



MANUAL TÉCNICO PARA ELABORAÇÃO  
DE  
**PLANOS MUNICIPAIS DE REDUÇÃO DE RUÍDO**

A. P. Oliveira de Carvalho, Cecília Rocha



**AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE**

Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia

**FEUP**

**LABORATÓRIO DE ACÚSTICA**



***Ficha técnica:***

***Título:*** Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído

***Autoria:*** A.P. Oliveira de Carvalho e Cecília Rocha

***Colaboração APA:*** Margarida Guedes, Maria João Leite, Nuno Sequeira e Dília Jardim

***Colaboração FEUP:*** Edgar Costa, Paulo Marques

***Edição:*** Agência Portuguesa do Ambiente

***Tiragem:*** 750 CDrom

10 exemplares impressos em papel

***Depósito Legal:***

Versão impressa: 2724024/08

Versão digital (CD): 2724025/08

***ISBN:*** 978-972-8577-42-1

***Data de edição:*** Abril 2008



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>	4.2.3.2. Proposta de Caderno de Encargos .....	46
<b>2. ENQUADRAMENTO .....</b>	<b>17</b>	4.2.4. Consulta e Informação ao público .....	48
<b>3. NOÇÕES DE ACÚSTICA E TERMINOLOGIA .....</b>	<b>19</b>	<b>4.3. Componente técnica.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1. Definições e Siglas .....</b>	<b>19</b>	4.3.1. Conteúdo técnico .....	51
<b>3.2. Indicadores de ruído .....</b>	<b>27</b>	4.3.2. Dados para elaboração de PMRR.....	52
<b>3.3. Relação entre o ruído e a saúde .....</b>	<b>31</b>	4.3.3. Mapa de Zonas de Conflito .....	53
3.3.1. Tipos e efeitos .....	31	4.3.3.1. Definições.....	53
3.3.2. Efeitos sobre o aparelho auditivo .....	31	4.3.3.2. Critérios de identificação.....	54
3.3.3. Efeitos não auditivos .....	33	4.3.3.3. Critérios de prioridade de acção.....	55
3.3.3.1. Características.....	33	4.3.4. Fontes de ruído .....	57
3.3.3.2. Redução das faculdades de compreensão.....	34	4.3.4.1. Definições.....	57
3.3.3.3. Perturbações no sono .....	34	4.3.4.2. Critérios de identificação.....	57
3.3.3.4. Stress .....	35	4.3.4.2.1. Tipos de fontes de ruído.....	57
3.3.3.5. Problemas cardiovasculares .....	35	4.3.4.2.2. Infra-estruturas de transporte rodoviário .....	58
3.3.3.6. Redução no desempenho profissional .....	36	4.3.4.2.3. Infra-estruturas de transporte ferroviário.....	58
<b>4. PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RUÍDO .....</b>	<b>41</b>	4.3.4.3. Infra-estruturas de transporte aéreo .....	58
<b>4.1. Generalidades .....</b>	<b>41</b>	4.3.4.4. Gestão do ruído de actividades ruidosas permanentes ..	59
<b>4.2. Componente administrativa .....</b>	<b>42</b>	4.3.4.5. Entidades responsáveis.....	60
4.2.1. Abordagem organizacional.....	42	<b>4.4. Análise Custo-Benefício .....</b>	<b>63</b>
4.2.1.1. Objectivos.....	42	4.4.1. Generalidades .....	63
4.2.1.2. Competências internas .....	42	4.4.2. Determinação da população abrangida .....	63
4.2.1.3. Responsabilidade do Município .....	43	4.4.3. Custos envolvidos .....	64
4.2.2. Abordagem estratégica .....	43	4.4.3.1. Objectivos .....	64
4.2.2.1. Estratégias intermunicipais .....	43	4.4.3.2. Custos associados ao pavimento .....	65
4.2.2.2. Financiamentos.....	44	4.4.3.3. Custos de medidas de gestão de tráfego .....	66
4.2.3. Implementação .....	45	4.4.3.4. Custos associados à implantação de barreiras .....	67
4.2.3.1. Prazos de execução .....	45	4.4.3.5. Custos para reforço de isolamento de fachada .....	68
		4.4.4. Avaliação da eficácia económica das medidas .....	69
		<b>4.5. Pós-avaliação .....</b>	<b>74</b>
		4.5.1. Objectivo .....	74

4.5.2. Monitorização .....	74	A1.2.2.1. Características dos veículos .....	155
<b>5. APLICAÇÃO PRÁTICA “PROJECTOS-PILOTO” .....</b>	<b>79</b>	A1.2.2.2. Características das vias .....	157
<b>5.1. Objectivos.....</b>	<b>79</b>	A1.2.2.3. Gestão do tráfego .....	162
<b>5.2. Procedimentos prévios .....</b>	<b>79</b>	<b>A1.2.3. Tráfego ferroviário.....</b>	<b>163</b>
<b>5.3. Critérios de simplificação adoptados .....</b>	<b>80</b>	A1.2.3.1. Características dos veículos .....	163
<b>5.4. Concelho de Santa Maria da Feira .....</b>	<b>83</b>	A1.2.3.2. Características das vias .....	166
5.4.1. Plano Municipal de Redução de Ruído .....	83	<b>A1.3. Redução do ruído no meio de propagação .....</b>	<b>167</b>
5.4.1.1. Descrição do município.....	83	A1.3.1. Uso do solo.....	167
5.4.1.2. Resumo dos dados de origem dos mapas de ruído .....	84	A1.3.1.1. Objectivos .....	167
5.4.1.3. Entidades competentes pela execução de medidas de redução de ruído .....	90	A1.3.1.2. Condicionantes ao uso .....	168
5.4.1.4. Metodologia.....	90	A1.3.1.3. Aquisição de terrenos .....	169
5.4.1.5. Calendarização da execução das medidas de redução de ruído .....	117	A1.3.2. Interposição de barreiras.....	169
5.4.1.6. Resumo do plano municipal de redução do ruído.....	117	A1.3.3. Recolocação de edifícios .....	170
<b>5.5. Concelho da Maia.....</b>	<b>119</b>	<b>A1.4. Redução do ruído no receptor .....</b>	<b>171</b>
5.5.1. Plano Municipal de Redução de Ruído .....	119	<b>A1.5. Redução do ruído na construção e manutenção .....</b>	<b>172</b>
5.5.1.1. Descrição do município.....	119	<b>A1.6. Regulação do ruído de transportes .....</b>	<b>173</b>
5.5.1.2. Resumo dos dados de origem dos mapas de ruído .....	120	<b>A1.7. Implementação de técnicas de redução de ruído .....</b>	<b>177</b>
5.5.1.3. Entidades competentes pela execução de medidas de redução de ruído .....	128	A1.7.1. Objectivo .....	177
5.5.1.4. Metodologia.....	129	A1.7.2. Redução do ruído na fonte .....	178
5.5.1.5. Calendarização da execução das medidas de redução de ruído .....	146	A1.7.2.1. Mecanismos de actuação .....	178
5.5.1.6. Resumo do plano municipal de redução do ruído.....	146	A1.7.2.2. Pavimentos .....	178
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>147</b>	A1.7.2.2.1. Efeitos acústicos.....	178
<b>ANEXO 1: TÉCNICAS PARA REDUÇÃO DE RUÍDO .....</b>	<b>153</b>	A1.7.2.2.2. Efeitos não acústicos.....	180
<b>A1.1. Generalidades .....</b>	<b>153</b>	A1.7.2.2.3. Tipos de pavimentos .....	181
<b>A1.2. Redução do ruído na fonte.....</b>	<b>155</b>	A1.7.2.3. Medidas de gestão de tráfego.....	187
A1.2.1. Bases .....	155	A1.7.2.4. Formas Urbanas .....	195
A1.2.2. Tráfego rodoviário .....	155	<b>A1.7.3. Redução do ruído no meio de propagação .....</b>	<b>198</b>
		A1.7.3.1. Barreiras Acústicas .....	198
		A1.7.3.1.1. Generalidades .....	198
		A1.7.3.1.2. Conceitos.....	200
		A1.7.3.1.3. Factores determinantes no custo de uma barreira .....	202
		A1.7.3.1.4. Categorias e materiais .....	204
		A1.7.3.1.5. Resumo de características das barreiras .....	214
		A1.7.3.1.6. Factores que afectam o desempenho de barreiras .....	215

A1.7.3.1.6.1. Redução da atenuação sonora .....	215
A1.7.3.1.6.2. Extensão mínima .....	216
A1.7.3.1.7. Considerações acústicas na concepção .....	217
A1.7.3.2. Vegetação .....	222
<b>A1.7.4. Redução do ruído no receptor .....</b>	<b>222</b>
A1.7.4.1. Reforço Acústico .....	222
A1.7.4.1.1. Objectivo .....	222
A1.7.4.1.2. Reforço das envolventes opacas .....	223
A1.7.4.1.3. Reforço dos vãos envidraçados exteriores .....	223
A1.7.4.2. Soluções estratégicas .....	226
A1.7.4.2.1. Compra ou expropriação de terrenos .....	226
A1.7.4.2.2. Outras acções.....	226
<b>ANEXO 2: ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO E ADMINISTRATIVO .....</b>	<b>229</b>
<b>A2.1. Legislação de Acústica .....</b>	<b>229</b>
A2.1.1. Regulamento Geral do Ruído (RGR) .....	229
A2.1.2. Directiva do Ruído Ambiente (DRA) .....	233
A2.1.3. Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) .....	237
<b>A2.2. Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT) .....</b>	<b>238</b>
A2.2.1. Resumo .....	238
A2.2.2. Relação entre instrumentos de âmbito nacional e regional .....	240

A2.2.2.1. Objectivo .....	240
A2.2.2.2. Instrumentos de Gestão Municipal.....	240
A2.2.2.2.1. Planos Intermunicipais de Ordenamento do Território (PIMOT). .....	240
A2.2.2.2.2. Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT).....	241
A2.2.2.2.2.1. Âmbito .....	241
A2.2.2.2.2.2. Plano Director Municipal (PDM) .....	241
A2.2.2.2.2.3. Plano de Urbanização (PU) .....	243
A2.2.2.2.2.4. Plano de Pormenor (PP).....	244
<b>A2.2.3. Interação com o ruído.....</b>	<b>245</b>
A2.2.3.1. Âmbito.....	245
A2.2.3.2. Instrumentos de Gestão do Ruído.....	246
A2.2.3.2.1. Carta de Classificação de Zonas (CCZ) .....	246
A2.2.3.2.2. Mapa de Ruído (MR).....	247
A2.2.3.2.3. Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR).....	248
A2.2.3.2.4. Relatório sobre Ambiente Acústico (RSAA) .....	248
A2.2.3.2.5. Regulamento Municipal de Ruído (RMR) .....	249
<b>A2.3. Normalização .....</b>	<b>249</b>
<b>ANEXO 3: ENTIDADES RODOVIÁRIAS, FERROVIÁRIAS E AEROPORTUÁRIAS .....</b>	<b>251</b>
<b>ANEXO 4: PEÇAS DESENHADAS .....</b>	<b>253</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1 - Amplitude de uma onda sonora [adaptado (IBGE, 2003)] .....	20
Figura 3. 2 - Exemplo de fonte pontual, (Brue&Kjaer, 2000) .....	21
Figura 3. 3 - Exemplo de fonte linear, (Brue&Kjaer, 2000) .....	22
Figura 3. 4 - Exemplo de ruído de vizinhança (Brue&Kjaer, 2000) .....	26
Figura 3. 5- Escala de níveis de pressão sonora, (Brue&Kjaer, 2000) .....	28
Figura 3. 6 - Curvas de ponderação .....	29
Figura 3. 7 - Duração máxima admissível de exposição diária aos níveis sonoros indicados sem repercussões na saúde [adaptado (IBGE, 2003)] .....	32
Figura 3. 8 - Incomodidade face aos diferentes modos de transporte [adaptado (IBGE, 2003)] .....	32
Figura 3. 9 - Resumo dos efeitos genéricos do ruído na saúde da população afectada [adaptado (IBGE, 2003)] .....	37
Figura 4. 1 - Rede de estradas do PRN2000 concessionadas .....	61
Figura 4. 2 - Linhas e ramais em exploração (REFER EP, 2007) .....	61
Figura 4. 3 - Mapa de aeroportos e aeródromos (Pelicano, 2007) .....	62
Figura 5. 1 - Representação da Rede Rodoviária, Ferroviária e da mancha edificada do concelho .....	83
Figura 5. 2 - Rede rodoviária do concelho .....	88
Figura 5. 3 - Rede ferroviária do concelho .....	88
Figura 5. 4 - Zonas Industriais e indústrias isoladas do concelho .....	89
Figura 5. 5 - Zona edificada não industrial do concelho .....	89
Figura 5. 6 - Mapa de ruído global do concelho na situação inicial, $L_{den}$ .....	93
Figura 5. 7 - Mapa de ruído rodoviário do concelho na situação inicial, $L_{den}$ .....	93
Figura 5. 8 - Mapa de ruído ferroviário do concelho na situação inicial, $L_{den}$ .....	94
Figura 5. 9 - Mapa de ruído industrial do concelho na situação inicial, $L_{den}$ .....	94
Figura 5. 10 - Mapa de ruído global do concelho, $L_{den}$ .....	95
Figura 5. 11 - Mapa parcial de ruído rodoviário do concelho, $L_{den}$ .....	95
Figura 5. 12 - Mapa parcial de ruído industrial do concelho, $L_{den}$ .....	96
Figura 5. 13 - Mapa parcial de ruído ferroviário do concelho, $L_{den}$ .....	96
Figura 5. 14 - Mapa de conflitos global ( $L_{den}$ ) do concelho .....	100
Figura 5. 15 - Mapa de conflitos rodoviários do concelho ( $L_{den}$ ) .....	100
Figura 5. 16 - Influência de Zonas de 30 km/h no indicador $L_{Amax}$ [adaptado de (Westhauser, et al., 2004)] .....	105



Figura 5. 17 - Exemplo de atenuação sonora de uma camada de desgaste Poroelástica por comparação com a MBDG/SMA11 para velocidades de circulação de 30 e 50 km/h [adaptado de (Nilsson, et al., 2007)] .....	106
Figura 5. 18 - Comparação entre camadas de desgaste Poroelásticas e em MBDG/SMA11 [adaptado de (Nilsson, et al., 2007)] .....	106
Figura 5. 19 - Mapa de ruído global ( $L_{den}$ ) de uma área parcelar do concelho .....	108
Figura 5. 20 - Mapa de exposição sonora global ( $L_{den}$ ) dos edifícios (representação gráfica segundo classes de exposição) .....	109
Figura 5. 21 - Mapa de conflitos ( $L_{den}$ ) de uma área parcelar do concelho .....	111
Figura 5. 22 - Mapa de conflito da exposição sonora global ( $L_{den}$ ) dos edifícios (representação gráfica segundo classes de conflito) .....	112
Figura 5. 23 - Diferenças de interpretação resultantes do tipo de avaliação seleccionado (mapa de conflito <i>versus</i> mapa de exposição) .....	113
Figura 5. 24 - Representação da rede rodoviária, ferroviária, aérea e da mancha edificada do concelho .....	119
Figura 5. 25 - Rede Rodoviária do concelho .....	125
Figura 5. 26 - Rede Ferroviária do concelho .....	125
Figura 5. 27 - Zona Industrial e Indústrias isoladas do concelho .....	126
Figura 5. 28 - Rede de Transporte Aéreo do concelho .....	127
Figura 5. 29 - Parque edificado do concelho .....	127
Figura 5. 30 - Proposta da Carta de Classificação de Zonas do concelho .....	128
Figura 5. 31 - Mapa de Ruído Global do concelho ( $L_{den}$ ) .....	131
Figura 5. 32 - Mapa de Ruído Global do concelho ( $L_n$ ) .....	131
Figura 5. 33 - Mapa de Ruído Aéreo do concelho ( $L_{den}$ ) .....	132
Figura 5. 34 - Mapa de Ruído Industrial do concelho ( $L_{den}$ ) .....	132
Figura 5. 35 - Mapa Global de Conflitos do concelho ( $L_{den}$ ) .....	134
Figura 5. 36 - Mapa Global de Conflitos do concelho ( $L_n$ ) .....	134
Figura 5. 37 - Mapa de ruído global ( $L_{den}$ ) de uma área central do concelho .....	137
Figura 5. 38 - Mapa de exposição sonora global ( $L_{den}$ ) dos edifícios (representação gráfica segundo classes de exposição) .....	138
Figura 5. 39 - Extracto da Carta de Classificação de Zonas do concelho para a Área Central .....	140
Figura 5. 40 - Mapa de conflitos ( $L_{den}$ ) de uma área central do concelho .....	141
Figura 5. 41 - Avaliação da eficácia da alteração do pavimento actual “em paralelo” por um pavimento betuminoso tradicional ou por um pavimento em betuminoso drenante, considerando a área exposta .....	143
Figura 5. 42 - Avaliação da eficácia da alteração do pavimento actual “em paralelo” por um pavimento betuminoso tradicional ou por um pavimento em betuminoso drenante, em termos de população exposta .....	144
Figura A1. 1 - Fontes de emissão sonora num veículo ligeiro [adaptado de (Sandberg, et al., 2002)] .....	156
Figura A1. 2 - Influência das características da estrada, veículo e pneus no Ruído Rodoviário [adaptado de (FEHRL, 2006)] .....	157
Figura A1. 3 - Mecanismos de propagação sonora de uma camada de desgaste [adaptado de (FEHRL, 2006)] .....	159
Figura A1. 4 - Exemplo de banda sonora (DfT, 2007) .....	162
Figura A1. 5 - Fontes de ruído ferroviário [adaptado de (IMAGINE Consortium, 2007)] .....	164
Figura A1. 6 - Fontes de ruído uma composição ferroviária [adaptado de (IMAGINE Consortium, 2007)] .....	165

Figura A1. 7 - Exemplo de arruamento com perfil "U" (IBGE, 2003) .....	179
Figura A1. 8 - Comparação acústica de diferentes tipos de pavimentos [adaptado de (FEHRL, 2006)] .....	186
Figura A1. 9 - Exemplo de medidas de estreitamento de vias (Fehr & Peers, 2005) .....	188
Figura A1. 10 - Exemplo de medidas de estreitamento de vias (Fehr & Peers, 2005) .....	188
Figura A1. 11 - Exemplo de restrição de largura à entrada de intersecções (Huang, et al., 2001) .....	189
Figura A1. 12 - Exemplo de intersecção em T modificada (Fehr & Peers, 2005) .....	189
Figura A1. 13 - Exemplo de gincana (Fehr & Peers, 2005) .....	190
Figura A1. 14 - Exemplo de mini-rotunda (Fehr & Peers, 2005) .....	190
Figura A1. 15 - Exemplo de bandas sonoras (ACA-M, 2007) .....	191
Figura A1. 16 - Exemplo de lombas do tipo "bump" (Wikipedia, 2008) .....	191
Figura A1. 17 - Exemplo de lombas do tipo "hump" (Partington, 1999) .....	192
Figura A1. 18 - Lomba parcial e interrompida (Chase, 2007) .....	192
Figura A1. 19 - Exemplo de travessia sobrelevada (Fehr & Peers, 2005) .....	193
Figura A1. 20 - Exemplo de travessia sobrelevada [www.trafficcalming.org] .....	193
Figura A1. 21 - Exemplo de travessia sobrelevada (Fehr & Peers, 2005) .....	193
Figura A1. 22 - Exemplo de propagação sonora em edifícios paralelos à via (IA, et al., 2004) .....	195
Figura A1. 23 - Comparação acústica da disposição de edifícios em relação à via (IA, et al., 2004) .....	196
Figura A1. 25 - Proposta de perfil transversal em zona de influência de ruído rodoviário (IA, et al., 2004) .....	197
Figura A1. 26 - Proposta de perfil transversal em zona de influência de ruído rodoviário com evolução de cêrcea (IA, et al., 2004) .....	197
Figura A1. 24 - Proposta de desenho urbano para protecção ao ruído rodoviário (IA, et al., 2004) .....	197
Figura A1. 27 - Fenómenos de absorção, transmissão, reflexão e difracção numa barreira acústica (FHWA, et al., 2000) .....	198
Figura A1. 28 - Exemplo de perda de eficácia de uma barreira colocada a meia distância entre emissor e receptor (IBGE, 2003) .....	199
Figura A1. 29 - Exemplo de influência do vento na propagação das ondas sonoras (IBGE, 2003) .....	199
Figura A1. 30 - Exemplos de terminações de barreiras [adaptado de (IBGE, 2003)] .....	200
Figura A1. 31 - Geometria da barreira acústica (Carvalho, 2007) .....	201
Figura A1. 32 - Método gráfico para determinação da atenuação de barreiras acústicas em função de $a+b-c$ (Carvalho, 2007) .....	202
Figura A1. 33 - Barreira em betão texturado colorida (FHWA, et al., 2000) .....	205
Figura A1. 34 - Barreira em betão texturado natural (FHWA, et al., 2000)] .....	205
Figura A1. 35 - Barreira em muro de alvenaria (FHWA, et al., 2000) .....	206
Figura A1. 36 - Barreira em painéis metálicos (vista posterior) (FHWA, et al., 2000) .....	207
Figura A1. 37 - Barreira em painéis metálicos (FHWA, et al., 2000) .....	208
Figura A1. 38 - Barreiras em Madeira (FHWA, et al., 2000) .....	209
Figura A1. 39 - Barreira acústica transparente com pormenor de integração paisagística (FHWA, et al., 2000) .....	210
Figura A1. 40 - Barreira absorvente em material plástico (FHWA, et al., 2000) .....	211
Figura A1. 41 - Barreira compósita de betão com betão madeira (FHWA, et al., 2000) .....	212
Figura A1. 42 - Barreira compósita de betão com borracha (FHWA, et al., 2000) .....	212
Figura A1. 43 - Barreiras "naturais" em mota de terra (FHWA, et al., 2000) .....	213

Figura A1. 44 - Barreiras “naturais” em mota de terra (FHWA, et al., 2000).....	213
Figura A1. 45 - Esquema com minimização do comprimento da barreira por inclinação dos troços finais da barreira (Kotzen, et al., 1999).....	217
Figura A1. 46 - Esquema com regras empíricas para determinação do comprimento mínimo de uma barreira (FHWA, et al., 2000).....	217
Figura A1. 47 - Exemplo de terminação de barreira (FHWA, et al., 2000).....	218
Figura A1. 48 - Exemplo de instalação de barreiras junto a edifícios [ (IA, et al., 2004)].....	220



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3. 1- Filtro A .....	29
Quadro 3. 2 - Valores-guia de ruído ambiente (Berglund, et al., 1995) .....	38
Quadro 4. 1 - Valores-limite de exposição ao ruído ambiente exterior (MAOTDR, 2007) .....	54
Quadro 4. 2 - Critérios de prioridade de acção em Zonas Mistas e Sensíveis .....	56
Quadro 4. 3 - Número estimado de pessoas (em centenas) expostas a diferentes classes de valores de $L_{den}$ e $L_n$ , por fonte sonora (IA, et al., 2007) .....	64
Quadro 4. 4 - Custos de pavimentação (valores indicativos).....	66
Quadro 4. 5 - Custos médios de medidas de gestão de tráfego [(Almeida, 2007), valores indicativos actualizados à data de 2007] .....	67
Quadro 4. 6 - Custos médios de Barreiras Acústicas (valores indicativos).....	67
Quadro 4. 7 - Custos médios de Reforço acústico de vãos envidraçados (valores indicativos) .....	69
Quadro 4. 8 - Resumo dos valores considerados no exemplo-tipo holandês [adaptado de (Larsen, et al., 2001)] .....	70
Quadro 4. 9 - Resumo das medidas de minoração disponíveis e respectivo alcance de atenuação considerados no exemplo-tipo holandês [adaptado de (Larsen, et al., 2001)].....	70
Quadro 4. 10 - Resumo dos custos unitários das medidas de minoração [adaptado de (Larsen, et al., 2001)] .....	72
Quadro 4. 11 - Estimativa dos custos (em €) das medidas de minoração de ruído para 1 km de estrada [adaptado de (Larsen, et al., 2001)] .....	73
Quadro 5. 1 - Características dos concelhos utilizados nos “projectos-piloto” [adaptado de (INE, 2002)] .....	79
Quadro 5. 2 - Listagem das infra-estruturas rodoviária do concelho e respectivas entidades responsáveis.....	85
Quadro 5. 3 - Listagem das infra-estruturas ferroviária do concelho e respectivas entidades responsáveis .....	87
Quadro 5. 4 - Código de cores indicados pela APA [adaptado de (IA, et al., 2007)] .....	92
Quadro 5. 5 - Identificação das áreas (ha) expostas ao ruído ambiente, segundo classes de exposição e entidade gestora.....	97
Quadro 5. 6 - Quantificação da população exposta ao ruído ambiente, segundo classes de exposição e entidade gestora.....	98
Quadro 5. 7 - Classes de sobreexposição e código de cores utilizado .....	101
Quadro 5. 8 - Identificação das áreas (ha) e população expostas e sobreexpostas ao ruído ambiente no concelho .....	101
Quadro 5. 9 - Identificação das áreas (ha) e população expostas e sobreexpostas por fonte sonora e entidade gestora no concelho .....	103
Quadro 5. 10 - Resultados de um local dos 10 contemplados na campanha de medições efectuada no âmbito das Zonas de 30 km/h na Áustria [adaptado de (Pischinger, et al., 1995)] .....	104
Quadro 5. 11 - Resumo de população exposta segundo classe de exposição e fonte sonora na Zona Central.....	110
Quadro 5. 12 - Código de cores considerado nos Mapas de Conflito .....	113
Quadro 5. 13 - Comparação dos valores da população exposta para diferentes alternativas de actuação .....	114
Quadro 5. 14 - Eficácia das barreiras instaladas pela EP, SA no IC24 em relação à totalidade das suas vias .....	115

Quadro 5. 15 - Eficácia das barreiras instaladas pela Brisa na AE1 em relação à totalidade das vias sob a sua responsabilidade .....	116
Quadro 5. 16 - Listagem das infra-estruturas rodoviária do concelho e respectivas entidades responsáveis.....	121
Quadro 5. 17 - Listagem das infra-estruturas ferroviárias do concelho e respectivas entidades responsáveis.....	124
Quadro 5. 18 - Classes de sobreexposição e código de cores utilizado .....	134
Quadro 5. 19 - Quadro resumo das áreas de exposição e de conflito (ha) do concelho .....	135
Quadro 5. 20 - Resumo de área e população exposta segundo classe de exposição na Zona de Pormenor .....	139
Quadro 5. 21 - Quadro resumo da eficácia da alteração do tipo de pavimento nas vias municipais.....	145
Quadro A1. 1 - Desempenho acústico de pavimentos [adaptado de (FEHRL, 2006)] .....	161
Quadro A1. 2 - Potenciais fontes sonoras na circulação ferroviária [adaptado de (IMAGINE Consortium, 2007)] .....	165
Quadro A1. 3 - Atenuações proporcionadas por intervenção conjunta em rodado e carril .....	167
Quadro A1. 4 - Instrumentos estratégicos de minimização do ruído ambiente .....	173
Quadro A1. 5 - Desempenho acústico de diversos tipos de pavimentos [adaptado de (FEHRL, 2006)] .....	186
Quadro A1. 6 - Medidas de gestão de tráfego e suas atenuações potenciais.....	194
Quadro A1. 7 - Quadro-resumo das características de barreiras acústicas [adaptado de (IBGE, 2003)] .....	214
Quadro A1. 8 - Relação entre áreas de vazio e a redução da atenuação proporcionada por uma Barreira (EPD, 2003) .....	216
Quadro A1. 9 - Relação entre a perda por inserção da barreira e a facilidade de concepção [adaptado de (FHWA, et al., 2000)] .....	218
Quadro A1. 10 - Relação entre a distância de barreiras paralelas e a sua perda de eficácia [adaptado de (FHWA, et al., 2000)] .....	219
Quadro A1. 11 - Resumo sobre Barreiras Acústicas [adaptado de (FHWA, et al., 2000)] .....	221
Quadro A1. 12 - Atenuação sonora proporcionada por um maciço de vegetação .....	222
Quadro A1. 13 - Isolamento Sonoro de diversos tipos de vidro [adaptado de (Saint-Gobain Glass, 2000)] .....	224
Quadro A1. 14 - Isolamento Sonoro de diversos tipos de vidro [adaptado de (Carvalho, 2007)] .....	225
Quadro A1. 15 - Características físicas de vidros [adaptado de (Saint-Gobain Glass, 2000)] .....	225
Quadro A3. 1 - Contactos das concessionárias rodoviárias em Portugal .....	251
Quadro A3. 2 - Contactos das concessionárias ferroviárias em Portugal .....	252
Quadro A3. 3 - Contactos das concessionárias aeroportuárias em Portugal .....	252



## 1. INTRODUÇÃO

Este manual pretende ser um documento de trabalho para as instituições municipais que têm de lidar com a gestão do ruído ambiente, no contexto do Regulamento Geral do Ruído (2007) e legislação complementar.

Este manual é composto por um corpo principal onde se destaca o léxico utilizado, se introduzem os conceitos acústicos e os indicadores utilizados onde, por fim, se descreve o conteúdo geral de um Plano Municipal de Redução do Ruído.

Este Manual é complementado por um corpo de Anexos destinado aos utilizadores menos familiarizados com este tema e que pretendam aprofundar os seus conhecimentos neste domínio. Inclui a descrição de diversas técnicas de redução de ruído ambiente, o enquadramento legislativo actual e a identificação das entidades públicas e privadas relacionadas com as grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aeroportuário.







## 2. ENQUADRAMENTO

Segundo o Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro), é da competência do Estado, através da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) “*prestar apoio técnico às entidades competentes para elaborar mapas de ruído e planos de redução de ruído, incluindo a definição de directrizes para a sua elaboração*”. Pretende-se assim, com este **Manual Técnico para elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído**, dar resposta parcial a estes requisitos legislativos.

A necessidade de um documento de apoio desta natureza deriva da obrigatoriedade legal de correcção, por parte dos municípios Portugueses, das situações de incumprimento existentes no campo sonoro instalado em zonas particulares do seu território e da prevenção de novas situações de incumprimento.

Esta atitude, obrigatória, de correcção do nível sonoro de ruído ambiente exterior e de prevenção da poluição sonora, advém já do texto da Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 11/87 de 7 de Abril, artigos 21º e 22º), tendo sido sistematizada no anterior Regime Legal sobre a Poluição Sonora (Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro) através das medidas gerais de prevenção e controlo da poluição sonora nas quais se preconizava uma “*política de ordenamento do território e de urbanismo que deve assegurar a qualidade do ambiente sonoro, promovendo a distribuição adequada, em especial, das funções de habitação, trabalho e lazer*”, a definição e classificação do território municipal em *Zonas Mistas* e *Zonas Sensíveis* que deve constar da Planta de Condicionantes do respectivo Plano Director Municipal (PDM), a elaboração de *Mapas de Ruído* para conhecimento do estado actual de Poluição Sonora e a detecção de eventuais Zonas de Conflito sobre as quais deveria recair o aí mencionado **Plano Municipal de Redução de Ruído**, com “*carácter misto, regulamentar e programático*”.

Adicionalmente, a transposição da Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho pelo Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho tornou obrigatória a recolha de dados acústicos, a elaboração de relatórios sobre o ambiente acústico e a disponibilização de informação ao público “*sob a forma de mapas estratégicos de ruído*”, em particular das “*grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo e as aglomerações de maior expressão populacional*”. Como consequência da execução dos mapas estratégicos de ruído, surge a premência da elaboração de **Planos**

*de Acção* “destinados a gerir o ruído ambiente e os problemas dele derivados” sempre que se detectem situações em que os indicadores de ruído ambiente -  $L_{den}$  e  $L_n$  - ultrapassem os limites impostos pelo Regulamento Geral do Ruído.

Posteriormente, com a aprovação, em 17 de Janeiro de 2007, do novo Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º 9/2007 alterado pela Declaração de Rectificação n.º 18/2007 de 16 de Março e pelo Decreto-Lei n.º 278/2007 de 1 de Agosto) ficou concluída a unificação dos indicadores de ruído ambiente a utilizar em toda a legislação conexas. Neste mesmo documento legislativo reforçou-se a intervenção e participação do Estado (tanto ao nível central como regional e municipal) e de outras entidades públicas que deverão:

- *Definir uma estratégia nacional de redução da poluição sonora;*
- *Definir um modelo de integração da política de controlo de ruído nas políticas de desenvolvimento económico e social;*
- *Tomar todas as medidas adequadas para o controlo e minimização dos incómodos causados pelo ruído.*

### 3. NOÇÕES DE ACÚSTICA E TERMINOLOGIA

Esta secção apresenta o léxico, os conceitos, a terminologia mais utilizada no domínio da Acústica Ambiental bem como consequências da exposição excessiva ao ruído, com relevância para este Manual. Considerou-se adequada a sua repartição por três subsecções - **Definições**, **Indicadores de ruído** e **Relação entre o ruído e a saúde** -, pela diversidade dos termos envolvidos.

Assim, na subsecção **3.1 - Definições**, foram indicados os termos utilizados genericamente no contexto dos Planos Municipais de Redução de Ruído, dos Planos de Acção e da legislação sobre ruído existente e na subsecção seguinte, **3.2 - Indicadores de Ruído**, apresentados os conceitos correspondentes aos parâmetros quantificadores do ruído ambiente de interesse para este Manual e, finalmente, na subsecção **3.3 - Relação entre o ruído e a saúde** indicam-se os principais malefícios decorrentes da exposição a níveis excessivos de ruído.

#### 3.1. Definições e Siglas

##### A

**Absorção Sonora** - fenómeno físico que traduz a atenuação parcial da energia de uma onda sonora por um elemento;

**Actividade ruidosa permanente** - a actividade desenvolvida com carácter permanente, ainda que sazonal, que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído, designadamente laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços;

**Actividade ruidosa temporária** - a actividade que, não constituindo um acto isolado, tenha carácter não permanente e que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído tais como obras de construção civil, competições desportivas, espectáculos, festas ou outros divertimentos, feiras e mercados;

**Acústica** - ciência que analisa a produção, o controlo, a transmissão e a recepção do som bem como os efeitos do ruído no fenómeno da audição;

**Aglomeracão** - um município com uma população residente superior a 100 000 habitantes e uma densidade populacional igual ou superior a 2500 habitantes por quilómetro quadrado (conforme o DL n.º 146/2006);

**AIA** - Avaliação de Impacte Ambiental;

**Amplitude** - a amplitude de uma onda sonora corresponde à medida do desfasamento entre a posição de equilíbrio de uma partícula de ar em vibração e a sua posição no momento da medição. A amplitude de uma onda sonora representa a sua variação máxima de pressão;

**ANA** - Aeroportos de Portugal, SA;

**APA** - Agência Portuguesa do Ambiente;

**Asfalto** - o asfalto ou betão betuminoso é um revestimento rodoviário constituído por uma mistura de inertes de diferente granulometria e ligante;

**Avaliação** - a quantificação de um indicador de ruído ou dos efeitos prejudiciais a ele associados;

**Avaliação acústica** - a verificação da conformidade de situações específicas de ruído com os limites fixados;

## **B**

**BBDr** - Betão Betuminoso Drenante;

**BMB** - Betume Modificado com Borracha;

## **C**

**CCZ** - Carta de Classificação de Zonas;

**Comprimento de onda** - o comprimento de onda  $\lambda$  corresponde à distância que separa dois pontos com níveis de pressão sonora máxima sucessivos, sendo a sua unidade de medida o metro (m). O comprimento de onda e a frequência relacionam-se de acordo com a expressão  $f = \lambda \cdot c$ , em que “c” é a celeridade ou velocidade de propagação do som ( $c \approx 340$  m/s);

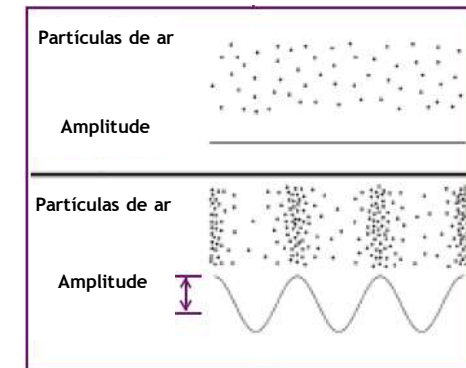


Figura 3. 1 - Amplitude de uma onda sonora [adaptado (IBGE, 2003)]

**CP** - Caminhos de Ferro Portugueses, EP;

**D**

**Difracção sonora** - fenómeno físico que traduz o fraccionamento de uma onda sonora por um obstáculo. Este fenómeno existe sempre que o comprimento da onda sonora é da mesma ordem de grandeza do obstáculo que encontra;

**DRA** - Directiva de Ruído Ambiente

**E**

**Efeitos prejudiciais** - os efeitos nocivos para a saúde e bem-estar humanos;

**Espaço tampão** - área existente entre a fonte de ruído e um receptor cujo único objectivo consiste na atenuação do ruído;

**F**

**Fonte de ruído** - a acção, actividade permanente ou temporária, equipamento, estrutura ou infra-estrutura que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se faça sentir o seu efeito;

**Fonte de ruído pontual** - quando a dimensão da fonte sonora em relação ao seu receptor, localizado a uma distância  $d$ , se pode assemelhar a um ponto, esta denomina-se **Fonte Pontual**. Quando uma fonte desta natureza se localiza próximo do solo, a energia emitida propaga-se segundo um semi-hemisfério e o nível de pressão sonora  $L_p$  diminuirá cerca de 6 dB sempre que a distância à fonte duplica (esta atenuação indicada só contabiliza a influência da divergência geométrica da distância e ou outros factores que também estão envolvidos na atenuação sonora não são levados em consideração);

**Fonte de ruído linear** - quando a origem do som se assemelha a uma linha, por exemplo, o tráfego rodoviário resulta da junção de múltiplas fontes pontuais que emitem ruído num período simultâneo. O resultado da reunião de todas estas fontes pontuais ao longo de uma estrada pode-se assemelhar a uma Fonte Linear. Neste caso, a energia acústica propaga-se segundo um semi-tronco cilíndrico e o nível de pressão sonora  $L_p$  diminuirá 3 dB quando a distância à fonte duplica (esta



Figura 3. 2 - Exemplo de fonte pontual, (Bruel&Kjaer, 2000)



Figura 3. 3 - Exemplo de fonte linear, (Bruel&Kjaer, 2000)

atenuação indicada só contabiliza a influência da divergência geométrica da distância e ou outros factores que também estão envolvidos na atenuação sonora não são levados em consideração)

**Frequência** - é uma grandeza que caracteriza a cadência de oscilações das partículas de ar. Quanto mais rapidamente vibram, mais elevada será a frequência correspondente. A unidade de medida é o *hertz* (Hz) que representa o número de vibrações por segundo (ciclos/s).

### **G**

**Grande infra-estrutura de transporte aéreo** - o aeroporto civil, identificado como tal pelo *Instituto Nacional de Aviação Civil*, onde se verifiquem mais de 50.000 movimentos por ano (em Portugal e no ano de 2007, só o aeroporto de Lisboa reuniu estas condições), considerando-se um movimento uma aterragem ou uma decolagem, salvo os destinados exclusivamente a acções de formação em aeronaves ligeiras;

**Grande infra-estrutura de transporte ferroviário** - o troço ou conjunto de troços de uma via-férrea regional, nacional ou internacional, identificados como tal pelo *Instituto Nacional de Transporte Ferroviário* (INTF), onde se verifiquem mais de 30.000 passagens de comboios por ano;

**Grande infra-estrutura de transporte rodoviário** - o troço ou conjunto de troços de uma estrada municipal, regional, nacional ou internacional, identificados por um município ou pela EP - Estradas de Portugal, E. P. E., onde se verifiquem mais de três milhões de passagens de veículos por ano;

### **I**

**INAC** - Instituto Nacional de Aviação Civil;

**Indicador de ruído** - parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente que tenha uma possível relação com um efeito prejudicial;

**INE** - Instituto Nacional de Estatística;

**Infra-estrutura de transporte** - a instalação e meios destinados ao funcionamento de transporte aéreo, ferroviário ou rodoviário;

**INTF** - Instituto Nacional de Transporte Ferroviário;

**Intervalo de tempo de longa duração** - intervalo de tempo especificado para o qual os resultados das medições são representativos. O intervalo de tempo de longa duração consiste em série de intervalos de tempo de referência, e é determinado com o fim de descrever o ruído ambiente, sendo, geralmente, fixado pelas autoridades responsáveis;

**Intervalo de tempo de medição** - intervalo de tempo ao longo do qual se integra e determina a média quadrática da pressão sonora (em geral, ponderada A);

**Intervalo de tempo de referência** - intervalo de tempo a que se pode referir o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A. Pode ser especificado nas normas internacionais ou nacionais ou pelas autoridades locais para abranger as actividades humanas típicas e as variações dos modos de funcionamento das fontes sonoras;

## M

**Mapa de ruído** - descritor do ruído ambiente exterior, expresso pelos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , traçado em documento onde se representam as isófonas e as áreas por elas delimitadas às quais corresponde uma determinada classe de valores expressos em dB(A);

**Mapa de ruído parcial** - descritor do ruído ambiente exterior correspondente a uma determinada área parcial do total do território dum município, expresso pelos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , traçado em documento onde se representam as isófonas e as áreas por elas delimitadas às quais corresponde uma determinada classe de valores expressos em dB(A);

**Mapa de ruído sectorial** - descritor do ruído ambiente exterior para um determinado sector de actividade e/ou entidade, expresso pelos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , traçado em documento onde se representam as isófonas e as áreas por elas delimitadas às quais corresponde uma determinada classe de valores expressos em dB(A);

**Mapa estratégico de ruído** - mapa para fins de avaliação global da exposição ao ruído ambiente exterior, em determinada zona, devido a várias fontes de ruído, ou para fins de estabelecimento de previsões globais para essa zona (conforme o DL n.º 146/2006);

**MBGD** - Mistura Betuminosa de Granulometria Descontínua;

**MBBR** - *microbetão betuminoso rugoso*, é uma mistura betuminosa de granulometria descontínua, composta por um esqueleto em agregados grossos britados, ligados com uma argamassa betuminosa. É geralmente formulada com aditivos



e/ou ligantes modificados, para permitir um aumento do teor em ligante e reduzir a segregação entre os grossos e a argamassa;

**MR** - Mapa de Ruído;

## **P**

**PA** - Plano de Acção;

**PDM** - Plano Director Municipal;

**Período de referência** - o intervalo de tempo a que se refere um indicador de ruído, de modo a abranger as actividades humanas típicas, delimitado nos seguintes termos (conforme o DL n.º 9/2007):

Período diurno – das 7 às 20 horas;

Período do entardecer – das 20 às 23 horas;

Período nocturno – das 23 às 7 horas;

**Planeamento acústico** - o controlo do ruído futuro, através da adopção de medidas programadas, tais como o ordenamento do território, a engenharia de sistemas para a gestão do tráfego, o planeamento da circulação e a redução do ruído por medidas adequadas de isolamento sonoro e de controlo do ruído na fonte;

**Plano de acção** - documento planificador destinado a gerir o ruído no sentido de minimizar os problemas resultantes, nomeadamente pela redução do ruído;

**PMOT** - Plano Municipal de Ordenamento do Território;

**PMMR** - Plano Municipal de Redução de Ruído;

**PP** - Plano de Pormenor;

**Propagação sonora em campo difuso** - propagação de um ruído num meio com obstáculos nos quais o ruído reflecte total ou parcialmente. O nível sonoro no receptor depende não só da onda sonora emitida pela fonte mas também do nível sonoro das ondas reflectidas no meio de propagação.



**Propagação sonora em campo livre** - propagação de um ruído num meio sem obstáculos significativos que possam interagir com o seu nível sonoro. O nível sonoro desse ruído depende quase exclusivamente da distância entre a fonte sonora e o receptor.

