



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS
Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes
e Instalações

Proc. 809/541/353

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS IMPLEMENTADAS EM PORTUGAL

Ruído

Relatório final sectorial

Estudo realizado para Estradas de Portugal, S.A.

Lisboa • Julho de 2008

I&D EDIFÍCIOS

RELATÓRIO 297/2008 – NAICI



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO DE
IMPACTES AMBIENTAIS IMPLEMENTADAS EM PORTUGAL**

Ruído

Relatório Final Sectorial

Lisboa, Julho de 2008

Estudo realizado para a Estradas de Portugal, S.A.

Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal

Ruído

RESUMO

O presente relatório foi elaborado para a Estradas de Portugal, S.A. (adiante designada por EP, S.A.) no âmbito do estudo *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal*, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e pela Universidade de Évora. Corresponde ao Relatório Final da componente Ruído. Integra uma compilação de todo o trabalho desenvolvido ao longo do período de vigência do estudo, pelo que incluem as actividades efectuadas e apresentadas em relatórios anteriores, bem como as novas componentes realizadas nos últimos meses e que integram os capítulos 4, 5, 6 e 7.

Este relatório foi estruturado nos seguintes sete capítulos: Capítulo 1 — Introdução; Capítulo 2 — Levantamento e caracterização dos sistemas; Capítulo 3 — Avaliação da eficácia de várias medidas de minimização; Capítulo 4 — Análise dos resultados de programas de monitorização; Capítulo 5 — Breve análise custo-eficácia das medidas de minimização de ruído; Capítulo 6 — Proposta de directrizes para a orientação da prática para a implementação de sistemas de minimização de ruído; Capítulo 7 — Indicação de programas de monitorização.

ABSTRACT

This report is part of a set of documents to be delivered to Estradas de Portugal E.P. (SA), in the framework of the study *Evaluation of the Effectiveness of Measures for Impacts Mitigation implemented in Portugal* that LNEC and Universidade de Évora have been charged with by EP. It represents the conclusion of the Project.

This document contains the following seven chapters: Chapter 1 — Introduction; Chapter 2 — Revision and characterization of noise mitigation measures; Chapter 3 — Assessment of the effectiveness of several national noise mitigation measures; Chapter 4 — Analysis of the results of noise monitoring programmes; Chapter 5 — Short mitigation measures cost-effectiveness analysis; Chapter 6 — Proposal of guidelines for good practice in using noise mitigation systems; Chapter 7 — Noise monitoring programmes.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se às Eng.a Luísa Vales Almeida, Cidalisa Patrício e Eng.º José Mateus da EP, S.A todo o apoio dado à equipa do LNEC na selecção dos volumes dos projectos relevantes para consulta no âmbito deste Estudo.

Ao Eng.º Pedro Carmona agradece-se a disponibilidade e o apoio prestado, e à Eng.ª Elisabete Lopes agradece-se todos os comentários e sugestões transmitidas no âmbito das medidas de minimização a aplicar nas juntas de dilatação nas obras de arte de infra-estruturas rodoviárias.

Agradece-se igualmente a grande disponibilidade e gentileza das diferentes entidades, tanto no que respeita à disponibilização de informação, como no apoio ao trabalho de campo para avaliação "in situ" dos sistemas de minimização de ruído.

Agradece-se, analogamente, à Eng.ª Jessica Caliço e ao Eng.º Pedro Dias Pinto, da Euroscut, ao Eng.º Rui Pintado e ao Sr. Miguel, da Operscut, ao Eng.º Fernando Pinto da Euroscutnorte, e ao Eng. Luís Silva da Aenor. Sem estes apoios não teria sido possível desenvolver o trabalho aqui apresentado.

Para a elaboração das tabelas indicativas dos custos das medidas de minimização de ruído, agradece-se às firmas Complage, Consplu, Viapor e Vidro Fornense a informação disponibilizada sobre este assunto.

ÍNDICE DO TEXTO

Capítulo 1:	Introdução	1
Capítulo 2:	Levantamento e caracterização dos sistemas de minimização de ruído	2
2.1	Caracterização da informação	2
2.2	Caracterização das medidas de minimização	4
2.3	Apreciação geral dos projectos	12
2.4	Monitorização	13
2.4.1	Procedimentos para a realização de campanhas de Monitorização	13
2.4.2	Caracterização na base de dados dos sistemas de monitorização do ruído	15
2.4.3	Apreciação geral dos projectos	19
Capítulo 3:	Avaliação da eficácia de várias medidas de minimização	20
3.1	Sistematização das medidas de minimização utilizadas em diferentes países	20
3.1.1	Introdução	20
3.1.2	Pavimentos com características absorventes sonoras	21
3.1.3	Barreiras acústicas	32
3.1.4	Redução da velocidade de circulação dos veículos	38
3.1.5	Efeitos de combinação de diferentes medidas de minimização	39
3.2	Avaliação da eficácia de vários sistemas de minimização de ruído em Portugal	42
3.2.1	Enquadramento legislativo	43
3.2.2	Considerações gerais e metodologia adoptada	45
3.2.3	Síntese metodológica	47
Capítulo 4:	Análise dos resultados de programas de monitorização	53
4.1	Enquadramento	53
4.2	Monitorização das A10, A2 e A22	54

Capítulo 5:	Breve análise custo-eficácia das medidas de minimização de ruído	63
5.1	Introdução	63
5.2	Custos associados aos diversos tipos de medidas de minimização	64
5.3	Breve síntese sobre estudos de avaliação do benefício de redução dos níveis sonoros	66
Capítulo 6:	Proposta de directrizes para a orientação da prática para implementação de sistemas de minimização de ruído	70
6.1	Introdução	70
6.2	Pavimentos	71
6.3	Juntas de dilatação em viadutos	73
6.4	Barreiras acústicas	78
6.5	Isolamento sonoro de fachadas	86
Capítulo 7:	Indicação de programas de monitorização	90
7.1	Introdução	90
7.2	Caracterização do indicador de ruído “diurno-entardecer- nocturno”, L_{den} , e do indicador de ruído “nocturno” L_n	91
7.3	Avaliação da eficácia das medidas de minimização	100
7.3.1	Avaliação da eficácia de pavimentos “pouco ruidosos”	100
7.3.2	Avaliação da eficácia de barreiras acústicas”	103
ANEXO 1		115
ANEXO 2		123

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Formulário “Localização e características das medidas de minimização do ruído”	5
Fig. 2- Exemplo de preenchimento da tabela “Imagens de medidas de minimização de ruído” ..	5
Fig. 3 - Exemplo de preenchimento do formulário “Caracterização de barreira acústica artificial”	8
Fig. 4 - Exemplo de preenchimento do formulário “Caracterização de barreira acústica natural”	9
Fig. 5 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição da medida de minimização do receptor”	9
Fig. 6 - Exemplo de preenchimento do formulário “Localização e características das medidas de minimização do ruído, para pavimentos com características absorventes sonoras”	10
Fig. 7 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição do tipo de pavimento e características de absorção sonora”	10
Fig. 8 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição da medida de redução de velocidade/tráfego de pesados”	11
Fig. 9 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição do reforço do isolamento sonoro de fachada”	11
Fig. 10 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição do condicionamento acústico de túnel”	12
Fig. 11 - Exemplo de preenchimento do formulário “Localização e características dos receptores para a monitorização do ruído”	16
Fig. 12 - Exemplo de preenchimento do formulário “Previsão do ruído”	16
Fig. 13 - Formulário “Informação sobre a monitorização do ruído”	17
Fig. 14 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição da percepção do ruído pelas populações”	17
Fig. 15 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição de medidas resultantes da monitorização do ruído”	18
Fig. 16 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição das reclamações resultantes do ruído”	18
Fig. 17 - Exemplo de preenchimento do formulário “Dados de monitorização do ruído”	19
Fig. 18 - Resumos dos resultados obtidos por Donovan em diversos tipos de pavimento; as barras a cor azul, amarela e vermelha correspondem respectivamente a pavimentos existentes na Europa, na Califórnia e no Arizona [figura adaptada de Ripke <i>et al.</i> , 2005]..	27
Fig. 19 – Níveis sonoros para veículos ligeiros, em diferentes tipos de pavimento rodoviários e para velocidades de circulação de 110 km/h	31
Fig. 20 - Níveis sonoros para veículos pesados, em diferentes tipos de pavimento rodoviários, para velocidades de circulação de 85 km/h	32
Fig. 21 – Efeitos da interposição de uma barreira entre a fonte sonora e o receptor [figura adaptada de CERTU, 1980]	33
Fig. 22 – Resultados teóricos comparativos do desempenho de diferentes bordos difractores [Figura adaptada de Ishizuka e Fujiwara, 2004].	36

Fig. 23 – Resultados experimentais comparativos do desempenho de diferentes bordos difractores [Figura adaptada de Watts, 1995].....	37
Fig. 24 – Resultados das medições da passagem estatística de veículos, obtidos por Peyrard, com e sem a barreira [Figura adaptada de Anfosso-Lédée et al., 2005]	40
Fig. 25 – Isolamento sonoro de fachada, padronizado, obtido para tráfego rodoviário, em diferentes regimes de funcionamento [Figura adaptada de Anfosso-Lédée et al., 2005] ...	41
Fig. 26 – Resultados das medições da passagem estatística de veículos, para os pavimentos com camada de desgaste de betão betuminoso denso (AC) e betão drenante em dupla camada (DA), e correspondentes espectros no interior de uma habitação [Figura adaptada de Anfosso-Lédée et al., 2005].....	42
Fig. 27 - Exemplos de problemas de deficiente selagem	47
Fig. 28 - Exemplos de problemas de deficiente união entre estruturas	48
Fig. 29- Exemplos de barreiras acústicas do tipo “natural”	48
Fig. 30- Exemplos de ausência de programas de manutenção adequados	49
Fig. 31- Exemplos de aspectos de segurança a ter em conta no planeamento de barreiras acústicas	49
Fig. 32 - Exemplos de sombreamento em habitações provocado por barreiras acústicas	50
Fig. 33 - Exemplos de implantação geométrica barreira-receptor de reduzida eficácia.....	51
Fig. 34 - Juntas de perfis de elastómero múltiplos, com placas rômbricas.....	75
Fig. 35 – Dispositivo de redução de ruído para juntas de dilatação, [www.maurer-soehne.de].	76
Fig. 36 – Fotografias de aplicação do dispositivo de redução de ruído para juntas de dilatação, na zona inferior do viaduto [www.maurer-soehne.de].....	77
Fig. 37 – Perda por inserção de uma barreira infinitamente longa, em função da altura em metros [CETUR, 1980]	80
Fig. 38 – Eficácia real de uma barreira com comprimento finito, em função da proporção do ângulo mascarado pela fonte ($\theta/180^\circ$), [Figura adaptada de CETUR, 1980].....	81
Fig. 39 – Índice de isolamento sonoro em função da espessura de um pano envidraçado, para incidência difusa e para ângulos de incidência de 45° [Figura adaptada de Mynclé <i>et al</i> , 1981]	88
Fig. 40 – Índice de isolamento sonoro de vidros duplos, em função da espessura total do envidraçado e do espaçamento entre vidros [Figura adaptada de Mynclé <i>et al</i> , 1981]	89
Fig. 41– Requisitos para a realização de medições de curta duração e respectivos desvio-padrão associados, tendo em conta a influência das condições atmosféricas, para diferentes combinações fonte receptor.....	93
Fig. 42– Limites de altitude do sol, e portanto do gradiente de temperatura, em função do período do dia e do mês do ano, para 35° de latitude norte	94
Fig. 43– Localização dos pontos de medição e da fonte sonora para avaliação da eficácia de topos difractores.....	106

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1— Dados disponíveis sobre as medidas de minimização do ruído.....	3
Quadro 2 – Categorias para o índice único de classificação do isolamento sonoro de barreiras acústicas	6
Quadro 3 – Categorias para o índice único de classificação do desempenho da barreira acústica relativamente à absorção sonora	7
Quadro 4 – Resultados obtidos nas simulações de Ishizuka adaptado de [Ishizuka e Fujiwara, 2004].	35
Quadro 5 – Opções de redução de velocidade implementados, adaptado de [Anfosso-Lédée <i>et al.</i> , 2005].....	38
Quadro 6 – Resultados obtidos nas experiências de Peyrard, adaptado de [Anfosso-Lédée <i>et al.</i> , 2005].....	39
Quadro 7– Calendarização das visitas de campo efectuadas.....	46
Quadro 8 - Estradas com projecto objecto de visitas de avaliação	46
Quadro 9 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Bucelas- Arruda dos Vinhos da A10, em receptores localizados por detrás de barreiras acústica [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]	55
Quadro 10 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Bucelas- Arruda dos Vinhos da A10, em receptores cuja monitorização está prevista [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP].....	56
Quadro 11 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Bucelas-Arruda dos Vinhos da A10, em cujas proximidades está prevista a implantação de barreiras acústicas, no ano de 2030 [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP].....	57
Quadro 12 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Castro Verde – Almodôvar da A2, em receptores cuja monitorização está prevista [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP].....	58
Quadro 13 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Almodôvar-São Bartolomeu de Messines da A2, em receptores localizados por detrás de barreiras acústica [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP].....	59
Quadro 14 – Pontos do troço Almodôvar-São Bartolomeu de Messines da A2, para os quais foi implementado o reforço do isolamento sonoro de fachada (RISonoro), como medida de minimização de ruído [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP].....	59
Quadro 15 – Pontos do troço Almodôvar-São Bartolomeu de Messines da A2, em receptores cuja monitorização está prevista [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]	59
Quadro 16 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço São Bartolomeu de Messines-VLA da A2, em receptores localizados por detrás de barreiras acústica [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]	60
Quadro 17 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Lagos-Lagoa da A22, em receptores localizados por detrás de barreiras acústica [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP].....	61

Quadro 18 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Lagoa-Alcantarilha da A22, em receptores localizados por detrás de barreiras acústica [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP].....	62
Quadro 19– Custos indicativos (aquisição e construção) para diferentes tipos de barreiras acústicas [Fonte: preços obtidos a partir de consulta ao mercado, ano de 2007]	66
Quadro 20– Custos indicativos para diferentes tipos de pavimentos [Fonte. Estradas de Portugal].....	66
Quadro 21– Indicador do impacte relativo à exposição sonora ao ruído de tráfego rodoviário, expresso em termos a percentagem de número de adultos muito incomodados [Bickel <i>et al.</i> , 2006].....	68
Quadro 22 – Comparação entre 3 medidas de minimização de ruído [adaptado de Descornet e Goubert, 2006]	70
Quadro 23 – Factores de correcção, em função da humidade, para pavimentos betuminosos [adaptado de Descornet e Goubert, 2006].....	72
Quadro 24 – Emergência do nível sonoro devido à presença da junta	76
Quadro 25 – Normas sobre barreiras acústicas, actualmente em vigor	86

Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal

Relatório Final Sectorial

Capítulo 1: Introdução

O presente relatório faz parte dum conjunto de documentos sectoriais, os últimos a serem elaborados para a Estradas de Portugal, S.A., no âmbito do protocolo *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal*, celebrado entre a EP, S.A. e o LNEC, com a colaboração da Universidade de Évora.

O estudo referenciado envolveu 4 componentes distintas, designadamente: sistemas de tratamento para a minimização de impactes de água de escorrência, a monitorização de recursos hídricos e solos, a minimização e monitorização do ruído e a minimização e monitorização da fauna. As actividades a desenvolver por cada equipa sectorial foram integradas em três relatórios conjuntos (Oliveira *et al.*, 2005; e Leitão *et al.*, 2006 e 2007).

Este último relatório sectorial apresenta uma síntese do trabalho desenvolvido e apresentado nos 3 últimos relatórios, no âmbito da componente acústica do ambiente. Para além disso, integra também uma síntese das experiências efectuadas em outros países europeus (capítulo 3); uma síntese e análise dos resultados dos programas de monitorização, efectuada pelas concessionárias das estradas (capítulo 4); uma breve análise custo-eficácia das medidas de minimização de ruído, onde, para além da indicação dos custos associados aos vários tipos de medidas de minimização de ruído, também é efectuada uma breve síntese sobre os estudos mais importantes desenvolvidos nesta área (capítulo 5); uma proposta de directrizes para a orientação da prática, na implementação de sistemas de minimização de ruído (capítulo 6), e por último, a indicação de linhas orientadoras para a elaboração de programas de monitorização de ruído (capítulo 7).

Capítulo 2: Levantamento e caracterização dos sistemas de minimização de ruído

2.1 Caracterização da informação

A caracterização do impacte ambiental associado ao descritor ruído para infra-estruturas de transporte rodoviário engloba a previsão dos níveis sonoros directamente relacionados com o tráfego rodoviário e a avaliação da sua influência nos locais de ocupação sensível, como, por exemplo, habitações, escolas e hospitais. A adopção de medidas de minimização para o descritor ruído é focalizada nos receptores sensíveis, e depende da ultrapassagem dos valores limites para o ruído ambiente no exterior publicados na legislação portuguesa, designadamente, no Regime Legal da Poluição Sonora (Decreto - Lei 292/2000, de 14 de Novembro), ou caso o projecto de medidas de minimização tenha sido realizado antes da entrada em vigor da regulamentação referida, no Regulamento Geral sobre o Ruído (Decreto-Lei 251/87, de 24 de Junho). Posteriormente, em Julho de 2006 foi publicado o Decreto-Lei n.º 146/2006, que transpõe para o regime jurídico nacional a directiva europeia relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente (Directiva 2002/49/CE). Neste documento é estabelecido um novo indicador de ruído associado ao incómodo global, designado por L_{den} (nível sonoro diurno-entardecer-nocturno), baseado num descritor energético, o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, o qual tem em conta três diferentes períodos do dia (diurno, das 7h às 20 h; entardecer, das 20h às 23h; e nocturno, das 23h às 7h), com penalizações para o entardecer e para a noite. Em Janeiro de 2007 foi publicado o Decreto-Lei 9/2007 que visa a aprovação de um novo regime de prevenção e controlo da poluição sonora, tendo em conta os três períodos de referência atrás mencionados e o novo indicador de ruído.

Os dados inventariados e disponibilizados pela Estradas de Portugal (cf. Quadro 1) apresentam informação relativa a medidas de minimização já construídas, assim como informação sobre medidas de minimização a executar até ao ano horizonte do projecto (essencialmente barreiras acústicas e reforço do isolamento sonoro de fachada), fazendo depender a sua implementação da confirmação dos níveis sonoros previstos em campanhas de monitorização futuras. Esta situação não foi considerada para efeitos da avaliação da eficácia das medidas de minimização relacionadas com o descritor ruído, pelo que não se efectuou a introdução desta informação na base de dados MIA.mdb (Oliveira *et al.*, 2005). O Quadro 1 apresenta uma síntese da informação recolhida, como também informação sobre a existência de medidas de minimização a implementar num futuro próximo, a partir da indicação da data prevista para a sua execução (excepto no caso indicado por CM, em que a data de implementação depende dos resultados das campanhas de monitorização futuras).

Quadro 1— Dados disponíveis sobre as medidas de minimização do ruído

Designação da estrada	Designação do troço da estrada	Medidas de minimização (Fase de Exploração)	Plano de monitorização (Fase de Exploração)
A2	Grândola Sul -- Aljustrel		
A2	Aljustrel -- Castro Verde		
A2	Castro Verde -- Almodôvar		x
A2	Almodôvar -- S. Bartolomeu de Messines	x	x
A2	S. Bartolomeu de Messines -- VLA	x	x
A7/IC5	IC1 (Póvoa de Varzim) -- EN206 -- Famalicão		
A7/IC5	Selho -- Calvos	2024	x
A7/IC5	Calvos -- Fafe Sul	x	x
A7/IC5	Fafe -- Basto		
A7/IC5	Basto -- Ribeira de Pena	x	x
A7/IC5	Ribeira de Pena -- Vila Pouca de Aguiar (IP3)	x	x
A10	Bucelas -- Arruda dos Vinhos	x; 2030	x
A10	Arruda dos Vinhos -- IC11	x;CM	x
A10	IC11 -- Carregado (A1)	x	x
A10	Carregado (A1) -- Benavente (A13)	x	x
A11	Esposende(EN 205) -- Barcelos	2024	x
A11	Felgueiras/Lousada (IC25) -- IP4 (A4)	x	x
A11	Calvos/Vizela e Vizela/Felgueiras	2025	x
A11	Barcelos -- Braga (Ferreiros)	x	x
A11	Braga (Ferreiros) -- Braga (Celeirós) - A3		
A11	Braga(Celeirós) -- Guimarães	x	x
A13	Almeirim -- Salvaterra de Magos	2020	x
A13	Salvaterra de Magos -- A10 -- Santo Estevão	2020	x
A13	Santo Estevão -- Pegões		
A13	Pegões -- Marateca	2030	x
A14	Santa Eulália -- Coimbra (Norte) - Trecho 1	x	x
A14	Santa Eulália -- Coimbra (Norte) - Trecho 2A	x	x
A14	Santa Eulália -- Coimbra (Norte) - Trecho 2B		x
A25/IP5	Nó do IC2 -- Talhadas		
A25/IP5	Talhadas -- Vouzela		
A25/IP5	Vouzela -- Boa Aldeia		
A25/IP5	Guarda -- Vilar Formoso		
IP2	Guarda -- Benespera		
IP2	Benespera -- Belmonte	x	x
IP2	Alcaria -- Soalheira	x	x
IP2	Teixoso -- Alcaria	2013	x
IP2	Ligação à Covilhã	x	x
IP3	IP5 -- Castro D'Aire Sul	x	x
IP3	Reconcos -- Bigorne -- Castro D'Aire Norte	x	x
IP3	Vila Real -- Régua (IP4)	x	x
IP3	IP4 -- Fortunho	x	x
IP3	Fortunho -- Falperra	x	x
IP3	Falperra -- Pedras Salgadas		
IP3	Pedras Salgadas -- EN103	x	x
IP3	EN103 -- Chaves (Fronteira)	x	x
IP9	Nogueira -- Estorãos	x	x
IP9	Estorãos -- Ponte de Lima	x	x
IC4	Lagos -- Lagoa	x	x
IC4	Lagoa -- Alcantarilha	x	x
IC4	Guia -- Alcantarilha		

Do conjunto de dados consultados sobre as medidas de minimização, verificou-se que a forma de apresentação da informação disponível é extremamente heterogénea, e em alguns casos insuficiente.

2.2 Caracterização das medidas de minimização

Na base de dados MIA.mdb (versão 3.0 de Junho de 2008) a informação relativa ao sistema de minimização de impacte ambiental no descritor ruído é apresentada num formulário principal designado **Localização e características das medidas de minimização do ruído**, como se apresenta na Fig. 1, do qual consta a seguinte informação:

- Localização da medida de minimização em relação ao desenvolvimento do troço da estrada (kilometragem de início e final da medida adoptada, coordenadas de localização M e P do início e final da medida e orientação geográfica relativamente à estrada, em função dos pontos cardiais);
- Caracterização do traçado (recta ou curva) do troço rodoviário onde se localiza a medida e indicação de qual a regulamentação contemplada no respectivo projecto;
- Identificação da legislação que foi utilizada no projecto de execução da medida de minimização (DL 251/87-RGR, DL 292/2000-RLPS, Directiva 2002/49/CE);
- Identificação da medida implementada, com a possibilidade de selecção das seguintes opções: barreira acústica artificial, barreira acústica natural, monitorização do receptor, pavimento com características absorventes sonoras, redução da velocidade e/ou tráfego de pesados, reforço de isolamento sonoro de fachada e condicionamento acústico de túnel
- Campo de texto onde podem ser introduzidas quaisquer observações com esclarecimentos relativamente a algum dos campos anteriores, ou informação complementar que se considere relevante (por exemplo, caso esteja prevista a construção de uma barreira próximo do ano horizonte do projecto, esta indicação pode ser referenciada neste campo).

Neste formulário é igualmente possível a introdução de imagens como sejam uma planta de localização, o desenho de uma barreira acústica, ou uma ou mais fotografias do sistema de minimização (como se ilustra na Fig. 2). A fotografia, sempre que disponível, deverá permitir a visualização das características e constituição das barreiras. Saliente-se a possibilidade de selecção de mais do que uma medida de minimização, para a mesma localização no troço da estrada em análise.

Localização e características das medidas de minimização do ruído

Código da estrada: 300401

LOCALIZAÇÃO	Início	Final	MEDIDAS ADOPTADAS NA FASE DE EXPLORAÇÃO	
Distância ao início do troço (m):	<input type="text" value="7310"/>	<input type="text" value="7388"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Barreira acústica artificial	Detalhe
Distância ao início da estrada (m):	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Barreira acústica natural	Detalhe
Coordenadas de localização (m)	M =	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Monitorização de receptor	Detalhe
	P =	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Pavimento com características absorventes acústicas	Detalhe
Concelho:	<input type="text" value="Lagos"/>		<input type="checkbox"/> Redução de velocidade/tráfego de pesados	Detalhe
Orientação em relação à estrada:	<input type="text" value="Norte (N)"/>		<input type="checkbox"/> Reforço do isolamento sonoro de fachada	Detalhe
			<input type="checkbox"/> Condicionamento acústico de túnel	Detalhe

CARACTERIZAÇÃO DO TROÇO RODOVIÁRIO	OBSERVAÇÕES
Traçado: <input type="text" value="Recta"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Regulamentação a cumprir:	Nome do projectista: <input type="text" value="XXXXXX"/>
<input type="text" value="Cumprimento do RLPS - DL 292/2000"/>	Data do projecto: <input type="text" value="20001201"/>
Área consolidada?: <input type="text" value="Não"/>	

Código da infra-estrutura: 3004016407310

Fig. 1 - Formulário “Localização e características das medidas de minimização do ruído”

Imagens relacionadas com as infra-estruturas de minimização do ruído

Código da infra-estrutura: 3004016407000

IMAGEM

Data da imagem	Tipo de imagem	Observações	Imagem
20050910	Fotografia		BarreiraArtificial.jpg
	-		
*	-		

Fig. 2- Exemplo de preenchimento da tabela “Imagens de medidas de minimização de ruído”

Aos campos barreira acústica (artificial e natural) correspondem formulários específicos que permitem a introdução de informação caso estas opções sejam seleccionadas, enquanto que, para as restantes opções, será somente necessário o preenchimento de um campo de texto com uma breve descrição da medida implementada. No caso da monitorização de receptores, é necessário a definição do receptor a monitorizar, abrindo-se, na sequência desta solicitação, o formulário “Localização e características dos receptores para a monitorização do ruído”.

No formulário **Caracterização das barreiras acústicas artificiais** introduz-se informação sobre o tipo de barreira (absorvente, reflectora ou mista), material constituinte e perfis utilizados, assim como o tipo de montagem (directamente no solo, com muro de suporte, em cima de viaduto). É igualmente inserida informação referente aos aspectos visuais (concepção, revestimento, acabamentos, cor e alinhamento dos painéis), geométricos (número de secções com a mesma altura e comprimento de cada secção) e informação referente ao tipo de implantação (berma, escavação ou em aterro). No campo “Previsão do modelo” deve ser seleccionada a eficácia pretendida para a medida de minimização, parâmetro directamente relacionado com a legislação em vigor na altura da elaboração do projecto de execução da medida em causa e com a classificação da zona onde se inserem os receptores a proteger (sensível ou mista), a qual deverá constar nos planos municipais de ordenamento do território. Deve igualmente ser indicado o número de receptores a proteger pela medida de minimização em análise. Na sequência desta informação, será solicitado o preenchimento do formulário **Localização e características dos receptores para a monitorização do ruído** (ver Fig. 11).

Ainda no que respeita a características acústicas deve ser introduzida informação sobre o isolamento e a absorção sonora, segundo a classificação das normas EN 1793-1 (isolamento sonoro) e EN 1793-2 (absorção sonora), versão de 1997. No que respeita ao isolamento sonoro, a norma EN 1793-1 estabelece o índice único de classificação do isolamento a sons aéreos, DL_R , que corresponde a uma ponderação dos valores de isolamento sonoro, em bandas de terço de oitava, de acordo com o espectro normalizado para o ruído de tráfego, conforme definido na EN 1793-3. No Quadro 2 apresenta-se a classificação das características de isolamento sonoro de uma barreira acústica de acordo com este índice único.

Quadro 2 – Categorias para o índice único de classificação do isolamento sonoro de barreiras acústicas

Categoria	DL_R (dB)
B0	Indeterminado
B1	< 15
B2	15 a 24
B3	>24

A norma EN 1793-2 estabelece o índice único de classificação do desempenho da barreira acústica relativamente à absorção sonora, DL_α o qual, tal como no caso anterior, também corresponde a uma ponderação dos valores de absorção sonora, em bandas de terço de

oitava, de acordo com o espectro normalizado para o ruído de tráfego, conforme definido na EN 1793-3. O Quadro 3 apresenta a respectiva classificação em função deste índice único.

Quadro 3 – Categorias para o índice único de classificação do desempenho da barreira acústica relativamente à absorção sonora

Categoria	DL_{α} (dB)
A0	Indeterminado
A1	< 4
A2	4 a 7
A3	8 a 10
A4	>11

Refira-se ainda a possibilidade de introdução de informação geral sobre o plano de manutenção das barreiras acústicas, caso haja informação disponível, procurando-se indicar se o respectivo plano está efectivamente a ser cumprido. Na sequência desta informação será possível relacionar uma eventual perda de eficácia das barreiras acústicas, ao longo do tempo, com aspectos decorrentes da adequabilidade destes planos.

Na Fig. 3 apresenta-se um exemplo de preenchimento da caracterização de barreira acústica artificial.

Caracterização de barreira acústica artificial

Código da infra-estrutura: 3004016407310

SISTEMA BARREIRA ACÚSTICA	CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS
Tipo: Absorvente lado virado para a via	Aberturas na barreira: Emergência
Montagem: Montada em muro de suporte	Drenagem: Por baixo da barreira
Design: Perfil e painéis	PLANO DE MANUTENÇÃO: Não <input type="button" value="Descrever plano"/>
Material dos painéis: Metálico	PREVISÃO DO MODELO
Revestimento: Pintura	Eficácia pretendida: LAeq nos receptores sensíveis inferior a 65 dB(A) / 55 dB(A)
Perfis: Metálico	Número de receptores a proteger: 2 <input type="button" value="Definir receptores"/>
Acabamento: Perfurado	
Número de secções com a mesma altura: 1 <input type="button" value="Definir secções"/>	
Implantação da barreira: Berma	CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS
ESTÉTICA	Isolamento sonoro: DLR > 24 dB (Cat. B3)
Alinhamento: Alinhamento horizontal	Absorção sonora: DL α > 11 dB (Cat. A4)
Cor dos painéis: Vermelho, Verde, Amarelo	
Pintura? Sim	<input type="button" value="Sair"/>
Sobreposição de vegetação entre painéis? Não	

Fig. 3 - Exemplo de preenchimento do formulário “Caracterização de barreira acústica artificial”

No formulário **Caracterização das barreiras acústicas naturais** deve ser introduzida informação sobre a constituição da barreira, assim como uma breve descrição do respectivo projecto de integração paisagística, para além de informação relativa a parâmetros geométricos (como por exemplo, a altura média) e ao tipo de implantação da barreira. No campo “Previsão do modelo”, analogamente ao que sucede com as barreiras artificiais, deve ser seleccionada a eficácia pretendida e indicado o número de receptores a proteger pela medida de minimização em análise. Na sequência desta informação, será solicitado o preenchimento do formulário **Localização e características dos receptores para a monitorização do ruído** (Fig. 11).

Na Fig. 4 apresenta-se um exemplo de preenchimento da caracterização de uma barreira acústica natural.

Caracterização de barreira acústica natural

Código da infra-estrutura: 1002016500001

SISTEMA BARREIRA ACÚSTICA

Composição da barreira acústica:
elevação paralela à via

Altura média (m): 5

Integração paisagística:
Os taleles serão cobertos com sementeiras arbustivas

Implantação da barreira: Aterro

PREVISÃO DO MODELO

Eficácia pretendida:
LAeq nos receptores sensíveis inferior a 65 dB(A) / 55 dB(A)

Número de receptores a proteger: 4 Definir receptores

Sair

Fig. 4 - Exemplo de preenchimento do formulário “Caracterização de barreira acústica natural”

O formulário **Descrição da medida de minimização do receptor** consiste num campo de texto onde deve ser introduzida a data a partir da qual se preconiza, no projecto de execução das medidas de minimização, a monitorização de um determinado receptor. Na sequência desta acção é necessário caracterizar o receptor (definir receptor), a partir do preenchimento do formulário **Localização e características dos receptores para a monitorização do ruído** (Fig. 11). Na Fig. 5 apresenta-se um exemplo do preenchimento do campo de texto atrás referido.

Descrição da medida minimização do receptor

Código da infra-estrutura: 3004016407310

Descrição (incluindo o Plano de monitorização e a Data de início):
Os valores previstos de LAeq aproximam-se do valor limite, no ano 2025

Definir receptor Sair

Fig. 5 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição da medida de minimização do receptor”

No que respeita à medida de minimização correspondente a pavimento com características absorventes sonoras, as Fig. 6 e 7 apresentam um exemplo de preenchimento dos campos respectivos, salientando-se a possibilidade de introdução de informação referente a processos de manutenção do pavimento em análise no campo “Observações” do formulário **Localização e características das medidas de minimização do ruído**.



Localização e características das medidas de minimização do ruído			
Código da estrada: 300401			
LOCALIZAÇÃO	Início	Final	MEDIDAS ADOPTADAS NA FASE DE EXPLORAÇÃO
Distância ao início do troço (m):	7000	10000	<input type="checkbox"/> Barreira acústica artificial Detalhe
Distância ao início da estrada (m):			<input type="checkbox"/> Barreira acústica natural Detalhe
Coordenadas de localização (m)	M =		<input type="checkbox"/> Monitorização de receptor Detalhe
	P =		<input checked="" type="checkbox"/> Pavimento com características absorventes acústicas Detalhe
Concelho:	Coimbra		<input type="checkbox"/> Redução de velocidade/tráfego de pesados Detalhe
Orientação em relação à estrada:	Não se aplica		<input type="checkbox"/> Reforço do isolamento sonoro de fachada Detalhe
CARACTERIZAÇÃO DO TROÇO RODOVIÁRIO			OBSERVAÇÕES
Traçado:	Recta		É necessário um programa regular de manutenção, incluindo repavimentação e lavagem, no sentido de garantir o mesmo desempenho ao longo do tempo
Regulamentação a cumprir:	Cumprimento do RLPS - DL 292/2000		
Área consolidada?:	Não		Nome do projectista: XXXXXX
			Data do projecto: 20001201
			Código da infra-estrutura: 3004016307000
			

Fig. 6 - Exemplo de preenchimento do formulário “Localização e características das medidas de minimização do ruído, para pavimentos com características absorventes sonoras”


Descrição do tipo de pavimento e características de absorção sonora
Código da infra-estrutura: 3004016407000
Descrição: Pavimento do tipo poroso, absorvente, com espessura mínima de 40 mm. A utilização de pisos porosos drenantes, aponta para reduções típicas nos níveis sonoros de 2-4 dB em ambientes urbanos, com circulação a baixa velocidade, e de 4-6 dB em vias rápidas, com velocidades médias entre 70 e 120 km/h.


Fig. 7 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição do tipo de pavimento e características de absorção sonora”

As Fig. 8, 9 e 10 apresentam, respectivamente, exemplos de preenchimento dos campos de texto correspondentes às descrições das medidas de minimização “Redução da velocidade/tráfego de pesados”, “Reforço do isolamento sonoro de fachada” e “Condicionamento acústico de túnel”.

Descrição da medida redução de velocidade/tráfego de pesados

Código da infra-estrutura: 3004016307000

Descrição:

Redução da velocidade dos veículos ligeiros para 80 km/h entre o km 0+000 e km 5+000, no período de referência nocturno (RLPS)

Sair

Fig. 8 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição da medida de redução de velocidade/tráfego de pesados”

Descrição do reforço do isolamento sonoro de fachada

Código da infra-estrutura: 3004016307000

Descrição:

Instalação de panos de vidro de 8 mm, correspondendo a $R_{45} > 35$ dB de isolamento sonoro médio de fachada, montado em perfil de material resiliente, interposto na fixação à caixilharia. Caixilharia com vedantes de frincha em todo o contorno

Sair

Fig. 9 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição do reforço do isolamento sonoro de fachada”

Descrição do condicionamento acústico de túnel	
Código da infra-estrutura: 3004016307000	
Descrição:	
Revestimento parcial do túnel com material de absorção acústica, principalmente nos 20 - 30 m dos emboquilhamentos	
<input type="button" value="Sair"/>	

Fig. 10 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição do condicionamento acústico de túnel”

2.3 Apreciação geral dos projectos

Regra geral, a informação constante nos EIA-PE (Estudos de Impacte Ambiental, Projecto de Execução) consultados, referentes às medidas de minimização associadas ao descritor ruído, não é suficiente para o preenchimento de toda a informação requerida pela base de dados, sendo apresentada de forma bastante heterogénea, o que dificulta a sua síntese. Existem aspectos que usualmente não são completados nos projectos de execução deste tipo de medidas de minimização, tais como a localização de aberturas para drenagem de águas, a periodicidade indicada para a substituição dos elementos constituintes, com a respectiva indicação do plano de manutenção a implementar, a utilização de revestimentos com propriedades específicas e a existência de aberturas de emergência (quando necessárias), no caso de barreiras acústicas.

