Mistura betuminosa densa	Lomba 1	19	15
	Lomba 2	20	15
	Bandas sonoras	11	18
Mistura betuminosa com betume modificado com borracha	Lomba 1	17	13
	Lomba 2	18	13
	Bandas sonoras	9	16
Cubos de granito	Lomba 1	14	9
	Lomba 2	15	9

Verificou-se que o aumento do nível de ruído é sempre superior a 9 dB (A). É importante notar que os ensaios realizados foram controlados e por isso é possível que os níveis de ruído sejam muito mais elevados quando os veículos estão em mau estado.

Mesmo assim, não há estudos experimentais com o objetivo de avaliar o incómodo causado por este tipo de elementos. No entanto, devido à natureza tonal deste tipo de ruído e aos níveis extremamente altos resultantes da passagem das rodas sobre cada elemento, espera-se que o nível de incomodidade na vizinhança seja também muito elevado. De facto, isto é confirmado na prática por queixas da população, quando este tipo de medidas é aplicado em áreas urbanizadas.

### Análise custo/benefício

Um assunto frequentemente ignorado é facto das superfícies de pavimento terem um tempo de vida acústica, da mesma forma que eles têm um tempo de vida funcional e estrutural.

A duração acústica de superfícies de pavimentos foi abordada por Kragh (2011) e por Sandberg et al. (2011). As taxas de crescimento de ruído para várias superfícies de pavimento apresentadas por estes autores foram usadas para configurar limites superiores e inferiores de ruído para três tipos de superfícies (Figura 5), sendo dois referentes a superfícies tratadas neste estudo: mistura densa (BD16) e mistura betuminosa com betume modificado com borracha, que pertence ao grupo de camadas delgadas (CD). Uma terceira superfície foi considerada para comparação porque é semelhante à tomada como referência, em muitos países europeus, com dimensão máxima do agregado de cerca de 12 mm (BD12). As camadas porosas não foram consideradas porque o seu comportamento acústico a baixas velocidades, por exemplo, a 50 km/h é semelhante ao das misturas em betão betuminoso.

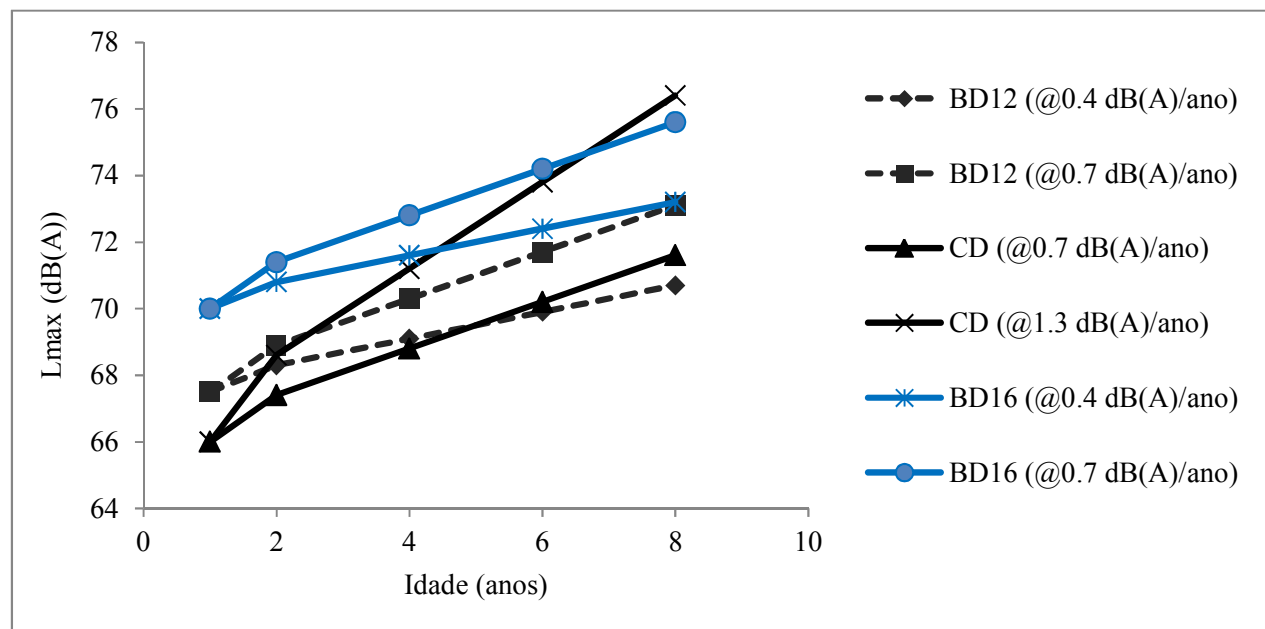


Figura 5: Aumento estimado de ruído



Dependendo da superfície de referência, a vida acústica de uma superfície de baixo ruído pode ser muito curta (cerca de 2 anos), o mais provavelmente vai durar cerca de 4 anos, esta é suportada pelos resultados apresentados em (Freitas, 2012), e pode chegar a 8 anos como referido em (Kragh, 2011).