**PU** - Plano de Urbanização;

## R

**Receptor** - pessoa ou grupo de pessoas que estão (ou que se vê prevê venham a estar) expostas ao ruído ambiente;

**Receptor sensível** - o edifício habitacional, escolar, hospitalar ou similar ou espaço de lazer, com utilização humana;

**REFER** - Rede Ferroviária Nacional, EP;

**Revestimento de pavimento** - camada superficial da estrutura de um pavimento de uma via rodoviária que pode apresentar diversas texturas;

**RGR** - Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro);

**RJIGT** - Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial;

**RMR** - Regulamento Municipal de Ruído;

**RRAE** - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios;

**RsAA** - Regulamento sobre o Ambiente Acústico;

**Rugosidade de pavimentos** - Irregularidades produzidas pelas dimensões, forma e angularidade de um agregado.

**Ruído** - sons desagradáveis, não desejados ou sem conteúdo informativo para o ouvinte, classificados de uma forma qualitativa;

**Ruído aéreo** - ruído de uma fonte que emite e se propaga através do ar;

**Ruído ambiente** - o ruído global observado numa dada circunstância num determinado instante, devido ao conjunto das fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou longínqua do local considerado;



Figura 3. 4 - Exemplo de ruído de vizinhança (Bruel&Kjaer, 2000)

**Ruído de impacto ou ruído de percussão** - ruído proveniente de um choque num elemento construtivo (pavimento, parede, etc.);

**Ruído de rolamento** - ruído gerado pelo contacto entre os pneus de um veículo e o revestimento de um pavimento rodoviário;

**Ruído de vizinhança** - o ruído associado ao uso habitacional e às actividades que lhe são inerentes, produzido directamente por alguém ou por intermédio de outrem, por coisa à sua guarda ou animal colocado sob a sua responsabilidade, que, pela sua duração, repetição ou intensidade, seja susceptível de afectar a saúde pública ou a tranquilidade da vizinhança;

**Ruído emergente** - termo utilizado sempre que o nível sonoro de um ruído específico é significativamente superior ao ruído de fundo;

**Ruído particular** - componente do ruído ambiente que pode ser especificamente identificada por meios acústicos e atribuída a uma determinada fonte sonora;

**Ruído residual** - o ruído ambiente a que se suprimem um ou mais ruídos particulares, para uma situação determinada;

**S**

**SILVIA [Silenda Via]** - *Guidance Manual For The Implementation of Low-Noise Road Surfaces*;

**Z**

**Zona de ruído** - região onde o nível de avaliação médio de longa duração se situa entre dois níveis especificados, como por exemplo entre 65 e 70 dB (A). O número da zona de igual nível deste exemplo é 65 - 70 dB(A);

**Zona mista** - a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afectada a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível;

**Zona sensível** - a área definida em plano municipal de ordenamento do território 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;

**Zona tranquila de uma aglomeração** - uma zona delimitada pela câmara municipal, no âmbito dos estudos e propostas sobre ruído que acompanham os planos municipais de ordenamento do território, que está exposta a um valor de  $L_{den}$  igual ou inferior a 55 dB(A) e de  $L_n$  igual ou inferior a 45 dB(A), como resultado de todas as fontes de ruído existentes;

**Zona tranquila em campo aberto** - uma zona delimitada pela câmara municipal, no âmbito dos estudos e propostas sobre ruído que acompanham os planos municipais de ordenamento do território, que não é perturbada por ruído de tráfego, de indústria, de comércio, de serviços ou de actividades recreativas;

**Zona urbana consolidada** - a zona sensível ou mista com ocupação estável em termos de edificação.

### 3.2. Indicadores de ruído

Como forma de enquadrar os diferentes indicadores utilizados para quantificar o ambiente sonoro é necessário definir, de um modo genérico, alguns conceitos acessórios que se passam a enunciar.

Um **som** (ou **ruído**) tem origem numa variação de pressão do ar que, uma vez estimulado (por exemplo por cordas vocais ou equipamento) transmite esse estímulo às partículas de ar adjacentes até chegarem ao ouvido. Se o resultado subjectivo dessa vibração (no cérebro) for agradável ou tiver significado auditivo será classificado como *Som*; se não tiver significado auditivo ou for desagradável a designação passa a *Ruído*.

*Como se poderá quantificar numericamente esses estímulos?*

O **nível de pressão sonora ( $L_p$ )** corresponde à alteração da pressão do ar relativamente ao valor médio da pressão atmosférica quando comparada com um valor de referência. Essas alterações, no caso da Acústica e em particular do ruído ambiente, abrangem um vasto domínio numérico. Entre a amplitude máxima audível pelo Homem (**limiar da dor**) e a amplitude mínima (**limiar de audição**) existe um factor de cerca de 1.000.000. Isto significa que, se se comparar o ouvido a uma balança, este recebe pesos compreendidos entre 1 grama e 1 tonelada. Esta situação torna quase impraticável a utilização de uma escala linear. Para obviar este problema estabeleceu-se uma relação logarítmica para avaliar a variação de pressão sonora que tem a vantagem de “aumentar” os valores inferiores e reduzir os maiores. Assim, à gama de variação linear de amplitude entre 0 e

1.000.000 passará a corresponder uma variação logarítmica entre 0 e 120 dB (*decibel*), correspondendo 0 dB ao limiar de audição e 120 dB ao limiar da dor.

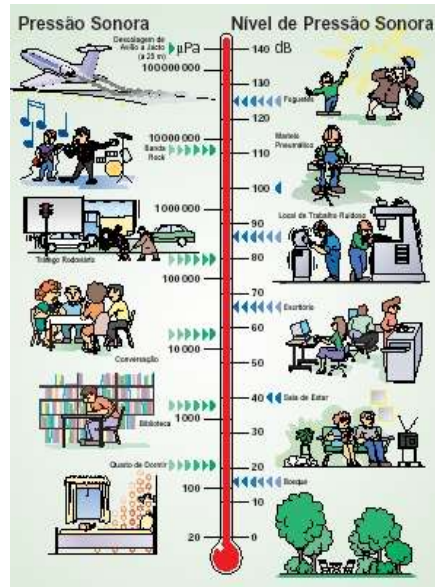


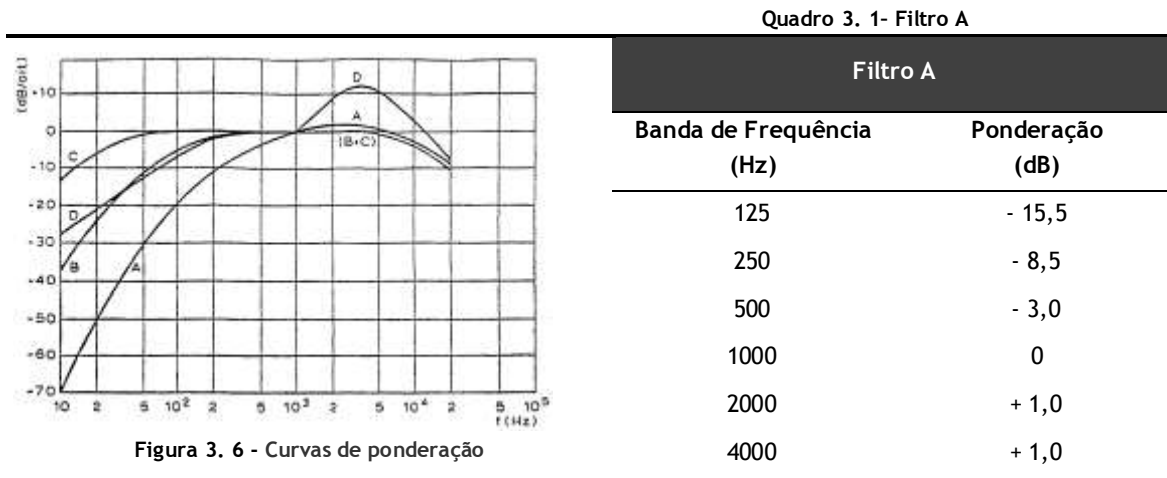
Figura 3. 5- Escala de níveis de pressão sonora, (Bruel&Kjaer, 2000)

O *decibel (dB)* é então definido como a unidade de medida do nível de pressão sonora. O decibel não é uma unidade absoluta de medida, mas antes a razão entre uma quantidade medida (pressão sonora existente num dado local) e um valor de referência (pressão sonora de referência  $p_0$  de 20  $\mu\text{Pa}$  - valor próximo do limiar da audição) numa escala logarítmica. A expressão utilizada para determinar o  $L_p$  em dB é dada por (3.1).

$$L_p = 10 \times \lg \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 \quad (3.1)$$

Como forma de visualizar, mais facilmente, a relação entre estas duas grandezas pode-se utilizar o que se pode designar por *escala de decibel*, cujo exemplo se apresenta na Figura 3. 5 juntamente com a representação de alguns ruídos de convivência diária.

Dado que a resposta do ouvido humano não é a mesma em todas as frequências foi necessário criar um *filtro* nos equipamentos de medida que, ao efectuar medições sonoras, pudesse “ouvir” como o Homem. Para a simulação da audição humana o filtro usado é a curva de ponderação A. Por essa razão, se utiliza a unidade **dB(A)** ou o parâmetro  $L_A$ , cuja correspondência é a que se apresenta na Figura 3. 6 e Quadro 3. 1.



Nota: Por exemplo, na banda de frequência dos 125 Hz, o filtro A faz reduzir em 15,5 dB o ruído real pois o sistema auditivo humano é pouco sensível aos estímulos nessa banda de frequência.

Querendo quantificar o nível sonoro ponderado A de um ruído uniforme a que corresponde a mesma energia acústica que o ruído dado, num dado intervalo de tempo, isto é, **nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, em decibel** pode-se empregar a expressão (3.2):

$$L_{Aeq,T} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right] \quad (3.2)$$

em que:

$L_{Aeq,T}$  é o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, em decibel, determinado num instante de tempo T, com início em  $t_1$  e fim em  $t_2$ ;

$p_0$  é a pressão sonora de referência (20  $\mu$ Pa);

$p_{A(t)}$  é a pressão sonora instantânea, ponderada A, do sinal sonoro.

Actualmente, o Regulamento Geral do Ruído, apresenta como indicador de ruído por excelência o  $L_{den}$  (**Indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno**), expresso em dB(A), e associado ao incómodo global. O seu valor pode ser calculado pela seguinte expressão (3.3):

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} \left[ 13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right] \quad (3.3)$$

em que:

$L_d$  (ou  $L_{dia}$ ) - é o indicador de ruído diurno, ou seja, o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos diurnos representativos de um ano. Está associado ao incómodo durante o período diurno;

$L_e$  (ou  $L_{entardecer}$ ) - é o indicador de ruído do entardecer, ou seja, o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano. Está associado ao incómodo durante o período do entardecer;

$L_n$  (ou  $L_{noite}$ ) - é o indicador de ruído nocturno, ou seja, o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos nocturnos representativos de um ano. Está associado ao incómodo durante o período nocturno.



### 3.3. Relação entre o ruído e a saúde

#### 3.3.1. Tipos e efeitos

O ruído pode ter efeitos de natureza diversa e intensidade variável sobre a saúde da população exposta. Estes efeitos, normalmente adversos, podem-se classificar, segundo o tipo de repercussão que apresentam no organismo, como *efeitos sobre o aparelho auditivo* e *efeitos não auditivos*.

Os primeiros manifestam-se pelo desgaste da capacidade auditiva que pode ir de uma surdez temporária à surdez definitiva (parcial ou total).

Os efeitos não auditivos manifestam-se através de sintomas físicos como insónias, stress, depressão nervosa e problemas no aparelho cardiovascular e digestivo.

Apesar de ser fácil a definição física de um ruído, a sua percepção individual e as suas consequências são de difícil determinação. As reacções de diversos receptores são diferentes consoante as suas experiências individuais, o seu estado de espírito, etc. Para algumas pessoas a solução poderá consistir na utilização de soporíferos, noutras de protecção auricular, ou na melhoria das condições de isolamento sonoro das suas habitações, etc.

#### 3.3.2. Efeitos sobre o aparelho auditivo

A *exposição repetida e continuada a estímulos sonoros* com um nível sonoro superior a 85 dB(A) pode levar a danos irreversíveis nas células ciliares. Estas células danificadas perdem a sensibilidade a certas frequências dos sons (iniciando-se a perda de sensibilidade pelas frequências mais agudas) deixando de os distinguir. As pessoas atingidas por este dano sentem-se incapazes de entender perfeitamente sons e palavras, dado que a sua capacidade de selecção de sons é reduzida ou inexistente. Esta incapacidade é irreversível dado que as células ciliares não podem ser regeneradas (à luz dos conhecimentos actuais).

Os *ruídos com características impulsivas ou muito intensos* (> 120 dB) podem destruir não só as células ciliares como o próprio tímpano ou o ouvido médio (martelo-bigorna-estribo). Nalgumas destas circunstâncias é possível recorrer a procedimentos cirúrgicos para efectuar a reconstrução dos mesmos, noutros casos os malefícios poderão ser de tal ordem que tornem impraticável a sua regeneração.

A *duração da exposição diária* a níveis sonoros elevados é muito variável, essencialmente, atendendo à sua intensidade e composição. Uma regra simples, que se traduz graficamente na Figura 3. 7, refere que por cada aumento de 10 dB(A) do nível sonoro se deve reduzir 10 vezes a respectiva duração da exposição máxima diária.

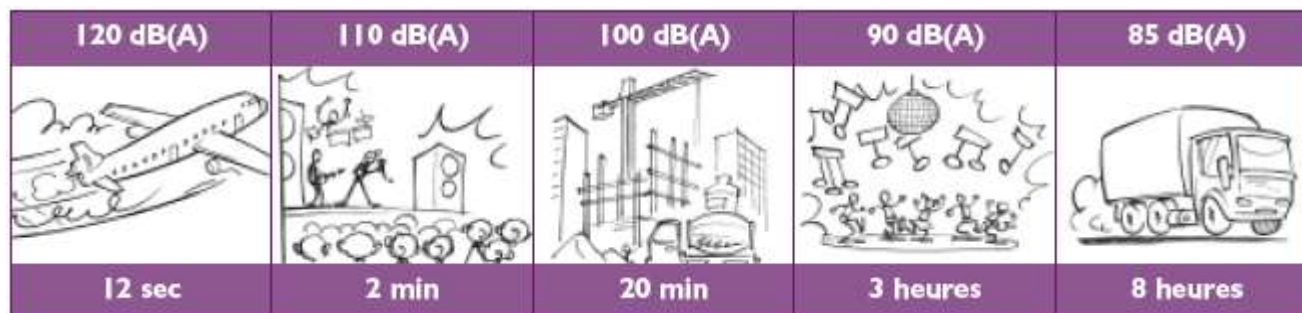


Figura 3. 7 - Duração máxima admissível de exposição diária aos níveis sonoros indicados sem repercussões na saúde [adaptado (IBGE, 2003)]

A incomodidade associada ao ruído de transportes é fortemente influenciada pelo modo de transporte em causa. Conforme se pode observar na Figura 3. 8, em função do indicador  $L_{dn}$ , para um mesmo valor de  $L_{dn}$  a percentagem de população que se manifesta altamente incomodada é muito distinta consoante o modo de transporte a que estão sujeitas. Por exemplo, para um  $L_{dn} = 70$  dB(A), 15% da população exposta sente-se fortemente incomodada pelo ruído ferroviário, 25% pelo ruído rodoviário e 55% para o ruído aéreo.

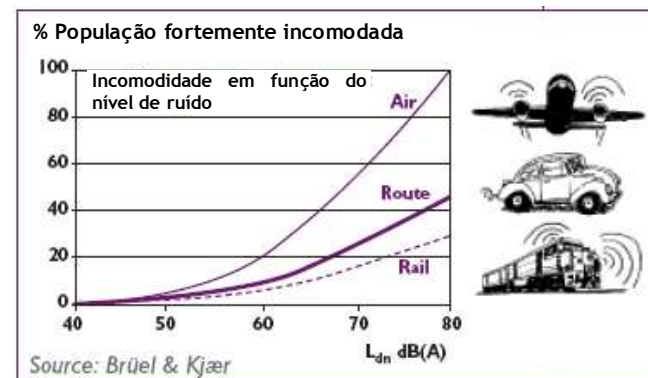


Figura 3. 8 - Incomodidade face aos diferentes modos de transporte [adaptado (IBGE, 2003)]



### 3.3.3. Efeitos não auditivos

#### 3.3.3.1. Características

Uma emissão sonora pode ser caracterizada pela sua amplitude, frequência e duração. No entanto, a incomodidade sentida por um determinado receptor não é facilmente avaliada. Considera-se genericamente, que um ruído mais intenso (caracterizado por uma grande amplitude de emissão) é gerador de maior incómodo, do mesmo modo que um ruído agudo é mais incomodativo que um ruído grave. Além destes parâmetros, a duração do ruído também se reveste de grande importância neste domínio.

No entanto, para o mesmo ruído, a incomodidade sentida pode ser muito variável tendo em atenção o receptor e as condições de recepção desse estímulo sonoro. O estilo de vida, o meio social em que se movimenta, a sua predisposição ou a idade são outros factores, de características subjectivas, que influenciam a sensação de incomodidade.

O facto de se reconhecer o ruído como sinónimo de incómodo provém, essencialmente, do facto de, em determinado momento, não ser agradável estar sujeito a esse estímulo e preferir a sua ausência, mais do que os eventuais dolos que possa causar à saúde do receptor. Se se comparar a incomodidade devida ao ruído aéreo com a ocasionada pelo ruído rodoviário ou ferroviário, é fácil de constatar que a reacção da generalidade das pessoas ao ruído aéreo é muito mais negativa do que ao ruído ferroviário ou rodoviário com a mesma intensidade sonora e duração.

Os *efeitos principais* estão associados à modificação do ritmo cardíaco e respiratório, ao aumento da pressão arterial, a problemas do aparelho digestivo, a aumento da tensão muscular, a perturbação do sono e ao aparecimento de movimentos involuntários frequentes.

Os *efeitos de segunda ordem* estão relacionados com alterações de humor, aumento do estado de fadiga, redução das faculdades motoras e perturbações crónicas do sono.

Como conclusão, a incomodidade sonora pode-se caracterizar pela perda de faculdades de compreensão e comunicação, por perturbações do sono, stress, problemas cardiovasculares, aumento dos problemas psíquicos e pela redução da capacidade de desempenho (Figura 3. 9 e Quadro 3. 2).

### 3.3.3.2. *Redução das faculdades de compreensão*

Quando se circula numa viatura antiga a 120 km/h é praticamente impossível estabelecer comunicação com os restantes ocupantes ou até ouvir música devido ao excessivo ruído de circulação do veículo. Esta situação reflecte o facto de existir um mascaramento de sons por outra fonte mais ruidosa a partir de um determinado nível. A primeira reacção consiste numa tentativa de elevar o nível sonoro da fonte que se pretende ouvir (falar mais alto, aumentar a intensidade da música, fechar as janelas, etc.) mas, como é natural, chega o momento em que mesmo essa solução deixa de ser eficaz e se deixa de compreender a mensagem transmitida.

A impossibilidade de empreender uma conversação tem repercussões imediatas nas pessoas que são afectadas (principalmente, pessoas com audição reduzida, idosos, crianças em idade de aprendizagem, estrangeiros que não dominam a língua, etc.) podendo levar à diminuição do amor-próprio e a alterações de comportamento social.

### 3.3.3.3. *Perturbações no sono*

Um sono tranquilo e reparador é indispensável para uma boa saúde física e mental do ser humano. Já em épocas remotas os Romanos aprovaram leis que reduziram a possibilidade de circular em período nocturno devido ao ruído provocado pelo rodado metálico das carruagens ao embater nos pavimentos empedrados. Da mesma forma, no período medieval, diversas cidades chegaram mesma a proibir a circulação de cavalos e carruagens de forma a proteger o direito a um sono repousado da sua população.

O ruído ambiental, consoante a sua duração e intensidade, pode ter interferência com a qualidade do sono (pela redução da duração dos estádios do sono destinados à recuperação física e psíquica).

Diversos estudos demonstram que o *ruído de tráfego rodoviário*, principalmente por ter características intermitentes (passagem alternada de veículos), é a maior causa de perturbações no sono. No entanto, o caso oposto também sucede com frequência. Se se colocar uma pessoa a dormir num local com total ausência de ruído, verificamos que as perturbações no sono também se podem manifestar, neste caso pela ansiedade provocada pela falta de ruído. No entanto, as pessoas que mais se sentem incomodadas com ruídos desta natureza são as que trabalham por turnos e as pessoas de idade e, mesmo estas, passadas algumas semanas podem já nem sentir qualquer incómodo ou somente um incómodo reduzido.

#### 3.3.3.4. Stress

O **stress** é um conceito relativamente recente e ainda difícil de traduzir. É uma resposta individual a um estímulo ou conjunto de acontecimentos. No presente caso e como causas de stress, interessa o ruído. A reacção ao stress apresenta, geralmente, três fases:

- *Uma reacção de alerta inicial que se traduz numa ocasião de sobressalto;*
- *Uma etapa de resistência que se caracteriza pelo desaparecimento dos sinais e alerta e com uma duração muito curta;*
- *Um estado de cansaço extremo (exaustão) com perda de resistência (por exemplo quando o motivo do sobressalto permanece activo por um longo período). [Em tempos remotos, utilizava-se como técnica de tortura, a exposição sistemática a ruídos intensos.]*

O ruído, por si só ou combinado com problemas de perturbações no sono, pode ser um potenciador de stress, no entanto, a relação *causa-efeito* ainda não é certa. Em diversos estudos pode-se observar que a exposição ao ruído levou os receptores mais afectados ao consumo regular de soporíferos e à utilização de protecções auriculares, mesmo fora dos locais de trabalho. É do conhecimento geral que o excesso de ruído pode ocasionar um estado físico e psicológico que exija cuidados de saúde regulares. De facto, o excesso de ruído pode intensificar o desenvolvimento de problemas mentais latentes.

#### 3.3.3.5. Problemas cardiovasculares

O **sistema cardiovascular** pode ser severamente afectado por exposição prolongada a elevados níveis de ruído. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que estes efeitos se manifestam a partir de níveis de exposição prolongados  $L_{Aeq, 24h} = 65$  dB(A) a 70 dB(A). Salienta ainda que os ruídos impulsivos têm uma interferência mais relevante no sistema cardiovascular que os ruídos contínuos, apesar de não existir uma relação “*dose-resposta*” demonstrada até ao momento.

Através de estudos epidemiológicos e laboratoriais [(Berglund, et al., 1995), (Passchier-Vermeer, 1993)] sobre a influência do ruído combinado com situações de stress acrescido demonstrou-se que os efeitos psicológicos estão associados ao aumento da tensão arterial e dos batimentos cardíacos.

A relevância destes efeitos é muito variável dependendo de factores ambientais e do estilo de vida de cada pessoa. A população exposta ao ruído apresenta afectações fisiológicas temporárias que podem passar a permanentes quando essa exposição é muito prolongada e intensa. Nalguns casos podem-se desenvolver problemas de hipertensão e cardíacos.

#### *3.3.3.6. Redução no desempenho profissional*

Demonstrou-se através de numerosos estudos, para crianças e trabalhadores em geral, que o ruído tem uma interferência significativa na capacidade de aquisição de conhecimentos. De facto, um estudo efectuado em duas escolas londrinas (Haines, et al., 2001), uma das quais localizada próximo de um aeroporto, demonstrou que o ruído aéreo provocava sensações de incomodidade, afectava a saúde psicológica das crianças e levava a resultados escolares, em média, piores do que os verificados na escola que se localizava longe desta fonte de ruído.

Embora nalguns casos se possa considerar vantajosa a existência de algum ruído no desempenho de tarefas simples, o desenvolvimento de tarefas mais complexas e que exijam concentração fica reduzido pela existência de ruído (em especial se tiver componentes de baixas frequências). Tarefas como leitura, concentração e atenção, resolução de exercícios ou memorização são extremamente afectadas pela existência de ruído.

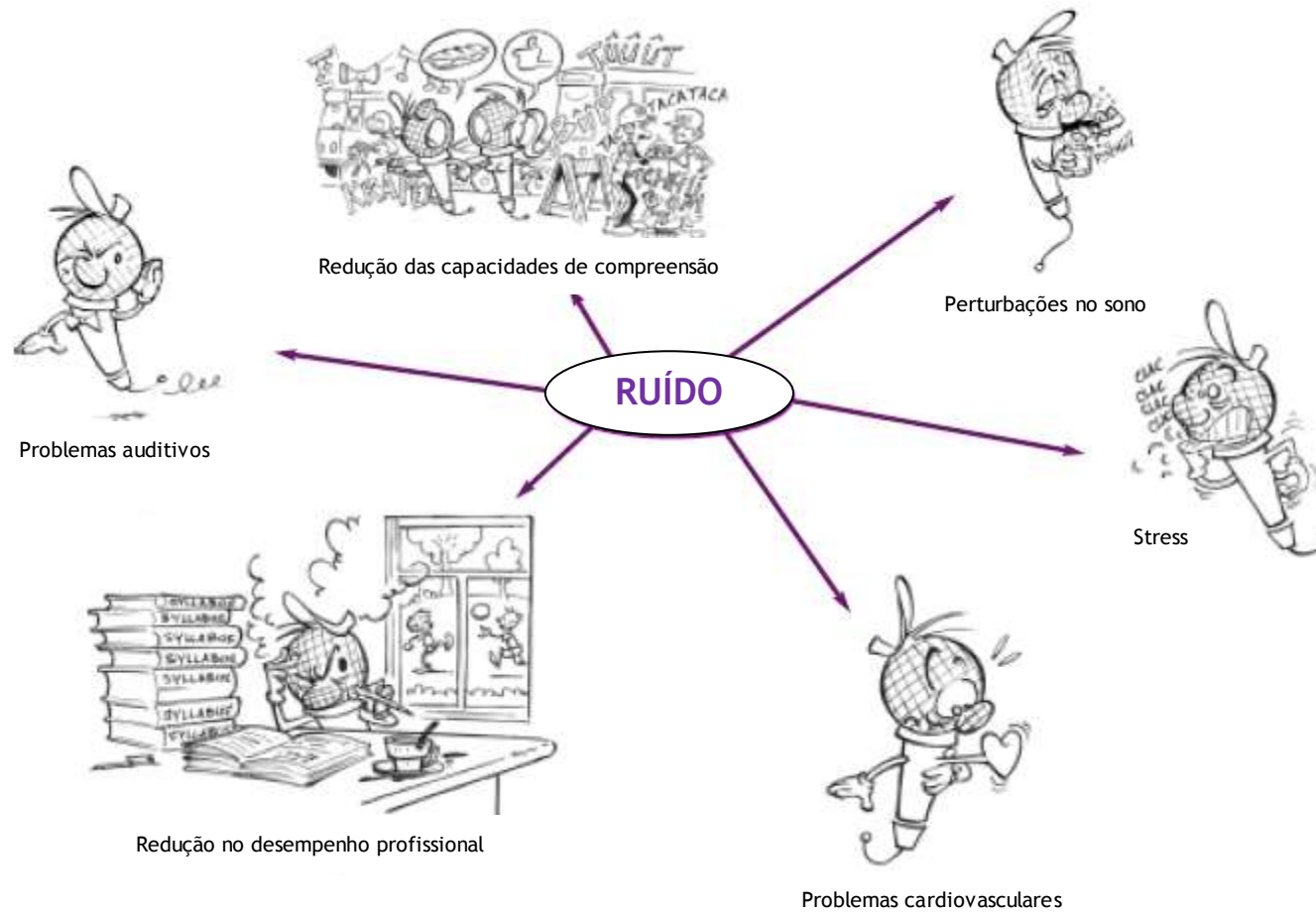


Figura 3. 9 - Resumo dos efeitos genéricos do ruído na saúde da população afectada [adaptado (IBGE, 2003)]

Quadro 3. 2 - Valores-guia de ruído ambiente (Berglund, et al., 1995)

Locais de recepção	Efeito sobre a saúde	$L_{Aeq}$ [dB]	Período de tempo [h]	$L_{Amax}$ [dB]
Zona residencial exterior	Forte incómodo	55	16	-
	Incomodo moderado	50	16	-
Interior das habitações	Inteligibilidade da palavra e incómodo moderado	35	16	-
Interior dos quartos	Perturbações no sono, à noite	30	8	45
No exterior dos quartos	Perturbações no sono, janela aberta	45	8	60
Interior de salas de aula e Jardins-de-infância,	Inteligibilidade da palavra, perturbação na aquisição e na comunicação de informação	35	Período de aulas	-
Interior de áreas de repouso de jardins-de-infância	Perturbações no sono	30	Período de repouso	45
Zonas de recreio, exterior	Incómodo (fonte exterior)	55	Período de recreio	-
Interior de hospitais (salas de estar e quartos)	Perturbações no sono, à noite	30	8	40
	Perturbações no sono, durante o dia	30	16	-
Interior de hospitais (zonas de tratamento)	Interferência com o período de repouso e de convalescença	Menor possível	-	-
Zonas industriais, comerciais, de serviços, de circulação, no exterior e no interior	Perda de audição	70	24	110
Festivais, locais de diversão	Perda de audição (clientes: <5 vezes por ano)	100	4	110
Discursos, manifestações lúdicas no exterior e interior	Perda de audição	85	1	110
Música e outros sons difusos nos receptores	Perda de audição	85	1	110
Impulsos sonoros gerados por jogos, fogo-de-artifício e armas de fogo	Perda de audição (adultos)	-	-	140
	Perda de audição (crianças)	-	-	120
Parques naturais e zonas protegidas	Interrupção na tranquilidade		Devem ser preservadas e o ruído emergente do ruído de fundo deve ser tão baixo quanto possível	

# PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RUÍDO





## 4. PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RUÍDO

### 4.1. Generalidades

A prevenção e o controlo da poluição sonora constituem objectivos fundamentais para a salvaguarda do ambiente e da saúde e bem-estar das populações. Nessa perspectiva, a legislação em vigor relativa ao ruído tem como objectivo prevenir e reduzir os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente.

A prevenção e o controlo do ruído interferem nas políticas de desenvolvimento económico-social e ambiental e no ordenamento do território. Torna-se assim evidente a necessidade de definir a política de controlo de ruído a par das restantes, para que dessa forma sejam tomadas em devida consideração as implicações resultantes da sua coexistência.

A existência de zonas urbanas com edificação consolidada e que se encontram expostas a níveis elevados de ruído, em completa desconformidade com o RGR, motiva a necessidade de se definir e adoptar uma estratégia de redução da poluição sonora.

É neste âmbito que se inserem os **planos municipais de redução de ruído (PMRR)** que, em articulação com os mapas de ruído e a carta de classificação de zonas, permitem:

- Identificar as áreas em que os níveis de exposição ao ruído ultrapassam os limites estabelecidos no RGR e podem conduzir a efeitos nocivos na saúde humana (incluindo o fenómeno da incomodidade sonora);
- Definir as necessidades primárias de redução de ruído (independentemente dos agentes causadores desse incómodo);
- A selecção e implementação das medidas de redução sonora prioritárias, quando a causa do incumprimento é da responsabilidade do município.

Para os municípios de média e grande dimensão (população superior a 100.000 habitantes e densidade populacional igual ou superior a 2.500 hab/km<sup>2</sup>) que, em termos acústicos, estão sujeitos não só ao RGR como à DRA (Directiva Ruído Ambiente) será necessária a elaboração adicional de **planos de acção (PA)**. Estes revelam-se mais ambiciosos na medida em que, para além da redução do ruído ambiente, se propõem a definir medidas de carácter preventivo para preservação da qualidade do ambiente

acústico, estando integrados numa estratégia a longo prazo de redução global do ruído ambiente e pressupondo a participação do público através da realização de consulta pública.

## **4.2. Componente administrativa**

### **4.2.1. Abordagem organizacional**

#### **4.2.1.1. Objectivos**

O objectivo essencial de um Plano Municipal de Redução de Ruído é o de estabelecer e implementar uma estratégia de redução de ruído ambiente, cujo processo de elaboração inclui a coordenação interna dos diversos sectores municipais (ambiente, planeamento, obras municipais, tráfego, etc.), cooperação externa (consultores, entidades gestoras de infra-estruturas, investidores privados, etc.), relações públicas e participação pública das partes interessadas.

#### **4.2.1.2. Competências internas**

Os serviços municipais devem assegurar a coordenação de todo o procedimento de elaboração do *Plano Municipal de Redução do Ruído* (PMRR). É conveniente que os técnicos municipais que estiveram envolvidos na elaboração e/ou acompanhamento da execução dos Mapas de Ruído façam parte da equipa de coordenação e/ou elaboração do PMRR. Além destes técnicos mais conotados com a área do Ambiente, será ainda necessário dotar a equipa das valências associadas ao Planeamento Urbano, à Circulação e Transportes e às Obras Municipais, sem descurar outras que se venham a revelar de particular interesse durante a execução dos trabalhos.

Caso a edilidade não disponha das competências internas atrás mencionadas, ou se não puder dispor de técnicos exclusivamente dedicados a esta temática, será de considerar a contratação externa dos mesmos serviços aos quais se deverão adicionar as competências associadas à análise custo-benefício da implementação das medidas de minoração de ruído (incluindo a quantificação dos potenciais beneficiados). Não deixa, contudo, de ser conveniente a existência de técnicos municipais que acompanhem a equipa técnica que venha a realizar o referido *Plano Municipal de Redução do Ruído* (PMRR).

#### 4.2.1.3. Responsabilidade do Município

Os municípios têm a responsabilidade de elaboração dos mapas de ruído e da respectiva Carta de Classificação de Zonas e de verificação do cumprimento dos valores limite de ruído ambiente exterior impostos pelo Regulamento Geral de Ruído (RGR), tendo ainda a responsabilidade de elaboração dos PMRR sempre que existam zonas de incumprimento do RGR.

Possuindo a informação necessária para identificação das *situações de conflito* (isto é, ultrapassagem dos valores limite regulamentares), compete às Câmaras Municipais identificar todos os infractores e todas as fontes produtoras de ruído, devendo comunicar às entidades públicas ou privadas que estejam em infracção a sua obrigatoriedade de redução dos níveis de emissão sonora, num determinado prazo, de forma a ser possível cumprir os objectivos do PMRR.

Existem, contudo, situações em que a redução do ruído ambiente pode ser da responsabilidade das próprias Câmaras Municipais, como seja o caso de uma reorganização do espaço urbano levada a cabo pelo município, originando situações de zonas Sensíveis na proximidade de infra-estruturas de transporte existentes ou programadas, que subitamente passam a originar situações de conflito. Da mesma forma, não devem autorizar a urbanização em zonas ruidosas, que já se sabe de início que causará sobreexposição de ruído.

#### 4.2.2. Abordagem estratégica

##### 4.2.2.1. Estratégias intermunicipais

Apesar dos *Planos Municipais de Redução de Ruído* serem da competência de cada município, por vezes podem surgir determinadas situações em que se torna vantajoso, ou mesmo essencial, que ocorra uma definição de estratégias intermunicipais ou regionais, de forma congruente e sustentada, como por exemplo em vias rodoviárias de carácter intermunicipal, transportes colectivos, ETARs, etc.

Relativamente a vias ou equipamentos que sejam de carácter intermunicipal é absolutamente necessária uma abordagem multi-camarária, devido ao contexto multi-municipal em que se inserem. Noutras situações, como os transportes colectivos ou de mercadorias, a sua actividade desenvolve-se em diversos concelhos pelo que qualquer solução de minimização tomada por essas entidades pode resultar num benefício generalizado nos concelhos sob a sua esfera de influência.

O financiamento de soluções de redução de ruído que influenciem vários concelhos também poderá sair beneficiada, possibilitando que certos concelhos com menor capacidade económica consigam assim, em conjunto, atingir soluções doutra forma impensáveis.

#### 4.2.2.2. Financiamentos

Para a elaboração do *Plano Municipal de Redução de Ruído* e implementação das medidas aí contidas, podem-se identificar diversas fontes de financiamento.

Da análise efectuada aos diferentes instrumentos de financiamento actualmente disponíveis, constatou-se que com o propósito de “reduzir o ruído ambiente para o bem-estar da população” estão disponíveis, entre outros, os seguintes:

- **QREN (Quadro de Referência Estratégico Nacional 2007-2013)** [[www.qren.pt](http://www.qren.pt)]

Programa Operacional Temático Valorização do Território [[www.povt.qren.pt](http://www.povt.qren.pt)]: **Regulamento Específico “Acções Inovadoras para o Desenvolvimento Urbano”**.

*Objectivos da intervenção:* Dinamização de soluções inovadoras de resposta às procuras e aos problemas urbanos, centradas, nomeadamente, na eficiência e reutilização das infra-estruturas e equipamentos existentes, na exploração das oportunidades que as novas tecnologias oferecem, na capacitação das comunidades locais e no desenvolvimento de novas formas de parcerias público-privadas.

Programas Operacionais Regionais do Continente: **“Regulamento do Sistema de Incentivos à Qualificação e Internacionalização de PME”**.

*Âmbito:* São abrangidos pelo SI QUALIFICAÇÃO PME os projectos de investimento promovidos por empresas, a título individual ou em cooperação, bem como por entidades públicas, associações empresariais ou entidades do Sistema Científico e Tecnológico (SCT) direccionados para a intervenção nas PME, tendo em vista a inovação, modernização e internacionalização, através da utilização de factores dinâmicos da competitividade.

## – LIFE

*LIFE* é o instrumento financeiro da União Europeia de suporte a projectos de carácter de conservação do ambiente e da natureza [<http://ec.europa.eu/environment/life>]. Actualmente entrou em vigor o novo Instrumento *LIFE+* (2007-2013), com a publicação do seu Regulamento no Jornal Oficial L149 de 9 de Junho de 2007.

O objectivo geral do *LIFE+* é contribuir para a execução, a actualização e o desenvolvimento da política e da legislação ambientais da Comunidade, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável. Em especial, o *LIFE+* apoia a execução do Sexto PAA (Sexto Programa Comunitário de Acção em Matéria de Ambiente) estabelecido pela Decisão n.º 1600/2002/CE, incluindo as estratégias temáticas, e financia medidas e projectos financeiros com valor acrescentado europeu nos Estados-Membros.

O *LIFE+* compreende três componentes:

- *LIFE+* Natureza e Biodiversidade;
- *LIFE+* Política e Governação Ambiental;
- *LIFE+* Informação e Comunicação.

Os projectos relacionados com a temática em estudo devem ser enviados para “*LIFE+* Política e Governação Ambiental”, devendo demonstrar o seu valor e/ou abordagens de teste inovadoras para a área de acção prioritária: “Ruído”; contribuir para a elaboração e execução de políticas relativas ao ruído ambiente; prevenir e reduzir os efeitos nocivos da exposição ao ruído ambiente.

### 4.2.3. Implementação

#### 4.2.3.1. Prazos de execução

A elaboração dos *Planos Municipais de Redução do Ruído* está sujeita a prazos que se encontram indicados no Regulamento Geral do Ruído (decreto-lei n.º 9/2007): os “*Planos Municipais de Redução de Ruído devem ser executados num prazo máximo de dois anos contados a partir da entrada em vigor do RGR*”, ou seja, a sua elaboração e implementação deverá estar concluída até 1 de Fevereiro de 2009.

No mesmo documento, estipula-se o possível faseamento de medidas, considerando-se prioritárias as referentes a zonas Sensíveis ou Mistas expostas a ruído ambiente exterior que exceda em mais de 5 dB(A) os valores limite fixados no RGR.

#### **4.2.3.2. Proposta de Caderno de Encargos**

**Entidade promotora** - Identificação da entidade promotora do concurso em causa (Câmara Municipal de ... ou Empresa Municipal ...), nomeadamente quais os seus responsáveis, endereço e horário de funcionamento.

**Objecto do serviço** - Definição do objecto de procedimento da prestação de serviços (execução do Plano Municipal de Redução de Ruído do Concelho de ...).

**Prazo** - Indicação do prazo máximo para a execução do serviço (por exemplo 6 meses).

**Critérios de adjudicação** - Definição de quais os critérios a empregar para a adjudicação do concurso, identificando-se claramente a respectiva ordem de importância e possíveis ponderações para cada critério que irá ser considerado, como por exemplo:

- Preço mais vantajoso - 55 %
- Qualidade técnica da proposta - 25 %
- Capacidade e Experiência na realização de trabalhos desta natureza - 15 %
- Prazo - 5 %

**Documentos obrigatórios que instruem as propostas** - Indicação dos documentos obrigatórios a ser entregues para a proposta ser considerada, onde se incluem por exemplo e no mínimo:

- Declaração, sob compromisso de honra conforme o previsto no artigo 33.º do Decreto-lei n.º 197/99, de 8 de Junho;
- Prazos de execução e programa de trabalhos com a respectiva calendarização e condições financeiras;
- Memória descritiva pormenorizada do modo de execução, planeamento mensal e procedimentos sobre a prestação de serviços, entre outros documentos que se julgue ser necessários;
- Identificação da equipa executante que será afectada à prestação de serviços;
- Certidões oficiais.



**Pedidos de esclarecimentos** - Indicação da possibilidade de pedidos de esclarecimento, dos respectivos prazos de solicitação dos mesmos, da forma como devem ser apresentados, e respectivo prazo de resposta do esclarecimento.

**Prazo de entrega e modo de apresentação das propostas** - Indicação da data máxima de entrega das propostas e da forma como devem ser entregues.

### **Cláusulas Jurídicas**

**Objecto** - Indicação de qual o objecto do concurso.

**Prazo de prestação de serviços** - Indicação do prazo de finalização do serviço, com a indicação do programa de trabalhos e possíveis prazos intermédios de entrega de resultados.

**Condições de pagamento** - Definição das condições de pagamento.

**Sigilo** - Indicação da obrigatoriedade de sigilo por parte do adjudicatário no âmbito da actividade a ser prestada.

**Cessação da posição contratual** - Definição das condições em que o adjudicatário pode cessar o contrato, com os direitos do adjudicante nessas situações.

**Penalidades** - Indicação das possíveis penalidades em caso de incumprimento dos prazos afixados no contrato e por causa imputável ao adjudicatário.

**Caução para garantir o cumprimento de obrigações** (se considerado necessário pela autarquia) - Definição de caução a pagar pelo adjudicatário para garantir um exacto e pontual cumprimento das suas obrigações e quais as condições na qual pode ser utilizada por parte do adjudicante e condições para a sua devolução ao adjudicatário.

**Rescisão do contrato** - Indicação das condições em que o contrato pode ser dissolvido por qualquer das partes envolvidas.

**Subcontratação** - Definição da possibilidade de subcontratação ou não por parte do adjudicatário e condições.

### ***Especificações Técnicas***

***Definição do serviço*** - Definição de qual a prestação de serviço e para que entidade diz respeito.

***Contexto*** - Identificação do contexto legal em que se insere a elaboração do Plano Municipal de Redução de Ruído.

***Objectivos*** - Identificação do objectivo (elaboração de um Plano Municipal de Redução de Ruído).

***Fases do serviço*** - Definição das possíveis fases de elaboração do serviço, com a respectiva calendarização, metodologia de trabalho e todos os aspectos técnicos envolvidos no projecto e deveres tanto por parte do adjudicatário como por parte do adjudicante.

#### **4.2.4. Consulta e Informação ao público**

Existem diferentes níveis de participação pública consoante o envolvimento que se espera da população:

- A ***informação***: quando o cidadão é simplesmente informado sobre os projectos que estão ou irão decorrer, sem se esperar qualquer tipo de interacção ou intervenção;
- A ***consulta pública***: quando se pretende que a população seja envolvida na discussão;
- A ***concertação***: sempre que seja solicitada a participação da população na definição do problema, da procura e análise de soluções e, posteriormente, na avaliação da solução seleccionada. Há um envolvimento importante da população.

Em cumprimento das disposições da Convenção de Aarhus e da Directiva 2003/4/CE, em 12 de Junho de 2006, foi aprovada a ***Lei n.º 19/2006*** onde se estabelecem as regras a cumprir para garantir o direito de acesso à informação sobre ambiente detida pelas autoridades públicas ou em seu nome; assegurar que a informação sobre ambiente é divulgada e disponibilizada ao público e promover o acesso à informação através da utilização de tecnologias telemáticas ou electrónicas.

Os organismos públicos devem possuir toda a informação relevante à sua função, que será actualizada sempre que possível e necessário, devendo ser criado um sistema de monitorização e registo de informação passível de afectar o ambiente, que facilite a sua actualização contínua e regular, de modo a que a informação possa estar organizada e acessível a qualquer pessoa, que a queira averiguar, sendo necessário particular cuidado na divulgação de toda a informação recolhida pelas

autoridades que anuncie uma possível iminência de perigo para a saúde pública ou para o ambiente, situação em que será imediatamente difundida pelas autoridades responsáveis.

Assim, as autoridades públicas encontram-se obrigadas a disponibilizar informação sobre ambiente na sua posse ou detida em seu nome a qualquer requerente sem que este tenha de justificar o seu interesse, devendo-a disponibilizar o mais rapidamente possível, nos seguintes prazos a contar a partir da data de recepção do pedido pela autoridade pública:

- *No prazo máximo de 10 dias úteis sempre que o pedido tenha por objecto informação que a autoridade pública, no âmbito das respectivas atribuições e por determinação legal, deva ter tratada e coligida;*
- *No prazo máximo de um mês nos restantes casos;*
- *Em casos excepcionais, se o volume ou a complexidade da informação o justificarem, até ao máximo de dois meses, devendo o requerente ser informado desse facto com indicação dos respectivos fundamentos, no prazo máximo de 10 dias úteis.*

A informação a fornecer ao público deverá ser a mais vasta possível (dados e relatórios ambientais, legislação, planos e programas ambientais, etc.), disponibilizada através de sistemas de informação electrónicos, de forma a evitar mais pedidos de informação e a poder ser consultada em qualquer local (sem nunca esquecer que essa não poderá ser a única forma de consulta, na medida que não é acessível a toda a população).