Da informação consultada até ao momento, somente um projecto preconizava a realização de medições para a aferição da perda por inserção devido à instalação de uma barreira, que se define como a diferença entre os níveis de pressão sonora medidos num determinado ponto receptor, antes e depois da sua instalação, desde que a fonte de ruído, a topografia do terreno, eventuais obstruções à propagação e superfícies reflectoras, entre a fonte e o ponto receptor, assim como as condições meteorológicas e o solo, não tenham sofrido alterações. Na circunstância, o desempenho de uma barreira será considerado eficiente se a respectiva perda de inserção for positiva, e insuficiente, se tal não suceder.

A norma ISO 10847:1997 “ Acústica. - Determinação *in situ* da perda por inserção de barreiras exteriores de todos os tipos” especifica dois métodos para esta determinação: o método directo, que se refere a medições dos níveis sonoros antes e depois da instalação das barreiras (definindo-se para efeitos da sua aplicação as posições do receptor e de referência, correspondendo a última a um ponto onde o ruído proveniente da fonte não é minimamente influenciado pela presença da barreira) e o método indirecto, que é aplicado em locais onde

não existe a possibilidade de realização de medições antes da instalação da barreira. Neste segundo caso, para a caracterização da situação “antes da barreira” devem ser realizadas medições num local substituto equivalente (em perfil e condições de terreno, fontes sonoras existentes na sua envolvente e condições atmosféricas), relativamente ao local onde se instalou a barreira. A posição de referência e a posição do receptor são as mesmas que as do método de medição directa.

2.4 Monitorização

2.4.1 Procedimentos para a realização de campanhas de Monitorização

Posteriormente à estimação do impacte ambiental e à definição de eventuais medidas de minimização, e após a emissão de uma Declaração de Impacte Ambiental (DIA) favorável, devem ser efectuadas campanhas de observação e de recolha sistemática de dados sobre o estado do ambiente ou sobre os efeitos ambientais de determinado projecto. Estas observações e os correspondentes dados obtidos devem ser materializados em relatórios de monitorização, com a periodicidade e os termos constantes da DIA. O parâmetro a avaliar é o nível sonoro médio de longa duração, $L_{Aeq,LT}$, obtido a partir da evolução do nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, ao longo de séries de intervalos de tempo de referência (períodos diurno ou nocturno), nos receptores identificados no EIA como alvo de medidas de minimização, nos receptores para os quais foram previstos níveis sonoros próximos dos valores regulamentares e nos receptores eventualmente referidos no relatório da Comissão de Avaliação (DGA, 2001).

A monitorização pode ser efectuada recorrendo a medições acústicas, as quais devem ser efectuadas de acordo com os procedimentos descritos na Norma Portuguesa NP 1730-1 de 1996 “Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente” (equivalente à norma ISO 1996 de 1982). Regra geral as medições abrangem os dois períodos de referência (diurno – 7h às 22h e nocturno – 22h às 7h), sendo realizadas duas campanhas por ano, uma no período do Inverno e outra no período do Verão: A primeira campanha realiza-se normalmente no ano de abertura da infra-estrutura e as seguintes serão realizadas aproximadamente de cinco em cinco anos, caso não existam alterações significativas dos factores que determinam a emissão e propagação de ruído, nem haja a necessidade de se implantarem novas medidas de minimização ou reforço das existentes (IA, 2003a). No entanto, para alguns casos, as acções de monitorização podem ficar condicionadas aos resultados das primeiras campanhas e à existência de eventuais reclamações.

O principal objectivo deste processo de pós-avaliação consiste na identificação de impactes ambientais entretanto ocorridos e na avaliação da eficácia das medidas de minimização preconizadas, possibilitando também a aferição sobre a necessidade de medidas complementares ou o reforço das existentes. Assim, caso sejam detectadas situações de

incumprimento das disposições legais deverão ser adoptadas novas medidas para minimizar ou compensar os impactes negativos encontrados. Caso sejam realizadas medições, os respectivos pontos devem localizar-se junto dos receptores sensíveis identificados no EIA, para os quais o ruído ambiente é superior aos limites regulamentares, devendo-se, numa primeira fase, seleccionar os receptores considerados mais expostos e, caso sejam detectados valores acima daqueles limites, monitorizar os receptores seguintes (IA, 2003a).

Para receptores protegidos por barreiras acústicas devem ser seleccionados os mais próximos dos extremos das barreiras. Caso se detectem valores superiores ao valor objectivo, no qual se baseou o dimensionamento da barreira, deve-se monitorizar o receptor seguinte no sentido da zona que previsivelmente esteja mais protegida (a zona mais central da barreira). No caso de edifícios de dois ou mais pisos, onde se detectem, ao nível do rés-do-chão, valores superiores ao valor objectivo, deve monitorizar-se, sempre que possível, o piso superior (IA, 2003a). Na selecção dos pontos de medição dever-se-á ter em conta a minimização da contribuição de outras fontes sonoras próximas, no nível sonoro a medir.

Para a realização de medições poderão ser utilizadas técnicas de amostragem desde que respeitem no mínimo as seguintes condições (IA, 2003a): em cada ponto de medição, e em dois dias típicos de tráfego (considerado como um dia em que o tráfego se aproxima do tráfego médio diário anual) devem ser efectuadas duas medições em horas de tráfego normal e para os dois períodos de referência; em caso de ocorrerem flutuações significativas de tráfego (diárias, semanais ou sazonais) devem ser realizadas medições para a sua caracterização; cada medição deve ter, no mínimo, uma duração média de 30 minutos, ou então uma duração temporal até que se obtenha a estabilização do sinal sonoro associado ($L_{Aeq,T}$). Durante as medições, devem ser registados parâmetros complementares, como, por exemplo, os volumes de tráfego e percentagem de pesados, a velocidade média de circulação dos veículos ligeiros e pesados e as condições meteorológicas.

Em alternativa à realização de uma campanha de monitorização baseada em medições, poder-se-á recorrer a modelos de previsão do ruído de tráfego rodoviário, reportados a um período temporal de previsão de um ano. Caso a rodovia apresente marcadas flutuações sazonais de tráfego, deverá ser efectuada uma previsão adicional, reportada ao mês mais crítico. Esta metodologia é considerada preferencial para troços rodoviários extensos e com volumes de tráfego (Tráfego Médio Diário Anual, TMDA) superiores a 16 500 veículos e/ou com muitos receptores, e em situações de exposição diversas (IA, 2003a). Neste caso, é sempre necessária a realização de validações do modelo de previsão utilizado, em determinados pontos, os quais se devem localizar junto dos receptores sensíveis, ou em pontos onde as previsões estejam próximas dos limites das disposições legais.

A informação recolhida sobre planos de monitorização de ruído para a fase de exploração é relativa a 9 concessões diferentes divididas em 37 troços de estrada (como se apresenta no Quadro 1). No que respeita aos relatórios de monitorização para a fase de exploração foi disponibilizada informação referente às auto-estradas A2 (lanços da Castro Verde – Almodôvar;

Almodôvar - S. Bartolomeu de Messines e S. Bartolomeu de Messines – VLA) e A10 (lanço Bucelas-Arruda dos Vinhos) e informação referente ao Itinerário complementar IC4 (lanços Lagos - Lagoa e Lagoa – Alcantarilha).

2.4.2 Caracterização na base de dados dos sistemas de monitorização do ruído

Na base de dados, a informação relativa ao sistema de monitorização do ruído foi agrupada no formulário principal **Localização e características dos receptores para monitorização do ruído**, no qual se identifica a localização (em termos de distância ao início do troço onde o receptor se encontra, orientação relativamente à estrada, coordenadas de localização M e P) e a caracterização do ponto receptor (com uma breve descrição e, no caso de edifícios de habitação, a identificação do número de pisos que o constituem). Deve também ser introduzida uma breve descrição sobre a metodologia estabelecida no plano de monitorização. A Fig. 11 apresenta um exemplo de preenchimento do formulário **Localização e características dos receptores para a monitorização do ruído**.

Na sequência do preenchimento do formulário anterior, pode ser aberto o formulário **Previsão do ruído**, para a introdução de informação relativa aos valores prospectivados do nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, com e sem a implementação da medida de minimização, no ponto receptor em análise, para os vários anos da exploração da infra-estrutura e diferentes períodos de referência (diurno, entardecer e nocturno). Na Fig. 12 apresenta-se um exemplo de preenchimento do formulário **Previsão do ruído**.

Igualmente, na sequência do preenchimento do formulário principal “Localização e características dos receptores para monitorização do ruído”, poderá ser aberto o formulário “Informação sobre a monitorização do ruído” (Fig. 13), a partir da selecção do campo “Monitorização”, onde devem ser inseridos dados gerais sobre a monitorização tais como a data do relatório de monitorização e o gabinete responsável. Deverá também ser indicada a existência de monitorizações referentes a aspectos psico-sociais, facto este que deve ser identificado no “Campo avaliação das percepções das populações”, e do qual resulta o aparecimento automático de um novo formulário “Descrição da percepção do ruído pelas populações”, para inserção de uma descrição sucinta dos principais resultados obtidos.

Na Fig. 14 apresenta-se um exemplo de preenchimento do formulário “Descrição da percepção do ruído pelas populações”.

Localização e características dos receptores para monitorização do ruído

Código da estrada: **300401**

LOCALIZAÇÃO

Distância ao início do troço (m): Orientação em relação à estrada:

Distância ao início da estrada (m):

Distância mais curta ao traçado principal (m):

Distância mais curta ao traçado mais próximo (m):

Distância à infra-estrutura de minimização (m):

Coordenada M (m):

Coordenada P (m):

Concelho:

DADOS GERAIS

Altura em relação ao terreno (m):

Descrição do receptor:

Nº de pisos:

Código da medida de minimização:

Código da infra-estrutura: **3004017407330**

Pavimento com características absorventes acústicas?:

Redução de velocidade ou de tráfego de pesados?:

METODOLOGIA

Medição do LAeq, Junto a habitações sujeitas a protecção com barreira acústica e junto a habitações em onde se registaram reclamações. Duas medições por ano, uma no período do Verão e outra no Inverno. A 1ª campanha, ano de abertura e as seguintes de 3 em 3 anos

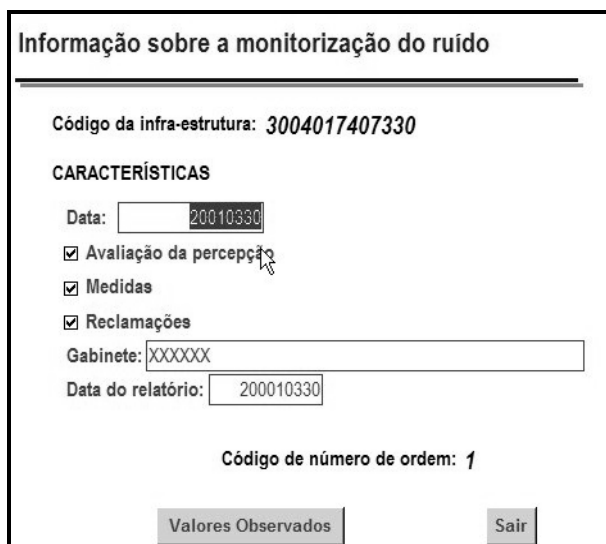
Fig. 11 - Exemplo de preenchimento do formulário “Localização e características dos receptores para a monitorização do ruído”

Previsão do Ruído

Código do receptor: **3004017407330**

Parâmetro a medir:	Cenário:	Ano:	Valor previsto (dB):
▶ Período Diurno, LAeq, sem barreira	Ano início	2000	67
Período Diurno, LAeq, com barreira	Ano início	2000	61
*			

Fig. 12 - Exemplo de preenchimento do formulário “Previsão do ruído”



Informação sobre a monitorização do ruído

Código da infra-estrutura: 3004017407330

CARACTERÍSTICAS

Data: 20010330

Avaliação da percepção

Medidas

Reclamações

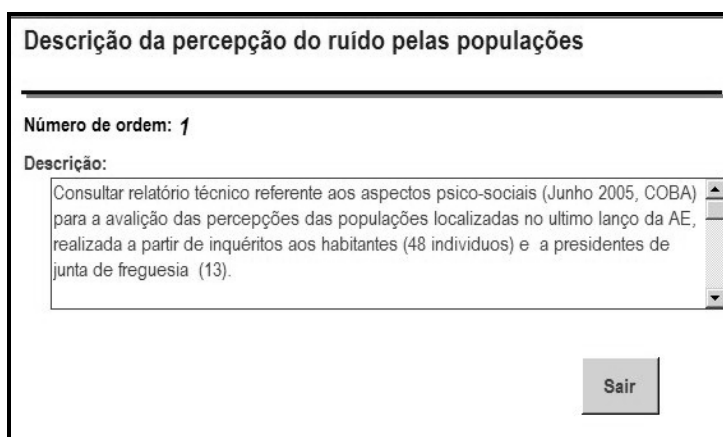
Gabinete: XXXXXX

Data do relatório: 200010330

Código de número de ordem: 1

Valores Observados Sair

Fig. 13 - Formulário “Informação sobre a monitorização do ruído”



Descrição da percepção do ruído pelas populações

Número de ordem: 1

Descrição:

Consultar relatório técnico referente aos aspectos psico-sociais (Junho 2005, COBA) para a avaliação das percepções das populações localizadas no ultimo lanço da AE, realizada a partir de inquéritos aos habitantes (48 indivíduos) e a presidentes de junta de freguesia (13).

Sair

Fig. 14 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição da percepção do ruído pelas populações”

No formulário **Informação sobre a monitorização do ruído** (Fig. 13) também deverá ser indicada a existência de novas evidências decorrentes da campanha de monitorização, a ter em conta a curto prazo ou na próxima campanha, tais como, a detecção de novos pontos receptores para os quais os níveis sonoros se encontram fora dos limites regulamentares, ou a constatação da ineficácia das medidas de minimização implementadas, facto este que deve ser identificado no campo “Descrição das medidas a implementar resultantes da monitorização do ruído”.

Na Fig. 15 apresenta-se um exemplo de preenchimento do formulário **Descrição das medidas resultantes da monitorização do ruído**.

Descrição de medidas resultantes da monitorização do Ruído

Número de ordem: 1

Descrição:

A barreira B7 (km 3+630 ao km 3+852) não está presa adequadamente nas calhas e à passagem dos veículos, os vários módulos que constituem a barreira vibram, o que emite ruído para o ponto receptor 12. Assim, recomenda-se a correcção desta situação na barreira B7, para que ocorra uma diminuição do ruído emitido pela mesma, devendo posteriormente ser efectuada uma nova medição. Colocação de uma barreira acústica absorvente (na berma ou talude) nos pontos: 2+600, lado Sul (6); 5+100, lado Sul(R4); 5+775, lado Norte(R6). Reformulação do dimensionamento das barreiras acústicas localizadas entre os km 5+816 - 5+998 (B21), lado Sul; e entre os km 6+158- 6+225 (B24), lado Sul

Sair

Fig. 15 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição de medidas resultantes da monitorização do ruído”

No formulário da Fig. 13, caso a campanha de monitorização realizada tenha tido em conta a existência de reclamações, este facto deve ser assinalado, dando origem ao aparecimento automático do formulário **Ruído_reclama**, Fig. 16, no qual deve ser introduzida informação sobre o tipo de reclamações recebidas, e respectiva localização dos receptores associados.

Descrição das reclamações resultantes do Ruído

Número de ordem: 1

Descrição:

De acordo com o fax enviado pela Euroscut verificaram-se reclamações nos seguinte locais: km 3+475, lado S (R1); km 3+900, lado N (R2); km 4+175, lado N(R3); km 5+100, lado Sul (R4); km 5+201, lado N (R5); km 5+775, lado N(R6); km 6+900, lado N(R6)

Sair

Fig. 16 - Exemplo de preenchimento do formulário “Descrição das reclamações resultantes do ruído”

Para a introdução dos resultados das monitorizações efectuadas é necessário o preenchimento do formulário **Dados de monitorização do ruído**, cf. Fig. 17 (acessível a partir do campo “Valores Observados”, no formulário da Fig. 13), onde deve ser assinalado o parâmetro acústico utilizado na monitorização e o respectivo período de referência (diurno,

nocturno, ou entardecer), e devem ser introduzidos os valores obtidos, as condições ambientais que ocorreram durante a realização das medições (gama de variação da temperatura, humidade e velocidade do vento), assim como a direcção do vento predominante. Neste formulário podem também ser inseridos dados referentes a eventuais medições do fluxo e composição do tráfego (números de veículos ligeiros e pesados, e respectivas velocidades médias) que ocorreram durante a realização das medições.

Dados de monitorização do ruído											
Código de número de ordem: 1											
Parâmetro	Tempo de medição (minutos)	Valor	Condições ambientais				Volume e composição do tráfego				
			Temp. (°C)	HR (%)	Vento		Veículos ligeiros		Veículos pesados		
					Veloc. (m/s)	Direcção (°)	Número	Vel. méd. (km/h)	Número	Vel. méd. (km/h)	
L _{Aeq} P. diurno [dB(A)]	30	60	20-23	40-45	< 4	45	2000	120	1000	80	
L _{Aeq} P. nocturno [dB(A)]	30	57	18-20	40-45	<4	45	1000	120	50	80	
*		0									

Fig. 17 - Exemplo de preenchimento do formulário “Dados de monitorização do ruído”

2.4.3 Apreciação geral dos projectos

Regra geral os planos de monitorização consultados seguem as directrizes para a Elaboração de Planos de Monitorização de Ruído de Infra-Estruturas Rodoviárias e Ferroviárias, publicadas pelo Instituto do Ambiente (IA, 2003a e b). No entanto, na maior parte dos relatórios de monitorização consultados, não foi encontrada informação sobre os parâmetros de controlo (por exemplo, volume de tráfego, percentagem de veículos pesados e velocidades médias de circulação) dos modelos de previsão, de modo a possibilitar uma aferição relativa à representatividade das medições efectuadas.

Capítulo 3: Avaliação da eficácia de várias medidas de minimização

3.1 Sistematização das medidas de minimização utilizadas em diferentes países

3.1.1 Introdução

A sistematização das medidas de minimização foi efectuada seguindo uma abordagem geral desta temática, apresentando-se uma síntese das experiências efectuadas em outros países europeus, que não pretende constituir uma pesquisa exaustiva de toda uma prática internacional. Os dados recolhidos resultam de uma pesquisa bibliográfica (livros e actas de congressos) e de consulta na Internet.

Relativamente às medidas de minimização de ruído em auto-estradas, a pesquisa realizada foi direccionada para a utilização de pavimentos com características absorventes sonoras e barreiras acústicas, uma vez que outros tipos de medidas, como por exemplo a redução do ruído produzido pelo funcionamento dos motores de veículos, estão ligados a novas tecnologias de fabrico de veículos. Por outro lado, a utilização de medidas de minimização de ruído no receptor, usualmente constituídas pelo reforço de isolamento sonoro das fachadas, estão muito ligadas às práticas construtivas de cada país, pelo que se optou pela não inclusão do respectivo estado de conhecimentos.

O FEHRL (*Forum of European National Highway Research Laboratories*) é um fórum de laboratórios de investigação nacionais europeus no domínio das infra-estruturas de transporte rodoviário. Tem como função, entre outras, a promoção de actividades de investigação relacionadas com as infra-estruturas rodoviárias. Em 2006, na sequência do projecto de investigação *SILVIA*, publicou um Guia técnico intitulado “*Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces*”. O capítulo 4 desta publicação contém uma síntese dos vários pavimentos com características melhoradas de absorção sonora construídos na Europa, apresentando igualmente uma caracterização dos materiais que constituem cada tipo de pavimento e respectivas propriedades, principais vantagens e desvantagens na utilização de cada solução, assim como dados referentes ao respectivo desempenho acústico (http://www.trl.co.uk/silvia/Silvia/pdf/silvia_guidance_manual.pdf).

No que respeita às experiências nacionais de cada um dos países europeus, refira-se o facto de a Holanda ser um dos países onde a rede rodoviária é das mais densas, em paralelo

com uma elevada densidade populacional. Na sequência destes dois factores, e tendo como objectivo a redução do ruído de tráfego rodoviário, os ministérios dos transportes e do ambiente da Holanda apoiam desde 1979 um dos programas de investigação europeus mais expressivos, o *Noise Innovation Program* (IPG), no âmbito do desenvolvimento de novas abordagens para a redução do ruído, promoção de conhecimento em áreas onde existem lacunas e desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. De igual modo, outros países europeus como a Dinamarca, França e Reino Unido têm desenvolvido muitos trabalhos e experiências nesta área.

3.1.2 Pavimentos com características absorventes sonoras

No que respeita ao estado de conhecimentos no âmbito de pavimentos com características melhoradas de absorção sonora, designados doravante neste relatório como “pavimentos pouco ruidosos”, apresenta-se de seguida uma descrição das realizações práticas deste tipo de superfícies, a qual é subdividida em três categorias, tendo em conta o tipo de optimização introduzida para a redução dos níveis sonoros: superfícies optimizadas a nível de textura; superfícies porosas (drenantes) e superfícies elásticas (Descornet *et al.*, 2006).

A- Superfícies optimizadas a nível da textura

Camada de desgaste em tratamento superficial em resinas epoxídicas (EP-GRIP)

É um tratamento superficial de elevado desempenho e que consiste numa mistura de um ligante de resina, com agregados polidos (naturais ou artificiais) de pequeno tamanho. Este tipo de tratamento superficial, de custos dispendiosos devido à elevada qualidade dos seus componentes, é utilizado somente em zonas críticas, onde é necessário uma elevada resistência à derrapagem, como por exemplo, curvas e intersecções (Descornet *et al.*, 2000). Embora não tenham sido fabricados com o objectivo de minimizar o ruído, em ensaios efectuados em estradas austríacas com este tipo de tratamento superficial (designado comercialmente por ITALGRIP), obtiveram-se, com recurso ao método CPX, reduções dos níveis sonoros devido à interacção pneu-pavimento, da ordem de 7,8 a 8,4 dB(A). Estas reduções foram mais significativas na região das frequências altas, entre os 500 Hz e os 10 kHz, do que nas regiões das frequências inferiores a 500 Hz (Descornet *et al.*, 2006).

Camada de desgaste em tratamento superficial de exposição de agregados (EACC):

Este método consiste em espalhar um conjunto de agentes retardadores (essencialmente açúcar) na superfície de betão fresca, sendo de seguida esta superfície tapada com uma folha de plástico, para evitar a evaporação. Passados um ou dois dias, a folha é retirada e a camada superior de argamassa, que não endureceu (com poucos mm), é removida com recurso a água sob pressão, ficando os agregados expostos. A utilização desta técnica permite obter um bom desempenho no que respeita às emissões sonoras devidas à interação pneu-pavimento (até 3 dB(A), relativamente ao betão betuminoso tradicional), desde que se obtenha uma macrotextura fina e homogénea e o alisamento da superfície seja correctamente efectuado. Um dos principais problemas desta técnica está relacionado com o seu custo, pois é necessária a utilização de agregados de qualidade, em toda a espessura da camada, e não apenas à superfície. A sua principal vantagem consiste na sua elevada durabilidade. Foram efectuadas aplicações experimentais bem sucedidas em países como a Bélgica, Holanda e Áustria (Descornet *et al.*, 2000).

Camadas betuminosas delgadas

As camadas betuminosas delgadas são, na maior parte dos casos, uma mistura de materiais produzida a quente, com uma espessura entre 20 a 40 mm. São constituídas por agregados com elevada percentagem de vazios preenchidos por betume, argamassa ou mastique. Esta designação inclui um conjunto de diferentes tipos de superfícies que, segundo a classificação de Sandberg e Ejsmont, se pode subdividir em três categorias:

- camadas betuminosas muito finas, com espessuras entre 20 e 30 mm;
- camadas betuminosas ultra-finas, com espessuras entre 12 e 18 mm;
- camadas betuminosas em micro-betão, com espessuras entre 6 e 18 mm.

Entre as camadas betuminosas muito finas, encontram-se as de microaglomerado a frio (*Slurry Seal*) e as superfícies ultra-finas granuladas (*ultra-mince grenu*). Na categoria das camadas de betuminosas ultra-finas, estão incluídas as misturas betuminosa de granulometria descontínua, como as misturas asfálticas do tipo SMA (*stone mastic asphalt*), os revestimentos finos descontínuos (*revêtement mince discontinu*), e os revestimentos superficiais delgados com textura aberta (*revêtement mince à texture ouverte*) (Descornet *et al.*, 2006).

As misturas betuminosas do tipo SMA (*stone mastic asphalt*), são constituídas por uma camada de espessura 3-4 mm, com um elevado conteúdo em pedra (entre 70-80%) na qual os vazios da matriz de pedra são preenchidos com betume. Tipicamente o agregado tem uma granulometria de 0/10, e o tamanho dos vazios é de 2/7.

Pode-se dizer que o desempenho acústico das camadas delgadas é um compromisso entre o desempenho acústico das camadas drenantes e o desempenho acústico e durabilidade das misturas betuminosas do tipo SMA. A redução dos níveis sonoros é conseguida por optimização da textura (onde são geralmente utilizados agregados de pequenas dimensões) e não pela absorção do ruído (devido à pequena espessura, o pico na curva de absorção em função da frequência situa-se próximo dos 2000 Hz). Muitas vezes as misturas são reforçadas por adição de fibras. De acordo com resultados obtidos em França, a redução do ruído das camadas delgadas, comparativamente com superfícies de betão betuminoso denso pode chegar a 3 dB(A). Estudos efectuados na Holanda indicam reduções dos níveis sonoros entre 4 a 7 dB(A) para camadas delgadas porosas, e entre 3 a 5 dB(A) para misturas betuminosas do tipo SMA (Descornet *et al.*, 2006).

B- Superfícies porosas (drenantes):

Camadas únicas de betão betuminoso drenante (poroso)

As camadas de desgaste de betão betuminoso drenante têm um conteúdo muito elevado de agregado ligado (tipicamente: 80-85%), e um elevado conteúdo de vazios (tipicamente 20%-15%), em que a forma dos vazios é tal que as águas pluviais circulam entre os vazios comunicantes. Tipicamente uma camada de desgaste em betão betuminoso drenante tem uma espessura de 4 mm (Descornet *et al.*, 2006)

Baseados em medições constantes em estudos franceses e belgas, com recurso ao método de passagem estatística de veículos controlada (conhecido pela sigla CPB), obtiveram-se para as camadas de desgaste em betão betuminoso drenante, reduções médias nas emissões devidas à interacção pneu-pavimento, da ordem de 3 dB(A), quando comparadas com os resultados obtidos em camadas de desgaste de betão betuminoso tradicional. É, no entanto, de salientar a elevada dispersão de valores encontrada, atingindo-se em alguns casos reduções dos níveis sonoros de 9 dB(A). No que respeita aos níveis sonoros globais - embora este valor dependa da percentagem de veículos pesados e das velocidades de circulação dos veículos - com recurso ao método da passagem estatística de veículos (método conhecido pela sigla SPB), foram obtidas reduções da ordem dos 6-7 dB(A), em condições de circulação em que a percentagem de veículos pesados se situava entre 20-30%, e as velocidades médias de circulação de veículos ligeiros e pesados eram respectivamente de 115 km/h e 100 km/h (Descornet *et al.*, 2000).

Estudos alemães conduzidos por Steven, em 1990, referentes à influência do tamanho do agregado no desempenho deste tipo de superfície porosa, constataram, para a velocidade de referência de 50 km/h, uma variação de 2,3 dB(A) com o aumento da granulomeria do

agregado e para uma gama de variação entre 3 e 11 mm, aumentando esta influência com a velocidade de circulação.

Uma das grandes vantagens deste tipo de superfícies, admitindo que os vazios interiores não estão colmatados, é uma elevada drenagem da escorrência superficial da pluviosidade, o que facilita a prevenção da hidroplanagem. Por outro lado, e em condições de piso molhado, é menor a pulverização e projecção de água, o que contribui para a melhoria das condições de visibilidade. A drenagem interna da água da chuva também contribui para a melhoria das condições de visibilidade nocturna, sob condições de piso molhado. Um dos problemas do ponto de vista de segurança rodoviária da aplicação de camadas drenantes está relacionado com a resistência à derrapagem, que é habitualmente menor, quando comparada com o comportamento das camadas densas (Cardoso, 2008).

Pelo contrário, um dos principais problemas deste tipo de camadas de desgaste é a tendência para os poros se colmatarem devido a poeiras, lama, óleo, etc., facto este que pode deteriorar os desempenhos que dependem da drenagem e da porosidade. Para evitar a colmatação dos poros, é utilizada a lavagem periódica do pavimento com água a alta pressão (de 3 em 3 anos, iniciando-se normalmente estes trabalhos no segundo ano). A partir da medição da condutividade hidráulica, antes e depois da lavagem, é possível verificar a eficácia desta operação (Descornet *et al.*, 2000).

No que respeita ao desempenho deste tipo de superfícies ao longo do tempo, resultados de observações efectuadas em França, Alemanha, Reino Unido, Suécia e Bélgica, permitem afirmar que (Descornet *et al.*, 2006):

— Passados 3 a 4 anos da respectiva entrada em serviço, pode-se esperar ainda um desempenho satisfatório. Este desempenho é traduzido por um aumento máximo dos níveis sonoros da ordem dos 2 dB(A), passado o referido período de tempo. Esta constatação é válida, excepto em condições adversas, como por exemplo, a existência de uma camada com uma espessura insuficiente, pequeno conteúdo de vazios, ou então existência de tráfego onde a percentagem de pneus de inverno é significativa.

— A colmatação gradual, parece não ter um efeito significativo de deterioração do seu desempenho acústico. Este facto foi confirmado por meio de experiências, nas quais se obtiveram variações de apenas 2 dB(A), em pavimentos onde foi efectuada uma colmatação intencional dos poros.

Camadas duplas de betão betuminoso drenante (poroso):

Este conceito foi desenvolvido na Holanda, tendo sido construída nos inícios dos anos noventa, a primeira secção com este tipo de superfície. Tipicamente, é uma camada dupla de betão betuminoso drenante, que integra uma sub-camada com uma espessura de 4,5 cm de

betão drenante e agregado de granulometria variável entre 0/14; 0/16 ou 11/16. A camada superior é constituída por um agregado fino (tipicamente 4/8, mas algumas vezes com valores 2/4 ou 2/6) e com uma espessura típica de 2,5 cm.

As camadas duplas de betão betuminoso drenante combinam uma textura superficial óptima (agregados finos densamente compactados), e uma absorção sonora otimizada no espectro de frequências entre 500 – 1000 Hz, devido ao elevado teor de vazios (tipicamente entre 25-30%). Inicialmente o desempenho acústico é excelente, obtendo-se, para veículos ligeiros com velocidades de circulação de 50 km/h, reduções das emissões sonoras entre 4 – 6 dB(A).

As soluções em que na camada superior os agregados são mais finos (2/4 e 2/6) têm um melhor desempenho, em cerca de 1,5 dB(A), relativamente às soluções em que na camada superior os agregados têm maiores dimensões. No entanto, as principais desvantagens das camadas porosas também se encontram nas camadas porosas duplas, que têm tendência para a colmatação dos poros, o que provoca uma degradação da sua eficiência acústica, a uma razão de aproximadamente 1 dB(A)/ ano (Descornet *et al.*, 2006).

Camadas de betão de cimento poroso

O betão de cimento poroso é fabricado, praticamente, com a mesma mistura que o betão betuminoso drenante, sendo utilizado cimento Portland como ligante, em vez de betume. Foi desenvolvida por uma firma holandesa, uma variante desta modalidade, conhecida com a designação comercial de *Modieslab* (www.modieslab.nl). O desempenho acústico do betão de cimento poroso é da mesma ordem de grandeza que o betão betuminoso drenante, sendo no entanto, espectável uma maior durabilidade e uma menor colmatação. No entanto, este facto ainda não foi comprovado experimentalmente. As principais desvantagens deste tipo de superfície residem no seu custo, assim como nas exigências para a respectiva construção.

Pavimentos “euphonic”

O “*euphonic pavement*” pertence ao grupo dos novos tipos de pavimento, e foi desenvolvido por Ejsmont em 1980. A estrutura deste tipo de pavimento consiste numa camada de betão betuminoso poroso, com uma espessura entre os 40-60 cm, disposta sobre uma laje de betão pré-esforçado, a qual inclui ressoadores de Helmholtz (tipicamente com um volume de 500 cm³) projectados para absorver frequências baixas.

É uma extrapolação do tipo de pavimentos com características absorventes sonoras em multi-camada. Experiências em pequena escala mostraram que graças à combinação de duas camadas que absorvem regiões espectrais distintas, é possível a obtenção de um coeficiente de absorção sonora constante igual a 0,6 dB em todo o espectro de frequências. No entanto, a

única experiência realizada em grande escala (numa auto-estrada em Itália, entre Roma e Anagni, no âmbito do projecto europeu S.I.R.U.U.S), os resultados obtidos não foram convincentes. De facto, as medições de ruído efectuadas revelaram um bom desempenho acústico. No entanto era basicamente 1 – 2 dB(A) inferior aos resultados obtidos com as camadas duplas de betão betuminoso drenante, o que, adicionando o seu elevado custo, não justificava a sua construção.

C- Superfícies elásticas:

Misturas betuminosas modificadas com borracha

Podem citar-se como exemplos deste tipo de superfícies as camadas de desgaste de betão betuminoso denso ou de mistura betuminosa do tipo SMA (*stone mastic asphalt*), com uma determinada percentagem de granulado de borracha adicionada à mistura. No processo de adição a seco, os grânulos de borracha são adicionados à mistura betuminosa (tipicamente entre 3% a 6% do peso total), e obtém-se o que se designa na terminologia anglo-saxónica por “*rubberized asphalt*”. No processo de adição de borracha por via húmida, a borracha é pulverizada (até 15%, mas tipicamente 7%), de modo a modificar o ligante (Ripke, 2005). Desde 1999 que são aplicadas em Portugal misturas betuminosas com betume modificado com borracha (BMB), obtida por via húmida, em que o agregado de borracha é obtido pela reciclagem de pneus em fim de vida. As misturas betuminosas utilizadas incorporam no mínimo cerca de 20% de borracha relativamente à massa total do ligante (o processo de fabrico está definido pela norma ASTM D 61). Estas aplicações compreendem misturas rugosas (designadas pela sigla BMB-MR), e misturas abertas (designadas pela sigla BMB-MA). Nas misturas betuminosas rugosas de BMB-MR, a porosidade é da ordem dos 4,5 a 6,5 %, utilizando-se tipicamente camadas com uma espessura variável entre 3 e 6 cm, dependendo da respectiva aplicação. No que respeita às misturas betuminosas abertas BMB-MA, a porosidade é da ordem dos 9 a 15%, utilizando-se tipicamente camadas com uma espessura variável entre 2,5 e 4 cm consoante o projecto de dimensionamento.

De acordo com Sandberg, até 2002 não existia evidência conclusiva de que a adição de pequenas quantidades de borracha a uma mistura betuminosa reduzia os níveis de emissão sonora produzidos pelos veículos em circulação. Em 2004, Donovan efectuou uma campanha de medição comparativa em vários pavimentos rodoviários nos EUA (Arizona e Califórnia) e na Europa, com o seu equipamento de medição pelo método CPX, baseado na técnica de medição por intensimetria acústica. Nesta campanha obteve níveis de emissão sonora entre 94,5 dB(A) e 96,5 dB(A), para pavimentos de dupla camada de betão betuminoso drenante, e níveis de emissão sonora entre 95,5 dB(A) e 97,5 dB(A), para os pavimentos de betão

betuminoso modificado com borracha (RAC). Na Fig. 18 apresenta-se um sumário dos resultados obtidos nesta comparação, para os seguintes pavimentos: camadas de desgaste de betão betuminoso drenante de dupla camada, com agregado de granulometria 2/6 (DLPA 2/6), 4/8 (DLPA 4/8); betão betuminoso drenante, com agregado de granulometria 4/8 (PA 4/8); betão de cimento poroso (PCC); betão betuminoso drenante (LA 138); tipo desconhecido de betão modificado com borracha (LA138 RAC) e betão modificado com borracha (ARFC).