Em Portugal, o custo da construção de uma camada delgada é aproximadamente 60% superior ao custo de uma camada convencional (betão betuminoso). O custo extremamente elevado é um obstáculo à construção superfícies de baixo ruído.

## **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**

A nível europeu foram realizados ao longo dos últimos anos diversos estudos sobre o ruído rodoviário, como por exemplo os projetos SILVIA; SILENCE, QUIET CITY, HARMONOISE, CNOSSOS, PERSUADE, etc O desenvolvimento de planos locais de redução do ruído é muito exigente, porque requer o conhecimento produzido nesses e em outros projetos. Além disso, a maneira a população percebe o ruído não se correlaciona bem com as medidas objetivas de ruído, adicionando mais complexidade ao processo.

A construção de superfícies de pavimentos de baixo ruído é uma medida de baixo custo e por isso muitas vezes é considerada nos planos de ação. Este documento abordou brevemente a contribuição das superfícies de baixo ruído na incomodidade e o efeito das medidas de acalmia de tráfego nos níveis de ruído. Além disso foi discutida a durabilidade acústica de superfícies de pavimentos clássicas e de baixo ruído. A seguir são resumidas as principais conclusões deste trabalho.

O ruído é medido por diferentes métodos e as decisões são tomadas com base em indicadores de ruído. Esses indicadores de ruído, como  $L_{max}$  e  $L_{den}$  não refletem a percepção das populações que é fundamental para a definição de áreas de intervenção. Pode ser necessária uma abordagem do ruído harmonizada que integre outro tipo de indicadores. A necessidade de harmonização também foi destacada por King et al. (2011) após a aplicação da diretiva relativa ao ruído da UE na Irlanda.

A incomodidade foi tratada no processo de planeamento de ações de forma global (Licitra et al., 2011), mas é necessária uma abordagem mais profunda. Este trabalho mostrou que as superfícies de pavimento que deveriam ter níveis de ruído relativamente diferentes, devido às suas características de superfície podem ter níveis de incomodidade semelhantes. Portanto, devem ser feitos mais estudos experimentais a fim de apoiar as nossas escolhas.

As medidas de acalmia de tráfego, como lombas e bandas sonoras aumentam muito o ruído, eliminando o efeito da superfície do pavimento na sua vizinhança. Os ruídos de pico resultantes do contacto com estes elementos são muito incómodos e não ficam expressos nos mapas de ruído.

A durabilidade acústica de superfícies de baixo ruído pode ser extremamente baixa e seu preço de construção pode ser extremamente elevado. Podem ocorrer mudanças significativas nos níveis de ruído durante o período de cinco anos entre as avaliações de ruído que dão origem aos mapas de

ruído, conforme exigido na diretiva relativa ao ruído. Isso pode não justificar o alto investimento que por vezes é feito. Por conseguinte, a durabilidade acústica das superfícies de pavimentos deve ser considerada no processo de mapeamento do ruído.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a tecnologia e pelo FEDER no âmbito dos projetos FCOMP-01-0124-FEDER-007560 e PEst-OE/ECI/UI4047/2011.

## **REFERÊNCIAS**

- Carvalho A., Rocha C. (2008). Manual técnico para a elaboração de planos municipais de redução do ruído. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Freitas E., Mendonça C., Santos J., Murteira C., Ferreira J. (2012). Traffic noise abatement: how different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels, *Transportation research (Part D): Transport and environment*, 17, 321–326. doi:10.1016/j.trd.2012.02.001.
- Freitas E. (2012). The effect of time on the contribution of asphalt rubber mixtures to noise abatement. *Noise and Control Engineering Journal*, 60 (1), Jan-Feb. DOI: 10.3397/1.3676311.
- Guski R., Felscher-Suhr U., Schuemer R. (1999). The concept of noise annoyance: how international experts see it. *Journal of Sound and Vibration*, 223(4), 513-527.
- ISO 11819-1: 1997. Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: statistical pass-by method.
- King E., Murphy E., Rice H. (2011). Implementation of the EU environmental noise directive: Lessons from the first phase of strategic noise mapping and action planning in Ireland. *Journal of Environmental Management* 92, 756-764.
- Kloth M., Vancluysen K., Clement F. (2012). Practitioner Handbook for Local Noise Action Plans, available in <http://www.silence-ip.org/site/>. (Accessed may 2012)
- Kragh J. (2011). Traffic Noise Prediction with Nord2000 - An Update. Paper Number 110, *Proceedings of ACOUSTICS 2011*, Australia.
- Licitra G., Gallo P., Rossi E., Brambilla G. (2011). A novel method to determine multiexposure priority indices tested for Pisa action plan. *Applied Acoustics* 72, 505–510.
- Ouis D. (2001). Annoyance from road traffic noise: a review. *Journal of Environmental Psychology*, 21, 101-120.
- Sandberg U., Ejsmont J. (2002). Tyre-road noise reference book. Informex SE-59040 Kisa: Sweden.
- Sandberg U., Kragh J., Goubert L., Bendtsen H., Bergiers A., Biligiri K., Karlsson R., Nielsen E., Olesen E., Vansteenkiste S. (2011). Optimization of thin asphalt layers, deliverable 1, final version, ERA-NET ROAD Project.