Caso as entidades onde foi submetido o pedido de informação não a possuírem, este pode ser recusado, comunicando esse facto ao requerente o mais breve possível. Contudo, a entidade deve ajudar o requerente, informando-o e orientando-o, na medida do razoável, de qual o serviço ou organismo competente para se obter a informação pretendida. É importante realçar, que apesar de deverem ajudar o requerente na transferência do pedido para os serviços respectivos, não têm a obrigação de indagar pela informação se não a souberem.

Há também outros casos em que o pedido de acesso à informação pode ser recusado pelas autoridades, como no caso deste ser efectuado solicitando conteúdos considerados muito generalistas ou não razoáveis. Contudo, a definição dos conceitos “generalista” e “não razoáveis” é vago e subjectivo, podendo-se originar casos de recusas arbitrárias de informação, devendo por isso ser perfeita e claramente definidos estes conceitos para os interesses da população não serem menosprezados. Os pedidos de informação também podem ser recusados se a sua revelação afectar negativamente certos interesses, a saber:

- *Procedimentos internos de autoridades públicas, desde que a sua definição seja consumada por legislação nacional;*

- *Relações internacionais, assuntos de defesa nacional ou segurança nacional;*
- *Processos de justiça em curso;*
- *Confidencialidade comercial e industrial, de forma a proteger determinados interesses económicos legítimos desde que exista legislação apropriada. Contudo, informações de emissões relevantes à protecção do ambiente devem ser sempre reveladas;*
- *Direitos de propriedade intelectual;*
- *Informações pessoais não autorizadas para divulgação, desde que protegidas por legislação nacional;*
- *Protecção do ambiente.*

Todos os pedidos de informação recusados devem ser devidamente justificados de forma escrita e entregues à pessoa requerente, devendo ainda cumprir os prazos já referidos anteriormente.

Apesar de poderem ser recusados certos pedidos de informação pelas razões de excepção atrás explicadas, não quer dizer que todo o documento deve ser negado ao olhar do requerente. Toda a informação não confidencial deve ser facultada sem prejudicar o que se determinou como confidencial.

Os organismos públicos devem divulgar regularmente relatórios nacionais do Estado do Ambiente, além de informação considerada relevante para possíveis políticas ambientais.

Relativamente à envolvência da população, refere-se que os municípios podem eventualmente promover, através de consulta pública, a participação dos cidadãos nas suas tomadas de decisão sobre questões do foro ambiental, que são sempre assuntos sensíveis e complexos, conseguindo assim uma grande fonte de informação, além de politicamente conquistarem o respeito da população por lhes ser permitido o usufruto dos seus direitos e deveres cívicos. Desta forma, aumenta-se a qualidade das decisões tomadas, o nível de conhecimento e consciência dos problemas ambientais por parte do público, que passam a poder expor as suas preocupações e possíveis soluções poderem realmente ser ouvidas e tomadas em consideração.

Para ser possível este nível de envolvimento com as autoridades públicas devem ser criados mecanismos que o permitam, além destas terem de estar realmente interessadas e abertas a ouvir e a aceitar sugestões por parte do público.

É importante salientar mais uma vez que a participação pública é uma acção opcional, deixada ao critério de cada câmara municipal.

### 4.3. Componente técnica

#### 4.3.1. Conteúdo técnico

Como mencionado no decreto-lei n.º 9/2007 (RGR), todos os municípios onde exista definição de *Classificação de Zonas* (contexto acústico: Zonas Mistas, Zonas Sensíveis, Zona tranquila de uma aglomeração, Zona tranquila em campo aberto ou Receptores Sensíveis em Zona Mista) e *mapa de ruído*, devem identificar todos os locais de sobreexposição que irão necessitar de medidas de minoração do ambiente sonoro através dos denominados *Planos Municipais de Redução de Ruído*, cujo conteúdo mínimo a seguir se discrimina.

##### a) Descrição do município

- *Localização*
- *Dimensão*
- *Número de habitantes*
- *Identificação das Zonas Mistas e Sensíveis (se possível, incluir a classificação das Zonas tranquilas)*

##### b) Resumo dos dados que deram origem aos mapas de ruído, incluindo

- *Métodos de cálculo*
- *Métodos de medição*
- *Infra-estruturas de transporte (localização, dimensão e dados sobre o tráfego)*
- *Outras fontes de ruído relevantes*

##### c) Indicação das entidades competentes pela execução das eventuais medidas de redução de ruído já em vigor e das acções previstas

- *Município*
- *Entidades gestoras das grandes infra-estruturas de transportes*
- *Particulares*
- *Etc.*

- d) Elaboração ou consulta de mapas de ruídos parciais, por fonte de ruído e por entidade competente para realização das eventuais medidas de redução de ruído;
- e) Identificação das áreas onde é necessário reduzir o ruído ambiente exterior;
- f) Quantificação da redução global de ruído ambiente exterior relativa aos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ ;
- g) Quantificação, para cada fonte de ruído e respectiva entidade gestora, da redução necessária relativa aos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ ;
- h) Indicação e projecto das medidas de redução de ruído e respectiva eficácia quando a entidade responsável pela sua execução é o município;
- i) Indicação das medidas de redução de ruído e respectiva eficácia quando a entidade responsável pela sua execução não é o município;
- j) Indicação da calendarização da execução das medidas de redução de ruído;
- l) Resumo do plano municipal de redução do ruído, com 10 páginas no máximo, que abranja todos os aspectos relevantes referidos, em linguagem acessível, a disponibilizar ao público, conjuntamente com o Plano.

#### 4.3.2. Dados para elaboração de PMRR

A elaboração de um *Plano Municipal de Redução de Ruído* (PMRR) pressupõe a existência de um Mapa de Ruído no qual se tenham identificado situações de incumprimento. De facto, só é necessária a elaboração de um PMRR quando, no decurso de elaboração do Mapa de Ruído e na subsequente confrontação com a Carta de Classificação de Zonas, se detectam áreas sobreexpostas para as quais é necessário implementar medidas de minimização e controlo do ruído.

Neste contexto, como bases para a elaboração de PMRR surgem os *Mapas de Ruído* e as *Cartas de Classificação de Zonas*, incluindo todo o suporte informático que lhe deu origem (*topografia 3D, obstáculos à propagação do som, edifícios 3D e respectiva tipologia de utilização, as fontes sonoras em presença e a distribuição da população pelo território*, preferencialmente, por subsecção estatística). No entanto, convém salientar que a qualidade dos mapas de ruído é uma condicionante muito relevante na execução de um PMRR.

No caso de existir uma *sobreavaliação* do ruído ambiente do concelho a consequência imediata será a necessidade de medidas de minimização mais variadas, eficazes ou em maior número o que, naturalmente, acarretará o acréscimo dos custos de elaboração do próprio PMRR e, posteriormente, da sua implementação. De igual modo, a *subavaliação* do nível sonoro de ruído ambiente ocasionará a determinação de uma área sobreexposta de dimensão mais reduzida, de medidas de minimização com uma eficácia mais modesta e como consequência o dispêndio de avultados montes sem a resolução do problema de incómodo devida ao excesso de ruído ambiente.

### 4.3.3. Mapa de Zonas de Conflito

#### 4.3.3.1. Definições

*Zonas de conflito* são áreas geograficamente limitadas nas quais o valor da exposição sonora se encontra acima dos valores limite referidos no RGR. Desta forma o conceito de zona de conflito está intimamente associado aos conceitos de valores limite e de exposição sonora.

Entende-se por exposição sonora o valor assumido por um indicador de ruído ( $L_{den}$  ou  $L_n$ ) para uma determinada zona, sendo um indicador de ruído um parâmetro físico-matemático capaz de quantificar o ruído ambiente. O ruído ambiente define-se como o ruído externo gerado por actividades humanas, incluindo o ruído produzido pela utilização de grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo e instalações industriais.

Os valores limite são definidos em função do uso associado (ou que se pretenda atribuir) a uma determinada área e, conseqüentemente, à classificação da mesma como *sensível* ou *mista*.

Naturalmente, a variedade de valores limite definidos no RGR dificulta a avaliação das zonas de conflito. Apesar de existir um valor único a observar para Zonas Mistas, no caso das Zonas Sensíveis a situação é diferente e dependente do tipo de infra-estrutura de transporte existente ou prevista na sua proximidade e que actualmente a influencie ou venha a influenciar no futuro.



#### 4.3.3.2. Critérios de identificação

Para ser possível estudar correctamente o fenómeno de conflito acústico existente nos centros urbanos ou noutros locais é necessário conhecer-se os valores limite de exposição e compará-los com a Carta de Classificação de Zonas. As Câmaras Municipais, ao definirem nos *planos municipais de ordenamento do território* (de acordo com a existência ou não de actividades compatíveis) as zonas urbanas como Sensíveis ou Mistas, estão a criar expectativas de um dado nível sonoro de ruído ambiente aos actuais e futuros habitantes, proprietários ou utentes. Esta deliberação camarária (definição das Zonas Mistas, Sensíveis ou outras) deve ser acompanhada pela elaboração de Mapas Municipais de Ruído, na maior parte das situações, correspondendo ao ruído ambiente global.

Após a aprovação desses dois elementos gráficos, surge então a possibilidade de se detectarem as zonas que não cumprem os correspondentes limites estabelecidos no Regulamento Geral do Ruído (RGR). Estas áreas, identificadas como **Zonas de Conflito**, ocorrem sempre que o nível sonoro de ruído ambiente seja superior ao limite indicado no RGR para zonas dessa natureza. Os valores limites de exposição a ruído ambiente exterior indicados no RGR são os expostos no Quadro 4. 1.

Quadro 4. 1 - Valores-limite de exposição ao ruído ambiente exterior (MAOTDR, 2007)

Classificação de Zonas	$L_{den}$ dB(A)	$L_n$ dB(A)
Zonas Mistas	65	55
Zonas Sensíveis	55	45
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT existente	65	55
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT não aéreo em projecto	60	50
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT aéreo em projecto	65	55
Receptores Sensíveis em Zonas não classificadas	63	53

*GIT - Grandes Infra-estruturas de Tráfego*

O Regulamento Geral de Ruído prevê a possibilidade de existência de um intervalo temporal em que as zonas ainda não se encontram definidas nem como Mistas nem Sensíveis. Nestas situações, para efeitos de verificação do valor limite de exposição, aplicam-se aos receptores Sensíveis os valores limite de 63 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e de 53 dB(A) para o indicador  $L_n$ .

#### 4.3.3.3. Critérios de prioridade de acção

As zonas Sensíveis ou Mistas expostas a um ruído ambiente exterior que exceda os valores limite (fixados no artigo 11.º do RGR) devem ser objecto de *planos municipais de redução de ruído*, cuja elaboração é da responsabilidade das câmaras municipais.

Torna-se simples estabelecer quanto é que uma fonte sonora necessita de ser reduzida se for a única presente, contudo, na grande parte das situações esta não é conjuntura presente, existindo várias fontes a contribuir para o ruído. Em tais casos, a redução de cada fonte, isoladamente, para níveis sonoros dentro dos valores limite legais pode não ser suficiente, uma vez que o seu somatório pode ultrapassar. Da mesma forma, casos em que nenhuma fonte ultrapassa individualmente o valor limite pode originar conflitos, dado o seu somatório poder ser superior ao valor limite.

Verifica-se que este tipo de situações de conflito com diferentes fontes de ruído se podem tornar complexas relativamente às obrigações das entidades: quem deve diminuir e quanto. Assim, é importante estabelecer alguns critérios que ajudem a resolução destes conflitos. As possibilidades de critério de actuação são as seguintes:

- Fonte que se instalou mais recentemente;
- Fonte mais ruidosa;
- Fonte com maior facilidade de redução;
- Fonte que afecta mais pessoas;
- Fonte cuja redução seja mais económica;

Dos possíveis critérios anteriormente expostos e em função dos níveis sonoros instalados, considera-se mais adequado dar prioridade à actuação em zonas Sensíveis ou Mistas expostas a ruído ambiente exterior que **exceda em mais de 5 dB(A)** os valores limite (fixados no artigo 11.º do RGR) e onde se verifique o maior número de pessoas expostas, podendo-se contemplar o faseamento de medidas.

Sabendo que o valor máximo regulamentar do indicador  $L_{den}$  é 65 dB(A) para zonas Mistas e 55 dB(A) para zonas Sensíveis, e que para o indicador  $L_n$  é 55 dB(A) para zonas Mistas e 45 dB(A) para zonas Sensíveis, podem-se conjugar vários critérios para diferentes níveis sonoros, procurando-se desta forma um estabelecimento de disposições que facilitem as decisões a tomar (Quadro 4. 2). Após a adopção do critério prioritário atrás descrito, nas zonas onde  $L_{den} \geq 65$  dB(A) e  $L_n \geq 55$  dB(A), todas as

fontes produtoras de ruído têm a obrigatoriedade de reduzir até que os valores limite legais estejam a ser cumpridos conforme o disposto no RGR, de forma a o bem estar da população ser alcançado.

Para zonas com níveis com  $60 \leq L_{den} \leq 65$  dB(A) e/ou os  $50 \leq L_n \leq 55$  dB(A), os valores continuam elevados não sendo contudo necessário que todas as fontes reduzam, podendo ser focados alguns critérios selectivos, como seja a redução das fontes sonoras mais ruidosas em associação com a maior facilidade de execução de medidas que reduzam os níveis sonoros. Assim, é possível abranger os maiores focos de ruído tendo em conta o menor custo económico possível.

Para  $55 \leq L_{den} \leq 60$  dB(A) e  $45 \leq L_n \leq 50$  dB(A), é mais apropriado estudar-se soluções que tenham em consideração as fontes que se instalaram mais recentemente em conjugação com a maior facilidade de execução de medidas de redução do ruído. Devido aos menores valores, a redução de uma única fonte poderá ser suficiente, podendo-se analisar se a última fonte a se instalar foi a causadora da ilegalidade.

Quadro 4. 2 - Critérios de prioridade de acção em Zonas Mistas e Sensíveis

	dB(A)	Fonte mais recente	Fonte mais ruidosa	Fonte de mais fácil redução
$L_{den}$	> 65	+	+	+
	]60 - 65]		+	+
	]55 - 60]	+		+
$L_n$	]50 - 55]	+	+	+
	]45 - 50]	+		+

É importante ter a noção que o critério de “*Fonte mais ruidosa*” deve ser sempre considerado como principal. Não faz sentido analisar situações de conflito, estudando-se possíveis soluções de redução de ruído, e ignorar as que mais contribuem para o problema, uma vez que essas mesmas reduções podem nunca ser suficientes devido a uma determinada fonte.

Da mesma forma, a noção que “cada caso é único e singular” deve estar sempre presente, devendo-se obrigatoriamente estudar cada situação separadamente, procurando a melhor solução através de uma análise cuidada e detalhada, podendo existir situações semelhantes com soluções diferentes.

#### 4.3.4. Fontes de ruído

##### 4.3.4.1. Definições

De acordo com o RGR define-se **fonte de ruído** como a acção, actividade permanente ou temporária, equipamento, estrutura ou infra-estrutura que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se faça sentir o seu efeito.

Nos PMRR contemplam-se as fontes de ruído com carácter permanente cujo funcionamento se traduza em incómodo para quem habite ou permaneça em locais onde se faça sentir os efeitos do funcionamento dessa fonte de ruído. As actividades ruidosas temporárias (actividades que, não constituindo um acto isolado, tenham carácter não permanente e que produzam ruído) não estão no âmbito dos PMRR.

##### 4.3.4.2. Critérios de identificação

###### 4.3.4.2.1. Tipos de fontes de ruído

As fontes de ruído permanentes com relevância para a execução de um PMRR podem-se subdividir em duas grandes categorias:

- *Infra-estruturas de transporte;*
- *Actividades ruidosas permanentes.*

De acordo com o RGR, por **infra-estrutura de transporte** entende a instalação e os meios destinados ao funcionamento de transporte aéreo, ferroviário ou rodoviário.

As **atividades ruidosas permanentes** são todas as actividades desenvolvidas com carácter permanente, ainda que sazonal, que se possam definir como sendo uma fonte de ruído, nomeadamente laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços.

#### 4.3.4.2.2. Infra-estruturas de transporte rodoviário

Incluem-se neste subcapítulo, quaisquer estradas ou arruamentos que constituam uma infra-estrutura de transporte de viaturas rodoviárias. Devido ao volume de tráfego e possíveis impactes ambientais e territoriais, são distinguidas as **grandes infra-estruturas de transporte rodoviário**, como troços ou conjuntos de troços de estradas municipais, regionais, nacionais ou internacionais identificadas como tal pela EP - *Estradas de Portugal, SA*, onde se verifiquem mais de **três milhões de passagens de veículos por ano**.

#### 4.3.4.2.3. Infra-estruturas de transporte ferroviário

Englobam todas as vias-férreas que constituam uma infra-estrutura de transporte de viaturas ferroviárias. Por serem especialmente problemáticas, são distinguidas as **grandes infra-estruturas de transporte ferroviário**, como troços ou conjuntos de troços de vias-férreas regionais, nacionais ou internacionais identificadas como tal pelo Instituto Nacional do Transporte Ferroviário, onde se verifiquem mais de **30.000 passagens de comboios por ano**.

#### 4.3.4.3. Infra-estruturas de transporte aéreo

Referem-se a qualquer aeródromo ou heliporto que constitua uma infra-estrutura de transporte de aeronaves. Por induzirem significativos impactes ambientais e territoriais, são distinguidas as **grandes infra-estruturas de transporte aéreo**, aeroportos civis identificados como tal pelo Instituto Nacional de Aviação Civil cujo tráfego seja superior a 50.000 movimentos por ano de aviões civis subsónicos de propulsão por reacção, tendo em conta a média dos três últimos anos que tenham precedido a aplicação das disposições do RGR ao aeroporto em questão, considerando-se um movimento uma aterragem ou uma descolagem

(actualmente apenas o aeroporto de Lisboa ultrapassa este valor médio embora o aeroporto do Porto se encontre muito perto deste limite mínimo com previsão para se ultrapassar em 2007<sup>1</sup> ou 2008).

#### 4.3.4.4. Gestão do ruído de actividades ruidosas permanentes

A gestão do ruído de actividades ruidosas permanentes é efectuada controlando a aprovação da instalação e do desenrolar das mesmas em zonas Mistas e nas envolventes das zonas Sensíveis ou Mistas verificando que são cumpridas as duas seguintes condições:

- Cumprimento dos valores limite fixados no artigo 11.º do RGR ( $L_{den}$  e  $L_n$ );
- Cumprimento do critério de incomodidade (artigo 13.º do RGR)<sup>2</sup>.

Para efeitos do cumprimento do acima referido, devem ser adoptadas as medidas necessárias, de acordo com a seguinte ordem decrescente de prioridade de acção:

- Medidas de redução na fonte de ruído;
- Medidas de redução no meio de propagação de ruído;
- Medidas de redução no receptor.

As medidas de redução sonora no receptor (reforço de isolamento sonoro da fachada) deve ser sempre considerada excepcional e como último recurso, competindo à entidade responsável pela actividade ou ao receptor sensível, conforme quem seja titular da autorização ou licença mais recente, adoptar as medidas de redução no receptor sensível relativas ao reforço de isolamento sonoro.

São interditos a instalação e o exercício de actividades ruidosas permanentes nas zonas Sensíveis, excepto as actividades permitidas nas zonas Sensíveis e que cumpram os valores limite fixados no artigo 11.º do RGR o critério de incomodidade.

<sup>1</sup> Para o ano de 2007 estavam previstos 51.500 movimentos.

<sup>2</sup> O ruído, como subproduto da laboração de uma actividade, não pode exceder o ruído ambiente previamente existente na vizinhança do receptor em mais do que 3 a 9 dB(A), conforme o período do dia e a duração da emissão sonora.

Nas actividades permanentes que sejam alvo de uma avaliação de impacte ambiental, o cumprimento dos valores-limite é verificado no âmbito do procedimento de avaliação de impacte ambiental.

#### 4.3.4.5. Entidades responsáveis

De forma a ser possível realizar *planos municipais de redução de ruído*, os municípios necessitam de conhecer quem é responsável pelas respectivas fontes produtoras de ruído existentes nos seus territórios para desta maneira se saber quem contactar para estudar soluções de redução de ruído, e negociar condições de intervenção, prazos, custos, etc. Assim, é necessário conhecer as entidades responsáveis pelas vias rodoviárias, vias ferroviárias, aeroportos e unidades industriais.

Relativamente às *vias rodoviárias* e exceptuando as estradas municipais que, como o próprio nome indica, são da inteira responsabilidade camarária, as restantes vias em Portugal são da competência da entidade **EP - Estradas de Portugal, S.A.**, que contudo delegou algumas competências em empresas concessionárias. Na Figura 4. 1 é apresentado um mapa das vias rodoviárias em Portugal, encontrando-se em anexo (A3) os contactos das concessionárias existentes para uma mais fácil abordagem às entidades responsáveis.

Quanto às *vias ferroviárias*, há uma separação entre a exploração de serviços de transporte, que é concessionado à **CP - Caminhos de Ferro Portugueses, E.P.** e à **Fertagus**, e a gestão da infra-estrutura ferroviária nas vertentes de construção, conservação, manutenção, preservação do património e gestão de capacidades, da responsabilidade da **REFER - Rede Ferroviária Nacional, E.P.** (Figura 4. 2). Existe ainda o INTF - Instituto Nacional do Transporte Ferroviário, entidade reguladora do sector, que define as regras de acesso, concede licenças de acesso aos operadores, aprova as taxas de uso da infra-estrutura e regula as actividades ferroviárias.







Figura 4. 3 - Mapa de aeroportos e aeródromos (Pelicano, 2007)

Em relação às *infra-estruturas aéreas*, a competência dos aeroportos nacionais (Porto, Lisboa, Faro, Ponta Delgada, Horta, Santa Maria e Flores) é da responsabilidade da **ANA - Aeroportos de Portugal** ([www.ana.pt](http://www.ana.pt)). Quanto aos aeródromos e heliportos existentes em Portugal, o seu planeamento, gestão e realização de investimentos é da competência dos órgãos municipais, segundo a Lei n.º 159/99, de 14 de Setembro. Os Aeródromos militares são da responsabilidade do Ministério da Defesa e regem-se por legislação específica. Na Figura 4. 3 podem-se identificar este tipo de infra-estruturas distribuídas ao longo do território nacional.

No caso das *atividades industriais e comerciais* passíveis da emissão de ruído elevado, é da competência das mesmas a aplicação de medidas adequadas ao cumprimento da legislação em vigor. No entanto, sempre que tal se verifique (situação de incumprimento) as entidades camarárias devem comunicar às respectivas entidades licenciadoras e alertar os próprios para essas situações, advertindo-as com uma possível revogação das licenças de actividade.

## 4.4. Análise Custo-Benefício

### 4.4.1. Generalidades

Os benefícios que advêm de intervenções desta natureza estão essencialmente relacionados com a redução do ruído ambiente em particular e com a melhoria da qualidade de vida da população em geral. A quantificação destes dois factores reveste-se de particular dificuldade uma vez que não existem dados de avaliação para “*melhoria da qualidade de vida da população*”, nem para a “*redução de despesas de saúde*” ou mesmo sobre a reapreciação dos imóveis que, eventualmente, se tenham desvalorizado devido ao excessivo ruído ambiente.

Nestas circunstâncias optar-se-á por realizar uma análise custo/benefício das medidas de redução do nível sonoro, ou seja, a quantificação do investimento e das contrapartidas.

### 4.4.2. Determinação da população abrangida

Procurar indicar para cada medida de redução de ruído um valor exacto da população abrangida pela mesma é uma tarefa impossível de estabelecer visto o carácter nacional deste documento e a óbvia variedade de características de cada concelho.

Assim, esta é uma tarefa a ser desenvolvida e estudada por cada entidade camarária para cada zona de conflito específica. Contudo, através dos projectos-piloto desenvolvidos no âmbito da elaboração deste documento para dois municípios e apresentados em anexo, alguns estudos foram efectuados para determinadas zonas de conflito em cada um dos dois concelhos. Desta forma, é possível ter-se um valor relativo estimado para concelhos com localizações e com semelhantes características, como sejam a densidade habitacional e condições de tráfego.

Determinando os mapas de ruído dos concelhos e conhecendo a distribuição populacional pelas áreas a estudar, pode-se determinar a população exposta a ruído ambiente exterior superior aos valores-limite impostos pelo RGR. Da mesma forma, utilizando os mesmos instrumentos de cálculo automático é possível estudar-se possíveis soluções de minimização de ruído nas zonas de conflito e verificar que população irá beneficiar para cada intervalo de valores de níveis sonoros.

De acordo com as indicações da APA, as classes de exposição e os tipos de fontes sonoras que devem ser reportados são os seguintes:

Quadro 4. 3 - Número estimado de pessoas (em centenas) expostas a diferentes classes de valores de  $L_{den}$  e  $L_n$ , por fonte sonora (IA, et al., 2007)

Classes	Global	Infra-estruturas rodoviárias		Infra-estruturas ferroviárias		Infra-estruturas aéreas		Indústrias
		GIT	IT	GIT	IT	GIT	IT	
$55 < L_{den} \leq 60$								
$60 < L_{den} \leq 65$								
$65 < L_{den} \leq 70$								
$70 < L_{den} \leq 75$								
$L_{den} > 75$								
$45 < L_n \leq 50$								
$50 < L_n \leq 55$								
$55 < L_n \leq 60$								
$60 < L_n \leq 65$								
$65 < L_n \leq 70$								
$L_n > 70$								

NOTA: IT - Infra-estruturas de transporte (inclui as GIT)

GIT- Grandes Infra-estruturas de transporte (1ª fase de implementação da DRA)

O preenchimento de quadros desta natureza, para cada concelho, possibilitará a determinação da população sobreexposta, nomeadamente, aquela que está sujeita a níveis sonoros de ruído ambiente exterior de  $L_{den} > 65$  dB(A) e  $L_n > 55$  dB(A).

#### 4.4.3. Custos envolvidos

##### 4.4.3.1. Objectivos

O estudo de medidas de redução de ruído é efectuado tendo em conta os níveis sonoros existentes numa dada zona e quais os valores que têm de ser reduzidos, conhecendo-se assim com relativa facilidade quais as medidas mais eficazes dum ponto de

vista técnico para cada situação. Contudo, é essencial conhecerem-se os custos envolvidos para a construção e manutenção de cada medida de forma a verificar-se a sua possível exequibilidade económica.

Conforme abordado anteriormente, e se encontra discriminado mais aprofundadamente no anexo A1, as medidas de intervenção podem abordar três tipos de acção de redução na fonte, no meio de propagação e no receptor.

O cálculo do custo das medidas de redução de ruído tem de incluir a aquisição de materiais e a respectiva colocação das infra-estruturas e montagem. Devem também ser tidos em conta outros custos relacionados, como por exemplo:

- *A manutenção futura das soluções;*
- *Compra ou expropriação de terrenos para colocação de barreiras acústicas;*
- *Custos relacionados com eventuais cortes de vias para modificação de pavimentos;*
- *Pagamento de projectos para estudo de soluções.*

Os custos directamente relacionados com a construção e manutenção das medidas de redução de ruído devem estar incluídos nas estimativas orçamentais de redução de ruído. Para isso deve verificar-se se alguns dos custos implicados seriam também existentes se nenhuma medida de redução de ruído fosse executada, conseguindo-se desta maneira atribuir a real percentagem de custos às medidas propriamente ditas.

De seguida são apresentados alguns valores indicativos de algumas soluções de redução de ruído, esclarecendo-se que os mesmos não deverão ser tomados em consideração para efeitos de orçamentação, mas apenas para uma estimativa aproximada.

#### **4.4.3.2. Custos associados ao pavimento**

O custo de um pavimento menos ruidoso para uma via rodoviária engloba duas componentes. Por um lado, o tipo de camada de desgaste a aplicar e o acréscimo de custo dessa decisão (comparada com a solução tradicional de betão betuminoso) com contrapartidas de melhoria da qualidade de vida de população. Por outro lado, considerando que essa actuação faz parte de uma estratégia de redução de ruído, o custo de colocação do pavimento deve ser confrontado com a utilização de outras

medidas potenciais como a redução da velocidade de circulação permitida, a colocação de barreiras acústicas, o acréscimo de isolamento sonoro de fachada, ou mesmo, a restrição à circulação de determinados tipos de veículos.

Quadro 4. 4 - Custos de pavimentação (valores indicativos)

Tipo de revestimento superficial	Custo de construção (€/m <sup>2</sup> )
Betão Betuminoso (BB)	3,0 - 4,0
Betão Betuminoso Drenante (BBDr)	5,0 - 6,0
Mistura betuminosa de granulometria descontínua (MBGD ou SMA)	3,5 - 4,5
Betão armado	60
Empedrado natural (cubos de granito)	15
Betume Modificado com Borracha	4,0 - 5,0

#### 4.4.3.3. Custos de medidas de gestão de tráfego

As medidas de gestão de tráfego podem-se dividir em dois grandes grupos, umas dedicadas ao **controlo de velocidade** através de alterações no alinhamento vertical e/ou horizontal da estrada ou mesmo no perfil transversal da via e outras ao **controlo do volume de tráfego** por intervenção nos movimentos e sentidos de tráfego que dificultam a circulação de alguns veículos favorecendo a utilização de rotas alternativas. Apesar de se poder fazer esta distinção de medidas, a sua utilização por vezes tem efeitos duplos uma vez que as medidas de controlo de velocidade por vezes induzem a procura de percursos distintos sendo a situação inversa também verdadeira (medidas de controlo do volume de tráfego potenciam a redução da velocidade de circulação).



Quadro 4. 5 - Custos médios de medidas de gestão de tráfego [(Almeida, 2007), valores indicativos actualizados à data de 2007]

Tipo de Intervenção	Custo (€/unidade)
Estreitamentos de vias	5.400 - 21.600
Restrição de largura à entrada de intersecções	10.800 - 32.400
Intersecção em T modificado	5.400 - 32.400
Gincanas	5.400 - 32.400
Rotundas e mini-rotundas	5.400 - 108.000
Bandas sonoras/cromáticas	40 - 45
Lombas	110 - 135
Plataformas, intersecções e travessias pedestres sobrelevadas	2.200 - 10.800

#### 4.4.3.4. Custos associados à implantação de barreiras

Existe uma multiplicidade de factores que influenciam o preço de uma barreira acústica. Sendo usual variações de preço/m<sup>2</sup> de obra para obra dependendo da sua altura, comprimento, tipo de fundação, resistência ao vento necessária e facilidade de execução, etc. Neste contexto, podem-se repartir os custos de uma barreira em duas categorias: *custo de construção* associado à concepção da barreira (incluindo o estudo acústico correspondente), à estrutura de suporte da mesma, ao transporte, aos materiais que a compõem e eventuais custos devidos à interrupção de circulação ou acesso a parcelas privadas e *custo de manutenção* fortemente dependente do tipo de barreira seleccionado e dos materiais constituintes (reparação de actos de vandalismo, pintura de barreiras metálicas, limpeza de barreiras transparentes, etc.).

Quadro 4. 6 - Custos médios de Barreiras Acústicas (valores indicativos)

Tipo de Barreira	Custo (€/m <sup>2</sup> )
Painéis reflectores de betão pré-fabricado	80 - 105
Painéis de betão armado pré-fabricados, revestidos com betão de lava	110 - 130
Painéis de betão armado pré-fabricados revestidos com borracha reciclada	100 - 120



Tipo de Barreira	Custo (€/m <sup>2</sup> )
Painéis de betão armado pré-fabricados revestidos com betão-madeira (uma face)	130 - 150
Painéis de betão armado pré-fabricados revestidos com betão-madeira (ambas as faces)	220 - 240
Painéis de betão-madeira para revestimento de muros	100 - 120
Painéis de betão armado pré-fabricados revestidos com argila expandida	100 - 120
Blocos pré-fabricados de betão com argila expandida	70 - 80
Muros de alvenaria	70 - 80
Painéis metálicos com uma face absorvente	120 - 140
Painéis metálicos com ambas as faces absorventes	130 - 150
Painéis em madeira reflectora	110 - 140
Painéis em madeira absorvente com lã mineral no interior	140 - 160
Painéis transparentes em acrílico extrudido (espessura 20 mm)	140 - 150
Painéis transparentes em acrílico fundido (espessura 20 mm)	250 - 280
Painéis transparentes em acrílico fundido com filamentos de poliamida (espessura 20 mm)	270 - 300
Motas de terra com vegetação arbustiva e/ou rasteira	10 - 20

#### *4.4.3.5. Custos para reforço de isolamento de fachada*

O desempenho mínimo de uma janela deve assegurar um diferencial de 30 dB(A) entre o ruído ambiente exterior e o ruído no interior do fogo e está dependente não só das características da parte envidraçada como da própria caixilharia.

Em relação à caixilharia são necessários alguns cuidados particulares, nomeadamente, quanto à estanquidade das juntas, ao sistema de fecho e ao sistema de fixação dos vidros. Quanto à parte envidraçada, são de utilização corrente os vidros simples, duplos com corte térmico e duplos com tratamento acústico sendo a principal diferença entre os dois últimos a diferença de espessuras entre as duas folhas de vidro que evita alguns problemas associados às frequências críticas dos vidros (redução do isolamento sonoro nessas frequências).

Quadro 4. 7 - Custos médios de Reforço acústico de vãos envidraçados (valores indicativos)

Tipo de Intervenção	Custo (€/m <sup>2</sup> )
Colocação de segunda janela de vidro duplo 4 (12) 6 com caixilharia acústica	300 - 400
Colocação de segunda janela de vidro duplo 10 (12) 44.2 com caixilharia acústica	400 - 500



#### 4.4.4. Avaliação da eficácia económica das medidas

A resolução do incómodo proveniente do ruído das infra-estruturas de transporte envolve sempre as mesmas variáveis e o mesmo tipo de soluções sendo necessário encontrar as que melhor respondam às seguintes questões:

- *Quais são as medidas de minimização mais aconselháveis?*
- *Quais são as vantagens/desvantagens (mesmo as não relacionadas com o impacto acústico) dessas medidas?*
- *Qual a medida mais eficaz? Ou seja, qual a medida que assegura maior atenuação sonora e qual o seu custo?*
- *Qual a medida mais eficaz em termos económicos? Ou seja, qual a medida que assegura maior atenuação sonora por € dispendido?*

As respostas a estas perguntas devem ter em conta variados aspectos como a velocidade de circulação dos veículos, a composição do tráfego, o número e a tipologia das edificações a proteger, a posição relativa dos edifícios e da infra-estrutura de transporte (diferença de cota, afastamento, presença de outros edifícios, etc.), o custo de substituição do pavimento existente por um menos ruidoso, o custo de implantação de barreiras acústicas, etc.

Logo que se reúnam os dados anteriormente mencionados, pode-se procurar a solução mais eficaz para o problema em questão. Considerando os valores previamente indicados para as diversas medidas de minimização de ruído na fonte, no receptor e no percurso de propagação, apresenta-se neste Manual um exemplo-tipo de origem holandesa (Larsen, et al., 2001) sobre a realização de uma análise custo-benefício desta natureza e a determinação dos custos de construção e manutenção de 1 km de estrada num arruamento urbano (50 km/h), de uma circular urbana (70 km/h) e de uma auto-estrada (110 km/h).

Os parâmetros de avaliação adoptados para esta análise custo-benefício são os que se encontram resumidos no Quadro 4. 8:

Quadro 4. 8 - Resumo dos valores considerados no exemplo-tipo holandês [adaptado de (Larsen, et al., 2001)]

	Arruamento urbano	Circular Urbana	Auto-estrada
Velocidade de circulação (km/h)	50	70	110
Perfil transversal tipo da via	2 x 1	2 x 2	2 x 3
Distância entre fachadas de edifícios numa rua em “U” (m)	15	32	30
TMDA (Tráfego Médio Diário Anual)	12.000	30.000	60 000
% Veículos pesados	10	10	10
Nível sonoro no 1º andar (L <sub>Aeq,24h</sub> em dBA)	68	73	77
Tipologia das habitações	Edifícios de apartamentos em banda com 6 pisos e R/C comercial	Edifícios de apartamentos em banda com 3 pisos	Moradias unifamiliares
Número de fogos	665	399	435

Para a resolução desta situação de ruído ambiente excessivo analisaram-se diversas opções de medidas de minimização que se passam a descrever no Quadro 4. 9:

Quadro 4. 9 - Resumo das medidas de minoração disponíveis e respectivo alcance de atenuação considerados no exemplo-tipo holandês [adaptado de (Larsen, et al., 2001)]

Tipo de medidas de minoração	Arruamento urbano	Circular Urbana	Auto-estrada
	Só é possível a colocação de um pavimento menos ruidoso ou acréscimo de isolamento de fachada	Todas as medidas de minoração são admissíveis: substituição do pavimento, colocação de barreiras e acréscimo de isolamento de fachada	Todas as medidas de minoração são admissíveis: substituição do pavimento, colocação de barreiras e acréscimo de isolamento de fachada

Tipo de medidas de minoração	Arruamento urbano	Circular Urbana	Auto-estrada
<b>Actuação na fonte</b> (substituição do pavimento actual por um pavimento absorvente)	Atenuação suplementar de aproximadamente <b>4 dB(A)</b>	Atenuação suplementar de aproximadamente <b>5 dB(A)</b>	Atenuação suplementar de aproximadamente <b>6 dB(A)</b>
<b>Actuação no meio de propagação</b> (implantação de uma barreira acústica no limite da estrada)	-	Para uma barreira com <b>2,5 m</b> : Atenuação de <b>12 dB(A)</b> no R/C e sem efeito nos andares superiores	Para uma barreira com <b>3 m</b> : Atenuação de <b>13 dB(A)</b> no R/C e cerca de <b>6 dB(A)</b> no 1º andar
<b>Actuação no receptor</b> (colocação de uma janela tripla de 6-12-4-9-4 (6 mm de vidro, 12 mm de caixa-de-ar, 4 mm de vidro, 9 mm de caixa-de-ar e 4 mm de vidro))	Acréscimo de isolamento sonoro de cerca de <b>9 dB(A)</b> comparada com uma janela dupla de 4-12-4	Acréscimo de isolamento sonoro de cerca de <b>9 dB(A)</b> comparada com uma janela dupla de 4-12-4	Acréscimo de isolamento sonoro de cerca de <b>9 dB(A)</b> comparada com uma janela dupla de 4-12-4

O custo destas medidas foi calculado tendo em atenção o período de vida útil esperado para as barreiras acústicas e para os envidraçados (30 anos). O pavimento, no entanto, apresenta uma duração inferior pelo que a camada inferior do pavimento deverá ser substituída a cada 15 anos e a camada superior a cada 7 ou 8 anos. A determinação do Custo Actual (sem a consideração de eventuais benefícios) pode ser efectuada recorrendo à seguinte fórmula:

$$VAL = \sum_0^{29} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

onde  $t$  é o ano do investimento,  $C_t$  é o custo do investimento no ano  $t$  e  $r$  a taxa de actualização que se considerou ser de 7%.

No Quadro 4. 10 apresenta-se um resumos do custo/economia proporcionado por cada tipo de medida de minimização.

Quadro 4. 10 - Resumo dos custos unitários das medidas de minoração [adaptado de (Larsen, et al., 2001)]

Tipo de despesa	Custo unitário
<b>Betão Betuminoso Drenante (BBDr) de dupla camada</b>	
Camada superior de BBDr 25 mm (8 mm)	5,4 €/m <sup>2</sup>
Camada inferior de BBDr 45 mm (16 mm)	9,7 €/m <sup>2</sup>
A substituição da camada de Betão Betuminoso de 30 mm pela camada de BBDr de 70 mm com maior capacidade de carga permite reduzir as camadas de fundação	-4,7 €/m <sup>2</sup>
Remoção da camada superior do pavimento degradado	3,4 €/m <sup>2</sup>
Sistema de drenagem do pavimento BBDr (em meio urbano)	53,6 €/m
Limpeza do pavimento BBDr (por unidade, em rua urbana duas vezes por ano e na circular urbana uma vez)	0,07 €/m <sup>2</sup>
Limpeza do sistema de drenos do pavimento	1,34 €/m
Sobrecusto de manutenção do pavimento BBDr (durante o período de inverno)	1.610 €
<b>Acréscimo de Isolamento de Fachada (colocação de janela tripla)</b>	
Custo médio de isolamento de apartamento	4.030 €
Custo médio de isolamento de uma moradia unifamiliar	6.640 €
<b>Barreira Acústica</b>	
Barreira acústica absorvente com 2,5 m de altura	255 €/m <sup>2</sup>
Custo de manutenção da barreira	2,2 €/m/ano

Se se atender, em simultâneo, aos custos de construção e de manutenção durante a vida útil esperada para as barreiras e para os novos envidraçados, o VAL (valor actual líquido) passará a ser dado pela expressão seguinte:

$$VAL = C_t + \frac{K_1}{(1+r)^1} + \frac{K_2}{(1+r)^2} + \frac{K_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{K_{29}}{(1+r)^{29}}$$

onde  $t$  é o ano do investimento,  $C_t$  é o custo do investimento no ano  $t$ ,  $r$  a taxa de actualização que se considerou ser de 7% e  $K_n$  o custo de manutenção no ano  $n$ . Aplicando esta expressão para 1 km de estrada de cada tipo obtêm-se os valores indicados no Quadro 4. 11.

Quadro 4. 11 - Estimativa dos custos (em €) das medidas de minoração de ruído para 1 km de estrada [adaptado de (Larsen, et al., 2001)]

		Arruamento urbano	Circular urbana	Auto-estrada
<b>Pavimento BBDr</b>	Custo de construção e manutenção ao longo de 30 anos	296.000 €	360.000 €	477.000 €
	Redução de nível sonoro	4 dB(A)	5 dB(A)	6 dB(A)
	<b>Custo (€)/dB(A)/fogo</b>	<b>111</b>	<b>180</b>	<b>183</b>
<b>Barreira Acústica</b>	Custo de colocação (vida útil de 30 anos)	-	1.335.000	1.590.000
	Redução de nível sonoro	-	0-12 (média: 3,9) dB(A)	4-13 (média: 6,2) dB(A)
	<b>Custo (€)/dB(A)/fogo</b>	-	<b>858</b>	<b>590</b>
<b>Acréscimo de Isolamento de fachada</b>	Custo de construção (vida útil de 30 anos)	2.685.000 €	1.607.000 €	2.890.000 €
	Redução de nível sonoro	9 dB(A)	9 dB(A)	9 dB(A)
	<b>Custo (€)/dB(A)/fogo</b>	<b>449</b>	<b>448</b>	<b>738</b>

A avaliação de custos efectuada no âmbito deste exemplo-tipo é claramente favorável ao betão betuminoso drenante (BBDr), uma vez que ele proporciona uma redução importante no ruído ambiente em geral (apesar de ter uma atenuação inferior) enquanto as outras duas soluções propostas têm um âmbito de intervenção local, além de apresentarem diversos inconvenientes, principalmente relacionados com a integração paisagística e visual.

Chama-se ainda a atenção para o facto de ser o BBDr a apresentar a melhor relação custo-benefício ao patentear menores valores de **VAL/dB(A)/fogo**.

## 4.5. Pós-avaliação

### 4.5.1. Objectivo

A **Pós-Avaliação** é o processo conduzido após a aprovação do *Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR)* que inclui **programas de monitorização e auditorias**, com o objectivo de garantir o cumprimento das condições prescritas no PMRR, avaliar a eficácia das medidas de redução sonora adoptadas e, se necessário, considerar a adopção de medidas de minoração sonora adicionais.

A **monitorização** consiste num conjunto de acções de observação, medição e registo das condições ambientais após a implementação de um conjunto de medidas que se consideraram ambientalmente favoráveis.

A **auditoria** corresponde a uma verificação objectiva e independente da conformidade das medidas adoptadas e das expectativas criadas com a aplicação dessas medidas com os resultados práticos da sua implementação.

### 4.5.2. Monitorização

A monitorização do ruído das diversas fontes sonoras tem como principais objectivos:

- *Avaliar as emissões acústicas das fontes sonoras em exploração;*
- *Quantificar os níveis sonoros na proximidade dos receptores Sensíveis;*
- *Identificar a população exposta a níveis de ruído ambiente não regulamentares;*
- *Identificar as necessidades de execução de acções de redução de ruído;*
- *Verificar a eficácia real das acções executadas.*

A monitorização será efectuada com recurso a **medições acústicas**, que deverão ser efectuadas de acordo com os procedimentos descritos na **Norma Portuguesa NP 1730:1996 - “Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente”**, principalmente nos casos em que seja necessário verificar a procedência de reclamações recebidas.