Pela análise dos resultados apresentados na figura é possível verificar que o pavimento com a camada de desgaste de betume modificado com borracha (ARFC) tem uma eficácia na redução do ruído comparável à obtida com as superfícies betuminosas drenantes europeias mais eficientes. Anote-se que as superfícies em ARFC, no Arizona, têm demonstrado uma durabilidade muito significativa, verificando-se uma degradação do seu desempenho acústico ao longo dos anos, a uma razão de 0,3 dB(A) por ano. De facto este valor é muito inferior à degradação típica do desempenho acústico de um pavimento drenante, ao longo do tempo.

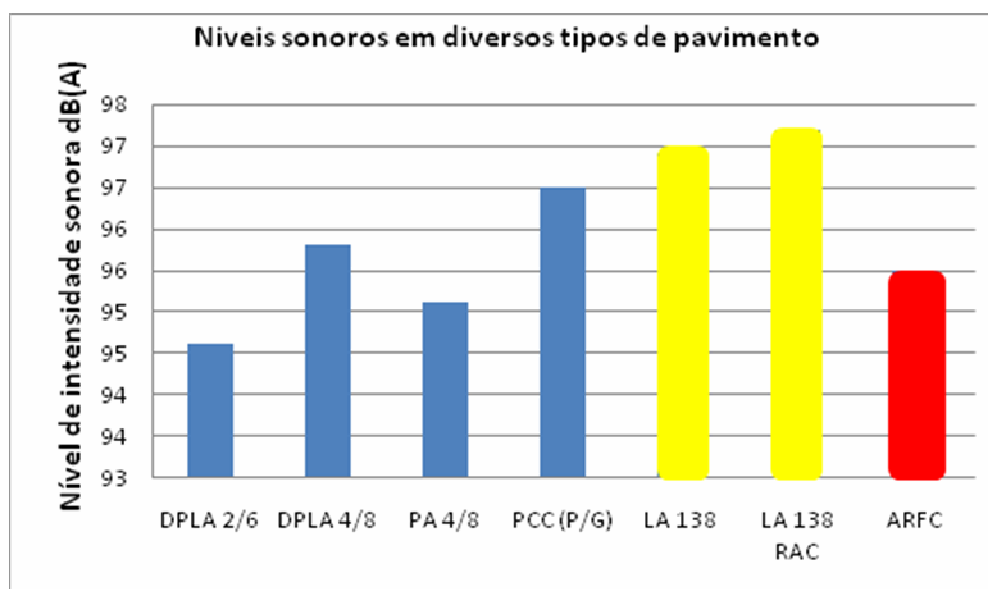


Fig. 18 - Resumos dos resultados obtidos por Donovan em diversos tipos de pavimento; as barras a cor azul, amarela e vermelha correspondem respectivamente a pavimentos existentes na Europa, na Califórnia e no Arizona [figura adaptada de Ripke *et al.*, 2005]

Superfícies poro-elásticas

Uma superfície poro-elástica tem um conteúdo muito elevado de vazios comunicantes (pelo menos de 20% do seu volume), de modo a facilitar a passagem de ar e de água através deles. Esta superfície apresenta uma elevada elasticidade (superfície conhecida pela sigla PERS), uma vez que o agregado principal é constituído por borracha (ou por produtos elásticos) em cerca de 20% da sua massa. Actualmente a mistura típica de PERS consiste em partículas de borracha de forma cúbica, ou partículas de fibra de borracha (derivadas por exemplo da

reciclagem de pneus), areia ou outro agente que melhore a fricção, coladas entre si por meio de uma resina artificial. A espessura típica deste tipo de superfície é de 3-4 cm. A PERS pode ser fabricada no local, ou então pré-fabricada em tapetes, sendo a colagem à camada subjacente efectuada no local. Geralmente este tipo de superfícies apresenta reduções significativas dos níveis sonoros (tipicamente entre 10 até 12 dB(A)). No entanto, ainda apresentam alguns problemas, designadamente uma ligação insuficiente com a camada subjacente, valores insatisfatórios de resistência à derrapagem e deterioração devido à acção da neve. Para além destes problemas, deve-se salientar que as actuais formulações têm custos dispendiosos, encontrando-se actualmente ainda em fase de desenvolvimento. O estado de arte dos conhecimentos relativamente a este tipo de superfícies pode ser consultado em (Sandberg *et al.*, 2005).

3.1.2.1 Síntese das experiências em alguns países europeus

De seguida é apresentada uma síntese das experiências nacionais em alguns países europeus. Esta parte finaliza com uma síntese dos resultados obtidos no projecto europeu *SILVIA*.

Síntese da experiência holandesa

Em 1990 foi desenvolvido na Holanda o conceito de camadas de desgaste drenantes, e em 1997 apareceu um novo conceito - camada dupla, em que a camada superior é constituída por agregados de granulometria muito pequena. A utilização deste tipo de superfície permite uma redução no ruído de tráfego rodoviário entre os 3 a 4 dB(A) para velocidades de circulação de 50 km/h, e reduções de 5,5 dB(A) para velocidade da ordem dos 100 km/h. Os problemas devido a colmatção dos poros podem ser ultrapassados a partir do uso de uma técnica de lavagem, entretanto desenvolvida e designada por "*Keradrain*" (Bochove, 1998).

Estudos efectuados permitiram constatar que, em situações de condução urbana, as misturas porosas não têm desempenhos tão favoráveis como as misturas betuminosas densas, pelo que os holandeses favorecem a utilização de pavimentos betuminosos drenantes (camada única ou dupla) nas auto-estradas e a utilização de pavimentos de camadas betuminosas delgadas em zonas urbanas. Estudos efectuados permitiram constatar que as camadas betuminosas delgadas têm uma relação custo-eficácia mais favorável, embora só permitam uma redução limitada dos níveis sonoros (1 a 3 dB). No caso da Holanda, embora os pavimentos drenantes sejam mais dispendiosos, se forem comparados com os custos associados a implementação de uma barreira acústica, tem uma relação custo - eficácia mais favorável (Gibbs *et al.*, 2005).

Síntese da experiência dinamarquesa

Em 1990, a *Danish Road Directorate* estudou o comportamento das camadas de desgaste de betão betuminoso drenante de camada única em vias rodoviárias com elevadas velocidades de circulação de veículos e em vias urbanas. No primeiro caso foram obtidas reduções de ruído efectivas, enquanto que, no segundo, os resultados não foram tão expressivos. Na Dinamarca foram efectuadas várias campanhas de medições com o intuito de avaliar o desempenho dos pavimentos rodoviários ao longo dos anos. As camadas de desgaste de betão betuminoso drenante, com agregados de granulometria de 8 mm e grande teor de vazios (cerca de 22%), obtiveram o melhor desempenho acústico (reduções nos níveis sonoros entre 3 a 4 dB) ao longo dos anos.

Em 1999, foi iniciado um novo projecto, com a utilização de camadas de desgaste de betão betuminoso poroso de dupla camada, e cujo objectivo é reduzir o ruído de tráfego rodoviário em aproximadamente 2/3 dos edifícios habitacionais expostos a níveis sonoros superiores a 65 dB(A), até ao ano de 2010 (Bendtsen, 2002). No que respeita a avaliações custo-eficácia para as várias medidas de minimização, foram efectuadas análises para três zonas distintas (duas em zonas urbanas e a terceira relativa a uma auto-estrada), considerando três tipos de medida: pavimento com camada de desgaste de betão betuminoso drenante (instalado há apenas 3 anos), barreira acústica e reforço do isolamento sonoro das fachadas. Os resultados obtidos permitiram concluir que, comparativamente às barreiras acústicas e ao reforço do isolamento sonoro das fachadas, a implementação de pavimentos drenantes permite a obtenção de uma razão custo-eficácia mais favorável.

Síntese da experiência austríaca

Na Áustria, os primeiros pavimentos drenantes foram construídos em 1984, tendo-se verificado nos anos seguintes um incremento significativo da sua construção. Actualmente a maior parte deste tipo de pavimento (cerca de 80%) tem um tempo de vida superior a 10 anos. No entanto e após este uso extensivo, a aplicação deste tipo de camada de desgaste é cada vez mais reduzida, tendo em conta os enormes requisitos de manutenção durante o Inverno para este tipo de pavimentos (Litzka, 2002).

Síntese da experiência italiana

Em 1999 foi iniciado um projecto de investigação entre a Universidade de Pisa e a autoridade italiana para as estradas, que conduziu à construção de camadas de desgaste de betão betuminoso drenante (camada única e de dupla camada) em auto-estrada, com um tráfego da ordem de 30000 veículos por dia. Medições efectuadas passados 6 meses mostraram que as reduções dos níveis sonoros das camadas drenantes duplas,

comparativamente com a solução da camada betuminosa tradicional, eram, em média, cerca de 5 dB(A) (Poggi *et al.*, 2000). Até ao ano de 2003, cerca de 35% das auto-estradas estavam pavimentadas com camadas de desgaste de betão betuminoso drenante, com agregados de granulometria 0/16mm. Actualmente a tendência é a de diminuir a granulometria do agregado para 0/11 mm ou 0/8 mm (Gibbs *et al.*, 2005).

Síntese da experiência norueguesa

Em 1989 iniciou-se na Noruega um grande projecto de investigação relativo à mitigação do ruído de tráfego rodoviário usando superfícies poro-elásticas. No âmbito deste projecto, foi construído em Oslo um pavimento com cerca de 35% de teor de vazios e com uma espessura de 19 mm, integrando granulado de borracha de 8 mm de espessura. As medições efectuadas, permitiram constatar uma redução dos níveis sonoros da ordem dos 5-6 dB(A): No entanto o pavimento apresentava alguns problemas importantes, de adesão à camada subjacente (Arnevik, 1999).

Síntese da experiência sueca e japonesa

Desde o início do ano 2000 que o instituto de investigação japonês de engenharia civil (PWRI) e o instituto congénere sueco (VTI) desenvolvem e estudam em conjunto quatro novos tipos de superfícies poro-elásticas. O seu objectivo é o de tentar ultrapassar os problemas principais encontrados nas superfícies poro-elásticas, designadamente: a sua durabilidade, a resistência ao fogo, a adesão à camada subjacente, resistência à derrapagem, e os custos. No que respeita ao desempenho acústico, resultados de medições efectuadas nas quatro superfícies em teste permitiram constatar reduções dos níveis sonoros entre 5 e 15 dB(A), relativamente às soluções de betão betuminoso denso (Sandberg *et al.*, 2000).

Projecto Europeu SILVIA

Nas figuras seguintes, apresenta-se um resumo dos resultados compilados no âmbito do projecto europeu SILVIA (*sustainable road surfaces for traffic noise control*), relativamente aos níveis sonoros emitidos por veículos (ligeiros, veículos pesados de dois eixos e veículos pesados com mais de dois eixos), obtidos pelo método SPB e para valores de velocidades de circulação de 100 km/h (veículos ligeiros) e de 85 km/h (veículos pesados), em diferentes pavimentos rodoviários (Andersen *et al.*, 2006). Anote-se que o objectivo deste projecto de investigação era a avaliação de diferentes tipos de pavimentos “pouco ruidosos” utilizados na

Europa, e estabelecimento de níveis sonoros típicos para o ruído de tráfego rodoviário. Nas figuras seguintes (Fig. 19 e Fig. 20) apresentam-se os níveis sonoros médios, e a respectiva dispersão de valores associada, para os seguintes tipos de pavimentos:

DAC (Ag 8-16 mm)	Betão betuminoso denso
DPAC (Ag 5-11 mm)	Betão drenante de camada dupla
EACC (Ag 10mm)	Betão de cimento com tratamento superficial de exposição de agregados
PAC (Ag 8-16 mm)	Betão drenante
PCC (Ag 8mm)	Betão de cimento poroso
SMA (Ag 8-16 mm)	Mistura betuminosa de granulometria descontínua
TSF (Ag 8 mm)	Camadas delgadas

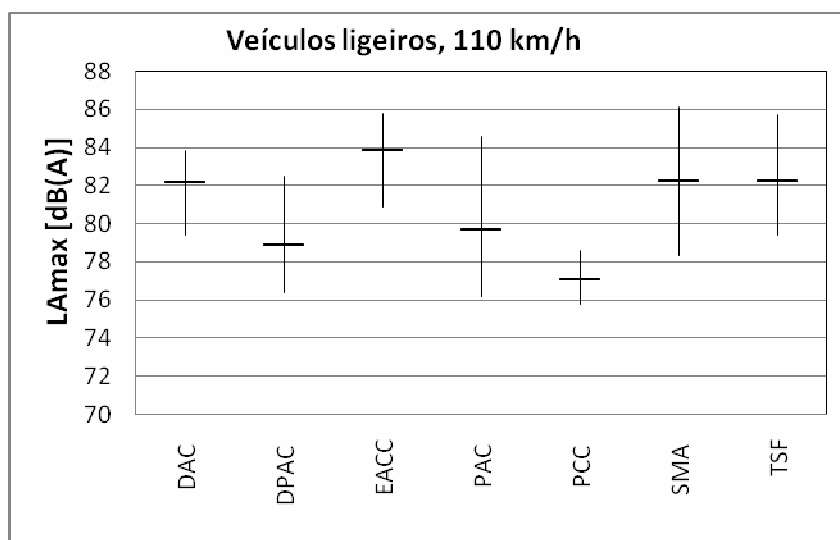


Fig. 19 – Níveis sonoros para veículos ligeiros, em diferentes tipos de pavimento rodoviários e para velocidades de circulação de 110 km/h

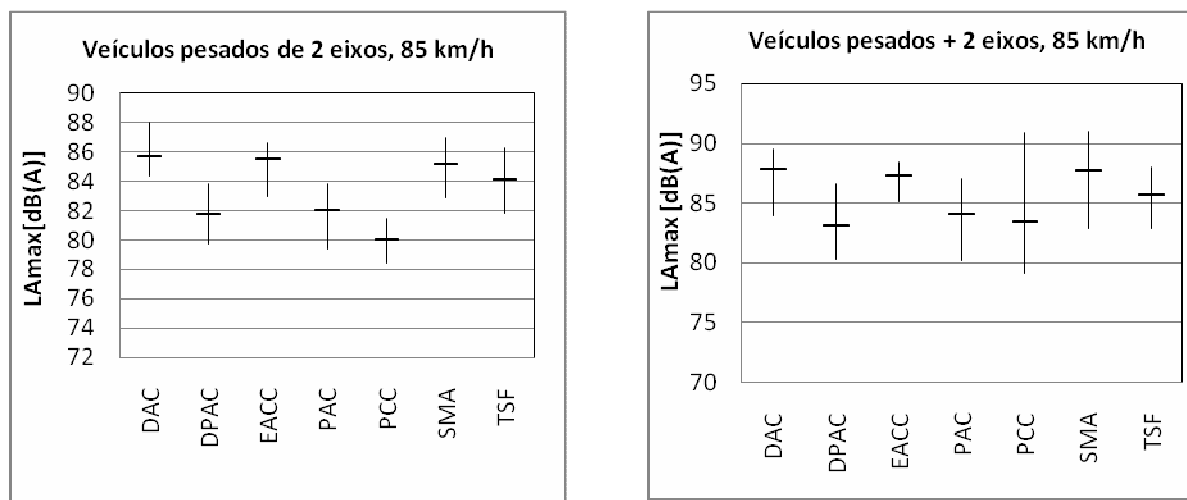


Fig. 20 - Níveis sonoros para veículos pesados, em diferentes tipos de pavimento rodoviários, para velocidades de circulação de 85 km/h

3.1.3 Barreiras acústicas

Por todo o mundo, existem muitos tipos, formas, materiais e configurações de barreiras acústicas, uma vez que a utilização de barreiras acústicas como medida de minimização do ruído de tráfego rodoviário é uma prática comum em vários países. Para uma revisão dos diversos tipos de materiais utilizados em barreiras acústicas, tratamentos superficiais, principais vantagens e inconvenientes de cada solução, sugere-se a consulta da publicação da *Federal Highway Administration*, dos EUA (Fleming *et al*, 2000), acessível em: www.fhwa.dot.gov/environment/noise/design/index.htm).

A interposição de uma barreira acústica interrompe a linha de vista entre a fonte sonora e o receptor, originando fenómenos de reflexão e difracção (pelo topo e bordos laterais da barreira). Na Fig. 21 apresenta-se esquematicamente os efeitos decorrentes dos fenómenos físicos anteriormente referenciados (Certu, 1980).

Em geral, a atenuação de ruído causada por uma barreira depende principalmente da diferença de percurso da onda sonora entre a fonte e o receptor, com e sem a presença da barreira acústica (A+B-D, como se indica na Fig. 21). Este valor é dependente da frequência, verificando-se um decréscimo da atenuação conferida na gama das frequências baixas.

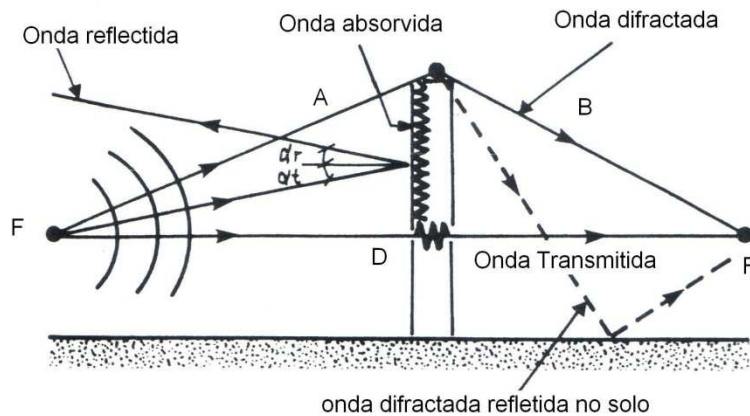


Fig. 21 – Efeitos da interposição de uma barreira entre a fonte sonora e o receptor [figura adaptada de CERTU, 1980]

Para além do tipo de barreiras mais comuns, ou seja as barreiras planas reflectoras, existem barreiras mais eficientes, as quais se podem agrupar em três categorias: as barreiras planas absorventes; as barreiras inclinadas ou encurvadas e as barreiras com topos difractores ou com bordos laterais múltiplos.

As **barreiras acústicas do tipo absorvente** podem ser constituídas por sistemas que integram painéis metálicos perfurados (usualmente de aço, alumínio e aço inoxidável), em que as faces viradas para o lado da via de tráfego incorporam materiais fibrosos no seu interior (normalmente fibra de vidro ou lã mineral). A perfuração dos painéis viabiliza a transferência de energia sonora para o material fibroso que está colocado no interior do painel, originando a absorção de uma parte importante da energia sonora incidente. Este facto reduz o ruído reflectido pela barreira e contribui para a redução dos níveis sonoros na zona envolvente. Neste tipo de barreiras, a sua face de tardo não é perfurada de modo a inviabilizar a transmissão do ruído através da barreira (Watts, 1995). Outros tipos de barreiras absorventes são constituídas por sistemas em que os painéis são constituídos por materiais porosos de textura aberta. Neste tipo de material, o fenómeno de absorção sonora é devido às perdas por fricção nos vazios interligados da camada permeável. Geralmente, neste tipo de sistemas, é necessária uma face de tardo sólida e impermeável, de modo a evitar a transmissão sonora através do painel. Exemplos deste tipo de sistemas incluem painéis construídos em betão com uma estrutura porosa aberta e leve. O último tipo de barreiras absorventes engloba os sistemas que integram cavidades ressonantes. Neste tipo de sistemas, a face virada para a via de tráfego contém fendas ou ranhuras que estão ligadas a cavidades internas. O fenómeno de ressonância ocorre para frequências seleccionadas, de acordo com o dimensionamento geométrico da cavidade interior. De modo a alargar o espectro de absorção em frequência, são, normalmente, incluídos nas cavidades interiores materiais fibrosos absorventes sonoros (Watts, 1995).

Uma alternativa à utilização de barreiras acústicas absorventes planas é a utilização de **barreiras reflectoras com uma determinada inclinação vertical** (variável, usualmente, entre

ângulos definidos com a vertical de 5° e 15°), em direcção ao exterior da via de tráfego. O objectivo desta técnica é conseguir a deflexão, para o espaço superior, da onda reflectida pela face da barreira virada para a via. Deste modo, os receptores localizados próximo do solo podem beneficiar de uma atenuação suplementar. Resultados comparativos entre a utilização de barreiras paralelas planas e barreiras paralelas com uma determinada inclinação vertical, decorrentes da utilização de modelos à escala (Watts, 1995), permitiram concluir que o aumento da perda por inserção devida à instalação de barreiras paralelas reflectoras com uma inclinação de 10° ou superior é similar ao produzido pela utilização de barreiras paralelas absorventes. Um dos principais problemas para a utilização de barreiras acústicas inclinadas é a influência das condições meteorológicas adversas, uma vez que a ocorrência do fenómeno de refacção sonora pode inviabilizar o efeito pretendido com a inclinação da barreira.

Recentemente têm sido desenvolvidos numerosos sistemas, que aparentemente parecem possuir um melhor desempenho acústico do que as barreiras acústicas planas, amplamente utilizadas. Neste âmbito existem dois casos distintos: **as barreiras acústicas com diferentes formas** e **as barreiras acústicas com bordos difractores múltiplos**. Entre as barreiras com diferentes formas, existem as barreiras com topos difractores em forma de T, em forma de Y, e em forma de cilindro. Muitos destes sistemas incorporam materiais absorventes sonoros, ou então cavidades ressonantes projectadas de modo a promover interferências entre as ondas sonoras difractadas. No entanto, um dos problemas com estes últimos tipos de dispositivos é a estreita gama de frequências para a qual a correspondente eficácia é significativa. Comparando com o desempenho de uma barreira plana, com uma altura de 2 metros, a utilização de topos difractores conduz a uma melhoria na eficácia da barreira, em termos médios, que pode variar entre 0,5 a 3,5 dB(A) (Anfosso-Lédée *et al.*, 2005).

Ishizuka (Ishizuka e Fujiwara, 2004) efectuou uma série de estudos teóricos utilizando modelos de simulação para a determinação da eficácia de barreiras acústicas de 3 m de altura, com bordos difractores de diversas formas, e propriedades acústicas específicas (absorventes, rígidas, e não-rígidas), baseados no método de elementos de contorno (BEM). Nas simulações efectuadas, foi utilizado para o ruído de tráfego rodoviário o espectro europeu normalizado, definido na norma EN 1793-3. A fonte sonora estava localizada a uma distância de 8 metros da zona central da barreira que tinha 3 metros de altura. Foram calculadas as perdas por inserção da barreira acústica para 6 posições do receptor, a distâncias de 20, 50 e 100 metros da barreira, e para duas alturas relativamente ao solo (1,5 e 3 metros). No Quadro 4 compilam-se os resultados obtidos para o valor da perda média por inserção da barreira (IL_{média}), para os diferentes tipos de bordos difractores considerados, e a correspondente variação relativamente aos resultados obtidos para uma barreira plana reflectora de 3 metros (variação IL). Saliente-se o facto de o valor correspondente à perda média por inserção da barreira (correspondente ao valor médio das perdas por inserção para as 6 posições do receptor em dB) poder ser considerado como uma medida global do desempenho da barreira, enquanto o parâmetro variação traduz a eficácia dos diferentes tipos de bordos difractores.

Quadro 4 – Resultados obtidos nas simulações de Ishizuka adaptado de [Ishizuka e Fujiwara, 2004].

	IL média [dB]	Varição IL [dB]
Plana		
3m	15,2	0,0
4m	17,3	2,1
5m	18,9	3,7
6m	20,1	4,9
7m	21,1	5,9
8m	22,0	6,8
9m	22,8	7,6
10m	23,4	8,2
Rectangular (espessura de 1m)		
Rígida	16,2	1,0
Absorvente	19,7	4,5
Não-rígida	23,1	7,9
Forma T		
Rígida	17,1	1,9
Absorvente	20,5	5,3
Não-rígida	23,6	8,4
Forma Cilíndrica		
Rígida	14,7	-0,5
Absorvente	19,2	4,0
Não-rígida	22,8	7,6
Forma Cilíndrica Dupla		
Rígida	17,9	2,7
Absorvente	20,4	5,4
Não-rígida	23,3	8,1
Forma Y		
Rígida	18,3	3,1
Absorvente	20,4	5,2
Múltiplos Bordos		
Duplo	17,6	2,4
Painéis laterais	15,4	0,2

A Fig. 22 apresenta as diferentes configurações para os topos difractores, de acordo com o seu desempenho. As configurações da parte superior da figura correspondem ao tipo de barreira acústica mais eficaz. Na primeira coluna da esquerda, apresenta-se a altura que uma barreira plana deveria ter de modo a obter-se a mesma eficácia do ponto vista acústico.

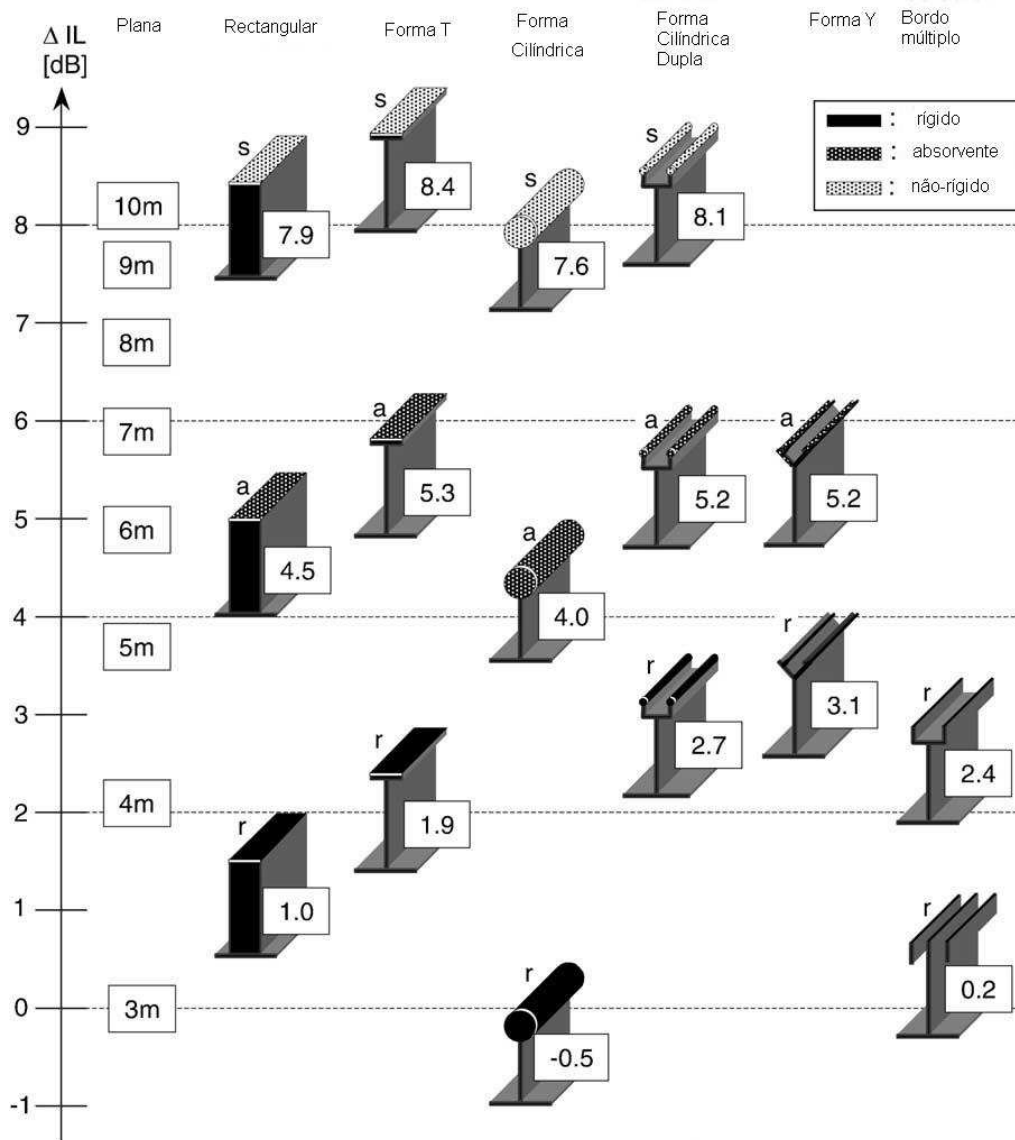


Fig. 22 – Resultados teóricos comparativos do desempenho de diferentes bordos difractores [Figura adaptada de Ishizuka e Fujiwara, 2004].

Em 1995 Watts efectuou uma série de medições experimentais num dispositivo especialmente construído para o ensaio da eficácia dos topos difractores inseridos em barreiras acústicas. Nestas experiências foi utilizada como fonte sonora um altifalante colocado a uma distância de 5,5 e de 7,8 metros da barreira. Foram registados os níveis sonoros às distâncias de 20, 40 e 80 metros por detrás da barreira, para as alturas de 1,5 e 4,5 metros, acima do solo. Foram ensaiados vários tipos de bordos difractores, e comparados os resultados obtidos relativamente a uma barreira com uma altura de 2 metros. Na Fig. 23 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos.

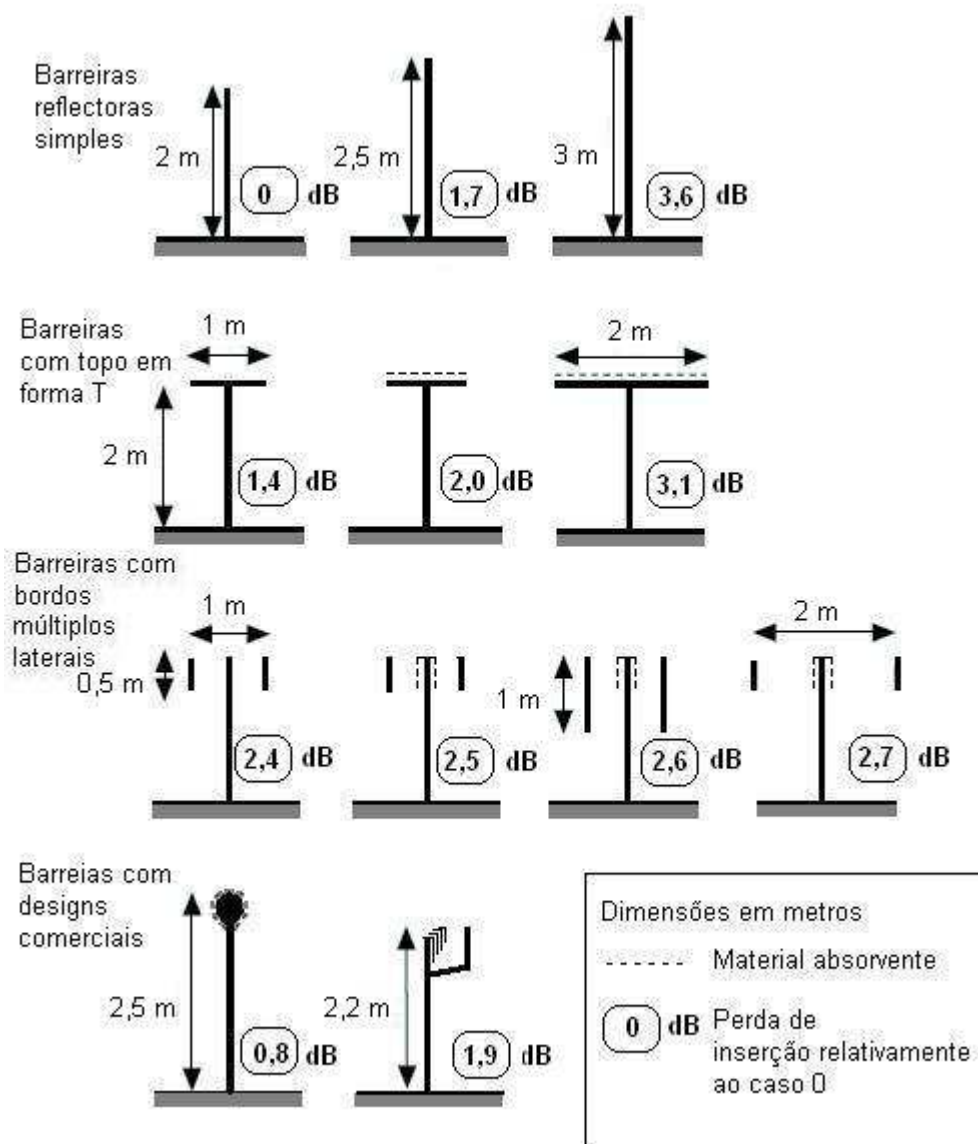


Fig. 23 – Resultados experimentais comparativos do desempenho de diferentes bordos difractors [Figura adaptada de Watts, 1995]

Finalmente há que referir a realização de ensaios em barreiras acústicas que integram dispositivos que permitem o recurso à técnica de controlo activo de ruído, onde se verifica a existência de uma atenuação sonora adicional, relativamente aos valores obtidos com a utilização de bordos difractors com características de absorção acústica. No entanto, para estes estudos somente foram contempladas posições dos receptores relativamente próximas da barreira (até distâncias iguais ou inferiores a 10 metros), pelo que será necessário

contemplar outras distâncias, e formas de actuação do dispositivo de controlo activo de ruído (Anfosso-Lédée *et al.*, 2005).

3.1.4 Redução da velocidade de circulação dos veículos

Um exemplo de combinação de medidas de redução de velocidade e de gestão de ruído foi posto em prática na Áustria, na região de Styria, numa área residencial próxima de uma auto-estrada, com um volume de tráfego superior a 34 000 veículos por dia (dados de 1998), e com uma percentagem de 20% de veículos pesados no tráfego total durante a noite. Uma vez que os métodos convencionais para a minimização do ruído de tráfego, como, por exemplo, as barreiras acústicas, não eram suficientes, optou-se por uma solução de gestão dinâmica de tráfego, em modo interactivo, controlada pelos parâmetros ambientais (Anfosso-Lédée *et al.*, 2005). O sistema implementado baseia-se no princípio de que a velocidade dos veículos tem uma importância significativa nos valores dos níveis sonoros estabelecidos. Neste caso, um sistema de medição de níveis sonoros regista e processa os dados de emissão sonora, e ao qual está associado um sistema de gestão dos dados de tráfego. Estes dois sistemas permitem a identificação dos níveis sonoros devido ao ruído de tráfego rodoviário e, quando os níveis sonoros excedem os limites legais, a activação de um sistema telemático. Em consequência desta activação, é implementada uma redução do limite de velocidade adaptada à situação em causa. As opções para a redução de velocidade que podem ser adoptadas, de acordo com a situação acústica existente no ponto de medição, são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Opções de redução de velocidade implementados, adaptado de [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]

Esquema	Limite de velocidade, veículos ligeiros [km/h]	Limite de velocidade, veículos pesados [km/h]
1	100	80
2	100	60
3	80	60

Com o recurso a este sistema interactivo consegue-se atingir reduções nos níveis sonoros, comparativamente com a situação inicial (limite de velocidade de 130 km/h para veículos pesados e ligeiros), até 6 dB, para os casos das reduções de velocidade mais levadas. Paralelamente a este sistema, foram colocados na auto-estrada painéis informativos, que justificam a necessidade de redução de velocidade. Durante o funcionamento deste sistema, foram efectuadas medições de velocidade, que mostraram a aceitação de uma redução do limite de velocidade de circulação para 80 km/h pela maior parte dos condutores de veículos pesados, enquanto a redução para o valor de 60 km/h somente é aceite por cerca de 10% dos

condutores. No que respeita a veículos ligeiros, cerca de 50% dos condutores adere à redução do limite de velocidade.

3.1.5 Efeitos de combinação de diferentes medidas de minimização

Em princípio, poder-se-ia pensar que o uso simultâneo de barreiras acústicas e pavimentos “pouco ruidosos” se pode traduzir numa solução óptima para a minimização de ruído [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]. De facto os pavimentos com características “pouco ruidosas” actuam na minimização do ruído a nível da fonte sonora, enquanto as barreiras acústicas possibilitam a redução no meio de propagação. A conjugação deste dois tipos de medidas permitirá a redução de ruído em zonas onde as barreiras acústicas são ineficazes, como por exemplo as zonas localizadas fora da região de “sombra” da barreira, ou no lado oposto da via onde está localizada a barreira acústica. No entanto, na generalidade dos casos, devido à dependência em frequência dos fenómenos de propagação, difracção e absorção sonoras, a eficiência global da combinação destes dois tipos de medidas é inferior à adição de cada uma das eficiências individuais. Este facto é confirmado por previsões teóricas, assim como por medições efectuadas “*in situ*” [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]. Em consequência deste resultado, nas situações em que são combinados estes dois tipos de medidas de minimização de ruído, deve-se prestar muita atenção à eficiência espectral associada a cada uma, de modo a que o resultado da combinação seja optimizado.

No que respeita à combinação da utilização de pavimentos com características “pouco ruidosas” e de soluções de reforço do isolamento sonoro de fachadas, devido à variação do isolamento sonoro com a frequência, espera-se que o benefício do pavimento seja inferior no interior das habitações [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005]. Foram realizados estudos experimentais em França [Peyrard, 2001], numa localidade onde ocorreu a substituição do pavimento betuminoso denso (AD) por pavimento de betão betuminoso drenante (AP), numa estrada com duas vias, onde se encontra localizada num dos lados da estrada uma barreira acústica com 2 metros de altura. Neste estudo foram realizadas medições dos níveis sonoros em dB(A) e em bandas de terço de oitava, utilizando o método da passagem estatística de veículos (SPB), com o ponto de medição localizado por detrás da barreira a uma distância de 7,5 m e a uma altura de 1,2 m. A densidade de tráfego era de 2000 veículos por hora, sendo 20% deste volume de tráfego constituído por veículos pesados. No Quadro 6 apresentam-se os níveis máximos de pressão sonora, ponderados A, L_{Amax} (90 km/h) para cada uma das situações analisadas.

Quadro 6 – Resultados obtidos nas experiências de Peyrard, adaptado de [Anfosso-Lédée *et al.*, 2005].

Situação		L_{Amax} dB(A)	Diferença em relação ao Caso A
A	Betão denso	76,9	-----
B	Betão betuminoso drenante	74,3	-2,6
C	Betão denso + Barreira 2m	66,0	-10,9
B	Betão drenante + Barreira 2m	64,5	-12,4

A análise dos resultados do quadro anterior permite constatar que o benefício da utilização do pavimento drenante, sem a presença da barreira, é da ordem dos 3 dB(A), enquanto que a perda por inserção da barreira com o pavimento de betão denso é de 11 dB(A) e cerca de 12,4 dB(A) para o pavimento drenante. O benefício máximo resultante da combinação das duas medidas de minimização é de 12,4 dB(A), inferior ao valor correspondente à adição do benefício de cada medida: $10,9 + 2,6 = 13,5$ dB(A). Pela análise dos resultados obtidos por bandas de oitava (Fig. 24), verifica-se que o pavimento drenante não tem nenhum efeito significativo abaixo da banda de oitava dos 1000 Hz. No entanto, o autor desse estudo indica que a combinação destes dois tipos de medidas de minimização de ruído pode ser interessante, uma vez que a utilização de pavimentos com características “pouco ruidosas” permite a redução da altura ou do comprimento da barreira acústica, para obtenção do mesmo desempenho, e conseqüente redução dos custos de construção das barreiras.

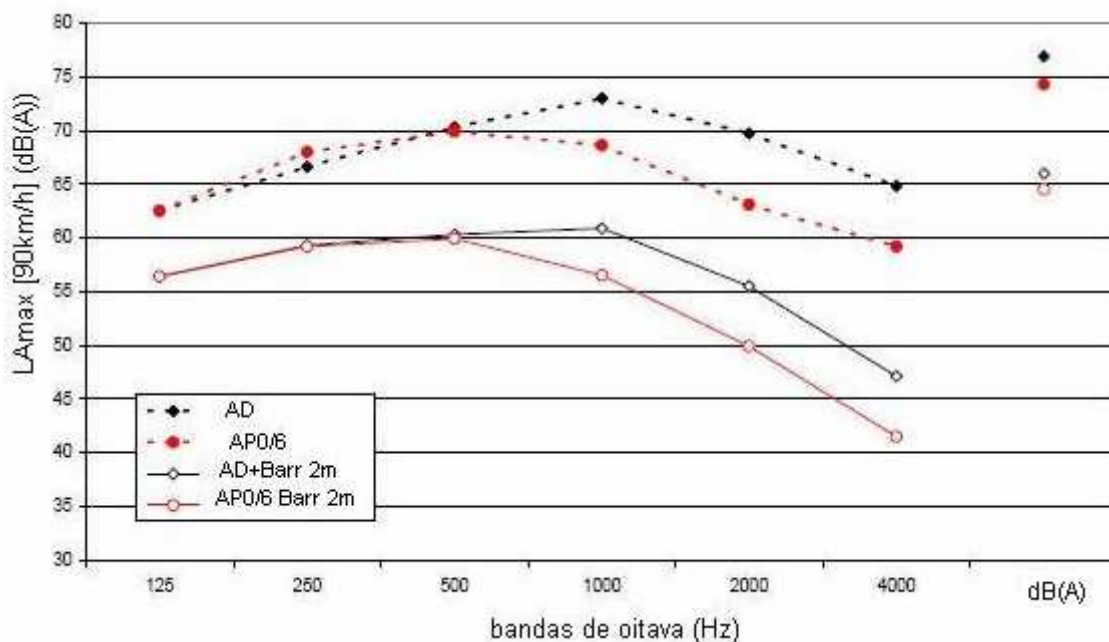


Fig. 24 – Resultados das medições da passagem estatística de veículos, obtidos por Peyrard, com e sem a barreira [Figura adaptada de Anfosso-Lédée et al., 2005]

Embora, também, à partida se possa supor que, no interior de uma habitação, a combinação de um pavimento “pouco ruidoso” com o reforço do isolamento sonoro do local receptor consista numa solução otimizada para a redução do ruído de tráfego rodoviário, devido à dependência (em função da frequência) do isolamento sonoro dos elementos construtivos, e das características do espectro do ruído de tráfego rodoviário, o efeito da combinação destas duas medidas é geralmente inferior ao esperado pela adição dos benefícios específicos de cada uma.

De modo a ilustrar o facto anteriormente descrito, apresenta-se a evolução, em função da frequência, do isolamento sonoro das fachadas, obtida a partir de medições do isolamento sonoro padronizado com recurso ao tráfego rodoviário ($D_{tr,2m,nT}$), para diferentes regimes de funcionamento (Vermeir, 2004), e o espectro do ruído de tráfego rodoviário, obtidos a partir de medições dos níveis sonoros recorrendo ao método SPB (Sandberg et al., 2002), em pavimentos rodoviários com uma camada de betão betuminoso denso (AC8) e pavimento drenante de camada dupla (neste caso ambos os pavimentos estavam em funcionamento há um ano). A Fig. 26 apresenta uma estimativa do nível sonoro no interior do compartimento de habitação ao qual corresponde o isolamento sonoro da fachada apresentado na Fig. 25, resultante da subtracção do valor do isolamento sonoro em função da frequência do espectro do ruído de tráfego rodoviário.

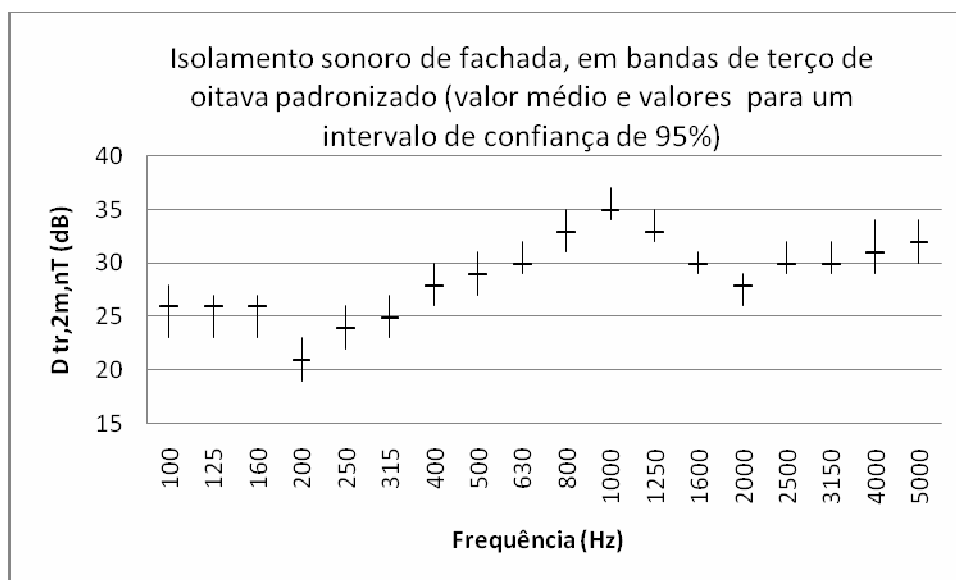


Fig. 25 – Isolamento sonoro de fachada, padronizado, obtido para tráfego rodoviário, em diferentes regimes de funcionamento [Figura adaptada de Anfosso-Lédée et al., 2005]

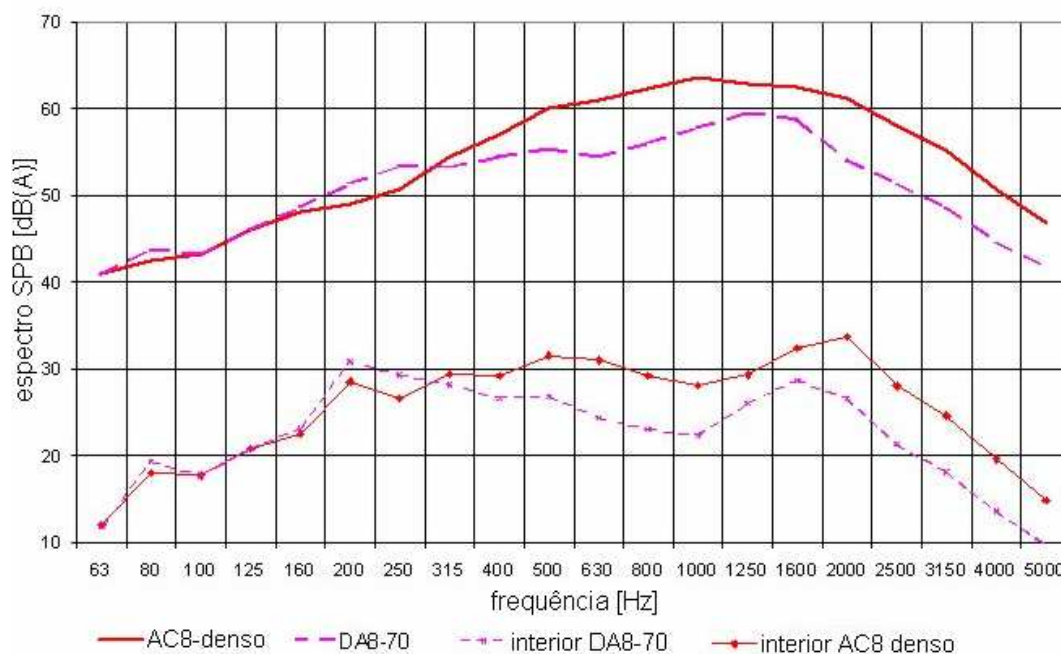


Fig. 26 – Resultados das medições da passagem estatística de veículos, para os pavimentos com camada de desgaste de betão betuminoso denso (AC) e betão drenante em dupla camada (DA), e correspondentes espectros no interior de uma habitação [Figura adaptada de Anfosso-Lédée et al., 2005]

Neste exemplo, o nível do ruído ambiente no exterior era de 72 dB(A) na situação em que a camada de desgaste do pavimento rodoviário é de betão betuminoso denso (AC), e de 67,5 dB(A) para o pavimento “pouco ruidoso” (Anfosso-Lédée et al., 2005). A redução dos níveis sonoros devido à utilização deste tipo de pavimento é de 4,5 dB(A). No interior do edifício, o nível sonoro global calculado é de 42,0 dB(A), na situação em que a camada de desgaste é de betão betuminoso denso (AC), e de 38,9 dB(A) para a situação correspondente à utilização do pavimento “pouco ruidoso”. Na circunstância, é possível constatar que o efeito da combinação das duas medidas de minimização no interior do compartimento se traduz numa diminuição da eficácia devido à utilização do pavimento “pouco ruidoso” de 1,4 dB(A).

3.2 Avaliação da eficácia de vários sistemas de minimização de ruído em Portugal

Este capítulo é dedicado à avaliação da eficácia das medidas de minimização de impactes ambientais na componente acústica do ambiente, efectuada a partir de uma recolha, efectuada em 2006, da informação relativa a medidas de minimização de impactes ambientais e respectivos programas de monitorização, existente nos arquivos EP, S.A., tendo sido os aspectos mais importantes introduzidos na Base de Dados MIA.mdb.

3.2.1 Enquadramento legislativo

A caracterização do impacte ambiental relacionado com o descritor ruído, para infra-estruturas de transporte, engloba a previsão dos níveis sonoros directamente relacionados com o tráfego rodoviário e a avaliação da correspondente influência (ruído estabelecido) nos locais de ocupação sensível, como por exemplo, habitações, escolas ou hospitais.

A adopção de medidas de minimização é focada nos receptores sensíveis, e depende da verificação da conformidade dos níveis sonoros exteriores com valores máximos permitidos pela legislação portuguesa. Dado que a informação consultada, no âmbito deste projecto, se reportava, na maior parte dos casos, a anos anteriores a 2006, os estudos foram todos realizados de acordo com o enquadramento legislativo do ruído ambiente anteriormente em vigor, designadamente o Regulamento Geral sobre o Ruído (aprovado pelo Decreto-Lei nº 251/87, de 24 de Junho, e válido até Maio de 2001) e posteriormente o Regime Legal de Poluição Sonora (aprovado pelo Decreto-lei nº 292/2000, de 14 de Novembro de 2000), que preconizavam para a fase de exploração de uma infra-estrutura de transporte as seguintes disposições:

- No caso do Regulamento Geral sobre o Ruído, o artigo 28º estabelecia que as entidades responsáveis pelo planeamento de vias de tráfego rodoviário ou ferroviário deveriam ter em conta a necessidade de evitar que o ruído decorrente da sua utilização viesse a prejudicar as utilizações existentes ou previstas para as zonas envolventes (evitando a alteração da classificação dos locais em estudo) e, se necessário, promover a adopção de medidas adequadas de protecção. Para efeitos de aplicação deste Regulamento, os locais para implantação de edifícios eram classificados como pouco ruidosos, ruidosos e muito ruidosos, de acordo com os valores do nível sonoro do ruído ambiente, que eram excedidos, num período de referência (período diurno, das 7h às 22 h e período nocturno, das 22h às 7h) em 50% da duração deste (L_{A50}), verificando-se: para os locais pouco ruidosos $L_{A50} \leq 65$ dB(A) no período diurno e $L_{A50} \leq 55$ dB(A) no período nocturno; nos locais ruidosos $L_{A50} \leq 75$ dB(A) no período diurno e $L_{A50} \leq 65$ dB(A) no período nocturno; aos locais que não estão contemplados na definição de locais pouco ruidosos e de locais ruidosos era-lhes atribuída a classificação de locais muito ruidosos.
- No caso do Regime Legal de Poluição Sonora, o artigo 15º, respeitante às Infra-estruturas de transporte, estabelecia que as entidades responsáveis pelo planeamento ou pelo projecto das novas infra-estruturas de transporte deviam adoptar as medidas necessárias para que a exposição da população ao ruído no exterior não ultrapassasse

os níveis sonoros estabelecidos no critério de exposição máxima, para as zonas sensíveis e mistas. Este critério preconizava que nas zonas sensíveis (definidas no âmbito do referido regulamento como áreas vocacionadas para usos habitacionais, existentes ou previstos, escolas, hospitais, espaços de recreio e lazer) o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, L_{Aeq} do ruído ambiente exterior, não pudesse ser superior a 55 dB(A) no período diurno (7h às 22h) e 45 dB(A) no período nocturno (22h às 7h), e que as zonas mistas (definidas como áreas cuja ocupação era afectada a outras utilizações, para além das referidas na definição de zonas sensíveis, nomeadamente a comércio e serviços) não pudessem ficar expostas a um nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, L_{Aeq} , do ruído ambiente exterior, superior a 65 dB(A) no período diurno e 55 dB(A) no período nocturno. Esta legislação estabelecia, ainda, um prazo de dois anos para que as infra-estruturas de transporte já existentes respeitassem o novo regime jurídico e, sempre que fossem identificadas situações de ultrapassagem dos níveis sonoros expressos no critério de exposição máxima, a obrigatoriedade de elaboração de planos de monitorização e redução de ruído.

Durante a elaboração deste estudo, entrou em vigor um novo quadro legal relativo a ruído ambiente - o Decreto-lei n.º 146/2006, de 31 de Julho - que transpõe para o direito interno a Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, e no Decreto-lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído. Neste contexto é definido um novo parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente: o indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno (L_{den}), expresso em dB(A), associado ao incómodo global. Este indicador corresponde a uma média ponderada de três indicadores de ruído: indicador de ruído diurno (L_d), indicador de ruído do entardecer (L_e) e indicador de ruído nocturno (L_n), baseados no nível sonoro contínuo equivalente, e referenciados, respectivamente ao período diurno (das 7 às 20 horas), ao período do entardecer (das 20 às 23 horas) e ao período nocturno (das 23 às 7 horas). A ponderação afecta a cada indicador traduz para os períodos diurno e do entardecer o incómodo induzido pelo ruído no período de referência associado, e para o período nocturno a perturbação do sono. Estes indicadores são determinados durante uma série de períodos representativos de um ano.

Para infra-estruturas de transporte, o artigo 11º do Regulamento Geral do Ruído, estabelece os valores limites para ruído ambiente exterior, em função dos indicadores de ruído L_{den} e L_n para as zonas classificadas como sensíveis no plano municipal de ordenamento do território (considerando-se como zona sensível, a área definida como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período nocturno), para as zonas classificadas como mistas (áreas cuja ocupação seja afectada a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível) e para os receptores

sensíveis (o edifício habitacional, escolar, hospitalar ou similar ou espaço de lazer, com utilização humana).

No quadro legal anteriormente apresentado, as zonas mistas não devem ficar expostas a um valor de L_{den} superior a 65 dB(A), e a um valor de L_n superior a 55 dB(A), e as zonas sensíveis não devem ficar expostas a um valor de L_{den} superior a 55 dB(A), e L_n superior a 45 dB(A). Os receptores sensíveis não devem ficar expostos a um valor de L_{den} igual ou superior a 63 dB(A), e L_n igual ou superior a 53 dB. Se a infra-estrutura de transporte rodoviário tiver mais de três milhões de passagens de veículos por ano, sendo neste quadro legal considerada como grande infra-estrutura de transporte, as zonas sensíveis na sua proximidade não devem ficar expostas a um valor de L_{den} superior a 65 dB(A), e a um valor de L_n superior a 55 dB(A), desde que esta infra-estrutura exista em exploração à data da entrada em vigor do Regulamento Geral do Ruído. No caso de grandes infra-estruturas de transporte não aéreo, **projectadas** à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento do território, os valores limites para o ruído ambiente no exterior, nas zonas sensíveis, sofrem uma redução, não devendo ficar expostas a um valor de L_{den} superior a 60 dB(A), e L_n superior a 50 dB(A).

Finalmente deve-se referenciar que o Regulamento Geral do Ruído preconiza uma ordem hierarquizada para a implementação das medidas de minimização de ruído, privilegiando as medidas de minimização de ruído na fonte, de seguida as medidas de minimização no meio de propagação e por último, quando comprovadamente esgotadas as medidas referidas anteriormente e desde que não subsistam valores de ruído ambiente exterior que excedam em mais de 5 dB(A) os valores limites, podem ser adoptadas medidas de minimização de ruído nos receptores sensíveis que proporcionem conforto acústico acrescido no interior dos edifícios

3.2.2 Considerações gerais e metodologia adoptada

Com base na informação recolhida, realizaram-se algumas visitas de campo, as quais foram usualmente antecedidas de reuniões com as entidades concessionárias. No Quadro 7 apresenta-se a calendarização das visitas realizadas.

Quadro 7– Calendarização das visitas de campo efectuadas

Estrada e lanço	Data da visita
A24/ IP3 Vila Real-Régua (IP4)/Falperra- Pedras Salgadas, Pedras Salgadas- EN103 e EN103- Chaves (Fronteira)	Junho de 2007
A27/ IP9 Nogueira-Estorãos e Estorãos-Ponte de Lima	Setembro de 2007
A7 Calvos- Fafe Sul/ Fafe-Ribeira da Pena/ Ribeira da Pena- Vila Pouca de Aguiar	Junho de 2007
A11 Braga – Guimarães, Felgueiras, Lousada	Junho de 2007
A22/ IC4 Guia-Alcantarilha – Lagoa-Lagos	Setembro de 2007

As visitas foram usualmente documentadas com fotos, e sempre que possíveis foram realizadas algumas medições de níveis sonoros. O Quadro 8 apresenta as estradas para as quais se consultaram os projectos de execução de medidas de minimização do ruído, e que foram objecto de visitas durante esta fase.

Quadro 8 - Estradas com projecto objecto de visitas de avaliação

Estrada	Troço da estrada	Tipo de medida
A11	Calvos Vizela- Vizela Felgueiras	Camada de desgaste: Betão betuminoso drenante
	Felgueiras Lousada	Barreira acústica artificial
A24/IP3	IP4- Fortunho	Barreira acústica natural
		Barreira acústica artificial
		Camada de desgaste: Micro betão betuminoso
	Fortunho –Falperra	Camada de desgaste: Micro betão betuminoso
	Pedras Salgadas - EN103	Barreira acústica artificial
Barreira acústica natural		
EN103 - Chaves (Fronteira)	Camada de desgaste: Micro betão betuminoso	
A27/IP9	Nogueira - Estorãos	Barreira acústica natural
	Estorãos - Ponte de Lima	Camada de desgaste: Betão betuminoso drenante
A22/ IC4	Lagos - Lagoa	Barreira Acústica artificial

3.2.3 Síntese metodológica

Na primeira fase, e tendo por princípio uma observação no campo, logo após a construção da medida, deve-se verificar se a medida de minimização instalada cumpre na totalidade, parcialmente, ou não cumpre de todo, o estabelecido no estudo de impacte ambiental e no projecto de execução, comparando-se, por exemplo, o grau de concordância entre os aspectos técnicos e processuais da medida proposta com a respectiva implementação. Aos desvios encontrados deve ser atribuída uma escala de avaliação ponderada. Por exemplo, o grau de eficácia de uma barreira vai depender, não só das propriedades acústicas dos materiais, dos painéis que a constituem e do correcto dimensionamento para o fim a que se destina, mas também dos elementos e sistemas de construção utilizados (união entre estruturas, juntas de dilatação, elementos de apoio, etc.). Por exemplo, a existência de espaçamentos entre painéis ou o seu incorrecto assentamento e ligação à estrutura de suporte, como também a existência de aberturas para drenagem de águas, incorrectamente localizadas, reduzem o desempenho global da barreira acústica, permitindo a propagação das ondas sonoras.

As figuras seguintes apresentam fotografias de alguns problemas encontrados nas visitas de campo, referentes a deficiente selagem e a deficiente união entre os painéis da barreira e a estrutura de suporte (Fig. 27) e (Fig. 28).



Fig. 27 - Exemplos de problemas de deficiente selagem



Fig. 28 - Exemplos de problemas de deficiente união entre estruturas

Numa segunda fase (tendo também como base a observação em campo, logo após a construção da medida de minimização) deverão ser considerados aspectos de apreciação de natureza qualitativa, tais como:

- Integração da medida de minimização no ambiente exterior tendo em atenção, por exemplo, o tipo de barreira acústica a utilizar, bem como os materiais propostos, que devem ser adaptados a diferentes formas, cores, texturas, etc., de modo a permitir concepções estéticas e arquitectónicas diferenciadas nas mesmas, viabilizando uma integração com as cores, tons, texturas dos elementos naturais e artificiais que compõem a paisagem envolvente. Esta perspectiva privilegia a selecção de barreiras do tipo natural, em zonas de natureza essencialmente rural. Um exemplo deste tipo de actuação consiste na utilização de obstáculos formados por amontoamentos de terra com grande espessura na base, geralmente cobertos com terra vegetal e outros elementos para facilitar a revegetação e crescimento de plantas. Outra possibilidade é a utilização de barreiras acústicas do tipo “natural”. Na Fig. 29 apresentam-se dois exemplos deste tipo de barreiras, utilizados em Portugal.



Fig. 29- Exemplos de barreiras acústicas do tipo “natural”

- Aspectos relacionados com processos de manutenção da medida de minimização durante o respectivo ciclo de vida, como por exemplo, verificar se os materiais constituintes da barreira são capazes de fornecer uma impressão visual agradável a partir de uma manutenção regular, ou qual a periodicidade indicada para a substituição dos elementos constituintes, assim como a adequabilidade do plano de manutenção previsto. Na Fig. 30 apresentam-se fotografias que demonstram o resultado de um deficiente programa de manutenção.



Fig. 30- Exemplos de ausência de programas de manutenção adequados

- Aspectos relacionados com a segurança, como, por exemplo, se a estrutura obstrui acessos em caso de emergência ou de incêndio, com o adequado planeamento de portas de segurança (fotografia do lado esquerdo da Fig. 31), ou então a utilização de estampagens em barreiras transparentes, com a finalidade de evitar o choque de aves (fotografia do lado direito da Fig. 31).



Fig. 31- Exemplos de aspectos de segurança a ter em conta no planeamento de barreiras acústicas

- Aspectos relacionados com a colocação da barreira relativamente ao receptor a proteger, como por exemplo, verificar se existe espaço suficiente entre a barreira e as habitações a proteger de modo a permitir a iluminação natural nos compartimentos da habitação (na Fig. 32 apresentam-se duas fotografias onde este aspecto não foi tido em consideração).



Fig. 32 - Exemplos de sombreamento em habitações provocado por barreiras acústicas

- Devem-se também ter em conta os aspectos relacionados com a adequação da geometria de implantação da barreira. Sabe-se que, para se obter um melhor desempenho na instalação de uma barreira, é na generalidade aconselhável que esta seja colocada o mais próximo da estrada, desde que a fonte e o receptor estejam ao mesmo nível, ou que a estrada esteja elevada relativamente ao receptor, de modo a maximizar a diferença de percurso das ondas sonoras devida à presença da barreira. Obviamente que a optimização da configuração geométrica deve ser efectuada por recurso a um adequado modelo matemático dos fenómenos físicos em causa, existindo para o efeito uma série de programas de cálculo comerciais disponíveis. Nestas situações, é de salientar a importância da adequada exactidão dos dados de entrada do modelo, no que diz respeito aos dados de emissão (percentagem e quantidade de veículos ligeiros e pesados, respectivas velocidades de circulação, correcções relativas ao tipo de pavimento), à geometria do problema (localização de receptores e da via rodoviária, modelo digital do terreno), e condições atmosféricas do local. Na Fig. 33 apresenta-se uma fotografia ilustrativa de uma configuração geométrica barreira-receptor, onde a eficácia é reduzida. Saliente-se, também, a importância da identificação dos receptores para os quais a medida de minimização foi dimensionada (por exemplo a partir da utilização de ortofotomapas), pois a possível implantação de novas habitações junto à infra-estrutura poderá originar reclamações no futuro próximo, que nada têm a ver com a eficácia da medida de minimização em avaliação.



Fig. 33 - Exemplos de implantação geométrica barreira-receptor de reduzida eficácia

- Aspectos referentes à aceitação das populações relativamente às medidas de minimização propostas no EIA-PE (antes da respectiva implementação), e posteriormente, durante a pós-avaliação com a monitorização das percepções das populações relativamente à implementação da estrada e das medidas de minimização associadas.

Finalmente há que ter em conta aspectos de natureza quantitativa, como por exemplo, a perda por inserção de uma barreira, considerando-se que o seu desempenho será considerado eficiente se a respectiva perda por inserção for positiva, e insuficiente, se tal não suceder (para um maior detalhe sobre o método de medição associado, consultar o capítulo 8).

A partir da comparação dos valores dos níveis sonoros prospectivados no EIA-PE (antes da instalação da barreira) e dos relatórios de monitorização, para um determinado ano horizonte e para um receptor localizado na “região sombra” de uma determinada barreira acústica, será possível ter uma estimativa indirecta da respectiva perda por inserção, desde que os dados de entrada utilizados no modelo de previsão continuem a ser válidos, designadamente os dados referentes ao fluxo e composição do tráfego, e que as medições tenham sido efectuadas com as condições meteorológicas contempladas no modelo de previsão (esta condição assume particular importância para receptores localizados a distâncias superiores a 200 metros da rodovia), para além da não existência, durante as medições, de contribuições significativas de outras fontes sonoras, não contempladas no modelo de previsão.

Uma metodologia idêntica, do tipo comparação dos valores prospectivados com os resultados das monitorizações efectuadas, pode ser também utilizada para a avaliação da eficácia de outras medidas de minimização, desde que os dados de entrada do modelo de previsão continuem válidos, e tenham sido aferidos para as medidas de minimização utilizadas em Portugal. Se tal não for o caso, dever-se-á proceder a um ajuste do modelo de previsão, com a introdução de dados relativos ao fluxo de tráfego, respectiva

composição e velocidades mais adequados aos valores encontrados durante as campanhas de monitorização e, no caso dos receptores mais afastados da rodovia, a um estudo da representatividade das condições meteorológicas consideradas.

Refira-se, contudo que este tipo de avaliação indirecta possui também um grau de subjectividade, ligado sobretudo às incertezas associadas ao modelo de previsão do ruído e à medição dos níveis sonoros.

Capítulo 4: Análise dos resultados de programas de monitorização

4.1 Enquadramento

As informações descritas nesta secção dizem respeito à monitorização efectuada pelas concessionárias das estradas (ou por empresas de consultadoria em engenharia ou universidades, contratadas pelas primeiras), que se podem sintetizar nos seguintes procedimentos operativos, tendo em conta que os estudos consultados foram todos realizados no âmbito dos anteriores enquadramentos legislativos para o ruído ambiente.

- 1) O parâmetro avaliado é o nível sonoro médio de longa duração, $L_{Aeq,LT}$, obtido a partir da evolução do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, ao longo de séries de intervalos de tempo de referência (períodos diurno ou nocturno), nos receptores identificados no EIA;
- 2) Regra geral as medições abrangiam os dois períodos de referência (diurno – 7h às 22h e nocturno – 22h às 7h), sendo realizadas duas campanhas por ano, uma no período do Inverno e outra no período do Verão;
- 3) Em cada ponto em avaliação, devem ser realizadas medições para dois dias típicos de tráfego (considerado como um dia em que o tráfego se aproxima do tráfego médio diário anual) e para os dois períodos de referência.
- 4) Cada medição deve ter, no mínimo, uma duração média de 30 minutos, ou então uma duração temporal até que se obtenha a estabilização do sinal sonoro ($L_{Aeq,T}$).
- 5) Durante as medições, deveriam também ser registados parâmetros complementares, como, por exemplo, os volumes de tráfego e percentagem de pesados, a velocidade média de circulação dos veículos ligeiros e pesados e as condições meteorológicas
- 6) Em alternativa à realização de uma campanha de monitorização baseada em medições, poder-se-ia recorrer a modelos de previsão do ruído de tráfego rodoviário, reportados a um período temporal de previsão de um ano. Caso a infra-estrutura rodoviária apresentasse marcadas flutuações sazonais de tráfego, deveria ser efectuada uma previsão adicional, reportada ao mês mais crítico.

Anote-se o facto de a actual legislação em vigor (Regulamento Geral do Ruído), introduzir um novo indicador de ruído, que deve ser determinado durante uma serie de períodos representativos de um ano. No capítulo 7 são apresentadas linhas de orientação para a realização de monitorizações de ruído, tendo em conta este novo indicador.

4.2 Monitorização das A10, A2 e A22

De seguida é efectuada uma breve análise dos resultados dos programas de monitorização consultados. Relativamente a este último tema, referem-se dois aspectos importantes. O primeiro diz respeito ao número limitado de programas de monitorização consultados, pois somente a A10, a A2 e a A22 apresentavam relatórios ou dados de monitorização, à data de realização das consultas efectuadas no âmbito deste projecto. O segundo relaciona-se com a publicação de um novo acervo legislativo, constituído por dois decretos-leis, o DL n° 146/2006, de 31 de Julho, que transpõe para a legislação portuguesa a directiva europeia relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente (Directiva 2002/49/CE), e o DL n° 9/2007, de 17 de Janeiro, que aprova o novo regime de prevenção e controlo da poluição sonora, designado por Regulamento Geral do Ruído.

Nos Quadros 9, 10 e 11 apresentam-se os resultados das campanhas de monitorização realizadas, para o troço Bucelas- Arruda dos Vinhos da A10, respectivamente, em receptores localizados por detrás de barreiras acústica, em receptores para os quais está prevista a respectiva monitorização e em receptores em cujas proximidades está prevista a implantação de barreiras acústicas, no ano de 2030..

De um modo geral, os relatórios consultados cumprem os pontos 1), 2), e 4), assinalados da alínea 4.1. No entanto, não existe indicação relativa ao volume de tráfego e percentagem de pesados durante a medição, de modo a possibilitar uma avaliação da representatividade destes valores, relativamente à média anual. No que respeita às condições meteorológicas não é indicada a direcção do vento, de modo a permitir a respectiva classificação em condições favoráveis ou desfavoráveis à propagação sonora desde a via até ao receptor, nas situações em que os pontos receptores estão distanciados mais de 100 m da infra-estrutura em avaliação.

Quadro 9 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Bucelas- Arruda dos Vinhos da A10, em receptores localizados por detrás de barreiras acústicas [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]

Ponto	Data	Parâmetro	Período	Valor dB(A)	Temp. (°C)	Vento Vel. (m/s)
900 W Localizado por detrás da barreira acústica km 800-1050 W	06-2004	LAeq	D	47	27	1
		L50	D	44	27	1,5
		LAeq	N	43	12,5	1,5
	11-2004	L50	N	40	12,5	1,5
		LAeq	D	48	18,5	2
		LAeq	D	43	18,5	0,5
		L50	N	41	9,5	2
L50	N	37	9,5	0,5		
5350 W Localizado por detrás da barreira acústica km 5800-6425 W	06-2004	LAeq	D	46	27-28	1-2
		LAeq	N	43	12-13	1-2
		L50	D	41	27-28	1-2
	11-2004	L50	N	40	12-13	1-2
		LAeq	D	47	18-19	1,5-3
		LAeq	N	42	9-10	0-0,5
		L50	D	46	18-19	1,5-3
L50	N	37	9-10	0-0,5		
6250 W Localizado por detrás da barreira acústica km 5800-6425 W	06-2004	LAeq	D	50	27,5	1,5
		LAeq	N	45	12,5	1,5
		L50	D	49	27,5	1,5
	11-2004	L50	N	43	12,5	1,5
		LAeq	D	55	18,5	2
		LAeq	N	45	9,5	0,5
		L50	D	51	18,5	2
L50	N	42	9,5	0,5		
200 N Localizado por detrás da barreira acústica km 0-285 N	06-2004	LAeq	D	45	27,5	1,5
		LAeq	N	39	12,5	1,5
		L50	D	44	27,5	1,5
	11-2004	L50	N	37	12,5	1,5
		LAeq	D	52	18,5	2
		LAeq	N	41	9,5	0,5
		L50	D	47	18,5	2
L50	N	39	9,5	0,5		

Quadro 10 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Bucelas- Arruda dos Vinhos da A10, em receptores cuja monitorização está prevista [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]

Ponto	Data	Parâmetro	Período	Valor dB(A)	Temp. (°C)	Vento Vel. (m/s)
2500 E Monitorização do receptor	06-2004	LAeq	D	45	27,5	1,5
		LAeq	N	43	12,5	1,5
		L50	D	43	27,5	1,5
	11-2004	L50	N	41	12,5	1,5
		LAeq	D	42	18,5	2
		LAeq	N	40	9,5	0,5
		L50	D	38	18,5	2
		L50	N	36	9,5	0,5
3950 E Monitorização do receptor	06-2004	LAeq	D	41	27-28	1-2
		LAeq	N	40	12-13	1-2
		L50	D	38	27-28	1-2
	11-2004	L50	N	37	12-13	1-2
		LAeq	D	46	18-19	1,5-3
		LAeq	N	38	9-10	0-0,5
		L50	D	44	18-19	1,5-3
		L50	N	37	9-10	0-0,5
4820 W Monitorização do receptor	06-2004	LAeq	D	46	27-28	1-2
		LAeq	N	43	12-13	1-2
		L50	D	43	27-28	1-2
	11-2004	L50	N	41	12-13	1-2
		LAeq	D	44	18-19	1,5-3
		LAeq	N	40	9-10	0-0,5
		L50	D	42	18-19	1,5-3
		L50	N	30	9-10	0-0,5
6725 W Monitorização do receptor	06-2004	LAeq	D	45	27,5	1,5
		LAeq	N	39	12,5	1,5
		L50	D	44	27,5	1,5
	11-2004	L50	N	37	12,5	1,5
		LAeq	D	52	18,5	2
		LAeq	N	41	9,5	0,5
		L50	D	47	18,5	2
		L50	N	39	9,5	0,5

Quadro 11 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Bucelas-Arruda dos Vinhos da A10, em cujas proximidades está prevista a implantação de barreiras acústicas, no ano de 2030 [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]

Ponto	Data	Parâmetro	Período	Valor dB(A)	Temp. (°C)	Vento Vel. (m/s)
2700 E barreira acústica planeada para o ano 2030 altura 1,5 m km 2600-2950 E	06-2004	LAeq	D	46	27	1,5
		LAeq	N	43	12,5	1,5
		L50	D	43	27	1,5
	11-2004	L50	N	41	12,5	1,5
		LAeq	D	44	18,5	2
		LAeq	N	36	9,5	0,5
		L50	D	41	18,5	2
		L50	N	34	9,5	0,5
		L50	N	34	9,5	0,5
2500 E barreira acústica planeada para o ano 2030 altura 1,5 m km 2600-2950 E	06-2004	LAeq	D	45	27,5	1,5
		LAeq	N	43	12,5	1,5
		L50	D	43	27	1,5
	11-2004	L50	N	41	12,5	1,5
		LAeq	D	42	18,5	2
		LAeq	N	40	9,5	0,5
		L50	D	38	18,5	2
		L50	N	36	9,5	0,5
		L50	N	36	9,5	0,5
3350 E barreira acústica planeada para o ano 2030 altura 2 m km 3150-3475 E	06-2004	LAeq	D	47	27,5	1,5
		LAeq	N	44	12,5	1,5
		L50	D	40	27,5	1,5
	11-2004	L50	N	37	12,5	1,5
		LAeq	D	47	18,5	2
		LAeq	N	41	9,5	0,5
		L50	D	43	18,5	2
		L50	N	29	9,5	0,5
		L50	N	29	9,5	0,5

Nos Quadros 12, 13, 14, 15 e 16 apresentam-se os resultados das campanhas de monitorização realizadas, para os seguintes troços da A2: Castro Verde – Almodôvar; Almodôvar-São Bartolomeu de Messines e São Bartolomeu de Messines-VLA. Neste caso, os relatórios consultados cumprem os pontos 1), 2), 4) e 5), assinalados em 4.1. No entanto, não existe a indicação relativa ao volume de tráfego e percentagem de pesados representativos da média anual, o que permitiria efectuar uma análise crítica dos valores obtidos.