Pode-se recorrer, conjuntamente, a **modelos de previsão de ruído** que devem ser calibrados e validados para cada situação em análise. Essa calibração implica a realização de medições em pontos criteriosamente seleccionados, de forma a validar os resultados simulados. Aconselha-se que os modelos a adoptar para a previsão do ruído ambiente sigam os métodos de cálculo recomendados no **Decreto-Lei n.º 146/2006** de 31 de Julho (transposição da Directiva n.º 2002/49/CE, de 25 de Junho) relativo à avaliação e gestão do ruído ambiente e o documento emanado pela APA “**Recomendações para a selecção de métodos de cálculo a utilizar na previsão de níveis sonoros**” disponível no sítio desta entidade [www.apambiente.pt].

Para a generalidade dos casos, é considerada suficiente a repetição das campanhas de monitorização de 5 em 5 anos, salvo se ocorrerem, entretanto, alterações significativas dos factores que determinam a emissão e propagação de ruído, ou reclamações das populações vizinhas. Os registos efectuados ao longo do processo de monitorização são importantes para avaliar a medida no contexto em que se insere de modo a identificar características do local que se possam relacionar com o bom ou mau funcionamento da medida e que servirá de base para a implementação em casos similares. Para que a análise seja completa, há que incluir os seguintes procedimentos:

- *Avaliação dos efeitos na ocorrência dos acidentes relativamente aos objectivos de segurança considerados;*
- *Avaliação dos efeitos na distribuição do tráfego e nas velocidades dos veículos;*
- *Observação e detecção de algum efeito indesejado no tráfego;*
- *Avaliação dos efeitos na envolvente local;*
- *Registo de eficiência e aceitabilidade da medida por parte dos utilizadores e residentes do local e zona envolvente como “informação de base” para outras aplicações.*

A **Monitorização de identificação** refere-se à avaliação das condições iniciais de ruído ambiente (correspondente a campanhas de medição executadas para calibração do modelo de previsão utilizado para elaboração do mapa de ruído municipal) ou à identificação da validade de reclamações efectuadas pelos munícipes sobre fontes sonoras preexistentes ou que venham a ser implementadas após a elaboração do mapa de ruído municipal.

A **monitorização de acompanhamento** refere-se à avaliação das condições de avaliação do ruído ambiente após a implementação de algumas das medidas de minimização preconizadas no *Plano Municipal de Redução do Ruído*. A monitorização controla o funcionamento correcto da medida de redução de ruído aplicada e contribui para uma actualização

contínua da estratégia e para o processo de aprendizagem através da observação dos efeitos das medidas e que inclui a detecção e correcção dos erros.

### **Programa de monitorização do ruído**

Um Programa de Monitorização do Ruído, no contexto dos PMRR, visa essencialmente a verificação da eficácia das medidas de minimização entretanto adoptadas ou da necessidade de medidas de minoração suplementares, apresentando no mínimo o seguinte conteúdo:

- Selecção dos locais de medição em função dos resultados esperados pelo *Plano Municipal de Redução de Ruído* e da localização dos receptores sensíveis.
- Parâmetros de avaliação expressos em dB(A):
  - *Nível sonoro contínuo equivalente em período diurno* ( $L_{Aeq, diurno} = L_d$ );
  - *Nível sonoro contínuo equivalente em período do entardecer* ( $L_{Aeq, entardecer} = L_e$ );
  - *Nível sonoro contínuo equivalente em período nocturno* ( $L_{Aeq, nocturno} = L_n$ );
- **Métodos e Equipamento**

*As medições de níveis de ruído deverão ser efectuadas de acordo com a normalização portuguesa aplicável (NP 1730).*

*As medições deverão ser efectuadas com sonómetro digital integrador, de modelo aprovado pelo Instituto Português da Qualidade devidamente calibrado e certificado.*

## PROJECTOS - PILOTO



## 5. APLICAÇÃO PRÁTICA “PROJECTOS-PILOTO”

### 5.1. Objectivos

Como aplicação prática de elaboração de um *Plano Municipal de Redução de Ruído* (PMRR) apresenta-se neste capítulo o estudo de “*projectos-piloto*”. A importância da realização de um projecto-piloto de um *Plano Municipal de Redução de Ruído* consiste na verificação da aplicabilidade prática da metodologia e medidas estudadas e propostas ao longo deste documento.

Foram usadas duas situações distintas mas em que ambos os concelhos apresentavam uma dimensão média, um município de carácter misto rural/urbano (Santa Maria da Feira) e um município com carácter eminentemente urbano (Maia), representando assim grande parte dos 308 concelhos portugueses (Quadro 5. 1).

Quadro 5. 1 - Características dos concelhos utilizados nos “projectos-piloto” [adaptado de (INE, 2002)]

	Santa Maria da Feira	Maia
Área	211 km <sup>2</sup>	83 km <sup>2</sup>
N.º de freguesias	31	17
N.º de habitantes	Censos 2001 Estimativa 2006	120.111 hab. 135.700 hab.
Densidade populacional	Censos 2001 Estimativa 2005	1.447 hab./km <sup>2</sup> 1.600 hab./km <sup>2</sup>

### 5.2. Procedimentos prévios

O trabalho de elaboração de um *Plano Municipal de Redução de Ruído* inicia-se com a recolha de informação sobre os estudos previamente existentes. Em situação corrente serão fornecidos pelo respectivo Município os mapas de ruído do concelho anteriormente elaborados e adaptados segundo as indicações da APA à actual legislação e com os novos indicadores de ruído ambiente:  $L_{den}$  e  $L_n$ , a *carta de classificação de zonas* e a *densidade populacional* ou a *população* por subsecção estatística.

Numa primeira abordagem deverão ser analisados os mapas fornecidos pela Câmara Municipal para o que se consideram necessários os seguintes procedimentos:

- *Verificação e eventual correcção dos dados referentes às diferentes infra-estruturas de transporte;*
- *Identificação e separação das vias por entidade gestora;*
- *Verificação e eventual correcção dos dados referentes aos edifícios;*
- *Identificação e separação dos edifícios por tipologia de utilização (habitação, serviços, escolas, hospitais, igrejas e industriais);*
- *Verificação e eventual correcção dos dados referentes às fontes industriais;*
- *Verificação e eventual correcção de dados referentes a medidas de minimização já existentes e não contempladas anteriormente;*
- *Verificação e eventual adaptação dos indicadores de ruído ( $L_{den}$  e  $L_n$ ).*

Após efectivação das alterações indispensáveis, deverão ser gerados novos *mapas de ruído*, de acordo com o tipo de fonte sonora, a entidade gestora e o indicador desejado, tendo em atenção os novos parâmetros acústicos de avaliação e os diferentes tipos de fontes sonoras.

### **5.3. Critérios de simplificação adoptados**

Na elaboração do presente Manual efectuaram-se algumas simplificações em relação ao tipo de informação que foi incluída nos estudos de caso. Efectivamente, não dispúnhamos (no momento de elaboração da análise a esses casos de estudo) de toda a informação relativa ao ordenamento do território, nomeadamente, em relação à localização de determinados tipos de ocupação do território que não apresentam elevada sensibilidade ao ruído. Como exemplo, as zonas florestais, espaços de ocupação agrícola, zonas de reservas (RAN ou REN) sem a presença de espécies sensíveis ao ruído.

No entanto, como a existência de fontes de ruído e de ocupação humana nesses locais é muito reduzida ou praticamente inexistente, a sua interferência com a análise efectuada sobre os Mapas de Ruído e os Planos Municipais de Redução de Ruído é bastante reduzida. Conforme se poderá visualizar nas figuras apresentadas ao longo deste capítulo, a contribuição destas áreas

“menos sensíveis ao ruído” para o cômputo geral da área de conflito é muito reduzida (essencialmente pelo motivo anteriormente mencionado, inexistência de fontes sonoras).

Salienta-se que a elaboração dos Planos Municipais de Redução de Ruído (à qual estão sujeitos todos os municípios) se reveste de particular importância. Dado que é um instrumento de gestão territorial com fortes implicações económicas, a sua “exactidão” é importante.

Chama-se particular atenção para a relevância da qualidade dos mapas de ruído.

Este documento constitui, juntamente com a carta de classificação de zonas, o fundamento para a determinação dos mapas de conflito e, posteriormente, para a elaboração dos Planos Municipais de Redução de Ruído. Assim, a maior exactidão possível destes dois elementos, vai permitir rentabilizar as medidas de minimização necessárias, tornando-as mais adequadas a cada uma das situações de conflito identificadas. Este aspecto é importante na medida em que qualquer intervenção proposta vai exigir recursos económicos significativos além de poder ocasionar transtornos temporários (durante a execução das empreitadas) à população que, no futuro, será beneficiada por essas medidas de minoração.







## 5.4. Concelho de Santa Maria da Feira

### 5.4.1. Plano Municipal de Redução de Ruído

#### 5.4.1.1. Descrição do município

O município de Santa Maria da Feira localiza-se no distrito de Aveiro e encontra-se limitado pelos municípios de Espinho, Ovar, S. João da Madeira, Oliveira de Azeméis, Arouca, Gondomar e Vila Nova de Gaia. Apresenta um **território com 211 km<sup>2</sup> e cerca de 145.200 habitantes**, repartidos por 31 freguesias.

Inserir-se na **Grande Área Metropolitana do Porto** (desde 2005) e é dotado de uma boa rede viária com ligações privilegiadas a todo o país (AE1, A29 e IC24). Este concelho representa a maior fatia do distrito de Aveiro em termos de concentração industrial e de mão-de-obra activa, com 30% e 24% respectivamente. É um concelho que se caracteriza por um forte sector secundário, onde as cerca de 6.300 empresas representam 62% da actividade económica, seguindo-se o sector terciário com 37%. A indústria da cortiça (11% do sector secundário e 60% do total de indústrias de cortiça no mundo) e do calçado são os principais sectores de actividade, seguindo-se a metalomecânica, as ferragens, as madeiras, o papel e a puericultura (único núcleo de produção do país).

A dinâmica deste concelho passa também pela forte aposta em actividades de interesse cultural e turístico, de onde se realça o complexo do Europarque e *Visionarium*, o Museu de Santa Maria de Lamas e o Parque Ornitológico Municipal - zoo

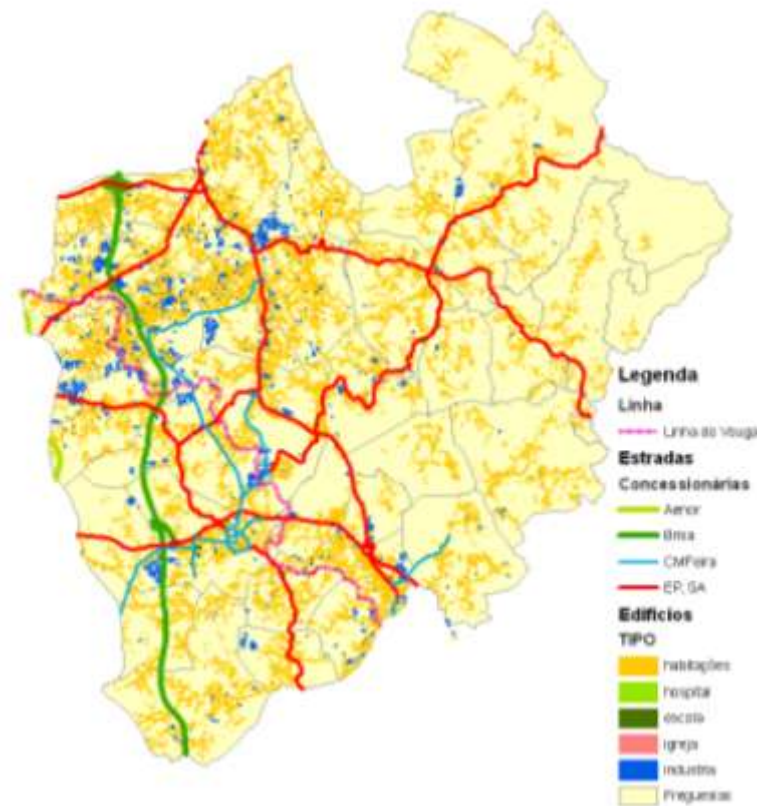


Figura 5. 1 - Representação da Rede Rodoviária, Ferroviária e da mancha edificada do concelho

de Lourosa, as Termas S. Jorge, o Museu Convento dos Lóios, o Museu de Papel Terras de Santa Maria, o Castro de Romariz e o Castelo de Santa Maria da Feira.

Apesar de já se encontrar em fase final de elaboração, o PDM do concelho ainda não dispõe de *carta de classificação de zonas* com consistência suficiente para poder ser facultada e utilizada. Assim, para elaboração do Plano Municipal de Redução de Ruído considerou-se todo o território como *sem classificação*, o que apesar de sobrecarregar (em termos de redução sonora) as Zonas Mistas e penalizar as Zonas Sensíveis (é um critério mais benevolente) permitiu realizar uma primeira aproximação do tipo de intervenções a delinear.

#### 5.4.1.2. Resumo dos dados de origem dos mapas de ruído

Os mapas de ruído subjacentes ao presente Plano foram fornecidos pela Câmara Municipal que os elaborou internamente com consultoria pontual de um consultor externo. O mapa de ruído global disponibilizado foi realizado com cartografia actualizada e identificação de todas as *fontes rodoviárias* e *ferroviárias* seleccionadas de acordo com as indicações da APA nas “Directrizes para elaboração de Mapas de Ruído”. Como este Mapa foi elaborado antes da aprovação da DRA e do novo RGR, o parâmetro de avaliação utilizado foi o então vigente  $L_{Aeq}$ , tanto em período diurno como nocturno. As *fontes industriais* foram quantificadas como áreas de emissão a partir de medições efectuadas em pontos seleccionados das zonas industriais definidas pelo Município.

O programa de cálculo utilizado foi o *CadnaA* e os métodos de cálculo considerados foram os recomendados pela União Europeia na Directiva Ruído Ambiente e que se passam a transcrever:

- *Fontes rodoviárias: NMPB-Routes-96;*
- *Fontes ferroviárias: SCHALL 03;*
- *Fontes industriais: ISO 9613.*

O mapa de ruído foi calibrado com medições efectuadas em período diurno e nocturno em pontos criteriosamente seleccionados, pelo que se considera que o mapa de ruído facultado reúne as condições para constituir uma boa base de trabalho.

As *infra-estruturas de transporte rodoviário* definidas nesse Mapa de Ruído tiveram como TMDA (Tráfego Médio Diário Anual) mínimo cerca de 2.500 veículos, são as indicadas no Quadro 5. 2 e na Figura 5. 2 (excepto os ramos de ligação nos Nós).

**Quadro 5. 2 - Listagem das infra-estruturas rodoviária do concelho e respectivas entidades responsáveis**

Infra-estrutura Rodoviária Via	Concessionária	TMH (veículos/h)		% Pesados		Velocidade (km/h)		Perfil
		Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Ligeiros	Pesados	Transversal
A29 - Troço2	Aenor	2424	587	16	22	120	90	RQ 26
A1 - Troço2	Brisa	1765	259	8	15	120	90	RQ 29
A1 - Troço1	Brisa	1490	235	10	17	120	90	RQ 29
VAR_EN223 - Troço1	EP, SA	1577	91	7	8	90	80	RQ 14
VAR_EN223 - Troço2	EP, SA	1920	111	7	6	120	90	RQ 20
IC2	EP, SA	1503	105	13	7	90	80	RQ 14
EN1 - Troço1	EP, SA	1052	74	3	2	50	50	RQ 10
EN1 - Troço2	EP, SA	1045	73	12	7	90	80	RQ 12
EN1 - Troço3	EP, SA	804	56	14	8	50	50	RQ 12
EN1 - Troço4	EP, SA	1265	89	9	5	50	50	RQ 12
EN1 - Troço5	EP, SA	1357	95	9	5	50	50	RQ 12
EN1 - Troço6	EP, SA	1359	95	9	5	50	50	RQ 12
IC24 - Troço1	EP, SA	1100	64	6	6	120	90	RQ 26
IC24 - Troço2	EP, SA	690	40	6	6	120	90	RQ 26
IC24 - Troço3	EP, SA	954	56	6	6	120	90	RQ 26
EN1-14 - Troço1	EP, SA	500	31	9	9	50	50	RQ 10
EN1-14 - Troço2	EP, SA	586	37	10	10	50	50	RQ 10
EN1-13 - Troço1	EP, SA	270	17	16	16	50	50	RQ 10
EN1-13 - Troço2	EP, SA	380	24	12	12	50	50	RQ 10
EN109-4 - Troço1	EP, SA	316	20	3	3	50	50	RQ 10
EN109-4 - Troço2	EP, SA	749	47	8	8	50	50	RQ 10
EN109-4 - Troço2	EP, SA	474	30	1	1	50	50	RQ 10

Via	Concessionária	TMH (veículos/h)		% Pesados		Velocidade (km/h)		Perfil
		Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Ligeiros	Pesados	Transversal
EN109-4 - Troço3	EP, SA	452	28	8	8	50	50	RQ 10
EN109-4 - Troço4	EP, SA	485	30	8	8	50	50	RQ 10
EN109-4 - Troço5	EP, SA	527	33	6	6	50	50	RQ 10
EN222	EP, SA	240	15	6	6	50	50	RQ 10
EN223 - Troço1	EP, SA	561	35	7	7	50	50	RQ 10
EN223 - Troço2	EP, SA	461	29	5	5	50	50	RQ 10
EN223 - Troço3	EP, SA	510	32	7	7	50	50	RQ 10
EN223 - Troço4	EP, SA	537	33	5	5	50	50	RQ 10
EN326 - Troço1	EP, SA	369	26	3	3	50	50	RQ 10
EN326 - Troço2	EP, SA	156	10	6	6	50	50	RQ 10
EN327	EP, SA	327	21	2	2	50	50	RQ 9
Av. 25 de Abril - Troço1	Município	603	40	6	0	50	50	RQ 10
Av. 25 de Abril - Troço2	Município	857	56	3	0	50	50	RQ 10.5
Av. 5 de Outubro	Município	1142	71	3	3	50	50	RQ 10
Av. do Monumento	Município	549	34	2	2	90	80	RQ 12
Av. Dr. Belchior Cardoso Co	Município	438	29	8	0	50	50	RQ 16
Av. Dr. Francisco Sá Carneiro	Município	1151	76	2	0	50	50	RQ 10
EM515	Município	447	28	5	5	50	50	RQ 10
R. António Castro Corte - Troço1	Município	849	56	3	0	50	50	RQ 9.5
R. António Castro Corte - Troço2	Município	685	45	3	0	50	50	RQ 9.5
Rua Central (EM517)	Município	623	39	2	2	50	50	RQ 10
Rua Comendador Sá Couto	Município	864	57	2	0	50	50	RQ 10
Rua da Estrada Nacional	Município	628	39	4	4	50	50	RQ 10
Rua de S. Nicolau - Troço1	Município	625	41	1	0	50	50	RQ 10.5
Rua de S. Nicolau - Troço2	Município	478	31	3	0	50	50	RQ 10.5
Rua Dr. Cândido Pinho - Troço1	Município	468	29	4	4	40	40	RQ 7.5

Infra-estrutura Rodoviária		TMH (veículos/h)		% Pesados		Velocidade (km/h)		Perfil
Via	Concessionária	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Ligeiros	Pesados	Transversal
Rua Dr. Cândido Pinho - Troço2	Município	1136	75	6	0	50	50	RQ 10
Rua Dr. Vitorino de Sá	Município	440	29	2	0	50	50	RQ 10
Rua Ferreira de Castro - Troço1	Município	1085	76	2	0	50	50	RQ 10
Rua Ferreira de Castro - Troço2	Município	527	35	3	0	50	50	RQ 10
Rua Terras Santa Maria	Município	636	45	3	2	50	50	RQ 10
Variante Feira-Nogueira - Troço1	Município	602	37	2	2	50	50	RQ 12
Variante Feira-Nogueira - Troço3	Município	934	58	4	4	50	50	RQ 12
Via-Estruturante Lamas-Lourosa	Município	623	39	2	2	50	50	RQ 10

TMH - Tráfego Médio Horário

As *infra-estruturas de transporte ferroviário* incluídas nesse Mapa de Ruído são as indicadas no Quadro 5. 3 e na Figura 5. 3. A sua significância acústica é muito pouco representativa atendendo à reduzida frequência de passagem das composições e ao facto de não existir movimentação em período nocturno.

Quadro 5. 3 - Listagem das infra-estruturas ferroviária do concelho e respectivas entidades responsáveis

Infra-estrutura Ferroviária		Nível de emissão $L_w$
Via	Concessionária	Diurno
Linha do Vouga	Refer	44,3 dB(A)

Uma vez que este concelho tem uma actividade marcadamente industrial, com cerca de 4.000 unidades industriais de dimensões muito variáveis, as fontes de ruído industrial deveriam assumir uma relevância particular. No entanto, foi entendimento da Câmara Municipal que a quantificação da influência das unidades industriais só seria efectuada para as indústrias que se localizassem em Zonas Industriais estabelecidas ou projectadas como as indicadas na Figura 5. 4. Nas outras



situações de unidades industriais isoladas e sujeitas a processos de licenciamento de actividades independentes do licenciamento municipal, o Município considerou não ser sua competência a verificação de eventuais situações de desconformidade com a legislação em vigor e, como tal, não foram disponibilizados dados sobre as emissões dessas unidades. Em relação à inclusão das unidades industriais isoladas nos mapas municipais de ruído, considera-se que esta situação deverá ser equacionada no contexto de grandes fontes industriais (isto é, aquelas que distintamente emergem no ruído ambiente local, qualquer que seja o período de avaliação).



Figura 5. 2 - Rede rodoviária do concelho



Figura 5. 3 - Rede ferroviária do concelho





Figura 5. 4 - Zonas Industriais e indústrias isoladas do concelho

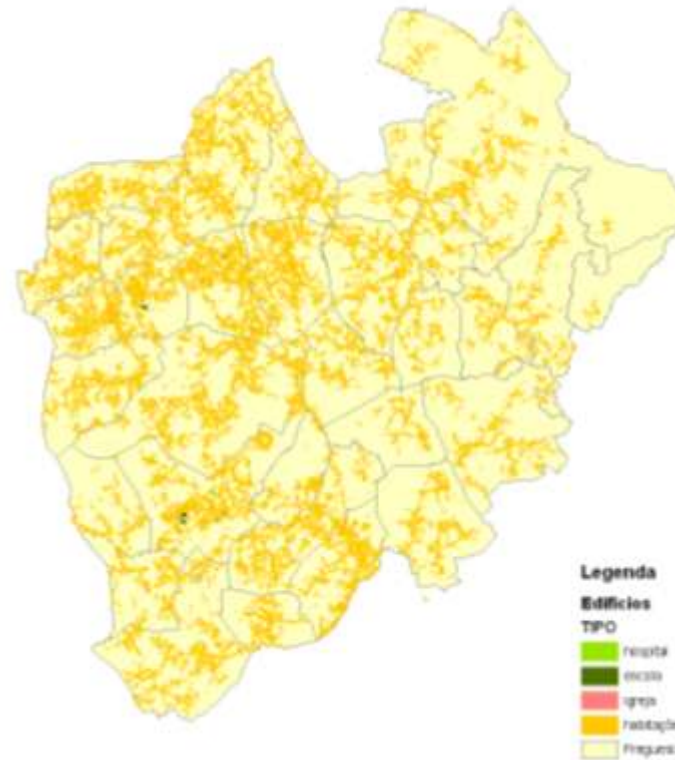


Figura 5. 5 - Zona edificada não industrial do concelho

A parte edificada do concelho está relativamente actualizada (Figura 5. 5). Aliás, juntamente com o Mapa de Ruído de 2005, foi fornecida cartografia mais actualizada e com maior detalhe (escala 1:1.000) que possibilitou a actualização da mancha edificada e um maior pormenor nas características morfológicas do concelho. No entanto, a classificação dos edifícios de acordo com a utilização principal não constava dessa base de dados tendo sido necessária a sua definição posterior por métodos indirectos (descritos no ponto da metodologia).

#### 5.4.1.3. Entidades competentes pela execução de medidas de redução de ruído

Neste município, conforme se identificaram nos pontos anteriores, existem três tipos de fontes ruidosas: rodoviárias, ferroviárias e industriais.

No caso das *infra-estruturas rodoviárias* estão envolvidas quatro entidades: o próprio município (Santa Maria da Feira), a concessionária geral da rede rodoviária nacional (EP - Estradas de Portugal, SA), a concessionária de auto-estradas (BRISA - Auto-estradas de Portugal, SA) e a concessionária da Concessão da SCUT da Costa da Prata (AENOR).

Para as *infra-estruturas ferroviárias* existe uma empresa responsável pela infra-estrutura (REFER - Rede Ferroviária Nacional, EP) e outra responsável pela exploração do serviço de transporte (CP - Caminhos de Ferro Portugueses, EP), neste caso pela Linha do Vouga.

Quanto às *fontes industriais* analisadas (as que se encontram em Zonas Industriais), a responsabilidade de redução do nível sonoro recairá sobre os privados que exercem a sua actividade nesses locais. De qualquer forma, o município tem sempre a responsabilidade de dotar as zonas industriais de condições que permitam o desenvolvimento de actividades sem perturbação dos receptores mais próximos, nomeadamente com a criação de “zonas-tampão”. Em relação às grandes fontes industriais isoladas, a responsabilidade de redução da emissão sonora recai exclusivamente sobre os respectivos proprietários.

#### 5.4.1.4. Metodologia

A abordagem seguida para elaboração do presente *Plano Municipal de Redução de Ruído* consistiu, na análise dos elementos fornecidos pela Câmara Municipal. Neste caso, foi fornecido o mapa de ruído elaborado em 2005, bem como todos os dados relevantes que lhe serviram de suporte como a topografia, parte edificada incluindo a altura dos edifícios, as fontes de ruído e respectivas características de emissão, bem como dados estatísticos do concelho.

Constatou-se, como seria de esperar, que os mapas foram realizados tendo por base o parâmetro acústico  $L_{Aeq}$ , tanto para período diurno como nocturno, uma vez que este era o parâmetro de avaliação anteriormente em vigor.

a) A primeira tarefa passou por converter este mapa ao novo indicador de avaliação  $L_{den}$ , para o período das 24 h, mantendo o cálculo para período nocturno mas adoptando para o  $L_{Aeq}$  nocturno a nova designação de  $L_n$ .

Na realização desta tarefa seguiram-se as recomendações da APA (IA *et al.*, 2007) em relação à altura de cálculo (4 m), às regras de conversão do  $L_{Aeq}$  em  $L_{den}$ , nomeadamente:

- Para infra-estruturas de transporte:

$$TMH_{(7-20h)} = TMH_{(7-22h)}$$

$$TMH_{(20-23h)} = \left( \frac{2 \times TMH_{(7-22h)} + 1 \times TMH_{(22-7h)}}{3} \right)$$

$$TMH_{(23-7h)} = TMH_{(22-7h)}$$

TMH - Tráfego Médio Horário

- Para fontes industriais:

$$L_w_{(7-20h)} = L_w_{(7-22h)}$$

$$L_w_{(20-23h)} = 10 \log \left( \frac{2 \times 10^{\frac{L_w_{(7-22h)}}{10}} + 1 \times 10^{\frac{L_w_{(22-23h)}}{10}}}{3} \right)$$

$$L_w_{(23-7h)} = L_w_{(22-7h)}$$

$L_w$  - Nível de potência sonora

b) Foi ainda necessário classificar os edifícios quanto ao tipo de utilização e as fontes de ruído quanto às entidades responsáveis. Após a actualização da base de dados prosseguiu-se para o cálculo de **mapas de ruído parciais** ( $L_{den}$  e  $L_n$ ), a saber:

- Mapa de infra-estruturas rodoviárias tuteladas pela EP - Estradas de Portugal, SA;
- Mapa de infra-estruturas rodoviárias tuteladas pela Brisa - Auto-estradas de Portugal, SA;
- Mapa de infra-estruturas rodoviárias tuteladas pela Aenor;
- Mapa de infra-estruturas rodoviárias tuteladas pela Câmara Municipal de Santa Maria da Feira;
- Mapa de infra-estruturas ferroviárias tuteladas pela Refer - Rede Ferroviária Nacional, EP;
- Mapa de zonas industriais.


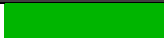


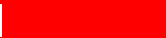




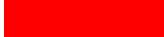
Para agilizar o tempo de cálculo inerente a esta tarefa, criou-se uma nova área de cálculo que não abrangia a totalidade do concelho. Essa nova área de cálculo foi determinada em função do nível sonoro emitido pela principal fonte sonora do concelho (o ruído rodoviário) por simulação com valores de tráfego e velocidade utilizados na elaboração do mapa de ruído mas, agora, para os novos indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$ .

Assim, apesar de não se cumprirem as indicações do “*Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*” (WG-AEN, 2007) para a definição da área a estudar (com base numa estimativa de nível sonoro do ruído rodoviário sem consideração de topografia), elaborou-se uma primeira estimativa do nível sonoro do ruído ambiente para a fonte de ruído que se considerou mais preponderante (a auto-estrada AE1) a partir da qual se concluiu que a consideração de uma faixa de cálculo com cerca de 500 m de largura seria suficiente para os propósitos deste Manual.

Nestas circunstâncias, considerou-se essa largura (500 m) aplicável a todas as vias rodoviárias do concelho que faziam parte dos elementos de trabalho, tendo-se obtidos os resultados expressos graficamente nas Figura 5. 6, Figura 5. 7, Figura 5. 8 e Figura 5. 9, onde se apresenta o mapa de ruído global do concelho e parte dos mapas de ruído parciais calculados uma vez que, para efeitos de representação gráfica, se optou por reunir todas as infra-estruturas rodoviárias no mesmo mapa, apesar de se ter individualizado o respectivo cálculo.

As representações gráficas seguem o código de cores indicados pela APA que se transcreve no Quadro 5. 4.

Quadro 5. 4 - Código de cores indicados pela APA [adaptado de (IA, et al., 2007)]

Classes do Indicador $L_{den}$	Cores	RGB	Classes do Indicador $L_n$	Cores	RGB
$L_{den} \leq 55$		Ocre 255,217,0	$L_n \leq 45$		Verde-escuro 0,181,0
$55 < L_{den} \leq 60$		Laranja 255,179,0	$45 < L_n \leq 50$		Amarelo 255,255,69
$60 < L_{den} \leq 65$		Vermelhão 255,0,0	$50 < L_n \leq 55$		Ocre 255,217,0
$65 < L_{den} \leq 70$		Carmim 196,20,37	$55 < L_n \leq 60$		Laranja 255,179,0
$L_{den} > 70$		Magenta 255,0,255	$60 < L_n \leq 65$		Vermelhão 255,0,0

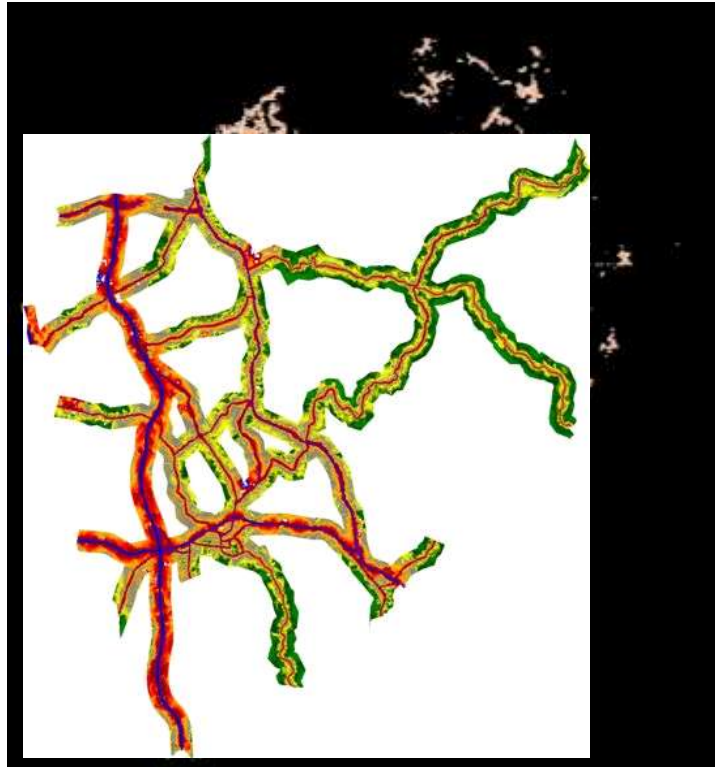


Figura 5. 6 - Mapa de ruído global do concelho na situação inicial,  $L_{den}$

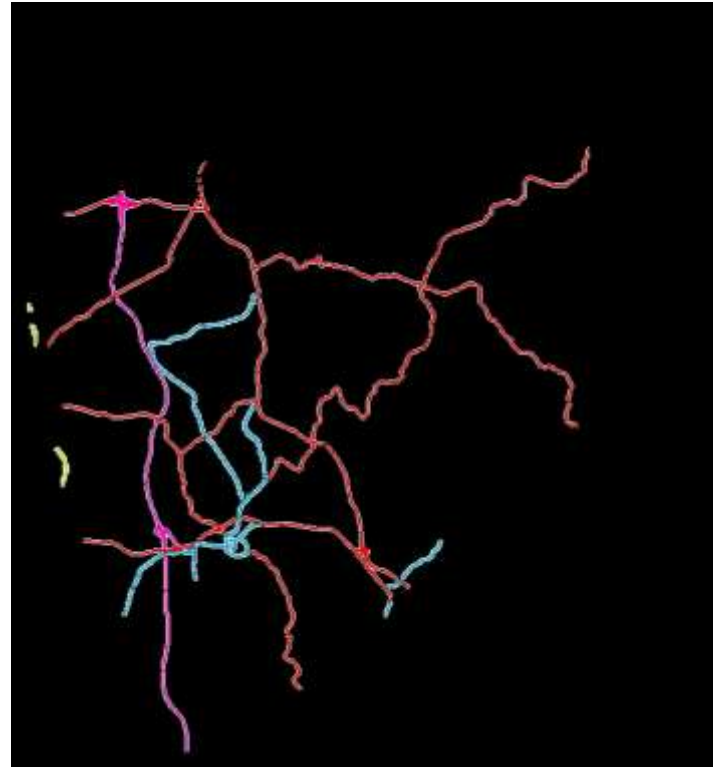


Figura 5. 7 - Mapa de ruído rodoviário do concelho na situação inicial,  $L_{den}$

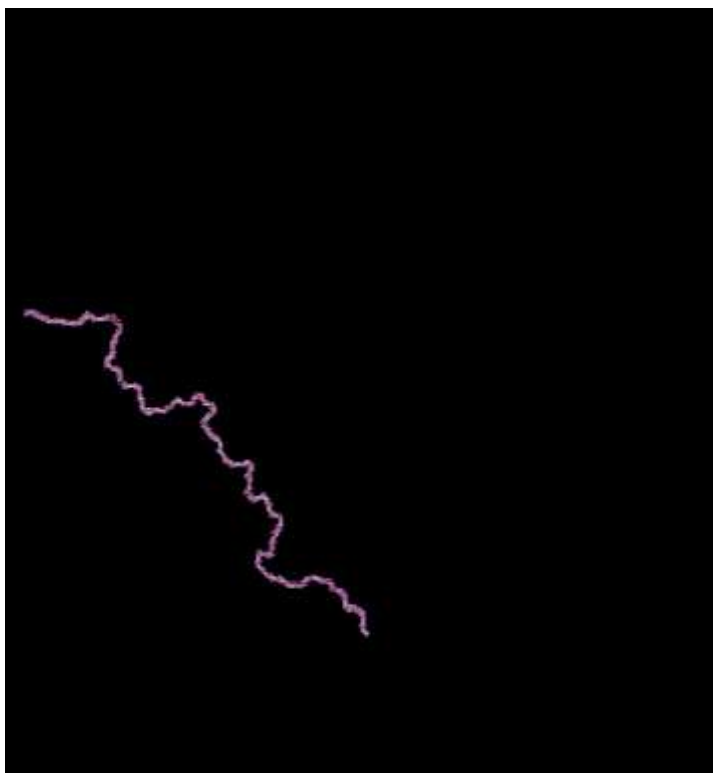


Figura 5. 8 - Mapa de ruído ferroviário do concelho na situação inicial,  $L_{den}$

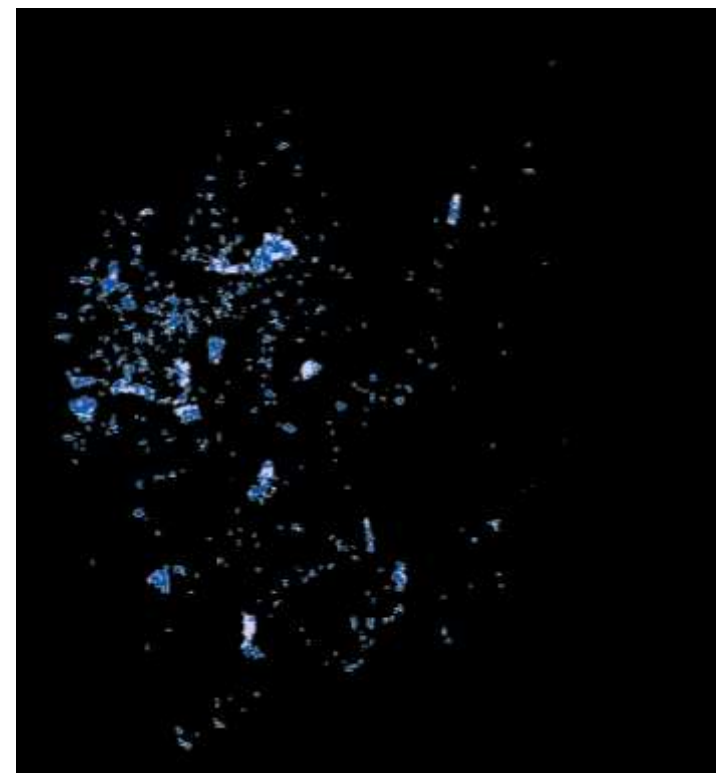


Figura 5. 9 - Mapa de ruído industrial do concelho na situação inicial,  $L_{den}$

A visualização dos mapas apresentados nas figuras anteriores permitiu concluir que a faixa de análise considerada não englobava toda a área efectivamente afectada pelas diversas fontes sonoras presentes no concelho nem facultava a determinação, com o mínimo de rigor, das zonas com ruído ambiente excessivo, ou seja, as zonas de conflito.

Como tal, efectuaram-se novos cálculos de mapas de ruído, desta vez, para a totalidade do concelho (englobando todas as fontes e com as fontes individualizadas por tipo e por entidade gestora) que possibilitassem a determinação das áreas,



edifícios e população expostas para todas as classes de exposição definidas na Directiva do Ruído Ambiente (DRA), de cujos resultados se expõem alguns exemplos nas Figura 5. 10, Figura 5. 11, Figura 5. 12 e Figura 5. 13.

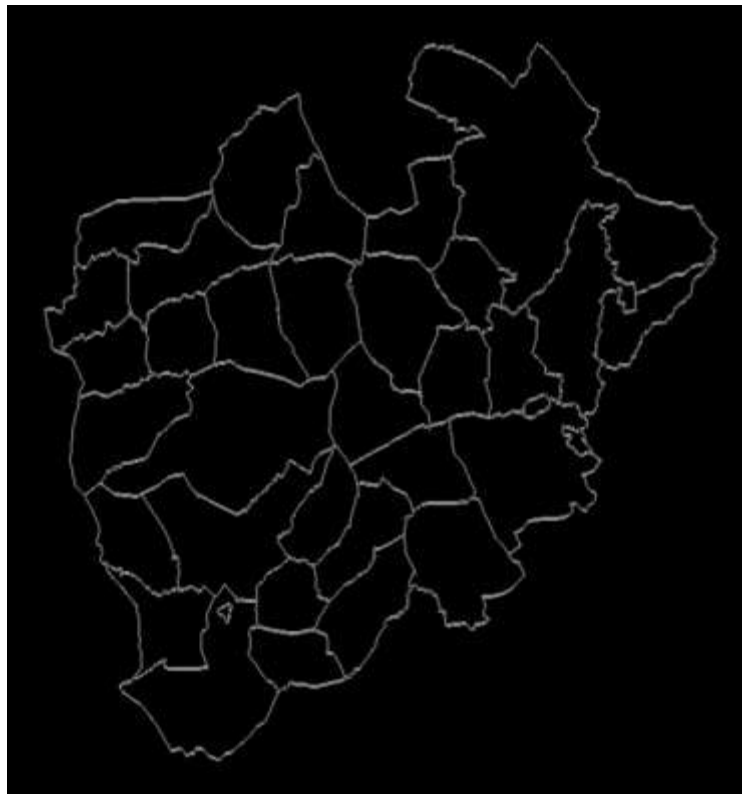
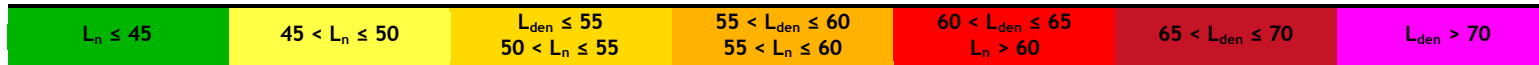


Figura 5. 10 - Mapa de ruído global do concelho,  $L_{den}$

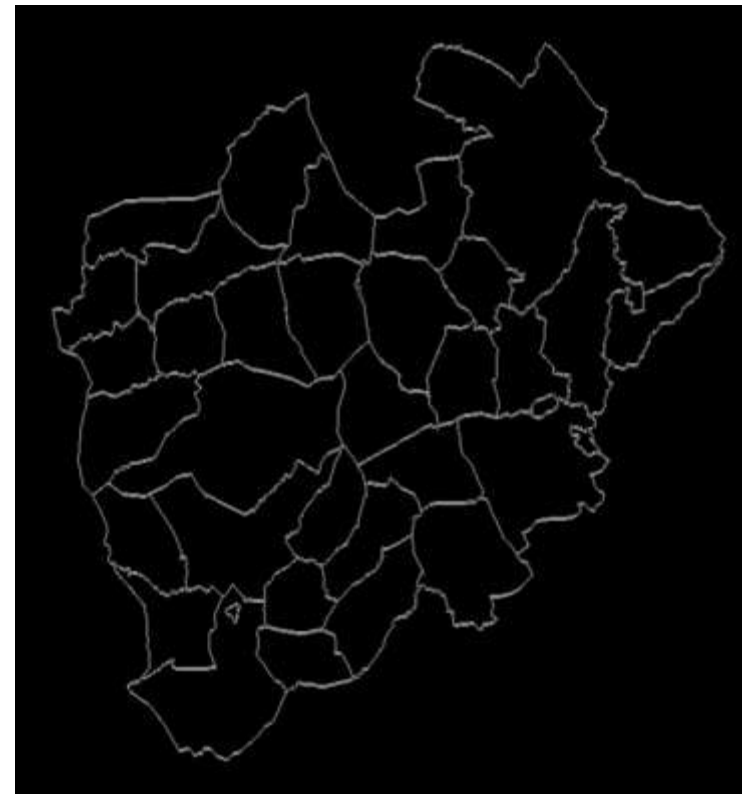


Figura 5. 11 - Mapa parcial de ruído rodoviário do concelho,  $L_{den}$

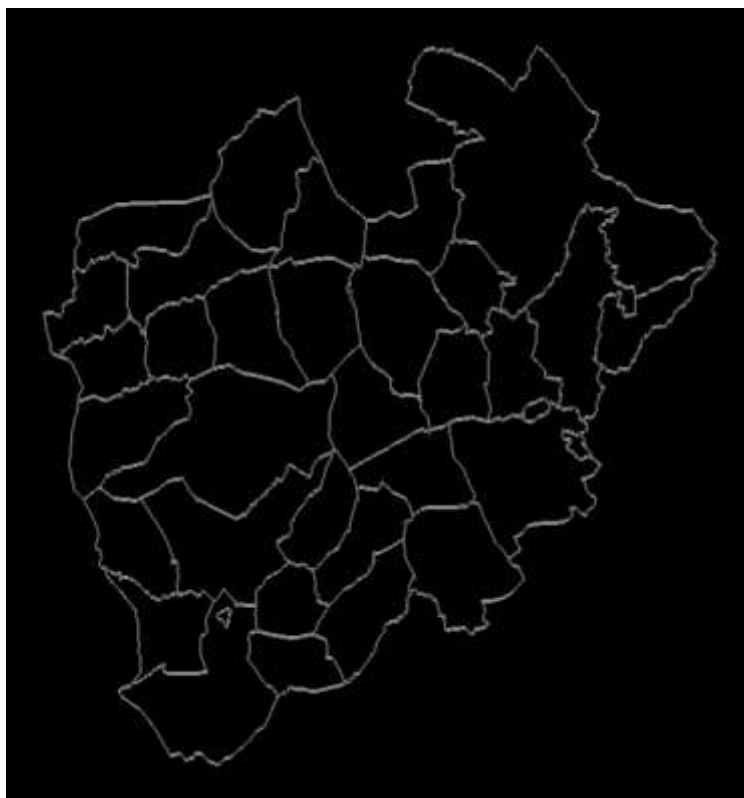


Figura 5. 12 - Mapa parcial de ruído industrial do concelho,  $L_{den}$

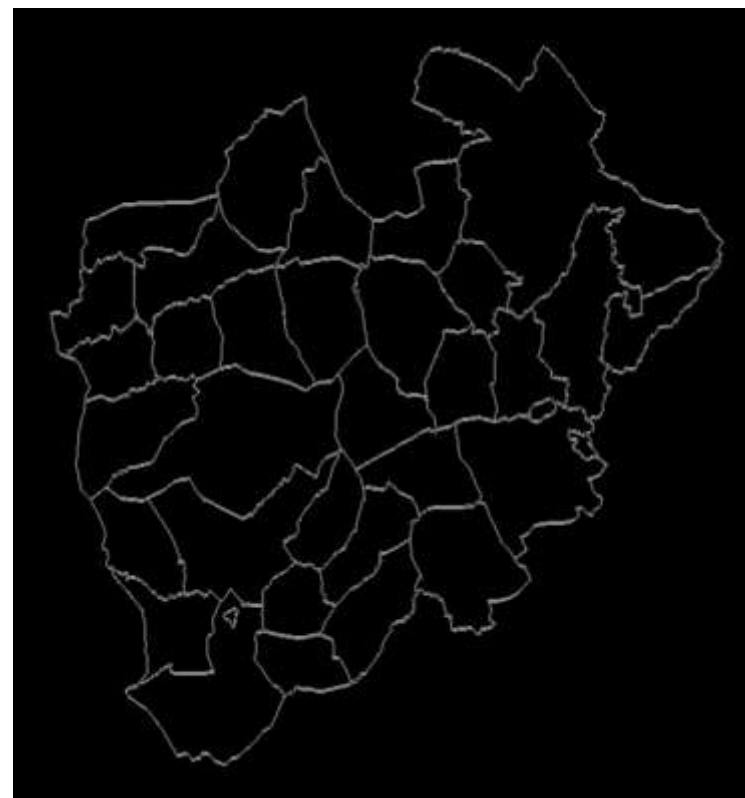


Figura 5. 13 - Mapa parcial de ruído ferroviário do concelho,  $L_{den}$

Por simples inspeção visual dos mapas anteriores, constata-se que a fonte de ruído predominante neste concelho é a correspondente às infra-estruturas rodoviárias com particular relevância, em termos de abrangência territorial, para a *AE1*, o *IC24*, a *A29* e a *Variante à EN223* que constituem os principais eixos de circulação deste concelho.