No que respeita às condições meteorológicas, aplicam-se as mesmas observações expostas para situação anterior.

Quadro 12 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Castro Verde – Almodôvar da A2, em receptores cuja monitorização está prevista [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]

Ponto	Data	Parâmetro	Período	Valor dB(A)	Temp. (°C)	Vento Vel. (m/s)	Volume de tráfego	
							V. lig. Nº	V. Pes. Nº
19050 E Monitorização do receptor	04-2004	LAeq	D	41	15-26	1-2.5	112	22
		LAeq	N	37	10-13	1-2.5	46	4
	07-2004	LAeq	D	50	32-38	1-3.5	294	26
		LAeq	N	48	17-25	1-3.5	64	8
16750 E Monitorização do receptor	04-2004	LAeq	D	45	15-26	1-2.5	76	34
		LAeq	N	38	10-13	1-2.5	42	8
	07-2004	LAeq	D	47	32-38	1-3.5	256	22
		LAeq	N	41	17-25	1-3.5	84	6
13800 E Monitorização do receptor	04-2004	LAeq	D	47	15-26	1-2.5	124	14
		LAeq	N	34	10-13	1-2.5	46	4
	07-2004	LAeq	D	43	32-38	1-3.5	174	6
		LAeq	N	38	17-25	1-3.5	174	6
600 E Monitorização do receptor	04-2004	LAeq	D	50	15-26	1-2.5	156	20
		LAeq	N	44	10-13	1-2.5	32	4
	07-2004	LAeq	D	50	32-38	1-3.5	328	10
		LAeq	N	49	17-25	1-3.5	237	9
4200W Monitorização do receptor	04-2004	LAeq	D	44	15-26	1-2.5	116	24
		LAeq	N	45	10-13	1-2.5	26	4
	07-2004	LAeq	D	53	32-38	1-3.5	400	26
		LAeq	N	51	17-25	1-3.5	219	2
1200E Monitorização do receptor	04-2004	LAeq	D	51	15-26	1-2.5	192	32
		LAeq	N	41	10-13	1-2.5	20	8
	07-2004	LAeq	D	53	32-38	1-3.5	460	18
		LAeq	N	49	17-25	1-3.5	180	21
10400 E Monitorização do receptor	04-2004	LAeq	D	40	15-26	1-2.5	134	14
		LAeq	N	42	10-13	1-2.5	24	2
	07-2004	LAeq	D	44	32-38	1-3.5	390	6
		LAeq	N	45	17-25	1-3.5	237	5

Quadro 13 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Almodôvar-São Bartolomeu de Messines da A2, em receptores localizados por detrás de barreiras acústicas [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]

Ponto	Data	Parâmetro	Período	Valor dB(A)	Temp. (°C)	Vento Vel. (m/s)	Volume de tráfego	
							V. lig. Nº	V.Pes. Nº
24100 E Localizado por detrás de barreira acústica km 23950-24375 W	04-2004	LAeq	D	52	15-26	1-2.5	120	22
		LAeq	N	48	10-13	1-2.5	64	8
	07-2004	LAeq	D	56	32-38	1-3.5	380	18
		LAeq	N	47	17-25	1-3.5	108	9

Quadro 14 – Pontos do troço Almodôvar-São Bartolomeu de Messines da A2, para os quais foi implementado o reforço do isolamento sonoro de fachada (RISonoro), como medida de minimização de ruído [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]

Ponto	Ponto
5875 W	12550W
RISonoro	RISonoro
Monitorização	Monitorização
do receptor	do receptor

Quadro 15 – Pontos do troço Almodôvar-São Bartolomeu de Messines da A2, em receptores cuja monitorização está prevista [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]

Ponto	Data	Parâmetro	Período	Valor dB(A)	Temp. (°C)	Vento Vel. (m/s)	Volume de tráfego	
							V. lig. Nº	V.Pes. Nº
12530 W Monitorização do receptor	04-2004	LAeq	D	57	15-26	1-2.5	138	22
		LAeq	N	48	10-13	1-2.5	56	4
	07-2004	LAeq	D	53	32-38	1-3.5	274	22
		LAeq	N	47	17-25	1-3.5	56	6

Quadro 16 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço São Bartolomeu de Messines-VLA da A2, em receptores localizados por detrás de barreiras acústicas [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]

Ponto	Data	Parâmetro	Período	Valor dB(A)	Temp. (°C)	Vento Vel. (m/s)	Volume de tráfego	
							V. lig. Nº	V.Pes. Nº
9920 E Localizado por detrás de barreira acústica km 9700- 10400 E	04-2004	LAeq	D	50	15-26	1-2.5	156	16
		LAeq	N	45	10-13	1-2.5	48	2
	07-2004	LAeq	D	54	32-38	1-3.5	408	10
		LAeq	N	47	17-25	1-3.5	99	3
10250 Este Localizado por detrás de barreira acústica km 9700- 10400 E	04-2004	LAeq	D	49	15-26	1-2.5	100	34
		LAeq	N	42	10-13	1-2.5	60	2
	07-2004	LAeq	D	51	32-38	1-3.5	304	12
		LAeq	N	50	17-25	1-3.5	228	3
10300 Este Localizado por detrás de barreira acústica km 9700- 10400 E	04-2004	LAeq	D	48	15-26	1-2.5	116	24
		LAeq	N	44	10-13	1-2.5	26	6
	07-2004	LAeq	D	51	32-38	1-3.5	258	12
		LAeq	N	48	17-25	1-3.5	112	5
10970 W Localizado por detrás de barreira acústica km 9500-10400 W	04-2004	LAeq	D	55	15-26	1-2.5	90	22
		LAeq	N	48	10-13	1-2.5	56	6
	07-2004	LAeq	D	55	32-38	1-3.5	280	10
		LAeq	N	52	17-25	1-3.5	50	5

Nos Quadros 17 e 18 apresentam-se os resultados das campanhas de monitorização realizadas nos receptores localizados por detrás de barreiras acústica, e para os troços Lagos-Lagoa e Lagoa-Alcantarilha da A22.

Os resultados apresentados, tal como sucede com os valores relativos à monitorização da A10, não apresentam indicação referente aos volumes de tráfego e percentagem de pesados representativos da média anual, o que permitiria efectuar uma análise crítica sobre a sua representatividade dos valores obtidos.

No que respeita às condições meteorológicas, aplicam-se as mesmas observações já expostas.

Quadro 17 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Lagos-Lagoa da A22, em receptores localizados por detrás de barreiras acústicas [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]

Ponto	Data	Per.	Valor dB(A)	Ponto	Data	Per.	Valor dB(A)
7350 S	09-2004	D	50,3	15800 N	09-2004	D	45,1
Loc. por detrás		N	46,1	Loc. por detrás		N	40,4
b. acústica	07-2004	D	44	b. acústica	07-2004	D	43,5
km 7310-7388 S		N	37,6	km 15700-15825 N		N	42,9
9000 S	09-2004	D	57,7	25650 S	09-2004	D	58,5
Loc. por detrás		N	54,2	Loc. por detrás		N	52,9
b. acústica	07-2004	D	55,3	b. acústica	07-2004	D	58,5
km 8650-9075 S		N	50,4	km 25605-25675 N		N	59,2
9100 S	09-2004	D	59	26900 S	09-2004	D	55,4
Loc. por detrás		N	48	Loc. por detrás		N	43,1
b. acústica	07-2004	D	55	b. acústica	07-2004	D	52,4
km 8925-9250 N		N	57,5	km 26888-26950		N	46,8
13350 S	09-2004	D	51,6	9525 N	09-2004	D	56,8
Loc. por detrás		N	54,4	Loc. por detrás		N	51,7
b. acústica	07-2004	D	55	b. acústica	07-2004	D	57,6
km 13339-13425 S		N	42,2	km 9485-9565 N		N	38,4

Quadro 18 – Pontos e Resultados de Monitorização do troço Lagoa-Alcantarilha da A22, em receptores localizados por detrás de barreiras acústicas [Fonte: Relatórios de Monitorização consultados na EP]

Ponto	Data	Per.	Valor dB(A)	Ponto	Data	Per.	Valor dB(A)
1900 N	09-2004	D	63,5	3475 S	09-2004	D	52,3
Loc. por detrás		N		Loc. por detrás		N	45,7
b. acústica	07-2004	D	60	b. acústica	07-2004	D	52
km 1745-2850 S		N	55,1	km 3475-3525 S		N	51,3
2550 N	09-2004	D	58,2	3725 S	09-2004	D	46,6
Loc. por detrás		N	51,4	Loc. por detrás		N	49,6
b. acústica	07-2004	D	59,2	b. acústica	07-2004	D	51,4
km 2500-2595 N		N	---	km 3642-3833 S		N	44,9
2450 S	09-2004	D	57,9	3775 S	09-2004	D	50,9
Loc. por detrás		N	52,3	Loc. por detrás		N	44,1
b. acústica	07-2004	D	57,1	b. acústica	07-2004	D	52,1
km 2385-2575 N		N	45	km 3642-3833 S		N	44,7
3850	09-2004	D	57,6	3800 S	09-2004	D	54,1
Loc. por detrás		N	56,5	Loc. por detrás		N	51,9
b. acústica	07-2004	D	56,6	b. acústica	07-2004	D	49,3
km 3630-3852 N		N	54	km 3642-3833 S		N	
3850 N	09-2004	D	57,6	5850 S	09-2004	D	54,4
Loc. por detrás		N	56,5	Loc. por detrás		N	56,2
b. acústica	07-2004	D	56,6	b. acústica	07-2004	D	53,6
km 3630-3852 N		N	54	km 5816 -5998 N		N	42,3
3900 N	09-2004	D	56,6	6000 S	09-2004	D	53,7
Loc. por detrás		N	54,3	Loc. por detrás		N	49,7
b. acústica	07-2004	D	54,6	b. acústica	07-2004	D	52,3
km 3852-4197		N	48,5	km 5998-6058 S		N	46,3
4175 N	09-2004	D	56,5	6100 S	09-2004	D	53,7
Loc. por detrás		N	52,8	Loc. por detrás		N	49,7
b. acústica	07-2004	D	59,4	b. acústica	07-2004	D	52,3
km 3852-4197		N		km 6058-6158 S		N	46,3
3475 S	09-2004	D	52,3	6175 S	09-2004	D	56,9
Loc. por detrás		N	45,7	Loc. por detrás		N	57,8
b. acústica	07-2004	D	52	b. acústica	07-2004	D	45,3
km 3475-3525		N	51,3	km 6058-6158 S		N	45,7

Capítulo 5: Breve análise custo-eficácia das medidas de minimização de ruído

5.1 Introdução

O ruído representa um custo social para a sociedade, uma vez que pode induzir incomodidade, provocando uma degradação da qualidade de vida. O ruído pode também contribuir para uma deterioração da saúde dos indivíduos. A incomodidade induzida pelo ruído inclui a perturbação e interferência com as actividades humanas (conversação, leitura, etc), problemas de concentração e de aprendizagem de crianças, e a perturbação do sono. No que respeita à saúde humana, a partir de determinados níveis sonoros ocorre o aparecimento de determinados sintomas, no domínio das doenças cardiovasculares (OMS, 2000).

A valoração monetária dos custos da exposição ao ruído reflecte usualmente estes dois aspectos, correspondendo os benefícios da redução do ruído a um decréscimo da incomodidade induzida e do impacte do ruído na saúde humana. Apesar de existirem vários métodos para esta valoração monetária, como a aplicação de métodos de preferência declarada, ainda persistem algumas incertezas científicas e dificuldades metodológicas na sua aplicação (Arsénio, 2002).

A análise custo-eficácia refere-se ao valor do custo de uma medida de minimização, por unidade de redução do ruído obtido (€/dB(A)), e por fogo, contemplado pela redução dos níveis sonoros, devido à implantação da medida em causa. Nesta situação, os benefícios da redução do ruído não são expressos em valor monetário, mas sim em termos físicos (escala em decibel). As medidas de minimização são comparadas relativamente à relação custo-eficácia, sendo aquela que apresentar um valor mais baixo, considerada a mais favorável. Contudo a apresentação da eficácia de uma medida de minimização, em termos do valor expresso em decibel, com a ponderação da malha A, não tem em conta o facto de que uma redução de 1 dB(A) não conduz sempre a um mesmo valor na diminuição da incomodidade e do impacte na saúde, devidos ao ruído. De facto, para níveis sonoros mais elevados, comparativamente com valores mais baixos (Comissão Europeia, 2006), a redução de 1 dB(A) corresponde a uma redução distinta da incomodidade induzida pelo ruído. Em alguns países, como por exemplo na Dinamarca, é utilizada a abordagem custo-eficácia para o cálculo dos custos sociais do ruído, mas que tem em conta a incomodidade induzida pelo ruído, em termos da sensação apercebida pelas populações. Neste caso, é utilizado um indicador: o factor de exposição sonora, que corresponde a uma média ponderada da incomodidade devida ao ruído, tal como é

apercebida pela população. O factor de exposição sonora depende dos níveis sonoros (nas fachadas dos edifícios) em causa, da densidade geográfica da zona em estudo e do contexto (se a redução dos níveis sonoros é no exterior, ou somente no interior das habitação). O cálculo da incomodidade global induzida pelo ruído proveniente de uma determinada infra-estrutura é realizado a partir da multiplicação do número de fogos expostos a uma determinada classe de ruído (em intervalos de 5 dB(A)), pelo factor de exposição sonora correspondente, e por um factor de contexto, que é dependente do tipo de medida de minimização (Larsen e Bendtsen, 2002).

Por outro lado, uma análise custo-benefício inclui uma avaliação, em termos monetários, dos custos e dos benefícios associados à redução dos níveis sonoros. Neste caso é determinada a relação entre o custo e o benefício para um determinado cenário (ou medida de minimização), de modo a permitir a correspondente avaliação, em termos económicos, do respectivo benefício para a sociedade.

5.2 Custos associados aos diversos tipos de medidas de minimização

O projecto de uma infra-estrutura rodoviária estende-se por vários anos (usualmente considera-se um período de 30 anos), sendo necessária a comparação dos benefícios e dos custos, ao longo do ciclo de vida do projecto. Em muitos projectos, a maior parte dos investimentos é efectuada nos anos iniciais. Contudo, aos vários tipos de medidas de minimização de ruído correspondem custos e benefícios com períodos de vida útil distintos. Por exemplo, para os pavimentos “pouco ruidosos”, existe a necessidade de um reinvestimento num período de tempo mais curto, comparativamente com os períodos associados à utilização de barreiras acústicas, ou ao reforço de isolamento sonoro de fachada.

É igualmente necessário ter em conta que os benefícios (reduções de ruído) associados a cada tipo de medida de minimização podem ter diferentes durações (por exemplo, a eficácia dos pavimentos “pouco ruidosos” diminui ao longo dos anos). Devido a estes factores, e de modo a permitir uma contabilização dos custos e benefícios, espaçados no tempo, os respectivos valores monetários são normalmente referidos ao ano de início do projecto, a partir da utilização de uma taxa de desconto. Para grandes projectos de investimento rodoviário, a Comissão Europeia recomenda a utilização de um valor da taxa de desconto igual a 5%, (Comissão Europeia, 2003). A soma ponderada dos custos e benefícios ao longo do ciclo de vida de um projecto é designada por valor líquido actualizado (*VAL*).

Segundo (Larsen e Bendtsen, 2002), assumindo que os custos do projecto de investimento decorrem entre o ano 0 (início da construção) e o ano T (neste caso igual a 29 anos) que corresponde ao final da vida útil do projecto, o cálculo do *VAL* para uma infra-estrutura rodoviária pode ser efectuado de acordo com a expressão (sem ter em conta os benefícios associados à redução de ruído):

$$VAL = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} Ct}{(1+r)^t} \quad (5.1)$$

representando t o ano, os custos no ano t , e r à taxa de desconto.

Assim, e dependendo do tipo de medida, será recomendável a contabilização dos seguintes custos:

Barreiras acústicas

- Custo de construção (que deve englobar o estudo do projecto, a aquisição e instalação no local, e a eventual compra e expropriação de terrenos para a sua colocação);
- Custos de manutenção (que devem englobar os respectivos trabalhos assim como os custos indirectos relacionados com o corte da via, se necessário);
- Custos associados à intrusão visual da medida (se passíveis de quantificação), e modificações dos custos relativos à poluição do ar e à segurança rodoviária (quando aplicáveis).

Pavimento “pouco ruidoso”

- Acréscimo do custo de construção e colocação da camada de desgaste a aplicar, relativamente à solução tradicional de betão betuminoso;
- Custo de manutenção (operações de manutenção e limpeza, remoção de camadas degradadas e respectiva reciclagem, se aplicável).

Reforço do isolamento sonoro de fachada

- Custo de aquisição e instalação. Para este tipo de medida normalmente não são contabilizados os custos de manutenção, pois não apresentam incrementos significativos, relativamente aos custos de manutenção das janelas ou fachadas tradicionais.

Nos Quadros 19 e 20 apresentam-se, a título exemplificativo, preços indicativos para algumas medidas de minimização (barreiras acústicas e camadas de desgaste de pavimentos rodoviários). Infelizmente não foi possível recolher valores de custos associados ao reforço do isolamento sonoro de janelas, nem os custos associados à manutenção de pavimentos, ou de barreiras acústicas.

Quadro 19– Custos indicativos (aquisição e construção) para diferentes tipos de barreiras acústicas [Fonte: preços obtidos a partir de consulta ao mercado, ano de 2007]

Tipo de painéis	Preço indicativo (€/m ²)
Painéis metálicos reflectores	70-120
Painéis metálicos absorventes	90-140
Painéis metálicos e vegetal	77-85
Painéis vegetais	88-115
Painéis em madeira (reflector)	95-140
Painéis em madeira (absorvente)	180
Painéis em betão (absorvente)	100-135
Painéis em Acrílico Extrudido (15-20 mm de espessura)	127-145
Painéis em Acrílico Fundido (15 -20 mm de espessura)	140-180

Quadro 20– Custos indicativos para diferentes tipos de pavimentos [Fonte. Estradas de Portugal]

Tipo de Camada de desgaste	Preço indicativo (€/m ²)
Betão Betuminoso tradicional com 5cm de espessura	3,5-6
Betume modificado com borracha, mistura rugosa com 3cm	5-6
Betume modificado com borracha, mistura aberta com 3cm	5-6
Microbetão betuminoso rugoso, com 3cm	3,5-7,5
Betão Betuminoso drenante com 4cm	3

5.3 Breve síntese sobre estudos de avaliação do benefício de redução dos níveis sonoros

Em 2003, foi publicado pelo grupo de trabalho nos Aspectos de Saúde e Sócio-Económicos (WGHSEA), da Comissão Europeia, um documento sobre a “valorização do ruído” (Comissão Europeia, 2003). Neste documento é recomendada, na ausência de estudos nacionais que reflectam as condições locais, a utilização de um valor para a exposição das populações ao ruído de 25€ por decibel, por pessoa exposta e por ano. Existem actualmente já finalizados dois estudos europeus, cujo objectivo comum passa pela elaboração de linhas orientadoras, para a realização de uma análise custo benefício no domínio das infra-estruturas rodoviárias.

Num desses estudos, elaborado no âmbito do projecto *SILVIA*, foi criado um instrumento para a análise custo-benefício de medidas de minimização de ruído durante todo o ciclo de vida. Este trabalho incidiu especialmente na utilização de pavimentos “pouco ruidosos”, como medida de minimização de ruído, e contém uma folha de cálculo para a realização de análises comparativas entre algumas medidas de minimização (Ms Excel spreadsheet *SILVIA-TOI-004-01-WP3-030505*, acessível em www.trl.co.uk/silvia/Silvia/pdf/Main_Outputs/SILVIA-TOI-004-01-WP3-030505.xls). Apresenta-se no Anexo 1, uma parte desta folha de cálculo, na qual foi retirada a opção relativa à utilização da redução da velocidade de circulação de veículos, como

medida minimizadora de ruído (correspondente à alternativa 1a da folha de Excel original). A comparação é efectuada, tendo como cenário base (equivalente ao cenário *do-nothing*), a aplicação de um pavimento betuminoso tradicional (alternativa 0). A alternativa 1, corresponde à utilização de um pavimento “pouco ruidoso” (neste caso um pavimento drenante em camada dupla), enquanto a alternativa 2 corresponde à utilização de uma barreira acústica e a alternativa 3 à utilização de reforço do isolamento sonoro de fachada. Neste exemplo, é utilizada uma taxa de desconto de 5%.

Neste exemplo, e no que se refere aos custos, são considerados os custos de aquisição e manutenção das medidas de minimização. Para os pavimentos “pouco ruidosos” existem custos específicos, associados às operações de manutenção e limpeza que, no caso de vias rápidas, podem não ser contabilizados, tendo em conta o efeito de “auto-limpeza” associada à circulação dos veículos a grande velocidade. No entanto, e para o caso de camadas de desgaste drenantes em dupla camada, será necessário considerar que o período de vida útil das duas camadas não é igual (no exemplo constante no anexo, considerou-se um período de vida útil de 7 anos para a camada superior e de 15 anos para a camada subjacente). Para as medidas de minimização das alternativas 2 e 3 (barreira acústica e reforço do isolamento sonoro) considerou-se um período de vida útil de 25 anos.

No que respeita aos benefícios, estes são calculados a partir da multiplicação da redução dos níveis sonoros em dB(A), associada a cada medida, pela valorização monetária desta redução por dB(A), por fogo, e por ano. Neste projecto, foi considerada a função para valorização monetária da redução dos níveis sonoros por dB(A) adoptada na Suécia (e expressa em preços de 2002). Anote-se que esta função pode ser ajustada para outros países, tendo em conta a paridade do poder de compra. É de salientar que a utilização de um pavimento “pouco ruidoso”, permite a redução dos níveis sonoros numa área mais extensa que as barreiras acústicas, para além de não induzir um efeito de intrusão visual. Contudo, é usualmente utilizada a mesma valorização monetária para os três tipos de medida, devido à não existência de informação sobre a valorização monetária dos diferentes tipos de medidas. Relativamente ao reforço de isolamento sonoro de fachada, este tipo de medidas só se denota nos níveis sonoros estabelecidos no interior das habitações.

No entanto, e como os dados de entrada constantes na folha Excel do Anexo 1, correspondem a dados da Dinamarca, são utilizadas ponderações associadas ao contexto do local onde é implementada a medida de minimização. No caso particular de um auto-estrada numa zona não urbana, é considerado que a introdução de uma barreira acústica reduz o problema da incomodidade devida ao ruído em cerca de 90% (no caso de uma zona urbana este valor é reduzido para 80%) Na opção por reforço do isolamento sonoro de fachada, considera-se que a redução do potencial problema de incomodidade é de 60%.

O segundo projecto europeu, com o objectivo de propor um guião harmonizado para a avaliação de projectos do domínio dos transportes na Europa, é o projecto HEATCO – *Developing Harmonised European Approach for Transport Costing and Project Assessment*.

Este projecto propõe um método harmonizado para o cálculo dos custos do ruído associados a projectos de infra-estruturas rodoviárias, ferroviárias e aeroportuárias. Neste contexto, é necessário efectuar o cálculo dos custos expressos em termos de número de pessoas expostas a determinadas classes de ruído (neste caso expresso em função do indicador L_{den}) devido ao funcionamento da infra-estrutura em avaliação. O valor assim determinado é multiplicado pelo custo unitário da exposição ao ruído, associado a cada classe, e para dois cenários distintos: o cenário de referência (normalmente a opção *do-nothing*) e que reflecte a situação presente; e um cenário alternativo, baseado no cenário de referência, mas que inclui algumas alterações. A diferença entre os custos associados a cada cenário é representativa dos custos marginais devidos ao ruído. Anote-se que constam neste projecto os valores de referência para a exposição ao ruído para Portugal (preços de 2002 expressos em paridade do poder de compra), e que incluem os efeitos na saúde e a incomodidade provocada pela exposição ao ruído (Bickel *et al.*, 2006).

Como indicador de quantificação do impacte associado a uma infra-estrutura, é recomendada neste projecto a utilização do número de pessoas muito incomodada, que corresponde a uma percentagem do número de pessoas exposta aos diferentes valores de níveis sonoros (Bickel *et al.*, 2006). No Quadro 21 apresentam-se, para o ruído de tráfego rodoviário, e para vários níveis sonoros, as correspondentes percentagens de pessoas muito incomodadas (assumindo que 80% da população são adultos).

Quadro 21– Indicador do impacte relativo à exposição sonora ao ruído de tráfego rodoviário, expresso em termos a percentagem de número de adultos muito incomodados [Bickel *et al.*, 2006]

Lden dB	Rodoviário %	Lden dB	Rodoviário %	Lden dB	Rodoviário %
≥43	0.4	≥56	5.6	≥69	18.2
≥44	0.8	≥57	6.2	≥70	19.8
≥45	1.1	≥58	6.8	≥71	21.5
≥46	1.5	≥59	7.5	≥72	23.3
≥47	1.9	≥60	8.3	≥73	25.2
≥48	2.2	≥61	9.0	≥74	27.2
≥49	2.6	≥62	9.9	≥75	29.4
≥50	2.9	≥63	10.8	≥76	31.7
≥51	3.3	≥64	11.9	≥77	34.1
≥52	3.7	≥65	12.9	≥78	36.7
≥53	4.2	≥66	14.1	≥79	39.4
≥54	4.6	≥67	15.4	≥80	42.3
≥55	5.1	≥68	16.8	≥81	45.3

Finalmente refira-se a existência de um estudo nacional, conduzido em Lisboa (bairro de Telheiras) sobre a valorização monetária de ruído de tráfego rodoviário (Arsenio *et al.*, 2006). Este estudo assenta na quantificação da relação entre medidas objectivas, em termos de nível

sonoro contínuo equivalente ponderado A, L_{Aeq} , no interior de uma habitação, e a correspondente percepção à alteração do nível sonoro. Para o efeito, foi estabelecida a seguinte relação para a diferença, (DR), entre percepção do ruído, de uma situação existente (L_{AeqE}), e de uma situação alternativa (L_{AeqA}), no interior de uma habitação :

$$DR = -0,8904 d_i (L_{AeqE} - L_{AeqA}) - 0,0576 L_{AeqE} (L_{AeqE} - L_{AeqA}) \quad (5.2)$$

onde d_i representa um acréscimo do nível sonoro para a situação existente

As variações de nível sonoro contínuo equivalente, no interior da habitação, são convertidas em variações monetárias utilizando o valor médio de 2,13 € (valorização obtida neste estudo, com recurso à utilização de inquéritos de preferência declarada e modelação subsequente), por unidade de variação, DR, por pessoa e por mês.

Por exemplo, para níveis sonoros no interior de uma habitação de 35 dB(A), a redução deste valor em 1 dB(A), é equivalente a uma variação média de 2,02 unidades de percepção do ruído. Este facto, traduz-se por um benefício no valor de 51,60€, por ano, e por pessoa. O valor correspondente para um aumento de 1 dB(A), é traduzido num custo de 74,30€ por ano, e por pessoa.

Capítulo 6: Proposta de directrizes para a orientação da prática para implementação de sistemas de minimização de ruído

6.1 Introdução

Apresentam-se neste capítulo algumas indicações que permitem, numa primeira fase, uma orientação para a selecção das diversas medidas de minimização de ruído utilizadas actualmente, designadamente os pavimentos “pouco ruidosos”, as barreiras acústicas e o reforço do isolamento sonoro de fachadas. São também apresentadas soluções para a minimização do ruído em viadutos, devido à presença de juntas de dilatação. No Quadro 22 apresenta-se um resumo das principais características associadas aos três tipos de medidas de minimização usualmente utilizadas em infra-estruturas rodoviárias.

Quadro 22 – Comparação entre 3 medidas de minimização de ruído [adaptado de Descornet e Goubert, 2006]

Pavimentos “pouco ruidosos”	Barreiras acústicas	Reforço do isolamento sonoro de fachadas
Actua ao nível da emissão do ruído	Actua ao nível da propagação do ruído	Actua ao nível da propagação do ruído
Para a actual geração de pavimentos, possibilita uma moderada redução de ruído (tipicamente entre 3 até 6 dB(A))	Possibilita uma redução de ruído (tipicamente entre 7 até 12 dB(A))	Possibilita uma redução de ruído (tipicamente entre 10 até 20 dB(A))
Medida não intrusiva	Medida intrusiva	Medida não intrusiva
Reduz o ruído ambiente no exterior	Reduz o ruído ambiente no exterior, principalmente nas zonas próximas da barreira	Reduz o ruído ambiente no interior da habitação, com as janelas fechadas
Relativamente barato	Dispendiosa, uma vez que é necessária uma construção extra	Geralmente, é a medida mais dispendiosa
Medida a médio prazo	Medida a longo prazo	Medida a longo prazo
Medida não susceptível a vandalismo	Medida susceptível a vandalismo (graffiti)	Medida não susceptível a vandalismo
Medida que requer manutenção	Medida que requer manutenção	Medida que não requer manutenção

6.2 Pavimentos

Os requisitos básicos para que uma camada de desgaste de um pavimento rodoviário possa ter características pouco ruidosas, podem ser sintetizados nos seguintes aspectos (Descornet e Goubert, 2006):

Para camadas de desgaste densas:

- Possuir uma megatextura (ou seja, singularidades da textura superficial de comprimento de onda entre 50 e 500 mm e amplitude vertical de 0,1 a 50 mm) e uma macrotextura (singularidades da textura superficial do pavimento de comprimento entre 0,5 e 50 mm e amplitude vertical de 0,1 a 20 mm) reduzidas, para comprimentos de onda da textura compreendidos entre 10-50 mm;
- A macrotextura para comprimentos de onda da textura entre 1- 8 mm, deve ser maximizada.

Para camadas de desgaste porosas:

- Possuir uma megatextura e macrotextura, para os comprimentos de onda da textura superficial entre 10-50 mm, muito reduzida;
- Teor em vazios, de pelo menos 10% do seu volume, e preferencialmente um valor superior;
- Espessura da camada porosa, de pelo menos, 40 mm;
- Resistência ao escoamento entre 20 a 50 kNsm⁻⁴ para vias rápidas e de 12-30 kNsm⁻⁴ para vias de velocidade lenta.

Desde 1980 que muitas das soluções desenvolvidas para as camadas de desgaste de pavimentos rodoviários “pouco ruidosos” se tentam aproximar destes requisitos; tendo também em conta os requisitos de resistência à derrapagem e de durabilidade. No entanto, para além da textura e da absorção sonora, a impedância mecânica do pavimento rodoviário influencia de modo importante o ruído emitido devido à interacção pneu-pavimento (Descornet e Goubert, 2006).

No entanto, para além das propriedades intrínsecas do pavimento, os factores meteorológicos também influenciam as emissões sonoras. Estudos efectuados mostraram que a existência de água nos pavimentos rodoviários pode influenciar o ruído emitido devido à interacção pneu-pavimento, existindo correcções (aproximadas) para a sua quantificação. O Quadro 23, apresenta os factores de correcção para superfícies de betão betuminoso denso.

Quadro 23 – Factores de correcção, em função da humidade, para pavimentos betuminosos [adaptado de Descornet e Goubert, 2006]

Quantidade de água no pavimento	Velocidade de circulação dos veículos		
	0-60 km/h	61-80 km/h	81-130 km/h
Piso seco	Referência	Referência	Referência
Piso húmido	+ 2 dB(A)	+ 1 dB(A)	+ 0 dB(A)
Piso molhado (pluviosidade moderada)	+ 4 dB(A)	+ 3 dB(A)	+ 2 dB(A)
Piso molhado (pluviosidade acentuada)	+ 6 dB(A)	+ 4 dB(A)	+ 3 dB(A)

Nos pavimentos porosos não se verifica um aumento significativo do ruído emitido devido à interacção pneu-pavimento, em situações de elevada humidade, o que pode ser considerado uma vantagem importante deste tipo de camadas de desgaste em climas com valores de pluviosidade acentuada (Descornet e Goubert, 2006).

Vários estudos constataram que a temperatura também influencia a emissão de ruído devido à interacção pneu-pavimento, verificando-se uma variação da ordem de -0,05 até -0,10 dB(A)/°C (temperatura do ar). A directiva europeia 2001/43/EC, que aprova o regulamento relativo aos pneus e à sua instalação nos automóveis e nos seus reboques, transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei nº72-C/2003, de 14 de Abril, recomenda uma correcção dos níveis sonoros devido à interacção pneu-pavimento, contemplando a influência da temperatura de -0,06 dB(A)/°C (para temperaturas do pavimento entre 0°C e 20°C) e de -0,03 dB(A)/°C (para temperaturas do pavimento entre 20° a 40°), para pneus da classe C1 (pneus de automóveis ligeiros de passageiros). Para pneus da classe C2 (pneus de veículos comerciais, a referida correcção é de -0,02 dB(A)/°C. Caso se considerasse a temperatura do ar, segundo Sandberg (Sandberg, 2004), os coeficientes de 0,06 dB(A)/°C e 0,03 dB(A)/°C, seriam aproximadamente iguais a 0,9 dB(A)/°C e 0,45 dB(A)/°C.

Devido à grande dificuldade na medição da influência da temperatura, foi proposto por Sandberg (Sandberg, 2004) um procedimento para a respectiva correcção, subdividindo as combinações pneu-pavimento em determinados grupos. Para cada grupo corresponde um determinado valor correctivo, que depende do tipo de pneu (veículos ligeiros e veículos pesados) e de pavimentos, em função do valor da sua textura superficial e do teor de vazios.