Por oposição, a única fonte de ruído ferroviário presente no concelho não induz qualquer tipo de incómodo uma vez que a sua passagem é esporádica durante o período diurno e do entardecer e inexistente no período nocturno.

Verifica-se, contudo, que ao longo da AE1 existem algumas **zonas industriais** com importância significativa em termos de emissão sonora que, localizando-se na proximidade dessa via, potenciam a área de conflito.

- c) A tarefa subsequente consistiu na determinação das áreas e população abrangidas pelas classes de exposição estabelecidas na DRA, como forma de quantificar a interferência do ruído ambiente com o território e sobre a população em geral (Quadro 5. 5 e Quadro 5. 6) segundo o tipo de fonte sonora em presença e na globalidade para todo o concelho.

Quadro 5. 5 - Identificação das áreas (ha) expostas ao ruído ambiente, segundo classes de exposição e entidade gestora

$L_{den}$ dB(A) $L_n$	Tráfego Rodoviário				Tráfego Ferroviário		Indústria	Concelho
	Aenor	Brisa	EP, SA	Município	Refer			
$55 < L_{den} \leq 60$	76,36	439,38	407,04	96,66	0,00	77,69	1 086,12	
$60 < L_{den} \leq 65$	33,09	224,04	256,24	66,79	0,00	34,01	614,72	
$65 < L_{den} \leq 70$	13,82	76,75	173,66	48,74	0,00	8,91	326,69	
$70 < L_{den} \leq 75$	5,35	59,33	88,91	21,17	0,00	3,03	179,15	
$L_{den} > 75$	11,50	74,10	35,81	0,06	0,00	0,32	122,55	
<b><math>L_{den} \geq 63</math></b>	<b>40,40</b>	<b>273,69</b>	<b>389,26</b>	<b>94,25</b>	<b>0,00</b>	<b>20,48</b>	<b>824,83</b>	
$45 < L_n \leq 50$	85,39	588,79	362,17	86,96	0,00	42,90	1 141,80	
$50 < L_n \leq 55$	57,80	307,91	230,74	60,31	0,00	20,20	678,41	
$55 < L_n \leq 60$	22,95	109,85	144,14	38,22	0,00	11,78	333,18	
$60 < L_n \leq 65$	7,35	59,30	54,73	6,62	0,00	7,02	136,98	
$65 < L_n \leq 70$	5,92	52,61	15,25	0,00	0,00	2,19	76,34	
$L_n > 70$	7,80	34,58	1,28	0,00	0,00	0,15	43,88	
<b><math>L_n \geq 53</math></b>	<b>59,07</b>	<b>354,31</b>	<b>297,45</b>	<b>66,75</b>	<b>0,00</b>	<b>27,93</b>	<b>816,25</b>	

Quadro 5. 6 - Quantificação da população exposta ao ruído ambiente, segundo classes de exposição e entidade gestora

$L_{den}$ dB(A) $L_n$	Tráfego Rodoviário				Tráfego Ferroviário	Indústria	Concelho
	Aenor	Brisa	EP, SA	Município	Refer		
$55 < L_{den} \leq 60$	248	3 180	4 262	1 491	0	22	8 409
$60 < L_{den} \leq 65$	68	1 553	5 241	1 615	0	15	7 672
$65 < L_{den} \leq 70$	26	608	4 218	2 597	0	1	6 968
$70 < L_{den} \leq 75$	0	182	1 235	71	0	0	1 416
$L_{den} > 75$	0	9	27	0	0	0	27
<b><math>L_{den} \geq 63</math></b>	<b>53</b>	<b>1 238</b>	<b>7 685</b>	<b>3 719</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>11 686</b>
$45 < L_n \leq 50$	354	7 226	11 577	3 240	0	1 168	17 919
$50 < L_n \leq 55$	191	2 186	5 625	3 177	0	3	10 274
$55 < L_n \leq 60$	57	879	2 993	726	0	1	4 335
$60 < L_n \leq 65$	0	252	325	27	0	0	519
$65 < L_n \leq 70$	0	21	2	0	0	0	10
$L_n > 70$	0	0	0	0	0	0	0
<b><math>L_n \geq 53</math></b>	<b>72</b>	<b>1 686</b>	<b>5 386</b>	<b>2 140</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>8 646</b>

A análise destes dois quadros permite inferir que o *ruído rodoviário é a fonte de ruído predominante no concelho*. De facto tanto no caso da área afectada como da população expostas estas fontes são as que apresentam os resultados máximos. De entre as quatro entidades gestoras de infra-estruturas rodoviárias encontradas neste concelho, a avaliação não é tão imediata. Se considerarmos como parâmetro de avaliação a aérea exposta a maior contribuinte para o excesso de exposição sonora no concelho é a Brisa, seguindo-se a EP, SA, as estradas da responsabilidade do município e, finalmente, as vias tuteladas pela Aenor. No entanto, se a avaliação estiver relacionada com a população exposta (que naturalmente é necessário proteger), a situação já não apresenta os mesmos contornos. A EP, SA passa a ser a entidade responsável pelo maior número de pessoas expostas a níveis de ruído superiores aos regulamentares, a que se segue o município, a Brisa e, continuando no último lugar em termos de relevância a Aenor.

No caso das fontes industriais, como a avaliação incidiu sobre as que se localizam em zonas industriais aprovadas ou previstas, a sua interferência tanto com a população como com o território é quase desprezável.

- d) A fase subsequente consistiu na determinação dos **Mapas de Conflito**. Estes mapas resultam da sobreposição dos diversos mapas de ruído (global e parciais por entidade gestora) com a *Carta de Classificação de Zonas* definidas pelo município. Dado que o município considerou que o trabalho desenvolvido até ao momento, no âmbito da revisão do seu PDM, não reunia condições para ser utilizado no decurso deste trabalho, utilizou-se um recurso alternativo previsto no RGR, *capítulo III - Regulação da produção de ruído actual, artigo 11º - Valores limite de exposição*:

“...

*3 - Até à classificação das zonas Sensíveis e Mistas a que se referem os n.º 2 e 3 do artigo 6º, para efeitos de verificação do valor limite de exposição, aplicam-se aos receptores Sensíveis os valores limite de  $L_{den}$  igual ou inferior a 63 dB(A) e  $L_n$  igual ou inferior a 53 dB(A).*

...”

Assim, a aplicação deste critério (isófonas de  $L_{den} = 63$  e  $L_n = 53$  dB(A), respectivamente para o período de 24 h e para o período nocturno) possibilitou a definição dos **Mapas de Conflito** (do qual se apresentam dois exemplos nas Figura 5. 14 e Figura 5. 15) e a **quantificação das áreas** onde é necessária intervenção de redução do nível sonoro de ruído ambiente que, no caso deste concelho representam, respectivamente, cerca de 825 ha e 815 ha da área global do território.

Este procedimento foi realizado para o mapa de ruído global e para os mapas parciais (apesar de se poder considerar desprezável o tráfego ferroviário dado que a sua emissão não introduzia alterações no ruído ambiente global) resultando as áreas de sobreexposição ( $L_{den} \geq 63$  e  $L_n \geq 53$  dB(A)) e a população sobreexposta do concelho .

- e) Quando se procura **quantificar a redução global de ruído ambiente de um concelho** relativa aos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , a procura por um valor único pode ser uma tarefa inglória. A diversidade de fontes sonoras em presença, a sua distribuição espacial por vezes muito dispersa e a variabilidade dos níveis de exposição sonora tornam impraticável a atribuição de um valor de redução à globalidade do concelho. Assim, considera-se que a sua apresentação sob a forma de mapa de conflitos (total e parciais) conjugada com um quadro que relaciona classes de sobreexposição com área e população afectada representa uma análise mais apropriada da situação, do qual se apresentam exemplos nas Figura 5. 14, Figura 5. 15 e no Quadro 5. 8.




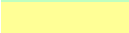




Figura 5. 14 - Mapa de conflitos global ( $L_{den}$ ) do concelho



Figura 5. 15 - Mapa de conflitos rodoviários do concelho ( $L_{den}$ )

Considera-se que a classificação das classes de sobreexposição e correspondente representação gráfica poderá apresentar as categorias indicadas no Quadro 5. 7:

Quadro 5. 7 - Classes de sobreexposição e código de cores utilizado

Classes de sobreexposição [dB(A)]		Categorias	Cores	RGB
$\Delta L_{den} \leq 0$	$\Delta L_n \leq 0$	Sem sobreexposição		191,255,191
$0 < \Delta L_{den} \leq 5$	$0 < \Delta L_n \leq 5$	Reduzida		255,255,69
$5 < \Delta L_{den} \leq 10$	$5 < \Delta L_n \leq 10$	Moderada		255,200,0
$10 < \Delta L_{den} \leq 15$	$10 < \Delta L_n \leq 15$	Moderadamente elevada		255,150,0
$15 < \Delta L_{den} < 20$	$15 < \Delta L_n \leq 20$	Elevada		255,0,0
$\Delta L_{den} > 20$	$\Delta L_n > 20$	Muito elevada		196,20,37

Quadro 5. 8 - Identificação das áreas (ha) e população expostas e sobreexpostas ao ruído ambiente no concelho

$L_{den}$ dB(A)	Concelho		População		$\Delta = L_{den} - L_{limite}$	Concelho		População	
$L_n$					$\Delta = L_n - L_{limite}$				
$55 < L_{den} \leq 60$	1 086,12	5%	8 414	6%	$0 < \Delta \leq 5$	415,56	50%	8 338	71%
$60 < L_{den} \leq 65$	614,72	3%	7 674	6%	$5 < \Delta \leq 10$	230,04	28%	3 072	26%
$65 < L_{den} \leq 70$	326,69	2%	6 968	5%	$10 < \Delta \leq 15$	115,02	14%	274	2%
$70 < L_{den} \leq 75$	179,15	1%	1 416	1%	$15 < \Delta \leq 20$	49,23	6%	2	0%
$L_{den} > 75$	122,55	1%	27	0%	$\Delta > 20$	14,98	2%	0	0%
<b><math>L_{den} \geq 63</math></b>	<b>824,83</b>	<b>4%</b>	<b>11 686</b>	<b>9%</b>	<b><math>\Delta L_{den} &gt; 0</math></b>	<b>824,83</b>		<b>11 686</b>	
$45 < L_n \leq 50$	1 141,80	5%	8 408	6%	$0 < \Delta \leq 5$	456,72	56%	7 119	82%
$50 < L_n \leq 55$	678,41	3%	10 274	8%	$5 < \Delta \leq 10$	193,15	24%	1 446	17%
$55 < L_n \leq 60$	333,18	2%	4 335	3%	$10 < \Delta \leq 15$	98,52	12%	81	1%
$60 < L_n \leq 65$	136,98	1%	519	0%	$15 < \Delta \leq 20$	47,59	6%	0	0%
$65 < L_n \leq 70$	76,34	0%	10	0%	$\Delta > 20$	20,27	2%	0	0%
$L_n > 70$	43,88	0%	0	0%					
<b><math>L_n \geq 53</math></b>	<b>816,25</b>	<b>4%</b>	<b>8 646</b>	<b>7%</b>	<b><math>\Delta L_n &gt; 0</math></b>	<b>816,25</b>		<b>8 646</b>	

Pela análise do Quadro 5. 8 constata-se que, em relação ao nível sonoro do ruído ambiente tanto durante o período global de 24 h como para o período nocturno, 9% e 7% da população, respectivamente, e cerca de 4% do território estão em sobreexposição.

Quanto às classes de sobreexposição definidas e considerando as áreas e população em sobreexposição, pode-se considerar que cerca de 50% da área afectada apresenta uma sobreexposição reduzida e os restantes 50% uma sobreexposição moderada a muito elevada (ou seja, superior a 5 dB(A)) com necessidade de actuação imediata à luz do RGR. Para a população atingida, a situação é menos grave, cerca de 28% no período de 24 h e 18% no período nocturno estão em sobreexposição, o que indica algum afastamento da distribuição populacional de algumas das fontes de ruído mais relevantes do concelho.

- f) Além da quantificação da redução global de ruído ambiente do concelho, o município tem de comunicar às diferentes entidades gestoras de fontes ruidosas (de infra-estruturas de transporte ou industriais) as **necessidades de redução parcial de ruído ambiente por fonte de ruído à respectiva entidade gestora** relativa aos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ .

Assim, à semelhança das considerações efectuadas para a redução global no concelho, considera-se que a quantificação das reduções parciais por fonte e entidade gestora deve seguir o mesmo princípio de não atribuição de um valor único. Como tal, apresentam-se no Quadro 5. 9 as áreas sobreexpostas e a população afectada por cada tipo de fonte e entidade gestora.

A análise deste quadro permite concluir que, em termos de população, a EP, SA e o próprio município são os principais responsáveis pela sobreexposição sonora do concelho. A proximidade a este tipo de fontes é a justificação mais plausível para este facto dado que as fontes sonoras com maior nível de emissão não conduziram às maiores situações de incumprimento.

- g) O passo seguinte consiste na **indicação, selecção e projecto das medidas de redução de ruído** bem como da respectiva **eficácia** para as fontes sonoras de responsabilidade do município. Na análise do tipo de medidas que o município poderia tomar para melhorar o ambiente sonoro no seu território analisaram-se algumas propostas de intervenção e equacionaram-se outras propostas de actuação (não estudadas em termos numéricos) mas nem todas revelaram o sucesso pretendido. Nas vias com velocidades de circulação de 50 km/h ou inferior, ensaiaram-se duas alternativas de intervenção, uma das quais consistiu na **redução de velocidade para 30 km/h** e a outra na **substituição do pavimento actual por outro menos ruidoso**.

**Quadro 5. 9 - Identificação das áreas (ha) e população expostas e sobreexpostas por fonte sonora e entidade gestora no concelho**

$L_{den}$ dB(A)	Tráfego Rodoviário								Tráfego Ferroviário		Indústria	
	Aenor		Brisa		EP, SA		Município		Refer			
$L_n$												
$55 < L_{den} \leq 60$	76,36	243	439,38	3 239	407,04	4 267	96,66	1 457	0,00	0	77,69	22
$60 < L_{den} \leq 65$	33,09	68	224,04	1 259	256,24	5 243	66,79	1 610	0,00	0	34,01	15
$65 < L_{den} \leq 70$	13,82	26	76,75	345	173,66	4 218	48,74	2 575	0,00	0	8,91	1
$70 < L_{den} \leq 75$	5,35	0	59,33	108	88,91	1 235	21,17	71	0,00	0	3,03	0
$L_{den} > 75$	11,50	0	74,10	0	35,81	27	0,06	0	0,00	0	0,32	0
<b><math>L_{den} \geq 63</math></b>	<b>40,40</b>	<b>53</b>	<b>273,69</b>	<b>728</b>	<b>389,26</b>	<b>7 685</b>	<b>94,25</b>	<b>3 696</b>	<b>0,00</b>	<b>0</b>	<b>20,48</b>	<b>1</b>
$45 < L_n \leq 50$	85,39	163	588,79	3 718	362,17	4 478	86,96	1 029	0,00	0	42,90	101
$50 < L_n \leq 55$	57,80	191	307,91	1 918	230,74	5 625	60,31	3 165	0,00	0	20,20	3
$55 < L_n \leq 60$	22,95	57	109,85	534	144,14	2 993	38,22	716	0,00	0	11,78	1
$60 < L_n \leq 65$	7,35	0	59,30	141	54,73	325	6,62	27	0,00	0	7,02	0
$65 < L_n \leq 70$	5,92	0	52,61	8	15,25	2	0,00	0	0,00	0	2,19	0
$L_n > 70$	7,80	0	34,58	0	1,28	0	0,00	0	0,00	0	0,15	0
<b><math>L_n \geq 53</math></b>	<b>59,07</b>	<b>72</b>	<b>354,31</b>	<b>1 123</b>	<b>297,45</b>	<b>5 386</b>	<b>66,75</b>	<b>2 129</b>	<b>0,00</b>	<b>0</b>	<b>27,93</b>	<b>1</b>

$\Delta = L_{den} - L_{limite}$	Tráfego Rodoviário								Tráfego Ferroviário		Indústria	
	Aenor		Brisa		EP, SA		Município		Refer			
$\Delta = L_n - L_{limite}$												
$0 < \Delta \leq 5$	20,47	53	117,49	561	204,46	5 122	56,30	3 115	0,00	0	14,36	1
$5 < \Delta \leq 10$	6,36	0	56,34	152	125,55	2 323	33,46	571	0,00	0	5,18	0
$10 < \Delta \leq 15$	5,79	0	56,76	15	46,07	238	4,49	10	0,00	0	0,94	0
$15 < \Delta \leq 20$	4,98	0	31,72	0	12,42	2	0,00	0	0,00	0	0,00	0
$\Delta > 20$	2,80	0	11,38	0	0,76	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0
<b><math>\Delta L_{den} &gt; 0</math></b>	<b>40,40</b>	<b>53</b>	<b>273,69</b>	<b>728</b>	<b>389,26</b>	<b>7 685</b>	<b>94,25</b>	<b>3 696</b>	<b>0,00</b>	<b>0</b>	<b>20,48</b>	<b>1</b>
$0 < \Delta \leq 5$	30,30	55	178,80	882	178,13	4 247	48,27	2 067	0,00	0	14,29	0
$5 < \Delta \leq 10$	12,75	17	62,10	186	87,57	1 117	18,46	62	0,00	0	8,86	1
$10 < \Delta \leq 15$	5,61	0	60,51	55	27,89	22	0,02	0	0,00	0	4,18	0
$15 < \Delta \leq 20$	6,05	0	36,99	0	3,86	0	0,00	0	0,00	0	0,60	0
$\Delta > 20$	4,36	0	15,91	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0
<b><math>\Delta L_n &gt; 0</math></b>	<b>59,07</b>	<b>72</b>	<b>354,31</b>	<b>1 123</b>	<b>297,45</b>	<b>5 386</b>	<b>66,75</b>	<b>2 129</b>	<b>0,00</b>	<b>0</b>	<b>27,93</b>	<b>1</b>



Ambas as tentativas se revelaram “teoricamente” infrutíferas em termos de redução sonora. Em relação à ineficácia da redução da velocidade de circulação, existem duas limitações: por um lado a alteração do regime do motor que, a baixas velocidades, é mais ruidoso (mas sempre inferior à situação de condução normal a 50 km/h) que, nas situações mais negativas, pode prejudicar a redução do ruído ambiente; e, por outro, os limites de aplicação dos modelos de previsão recomendados para avaliação e utilizados no presente caso cuja aplicabilidade para velocidades inferiores a 50 km/h é muito impraticável. Quanto à substituição do pavimento por outro menos ruidoso, a não obtenção de resultados também está associada a limitações do modelo de cálculo utilizado e recomendado pela União Europeia.

*No entanto, tal não significa a inoperância deste tipo de medidas.*

De facto, estudos efectuados na Áustria demonstram que a atenuação sonora proporcionada pela criação de **Zonas de 30 km/h** pode chegar a 2 dB(A) pela simples colocação de sinalização “estática” de velocidade (Pischinger, et al., 1995), conforme se pode visualizar pelo extracto da campanha de medições efectuada e apresentado no Quadro 5. 10.

**Quadro 5. 10 - Resultados de um local dos 10 contemplados na campanha de medições efectuada no âmbito das Zonas de 30 km/h na Áustria [adaptado de (Pischinger, et al., 1995)]**

	Limite 50 km/h	Limite 30 km/h	Atenuação Sonora
	Medições “a anteriori”	Medições “a posteriori” (RVS 3.02, 1997)	
Data	15.06.1992	09.11.1993	
Período de medição [hh:mm]	15:20 - 16:35	12:22 - 13:25	
TMH [Veículos/h]	234	225	
L <sub>Aeq</sub> [dB]	64.0	62.1	-1.9
Velocidade média de circulação [km/h]	27.6	28.3	+ 0.7
Dimensão da amostra - nível sonoro [Veículos]	293	236	
Dimensão da amostra - velocidade [Veículos]	219	41	

TMH - tráfego médio horário  
L<sub>Aeq</sub> - nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A

Mais recentemente, em 2004, foi efectuado um novo estudo (Westhauser, et al., 2004) para demonstração da eficácia de Zonas de 30 km/h no qual as campanhas de medições foram conduzidas de acordo com a Norma ISO 11819-1 (1997) para o indicador  $L_{Amax}$ . Os resultados dessas campanhas são indicados na Figura 5. 16 e demonstram *ganhos de atenuação sonora entre 3 e 4 dB(A) em condições normais de circulação*. No entanto, mesmo que se verifique a existência de alguns condutores com um estilo de condução mais agressivo (engrenam velocidades de caixa inferiores aumentando o ruído do motor), o ruído final será aproximadamente o mesmo do resultante de uma velocidade de circulação de 50 km/h uma vez que a fonte sonora predominante corresponde ao ruído pneu-pavimento.

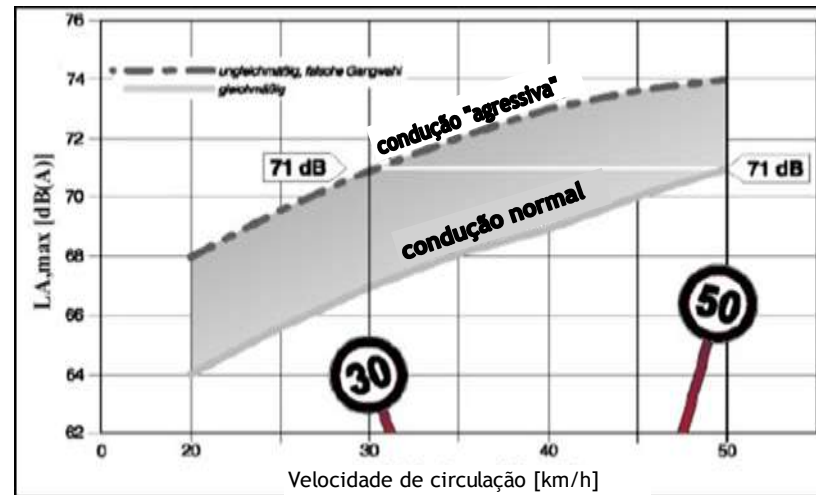


Figura 5. 16 - Influência de Zonas de 30 km/h no indicador  $L_{Amax}$  [adaptado de (Westhauser, et al., 2004)]

Outro aspecto importante e decorrente da redução da velocidade de circulação prende-se com o aumento da segurança rodoviária. Este autor menciona uma redução de cerca de 25% no número de acidentes por comparação com as condições de circulação a 50 km/h.

Quanto à substituição do pavimento existente por outro menos ruidoso, é muito importante conhecer as características técnicas da superfície anterior previamente a qualquer tomada de decisão. A vantagem de substituição do pavimento depende sempre da atenuação suplementar que poderá ser proporcionada pelo novo pavimento. Como exemplo, a substituição dos pavimentos em paralelo por pavimentos em misturas betuminosas de granulometria descontínua (MBGD/SMA) pode representar uma redução no nível sonoro de aproximadamente 3 dB(A). Nos casos em que este já seja o pavimento adoptado, as soluções disponíveis já são mais reduzidas. Diversos estudos conduzidos e publicados em diversos países europeus (Qcity, 2008), (IPG, 2002) têm desaconselhado a utilização de pavimentos drenantes (seja de camada única ou de camada dupla) em meios urbanos e aconselhado a aplicação de *camadas de desgaste delgadas* ou *poroelásticas*.

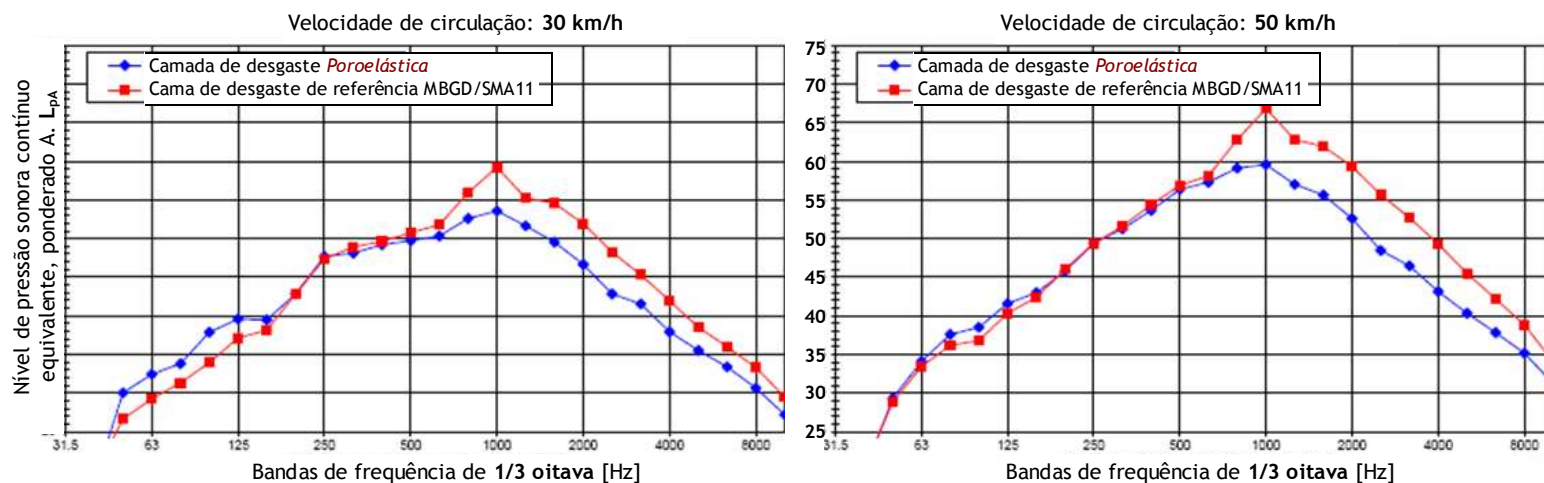


Figura 5. 17 - Exemplo de atenuação sonora de uma camada d desgaste Poroelástica por comparação com a MBGD/SMA11 para velocidades de circulação de 30 e 50 km/h [adaptado de (Nilsson, et al., 2007)]

As camadas de desgaste poroelásticas têm como principais características a *absorção sonora* (percentagem de vazios comunicantes  $\approx 15\%$ ), a *elevada elasticidade* (propiciada pela junção de granulado de borracha à mistura betuminosa) e a menor dimensão dos agregados utilizados ( $\leq 8$  mm). Ensaios efectuados numa zona de Gotemburgo pavimentada com este tipo de superfície, demonstraram a atenuação sonora que poderia ser alcançada em situações semelhantes (Nilsson, et al., 2007) por comparação com

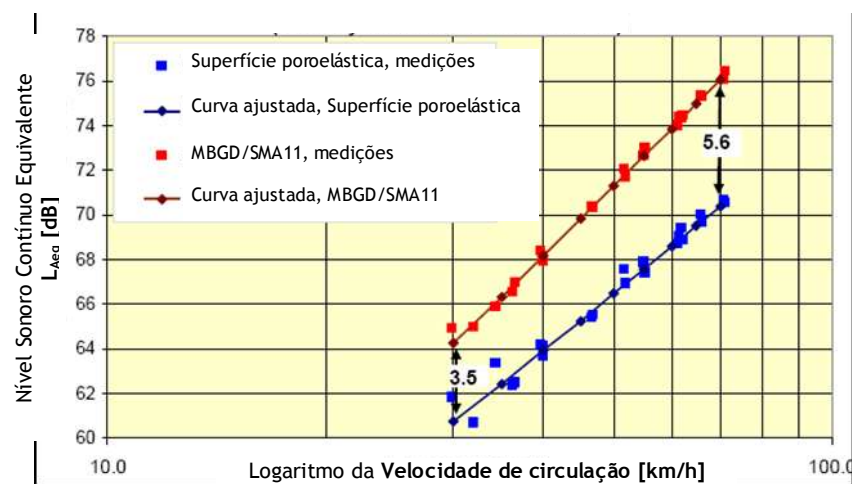


Figura 5. 18 - Comparação entre camadas de desgaste Poroelásticas e em MBGD/SMA11 [adaptado de (Nilsson, et al., 2007)]

camadas de desgaste de referência como a MBDG/SMA11. Os ganhos de atenuação deste tipo de pavimentos pode ser visualizado na Figura 5. 17 e na Figura 5. 18, salientando-se para velocidades de circulação de 30 km/h ganhos aproximados de 3.5 dB(A) que se tornam mais significativos para velocidade superiores.

Uma das soluções não quantificadas passa pela reorganização do sistema de circulação rodoviária do concelho, principalmente, na sede de concelho, onde a exiguidade das vias e os “*percursos de circulação naturais*” limitam o tipo de alternativas a considerar. No entanto, a possibilidade de definição de sentidos únicos de circulação conjugada com uma maior fluidez do tráfego e com um controlo dinâmico de velocidade podem criar condições favoráveis à redução do ruído de circulação.

#### **Pormenor do plano municipal de redução do ruído na Zona Central do concelho**

Numa fase subsequente de identificação do tipo de medidas a adoptar considerou-se oportuna a análise de uma Zona Central do concelho que incluía receptores sensíveis (hospital e escola secundária) e uma conjugação de actividades que se desenvolvem na malha urbana da cidade e que coexistem com a função habitacional.

De forma semelhante à utilizada anteriormente, determinou-se para esta área de estudo um mapa de ruído global e vários outros mapas parciais por fontes e entidades (Figura 5. 19). Seguidamente, procedeu-se à avaliação da exposição dos edifícios (Figura 5. 20) para se verificar as necessidades de actuação e, eventualmente, as prioridades de actuação. A confrontação com a *carta de classificação de zonas* permitiria a determinação do mapa de conflitos. No entanto, conforme mencionado anteriormente, o município considerou que esta não reunia condições de utilização pelo que se adoptaram como limites máximos de exposição  $L_{den}=63$  e  $L_n=53$  dB(A).



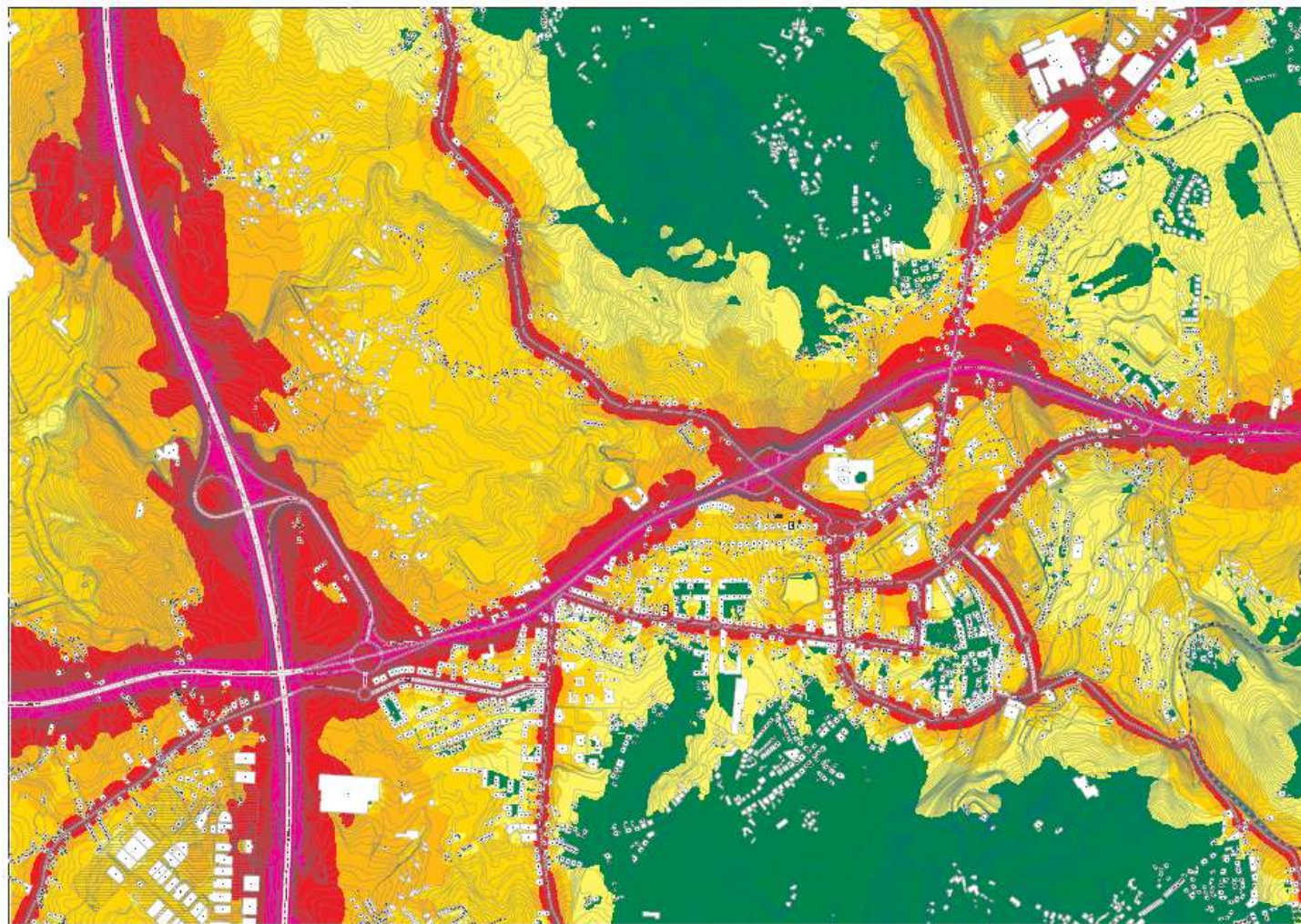
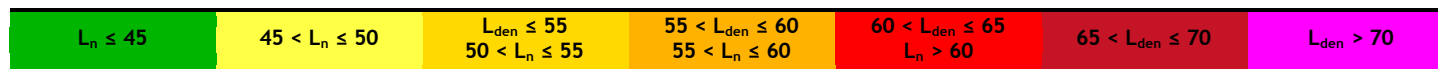


Figura 5. 19 - Mapa de ruído global ( $L_{den}$ ) da Zona Central do concelho



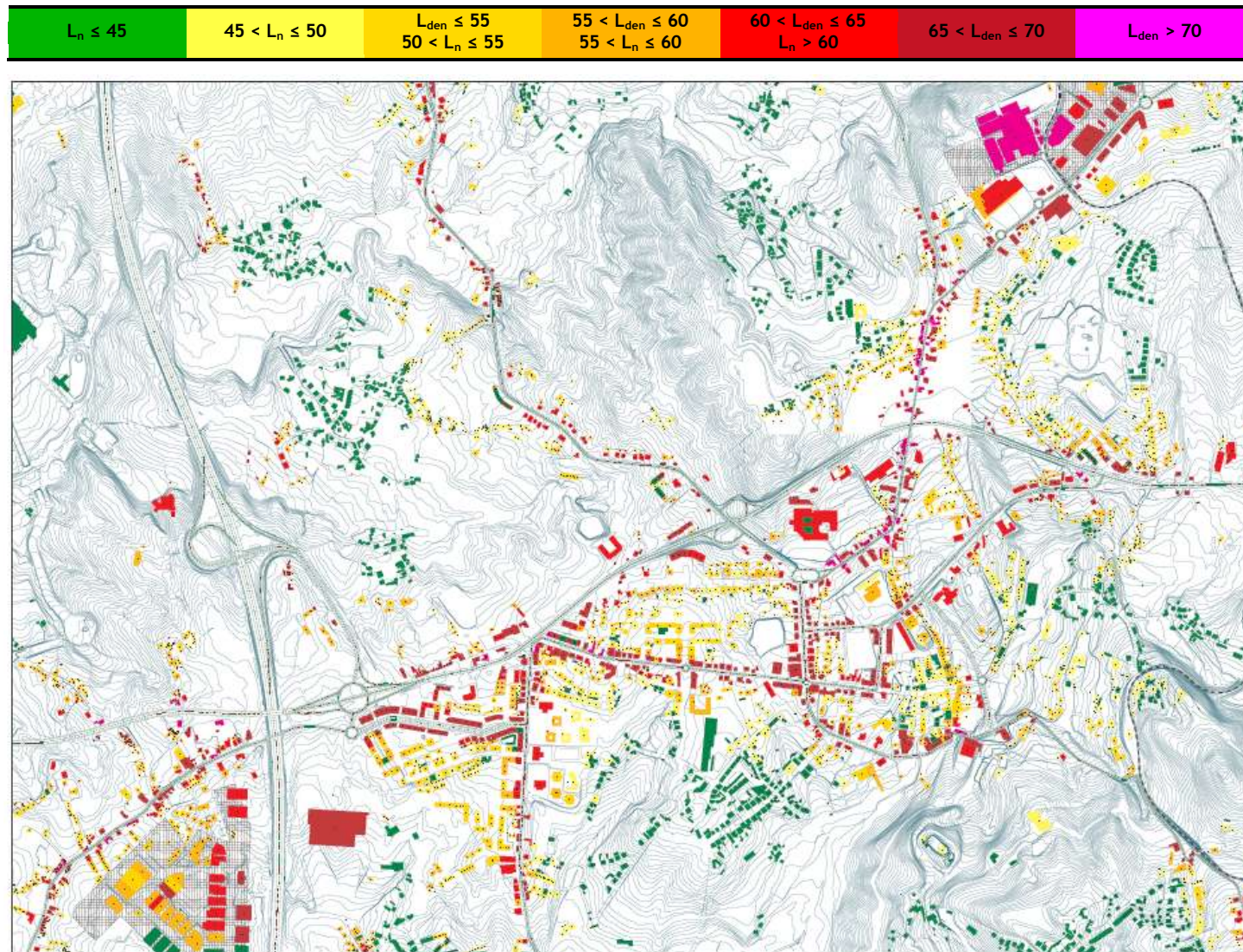


Figura 5. 20 - Mapa de exposição sonora global ( $L_{den}$ ) dos edifícios (representação gráfica segundo classes de exposição)

Quadro 5. 11 - Resumo de população exposta segundo classe de exposição e fonte sonora na Zona Central

$L_{den}$ dB(A)	Tráfego Rodoviário				Tráfego Ferroviário	Indústria	Zona Central	
	$L_n$	Aenor	Brisa	EP, SA	Município	Refer	(ha)	(hab.)
$55 < L_{den} \leq 60$	0	243	786	815	0	4	179,42	1 461
$60 < L_{den} \leq 65$	0	44	603	723	0	0	113,37	1 122
$65 < L_{den} \leq 70$	0	1	680	1 808	0	0	62,02	2 583
$70 < L_{den} \leq 75$	0	0	320	63	0	0	37,66	504
$L_{den} > 75$	0	0	2	0	0	0	22,90	11
<b><math>L_{den} \geq 63</math></b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1 288</b>	<b>2 377</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>158,02</b>	<b>3 800</b>
$45 < L_n \leq 50$	10 715	10 620	9 333	8 313	10 715	10 713	191,65	6 692
$50 < L_n \leq 55$	0	94	731	1 943	0	2	125,31	2 803
$55 < L_n \leq 60$	0	1	595	435	0	0	63,46	1 096
$60 < L_n \leq 65$	0	0	56	24	0	0	27,76	124
$65 < L_n \leq 70$	0	0	0	0	0	0	14,81	0
$L_n > 70$	0	0	0	0	0	0	6,39	0
<b><math>L_n \geq 53</math></b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>1 003</b>	<b>1 291</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>158,99</b>	<b>2 754</b>

Conforme se mencionou na análise da influência das diversas fontes sonoras para a globalidade do concelho, também na área definida como “Zona Central” a preponderância recai sobre o tráfego rodoviário, principalmente nas vias que se podem designar como vias de proximidade de distribuição de tráfego, na sua maioria da responsabilidade do próprio município e da EP, SA.



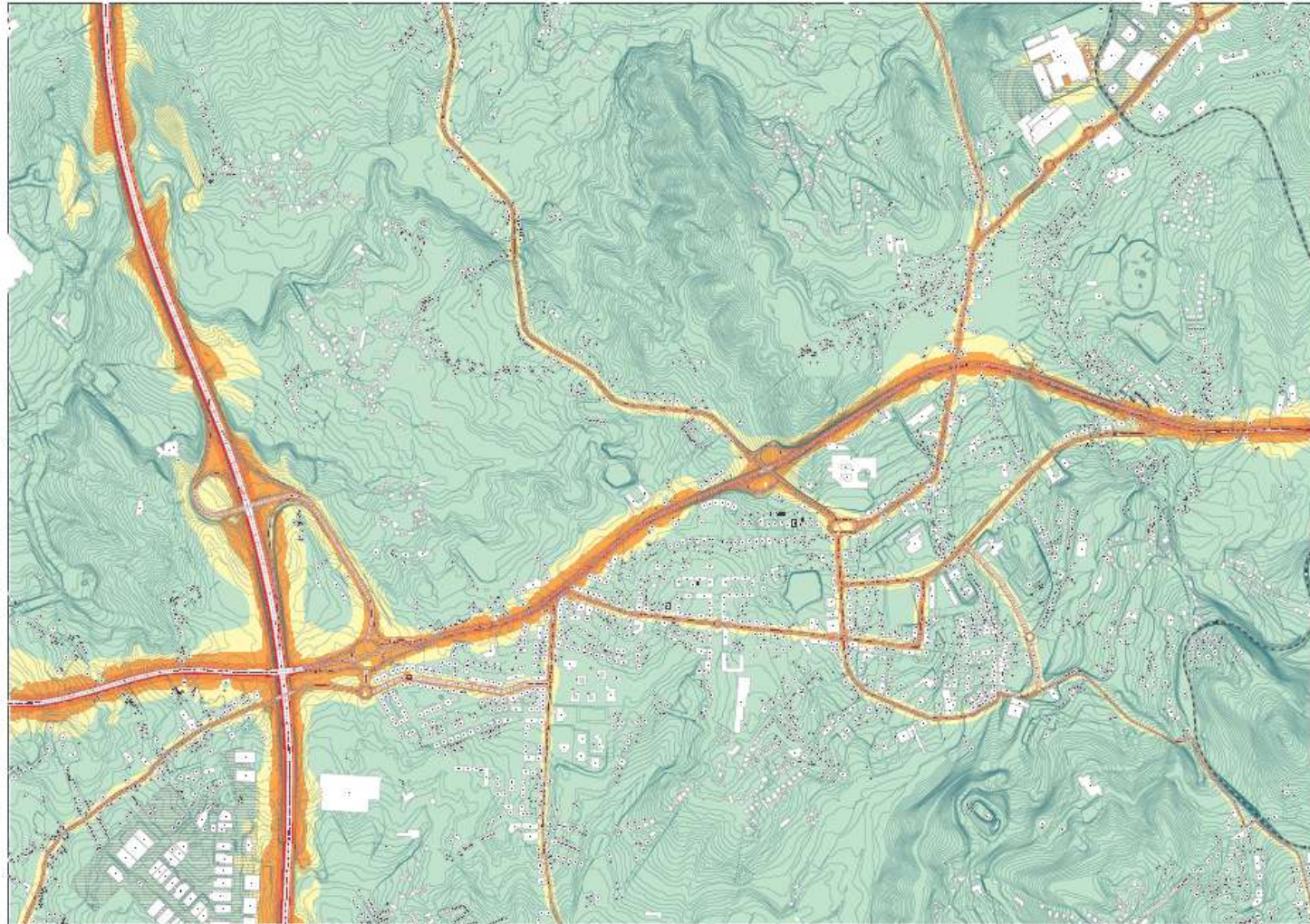


Figura 5. 21 - Mapa de conflitos ( $L_{den}$ ) da Zona Central do concelho



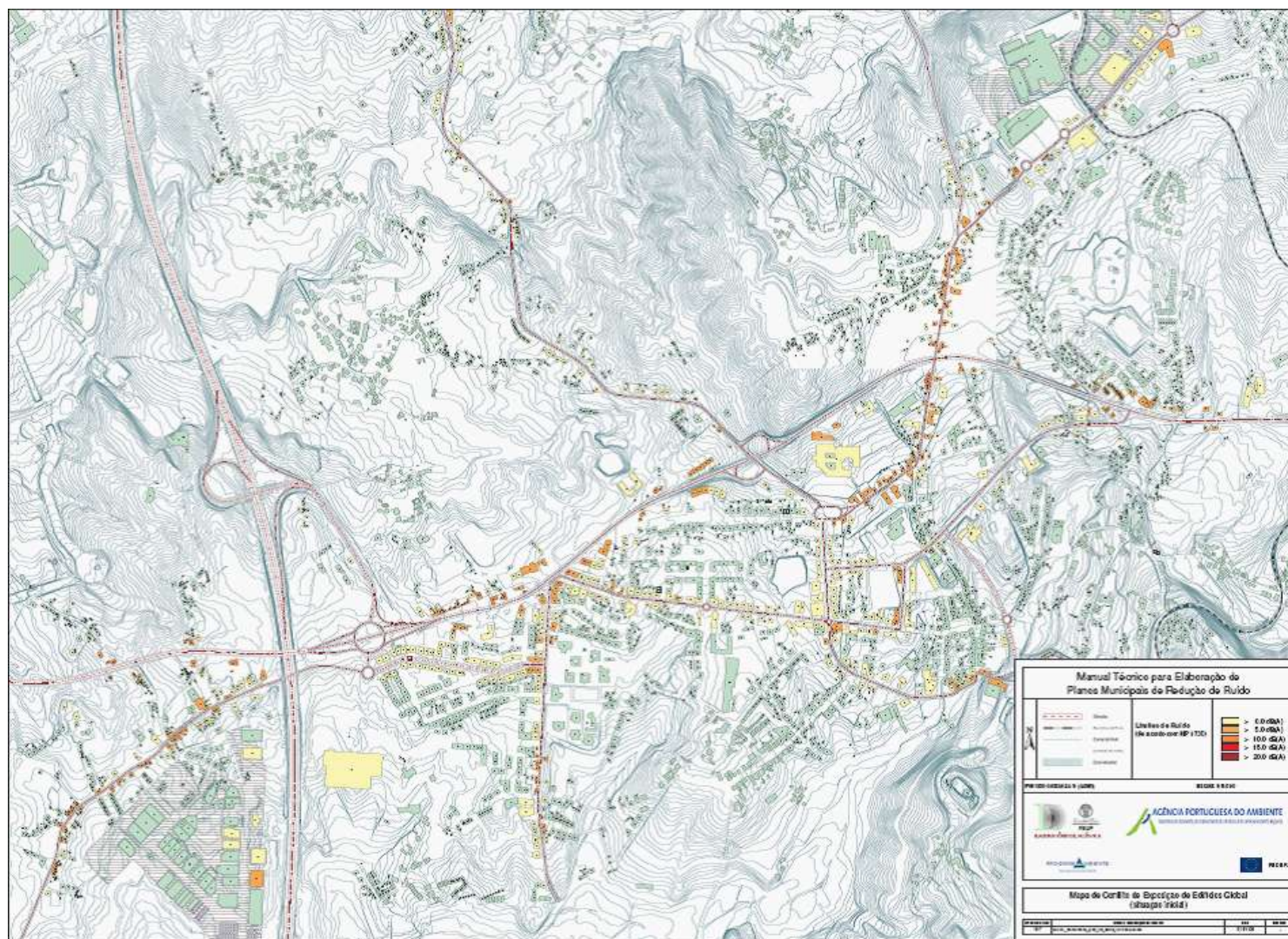


Figura 5. 22 - Mapa de conflito da exposição sonora global ( $L_{den}$ ) dos edifícios (representação gráfica segundo classes de conflito)



Quadro 5. 12 - Código de cores considerado nos Mapas de Conflito

Classe $\Delta = L_{den} - L_{limite}$	Cores	RGB	Classe $\Delta = L_{den} - L_{limite}$	Cores	RGB
$\Delta \leq 0$	Verde-claro	191,255,191	$10 < \Delta \leq 15$	Laranja escuro	255,115,047
$0 < \Delta < 5$	Amarelo claro	255,255,164	$15 < \Delta \leq 20$	Vermelhão	255,0,0
$5 < \Delta \leq 10$	Laranja claro	255,0,255	$\Delta > 20$	Vermelho escuro	176,0,0

Da análise conjunta do mapa de conflitos com o mapa de exposição sonora global pode-se concluir que nem sempre as duas representações gráficas possibilitam a mesma leitura. De facto, no mapa de conflitos, o edifício que se localiza a sul da principal via não apresenta qualquer sinal de conflito. Em oposição, o mapa de exposição dos edifícios demonstra que, para alguns dos andares, a exposição deste edifício é superior aos limites estabelecidos legalmente. A principal diferença reside no facto de se representar no mapa de conflitos o nível sonoro a 4 m de altura, enquanto que no caso do mapa de exposição se considera o piso mais desfavorável.

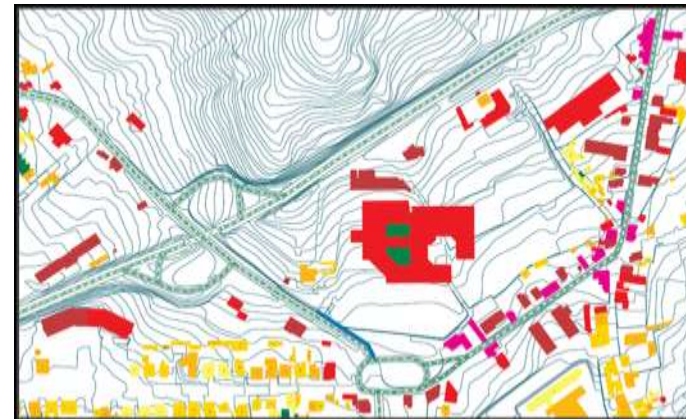


Figura 5. 23 - Diferenças de interpretação resultantes do tipo de avaliação seleccionado (mapa de conflito *versus* mapa de exposição)

Para tentar colmatar as situações de incumprimento detectadas na área de estudo ensaiaram-se três soluções alternativas de intervenção na Variante à EN223 da responsabilidade da EP - Estradas de Portugal, SA. Assim, a primeira proposta de intervenção consistiu na implantação de uma barreira acústica com 3 m de altura (representada por **BA 3m**) e cerca de 400 m de extensão, colocada no topo do talude, ou seja, no limite da faixa de rodagem. Esta solução revelou uma eficácia significativa na protecção do Hospital mas praticamente não teve qualquer efeito na envolvente desta variante.

A segunda solução estudada baseava-se na substituição do pavimento existente (betão betuminoso) por um pavimento menos ruidoso (por exemplo, betão betuminoso drenante (BBDr) ou betume modificado com borracha (BMB)) em toda a extensão da Variante abrangida pela área de estudo (representada por **BBDr**).

Finalmente, a terceira opção passou pela redução da velocidade de circulação de 90 km/h dos veículos ligeiros e 80 km/h dos veículos pesados para 60 km/h para ambos os tipos de veículos (representada por **60 km/h**).

Os resultados obtidos e apresentados no Quadro 5. 13 permitem concluir que as soluções de *alteração do pavimento* e de *redução da velocidade de circulação* demonstram resultados muito semelhantes e bastante favoráveis em termos de exposição ao ruído ambiente. De facto, apesar de não resolver a totalidade dos conflitos identificados na zona de estudo, estas duas soluções representam melhorias significativas no ambiente sonoro desta área com a eliminação de receptores na classe de exposição mais elevada e uma expressiva redução do número de pessoas expostas a níveis sonoros superiores aos regulamentares.

**Quadro 5. 13 - Comparação dos valores da população exposta para diferentes alternativas de actuação**

$L_{den}$	dB(A)	Concelho (incluindo todas as fontes sonoras)			
		Situação inicial	EP, SA <b>BA 3m</b>	EP, SA <b>BBDr</b>	EP, SA <b>60 km/h</b>
$55 < L_{den} \leq 60$		1461	1385	1288	1282
$60 < L_{den} \leq 65$		1122	1109	1183	1225
$65 < L_{den} \leq 70$		2583	2386	2482	2435
$70 < L_{den} \leq 75$		504	444	99	99
$L_{den} > 75$		11	2	0	0
<b><math>L_{den} \geq 63</math></b>		<b>3800</b>	<b>3463</b>	<b>3348</b>	<b>3348</b>
$45 < L_n \leq 50$		6692	7058	7201	7201
$50 < L_n \leq 55$		2803	2570	2656	2654
$55 < L_n \leq 60$		1096	1005	832	834
$60 < L_n \leq 65$		124	82	26	26
$65 < L_n \leq 70$		0	0	0	0
$L_n > 70$		0	0	0	0
<b><math>L_n \geq 53</math></b>		<b>2754</b>	<b>2401</b>	<b>2079</b>	<b>2079</b>

h) Numa fase posterior, o município tem como responsabilidade a **indicação da eficácia esperada para as medidas de redução de ruído** das quais não é directamente responsável mas que têm repercussões no seu território e na população que dele usufrui.

No presente caso, tem de comunicar à Aenor, Brisa, EP, SA e às unidades industriais privadas as implicações que a sua actividade está a criar no concelho, responsabilizando-as pela resolução da situação de incumprimento actual. Essa comunicação poderá assumir a forma de um quadro como o apresentado no Quadro 5. 9.

Neste concelho e dado que existem algumas entidades gestoras de grandes infra-estruturas de transporte (AE1, A29 e IC24), já foram executadas algumas intervenções de redução do ruído ambiente, nomeadamente:

- pela **EP, SA** com a colocação de **Barreiras Acústicas reflectoras dispersivas em betão** e em **chapa acrílica transparente colorida** no IC24;
- pela **Brisa** (responsável pela AE1) que se referem não só à colocação de **Barreiras Acústicas mistas absorventes** como à colocação de **Pavimento drenante**.

Destas duas intervenções puderam-se retirar conclusões aparentemente contraditórias.

No caso da EP, SA, a atenuação proporcionada pelas barreiras instaladas no IC24 praticamente não se reflecte no resultado global das infra-estruturas tuteladas por esta entidade. A elevada extensão da rede neste concelho e o

Quadro 5. 14 - Eficácia das barreiras instaladas pela EP, SA no IC24 em relação à totalidade das suas vias

$L_{den}$ dB(A)	Tráfego Rodoviário					
	$L_n$	EP, SA	EP, SA + BA (IC24)	EP, SA (eficácia)		
$55 < L_{den} \leq 60$	407,04	4 267	406,60	4 267	0,44	0
$60 < L_{den} \leq 65$	256,24	5 243	255,74	5 243	0,50	0
$65 < L_{den} \leq 70$	173,66	4 218	172,73	4 218	0,93	0
$70 < L_{den} \leq 75$	88,91	1 235	88,35	1 235	0,56	0
$L_{den} > 75$	35,81	27	35,76	27	0,05	0
<b><math>L_{den} \geq 63</math></b>	<b>389,26</b>	<b>7 685</b>	<b>387,28</b>	<b>7 685</b>	<b>1,98</b>	<b>0</b>
$45 < L_n \leq 50$	362,17	4 478	361,46	4 478	0,71	0
$50 < L_n \leq 55$	230,74	5 625	229,78	5 625	0,96	0
$55 < L_n \leq 60$	144,14	2 993	143,38	2 993	0,76	0
$60 < L_n \leq 65$	54,73	325	54,53	325	0,20	0
$65 < L_n \leq 70$	15,25	2	15,25	2	0,00	0
$L_n > 70$	1,28	0	1,28	0	0,00	0
<b><math>L_n \geq 53</math></b>	<b>297,45</b>	<b>5 386</b>	<b>295,92</b>	<b>5 386</b>	<b>1,53</b>	<b>0</b>

$\Delta = L_{den} - L_{limite}$	Tráfego Rodoviário					
	$\Delta = L_n - L_{limite}$	EP, SA	EP, SA + BA (IC24)	EP, SA (eficácia)		
$0 < \Delta \leq 5$	204,46	5 122	203,45	5 122	1,01	0
$5 < \Delta \leq 10$	125,55	2 323	124,57	2 323	0,98	0
$10 < \Delta \leq 15$	46,07	238	46,08	238	-0,01	0
$15 < \Delta \leq 20$	12,42	2	12,42	2	0,00	0
$\Delta > 20$	0,76	0	0,76	0	0,00	0
<b><math>\Delta L_{den} &gt; 0</math></b>	<b>389,26</b>	<b>7 685</b>	<b>387,28</b>	<b>7 685</b>	<b>1,98</b>	<b>0</b>
$0 < \Delta \leq 5$	178,13	4 247	177,12	4 247	1,01	0
$5 < \Delta \leq 10$	87,57	1 117	87,04	1 117	0,53	0
$10 < \Delta \leq 15$	27,89	22	27,90	22	-0,01	0
$15 < \Delta \leq 20$	3,86	0	3,86	0	0,00	0
$\Delta > 20$	0,00	0	0,00	0	0,00	0
<b><math>\Delta L_n &gt; 0</math></b>	<b>297,45</b>	<b>5 386</b>	<b>295,92</b>	<b>5 386</b>	<b>2,15,22</b>	<b>0</b>

facto de se tratar de uma intervenção pontual numa “*via nova*” (as barreiras foram instaladas durante a execução da obra) condiciona o *comportamento global da rede* e assume uma importância insignificante. Por outro lado, o facto de se calcular o Mapa de Ruído de acordo com as indicações da DRA, a 4 m de altura, reduz significativamente o “impacto visual e calculado” da colocação das barreiras. Neste caso em particular, grande parte da extensão das barreiras situa-se sobre viaduto o que significa que a altura de cálculo do mapa de ruído (como se localiza 4 m acima da cota do terreno) se encontra sob o tabuleiro da obra-de-arte, minorando o impacto de colocação dessas medidas de minimização.

No caso da Brisa, a intervenção esteve associada ao alargamento da faixa de rodagem e, como tal, ao aumento da proximidade a construções que pudessem existir na sua proximidade. Nesse contexto foi efectuada uma intervenção de fundo programada no sentido de tentar solucionar as situações de incumprimento. Em termos de território sobreexposto, pode-se constatar a eficácia das medidas adoptadas, houve uma redução de cerca de 30% no período global de 24 h e de 40% no período nocturno na área sobreexposta. Quanto à população afectada a sobreexposição foi reduzida para menos de 50% dos habitantes iniciais e passou a contemplar unicamente as categorias de sobreexposição reduzida e moderada.

**Quadro 5. 15 - Eficácia das barreiras instaladas pela Brisa na AE1 em relação à totalidade das vias sob a sua responsabilidade**

$L_{den}$ dB(A)	Tráfego Rodoviário					
	$L_n$	Brisa	Brisa + BBDr + BA		Brisa (eficácia)	
$55 < L_{den} \leq 60$	439,38	3 239	319,10	2 112	120,28	1 127
$60 < L_{den} \leq 65$	224,04	1 259	112,34	583	111,70	676
$65 < L_{den} \leq 70$	76,75	345	59,16	153	17,59	192
$70 < L_{den} \leq 75$	59,33	108	57,67	15	1,66	93
$L_{den} > 75$	74,10	0	42,00	0	32,10	0
<b><math>L_{den} \geq 63</math></b>	<b>273,69</b>	<b>728</b>	<b>190,55</b>	<b>301</b>	<b>83,14</b>	<b>427</b>
$45 < L_n \leq 50$	588,79	3 718	433,53	3 284	155,26	434
$50 < L_n \leq 55$	307,91	1 918	167,00	887	140,91	1 031
$55 < L_n \leq 60$	109,85	534	60,39	180	49,46	354
$60 < L_n \leq 65$	59,30	141	61,24	54	-1,94	87
$65 < L_n \leq 70$	52,61	8	36,29	0	16,32	8
$L_n > 70$	34,58	0	15,28	0	19,30	0
<b><math>L_n \geq 53</math></b>	<b>354,31</b>	<b>1 123</b>	<b>215,22</b>	<b>508</b>	<b>139,09</b>	<b>615</b>

$\Delta = L_{den} - L_{limite}$	Tráfego Rodoviário					
	$\Delta = L_n - L_{limite}$	Brisa	Brisa + BBDr + BA		Brisa (eficácia)	
$0 < \Delta \leq 5$	117,49	561	66,76	223	50,73	338
$5 < \Delta \leq 10$	56,34	152	62,18	78	-5,84	74
$10 < \Delta \leq 15$	56,76	15	40,64	0	16,12	15
$15 < \Delta \leq 20$	31,72	0	20,97	0	10,75	0
$\Delta > 20$	11,38	0	0,00	0	11,38	0
<b><math>\Delta L_{den} &gt; 0</math></b>	<b>273,69</b>	<b>728</b>	<b>190,55</b>	<b>301</b>	<b>83,14</b>	<b>427</b>
$0 < \Delta \leq 5$	178,80	882	79,95	397	98,85	485
$5 < \Delta \leq 10$	62,10	186	61,74	111	0,36	75
$10 < \Delta \leq 15$	60,51	55	46,93	0	13,58	55
$15 < \Delta \leq 20$	36,99	0	26,58	0	10,41	0
$\Delta > 20$	15,91	0	0,02	0	15,89	0
<b><math>\Delta L_n &gt; 0</math></b>	<b>354,31</b>	<b>1 123</b>	<b>215,22</b>	<b>508</b>	<b>139,09</b>	<b>615</b>

#### 5.4.1.5. Calendarização da execução das medidas de redução de ruído

Numa situação corrente de desenvolvimento do trabalho em colaboração com o respectivo município, as estratégias de intervenção seriam definidas de forma conjugada. No contexto do presente trabalho de elaboração deste Manual, procurou-se estabelecer um critério de prioridade de actuação independente de quaisquer restrições orçamentais que possam atingir o município.

Como princípio, estabelece-se a preferência de medidas de redução de ruído com actuação sobre a fonte sonora, nomeadamente “**medidas extensivas**” como a alteração do tipo de pavimento, a redução da velocidade de circulação ou eventuais modificações na estrutura viária do concelho com condicionantes à circulação de veículos (definição de sentidos únicos, definição de percursos dedicados a pesados, estabelecimento de horários de carga e descarga e, conseqüentemente, da possibilidade de acesso de veículos pesados a zonas acusticamente mais sensíveis). A especial apetência por medidas desta natureza está associada à redução de ruído ambiente em geral que irá beneficiar um número mais alargado de edifícios e pessoas.

A implantação de barreiras acústicas se bem que se possa considerar uma “**medida extensiva**” tem o seu campo de actuação no meio de propagação das ondas sonoras tendo como objectivo a sua interrupção. É uma medida de minoração do ruído com alcance intermédio, uma vez que actua essencialmente na proximidade imediata da barreira, não tendo efeito significativo na propagação a longa distância dado que não altera o nível de emissão da fonte.

Quanto à aplicação de “**medidas avulsas**”, como a aplicação do reforço de isolamento de fachada, apresentam um carácter pontual. São medidas mais indicadas para resolver situações de recurso em que todas as outras medidas são ineficazes ou insuficientes.

#### 5.4.1.6. Resumo do plano municipal de redução do ruído

(com 10 páginas no máximo, que abranja todos os aspectos relevantes referidos, em linguagem acessível)





## 5.5. Concelho da Maia

### 5.5.1. Plano Municipal de Redução de Ruído

#### 5.5.1.1. Descrição do município

O município da Maia localiza-se no distrito do Porto e encontra-se limitado pelos municípios de Vila do Conde, Trofa, Santo Tirso, Valongo, Gondomar, Porto e Matosinhos. Apresenta um **território com 83 km<sup>2</sup>** e **cerca de 135.700 habitantes**, repartidos por 17 freguesias.

Inserir-se na **Grande Área Metropolitana do Porto** e é dotada de uma boa rede viária (A3, A4 e A41/IC24) e aérea (Aeroporto Internacional de Sá Carneiro e um Aeródromo Municipal), usufruindo ainda de dois tipos de ligação ferroviária (Linha do Minho e Linha de Metro, com 3 linhas disponíveis: Vermelha (B), Verde (C) e Lilás (E)).

Este concelho caracteriza-se por um forte sector terciário que representa cerca de 72% da actividade económica (repartindo-se por 5300 unidades comerciais e 3600 unidades de serviços), seguindo-se o sector secundário com 27% e finalmente uma componente quase residual (2%) do sector primário.

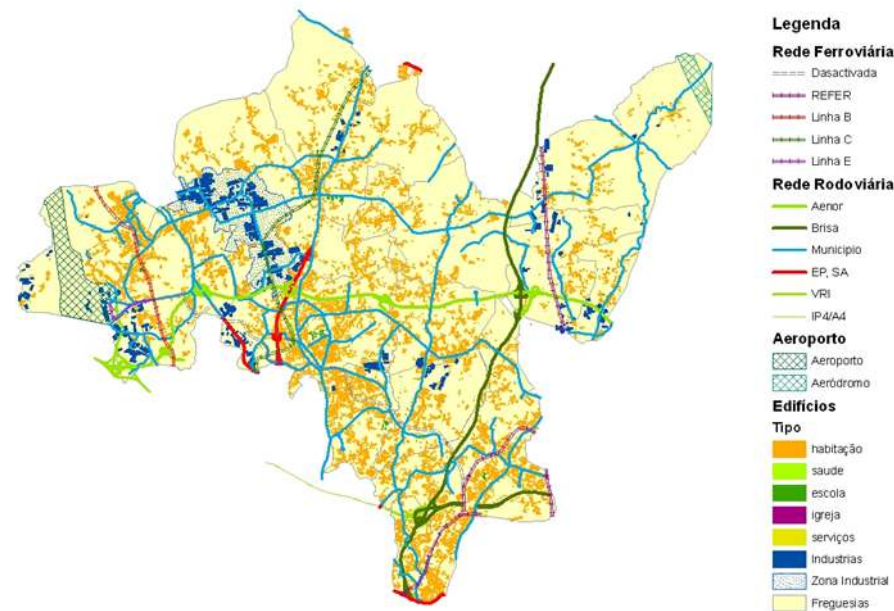


Figura 5. 24 - Representação da rede rodoviária, ferroviária, aérea e da mancha edificada do concelho

O PDM deste Município encontra-se em fase final de elaboração, dispondo de *carta de classificação de zonas* que foi disponibilizada para o presente estudo de caso. Assim, para elaboração do Plano Municipal de Redução de Ruído considerou-se o território do concelho classificado de acordo com a delimitação de zonas mistas e zonas sensíveis indicada na carta de classificação de zonas.

#### 5.5.1.2. Resumo dos dados de origem dos mapas de ruído

Os mapas de ruído subjacentes ao presente Plano foram fornecidos pela Câmara Municipal que os elaborou através de consultoria externa. O mapa de ruído global disponibilizado foi realizado com cartografia actualizada e identificação de todas as **fontes rodoviárias**, **ferroviárias** seleccionadas de acordo com as indicações da APA nas “Directrizes para elaboração de Mapas de Ruído”. Como este Mapa foi elaborado antes da aprovação da DRA e do novo RGR, o parâmetro de avaliação utilizado foi o então vigente  $L_{Aeq}$ , tanto em período diurno como nocturno. As **fontes industriais** foram quantificadas como fontes pontuais a partir de medições efectuadas em pontos seleccionados das zonas industriais. As **fontes aéreas** foram quantificadas a partir do número de movimentos do aeródromo e aeroporto e calibradas com medições em pontos estrategicamente seleccionados.

O programa de cálculo utilizado foi o **CadnaA** e os métodos de cálculo considerados foram os recomendados pela União Europeia na Directiva Ruído Ambiente e que se passam a transcrever:

- **Fontes rodoviárias: NMPB-Routes-96;**
- **Fontes ferroviárias: SCHALL 03;**
- **Fontes aéreas: ECAC.CEAC Doc. 29**
- **Fontes industriais: ISO 9613.**

O mapa de ruído foi calibrado com medições efectuadas em período diurno e nocturno em pontos criteriosamente seleccionados, pelo que se considera que o mapa de ruído facultado reúne as condições para constituir uma boa base de trabalho.

As *infra-estruturas de transporte rodoviário* definidas nesse Mapa de Ruído tiveram como TMDA (Tráfego Médio Diário Anual) mínimo cerca de 2.000 veículos, são as indicadas no Quadro 5. 16 e na Figura 5. 25.

**Quadro 5. 16 - Listagem das infra-estruturas rodoviária do concelho e respectivas entidades responsáveis**

Infra-estrutura Rodoviária Via	Concessionária	TMH (veículos/h)		% Pesados		Velocidade (km/h)		Perfil Transversal
		Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Ligeiros	Pesados	
IC24	Aenor	1840	485	8,8	7,9	120	80	RQ 26
IC24	Aenor	2827	747	9,3	8,5	120	80	RQ 26
IP4/ A4	Aenor	0	0	0	0	120	80	RQ 26
VRI	Aenor	0	0	0	0	120	80	RQ 26
A3	Brisa	3019	716	5,6	5,7	120	100	RQ 37.
A3	Brisa	3019	706	19,5	2	120	100	RQ 37.
A3	Brisa	4191	994	5,6	5,7	120	80	RQ 29.
A4	Brisa	1980	540	5	4,9	120	80	RQ 14
A4	Brisa	3960	1080	5	4,9	120	90	RQ 26
EN 105	EP, SA	197	127	8,6	5,5	60	60	RQ 14
EN 12	EP, SA	1817	497	3,6	2,8	60	60	RQ 26
EN 12	EP, SA	1817	497	8,8	7,9	90	60	RQ 26
EN 13	EP, SA	4333	1166	5,5	4,7	90	80	RQ 16
EN14	EP, SA	462	124	5,2	4,6	40	40	RQ 12
EN14	EP, SA	707	179	8,3	7,5	90	80	RQ 29.
EN14	EP, SA	2311	619	5,2	4,6	60	50	RQ 15.
EN208	EP, SA	1494	402	4,6	3,7	100	80	RQ 14
IC24	EP, SA	2827	747	9,3	8,5	120	80	RQ 29.
Av. António Dos Santos Lei	Município	1625	272	29,3	11,8	60	60	RQ 16
Av. António Dos Santos Lei	Município	1625	272	29,3	11,8	60	60	RQ 16
Av. Carlos Oliveira Campo	Município	740	335	29	16	60	60	RQ 14

Via	Infra-estrutura Rodoviária Concessionária	TMH (veículos/h)		% Pesados		Velocidade (km/h)		Perfil
		Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Ligeiros	Pesados	Transversal
Av. D. Manuel II	Município	863	227	8,4	5,5	50	50	RQ 15.
Av. Dr. Germano Vieira	Município	494	122	5,5	9,8	60	60	RQ 15.
Av. Dr. Germano Vieira	Município	690	232	9,5	7,3	50	50	RQ 16
Av. Nossa Sr.ª Natividade	Município	1143	211	10	2,8	50	50	RQ 15.
EN 318 / R Monte Grande	Município	329	102	19,5	2	90	80	RQ 14
EN105/R. D. Afonso Henriques	Município	436	116	12	9,9	60	50	RQ 14
EN13/R Cns Luís Guimarães	Município	4333	1166	5,5	4,7	90	80	RQ 15.
EN14/R Augusto Nogueira S	Município	340	150	15	15	50	50	RQ 12
EN14/R Bernardino Machado	Município	2311	619	5,2	4,6	60	50	RQ 15.
EN14/Rua da Espinhosa	Município	340	150	15	15	60	60	RQ 12
EN208/R Mosteiro	Município	1994	402	4,6	3,7	60	50	RQ 14
Rua 5 de Outubro	Município	957	201	15,4	17,4	50	50	RQ 12
Rua 5 de Outubro	Município	1120	181	13	28	60	60	RQ 12
Rua 5 de Outubro	Município	1335	288	6	32	60	60	RQ 12
Rua Agostinho Da Silva Ro	Município	1360	398	4,4	18,8	50	50	RQ 14
Rua Altino Coelho	Município	731	195	8,2	3,8	50	50	RQ 14
Rua Altino Coelho	Município	1470	390	8,2	3,8	50	50	RQ 14
Rua Augusto Nogueira da S	Município	500	150	19	14	50	50	RQ 12
Rua Augusto Simões	Município	600	80	7,3	8,3	50	50	RQ 14
Rua Central da Cavadinha	Município	432	143	8,5	4,2	50	50	RQ 14
Rua Central da Devesa	Município	509	79	4,7	20	50	50	RQ 14
Rua Conselheiro Costa Aro	Município	235	148	11,7	13,5	60	60	RQ 12
Rua Conselheiro Costa Aro	Município	795	195	8,2	3,8	50	50	RQ 14
Rua Cruz das Gardeiras	Município	652	527	9,5	10,5	50	50	RQ 14
Rua Cruz das Gardeiras	Município	818	575	14	15	50	50	RQ 14
Rua da Camposa	Município	332	167	12	10,7	90	70	RQ 14
Rua da Espinhosa	Município	340	150	15	15	60	60	RQ 12
Rua da Serra	Município	197	127	8,6	5,5	60	60	RQ 14
Rua das Gardeiras	Município	530	462	46	65	50	50	RQ 14
Rua de Monforte	Município	436	116	12	7,5	90	80	RQ 14

Infra-estrutura Rodoviária		TMH (veículos/h)		% Pesados		Velocidade (km/h)		Perfil
Via	Concessionária	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Ligeiros	Pesados	Transversal
Rua de S. Romão	Município	1360	398	4,4	18,8	60	60	RQ 14
Rua de Sidónio Pais	Município	386	146	11,4	8,4	50	50	RQ 14
Rua de Vessada	Município	333	189	12,3	15,3	50	50	RQ 14
Rua do Barreiro	Município	665	244	56	10	50	50	RQ 15.
Rua do Outeiro	Município	200	40	32	32	50	50	RQ 15.
Rua do Souto	Município	125	112	10	12	50	50	RQ 14
Rua Dr Bernardino Machado	Município	600	80	10	10	60	60	RQ 14
Rua Dr. António Vieira da	Município	730	207	20,5	14	60	60	RQ 14
Rua Eng Duarte Pacheco	Município	600	80	10	10	60	60	RQ 14
Rua Eng. Frederico Ulrich	Município	660	362	19	17	60	60	RQ 14
Rua Eng. Frederico Ulrich	Município	730	324	10	30	60	60	RQ 14
Rua Eng. Frederico Ulrich	Município	757	374	16,5	25,5	60	60	RQ 14
Rua Joaquim Nogueira dos	Município	1360	398	4,4	18,8	50	50	RQ 14
Rua Jorge Ferreirinha	Município	80	35	10	7	50	40	RQ 14
Rua José Silva Moreira Az	Município	534	358	33	40	60	60	RQ 14
Rua Luís da Silva Neves	Município	247	61	5,4	9,8	50	50	RQ 15.
Rua Padre Alves do Rego	Município	289	77	8,4	5,5	50	50	RQ 14
Rua Padre José Pinheiro D	Município	516	172	10	9	50	50	RQ 14
Rua Ponte de Parada	Município	595	242	4,2	2,5	60	60	RQ 14
Rua Vilar de Luz	Município	147	36	15	16,6	60	60	RQ 14
Rua Vilar de Luz (Aeródromo)	Município	147	36	15	16,6	90	70	RQ 14
Via Adelino Amaro da Costa	Município	500	150	14	14	60	60	RQ 14
Via Carlos Mota Pinto	Município	500	150	19	14	60	60	RQ 14
Via Comendador Valentin S	Município	1455	151	24,4	11,3	60	60	RQ 16
Via Diagonal	Município	509	79	4,7	20	50	50	RQ 14
Via Diagonal	Município	534	358	33	40	50	50	RQ 12
Via Diagonal	Município	742	238	9,7	11,3	60	60	RQ 14
Via Diagonal	Município	1090	308	19,2	14	50	50	RQ 12
Via Dr. Francisco Sá Carneiro	Município	730	324	10	29	60	60	RQ 16
Via Eng. Belmiro Mendes A	Município	500	150	19	14	60	60	RQ 15.

Via	Concessionária	TMH (veículos/h)		% Pesados		Velocidade (km/h)		Perfil
		Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Ligeiros	Pesados	Transversal
Via Estruturante, Crestin	Município	367	48	26	23	50	50	RQ 15.
Via Lidador, Igreja	Município	786	50	30	6	50	50	RQ 14
Via Periférica da Maia	Município	391	60	44	35	60	60	RQ 20
Via Periférica da Maia	Município	470	296	11,7	13,5	60	60	RQ 16
Via Periférica da Maia	Município	600	80	20	20	60	60	RQ 20
Via Periférica da Maia	Município	1000	100	20	20	60	60	RQ 20
Via Periférica da Maia	Município	1455	151	24,4	11,3	60	60	RQ 20
Via Periférica da Maia	Município	1625	272	29,4	11,8	60	60	RQ 20
Via Transversal Sul ao Ca	Município	500	150	19,3	14	60	60	RQ 15.

TMH - Tráfego Médio Horário

As *infra-estruturas de transporte ferroviário* incluídas nesse Mapa de Ruído são as indicadas no Quadro 5. 17 e na Figura 5. 26. A sua significância acústica é pouco representativa atendendo à frequência de passagem das composições (Linha do Minho), ao tipo de veículos adoptado (Metro), ao facto de existir reduzida movimentação em período nocturno (entre as 0:00 h e as 5:30 h) e ao ruído ambiente do concelho.

Quadro 5. 17 - Listagem das infra-estruturas ferroviárias do concelho e respectivas entidades responsáveis

Via	Concessionária	Nível máximo de emissão $L_w$	
		Diurno	Nocturno
Linha do Minho	Refer	58,5 dB(A)	57,3 dB(A)
Metro - Linha B	Metro do Porto	56,1 dB(A)	51,3 dB(A)
Metro - Linha C	Metro do Porto	56,1 dB(A)	51,3 dB(A)
Metro - Linha E	Metro do Porto	56,1 dB(A)	51,3 dB(A)



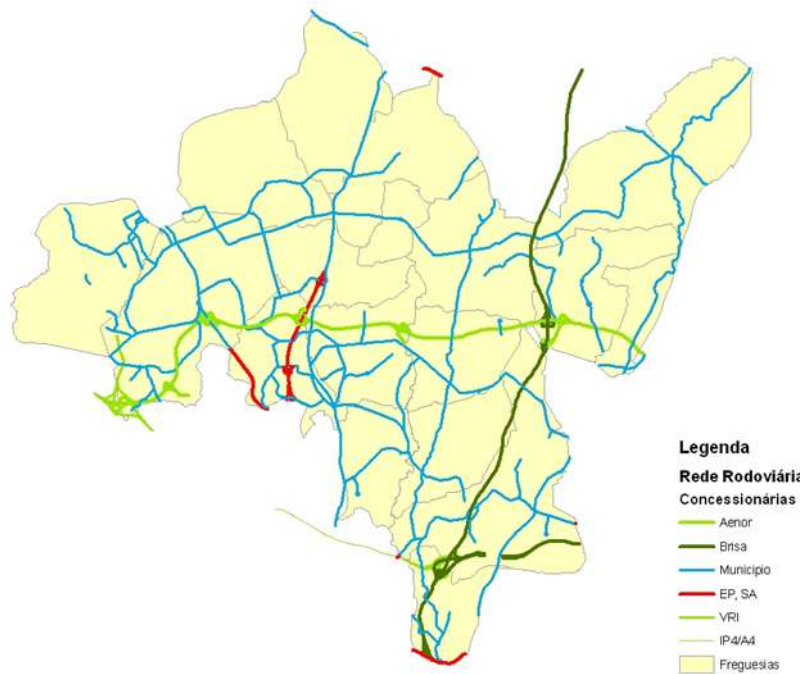


Figura 5. 25 - Rede Rodoviária do concelho

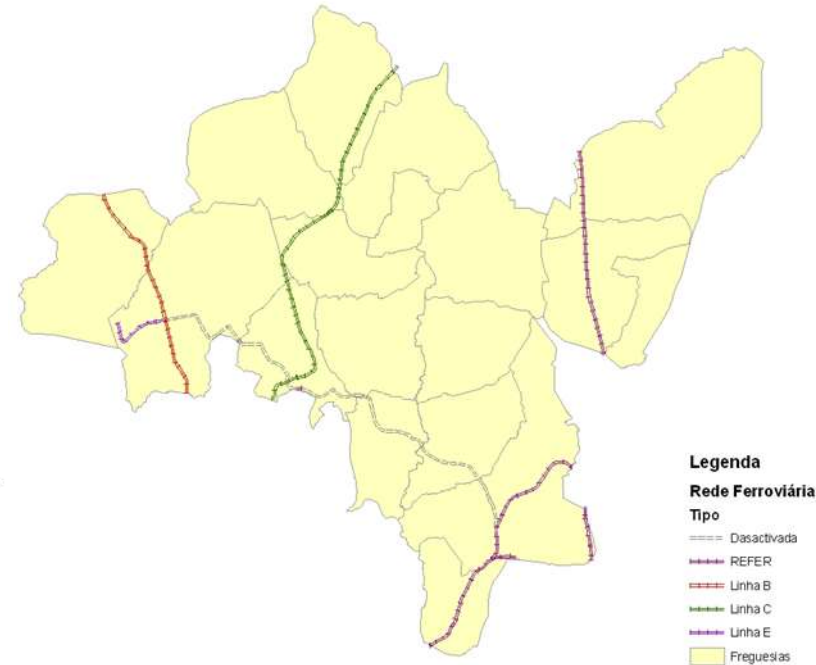


Figura 5. 26 - Rede Ferroviária do concelho

Este concelho, apesar de ter uma componente empresarial muito significativa, apresenta uma **Zona Industrial** muito dinâmica e diversos pólos de atracção industrial, nomeadamente na proximidade do Aeroporto e respectivos acessos (EN13), próximo de nós de entrada na rede rodoviária principal e ao longo da Linha do Minho, como se pode visualizar na Figura 5. 27.

As unidades industriais, consoante o tipo de emissão detectado no trabalho de campo pela equipa que realizou o referido mapa, foram encaradas como fontes pontuais ou lineares. Consideraram-se não só unidades industriais incorporadas na Zona Industrial como aquelas que, pela sua natureza “ruidosa”, teriam capacidade de constituir elementos de incómodo adicional e, como tal, de necessária avaliação.

As *infra-estruturas de transporte aéreo* incluídas nesse Mapa de Ruído são as indicadas na Figura 5. 28 (Aeroporto Internacional e Aeródromo Municipal). Como se depreende do tipo de transporte em questão, a sua significância acústica é bastante acentuada e com maior representatividade no caso do Aeroporto Internacional, uma vez que apresenta um número superior de movimentos e tem um horário de funcionamento mais extenso (o Aeródromo Municipal funciona só em período diurno). Ambas as fontes sonoras foram consideradas tendo em atenção o período de funcionamento e o número de movimentos esperados, os dados fornecidos pelas entidades responsáveis (mapa de ruído do Aeroporto fornecido pela ANA) e medições realizadas.

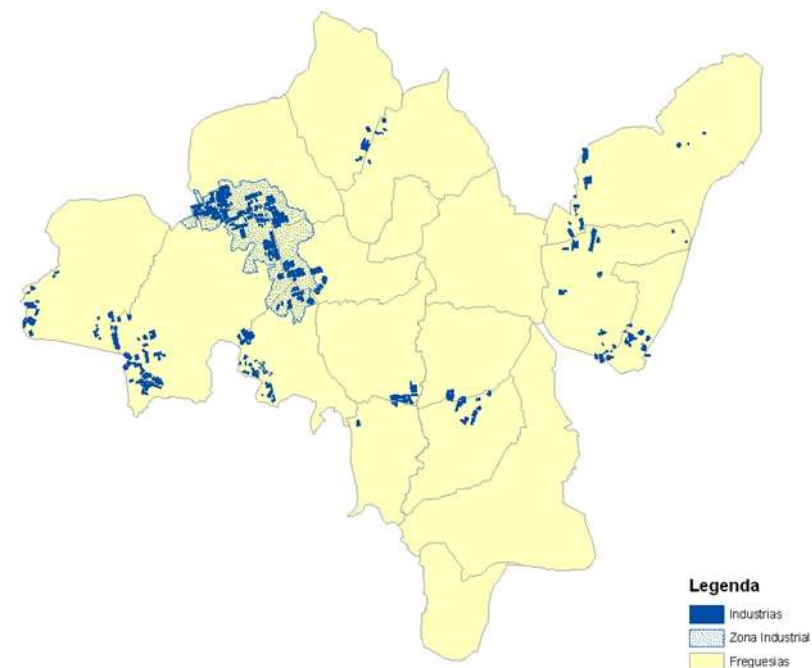


Figura 5. 27 - Zona Industrial e Indústrias isoladas do concelho

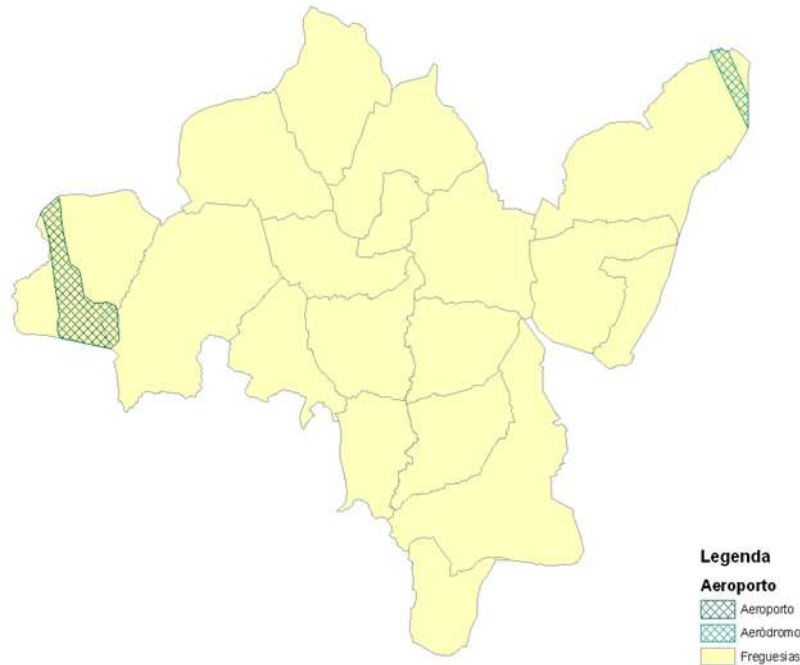


Figura 5. 28 - Rede de Transporte Aéreo do concelho

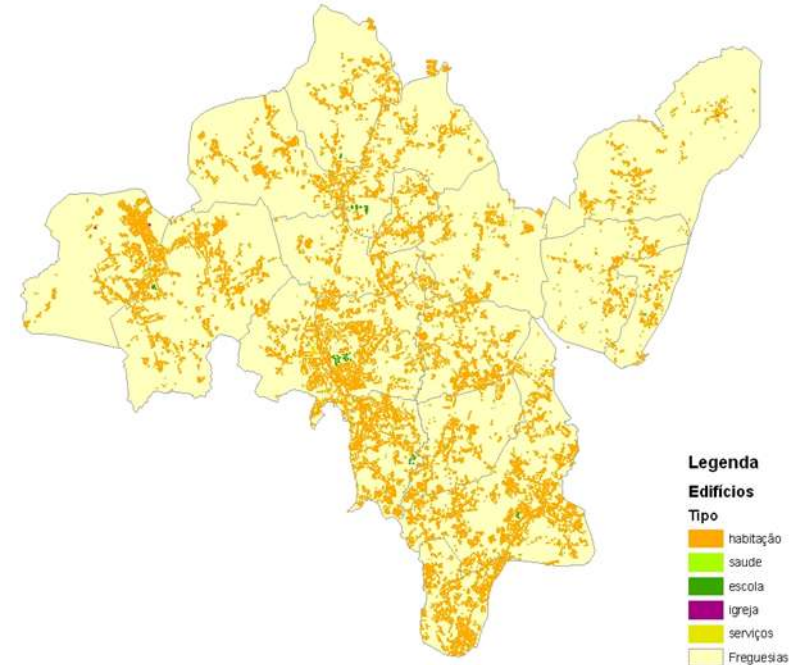


Figura 5. 29 - Parque edificado do concelho

A parte edificada do concelho está relativamente actualizada (Figura 5. 29). Aliás, posteriormente à disponibilização do Mapa de Ruído de 2006, foi fornecida cartografia mais actualizada e com maior detalhe que possibilitou a actualização da mancha edificada e um maior pormenor nas características morfológicas do concelho. No entanto, a classificação dos edifícios de acordo com a utilização principal não constava dessa base de dados tendo sido necessária a sua definição posterior por métodos indirectos (descritos no ponto da metodologia). Dado o desenvolvimento do processo de revisão do Plano Director Municipal, este município considerou que era apropriada a disponibilização da **Proposta de Carta de Classificação de Zonas**. Neste documento estavam identificadas áreas com a designação de **edificado sensível, edificado misto, conflito misto até 5dB e conflito misto mais de 5dB**.