Para os pavimentos “pouco ruidosos” e no que respeita aos factores correctivos a utilizar nos modelos de simulação de ruído de tráfego rodoviário, o guia de boas práticas para o

mapeamento de ruído (WG-AEN, 2006), propõe dois procedimentos. A utilização de medições com recurso ao método SPB para a caracterização do factor correctivo, ao qual está associada uma exactidão de 0,5 dB. O segundo procedimento preconiza a utilização de correcções pré-estabelecidas, respectivamente de -2,7 dB para pavimentos drenantes e de 3,5 dB para pavimentos com dupla camada de betão betuminoso, para velocidades de circulação de 100 km/h (veículos ligeiros) e de 85 km/h (veículos pesados). Anote-se que no segundo procedimento está associada uma exactidão de 1 dB.

No que respeita aos resultados das avaliações de diferentes tipos de pavimentos “pouco ruidosos” utilizados na Europa, obtidos no âmbito do projecto europeu SILVIA (Andersen *et al.*, 2006), constatou-se que os níveis sonoros obtidos durante a passagem de veículos, em alguns pavimentos “pouco ruidosos”, relativamente aos níveis sonoros das superfícies consideradas como de referência (como por exemplo o betão betuminoso denso), da mesma idade, apresentam as seguintes reduções:

- Para as camadas delgadas, as reduções típicas são de -3 dB (no caso de veículos ligeiros) e de -1 dB (veículos pesados);
- Para camadas de desgaste de betão betuminoso drenante são de -3 dB (veículos ligeiros e pesados)
- Para camadas de desgaste duplas de betão betuminoso drenante são de -4 dB (veículos ligeiros e pesados).

Anote-se que no âmbito do referido estudo somente foram consideradas camadas de desgaste típicas de pavimentos “pouco ruidosos” existentes na Europa, não tendo sido contemplados valores relativos a misturas betuminosas com betume modificado com borracha, como as existentes desde 1999 em Portugal.

6.3 Juntas de dilatação em viadutos

A passagem de veículos nas juntas de dilatação num viaduto pode introduzir emergências de ruído de curta duração, o que por sua vez pode afectar de modo significativo o ambiente acústico na envolvente. Na circunstância, salienta-se a necessidade de uma boa montagem das juntas de dilatação que evitem solicitações geradoras de ruído, devendo serem convenientemente ancoradas ao tabuleiro e estarem niveladas com o mesmo, bem como a necessidade uma boa manutenção/conservação das mesmas. Anote-se que a técnica auditiva de detecção de ruído à passagem de veículos produzido sobre a junta de dilatação serve como forma de detecção de anomalias, nomeadamente na verificação da fixação desta, o que realça a importância da manutenção/conservação das juntas. Medições com passagem de veículos evidenciam um acréscimo significativo nos níveis de pressão sonora devida à passagem de um veículo numa junta de dilatação, podendo este atingir 10 a 15 dB(A), dependendo da qualidade

da junta (Anfosso-Lédée *et al.*, 2005). No caso de uma junta de dilatação “ruidosa” a emergência do nível sonoro será mais significativa num pavimento “pouco ruidoso” do que num pavimento tradicional.

Actualmente não existe nenhum método normalizado que permita avaliar este efeito, o que dificulta a comparação de resultados obtidos utilizando diferentes tipos de juntas. Cessini *et al* (Cesini *et al*, 2003 e 2004) propuseram uma metodologia baseada quer em medições de curta quer de longa duração. Nas medições de curta duração, é efectuado um registo do espectro temporal da passagem de veículos pela junta, com recurso a aquisição de sinais de curta duração (L_{Aeq} com integração no tempo de 2 ms). O ponto de medição, neste caso localiza-se a 1 metro da via, e a uma altura de 1,5 m. Para as medições de longa duração são seleccionadas duas localizações para a medição dos níveis sonoros, uma próxima da junta de dilatação e a segunda posição localizada próximo da via, mas numa zona onde não exista a influência do ruído emitido pela passagem de veículos nas juntas. Em ambos os casos foram realizadas medições do nível sonoro contínuo equivalente durante 1 semana. Os resultados das medições de curta duração, permitiram constatar uma emergência de ruído entre 5 a 6 dB(A). A análise espectral efectuada aos resultados das medições permitiu verificar que esta emergência estava principalmente concentrada nas frequências entre 1 e 3 kHz (Anfosso-Lédée *et al.*, 2005). Relativamente às medições de longa duração, as medições efectuadas permitiram constatar uma emergência do ruído de 2,4 dB(A) durante o período diurno e de 2,2 dB(A) durante o período nocturno, devido à passagem de veículos pelas juntas.

Medições de passagens de veículos num mesmo tipo de juntas, em três viadutos na Suécia, onde foram utilizadas 3 posições distintas para o microfone de medição: por cima da junta, a 1,5 m de altura acima do pavimento; por baixo do viaduto próximo da junta, e numa habitação localizada nas proximidades do viaduto, permitiram evidenciar os seguintes aspectos:

- A análise dos espectros temporais, nas medições efectuadas por cima da junta, evidenciou componentes tonais, para a região de frequências próximas de 1000 Hz;
- Em alguns casos, a existência na região das baixas frequências de amplificação das ressonâncias do perfil metálico das juntas,
- O espectro de ruído obtido próximo da habitação está razoavelmente correlacionado com o espectro obtido ao nível do pavimento, no entanto em alguns casos existem componentes adicionais na região das baixas frequências, determinadas pela radiação na cavidade, por debaixo do viaduto.

Para a gestão de juntas de dilatação de obras de arte em infra-estruturas rodoviárias, e em situações de aparente ruído excessivo que não seja causado por danos na própria junta

(defeito na fixação ou na estrutura de suporte), Marques Lima (Lima *et al*, 2007), propõe a realização de medições de níveis sonoros integradas em actividades de inspecção. Neste caso, as medições dos níveis sonoros devem ser efectuadas nos níveis de inspecção 1 (correspondente ao nível do pavimento sobre a junta) e 3 (corresponde ao nível da viga de estribo sob a junta), respectivamente, a cerca de 1 m do limite do pavimento e a 1,50 m de altura, e directamente sob a junta. Devem ser registados valores dos níveis sonoros para viaturas ligeiras e pesadas à velocidade máxima permitida na via e a 80 km/h (se o limite for superior). Para comparação no nível de inspecção 1, devem igualmente ser obtidos valores de referência para uma zona sem junta, para o que, uma distância à junta a partir de 25 m deve ser suficiente.

Na Alemanha foram desenvolvidas novas soluções eficazes na redução dos níveis sonoros, que consistem na deposição de placas de aço rômbricas, no topo das juntas de perfis de elastómetros, como se mostra na figura seguinte (Fig. 34).



Fig. 34 - Juntas de perfis de elastómero múltiplos, com placas rômbricas

Para avaliar a eficácia deste tipo de juntas, foram efectuadas pela empresa MAURER (www.maurer-soehne.de) medições simultâneas dos níveis sonoros devidos à passagem de veículos, com uma velocidade de circulação de 80 km/h, numa zona próxima de junta (distância de 1 m da via e a uma altura de 1,5 m), e numa segunda zona onde a influência da interacção pneu-pavimento é predominante (zona de referência). No Quadro 24 apresentam-se as diferenças obtidas entre os níveis sonoros obtidos próximo das juntas e na zona de referência, para quatro tipos de juntas.

Quadro 24 – Emergência do nível sonoro devido à presença da junta

Tipo de junta	Emergência do nível sonoro, devido à presença da junta [dB(A)]
Junta de placas metálicas com roletes $\pm 225\text{mm}$	8,5
Junta de perfis de elastómetro múltiplo $\pm 200\text{mm}$	7,5
Junta em elastómetro $\pm 50\text{ mm}$	4,9
Pentes metálicos $\pm 75\text{mm}$	3
Juntas de perfis de elastómetro múltiplos, com placas rômbricas $\pm 200\text{mm}$	2,4

Com a finalidade de reduzir a emissão do ruído para zonas localizadas por debaixo do viaduto, a solução anterior é complementada com o fecho da abertura estrutural recorrendo a material absorvente sonoro, como se mostra esquematicamente na Fig. 35 (www.maurer-soehne.de). Neste tipo de soluções, anote-se a importância do cumprimento de outros requisitos, para além dos acústicos, como por exemplo a sua fácil remoção, a fim de viabilizar trabalhos de manutenção. Na Fig. 35 apresenta-se um diagrama esquemático deste tipo de soluções com a finalidade de reduzir o ruído propagado para zona localizadas por debaixo do viaduto, e na Fig. 36 apresentam-se duas fotografias da correspondente execução.

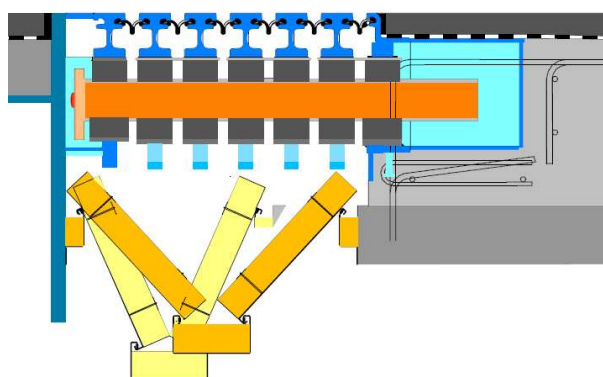
Fig. 35 – Dispositivo de redução de ruído para juntas de dilatação, [www.maurer-soehne.de]



Fig. 36 – Fotografias de aplicação do dispositivo de redução de ruído para juntas de dilatação, na zona inferior do viaduto [www.maurer-soehne.de]

Contudo, a generalidade das juntas de dilatação existentes nas obras de arte pertencentes ao património da EP não apresentam dimensão para aplicação das medidas minimizadoras de ruído indicadas (protecção ao ruído na zona inferior da junta de dilatação e aplicação de placas rômbricas). Este facto deve-se à natureza das juntas que, na sua maioria, são fixas em betume elastómero do tipo *viajoint* e também ao facto das medidas de minimização preconizadas, necessitarem, a nível inferior do tabuleiro na zona da viga estribo sob as juntas, de espaço para a sua concretização. Igualmente, na maior parte das vezes o interior dos encontros ou de tabuleiros sobre pilares de transição não se encontram acessíveis. Deve-se igualmente salientar o facto que a substituição dos módulos existentes por novas soluções na deposição de placas rômbricas têm uma implicação financeira, que deverá ser ponderada caso a caso, em termos de custo/benefício, podendo, no entanto, ser adoptadas nas novas construções em que essa minimização faça sentido, ou no âmbito da reparação pela substituição integral da junta de dilatação.

Em Portugal, no que respeita a normas para o dimensionamento e montagem de juntas de dilatação em viadutos, aplicam-se as dos próprios fabricantes/fornecedores, cumprindo os pressupostos base definidos pelo projectista em termos de amplitude de movimentos da estrutura.

6.4 Barreiras acústicas

Neste trabalho decidiu-se dividir as linhas de orientação para a implementação prática de barreiras acústicas, em aspectos de natureza acústica, directamente relacionados com a perda de eficácia desta medida na minimização dos níveis sonoros no receptor, e em aspectos de natureza não acústica.

Factores de natureza acústica

Tipicamente, a eficácia de uma barreira acústica situa-se na gama entre os 5 e 15 dB(A), podendo atingir, em casos específicos, com cobertura parcial, valores até aos 20 dB(A) [Anfosso-Lédée et al., 2005]. As barreiras acústicas são eficazes na área geométrica definida por:

- Até uma distância de 100 m por detrás da barreira;
- Na zona abaixo da região de “sombra”, sendo esta região definida pela linha recta que une a fonte sonora (neste caso o meio da via) e o topo da barreira.

A eficácia da barreira diminui com o aumento da distância do receptor à barreira, e à medida que aumenta a altura do receptor. Devido ao fenómeno de interferência e de difracção das ondas sonoras, a perda por inserção proporcionada por uma barreira acústica tem uma dependência espectral significativa, sendo muito menor na região das baixas frequências do que na gama das frequências mais elevadas.

A altura da barreira é um dos parâmetros mais importantes para a sua eficácia, utilizando-se usualmente alturas entre os 2 e os 6 metros. O tipo de material que constitui os painéis da barreira é de menor importância, desde que possua um isolamento sonoro suficiente, não tenham orifícios que possibilitem a passagem de ruído através da barreira, nem entre a barreira e o solo, e tenha uma durabilidade e integridade estrutural adequadas. Para uma sùmula dos diversos tipos de materiais para barreiras acústicas, principais vantagens e inconvenientes associados, consultar (Carvalho e Rocha, 2008) e (Fleming *et al*, 2000, acessível em www.fhwa.dot.gov/environment/noise/design/index.htm)

Para ser eficiente, a barreira deve evitar a transmissão directa da energia acústica entre a fonte e o receptor, o que em termos práticos significa que a energia devido à transmissão directa através da barreira deve ser 10 dB inferior à energia sonora que é transmitida por difracção no topo e nos bordos laterais da barreira. Para uma barreira constituída por um material homogéneo, se for conhecida a atenuação (A) devida à diferença de percursos entre a

fonte e o receptor, com e sem barreira, o valor mínimo da sua massa superficial pode ser estimado pela expressão [Watts, 1995]:

$$M = 3 \times 10^{-(A-10)/14} \text{ kg/m}^2 \quad (6.1)$$

No entanto, deve-se salientar que são os requisitos de natureza estrutural que determinam o valor mínimo da massa superficial, em vez das propriedades acústicas, para a maior parte das aplicações práticas

A eficácia deste tipo de minimização de ruído, que actua no meio de propagação, depende da configuração geométrica entre a fonte, a barreira e o receptor, designadamente:

- Distância entre a barreira e a via, localização do receptor, e correspondente altura e distância relativamente à barreira;
- Topografia do terreno, por exemplo, numa estrada em escavação os taludes só por si, proporcionam uma atenuação do ruído devido ao tráfego rodoviário; no entanto e caso ainda seja necessário a instalação de uma barreira, esta deverá ser colocada no topo do talude.

Na Fig. 37 apresenta-se um ábaco que permite uma estimativa grosseira da perda por inserção de uma barreira colocada ao nível da berma da rodovia, considerando somente a difracção sonora pelo topo da barreira (o que corresponde a uma situação teórica de uma barreira infinitamente longa), em função da correspondente altura, para 4 direcções distintas:

- Direcção C, na linha de vista de um observador colocado a meio da via e que passa pelo topo da barreira;
- Direcção B, na linha de vista de um observador colocado no extremo oposto da via e que passa pelo topo da barreira;
- Direcção A, linha horizontal que passa pelo topo da barreira;
- Direcção D, na região de “sombra” da barreira.

Para um determinado ponto receptor, a eficácia real de uma barreira acústica também depende do ângulo segundo o qual a fonte é mascarada pela barreira (θ), estabelecendo este ângulo o comprimento da barreira. A partir do conhecimento da proporção do ângulo mascarado pela fonte ($\theta/180^\circ$), e da eficácia pretendida para a barreira acústica, é possível ter uma estimativa do valor para a perda por inserção de uma barreira infinitamente longa. Com

este valor, e tendo em conta as localizações do ponto receptor (direcções A, B, C e D), é possível ter uma estimativa da altura da barreira. O recurso a estes dois ábacos permite uma estimativa muito grosseira para a configuração geométrica de uma barreira acústica (comprimento e altura), não substituindo de todo o recurso aos modelos de cálculo estabelecidos. No entanto a sua utilização pode dar uma primeira “ideia” sobre a viabilidade deste tipo de minimização de ruído, para a situação em que a barreira é colocada ao nível da berm da rodovia.

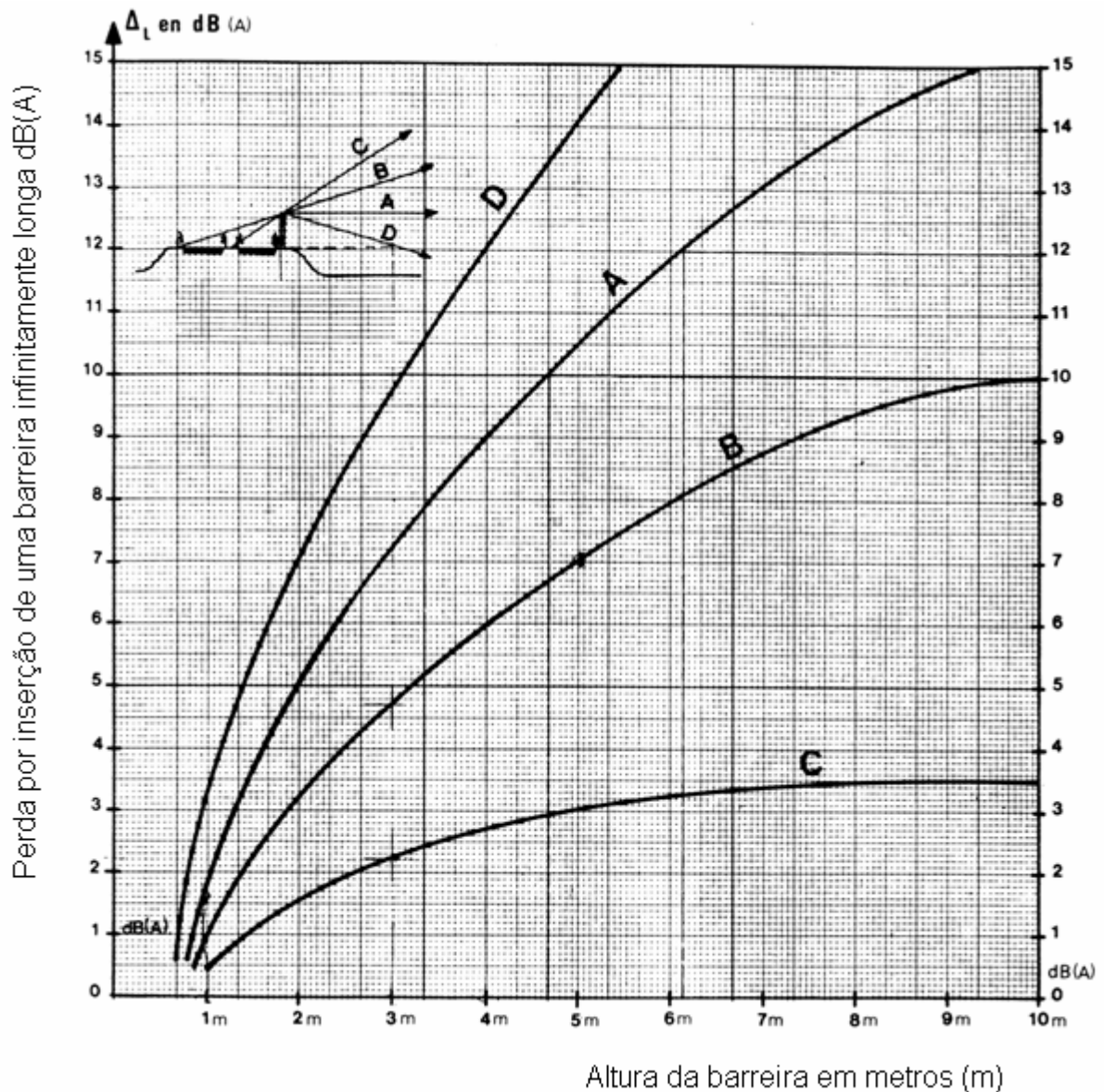


Fig. 37 – Perda por inserção de uma barreira infinitamente longa, em função da altura em metros [CETUR, 1980]

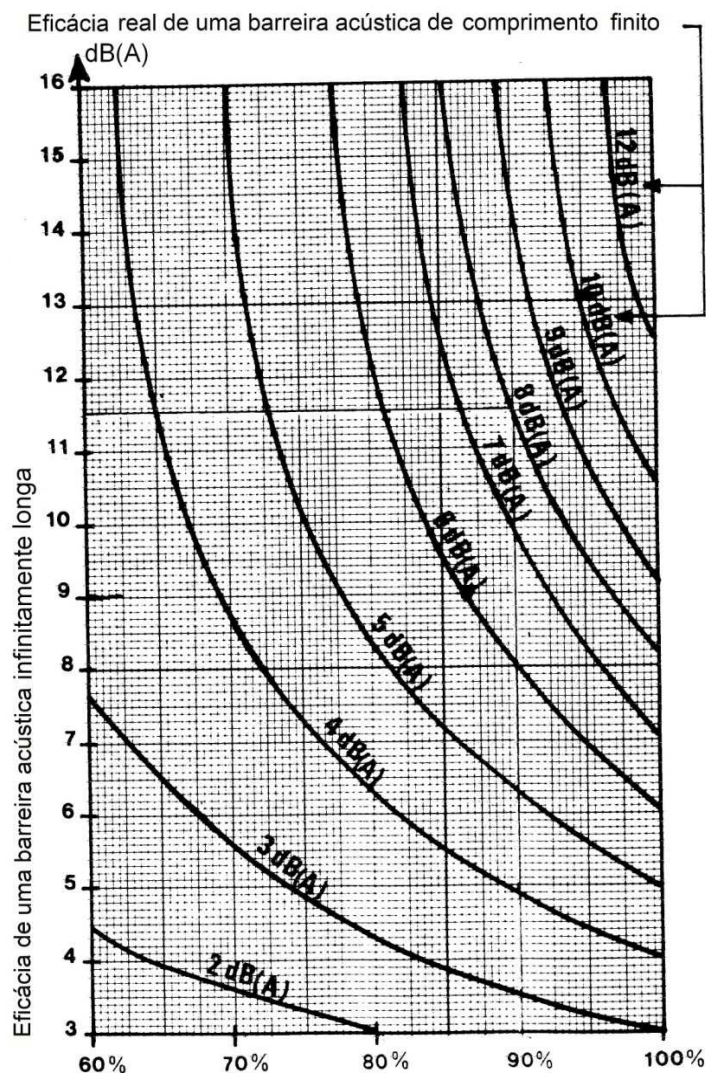


Fig. 38 – Eficácia real de uma barreira com comprimento finito, em função da proporção do ângulo mascarado pela fonte ($\theta/180^\circ$), [Figura adaptada de CETUR, 1980]

Para além dos factores que determinam a configuração geométrica (altura e comprimento), existem outros factores de natureza acústica que devem ser tidos em consideração, designadamente:

-Propriedades acústicas do solo, presença de obstáculos, existência de barreiras paralelas. Anote-se que quando existem barreiras planas paralelas entre si, em ambos os lados da via, os painéis virados para o lado da via devem ter características absorventes sonoras, de modo a evitar reflexões múltiplas entre duas barreiras. O mesmo procedimento também deve ser tido em conta, se existirem receptores no lado oposto da via, onde se localiza a barreira acústica;

-No caso de painéis absorventes, é importante considerar as características de absorção do material constituinte dos painéis, de modo a viabilizar a eliminação das componentes espectrais mais significativas do ruído de tráfego rodoviário do local onde a barreira será aplicada. No caso de sistemas que integrem cavidades ressonantes, deve-se utilizar cavidades interiores, materiais fibrosos absorventes sonoros, de modo a alargar o espectro de absorção em frequência;

-Como alternativas às barreiras absorventes, podem ser consideradas barreiras não verticais (inclinadas ou encurvadas), devendo-se contabilizar a possibilidade do som reflectido pela barreira, ser novamente reflectido pelo solo;

-Uma possível solução para melhorar o desempenho das barreiras acústicas, sem se aumentar a altura das barreiras, é a utilização de barreiras com bordos múltiplos ou com topos difractores (no capítulo 3 é apresentado um resumo dos estado de conhecimentos sobre este assunto);

-O isolamento sonoro conferido pela barreira, que deve ser suficiente para minimizar a transmissão directa da energia sonora entre a fonte e o receptor (ver expressão 6.1).

-Factores relacionados com a instalação da barreira: qualidade da montagem dos painéis e respectiva ligação com a estrutura de suporte, devendo-se evitar a existência de aberturas ou fendas que diminuam essa eficácia. É igualmente necessário garantir uma excelente selagem do conjunto dos painéis que constituem as barreiras acústicas não devendo ficar espaços ou frinchas entre os painéis e os montantes de suporte, ou entre os painéis e o solo. Caso seja necessária a existência de aberturas para o escoamento de águas, estas deverão atravessar as barreiras subterraneamente e não à superfície, nem devem ter uma dimensão superior a 3% da superfície total da barreira, ou estar localizadas em linha directa com os receptores a proteger;

-Condições atmosféricas, especialmente a presença de vento com velocidades elevadas e orientação da fonte para o receptor, assim como condições que permitam a existência de inversões de temperatura junto ao solo.

Relativamente ao último aspecto referido, quando o receptor está localizado a mais de 100 metros da barreira, e existem condições favoráveis de propagação sonora em direcção ao ponto receptor (velocidades de vento elevadas, e com a vento a soprar da via em direcção ao receptor), a eficácia das barreiras acústicas, durante o período de ocorrência dessas condições, é fortemente reduzida pelo fenómeno de refacção sonora. Neste tipo de condições atmosféricas, experiências com modelos à escala (Renterghem, *et al.*, 2002), indiciam uma ligeira melhoria na eficácia de barreiras acústicas, quando por detrás destas é plantada vegetação. Tendo em conta, o maior grau de aceitação das populações relativamente a barreiras com elementos naturais (Meloni *et al.*, 2000), a utilização desta solução, relativamente

à colocação deste tipo de medida de minimização de natureza intrusiva, poderá potenciar um efeito psicológico mais positivo. Anote-se que a presença de vegetação, só por si, não constitui uma solução para a minimização do ruído de tráfego rodoviário, pois só no caso de vegetação densa, e com espessuras superiores a 10 m, é que existem reduções significativas dos níveis sonoros, especialmente na região das frequências altas.

Factores de natureza não acústica

O projecto de uma barreira acústica é determinado pela sua altura e localização relativamente à via de tráfego onde será implantada. Os parâmetros anteriormente referenciados são determinados pelos requisitos de desempenho acústico que se pretendem atingir. Após o estabelecimento destes parâmetros, processa-se o dimensionamento do projecto estrutural da medida de minimização, que é essencialmente controlado por requisitos estruturais (determinação dos esforços devido à acção do vento e de sismos), custos, requisitos de manutenção e aspectos de estética da medida.

Adicionalmente, outros factores são susceptíveis de influenciar o projecto final de uma barreira acústica, como por exemplo: aspectos ligados à drenagem de águas de escorrência, aspectos ligados com a necessidade de acesso à via, aspectos ligados à segurança rodoviária de modo a evitar impactos de veículos na barreira, tipo de fundações e solos, impacto visual nas populações e integração urbana e paisagística. Para além destes factores, existem também condicionantes no domínio de acessibilidade que limitam a manobra dos equipamentos necessários à construção da barreira. Deste modo, numa avaliação preliminar da localização da barreira acústica, é de todo conveniente que todos os intervenientes sejam consultados. Refira-se a existência de normalização europeia no domínio do desempenho não acústico de dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário, designadamente as normas da série EN 1794 partes 1 e 2, publicadas em 2003 (ver Quadro 25). Estas duas normas descrevem métodos de ensaio e estabelecem critérios para a classificação do desempenho das características não acústicas das barreiras, relativamente aos seguintes aspectos:

- Carga eólica e carga estática;
- Peso próprio;
- Embate de pedras;
- Segurança em colisão;
- Carga dinâmica de remoção de neve;
- Resistência ao fogo rasteiro;
- Queda de detritos, mais especificamente o comportamento da barreira sob impacto;

- Protecção ambiental, designadamente os efeitos adversos para o ambiente de certos componentes das barreiras acústicas;
- Meios de evacuação em caso de emergência (referentes aos desempenhos acústico e mecânico das portas existentes nas barreiras);
- Reflexão da luz, de modo a evitar problemas devido ao encadeamento dos condutores;
- Transparência, onde é preconizada a aplicação de métodos de cálculo para a definição dos requisitos relativos às barreiras acústicas transparentes, no que se refere a sua influência quer para as pessoas que vivem por detrás desta medida de minimização, como também para os utentes da via.

Nas situações em que as barreiras acústicas são colocadas adjacentes à via, devem ser tidos em conta aspectos de segurança, designadamente a possibilidade de impacto de veículos. Nestas circunstâncias devem ser utilizadas guardas de segurança, cuja distância à via deverá estar de acordo com o respectivo projecto (ver anexo 2 para consulta da documentação a utilizar). Na NP EN 1317-2/2000 são descritos os ensaios a realizar para a classificação do desempenho das guardas de segurança (incluindo os muros para veículos) face à colisão.

No que respeita à resistência ao fogo, e para barreiras acústicas constituídas por elementos nos painéis que embora possuam revestimentos retardadores ao fogo, sejam de algum modo inflamáveis, recomenda-se que os perfis da barreira sejam resistentes ao fogo, de modo a funcionarem como uma barreira à sua propagação, ou em alternativa a introdução em cada 100 metros, de 4 metros de elementos não-combustíveis (Environmental Protection Department, 2003)

No que respeita às saídas de emergência são muitas vezes construídas portas nas barreiras, com a finalidade de permitirem a evacuação de pessoas e veículos, ou então viabilizar trabalhos de manutenção da barreira acústica e das bermas. Nestas circunstâncias, para a localização destes elementos, deve-se acautelar as respectivas condições de acessibilidade, por vias secundárias. Regra geral, qualquer acesso deve ter uma altura e largura superiores a 2,1 m e 0,9 m, devendo a sua abertura ser efectuada para o lado oposto ao tráfego. No caso das portas que sejam utilizadas como meio de evacuação, estas devem estar equipadas com ferrolhos e trincos anti-pânico (EN 1794-2), devendo-se no respectivo projecto prestar especial atenção à sua selagem acústica em relação à estrutura da barreira, de modo a garantir-se um adequado isolamento sonoro. As portas devem possuir um mecanismo de fecho automático e juntas de estanquicidade para impedir a propagação do ruído através das frinchas. Todas as dobradiças, mecanismos de fecho e ferrolhos devem ser concebidos para uma manutenção mínima e permanecerem operacionais em condições climatéricas

adversas (EN 1794-2). Relativamente à quantidade e distribuição destes elementos para fins de manutenção, são muitas vezes os próprios instaladores que determinam estes aspectos, para cada caso particular. No entanto, por exemplo, em Inglaterra recomenda-se a utilização de portas espaçadas no máximo de 200 metros, possibilitando-se a sua abertura pelo lado da via. Pelo contrário, no lado oposto ao tráfego, somente os técnicos de manutenção e os serviços de emergência é que devem ter acesso (Kotzen *et al*, 1999).

As barreiras acústicas podem modificar a paisagem do local onde são instaladas. Este efeito depende em primeiro lugar da envolvente onde a barreira é instalada. De facto, uma barreira acústica quase pode passar despercebida num ambiente urbano, enquanto que, em ambiente rural poderá ter visualmente um papel preponderante. Na avaliação da percepção visual de barreiras acústicas deve ser tida em conta tanto o ponto de vista dos condutores, como também o ponto de vista das populações localizadas na sua vizinhança. Para os condutores o efeito visual de uma barreira depende essencialmente da velocidade de circulação dos veículos, da altura da barreira e da distância deste à via. Para veículos a circularem com velocidades muito elevadas, quando próximos da barreira, os detalhes desta não são muito perceptíveis. Pelo contrário, para veículos a circularem com velocidades mais baixas, ou nas situações em que a barreira está mais afastada da via, os detalhes da barreira tornam-se mais importantes. (Environmental Protection Department, 2003). Para os habitantes na envolvente onde é instalada a barreira, o seu efeito visual depende da altura da barreira, distância ao receptor, textura superficial e cor. Este efeito visual pode ser acentuado (negativamente) se a barreira proporcionar alterações no padrão de iluminação natural nas habitações. No que respeita à textura superficial, esta depende essencialmente do tipo de material dos painéis da barreira. Para uma síntese relativamente aos aspectos visuais de diferentes tipos de materiais, consultar (Fleming *et al*, 2000, acessível em www.fhwa.dot.gov/environment/noise/design/index.htm). No que respeita a aspectos de arquitectura, o guia de *design* visual de barreiras acústicas, editado pela administração americana de auto-estradas (FHWA), publica linhas de orientação sobre este assunto (acessível em: www.fhwa.dot.gov/environment/visql).

Relacionado com o aspecto de integração paisagística, refira-se a existência de estudos que identificam a importância da participação pública na percepção da eficácia de barreiras sonoras (Joynt, *et al.*, 2003). Os resultados desses estudos permitiram estabelecer uma correlação positiva entre o nível de participação pública e a redução dos níveis sonoros apercebida pelas populações, devido à instalação da barreira. Existem hoje em dia, vários modelos para viabilizar este tipo de participação pública, desde questionários realizados nas habitações mais próximas, reuniões com pequenos grupos de opinião, interacção a partir de sítios na Internet; consoante o que seja mais adaptado para uma determinada situação particular.

Em último lugar, apresenta-se no Quadro 25 uma súmula das normas actualmente em vigor, relativamente a barreiras acústicas. As referidas normas dizem respeito quer a características de desempenho acústico (difracção, absorção e isolamento sonoro) avaliadas em laboratório e *in situ*, quer a características de desempenho não acústico.

Quadro 25 – Normas sobre barreiras acústicas, actualmente em vigor

EN 1793-1:1997	Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption
EN 1793-2:1997	Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 2: Intrinsic characteristics of airborne sound insulation
EN 1793-3:1997	Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 3: Normalized traffic noise spectrum
CEN/TS 1793-5:2003	Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 5: Intrinsic characteristics - In situ values of sound reflection and airborne sound insulation
CEN/TS 1793-4:2003	Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 4: Intrinsic characteristics - In situ values of sound diffraction
EN 1794-1:2003	Road traffic noise reducing devices - Non-acoustic performance - Part 1: Mechanical performance and stability requirements
EN 1794-2:2003	Road traffic noise reducing devices - Non-acoustic performance - Part 2: General safety and environmental requirements
EN 14389-1:2007	Road traffic noise reducing devices - Procedures for assessing long term performance - Part 1: Acoustical characteristics
EN 14389-2:2004	Road traffic noise reducing devices - Procedures for assessing long term performance - Part 2: Non-acoustical characteristics
EN 14388:2005	Road traffic noise reducing devices - Specifications
ISO 10847:1997	Acoustics- In situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types

6.5 Isolamento sonoro de fachadas

A propagação do ruído ambiente exterior para o interior de um edifício pode ocorrer pelos diversos elementos que constituem o edifício, como sejam os elementos opacos da envolvente vertical, os vãos envidraçados, as portas, as coberturas, as aberturas de ventilação, etc. Na redução do ruído transmitido para o interior, o comportamento da envolvente de um edifício depende essencialmente do valor da massa superficial da envolvente, da sua continuidade e do acréscimo de isolamento que possa ser proporcionado por algumas configurações especiais (Silva, 1975).

A legislação portuguesa, designadamente o Regulamento Geral do Ruído só preconiza este tipo de medida de minimização, quando comprovadamente esgotadas as medidas de minimização que actuam ao nível da fonte sonora (pavimentos com características optimizadas

de absorção sonora) e ao nível da propagação sonora (barreiras acústicas), e desde que o ruído ambiente exterior não exceda em mais de 5 dB(A) os valores limite fixados. Nestas situações, para os edifícios habitacionais e mistos, para as escolas, e para os hospitais, deve-se adoptar valores para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{2m,n,w}$, valores superiores em 3 dB aos valores constantes no Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios, designadamente, $D_{2m,n,w} \geq 33$ dB (em zonas mistas) e $D_{2m,n,w} \geq 28$ dB (em zonas sensíveis).

O isolamento sonoro de um elemento de construção varia proporcionalmente ao logaritmo da sua massa superficial, e no caso de se tratar de um elemento de duas folhas, ele só funciona do ponto de vista acústico, como elemento duplo, desde que a separação entre as folhas seja adequada e as ligações entre elas pouco rígidas. Quando estas condições são cumpridas, conseguem-se isolamentos sonoros mais elevados do que os valores previsíveis em função da massa superficial dos elementos constituintes do sistema duplo (Silva, 1975). No caso de um elemento de construção heterogéneo, constituído por dois diferentes tipos de material cujos isolamentos sonoros são conhecidos (R_{wi} , da expressão 6.2, tendo-se neste caso $i=2$), como por exemplo uma parede de fachada com vãos envidraçados, é possível a partir da expressão 6.2, estimar o isolamento sonoro global:

$$R_w = 10 \lg \left[\frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i 10^{(-R_{wi}/10)}} \right] \quad (6.2)$$

em que R_w representa o índice de isolamento sonoro da parede composta, R_{wi} o índice de isolamento sonoro da parede i , e S_i a área do elemento i .