Do tratamento posterior dos dados resultaram as **Zonas Sensíveis** (edificado sensível) e **Zonas Mistas** (edificado misto, conflito misto até 5dB e conflito misto mais de 5dB) que se identificam na Figura 5. 30. No entanto, havia uma parte significativa do território (sem ser área edificada) à qual não foi atribuída classificação. Para possibilitar a determinação da totalidade da área do concelho em conflito, foi atribuída a designação de **Zona Mista Não Classificada** à parte restante do território com *exclusão das áreas afectas ao Aeroporto, ao Aeródromo e à Zona Industrial* às quais não foram atribuídas quaisquer limitações ao nível de ruído ambiente (considera-se que este pressuposto, que obviamente se traduzirá no aumento da área de conflito, não irá introduzir “ruído” na avaliação geral das áreas de conflito uma vez que as zonas que anteriormente não estavam classificadas e que não tinham fontes de ruído significativas e indutoras de conflito assim permanecerão).

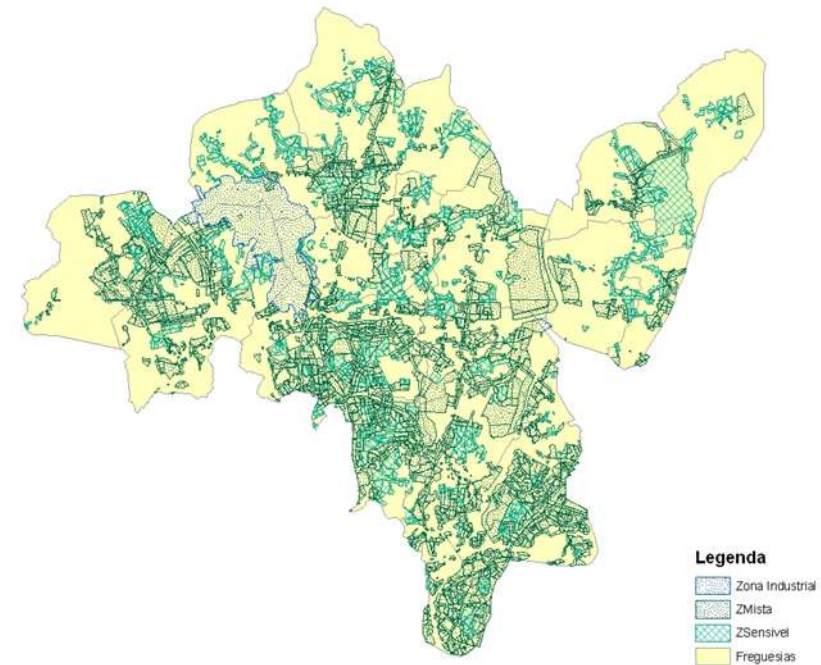


Figura 5. 30 - Proposta da Carta de Classificação de Zonas do concelho

#### 5.5.1.3. Entidades competentes pela execução de medidas de redução de ruído

Neste município, conforme se identificaram nos pontos anteriores, existem quatro tipos de fontes ruidosas: rodoviárias, ferroviárias, aéreas e industriais.

No caso das **infra-estruturas rodoviárias** estão envolvidas quatro entidades: o próprio município (Maia), a concessionária geral da rede rodoviária nacional (EP - Estradas de Portugal, SA), a concessionária de auto-estradas (BRISA - Auto-estradas de Portugal, SA) e a concessionária da Concessão da SCUT do Grande Porto (AENOR).

Para as **infra-estruturas ferroviárias** existem duas empresas responsáveis pela infra-estrutura (REFER - Rede Ferroviária Nacional, EP e Metro do Porto, SA) e outra responsável pela exploração do serviço de transporte (CP - Caminhos de Ferro



Portugueses, EP), neste caso pela Linha do Minho.

Para as *infra-estruturas aéreas* existe uma empresa responsável pela infra-estrutura aeroportuária (ANA - Aeroportos de Portugal, SA) e outra responsável pelo Aeródromo de Vilar de Luz (Município da Maia).

Quanto às *fontes industriais* analisadas, a responsabilidade de redução do nível sonoro recairá sobre os privados que exercem a sua actividade nesses locais. No entanto, o município tem a responsabilidade de dotar as zonas industriais de condições que permitam o desenvolvimento de actividades sem perturbação dos receptores mais próximos, nomeadamente, com a criação de “zonas-tampão”.

#### 5.5.1.4. Metodologia

A abordagem seguida para elaboração do presente *Plano Municipal de Redução de Ruído* consistiu, na análise dos elementos fornecidos pela Câmara Municipal. Neste caso, foi fornecido o mapa de ruído elaborado em 2006, bem como todos os dados relevantes que lhe serviram de suporte como a topografia, parte edificada incluindo a altura dos edifícios, as fontes de ruído e respectivas características de emissão, bem como dados estatísticos do concelho.

Constatou-se, como seria de esperar, que os mapas foram realizados tendo por base o parâmetro acústico  $L_{Aeq}$ , tanto para período diurno como nocturno, uma vez que este era o parâmetro de avaliação anteriormente em vigor.

a) A primeira tarefa passou por converter este mapa ao novo indicador de avaliação  $L_{den}$ , para o período das 24 h, mantendo o cálculo para período nocturno mas adoptando para o  $L_{Aeq}$  nocturno a nova designação de  $L_n$ . Na realização desta tarefa seguiram-se as recomendações da APA (IA *et al.*, 2007) em relação à altura de cálculo (4 m) e às regras de conversão do  $L_{Aeq}$  em  $L_{den}$ , nomeadamente:

- Para infra-estruturas de transporte:

$$TMH_{(7-20h)} = TMH_{(7-22h)}$$

$$TMH_{(20-23h)} = \left( \frac{2 \times TMH_{(7-22h)} + 1 \times TMH_{(22-7h)}}{3} \right)$$

$$TMH_{(23-7h)} = TMH_{(22-7h)}$$

- Para fontes industriais:

$$L_w_{(7-20h)} = L_w_{(7-22h)}$$

$$L_w_{(20-23h)} = 10 \log \left( \frac{2 \times 10^{\frac{L_w_{(7-22h)}}{10}} + 1 \times 10^{\frac{L_w_{(22-23h)}}{10}}}{3} \right)$$

$$L_w_{(23-7h)} = L_w_{(22-7h)}$$

*TMH* - Tráfego Médio Horário

*L<sub>w</sub>* - Nível de potência sonora

Foi ainda necessário classificar os edifícios quanto ao tipo de utilização e as fontes de ruído quanto às entidades responsáveis. Após a actualização da base de dados prosseguiu-se para o cálculo de *mapas de ruído parciais* ( $L_{den}$  e  $L_n$ ) que possibilitassem a determinação das áreas, edifícios e população expostas para todas as classes de exposição definidas na Directiva do Ruído Ambiente (DRA), a saber:

- *Mapa de infra-estruturas rodoviárias tuteladas pela EP - Estradas de Portugal, SA;*
- *Mapa de infra-estruturas rodoviárias tuteladas pela Brisa - Auto-estradas de Portugal, SA;*
- *Mapa de infra-estruturas rodoviárias tuteladas pela Aenor;*
- *Mapa de infra-estruturas rodoviárias tuteladas pelo Município;*
- *Mapa de infra-estruturas ferroviárias tuteladas pela Refer - Rede Ferroviária Nacional, EP;*
- *Mapa de infra-estruturas ferroviárias tuteladas pela Metro do Porto, SA;*
- *Mapa de infra-estruturas aéreas tuteladas pela ANA - Aeroportos de Portugal, SA;*
- *Mapa de infra-estruturas aéreas tuteladas pelo Município;*
- *Mapa de zonas industriais e Industrias.*

As representações gráficas mencionadas anteriormente (algumas das quais se apresentam na Figura 5. 31, Figura 5. 32, Figura 5. 33 e na Figura 5. 34) seguem o código de cores indicados pela APA que se transcreveu no Quadro 5. 4.



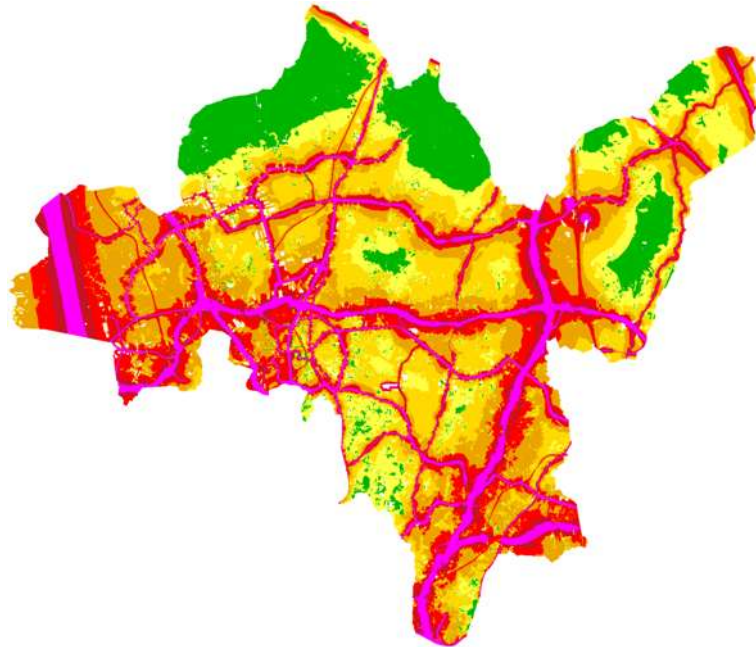


Figura 5. 31 - Mapa de Ruído Global do concelho ( $L_{den}$ )



Figura 5. 32 - Mapa de Ruído Global do concelho ( $L_n$ )

Por simples inspeção visual dos mapas apresentados como exemplo (Figura 5. 33 e Figura 5. 34), constata-se que as fontes de ruído predominantes neste concelho são as correspondentes às infra-estruturas rodoviárias e aeroportuárias, com particular relevância, em termos de abrangência territorial, para a **A3**, a **A4/IP4**, o **A41/IC24**, a **VRI** e as **EN13** e **EN14** que constituem os principais eixos de circulação deste concelho e para o **Aeroporto Internacional Francisco Sá Carneiro**.

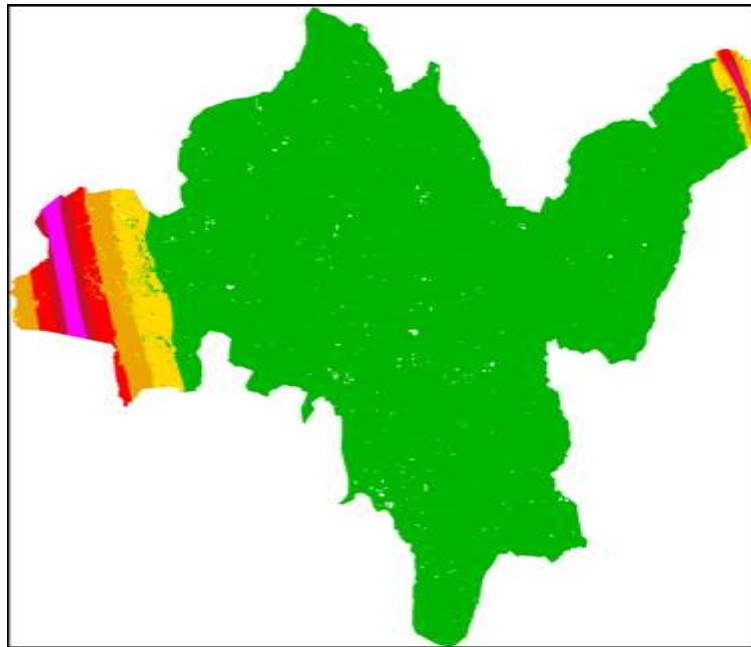


Figura 5. 33 - Mapa de Ruído Aéreo do concelho (L<sub>den</sub>)

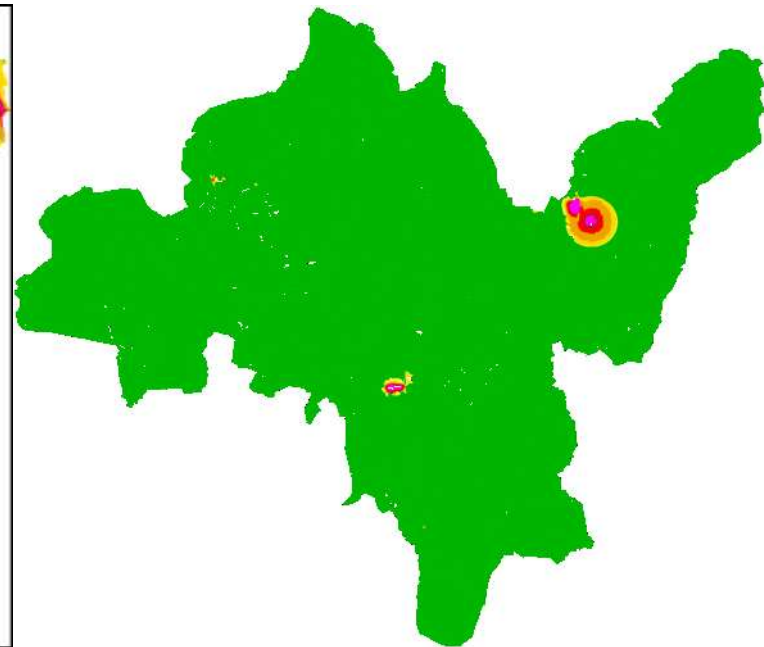


Figura 5. 34 - Mapa de Ruído Industrial do concelho (L<sub>den</sub>)

Por oposição, as fontes de ruído ferroviário presentes no concelho não induzem situações de incomodidade significativa uma vez que os veículos utilizados em meio urbano são menos ruidosos e a sua passagem mais reduzida no período do entardecer e nocturno.

- b) A fase subsequente consistiu na determinação dos **Mapas de Conflito**. Estes mapas resultam da sobreposição dos diversos mapas de ruído (global e parciais por entidade gestora) com a *Carta de Classificação de Zonas* definidas pelo município. O

município em análise disponibilizou uma *proposta de Carta de Classificação de Zonas*, desenvolvida no âmbito da revisão do seu PDM, para ser utilizado no decurso deste trabalho. No entanto, como a área definida não abrangia a totalidade do território urbano mas antes a globalidade do parque edificado do concelho, utilizou-se como recurso complementar a classificação do território remanescente (retirando a Zona Industrial, a área do Aeroporto Internacional e a área do Aeródromo Municipal) como Zona Mista. Assim, foi possível aplicar o critério de sobreexposição decorrente da consideração do Artigo 11º - Valores limite de exposição:

*“1 - Em função da classificação de uma zona como mista ou sensível, devem ser respeitados os seguintes valores limite de exposição:*

*a) As zonas mistas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;*

*b) As zonas sensíveis não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;*

*c) As zonas sensíveis em cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do presente Regulamento, uma grande infra-estrutura de transporte não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;*

*...”*

A aplicação deste critério (isófonas de  $L_{den} = 65$ ,  $L_n = 55$  dB(A) e  $L_{den} = 55$ ,  $L_n = 45$  dB(A), respectivamente para o período de 24 h e para o período nocturno e para Zonas Mistas e Sensíveis) possibilitou a obtenção dos *Mapas de Conflito* (do qual se apresentam dois exemplos nas Figura 5. 35 e Figura 5. 36).

Nestas representações gráficas consideraram-se as classes de sobreexposição indicadas no Quadro 5. 18:

Quadro 5. 18 - Classes de sobreexposição e código de cores utilizado



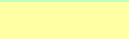



Classe $\Delta = L_{den} - L_{limite}$	Cores	RGB	Classe $\Delta = L_{den} - L_{limite}$	Cores	RGB
$\Delta < 0$		Verde-claro 191,255,191	$10 < \Delta \leq 15$		Laranja escuro 255,115,047
$0 < \Delta \leq 5$		Amarelo claro 255,255,164	$15 < \Delta \leq 20$		Vermelhão 255,0,0
$5 < \Delta \leq 10$		Laranja claro 255,0,255	$\Delta > 20$		Vermelho escuro 176,0,0



Figura 5. 35 - Mapa Global de Conflitos do concelho ( $L_{den}$ )

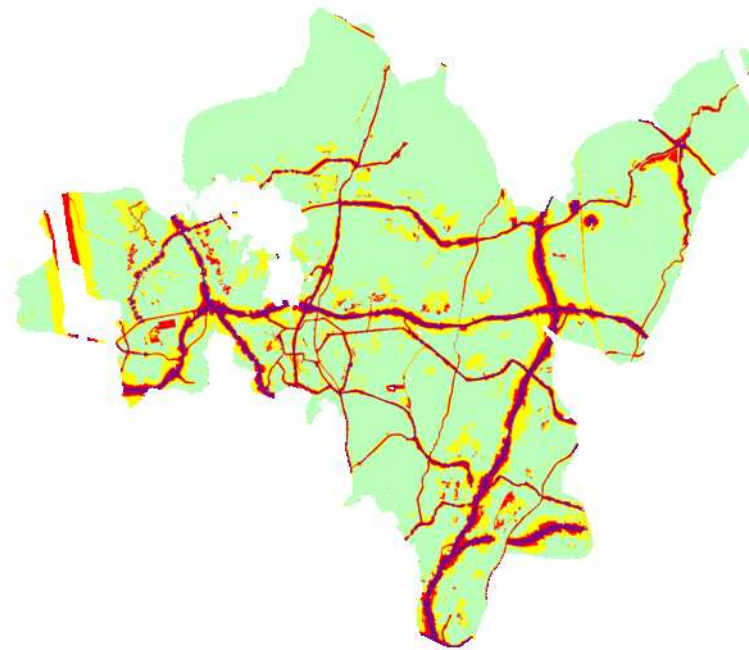


Figura 5. 36 - Mapa Global de Conflitos do concelho ( $L_n$ )

A *quantificação das áreas* onde é necessária intervenção de redução do nível sonoro de ruído ambiente que, no caso deste concelho representam, nomeadamente, cerca de 1.464 ha e 4.491 ha da área global do território, conforme indicado no

Quadro 5. 19. Quanto às classes de sobreexposição definidas e considerando as áreas e população em sobreexposição, pode-se considerar que, para o período global, cerca de 92% da área afectada apresenta uma sobreexposição reduzida e os restantes 8% uma sobreexposição moderada a muito elevada (ou seja, superior a 5 dB(A)) com necessidade de actuação imediata à luz do RGR. No período nocturno a situação é ligeiramente mais crítica com cerca de 11% do território sujeito a sobreexposição moderada e muito elevada.

Quadro 5. 19 - Quadro resumo das áreas de exposição e de conflito (ha) do concelho

$L_{den}$ dB(A)	Concelho		$\Delta = L_{den} - L_{limite}$	Concelho	
$L_n$			$\Delta = L_n - L_{limite}$		
$55 < L_{den} \leq 60$	1 801,61	22%	$0 < \Delta \leq 5$	7 048,73	92%
$60 < L_{den} \leq 65$	1 224,81	15%	$5 < \Delta \leq 10$	346,17	4%
$65 < L_{den} \leq 70$	687,51	8%	$10 < \Delta \leq 15$	196,82	3%
$70 < L_{den} \leq 75$	407,51	5%	$10 < \Delta \leq 15$	106,66	1%
$L_{den} > 75$	369,10	4%	$15 < \Delta \leq 20$	-	
<b><math>L_{den} \geq 65</math></b>	<b>1 464,12</b>	<b>18%</b>	<b><math>\Delta L_{den} &gt; 0</math></b>	<b>7 698,38</b>	
$45 < L_n \leq 50$	976,92	12%	$0 < \Delta \leq 5$	6 786,88	88%
$50 < L_n \leq 55$	1 659,23	20%	$5 < \Delta \leq 10$	485,47	6%
$55 < L_n \leq 60$	1 801,61	22%	$10 < \Delta \leq 15$	259,26	3%
$60 < L_n \leq 65$	1 224,81	15%	$15 < \Delta \leq 20$	166,77	2%
$65 < L_n \leq 70$	687,51	8%	$\Delta > 20$	-	
$L_n > 70$	776,61	9%			
<b><math>L_n \geq 55</math></b>	<b>4 490,54</b>	<b>54%</b>	<b><math>\Delta L_n &gt; 0</math></b>	<b>7 698,38</b>	

- c) Quando se procura **quantificar a redução global de ruído ambiente de um concelho** relativa aos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$  e, consoante o já mencionado para o concelho anterior, a diversidade de fontes sonoras, a sua distribuição espacial e a variação dos níveis de exposição sonora tornam impraticável a atribuição de um valor único para a redução sonora necessária à globalidade do concelho. Assim, considera-se que a sua apresentação sob a forma de mapa de conflitos (total e parciais) conjugada com um quadro que relaciona classes de sobreexposição com área e população afectada representa uma análise mais apropriada da situação.



- d) Além da quantificação da redução global de ruído ambiente do concelho, o município tem de comunicar às diferentes entidades gestoras de fontes ruidosas (de infra-estruturas de transporte ou industriais) as ***necessidades de redução parcial de ruído ambiente por fonte de ruído à respectiva entidade gestora*** relativa aos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ . Assim, à semelhança das considerações efectuadas para a redução global no concelho, considera-se que a quantificação das reduções parciais por fonte e entidade gestora deve seguir o mesmo princípio de não atribuição de um valor único. Como tal, devem ser apresentados quadros com as áreas sobreexpostas e a população afectada por cada tipo de fonte e entidade gestora.
- e) A etapa seguinte consiste na ***indicação, selecção e projecto das medidas de redução de ruído*** bem como da respectiva ***eficácia*** para as fontes sonoras de responsabilidade do município. Na análise do tipo de medidas que o município poderia tomar para melhorar o ambiente sonoro no seu território analisaram-se algumas propostas de intervenção e equacionaram-se outras propostas de actuação (não estudadas em termos numéricos). Nas vias municipais com pavimento ruidoso (em cubos de granito), ensaiaram-se duas alternativas de intervenção, uma das quais consistiu na ***substituição do pavimento actual por um pavimento em betão betuminoso tradicional*** e a outra na ***substituição do pavimento actual por outro com características de absorção sonora***.

A descrição destes procedimentos e das alternativas de actuação mencionadas é efectuada no ponto seguinte.

#### **Pormenor do plano municipal de redução do ruído na Zona de Pormenor do concelho**

Numa fase subsequente de identificação do tipo de medidas a adoptar considerou-se oportuna a análise de uma zona central do concelho (Zona de Pormenor) que incluía receptores sensíveis (zonas habitacionais e zonas escolares) e uma conjugação de actividades que se desenvolvem na malha urbana da cidade e que coexistem com a função habitacional.

De forma semelhante à utilizada anteriormente, determinou-se para esta área de estudo um mapa de ruído global e vários mapas parciais por fontes e entidades (Figura 5. 37). Seguidamente, procedeu-se à avaliação da exposição dos edifícios (Figura 5. 38) para se verificar as necessidades de actuação e, eventualmente, as prioridades de actuação. A confrontação com a *carta de classificação de zonas* permitiu a determinação do mapa de conflitos.



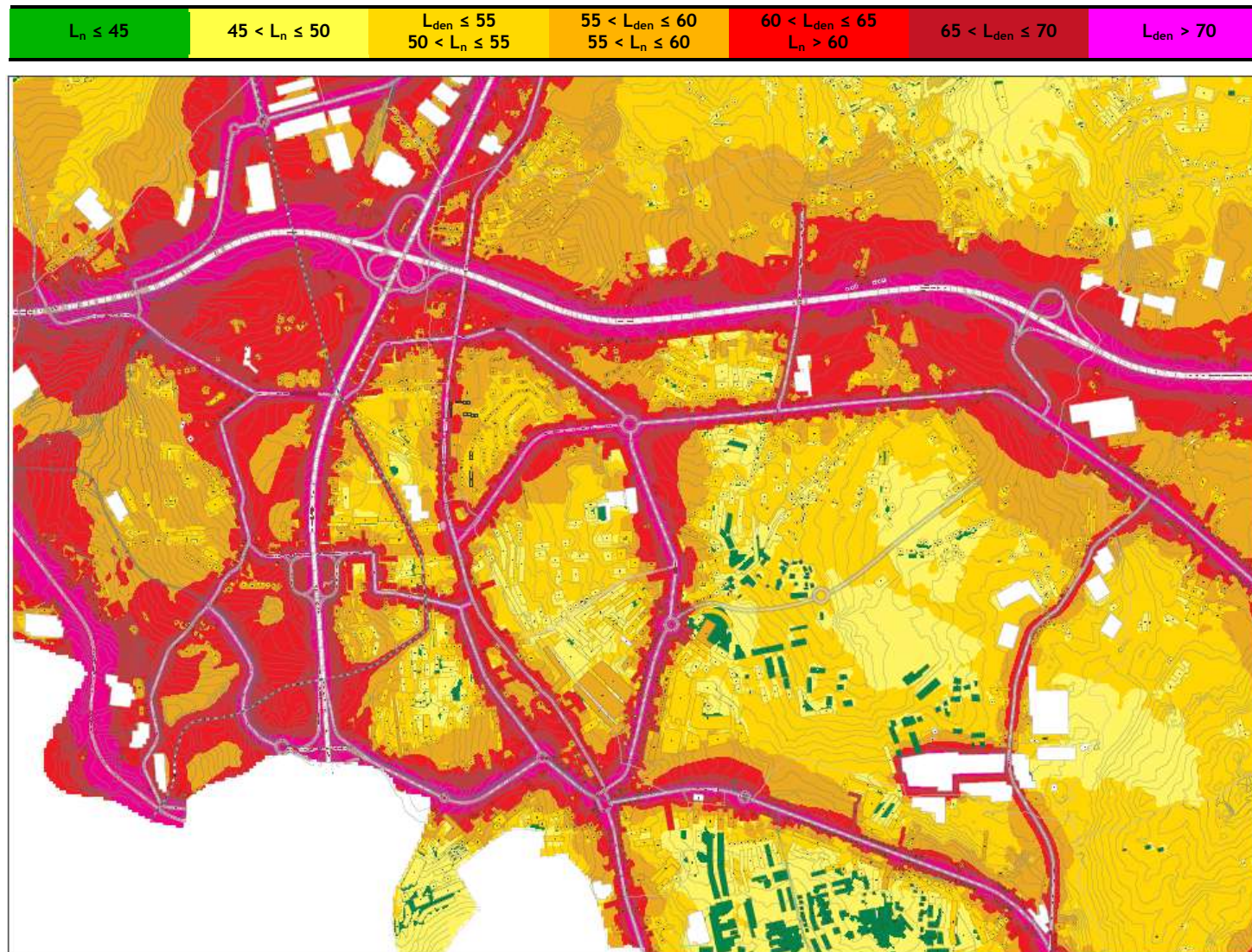


Figura 5. 37 - Mapa de ruído global ( $L_{den}$ ) da Zona de Pormenor do concelho



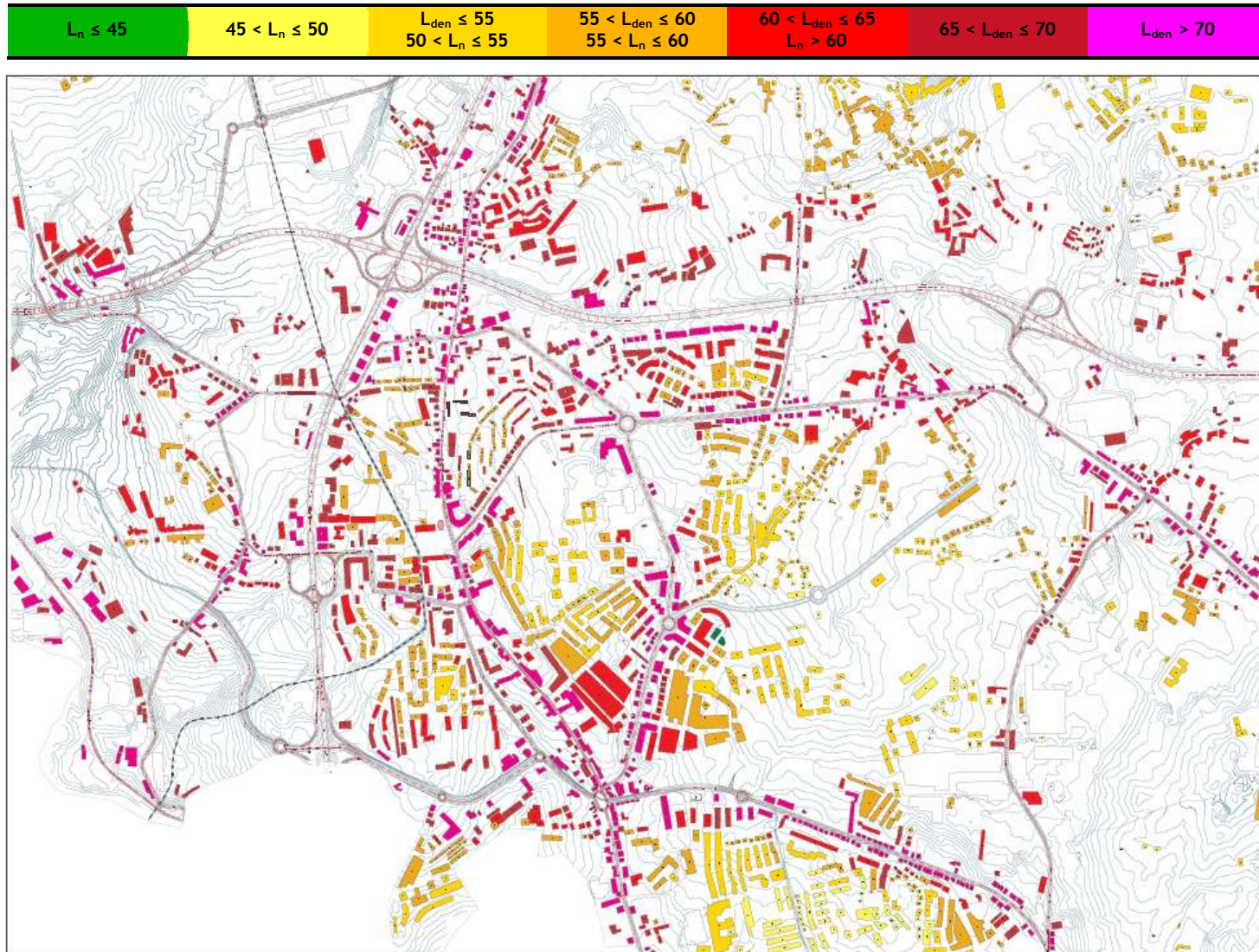


Figura 5. 38 - Mapa de exposição sonora global ( $L_{den}$ ) dos edifícios (representação gráfica segundo classes de exposição)

Quadro 5. 20 - Resumo de área e população exposta segundo classe de exposição na Zona de Pormenor

$L_{den}$ $L_n$ dB(A)	Zona de Pormenor			
	(ha)	(%)	(hab.)	(%)
$55 < L_{den} \leq 60$	210,84	21%	6 359	23%
$60 < L_{den} \leq 65$	164,58	17%	6 560	23%
$65 < L_{den} \leq 70$	94,99	10%	4 842	17%
$70 < L_{den} \leq 75$	71,31	7%	4 428	16%
$L_{den} > 75$	55,10	6%	920	3%
<b><math>L_{den} \geq 65</math></b>	<b>221,40</b>	<b>22%</b>	<b>10 191</b>	<b>36%</b>
$45 < L_n \leq 50$	250,60	25%	5 547	20%
$50 < L_n \leq 55$	198,97	20%	6 913	25%
$55 < L_n \leq 60$	128,42	13%	5 676	20%
$60 < L_n \leq 65$	80,17	8%	5 652	20%
$65 < L_n \leq 70$	52,75	5%	1 906	7%
$L_n > 70$	25,74	3%	113	0,4%
<b><math>L_n \geq 55</math></b>	<b>287,08</b>	<b>29%</b>	<b>13 347</b>	<b>47%</b>

Da análise do Quadro 5. 20 constata-se que cerca de 22% do território do concelho e 36% da população que nele reside se encontram sujeitos a níveis sonoros superiores a 65 dB(A) no período das 24 h. Para o período nocturno, a situação é agravada e aproximadamente 29% do território e 47% da população estão sujeitos a valores de  $L_n$  superiores a 55 dB(A). Verifica-se ainda que 18% e 28% da população se encontram sob a influência de níveis sonoros superiores a 70 dB(A) ou 60 dB(A), respectivamente para o período global e nocturno. Como tal, deverão ser alvo de medidas de minoração de ruído.

Conjugando esta informação com a Carta de Classificação de Zonas (da qual se apresenta um excerto na Figura 5. 39) é possível obter o Mapa de Conflitos da Zona de Pormenor do concelho (Figura 5. 40) que definirá as áreas de intervenção prioritárias (de acordo com o RGR, as que estejam expostas a níveis sonoros de ruído ambiente superiores em mais de 5 dB(A) aos limites estabelecidos pela legislação em vigor).



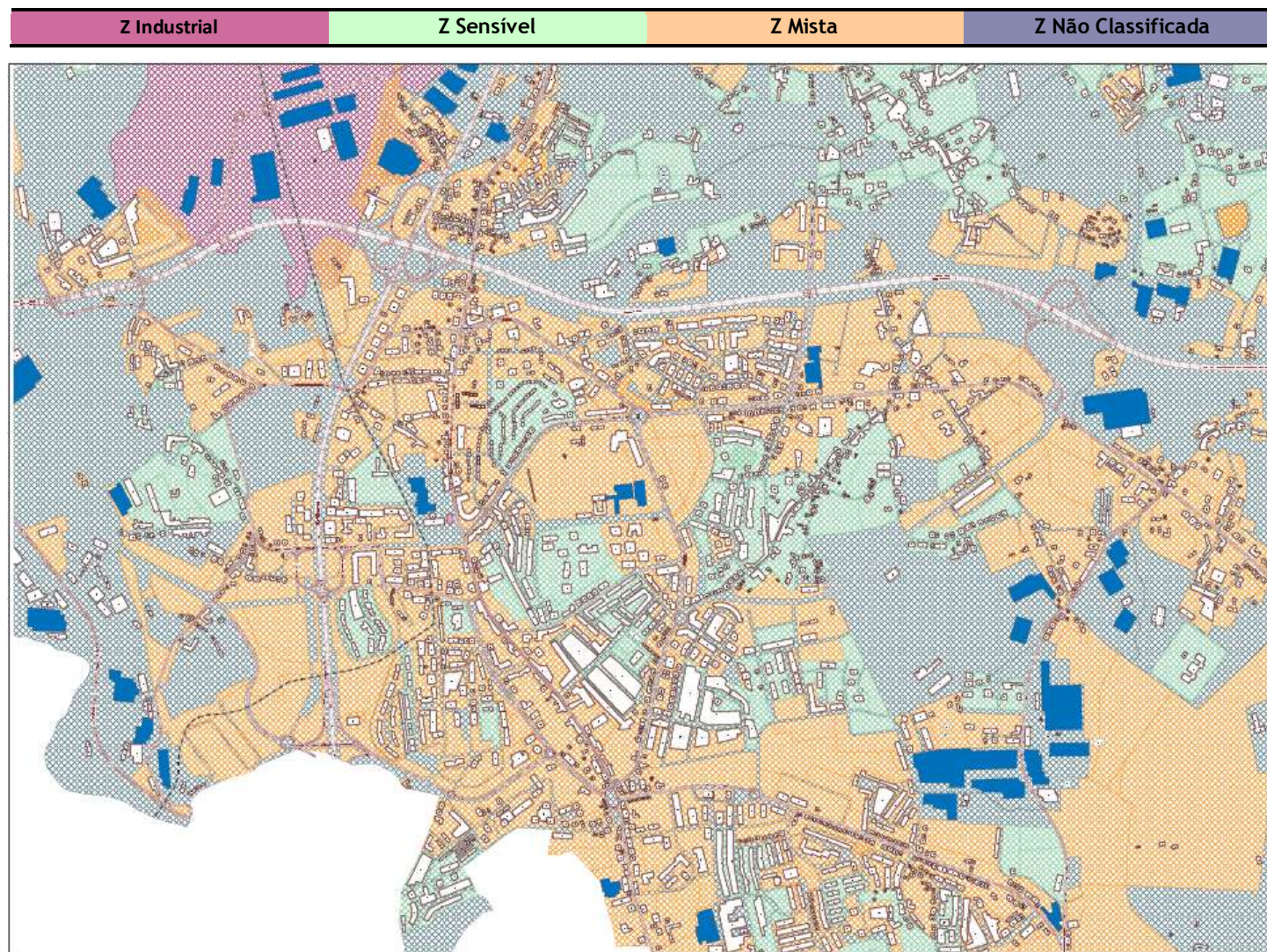


Figura 5. 39 - Extracto da Carta de Classificação de Zonas do concelho para a Zona de Pormenor



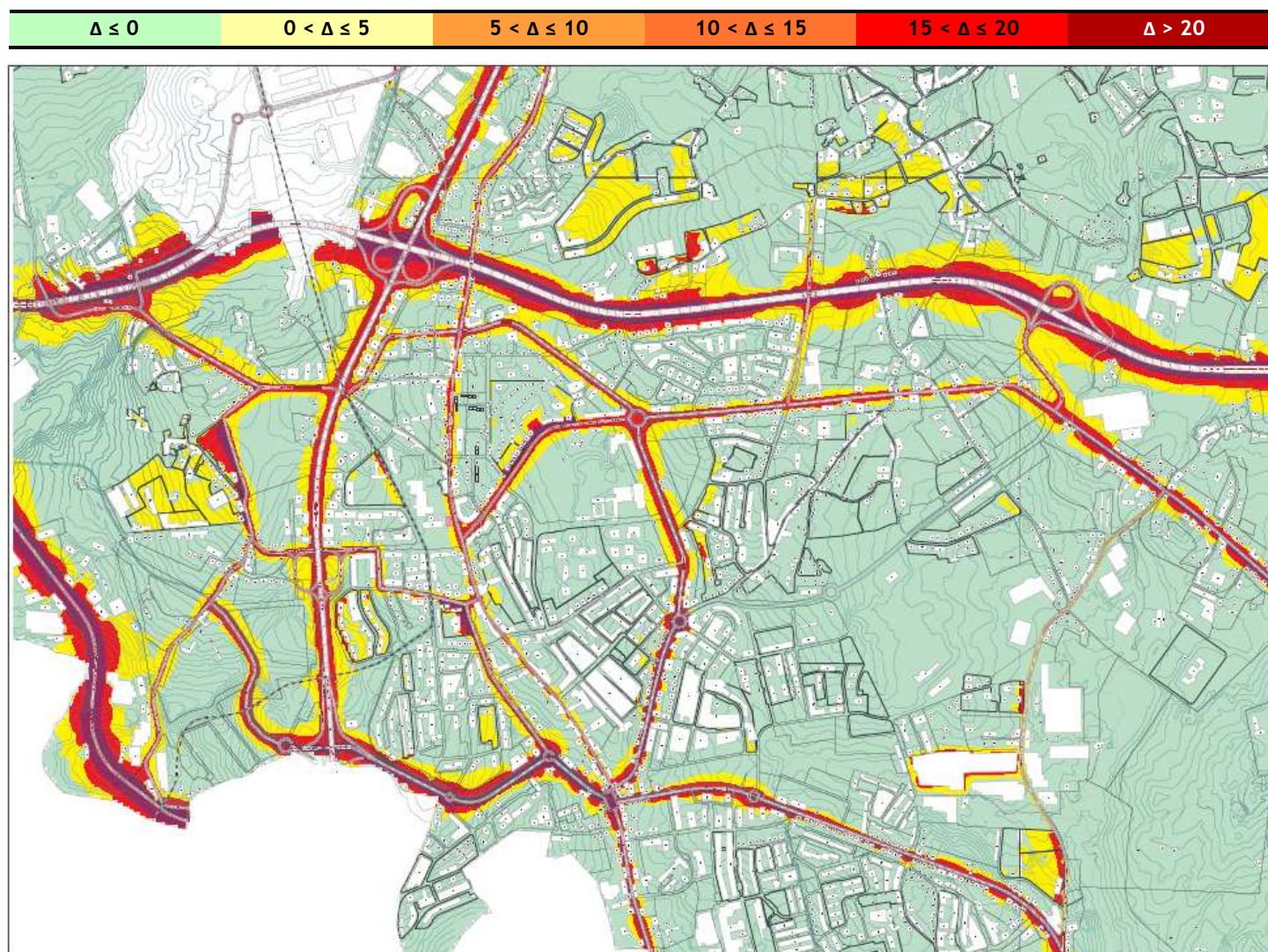


Figura 5. 40 - Mapa de conflitos ( $L_{den}$ ) para a Zona de Pormenor do concelho

Como se pode verificar na Figura 5. 40, as áreas mais próximas dos principais eixos viários de atravessamento e distribuição de tráfego no concelho enfrentam situações de incumprimento. Dado que, principalmente no caso das vias de distribuição de tráfego, o parque edificado se encontra à margem dessas vias considerou-se que o tipo de intervenção mais adequada seria a actuação na fonte sonora. No caso das vias de atravessamento, se bem que a actuação na fonte se pudesse revelar mais eficaz, a opção pela atenuação no percurso de propagação também apresenta vantagens significativas atendendo à configuração dessas vias que, na maioria das situações, se apresenta em perfil de escavação.

Assim, para tentar colmatar as situações de desrespeito do RGR detectadas na área de estudo poder-se-iam propor soluções alternativas de intervenção, nomeadamente:

- *Alteração do pavimento empedrado por pavimento betuminoso tradicional;*
- *Redução da velocidade de circulação em vias municipais cuja velocidade seja superior a 50 km/h;*
- *Colocação de barreiras acústicas em taludes;*
- *Alteração do pavimento empedrado para um pavimento menos ruidoso (camada de desgaste “delgada” e/ou poroelástica).*

Destas quatro soluções ensaiaram-se as duas correspondentes à alteração da camada de desgaste para betuminoso corrente e para um pavimento com características absorventes, apresentando-se na Figura 5. 41, Figura 5. 42 e no Quadro 5. 21 algumas evidências visuais e numéricas. Assim, tanto as figuras apresentadas como o quadro seguinte, indiciam uma resposta favorável, com referência ao ruído ambiente, com vantagem já esperada para a adopção de um pavimento com características absorventes.