Na maior parte dos casos, os vãos envidraçados são considerados os “elementos mais fracos”, pelo que, muitas vezes se adopta como medida de minimização do ruído tráfego rodoviário, o reforço do isolamento sonoro destes vãos e das aberturas de ventilação. O desempenho acústico de vãos envidraçados vai depender da qualidade dos elementos de suporte e fixação dos vidros, e das características de isolamento sonoro dos panos envidraçados. As frinchas que não possuem movimentos relativos entre si devem ser preenchidas com material absorvente sonoro, e seladas, em ambas as faces, com material resiliente vedante. O isolamento sonoro de um pano de vidro depende da sua espessura e do ângulo de incidência das ondas sonoras (diminuindo com o aumento do ângulo de incidência). A título ilustrativo, apresenta-se na Fig. 39, a variação do índice de isolamento sonoro, em função da espessura de um pano envidraçado, para um vidro simples e para um vidro laminado.

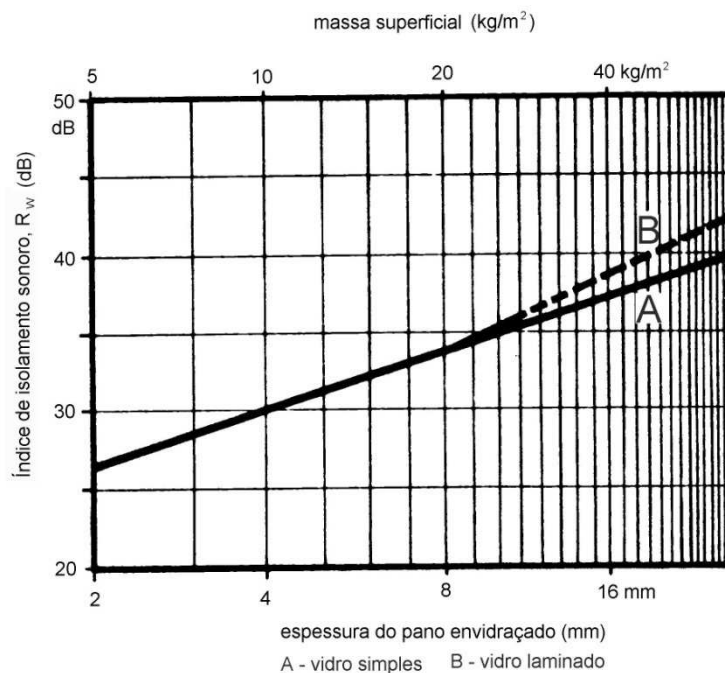


Fig. 39 – Índice de isolamento sonoro em função da espessura de um pino envidraçado, para incidência difusa e para ângulos de incidência de 45° [Figura adaptada de Myncle *et al*, 1981]

Na prática, verifica-se um acréscimo de 3 dB no índice de isolamento sonoro de um vidro, com a duplicação da sua espessura. Tendo em atenção que não se pode aumentar infinitamente a espessura de um vidro, e quando os requisitos de isolamento sonoro são elevados, opta-se muitas vezes pela utilização de sistemas de vidro duplo, ou então de janelas duplas. A utilização de camadas múltiplas de vidro (duplo ou triplo) aumenta também o isolamento sonoro na maior parte das frequências, mas esta característica é dependente da separação entre as diferentes camadas. Em relação a este aspecto convém referir que o vidro duplo usualmente utilizado para efeitos de isolamento térmico pode não ser eficaz do ponto de vista acústico. Este facto deve-se sobretudo ao pequeno espaçamento entre panos (usualmente com um valor igual ou inferior a 16 mm) e à igual espessura dos panos que constituem o vidro duplo. Preferencialmente deve ser utilizada uma caixa-de-ar com uma espessura de 200 mm. A utilização em vidros duplos ou triplos de panos com diferentes espessuras, permite uma melhoria adicional do isolamento sonoro.

A Fig. 40 apresenta, a título ilustrativo, a variação do índice de isolamento sonoro, para vidros duplos, em função da espessura total do envidraçado e do espaçamento entre panos.

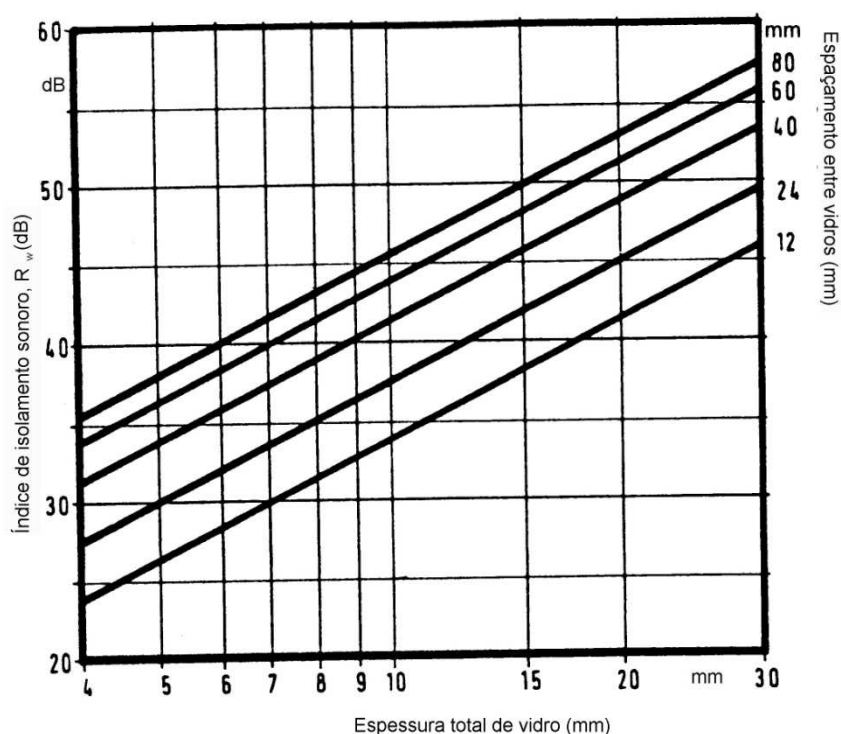


Fig. 40 – Índice de isolamento sonoro de vidros duplos, em função da espessura total do envidraçado e do espaçamento entre vidros [Figura adaptada de Myncler *et al.*, 1981]

Nas situações em que é necessário um isolamento sonoro elevado a utilização de caixilhos leves deve ser evitada, devendo-se preconizar caixilhos separados para cada pano, suportados por paredes estruturalmente independentes, de forma a eliminar a transmissão sonora através do caixilho.

Em relação a utilização de estores de correr é de todo conveniente tomar medidas que aumentem o isolamento das caixas respectivas (por exemplo, aumentando a massa dos elementos constituintes) e aplicar revestimentos absorventes sonoros no seu interior.

Deve-se ter igualmente em atenção que um bom isolamento sonoro de uma janela implica normalmente uma baixa permeabilidade ao ar, pelo que, a instalação de dispositivos de ventilação (natural ou forçada) deverá sempre contemplar o tratamento acústico dos mesmos.

Capítulo 7: Indicação de programas de monitorização

7.1 Introdução

Um dos objectivos de um Programa de Monitorização é a avaliação e controlo da resposta do sistema ambiental aos efeitos produzidos pela presença do projecto, com a finalidade de detectar o não cumprimento de limites estabelecidos na legislação em vigor. As campanhas de monitorização permitem também obter informação adicional (avaliação de tendências) que poderá posteriormente ser utilizada, quer na reavaliação dos impactes, quer na definição de propostas para novas medidas minimizadoras, que eventualmente se venham a revelar necessárias. O segundo objectivo de um Programa de Monitorização consiste na avaliação ou confirmação da eficácia das medidas de minimização dos impactes negativos previstos em determinados factores ambientais,

Para o descritor ruído, no que respeita ao seguimento da resposta do sistema ambiental devido aos efeitos produzidos pela presença de uma infra-estrutura rodoviária, as campanhas de monitorização têm como objectivo a caracterização do nível sonoro médio de longa duração, para os três períodos de referência (diurno, entardecer e nocturno), determinados durante uma série de períodos representativos de um ano. Posteriormente são calculados os indicadores de ruído associados ao incómodo global, designadamente, o indicador de ruído “diurno-entardecer-nocturno”, L_{den} , e o indicador de ruído “nocturno” L_n . As campanhas de monitorização devem ser realizadas nas proximidades dos receptores sensíveis identificados no Plano Geral de Monitorização apresentado no RECAPE, e em receptores sensíveis que tenham apresentado reclamações devido ao ruído de tráfego rodoviário originado pela infra-estrutura em avaliação, mesmo que estes receptores não estejam contemplados no Plano Geral de Monitorização. A monitorização pode ser efectuada recorrendo a medições acústicas, as quais devem ser efectuadas de acordo com os procedimentos descritos na série de normas Portuguesa NP 1730, partes 1, 2 e 3 de 1996. Anote-se que em 2007 foi finalizada a revisão da série de normas ISO 1996, pela Comissão de Normalização Internacional (ISO). Em consequência deste facto, foram publicadas as novas versões ISO 1996-1 em 2003 e ISO 1996-2, em 2007. Em alternativa à realização de uma campanha de monitorização baseada em medições, poder-se-á recorrer a modelos de previsão do ruído de tráfego rodoviário, reportados a um período temporal de previsão de um ano.

Relativamente à avaliação da eficácia das medidas de minimização, designadamente as barreiras acústicas e os pavimentos “pouco ruidosos” existe actualmente um conjunto de procedimentos normativos que permitem avaliar o desempenho acústico destes tipos de

medidas de minimização de ruído logo após à sua instalação, e ao longo de todo o período de vida útil.

Considerando os diferentes objectivos de um programa de monitorização optou-se neste relatório por dividir este capítulo em duas partes, abordando-se na primeira parte aspectos relacionados com a caracterização do nível sonoro médio de longa duração, representativo do valor médio anual, para posterior determinação dos indicadores de ruído L_{den} e L_n . Na segunda parte deste capítulo, são abordadas algumas metodologias existentes para a avaliação da eficácia das medidas de minimização de ruído.

7.2 Caracterização do indicador de ruído “diurno-entardecer- nocturno”, L_{den} , e do indicador de ruído “nocturno” L_n

Para que cada componente significativa da exposição sonora seja representada nos resultados de medição, deve-se ter em conta, na caracterização dos níveis sonoros, o efeito da combinação das condições de funcionamento da fonte e da influência das condições atmosféricas na propagação sonora. No que respeita às características de variação das emissões sonoras, a não ser que se pretenda a obtenção de um valor que represente unicamente as condições de emissão e propagação sonoras que ocorreram durante o intervalo de medição, será necessário efectuar a conversão dos níveis sonoros obtidos para valores representativos do fluxo de tráfego no período em análise (valores médios anuais, por exemplo). Relativamente à influência das condições meteorológicas nos níveis sonoros durante o intervalo de medição, esta traduz-se por uma alteração na curvatura dos raios sonoros, em consequência dos gradientes de temperatura e da velocidade do vento. A curvatura dos raios sonoros (designado neste relatório por R , expresso em quilómetros), exprime-se em função dos gradientes de temperatura (ΔT , em kelvin) e da velocidade do vento, (Δu , em metro por segundo), a 10 e 0,5 m acima do solo, de acordo com a expressão seguinte:

$$R = \frac{3,2}{0,6\Delta T + \Delta u \cos \theta} \quad (7.1)$$

onde θ representa o ângulo entre a direcção do vento e a direcção que une a fonte e o receptor.

A influência das condições atmosféricas é detectável para distâncias do receptor à via da ordem dos 50 m, mas é mais significativa para distâncias superiores a 100 metros (Zouboff *et al.*, 1998). Para medições de curta duração, a norma ISO 1996-2 (edição de 2007) indica que só se devem realizar medições de ruído de tráfego, com qualquer tipo de condições atmosféricas (desde que a velocidade do vento não seja muito elevada) se for cumprida a expressão (7.2) :

$$h_S + h_R \geq 0,1d \quad (7.2)$$

onde h_s representa a altura da fonte, h_r a altura do receptor, e d a distância entre a fonte e o receptor. Esta expressão requer que o microfone esteja colocado a 5 m de altura, para uma distância entre a fonte e o ponto de medição de 50 m, ou então para uma distância de 100 m que o microfone esteja colocado a 10 metros. Para a realização de medições a alturas mais usualmente utilizadas, a referida norma restringe a realização de medições às condições atmosféricas que favorecem a propagação sonora desde a fonte até ao receptor (caso das condições de aplicação do Anexo A da referida norma). Efectivamente, para grandes distâncias entre a fonte e o receptor, e com condições de propagação sonora favoráveis entre a fonte e o receptor, correspondem resultados de medição com uma maior reprodutibilidade, para os quais os níveis sonoros são mais elevados. Tendo em conta os fenómenos em jogo e a finalidade das medições acústicas, podem-se considerar três tipos de amostragens de ruído, no domínio do tempo, designadamente (Zouboff *et al.*, 1998):

Amostragem de “curta duração” – corresponde a medições durante um intervalo de tempo para o qual se pode considerar que as características estatísticas das condições meteorológicas são estáveis. Pode-se aceder experimentalmente a este tipo de informação efectuando medições das condições meteorológicas e dos níveis sonoros, num intervalo de tempo que se estende entre os 10 minutos, até algumas horas. Efectivamente podem-se produzir flutuações das condições atmosféricas durante algumas fracções de segundo, em consequência de fenómenos de turbulência, ou então durante períodos mais alargados, correspondentes a um ritmo diário, ou a um ritmo sazonal, ou até mesmo anual. Neste tipo de amostragem pretende-se escamotear a contribuição dos fenómenos de turbulência, sem no entanto captar os ciclos diários.

Durante o período da amostragem deve ser efectuado o cálculo da média das variáveis meteorológicas medidas, sendo desejável que durante este intervalo se consiga obter um valor representativo das emissões sonoras. De facto, dentro deste intervalo, as condições meteorológicas podem ser consideradas localmente como estacionárias, ou seja, as suas características são constantes no intervalo considerado. Refira-se que um intervalo de observação com uma duração inferior a 10 minutos, não permite tornar a medição independente de fenómenos de turbulência, e uma duração mais longa do tempo de observação não permite estimar o fenómeno como localmente estacionário, uma vez que começa a ter a influência de flutuações associadas ao ciclo diário (Zouboff *et al.*, 1998).

Nas situações em que é necessário ter em conta a influência das condições atmosféricas, o anexo A da norma ISO 1996 estabelece uma metodologia para avaliação da existência de condições favoráveis à propagação sonora entre a fonte e o receptor, para medições de “curta duração”, viabilizando a respectiva realização. Esta avaliação é efectuada em termos de curvatura dos raios sonoros, que no método semi-qualitativo descrito no referido anexo, depende das alturas da fonte e do receptor, da velocidade e direcção do vento, grau de nebulosidade do céu, período do dia e do valor de insolação. Neste caso é efectuada a distinção entre duas configurações geométricas para a localização da fonte e do receptor, que dependem das respectivas alturas:

- Considera-se a existência da situação “alta”, quando, quer a fonte quer o receptor, estão a uma altura superiores a 1,5 metros do solo, ou a fonte esta localizada a uma altura inferior a 1,5 metros mas o receptor a uma altura superior ou igual a 4 metros.
- Na situação “baixa” quer a fonte quer o receptor estão a uma altura inferior a 1,5 metros do solo.

Na figura Fig. 41 apresentam-se os requisitos para a realização de medições de curta duração, em termos de curvatura dos raios sonoros, e respectivos desvio-padrão associados, para diferentes combinações fonte-receptor e tendo em conta a influência das condições atmosféricas. Esta figura é válida para terrenos planos e sem obstáculos à propagação sonora. Anote-se que os requisitos constantes nesta figura não se aplicam a medições de longa duração.

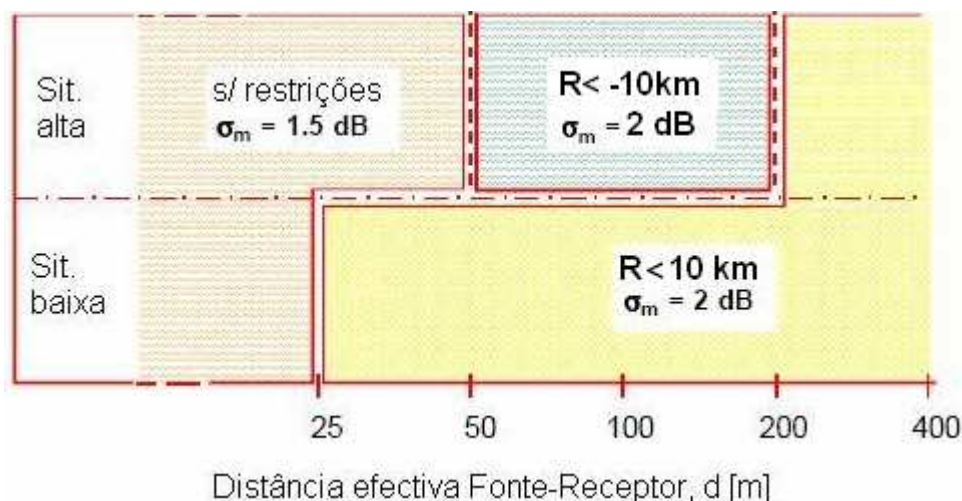


Fig. 41– Requisitos para a realização de medições de curta duração e respectivos desvio-padrão associados, tendo em conta a influência das condições atmosféricas, para diferentes combinações fonte receptor

Esta figura deve ser complementada com a tabela A.1 do anexo A da norma ISO 1996-2 relativamente aos requisitos para que a curvatura dos raios sonoros, R , seja menor que 10 km em valor absoluto, dependendo da configuração geométrica (situação alta ou situação baixa). Para as duas configurações geométricas, os requisitos anteriores dependem do período do dia e grau de nebulosidade do céu, e são dados em função do menor valor para a componente da velocidade do vento na direcção de propagação sonora, medida a 10 m de altura. Para a definição dos períodos do dia, a figura Fig. 42 indica os limites da altitude do sol, e portanto do gradiente de temperatura, em função do período do dia e do mês do ano, para uma latitude de 35° Norte.

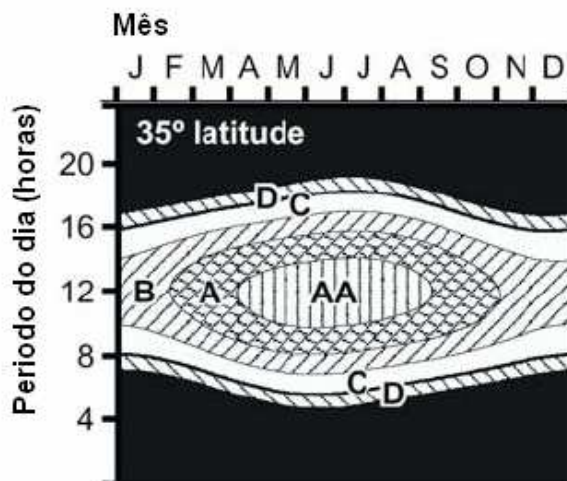


Fig. 42– Limites de altitude do sol, e portanto do gradiente de temperatura, em função do período do dia e do mês do ano, para 35° de latitude norte

Amostragem de “média duração” – A este tipo de amostragem temporal corresponde um intervalo de tempo com a duração de todo o período de referência (ou seja, 13 horas no período diurno; 3 horas no período do entardecer e 8 horas no período nocturno). Neste caso, e para cada intervalo de referência, as condições meteorológicas não são constantes, mas podem ser definidas por hipótese (recorrendo-se para o efeito a dados estatísticos) ou então medidas.

Os níveis sonoros podem ser calculados por uma composição de situações de “curta duração” ponderadas pela repartição das condições de propagação observadas, ou definidas como hipótese. Pode-se comparar os resultados obtidos com recurso a métodos de previsão, assumindo a existência de determinadas condições meteorológicas com os resultados da medição realizada em condições particulares (neste caso condições favoráveis à propagação sonora entre a fonte e o receptor). Uma alternativa à medição durante todo o período de referência é a realização de medições durante intervalos de medição mais curtos, enquanto se contabilizam o número de veículos separadamente em cada categoria (fazendo-se a distinção entre veículos ligeiros e pesados), e as correspondentes velocidades médias de circulação. Os níveis sonoros medidos podem ser convertidos para os valores de tráfego para um período de referência (diurno, entardecer ou nocturno). Para este efeito será necessário a utilização de um método de previsão para o ruído de tráfego rodoviário (no caso português, o método de cálculo francês NMPB-Routes-96), para o cálculo do nível sonoro relativamente ao período de referência, tomando-se por exemplo o valor de tráfego médio diário, de modo que:

$$L_{Aeq, conv, diário} = L_{Aeq, med, INTmed} + (L_{cal, diário} - L_{cal, INTmed}) \quad (7.3)$$

representando :

$L_{Aeq, conv, diário}$ – A conversão do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, que ocorreu durante o intervalo de tempo de medição, para as condições médias de tráfego diário;

$L_{Aeq, med, INTmed}$ - É o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, que ocorreu durante o intervalo de tempo de medição ;

$L_{cal, diário}$ - É o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, calculado pelo modelo de previsão tendo em conta as condições médias de tráfego diárias;

$L_{cal, INTmed}$ - É o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, calculado pelo modelo de previsão tendo em conta as condições de tráfego que ocorreram durante o período de medição.

Na situação anteriormente descrita é importante a validação dos resultados obtidos na medição dos níveis sonoros, de modo a permitir a correspondente conversão para outros tipos de fluxo de tráfego (para um período de referência, ou então até mesmo para um período de longa duração), devendo-se verificar:

- Que os níveis sonoros medidos são exclusivamente devidos ao ruído de tráfego rodoviário, e originados somente pela infra-estrutura em avaliação;
- A existência de singularidades (por exemplo congestionamento de tráfego, passagens de ambulâncias com sirenes em funcionamento, ou existência de acidentes) que não são representativas de período de referência que se pretende caracterizar;

A título informativo refira-se que a norma francesa NF S 31-085 (versão de 2002), estabelece condições para o número de passagens mínimo de veículos, de modo a permitir a extrapolar para outras condições de tráfego. Neste caso é necessário verificar:

- a) Quando na infra-estrutura em avaliação o modo de circulação do tráfego é fluido, deve-se registar pelas menos 200 passagens de veículos;
- b) Quando na infra-estrutura em avaliação modo de circulação de tráfego é pulsado, ou então a percentagem de veículos pesados é elevada, o número mínimo de passagens é de 500 veículos.

A referida norma também indica uma metodologia para a realização de testes estatísticos (teste estatístico de análise temporal; teste de Gauss; teste de coerência e obtenção da correlação entre os níveis sonoros obtidos em 2 pontos distintos) e que permitem validar os resultados obtidos tendo em atenção as necessidades identificadas.

No caso de vias com uma baixa intensidade de tráfego, é recomendada a medição das passagens individuais de veículos com recurso ao nível de exposição sonora (L_{AE}), sendo o nível sonoro contínuo equivalente ($L_{Aeq, T}$), calculado a partir da expressão (7.4). Para a

situação anteriormente descrita, o número mínimo de passagens de veículos para cada categoria, a considerar, é de 30.

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \frac{t_0}{T} \left[\sum_i n_i 10^{\frac{L_{AE,i}}{10}} \right] \quad (7.4)$$

Nesta expressão T representa o tempo do intervalo de referência, em segundos; t_0 é igual a 1 segundo; $L_{AE,i}$ valor médio do nível exposição sonora médio para a categoria i , n_i é o número de veículos para a categoria i que passam durante o intervalo de referência.

Amostragem de “longa duração” – Esta abordagem é bastante diferente das anteriores, correspondendo a uma repartição dos dados de curta duração ou de média duração durante um período representativo da duração do intervalo que se pretende (usualmente um ano). Por exemplo, no que respeita às condições climatéricas, os meteorologistas consideram, para que as observações possam ser consideradas representativas, estas devem ser recolhidas durante 30 anos. Efectivamente para este período de duração, as observações meteorológicas podem ser consideradas como localmente estacionárias, enquanto que durações inferiores podem ser consideradas como muito sensíveis a anos com condições atmosféricas excepcionais. Os dados climáticos recolhidos pelas estações meteorológicas (e que constam nas publicadas normais climatológicas) não indicam especificamente os gradientes verticais da velocidade do som. De facto, as normais climatológicas são constituídas por dados aerodinâmicos (velocidade e direcção do vento à uma altura de 10 m e dados térmicos (insolação, nebulosidade), obtidos geralmente em terrenos planos e sem obstáculos. Estes dados podem, em situações muito particulares, serem correlacionados com os perfis verticais da velocidade do vento e da temperatura existente na proximidades destas estações, desde que o local de medição e o local onde se encontra a estação sejam comparáveis do ponto de vista topográfico, de ocupação e natureza do solo, e não existam nas suas proximidades grandes massas de água.

Para a estimativa de níveis sonoros representativos de um período de longa duração é necessário lidar separadamente com diferentes categorias de condições meteorológicas, e combiná-las de acordo com a respectiva taxa de ocorrência ao longo de período em estudo (na maior parte dos casos correspondente a um período anual). A estimativa dos níveis sonoros médios, tal qual como eles ocorrem, ao longo de diferentes condições meteorológicas, requer longos intervalos de medição, muitas vezes de vários meses. Efectivamente na opção de monitorização em contínuo, as medições devem ser efectuadas em períodos de tempo suficientemente longos, de modo a que não seja necessária a monitorização da fonte e das condições meteorológicas, uma vez que se assume uma média representativa do que se pretende. Para a obtenção de um valor médio anual, pode ser necessária a medição ao longo de todo o ano, ou como alternativa a medição durante um mês em cada estação do ano. Anote-

se o facto de as condições climatéricas características de cada estação poderem afectar quer a emissão sonora (no caso do tráfego rodoviário sabe-se que a temperatura do pavimento rodoviário tem influência no ruído emitido devido à interacção pneu-pavimento) quer a propagação sonora.

Enquanto que para medições de curta duração, as variações devido às propriedades do solo são pequenas, nas medições de longa duração tal pode não suceder. Deste modo torna-se importante complementar os resultados das medições com uma descrição da superfície do solo entre a fonte e a posição de medição, anotando as características que podem influenciar a respectiva impedância acústica (segundo a NP 4361-2 as superfícies reflectoras podem-se classificar em 3 categorias, com distintas propriedades acústicas: solo duro, que inclui pavimentos, água, betão e qualquer superfície possuindo uma baixa porosidade; solo poroso, que inclui os solos cobertos de erva, árvores ou outra vegetação; e solo misto, se a superfície é constituída simultaneamente por solo misto e poroso).

Alternativamente, para a obtenção de valores de longa duração, é possível a utilização de medições de curta duração, para diversos tipos de condições meteorológicas e acompanhadas de dados estatísticos relativos à respectiva taxa de ocorrência. Os resultados destas medições podem ser combinados com cálculos, que têm em conta estatísticas meteorológicas (quando as distâncias dos receptores à via em estudo assim obriga a ter em conta esta influência). Neste caso, para a determinação do nível sonoro médio de longa duração representativo de um ano é necessário ter em conta as variações da emissão sonora (ou seja, fazer a conversão para os valores de tráfego representativos da média anual) e as alterações na propagação sonora (essencialmente a influência das condições atmosféricas na propagação sonora, quando aplicável) que ocorrem durante um ano. Para o efeito, é necessária a medição do nível sonoro contínuo equivalente durante um período suficientemente longo e para um fluxo de tráfego composto por um número suficiente de passagens de veículos, de modo a obter-se um valor médio da variação dos níveis sonoros correspondentes às passagens individuais de cada veículo. O intervalo de tempo de medição a utilizar depende do volume de tráfego e da exactidão pretendida. Seguidamente será necessário efectuar a conversão dos valores obtidos para valores representativos da média anual, obtendo-se o que se designa por resultado da medição para o “tráfego de longa duração”. Para este efeito, pode-se utilizar a metodologia já explicitada para as amostragens de “média duração” (e que corresponde à substituição o termo, diário, na expressão 7.3 por anual). Tendo em conta que o nível sonoro de longa duração, $L_{Aeq,LT}$ corresponde a um nível sonoro que corresponde a condições médias de circulação, e a condições meteorológicas representativas de uma situação de longa duração. Será necessário avaliar se as condições meteorológicas observadas durante o período de medição são representativas dos efeitos das condições meteorológicas representativas da média anual.

No que respeita a técnicas de amostragem espacial, os níveis sonoros do ruído de tráfego rodoviário, em diferentes pontos de medição podem ser eficazmente determinados se for efectuada uma medição simultânea do nível sonoro para uma posição de referência, durante

todo o período de medição, e em diversas posições (com uma distância inferior a 30 m da posição de referência) durante intervalos de tempo mais curtos. No entanto, é necessário que para cada combinação de posições de microfones, inclua pelo menos a passagem de 10 veículos. Neste caso, o nível sonoro para a posição i do microfone, é obtido a partir da seguinte expressão:

$$L_i = L_{ref} - \Delta L_i \quad (7.5)$$

Em que L_{ref} é o nível sonoro na posição de referência, medido durante todo o período de medição e ΔL_i é a diferença entre os níveis sonoros medidos simultaneamente na posição de referência e na posição i . O nível de ruído de fundo na posição do microfone deve ser pelo menos 10 dB inferior ao ruído de tráfego rodoviário a ser medido.

Por último, deve-se referir o facto de a versão de 2007 da norma ISO 1996, introduzir o conceito de incerteza de medição no âmbito das medições em acústica ambiental. Este conceito, relacionado com o grau de exactidão do resultado da medição, está muito directamente ligado ao “esforço” associado à medição. Efectivamente, é desejável que em situações de avaliação de ultrapassagem ou não de valores limites, ou então nas situações para a avaliação da necessidade de implementação de medidas de minimização, que o valor associado à incerteza de medição seja o mais baixo possível. Contudo, nas situações onde os níveis sonoros estão distantes dos valores limites, é aceitável a simplificação dos critérios de amostragem, o que implicará necessariamente valores de incerteza de medição mais elevados.

Para a determinação da incerteza de medição, segundo a norma ISO 1996-2, deve-se ter em conta as seguintes fontes de incerteza:

- incerteza devido ao equipamento de medição;
- incerteza devido à localização do microfone;
- incerteza devido à presença de ruído residual;
- incerteza devido às características de emissão sonora da fonte;
- incerteza devido as condições meteorológicas.

Neste ultimo caso, a referida norma só apresenta valores de incerteza associados à realização de medições nas condições favoráveis à propagação sonora (e portanto quando se obtêm resultados aos quais corresponde um valor com uma maior reprodutibilidade). Para outro tipo de condições de propagação sonora, a incerteza de medição aumenta de modo significativo, e a única maneira de se obter uma estimativa dentro de valores aceitáveis é a repetição das medições, num número suficiente de vezes, em condições independentes mas similares.

Os programas de monitorização, dão origem a relatórios de monitorização, a submeter à autoridade de AIA, e tendo em consideração o que foi exposto, o conteúdo dos referidos relatórios deve incluir a seguinte informação:

Quando são realizadas medições :

— Descrição do local onde foi realizada a campanha de medição, com inclusão de cartografia geral indicando a localização do troço em avaliação (incluindo a escala e a direcção do Norte), e marcação das posições de medição. Identificação de edifícios com uso sensível, e identificação de eventuais receptores dos quais foram recebidas reclamações devido ao ruído de tráfego rodoviário do troço da via em avaliação. Deverão também ser apresentadas secções verticais com as posições dos microfones relativamente à estrada e aos edifícios vizinhos, ou então apontamentos fotográficos das posições de medição. Deve ser efectuada uma breve descrição do tipo de solo entre a via e o receptor (pode ser uma descrição por sectores angulares), com a identificação do respectivo estado da superfície do solo (seco, húmido);

— Equipamento utilizado nas medições (marca, modelo e numero de série, certificado de verificação periódica ou de calibração válidos), procedimento utilizado do ajuste do equipamento de medição dos níveis sonoros;

— Planeamento utilizado para a recolha das amostras de ruído, data da sua recolha, e respectiva duração (com identificação, para cada amostra do início e final da medição). Caracterização do ruído de fundo, com identificação do tipo de fontes que constituem.

— Características do tráfego durante as medições (número de veículos pesados e ligeiros e respectivas velocidades médias de circulação). Volume de tráfego médio anual e velocidade de circulação anual média, consideradas.

— Descrição das condições meteorológicas que ocorreram durante as medições, valores médios de temperatura e humidade relativa, velocidade do vento e direcção, insolação, nebulosidade, e localização dos sensores de temperatura e velocidade do vento. Classificação destas condições como condições favoráveis à propagação sonora entre a fonte e o receptor (critério da ISO 1996:2007).

— Objectivo das medições, resultados obtidos e respectiva validação e tratamento de dados;

— Conversão dos níveis sonoros (métodos utilizados na extrapolação dos valores medidos para as condições de tráfego médio anual).

Quando são efectuadas modelações para o ruído de tráfego rodoviário:

- Cartografia do troço em avaliação (altimetria do terreno, localização e altura de edifícios, e de obstáculos à propagação sonora) e marcação dos receptores sensíveis considerados na campanha de monitorização,
- Dados de entrada do modelo: número de faixas de rodagem e número de vias em cada faixa, inclinação da via e tipo de pavimento considerado (e correspondes factores correctivos utilizados); dados de tráfego (número de veículos por hora e percentagem de pesados, por período de referência, e respectivas velocidades médias de circulação, tipo de modo de circulação, ou em alternativa, níveis de potência sonora por metro linear de via (L_w/m) por bandas de frequência (1/1 oitava); condições meteorológicas consideradas na modelação;
- Localização dos pontos de validação do modelo e metodologia utilizada para a comparação entre os resultados das medições e os valores calculados (explicitando o tipo de condições metrológicas utilizadas, quer no cálculo quer na medição, para este efeito);
- Malha de cálculo utilizada no modelo e número de reflexões considerado;
- Valores previstos para os níveis sonoros de longa duração, para os três períodos de referência, nos receptores de interesse.

7.3 Avaliação da eficácia das medidas de minimização

7.3.1 Avaliação da eficácia de pavimentos “pouco ruidosos”

Na norma ISO 11819 são descritos dois métodos de medição da influência de pavimentos rodoviários no ruído de tráfego, nomeadamente, o método de passagem estatística de veículos (conhecido pela sigla SPB), e o método de proximidade (conhecido pela sigla CPX). Estes dois métodos complementam-se entre si, sendo o método SPB mais utilizado em nos ensaios de classificação pavimentos, e determinação da influência do pavimento nos níveis sonoros a utilizar nos modelos de previsão de ruído de tráfego rodoviário. O método CPX, combinado com dispositivos de georreferenciação, permite a avaliação das características acústicas em toda a extensão de uma via, ao longo do tempo.

No método SPB é realizada a medição do nível sonoro máximo, ponderado A, conjuntamente com a velocidade de circulação, de um número estatisticamente significativo, de passagens individuais de veículos, classificados em 3 categorias (veículos ligeiros, veículos de 2 eixos e veículos pesados com mais de 2 eixos), em determinadas gamas de velocidades de circulação. Para cada categoria de veículos determina-se a partir do método dos mínimos quadrados, a recta de regressão entre o nível sonoro máximo (L_{Amax}) versus logaritmo de velocidade. A partir desta recta calcula-se o nível sonoro do veículo correspondente a

velocidade de referência associada a categoria do veículo (V_{ref}). De acordo com a categoria da via em estudo (velocidade baixa, média e alta), consideram-se valores de velocidade de referência distintos para as 3 categorias de veículos: via de velocidade baixa ($V_{ref}=50$ km/h, para todas as categorias), via de velocidade média (80 km/h veículos ligeiros e 70 km/h para os restantes) e via de velocidade alta (110 km/h para veículos ligeiros e 85 km/h para os restantes). O desempenho acústico da superfície é calculado através do índice SPBI (índice estatístico de passagem individual), que corresponde à adição energética dos níveis sonoros correspondentes a cada categoria de veículos, ponderado pela proporção relativamente à composição de cada categoria no tráfego total (por exemplo, no caso de uma via de velocidade lenta, assume-se que uma composição de tráfego de 90% de veículos ligeiros e 10% de pesados, enquanto que numa auto-estrada assume-se que o tráfego é composto por 70% de veículos ligeiros, 7% de veículos pesados, e 22% por veículos pesados com mais de 2 eixos). A norma indica qual a configuração geométrica, que deve ser utilizada no que respeita às distâncias entre os veículos e às posições dos microfones, como também algumas restrições à utilização do método.

Para a determinação da influência de um pavimento rodoviário no ruído de tráfego, salienta-se a importância do tipo de pavimento que é escolhido como referência, assim como algumas das suas características, como a idade e grau de utilização. Na maior parte dos casos, os pavimentos de referência nacionais são os mais correntemente utilizados. Para a realização dos ensaios segundo o método SPB, a norma ISO 11819-1 especifica como pavimento de referência, uma superfície de betão betuminoso denso, de textura lisa, com um agregado de granulometria entre 11 e 16 mm. Do ponto de vista acústico é aproximadamente equivalente a um pavimento com mistura de granulometria descontínua do tipo SMA. Para que possa ser utilizada como referência, a superfície deve estar sujeita ao tráfego, durante pelo menos um ano, e ter a mesma idade da superfície em ensaio. A profundidade da macro textura, medida de acordo com as normas ISO 10844 ou ISO 13473-1 deve ser da ordem dos 0,5 a 1 mm. Um aspecto importante que a própria norma salienta (no anexo C), é o facto de os resultados obtidos pelo método SPB não serem válidos por mais de 5 anos devido a variações, quer nos veículos como também nos pneus. Este facto torna necessário a actualização dos resultados obtidos com recurso a este método. Efectivamente as características acústicas dos pavimentos modificam-se com a idade, existindo uma tendência para o aumento dos níveis sonoros devido à interacção pneu-pavimento. Nos primeiros anos, o efeito do pavimento é determinado na condição de novo, mas também deverá ser comparado com o pavimento de referência na condição de novo. Com a passagem dos anos, os níveis sonoros devido à interacção pneu-pavimento, não só o pavimento em ensaio, como o de referência, têm ambos tendência a aumentar, estimando-se que um aumento do ruído de rolamento de 2 dB(A), o pode ser considerado como uma degradação normal da superfície.

Neste método é também necessário ter em conta a influência da temperatura dos níveis sonoros emitidos, em virtude de se verificar um aumento dos valores dos níveis sonoros à medida que a temperatura diminui. De acordo com o método SPB, os ensaios podem ser

realizados com valores de temperatura do ar entre 5 e 30°C, e temperaturas do pavimento entre 5 e 50°, devendo os níveis sonoros obtidos serem corrigidos para uma temperatura do ar de 20°C (temperatura de referência do ensaio): No entanto ainda não existe um método reconhecido para a realização deste tipo de correcções.

Uma versão simplificada do método SPB (designada por método da passagem de veículos controlada, e conhecida pela sigla CPB) consiste na utilização de um número limitado de veículos, escolhidos mediante combinações veículo/pneu pré-seleccionadas. De acordo com os objectivos das medições, podem ser seleccionadas diferentes condições de condução dos veículos (velocidade constante, em aceleração, em desaceleração, com o motor parado). A norma francesa NF 31-119-2 é baseada neste procedimento, e tem como base 4 combinações representativas de veículos/pneus. O método CPB é mais expedito que o método SPB, no entanto não leva em consideração as variações dos níveis sonoros que possam ocorrer para o mesmo tipo de veículo, nem permite a medição dos níveis sonoros associados ao tipo de veículos representativo da estrada em estudo.

O método de medição CPX foi desenvolvido para o estudo da influência das características da camada de desgaste de pavimentos no ruído de tráfego rodoviário, em condições de circulação dos veículos onde a interacção pneu-pavimento é dominante, sendo o ruído de motor menos significativo. Este método envolve a medição do ruído de rolamento em posições dos microfones localizadas próximo da zona de contacto entre o pneu e o pavimento. Para o efeito, o pneu em ensaio, é colocado num atrelado especial rebocado por um veículo ligeiro, e nas suas proximidades são colocados os microfones de medição. Os microfones devem estar localizados a uma distância de 20 cm da parte lateral do pneu, e a uma altura do solo de 10 cm. O microfone dianteiro é localizado num ângulo de $45^\circ \pm 5^\circ$, relativamente à direcção de rodagem, enquanto que o microfone colocado na parte traseira do veículo, é colocado num ângulo de $135^\circ \pm 5^\circ$. Na bibliografia sobre o assunto, pode-se encontrar várias configurações para a montagem dos atrelados, mas todas têm em comum o enclausuramento do pneu em ensaio, de modo a não permitir a influência de ruído proveniente de outros veículos, e também do ruído induzido pelo vento. No entanto, existem actualmente algumas variações deste método que incluem a colocação do pneu em ensaio, directamente numa das rodas de um veículo ligeiro, ou então a utilização da técnica de intensimetria sonora, de modo a resolver o problema de registo dos níveis sonoros na situação de campo próximo da fonte (método designado por *close proximity sound intensity*).

Durante o ensaio são determinados os níveis sonoros médios, associados a cada pneu, e para a velocidade de referência. A norma ISO 11819-2 especifica 4 tipos de pneu de referência, representativos de diferentes características de emissão sonora. São efectuadas medições dos níveis sonoros devido à interacção pneu-pavimento, durante a circulação do atrelado, a uma velocidade constante (usualmente 50, 80 e 110 km/h). Uma das vantagens deste método relativamente ao método SPB, é que permite facilmente (e rapidamente) a avaliação de toda a extensão da estrada, podendo-se utiliza-lo na monitorização das características acústicas do pavimento, identificando os trechos “mais ruidosos”.

O apêndice B do “*Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces*”, descreve um procedimento para a certificação de atrelados e veículos a utilizar no método CPX. Os métodos descritos dizem essencialmente à protecção da realização das medições relativamente ao ruído ambiente exterior. A principal vantagem do método CPX é que pode ser implementado em situações urbanas, não sendo influenciado pelas reflexões de edifícios próximos. Outra das vantagens é que o pavimento pode ser ensaiado de modo contínuo, enquanto o método de SPB só é representativo da parte do troço onde foram efectuados os ensaios. No entanto, deve-se salientar que os métodos baseados na medição dos níveis sonoros próximo de pneus, não tem em conta os efeitos do campo distante na propagação sonora, como também os efeitos devido às interferências das fontes. Anote-se o facto de estudos efectuados no âmbito do projecto europeu *SILVIA*, demonstraram uma fraca correlação entre os resultados obtidos com recurso aos métodos SPB e CPX.

7.3.2 Avaliação da eficácia de barreiras acústicas”

A norma ISO 10847:1997 “ Acústica. - Determinação *in situ* da perda por inserção de barreiras exteriores de todos os tipos” especifica dois métodos para esta determinação, o método directo, e o método indirecto, com a utilização de um local equivalente. Uma variação do método indirecto engloba a previsão dos níveis sonoros para a situação ANTES.

No método directo, são efectuadas medições dos níveis sonoros ANTES e DEPOIS da instalação das barreiras. Para efeitos da aplicação deste método são definidas as posições do receptor e de referência, correspondendo esta última a um ponto onde o ruído proveniente da fonte não é minimamente influenciado pela presença da barreira (usualmente este ponto está localizado a uma altura de 1,5 m do topo da barreira, e a uma distância da via de 15 m de modo a minimizar os efeitos de campo próximo). A principal vantagem na utilização deste procedimento, é que assegura o mesmo tipo de topografia do local de medição, no entanto possui a desvantagem de as condições meteorológicas poderem não serem equivalentes, assim como também as condições de circulação de veículos (o mesmo fluxo de tráfego, com o mesmo tipo de composição). A equivalência nas condições meteorológicas inclui a velocidade do vento e direcção, temperatura, humidade relativa e nebulosidade do céu.

No método indirecto, para a caracterização da situação “antes da barreira” devem ser realizadas medições num local substituto equivalente. Este local substituto deve ter o mesmo perfil de terreno, o mesmo tipo de obstáculos à propagação sonora e o mesmo tipo de superfícies reflectoras, devendo a superfície do solo ser equivalente ao local onde está instalada a barreira, num sector que se estende de 60 ° para cada lado da linha que une as posições dos receptores em direcção à fonte. A posição de referência e a posição do receptor são as mesmas que as do método de medição directa. Para uma comparação válida dos níveis sonoros ANTES e DEPOIS, é necessário a equivalência nas condições meteorológicas e de fluxo de tráfego. Assim, e no caso do método indirecto é preferencial que as situações ANTES

e DEPOIS sejam avaliadas simultaneamente, ou seja em localizações adjacentes de modo a assegurar uma equivalência nas condições atmosféricas e de fluxo de tráfego (se possível). No caso de utilização do método indirecto com recurso a um modelo de previsão, são necessárias a realização de medições no local com a presença de barreira, para determinação dos níveis na condição DEPOIS, e a utilização de um modelo de previsão para o cálculo dos níveis sonoros sem a presença da barreira. Uma vez que esta situação inclui a comparação entre valores medidos e valores calculados, para receptores afastados da via, é importante que as condições meteorológicas utilizadas no modelo de previsão sejam replicadas durante a realização das medições, assim como as condições de fluxos de tráfego.

Em ambos os métodos e no que respeita à influência das condições meteorológicas na propagação sonora, para curtas distâncias do receptor à via, é possível efectuar as medições com todo o tipo de classes de vento (condições favoráveis, homogéneas ou desfavoráveis), desde que a velocidade do vento seja inferior a 5 m/s. No caso de grandes distâncias do receptor à via, é importante que as medições somente sejam realizadas, com condições de propagação favoráveis entre a fonte de ruído de tráfego rodoviário e o receptor.

No âmbito do programa “*Standard, Measurement and Testing*” a Comissão Europeia, financiou o projecto de investigação “*Adrienne*” onde foram estabelecidas novos métodos de ensaio para a determinação das características de isolamento sonoro e absorção /reflexão de barreiras acústicas *in situ*. Em 2003, foi publicada pelo Comité Europeu de Normalização, a especificação técnica, CEN/TS 1793-5, que descreve a metodologia para a realização de ensaios *in situ* para a determinação do isolamento e absorção sonora de barreiras acústicas.

O método *Adrienne* baseia-se na reconstrução da resposta impulsiva por detrás da barreira acústica em avaliação. Para este efeito é colocado um altifalante de frente à barreira (a uma distancia de aproximadamente de 1 m), no lado da via, e que emite uma sequência determinista de impulsos bipolares — um sinal MLS (sequência de comprimento máximo), sendo colocado por detrás da barreira, um microfone de medição, a uma distância da barreira de 25 cm. Este sinal é convenientemente pós-processado de modo a obter-se a componente do campo sonoro transmitida pela barreira, a partir da resposta impulsiva global do dispositivo em ensaio. Anote-se que o sinal acústico medido pelo microfone, inclui a componente transmitida pela barreira, a componente difractada pelo topo da barreira, assim como outras contribuições parasitas (como por exemplo a componente reflectida pelo solo, quer do lado da fonte como do lado do receptor, ou a componente difractada pelos bordos laterais da barreira). Pelo que é necessário extrair a componente transmitida pela barreira da resposta impulsiva global. Para o efeito é utilizada uma janela temporal específica (designada por janela temporal de *Adrienne*), e repetida a medição sem a barreira acústica entre o altifalante e o microfone (medição em campo livre). Para cada posição fixa do altifalante são efectuadas medições para nove posições do microfone, dispostas segundo uma grelha quadrada de pontos de medição, e com um comprimento máximo de 80 cm. O índice de isolamento sonoro é obtido a partir do valor da componente directa, da componente transmitida, e de factores correctivos devido à divergência geometria dos diversos pontos de medição.

A utilização deste método permite a verificação do cumprimento das características intrínsecas do produto instalado relativamente às correspondentes especificações de fabrico. Para além disso, permite aferir da qualidade de instalação da barreira acústica, detectando defeitos na selagem acústica entre painéis. Tendo em conta que as barreiras acústicas poderão modificar as suas características ao longo do tempo, a utilização periódica deste método permitirá avaliar uma possível degradação das suas características acústicas. Comparativamente com o método tradicional para a caracterização do isolamento de barreiras acústicas em laboratório (serie de normas EN 1793), existe uma tendência, para um mesmo tipo de barreira, dos valores de isolamento sonoro obtidos em laboratório, serem ligeiramente inferiores aos resultados obtidos nas medições *in situ* (Garai *et al*, 2000). Num estudo comparativo sobre a aplicação destes dois métodos para a caracterização do isolamento sonoro para diferentes tipos de barreiras (barreiras de betão; barreiras metálicas, barreiras acrílicas, barreiras de madeira e barreiras mistas). Os resultados obtidos permitiram constatar a eficácia da aplicação deste método para os diversos tipos de barreira, e a boa correlação com os resultados obtidos em laboratório, mostrando-se sensível à qualidade da montagem, presença de selantes (Garai *et al*, 2000).

No que respeita à determinação das características de absorção sonora, estas são obtidas à partir da determinação do índice de reflexão sonora. Para o efeito é colocado um microfone entre a fonte sonora e a barreira acústica, quer para a medição da componente directa emitida pela fonte, como também da componente reflectida pela barreira. Com recurso à técnica de subtracção de sinais, a componente reflectida é extraída da resposta global, após remoção da componente directa proveniente do altifalante. A distância do microfone ao altifalante deve ser mantida estritamente constante para a medição da componente reflectida. Sendo definidas um conjunto de nove posições de medição, obtidas por rotação da montagem altifalante-microfone segundo o plano vertical (ou em alguns casos segundo o plano horizontal), em torno de um eixo de rotação, e em passos de 10°. Os valores individuais do índice de reflexão sonora, por banda de terços de oitava devem ser ponderados de acordo com o espectro normalizado de ruído de tráfego definido na norma EN 1793-3.

A realização deste tipo de medições *in situ*, para a caracterização do isolamento e absorção sonora, permitirá por um lado a comparação das especificações de projecto com dados de desempenho após instalação, assim como a verificação do desempenho a longo prazo de barreiras acústicas. Este último facto torna-se mais significativo, desde a publicação da norma EN 14389-1, que explicita os procedimentos a seguir relativamente à manutenção das funcionalidades de dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário, durante todo o período de vida.

A utilização de métodos descritos na especificação técnica CEN/TS 1793-1 permite a obtenção de valores para o índice de reflexão sonora DL_{RI} (para a caracterização da absorção sonora) e do índice de isolamento sonoro DL_{SI} . Estes valores podem ser utilizados como um meio de comparação para a avaliação da durabilidade de uma barreira acústica a longo prazo e durante todo o período de vida útil. Para uma barreira acústica, a verificação da durabilidade do

seu desempenho inicial (em termos de isolamento e absorção sonora), deve ser efectuada 5 anos, 10 anos e 20 anos após da entrada em serviço. Para o efeito pode ser realizada uma avaliação física, tendo como base variações ou mudanças do estado do material absorvente (por exemplo a desintegração das fibras) assim como uma avaliação visual relativa das variações na constituição ou estado dos materiais e suportes de fixação que possam afectar o desempenho do isolamento sonoro conferido pela barreira (existência de fendas entre painéis). Quando são identificadas na avaliação visual, variações que possam afectar o desempenho acústico da barreira, devem ser realizados ensaios *in situ* na zona identificada de acordo com CEN/TS 1793-5

Finalmente, no que respeita aos dispositivos adicionais que podem ser colocados no topo de uma barreira acústica, destinados a contribuir para a atenuação sonora, actuando principalmente sobre o campo sonoro difractado (usualmente designados por topos difractores). Podem ser efectuadas medições *in situ* para a avaliação da sua eficácia, de acordo com o procedimento descrito na norma CEN/TS 1793-4. Para este efeito, devem ser realizadas medições com e sem o dispositivo adicional, em condições de repetibilidade (mesmo local, mesmas condições meteorológicas, mesmo equipamento, mesmo operadores). Para ambas as situações, são calculados os índices de difracção correspondentes. Este cálculo, assenta na medição dos espectros de potência das componentes directas e difractada pelo bordo superior, corrigidos de modo a ter em conta a diferença de percurso entre as duas componentes, com recurso a técnica de subtracção de sinais, anteriormente referida. O índice de difracção final é uma média dos índices de difracção obtidos em vários pontos de medição. Na Fig. 43 apresenta-se a localização dos pontos de medição e da fonte sonora que podem ser utilizados quando se pretende efectuar uma avaliação da eficácia deste tipo de dispositivo

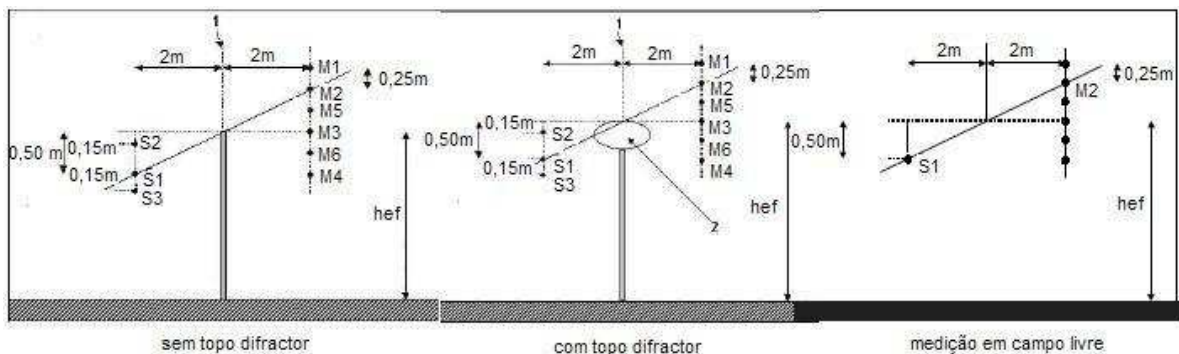


Fig. 43– Localização dos pontos de medição e da fonte sonora para avaliação da eficácia de topos difractores

Colaboraram no presente trabalho a técnica profissional principal Sr.^a D. Cristina Alves, e os técnicos especialistas o Sr. Fernando Mateus e o Sr. José Manuel Carvalho, designadamente na introdução de toda a informação sobre ruído na base de dados MIA.mdb, assim como na realização dos trabalhos de campo.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Julho de 2008

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Acústica,
Iluminação, Componentes e Instalações



João Carlos Viegas

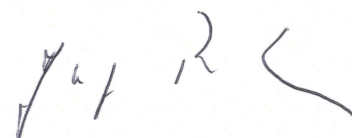
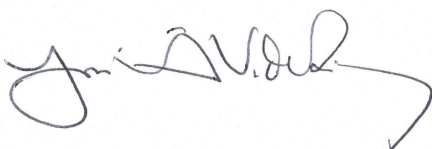
AUTORIAS



Sónia Antunes

Física Tecnológica, Mestre em Engenharia Física
Assistente de Investigação do LNEC
Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e
Instalações

O Director do Departamento de Edifícios



Jorge V. Patrício

Doutor em Engenharia Civil
Investigador Principal do LNEC
Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e
Instalações

BIBLIOGRAFIA

Andersen, B.; Kragh, J.; Bendtsen, H., 2005 – Acoustic performance of low noise road pavements, SILVIA Project Report SILVIA-DRI-010-02-WP4-290605, 2005.

Anfosso-Lédée, F.; Habert, J.; Watts, G., 2005 – Silvia WP 5. Combination of low noise road surfaces with road and building equipments, SILVIA Project Report SILVIA-LCPC_TUW-009-02-WP5-020205, 2005.

Antunes, S. e Patrício, J., 2006 – Avaliação da eficácia das medidas de minimização de impactes ambientais implementadas em Portugal, na componente acústica do ambiente, in proceedings de Tecniacustica 2006, Gandia, Outubro de 2006.

Antunes, S.; Patrício, J., 2006 – Estrutura de uma base de dados de medidas de minimização de impactes ambientais devidos ao ruído, in proceedings de Tecniacustica 2006, Gandia, Outubro de 2006.

Arnevik, A., 1999 – Poroelastic surfaces-Summary of Norwegian experiences, Workshop on poroelastic Road Surfaces, Stockholm, 1999.

Arsénio, E., 2006 – Stated choice valuations of traffic related noise, Transportation Research Part D, 15-31, 2006.

Bendtsen, H.; Carsten, B.; Macdonald, R., 2002 – Clogging of porous bituminous surfacing -an investigation in Copenhagen, Report 120, 2002, Danish Road Institute, 2002.

Bickel, P. *et al.*, 2006. HEATCO – Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, Deliverable 5, IER, Germany, 2006.

Blum, R.; Johnson, E.; Sombat, O.; Marshall, M.; Kohli, V. – A guide to visual quality in noise barrier design, Federal Highway Administration, EUA (acessível em: www.fhwa.dot.gov/environment/visql/index.htm).

Bochove, G., 1998 – Twin-lay, a new concept of drainage asphalt concrete, Euronoise 1998, München, Germany, 1998.

Cardoso, J., 2008 – Influência das características superficiais dos pavimentos sobre a segurança rodoviária. Resultados de estudos de observação, *in* proceedings de Estrada 2008. V Congresso Rodoviário Português, Estoril, Março de 2008.

Cesini, G.; Iannotti, A.; Mattei, E., 2003 – Acoustic analysis of viaduct expansion joints, *in* proceedings of EURONOISE, Naples, 2003.

Cesini, G.; Iannotti, A.; Mattei, E., 2004 Noise abatement treatments of viaduct expansion joints, *in* proceedings of Internoise 2004, Prague, Czech Republic.

CETUR, 1980 – Guide du bruit et des transports terrestres, Ministère de l'environnement et du cadre de vie, Paris, França, 1980.

Comissão Europeia, 2003 – Valuation of noise. Paper Position of the Working Group on N Health and Socio Economic Aspects, 21 November 2003.

Comissão Europeia, 2006 – Noise Classification of road pavements. Task 2 : Cost-effectiveness of low noise pavements, Draft report, Brussels.

Descornet, G.; Faure, B. ; Hammet, J.; Kestmont; X.; Quaresma, L.; Sandulli; D., 2000 – Traffic noise and road surfaces: State of art, Belgium Road Research Centre, Brussels, 2000.

Descornet, G.; Goubert, L., 2006 – Noise classification of road pavements. COWI Project report nº 1, European Commission, Directorate-General Environment, Brussels, 2006.

DGA, 2001 - Notas para Avaliação de Ruído em AIA e em Licenciamento, Setembro de 2001.

Environmental Protection Department, 2003 – Guidelines on Design of Noise Barriers, Environmental Protection Department, Hong Kong.

Fleming, G.; Knauer, H.; Lee, C.; Pedersen, S., 2000 – FHWA Highway noise barrier design handbook, Federal Highway Administration, EUA (acessível em www.fhwa.dot.gov/environment/noise/design/index.htm).

Garai, M.; Guidorsi, P., 2000 – European methodology for testing the airborne sound insulation characteristics of noise barriers in situ: Experimental verification and comparison with laboratory data, Journal of the Acoustical Society of America, vol 108 (3), pp 1054-1067, 2000.

Gibbs, D.; Iwasaki,R.; Bernhard,R.; Bledsoe,J.; Carlson, D.; Corbisier, C.; Fults, K.,2005 –Quiet pavement systems in europe, Federal Highway Administration, EUA, 2005.

IA, 2003a - Directrizes para a Elaboração de Planos de Monitorização de Ruído de Infra-Estruturas Rodoviárias e Ferroviárias, Fevereiro de 2003.

IA, 2003b - Procedimentos Específicos de Medição de Ruído Ambiente. Abril de 2003, <http://www.iambiente.pt/> .

Ishizuka, T.; Fujiwara, K., 2004 – Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions, *Applied Acoustics* 65, pp 125-141

Joynt, J.; Kang, J., 2003 – The use of public participation and noise mapping in the design of environmental noise barriers, in proceedings of Euronoise 2003, Naples, 2003

Joynt, J.; Kang, J., 2006 – A customised lifecycle assessment model for noise barrier design, in proceedings of Institute of Acoustics, 2006

Klingner, R.; McNerney, M.; Busch-Vishniac, 2003 – Design Guide for Highway noise barriers, University of Texas at Austin, Research Report 0-1471-4, Austin, 2003

Kotzen, B.; English, C., 1998 – Environmental Noise Barriers: A Guide to their Acoustic and Visual Design, E & FN Spon, London

Larsen, L.; Bendtsen, H., 2002 – Noise reduction with porous asphalt-cost and perceived effect, *in* proceedings of the 9th International conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, Denmark, August, 2002

Leitão, T.E., Oliveira, M.M., Barbosa, A. E., Fernandes, J., Antunes, S., Patrício, J., Ascensao, F. e Mira, A., 2006 - Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal. 2º Relatório 322/06 - NAS, LNEC, 2006.

Lima, J.; Brito,J., 2007 – Inspeccção e diagnóstico de juntas de dilatação em obras de arte rodovias, *Revista Engenharia Civil*, nº 28, pp 59-72, Universidade do Minho, 2007.

Litzka, J., 2002 – Austrian experiences with winter maintenance on porous asphalt, ISAP 2002, Copenhagen 2002.

- Maurer-Söhne GmbH Co. KG , citação de 4 de Junho de 2008, www.maurer-soehne.de
- Meloni, T.; Fischer, F., 2000 – Factors moderating the effect of noise barriers. In proceedings of NOISE-CON, Newport Beach, USA, 2000
- Morgan, P.; Watts, G., 2003 – A novel approach to the acoustic characterization of porous road surfaces, Applied Acoustics, vol 64, pp 1171-1186, 2003.
- Myncke, H.; Cops, A.; Belder, P., 1981 – Guide-line for the evaluation of the airborne sound insulation of dwellings, K.U.Leuven, Belgium, 1981.
- Oliveira, A.; Rocha, C., 2008 – Manual técnico para a elaboração de planos municipais de redução de ruído, Agência portuguesa do Ambiente, 2008.
- Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Moinante, M.J., Barbosa, A. E., Fernandes, J., Antunes, S., Patrício, J. e Mira, A., 2005 - Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal. Relatório 376/05 - NAS, LNEC, 2005.
- Poggi, A.; Casini, D.; Fagotti, C.; Secchi, S., 2000 – Contribution of double layer asphalt in reduction of urban traffic noise, Internoise 2000, Nice, France, 2000
- Renterghem, T.; Botteldooren, D.; Cornelis, W.; Gabriels, D., 2002 – Refraction of Noise Barriers in Wind by Vegetative Screens, Acta acústica, vol. 88, pp 231-238, 2002
- Ripke, O.; Andersen, B.; Bendtsen, H.; Sandberg, U., 2005 – Report of promising new road surfaces for testing, SILENCE Project Report SILENCE_F.D4_180805, 2005.
- Saelensminde, K.; Veisten, K., 2005 – Cost-benefit analysis. Silvia Project Report SILVIA-TOI-004-01-WP3-030505.
- Sandberg, U., 2004 – Semi-generic temperature corrections for tyre/road noise, *in proceedings* of INTERNOISE 2004, Prague, 2004.
- Sandberg, U.; Kalman, B.; Nilsson, R., 2005 – Design guidelines for construction and maintenance of poroelastic road surfaces, SILVIA Project Report SILVIA-VTI-005-02-WP4-141005, 2005.
- Sandberg, U.; Ohinishi, H.; Kondo, N.; Meiarashi, S., 2000 – Poroelastic road surfaces – State of the art, review, Internoise 2000, Nice, France, 2000
- Silva, P., 1975 – Ruído de tráfego rodoviário, Informação técnica Edifícios 7, LNEC, Lisboa, 1975.

Vermeir, G.; Geentjens, G.; Bruyninckx, W., 2004: – Measurement and calculation experiences on façade sound insulation, in proceedings of Internoise 2004, Prague, Czech Republic.

Watson, D., 2006 – Evaluation of benefits and opportunities for innovative noise barrier designs, HDR Engineering, Inc, Arizona, EUA, 2006 (acessível em: www.azdot.gov/TPD/ATRC/publications/project_reports/PDF/AZ572.pdf)

Watts, G., 1995 – Traffic Noise Barriers, TRL Annual Review 1995, TRL, United Kingdom.

WG-AEN, 2006 – Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise, 2006.

Zouboff, V.; Laporte, J.; Brunet, Y., 1998 – Effects des conditions météorologiques sur la propagation du bruit. Prise en compte pratique, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 1998.

ANEXO 1

Folha de cálculo para a realização de análises comparativas entre algumas medidas de minimização

ACB para Medidas de Minimização de Ruído

Alternativa 0	alternativa correspondente ao cenário base (normalmente betão betuminoso denso)	DAC 11
Alternativa 1	um pavimento "pouco ruidoso"	DPAC 8/16
Alternativa 1a	<i>o cálculo que utiliza o custo marginal (inclui também efeitos no ambiente, acidentes, segurança, tempo de percurso, operação do veículo)</i>	
Alternativa 1b	<i>o cálculo que utiliza o número de habitações junto à estrada e a valoração monetária da redução do ruído por pessoa</i>	
Alternativa 2	barreira acústica (o mesmo cálculo da alternativa 1b relativamente aos benefícios da redução do ruído)	
Alternativa 3	reforço do isolamento acústico de fachadas (o mesmo cálculo da alternativa 1b relativamente aos benefícios da redução do ruído)	

Guia do utilizador::
Somente os campos a verde podem ser mudados pelo utilizador
Os campos brancos correspondem a dados para o calculo
Os campos a amarelos não estão (ainda) incluídos nos cálculos do modelo
Os campos a azul são os resultados do modelo

Secção de entrada

País	Dinamarca
Tipo de estrada	auto-estrada
velocidade	110

1. Dados para a Análise Custo-Benefício

Taxa de desconto, em %	5
Período de calculo, em anos	10
Factor Anual	0,1233
Taxa de imposto %	20

2. Dados para custos com transporte**Custo do Ruído**para as Alternativas 1b, 2, 3
€ por dB(A) por pessoa e por ano (v. aprx.)

25,56

3. Dados de tráfego e da zona

	Todas as alternativas	Alternativa 1 & 0	Alternativa 1b, 2, 3
Comprimento da estrada, em km	1		
Largura da estrada a ser pavimentada, em metros		24	
Densidade de edifícios, por km			260
Altura típica dos edifícios (No. andares)			2
Preço médio das habitações, em €			250000
Largura total da estrada, em metros	42		
Nº total de vias (em ambas as direcções)	6		
Proporção de pneus de Inverno	0		
Factor de ajuste - correspondente à densidade de edifícios	0,7		
	para a Alternativa 1	para a Alternativa 0	
Velocidade, km/h	110	110	
Tráfego médio diário, TMD	60000	60000	
Proporção de veículos pesados	0,1	0,1	
Proporção de veículos ligeiros	0,9	0,9	
Proporção de autocarros	0,01	0,01	
Proporção de camiões	0,09	0,09	
4. Dados do Pavimento	Alternativa 1	Alternativa 0	Período
Custos do Pavimento	Investimento	Investimento	vida útil
Camada superior €/m2	5,40	5,60	15
Camada inferior (no caso de pavimentos com dupla camada), €/m2	9,70	0,00	0
Drenos do pavimento, €/m	0,00	0,00	0
Reciclagem da camada superior antiga, %	0,00	0,00	
Material reciclado da nova camada superior, %	0,00	0,00	
Custo da reciclagem/não reciclagem da camada superior, %	90,00	90,00	
Período de vida útil da camada superior, anos			7

Manutenção no Inverno (degelo), €/m2/ano	0,20		0,13		
Limpeza do pavimento, €/m2	0,00	0	0,00	0	
Limpeza dos drenos, €/m	0,00	0	0,00	0	
Manipulação especial de resíduos poluidores da água €/km/ano	0,00		0,00		
4. Dados do Pavimento					
Pavimento, Dados relativos aos níveis sonoros		Alternativa 1		Alternativa 0	
		dB(A)	km/h	dB(A)	km/h
Nível sonoro de passagem individual de veículos, a uma determinada velocidade		66	110	72	110
Nível sonoro na fachada dos edifícios, em dB(A) para uma determinada velocidade		69	110	75	110
Redução sonora no 1º ano, Alternativa 1 vs. Alternativa 0 - dB(A)				6	
Redução sonora relativa por redução de velocidade de 10 km/h - Alt.1 vs. Alt.0 - dB(A)				0,5	
Aumento relativo dos níveis sonoros por ano - Alt.1a vs Alt.0 - dB(A)				0,5	

5. Medidas alternativas de minimização do ruído

Barreiras acústicas - "Alternativa 2" (combinada com reforço do isolamento sonoro, para edifícios com um nº de pisos superior a 2)

Custo de Investimento (€/km)	726000
Custos de Manutenção (€/ano/km)	2200
Período de vida útil, em anos	25
Atenuação sonora dB(A)	6,2
% Redução do problema de incomodidade ao ruído (não é redução do ruído na fonte)	90
Proporção de edifícios que obtêm redução sonora	66,67
Proporção de edifícios que necessitam de reforço do isolamento sonoro	33,33

Reforço do isolamento sonoro de fachada (janelas) - "Alternativa 3"

Custos de Investimento (€/habitação)	6640
Custo de Manutenção (€/habitação/ano)	0
Período de vida útil, em anos	25
Atenuação sonora dB(A), níveis sonoros no interior da habitação	9
% Redução do problema de incomodidade ao ruído	60

Secção de resultados

Custos de projecto - Pavimentos Rodoviários - € para uma dada extensão e comprimento (valor presente)

Alternativa	Investimento	Investimento	Manutenção	Manutenção	Manutenção
	camada	drenagem	Inverno	limpeza de superfície	limpeza dos drenos
Alternativa 0	134.400	0	26.107	0	0
Alternativa 1	450.118	0	39.161	0	0

Custo para a sociedade - Custos marginais Ruído Alternativas 0, 1a. (Cálculos das folhas 0 e 1a.)

Alternativa	Ruído	Velocidade km/h
Alternativa 0	0,023	110

Benefícios da redução do ruído para a sociedade (custos da redução sonora) - valor em € calculado por redução em dB(A) por pessoa e por ano - Alternativas 1b, 2, 3

Alternativa	Média da redução sonora no período de vida útil dB(A)	Benefícios da redução do ruído por habitação e por ano
Alternativa 1	4,5	€ 917
Alternativa 2	6,2	€ 1.403
Alternativa 3	9,0	€ 2.476

Resultados da ACB - relativos a Alternativa 0 (benefícios e custos adicionais comparados com o cenário base)

	Alternativa 1b Pavimento "pouco ruidoso" (benefícios da redução do ruído)		Alternativa 2 barreiras (plus ev. ins.) (benefícios da redução do ruído)	
	Alternativa 1b	€/projecto	€/ano	€/projecto
Benefícios	238.435	1.933.192	364.806	2.957.784
Custos, Investimentos	38.940	315.718	89.543	726.000
Custos, Operações/manutenção	1.610	13.054	2.200	17.837
Taxa de imposto	8.110	65.754	18.349	148.767
Custos/benefícios		1538666		2.065.179
Razão custo/benefício		4,90		3,31
Razão custo/benefício líquida		3,90		2,31
Custo total do projecto por habitação	187	1.517	423	3
Custo do projecto por redução de dB(A) por habitação	42	337	68	554
	Alternativa 3 reforço do isolamento sonoro (benefícios da redução do ruído)			
	€/ano	€/projecto		
Benefícios	643.776	5.219.619		
Custos, Investimentos	212.930	1.726.400		
Custos, Operações/manutenção	0	0		
Taxa de imposto	42.586	345.280		
Custos/benefícios		3.147.939		
Razão custo/benefício		2,52		
Razão custo/benefício líquida		2		
Custo total do projecto por habitação	983	7.968		
Custo do projecto por redução de dB(A) por habitação	109	885		

ANEXO 2

Documentação de apoio ao projecto de guardas de segurança

Legislação francesa, relativa a guardas de segurança: Circulaire n° 88-49 de 9 de Maio de 1988

— Ministère de l'équipement; du logement, de l'aménagement du territoire et des transports; «Dispositifs de Retenue des Véhicules; Conditions d'agrément et d'emploi»; 1 Introduction.

— Ministère de l'équipement; du logement, de l'aménagement du territoire et des transports; «Dispositifs de Retenue des Véhicules; Conditions d'agrément et d'emploi»; 2 Dispositifs latéraux métalliques.

— Ministère de l'équipement; du logement, de l'aménagement du territoire et des transports; «Dispositifs de Retenue des Véhicules; Conditions d'agrément et d'emploi»; 3 Dispositifs latéraux en béton.

— Ministère de l'équipement; du logement, de l'aménagement du territoire et des transports «Dispositifs de Retenue des Véhicules; Conditions d'agrément et d'emploi»; 4 Dispositifs frontaux.

Guias técnicos (guardas de segurança):

— Document technique/Guide technique - Barrières de sécurité pour la retenue des véhicules légers - Barrières de niveau N en accotement - Aménagement en TPC - Collection du guide technique GC, SETRA 2001

— Document technique /Guide technique - Barrières de sécurité pour la retenue des poids lourds. Barrières de niveau H2 ou H3 - Collection du guide technique GC, SETRA 1999

— Document technique/Guide technique - Barrières de sécurité pour la retenue des poids lourds (barrières de niveau H2 ou H3) - Collection du guide technique GC - Note de mise à jour n° 1, SETRA , 2001