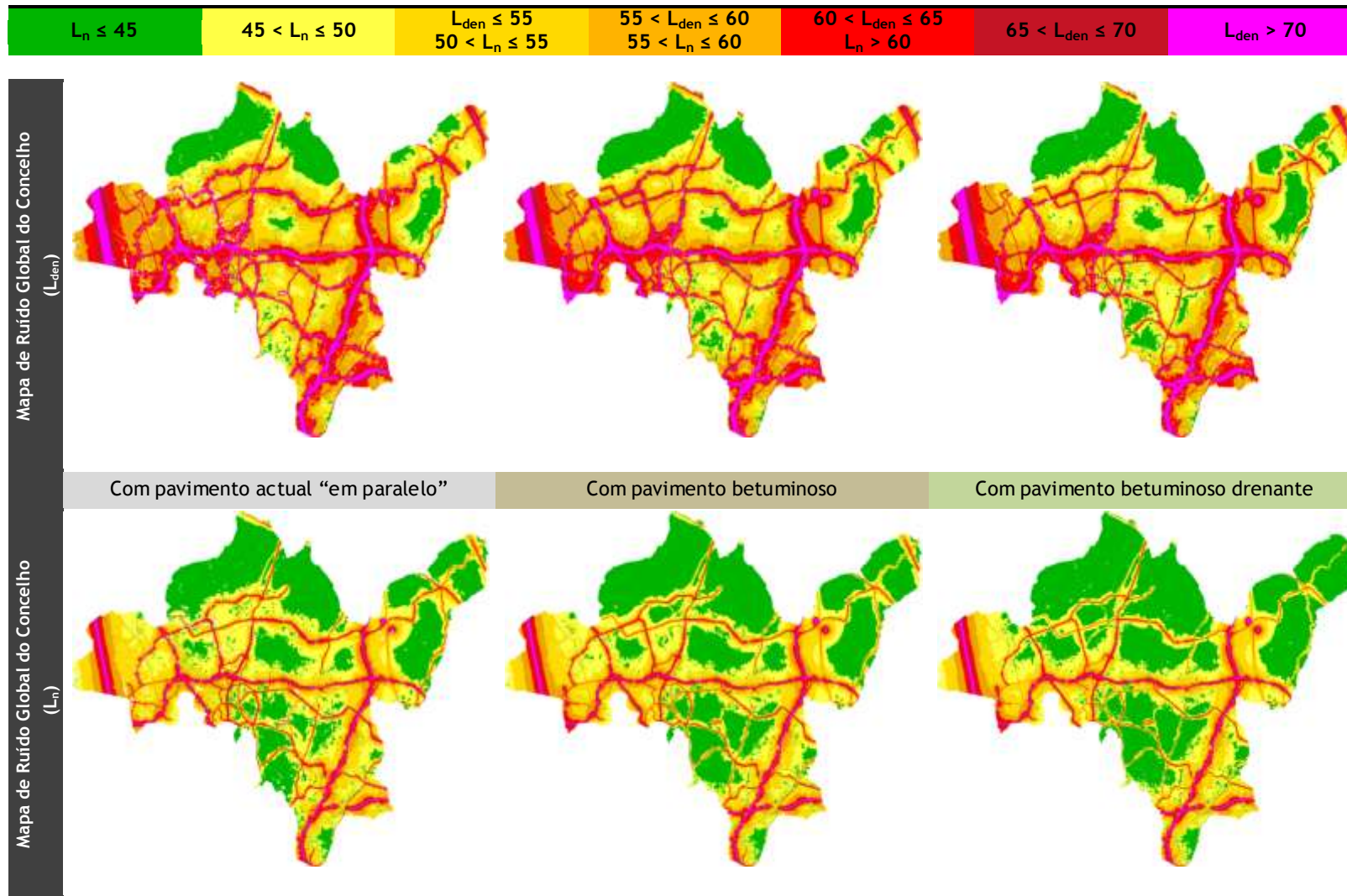


Figura 5. 41 - Avaliação da eficácia da alteração do pavimento actual "em paralelo" por um pavimento betuminoso tradicional ou por um pavimento em betuminoso drenante, considerando a área exposta

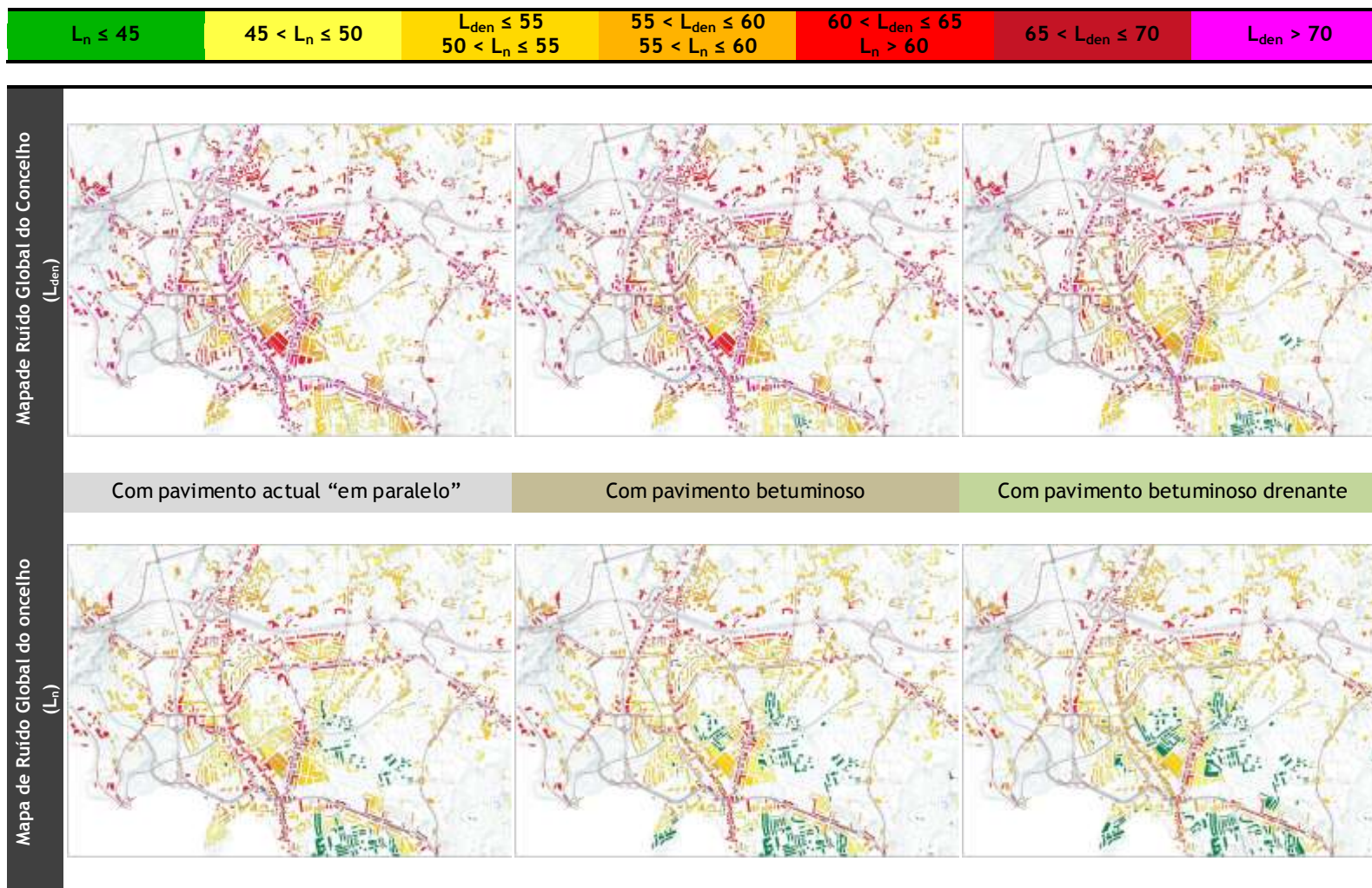


Figura 5. 42 - Avaliação da eficácia da alteração do pavimento actual “em paralelo” por um pavimento betuminoso tradicional ou por um pavimento em betuminoso drenante, em termos de população exposta

Quadro 5. 21 - Quadro resumo da eficácia da alteração do tipo de pavimento nas vias municipais

$L_{den}$ dB(A)	Tráfego Rodoviário											
	EM actuais				EM Betuminoso				EM Drenante			
	(ha)		hab.		(ha)		hab.		(ha)		hab.	
$55 < L_{den} \leq 60$	210,84	21%	6 359	23%	207,76	21%	6 457	23%	203,91	20%	6 265	22%
$60 < L_{den} \leq 65$	164,58	17%	6 560	23%	162,16	16%	5 699	20%	153,16	15%	5 318	19%
$65 < L_{den} \leq 70$	94,99	10%	4 842	17%	98,96	10%	5 474	19%	94,52	9%	6 040	21%
$70 < L_{den} \leq 75$	71,31	7%	4 428	16%	65,85	7%	3 472	12%	56,33	6%	2 038	7%
$L_{den} > 75$	55,10	6%	920	3%	42,07	4%	260	1%	35,96	4%	160	1%
<b><math>L_{den} \geq 65</math></b>	<b>221,40</b>	<b>22%</b>	<b>10 191</b>	<b>36%</b>	<b>206,88</b>	<b>21%</b>	<b>9 207</b>	<b>33%</b>	<b>186,81</b>	<b>19%</b>	<b>8 237</b>	<b>29%</b>
$45 < L_n \leq 50$	250,60	25%	5 547	20%	226,37	23%	6 430	23%	218,95	22%	6 121	22%
$50 < L_n \leq 55$	198,97	20%	6 913	25%	190,28	19%	6 413	23%	181,34	18%	5 714	20%
$55 < L_n \leq 60$	128,42	13%	5 676	20%	130,63	13%	6 513	23%	120,43	12%	6 719	24%
$60 < L_n \leq 65$	80,17	8%	5 652	20%	75,27	8%	4 144	15%	60,79	6%	3 120	11%
$65 < L_n \leq 70$	52,75	5%	1 906	7%	39,22	4%	801	3%	30,83	3%	317	1%
$L_n > 70$	25,74	3%	113	0%	18,91	2%	7	0%	16,64	2%	0	0%
<b><math>L_n \geq 55</math></b>	<b>287,08</b>	<b>29%</b>	<b>13 347</b>	<b>47%</b>	<b>264,03</b>	<b>26%</b>	<b>11 463</b>	<b>41%</b>	<b>228,69</b>	<b>23%</b>	<b>10 156</b>	<b>36%</b>

Do Quadro 5. 21 constata-se que a eficácia da alteração do pavimento é significativa, em termos de população abrangida, revelando um melhor desempenho a alteração do pavimento actual em paralelo para um pavimento com características de absorção sonora. Com esta última opção verifica-se que a percentagem de população exposta a níveis sonoros muito elevados é reduzida (8% em período global e 12% em período nocturno) mas ainda presente o que permite concluir da necessidade de medidas de minimização complementares.

- f) Numa fase posterior, o município tem como responsabilidade a **indicação da eficácia esperada para as medidas de redução de ruído** das quais não é directamente responsável mas que têm repercussões no seu território e na população que dele usufrui.

No presente caso, tem de comunicar à Aenor, Brisa, EP, S.A., ANA e às unidades industriais privadas as implicações que a sua actividade está a criar no concelho, responsabilizando-as pela resolução da situação de incumprimento actual.



Neste concelho e dado que existem algumas entidades gestoras de grandes infra-estruturas de transporte (A3, IP4/A4, IC24/A41), já foram executadas ou em curso de execução algumas intervenções de redução do ruído ambiente, nomeadamente:

- Pela **Brisa** (responsável pela A3 e parte nascente do IP4/A4) que se referem não só à colocação de **Barreiras Acústicas mistas absorventes** como à colocação de **Pavimento drenante**, no caso do alargamento da A3 para 2x4 vias.
- Pela Aenor (responsável pela parte poente do IP4/A4 e pelo IC24/A41) com a colocação de **Barreiras Acústicas mistas absorventes em betão** e em **chapa acrílica transparente colorida** e de **pavimento drenante** no IP4/A4 e no IC24/A41.

No caso da Brisa, a intervenção esteve associada ao alargamento da faixa de rodagem e, como tal, ao aumento da proximidade a construções que pudessem existir na sua proximidade. Nesse contexto foi efectuada uma intervenção de fundo programada no sentido de tentar solucionar as situações de incumprimento.

Quanto à Aenor, as medidas de minimização inserem-se no âmbito da construção do IP4/A4 (ligação da A3 ao IC1/A28) e ao cumprimento do projecto de execução aprovado pela APA. No caso do IC24/A41, a intervenção esteve associada à construção deste itinerário, tanto pela actual concessionária como inicialmente pela EP, SA.

#### **5.5.1.5. Calendarização da execução das medidas de redução de ruído**

À semelhança do enunciado para o caso de estudo anterior, numa situação corrente de desenvolvimento do trabalho em colaboração com o respectivo município, as estratégias de intervenção seriam definidas de forma conjugada e de acordo com as prioridades definidas pelo município e equipa técnica.

#### **5.5.1.6. Resumo do plano municipal de redução do ruído**

(com 10 páginas no máximo, que abranja todos os aspectos relevantes referidos, em linguagem acessível)

## BIBLIOGRAFIA

- ACA-M. 2007. Registo de Pontos Negros, Ordenados por Distrito. *Associação de cidadão auto-mobilizados*. [Online] 2007. [Citação: 29 de Janeiro de 2008.] <http://www.aca-m.org>.
- Almeida, Andreia. 2007. *Análise das condições de aplicabilidade de medidas de acalmia de tráfego*. [Tese de Mestrado] Porto : FEUP, 2007.
- Berglund, B., Lindvall, T. and Schwela, D. 1995. *Community Noise*. [Archives of the Center for Sensory Research, 2: 1-195] Genebra : Organização Mundial de Saúde, 1995.
- Bruel&Kjaer. 2000. *Environmental noise booklet*. Nærum : Bruel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, 2000.
- Carvalho, A.P.O. 2007. *Acústica Ambiental e de Edifícios*. [Textos de apoio à disciplina]. Porto : FEUP, 2007.
- Chase, Mark. 2007. Willow Avenue (Somerville, MA). *Willow Avenue (Somerville, MA)*. [Online] 11 de Outubro de 2007. [Citação: 29 de Janeiro de 2008.] [bp1.blogger.com/\\_TA5aZKnImWc/Rw7Aqie3GQI/AAAAAAAAANK/ekZxehyKI30/s320/speed+cushion.jpg](http://bp1.blogger.com/_TA5aZKnImWc/Rw7Aqie3GQI/AAAAAAAAANK/ekZxehyKI30/s320/speed+cushion.jpg).
- DfT. 2007. Department for Transport - Rumble devices. *Department for Transport*. [Online] 2007. [Citação: 29 de Janeiro de 2008.] <http://www.dft.gov.uk/pgr/roads/tpm/tal/trafficmanagement/rumbledevices>.
- EPD, Environmental Protection Department. 2003. *Guidelines on Design of Noise Barriers*. [Manual] Hong Kong : Transport Department, Government of the HKSAR, Highways Department, Government of the Hong Kong SAR, 2003.
- Fehr & Peers. 2005. Types of Traffic Calming Measures... *Traffic Calming.org*. [Online] Fehr & Peers Transportation Consultants, 2005. [Citação: 29 de Janeiro de 2008.] [www.trafficalming.org](http://www.trafficalming.org).
- FEHRL. 2006. *SILVIA - Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces*. [Manual] Bruxelas : FEHRL, 2006. ISBN 90-9020404-0.
- FHWA, et al. 2000. *FHWA Highway Noise Barrier Design Handbook*. [Report] Washington DC : Federal Highway Administration, 2000.
- Haines, M.M., et al. 2001. The West London Schools Study: the effects of chronic aircraft noise exposure on child health. *Psychological Medicine*. Cambridge University Press, 2001, 31, p. 1385±1396.



Huang, H. F. e Cynecki, M. J. 2001. *The Effects of Traffic Calming Measures on Pedestrian and Motorist Behaviour*. [REPORT NO. FHWA-RD-00-104] Washington, DC, : Federal Highway Administration, 2001.

IA, Instituto do Ambiente, et al. 2007. *Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído*. [Guia] Amadora : Instituto do Ambiente, 2007.

IA, Instituto do Ambiente, et al. 2004. *O ruído e a cidade*. [Livro] Lisboa : Instituto do Ambiente, 2004. ISBN - 972-8419-91-0.

IBGE, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. 2003. *Vademecum du bruit routier urban*. Bruxelas : IBGE, 2003.

IMAGINE Consortium. 2007. *D12/D13 - Rail noise database and manual for implementation*. [WP6: Rail Noise Sources] s.l. : IMAGINE Consortium (DeltaRail UK; DeltaRail NL; TNO; SP), 2007. IMA6TR-061015-AEATUK10.

INE. 2002. *Censos 2001: Resultados Provisórios*. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística, 2002. ISBN: 972-673-547-5.

—. 2007. *Estimativas Provisórias de População Residente, 2006, Portugal, NUTS II, NUTS III e Municípios*. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2007. ISBN 978-972-673-935-7.

INE, Instituto Nacional de Estatística. 2001. *Censos 2001*. [Relatório] Lisboa : INE, I.N.E., 2001. ISBN 972-673-610-2.

IPG. 2002. *Innovatie programma geluid voor weg - spoorverkeer. Innovatie programma geluid*. [Online] Ministry of Transport, Public Works and Water Management (V&W), 2002. [Citação: 27 de 11 de 2007.]  
<http://www.innovatieprogrammangeluid.nl/GBdefault.asp>.

Kotzen, Benz e English, Colin. 1999. *Environmental Noise Barriers: Guide to their Visual and Acoustic Design*. London : E & FN Spon, 1999. ISBN 0203-017331-1.

Larsen, L.E. e Bendtsen, H. 2001. *Noise reduction with porous asphalt - costs and perceived effect*. Lyngby, Dinamarca : Danish Transport Research Institute, 2001.

MAOTDR, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. 2007. *Regulamento Geral do Ruído*. [Diário da República Electrónico] Lisboa : INCM - Imprensa Nacional Casa da Moeda, 2007. DL n.º 9/2007.

Nilsson, Nils-Åke, Malzer, Henrik and Höjer, Martin. 2007. *Quantification of effect of contributing parameters to wheel/infrastructure noise - Refine & optimise the road surface: Field studies of the poroelastic road surface*. [DELIVERABLE D 3.26] s.l. : QCITY - Quiet City Transport, 2007. FP6-516420.

**Partington, Peter. 1999.** speed bumps. *Traffic calming*. [Online] 1999. [Citação: 29 de Janeiro de 2008.] [http://www.trafficalming.net/speed\\_humps.htm](http://www.trafficalming.net/speed_humps.htm).

**Passchier-Vermeer, W. 1993.** *Noise and Health*. The Hague : Health Council of the Netherlands, 1993.

**Pelicano, Aviação Ultraligeira. 2007.** Aerodromos em Portugal. *Pelicano - Aviação Ultraligeira*. [Online] Júlio César, 2007. [Citação: 28 de Janeiro de 2007.] <http://www.pelicano.com.pt/zmapa.html>.

**Pischinger e al. 1995.** *Tempo 30/50 in Graz (Speed limit 30/50 in Graz)*. [Series of Publications of the Institute for Railway Engineering and Transport Economy and the Institute for Highway Engineering and Transportation Planning at the Graz University of Technology] Graz, Austria : Graz University of Technology, 1995.

**Qcity. 2008.** Qcity. *Qcity*. [Online] Qcity, 2008. [Cited: 15 03 2008.] <http://www.qcity.org>.

**REFER EP, Rede Ferroviária Nacional. 2007.** Directório da rede. *Rede Ferroviária Nacional*. [Online] REFER EP, 2007. [Citação: 28 de Janeiro de 2007.] <http://www.refer.pt/pt/rede.php?id=620&idold=618>.

**Saint-Gobain Glass, . 2000.** *Manual do Vidro*. [ed.] HDL Design. Paris, França : Saint-Gobain Glass, 2000.

**Sandberg, U. and Ejsmont, J. 2002.** *Tyre/road noise reference book*. Kisa, Sweden : INFORMEX, 2002. ISBN: 91-631-2610-9.

**Westhauser e al., et. 2004.** *Ein Leitfaden zur Verkehrsberuhigung (A manual for traffic noise abatement)*. [[http://www.noel.gv.at/service/ru/ru7/Downloads/t30\\_leitfaden.pdf](http://www.noel.gv.at/service/ru/ru7/Downloads/t30_leitfaden.pdf).] Amt der NÖ Landesregierung, Austria : Austrian Government, 2004.

**WG-AEN, European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise. 2007.** *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, 2ª versão*. [Guia] Bruxelas : European Commission, 2007.

**Wikipedia. 2008.** Speed bump - Wikipedia, the free encyclopedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. [Online] 6 de Janeiro de 2008. [Citação: 29 de Janeiro de 2008.] [http://en.wikipedia.org/wiki/Speed\\_bump](http://en.wikipedia.org/wiki/Speed_bump).



# ANEXOS





## ANEXO 1: TÉCNICAS PARA REDUÇÃO DE RUÍDO

### A1.1. Generalidades

A poluição sonora é um dos principais factores de degradação da qualidade de vida nas zonas edificadas. De entre todos os factores que contribuem para a poluição sonora, o ruído de tráfego (especialmente do tráfego rodoviário) constitui uma das causas de incomodidade mais significativa.

No entanto, as tentativas para a sua redução nem sempre são tão eficazes como seria de esperar pelos resultados das previsões, uma vez que depende de diversos factores como a frequência do sinal, o modo de propagação das ondas sonoras e os fenómenos de difracção e absorção, cujo comportamento prático não é linear nem directamente cumulativo.

Esta situação é particularmente gravosa dado que, em 1996 e segundo o Livro Verde da Comissão Europeia “*Futura Política de Ruído*”, cerca de 20% da população da União Europeia (na altura, aproximadamente 80 milhões de pessoas) se encontrava exposta a níveis sonoros superiores aos considerados aceitáveis (superiores a 65 dB(A)) e cerca de 170 milhões de pessoas se encontravam expostas, em período diurno, a níveis de ruído ligeiramente mais baixos, mas suficientemente elevados para se sentirem seriamente incomodadas (entre 55 e 65 dB(A)).

No mesmo ano, a então denominada DGA (Direcção Geral do Ambiente) efectuou um estudo, cuja 1ª edição foi publicada em 1996, intitulado “*Ruído Ambiente em Portugal*”, estimando em cerca de 43% a fracção da população portuguesa que considerava usufruir de conforto acústico no interior das suas habitações e em 19% a população em risco por habitar zonas com elevado nível sonoro de ruído ambiente (com  $L_{Aeq, diurno}$  superior a 65 dB(A)).

Nesse mesmo estudo, reconheceu-se que 30% da população residente em Portugal era afectada pelo ruído de tráfego rodoviário, suportando níveis de pressão sonora, no período diurno, superiores a 55 dB(A).

Posteriormente, em 1999, a Organização Mundial de Saúde estimou que cerca de 40% da população da União Europeia estava sujeita a elevados níveis sonoros ( $L_{Aeq}$  superior a 55 dB(A)) no período diurno e que, aproximadamente, 20% ocupava zonas em que os mesmos níveis excediam os 65 dB(A). No mesmo relatório foi ainda apresentada uma estimativa que considerou que mais de 30% da população suportava níveis sonoros superiores a 55 dB(A), em período nocturno.

No entanto, estimativas mais recentes, publicadas pela *European Environment Agency* (EEA) em 2003, indicam que o número de pessoas afectadas pelo ruído teve um aumento significativo, sendo que mais de 30% da população europeia estaria então sujeita a um nível sonoro superior a 65 dB(A) e dos quais cerca de 10% apresenta graves distúrbios de sono. Como manifestações ocasionadas pelo excesso de ruído foram ainda mencionadas a perda de qualidade de vida, as perturbações significativas nas actividades diárias coadjuvadas pelo aumento do *stress* ou da dificuldade de concentração que induziram severas perdas de produtividade e degradação das condições de saúde da população em geral, identificados pela Organização Mundial de Saúde como problemas de saúde clinicamente comprovados.

Aliás, a ligação entre problemas de saúde e elevados níveis sonoros tem vindo a assumir maior relevância, existindo mesmo estudos científicos (Dinamarca, 2003) que demonstram a relação entre ruído rodoviário e episódios de aumento da pressão sanguínea e da frequência de doenças cardíacas, algumas das quais com necessidade de tratamento hospitalar e outras nas quais resultou a morte dos pacientes. No estudo mencionado, estima-se que os custos de saúde devidos ao excesso de ruído representam anualmente entre 80 e 450 milhões de euros.

Além dos custos de saúde associados ao ruído, podem-se identificar outras situações em que esse efeito adverso seja sentido, nomeadamente, na eventual redução do valor dos imóveis que a ele estejam sujeitos sem qualquer tipo de contrapartida indirectamente compensatória (por exemplo, uma maior proximidade a vias de primeira importância que garantam boas condições de mobilidade), nos custos associados à perda de qualidade de vida e ao próprio custo das medidas de minimização necessárias para cumprir os limites legais definidos.

No entanto e apesar dos elevados custos globais associados ao ruído de transportes serem difíceis de determinar, é absolutamente claro que a magnitude dos benefícios retirados da minimização do ruído ambiente excedem largamente os custos de investimento e como tal são plenamente justificáveis.

Apesar dos recursos já disponibilizados para investigação e aplicação das mais diversas formas de minimização do ruído de transportes, existe a consciência de que ainda se poderá evoluir na prossecução de soluções técnicas que possibilitem maior eficácia das medidas de minimização existentes e daquelas que se ainda se encontram em desenvolvimento seja por actuação objectiva na fonte produtora de ruído, ou por intervenção no meio de propagação ou, como solução de recurso, directamente no receptor.

## A1.2. Redução do ruído na fonte

### A1.2.1. Bases

A intervenção directa na fonte sonora implica o conhecimento das características de emissão dos seus potenciais contribuintes para a produção de ruído.

Num contexto de ruído essencialmente urbano, o ruído de transportes apresenta grande variabilidade de emissão sonora relacionada não só com as características dos veículos como também do meio onde circulam e ainda da gestão de tráfego efectuada pelo município. Cada um destes assuntos, em particular, será abordado nos pontos seguintes.

### A1.2.2. Tráfego rodoviário

#### A1.2.2.1. Características dos veículos

Considerando o veículo como um todo e tendo em atenção todas as componentes que se podem identificar como fontes de emissão sonora (ver Figura A1. 1), não é fácil contribuir para a redução da emissão sonora. Aliás pouco mais se pode fazer do que não alterar as características do veículo (por exemplo, “*tunning*”), eventualmente, adquirir pneus menos ruidosos e adoptar uma forma de condução “suave”, dado que o ruído aerodinâmico, directamente relacionado com a velocidade de circulação, também apresenta alguma preponderância no cômputo final do ruído de um veículo (pode significar um acréscimo de emissão sonora de 12 dB por duplicação da velocidade).

Assim, a melhoria das características técnicas dos veículos está ligada à pesquisa e avanço tecnológico efectuado pela indústria automobilística, que tem sido fomentada pela União Europeia com o estreitamento dos limites de emissão dos diferentes tipos de veículos, publicados nas mais diversas Normas e Directivas Europeias e apoiado por toda a comunidade como forma de melhorar o meio ambiente e o bem-estar quotidiano.

Esta situação tem vindo progressivamente a melhorar com a renovação do parque automóvel ao serem substituídos os veículos mais antigos e ruidosos, por outros mais recentes e com tecnologia e equipamentos menos ruidosos.

Actualmente, a principal fonte de ruído é constituída pela interacção pneu/estrada, mesmo em condições de reduzida velocidade de circulação, como aquelas que ocorrem na maior partes das artérias municipais. Uma das formas de se combater

este tipo de ruído (interacção pneu/estrada) passa pela alteração dos materiais e padrões dos pneus utilizados. Este assunto já foi objecto de estudo pelos fabricantes, tendo-se concluído da possibilidade de obter bons resultados com uma mudança para pneus menos ruidosos.

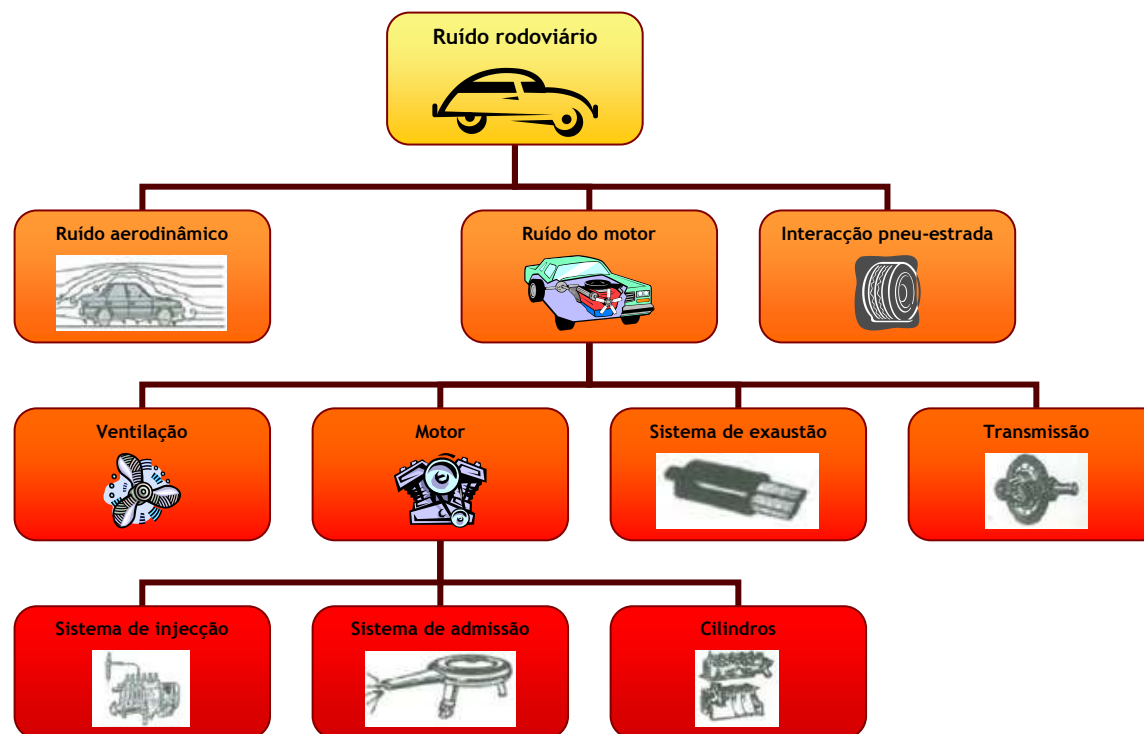


Figura A1. 1 - Fontes de emissão sonora num veículo ligeiro [adaptado de(Sandberg, et al., 2002)]

### A1.2.2.2. Características das vias

As *vias de comunicação terrestre* interferem, de forma muito significativa, no ruído ambiente de uma dada área. Não só no contexto da sua utilização mas, muito especialmente, no das suas características superficiais, ou seja, nas características da camada de desgaste (superfície de rolamento). Considerando que os veículos cumprem todas as condições legais de circulação (técnicas, de manutenção e de velocidade) e que as superfícies de desgaste se apresentam em boas condições de conservação, o ruído dominante passa a ser (na maior parte das situações) o ruído de rolamento resultante da interacção pneu/estrada.

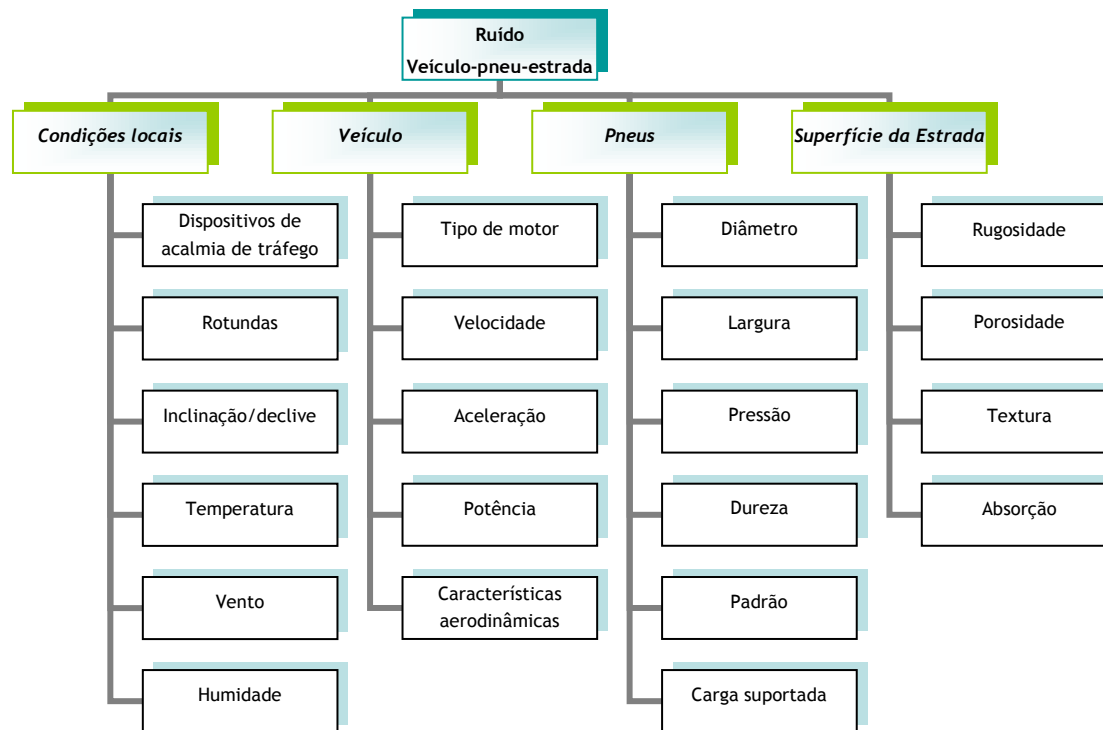


Figura A1. 2 - Influência das características da estrada, veículo e pneus no Ruído Rodoviário [adaptado de(FEHL, 2006)]



Enquanto a *forma de condução e o tipo de pneus* utilizados só influenciam a emissão sonora, o tipo de pavimento definido e posteriormente construído afecta não só a emissão sonora como a própria forma de propagação desse ruído, materializada pela rugosidade e textura da camada de desgaste, pela porosidade e absorção, composição e estrutura desse pavimento, além da sua própria deformabilidade (como se pode visualizar na Figura A1. 2).

Como exemplo da *influência da deformabilidade* na menor produção de ruído, podem-se referir pavimentos cuja camada de desgaste envolve a incorporação de materiais resilientes (por exemplo, “borrachas” provenientes de pneus reciclados) que, ao serem bastante mais deformáveis do que os pavimentos tradicionais, actuam não só na redução directa do ruído de rolamento (por redução do denominado “efeito corneta”<sup>3</sup>) como na minoração das ondas reflectidas (por absorção nas camadas porosas da estrutura do pavimento), reduzindo assim o ruído final propagado.

Convém ainda salientar, a importância dos *factores meteorológicos* (como a chuva, a velocidade e direcção do vento e a temperatura) na propagação sonora, aos quais se podem associar os factores correspondentes às condições territoriais (perfil longitudinal e transversal, ocupação marginal, dispositivos de acalmia de tráfego, etc.) que podem influenciar tanto a emissão como a propagação sonora e que se podem considerar muito relevantes no ruído ambiente percebido num determinado receptor.

A Figura A1. 3 é eloquente em relação às diferenças entre os mecanismos de propagação sonora de uma camada de desgaste reflectora e porosa. Num pavimento reflector, o receptor quase que receberá o dobro da energia sonora emitida, pela criação de uma “*fonte sonora imagem*”, na zona de reflexão no pavimento (o pavimento funcionará como um “*espelho*” da fonte sonora inicial). Já numa camada de desgaste porosa (vulgo, “*pavimento drenante*”) a acumulação dos fenómenos de reflexão, absorção e difracção cria condições para que a energia recebida nos receptores mais expostos seja mais próxima da onda directa, surgindo a componente reflectida como residual.

---

<sup>3</sup> “*Efeito corneta*” - é um fenómeno que ocorre quando um pneu circula sobre um dado pavimento. A libertação do ar contido no rasto do pneu e comprimido contra o pavimento efectua-se de uma forma progressiva e não instantânea e, como tal, provoca um ruído, com uma frequência superior aos 1000 Hz, que é amplificado pelo próprio rasto do pneu. Neste contexto, a utilização de pneus “*slick*” (sem rasto) seria a mais indicada para redução do ruído da interacção pneu-pavimento.

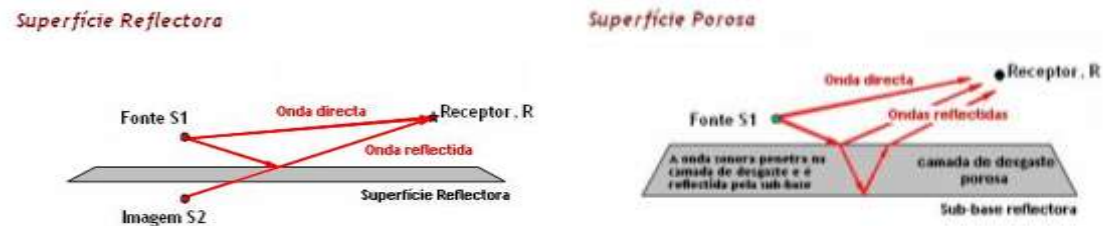


Figura A1. 3 - Mecanismos de propagação sonora de uma camada de desgaste [adaptado de (FEHRL, 2006)]

Quanto às *características da camada de desgaste*, foi desenvolvido um estudo aprofundado dos diversos pavimentos existentes, projecto SILVIA, a nível da União Europeia, que culminou, em 2006, na apresentação do “*Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces*” onde foi avaliada a capacidade de redução sonora de diferentes tipos de superfícies de desgaste, os custos e benefícios de cada solução, a sua forma de interligação com outras medidas de redução sonora e dadas indicações sobre as condições de aplicabilidade das diferentes soluções para os diversos países.

Neste estudo, identificaram-se as principais características que afectam o desempenho acústico das superfícies: *textura*, *porosidade* e *rigidez*, sendo também analisada a sua interferência com as condições de segurança na circulação rodoviária, o consumo de combustível e a relação durabilidade/economia.

Algumas das soluções que actualmente se encontram em uso na Europa consistem na utilização de camadas de desgaste realizadas com misturas betuminosas abertas ou com misturas descontínuas e tratamentos superficiais (descritos com maior detalhe no subcapítulo A1.7.2.2).

Relativamente às misturas descontínuas abertas podem-se considerar as seguintes categorias de camadas de desgaste:

- a) *Betão betuminoso drenante de camada única (BBDr)*;
- b) *Mistura betuminosa delgada (MBD)*;
- c) *Mistura betuminosa de granulometria descontínua (MBGD)*.

As camadas de desgaste em **betão betuminoso drenante de camada única (BBDr)** são constituídas por uma mistura betuminosa de granulometria descontínua, formulada de modo a obter-se uma percentagem importante de vazios comunicantes (20% a 28% do seu volume), para facilitar a passagem de água e favorecer a absorção do ruído.

As camadas de desgaste **em mistura betuminosa delgada (MBD)** são, quase sempre, uma mistura de materiais com uma espessura entre os 20 e os 40 mm. São constituídas por agregados com uma elevada percentagem de vazios preenchidos com argamassa betuminosa ou mástique. Os agregados vão desta forma aumentar a sua resistência à deformação e preenchimento confere resistência à fadiga.

As camadas de desgaste em **mistura betuminosa de granulometria descontínua (MBGD)** (microbetão betuminoso rugoso) são superfícies betuminosas caracterizadas por agregados grosseiros preenchidos por uma mástique de betão, material de enchimento, areia e fibras, criando assim uma elevada resistência a deformações e um aumento da durabilidade.

Relativamente aos tratamentos superficiais os pavimentos podem assumir a forma de:

- a) *Exposição dos agregados;*
- b) *Superfície de betão texturado longitudinalmente;*
- c) *Superfície de betão riscada longitudinalmente;*
- d) *Revestimentos superficiais em resinas epoxídias.*

A **exposição dos agregados** é um método em que a camada superficial superior é retirada antes de endurecer, ficando assim expostos os agregados do betão. Este tipo de solução para superfícies necessita de uma técnica construtiva específica e de agregados de qualidade que, apesar de serem apenas necessários à superfície, têm de ser colocados em toda a espessura da camada.

A **superfície de betão texturado longitudinalmente** é uma superfície texturada “em fresco”, ou seja, quando o betão ainda se encontra fresco colocam-se sobre o pavimento “sacos de serapilheira” na direcção longitudinal, de forma a criar texturas no betão que proporcionarão redução do ruído de circulação.

A **superfície de betão riscada longitudinalmente** é uma superfície de betão alisada com um conjunto de discos de diamante espaçados regularmente que formam ranhuras longitudinais, finas e paralelas, criando assim pequenas irregularidades na

superfície que irão atenuar o nível de ruído. Contudo, esta técnica não cria trepidações anormais na direcção dos veículos tendo como principal desvantagem os elevados custos.

Os **revestimentos superficiais em resinas epoxídias** são superfícies de acabamento que consistem num camada de ligante em resina que é densamente espalhada com agregados polidos altamente resistentes de pequena espessura, cuja classificação está associada à dimensão e natureza dos agregados e ao tipo de ligante. Alguns exemplos de soluções comerciais actualmente em uso são: *PAVATEX*, *ITALGRIP*, *GRIPROAD*, *EP-GRIP*. São superfícies normalmente usadas em zonas críticas duma via como por exemplo curvas rápidas ou junções, principalmente devido ao reduzido tempo de construção e ao facto de manter as suas características de redução de ruído ao longo do tempo. Contudo, são tratamentos dispendiosos e com elevada dificuldade de reciclagem. No Quadro A1. 1 apresentam-se alguns valores de medições acústicas retirados do projecto Europeu *SILVIA* para diferentes tipos de superfícies menos ruidosas.

Quadro A1. 1 - Desempenho acústico de pavimentos [adaptado de (FEHRL, 2006)]

Tipos de Pavimentos	Veículos ligeiros L <sub>Aeq</sub> em dB(A) 110 km/h
Betão betuminoso drenante de camada única	79,1
Camadas de desgaste delgadas em mistura betuminosa	82,3
Mistura betuminosa de granulometria descontínua	82,2
Exposição dos agregados	83,9
Superfícies de betão texturado longitudinalmente	84,6

Actualmente, também se utiliza outro tipo de pavimento com características menos ruidosas denominado **betume modificado com borracha (BMB)**, que é um tipo de superfície resultante da adição de borracha reciclada de pneus (cerca de 22%) ao betuminoso tradicional. Este facto torna a sua resistência à fadiga cerca de 10 vezes superior à de um betuminoso tradicional, além de possuir maior resistência às deformações permanentes (tornando a sua utilização aconselhável na reabilitação de estradas com pavimentos muito fissurados) e uma menor distância de travagem. Relativamente à redução sonora proporcionada (para o ruído do tráfego rodoviário) esta situa-se na ordem dos 5 a 6 dB(A) [www.recipav.pt] .

#### A1.2.2.3. *Gestão do tráfego*

Do conjunto de soluções de redução do ruído disponíveis, as medidas de gestão do tráfego são aquelas que se apresentam como as de aplicação “mais simples” e com menor impacto económico (descritas com maior detalhe no subcapítulo A1.7.2.3).

Algumas das técnicas possíveis incluem a reorganização da circulação urbana rodoviária, tentando fazer uma repartição primária do tráfego entre aquele inerente às movimentações internas do município e o tráfego de passagem.

Para o **tráfego de passagem** são, frequentemente, criadas as denominadas variantes urbanas, que não são mais do que novas vias mais aptas a receber este tipo de tráfego que estabelecem desvios de determinadas rotas retirando-o de zonas consideradas Sensíveis.

No caso das **movimentações internas**, a minimização do problema passa por um estudo aprofundado para caracterização da situação existente e posterior análise das diversas alternativas de actuação, uma vez que a sua implementação irá influenciar a mobilidade dos automobilistas e toda a área circundante à zona problemática de ruído, podendo acarretar, entre outras consequências, o aumento do nível sonoro nas zonas através das quais se irá realizar a distribuição do tráfego circulante.

Além da reorganização do circuito viário municipal, outra das áreas de intervenção possível consiste na limitação da **velocidade de circulação rodoviária**. O excesso de velocidade praticado é, muitas vezes, responsável pela poluição sonora sentida nas

imediações dos eixos rodoviários. Assim, deverão ser tomadas medidas de controlo da velocidade de circulação (como exemplo, Figura A1. 4), não só pela sua redução como também através de medidas que proporcionem uma circulação menos rápida mas mais fluida, sem movimentações bruscas de paragem e aceleração.



Figura A1. 4 - Exemplo de banda sonora (DfT, 2007)

Outra das preocupações do excesso de poluição sonora está relacionada com o número de veículos pesados que atravessam ou abastecem o município. São veículos que emitem um nível de ruído superior ao dos veículos ligeiros, apresentam fraca mobilidade podendo originar situações de conflito no trânsito citadino. Devem por isso ser estudadas soluções de **restrição à circulação de veículos pesados**, parcial ou total, principalmente em zonas Sensíveis.

A **promoção do uso de transportes públicos** também favorece de um modo importante a redução do ruído de tráfego rodoviário. Apesar dos transportes públicos serem veículos pesados (originam em geral um nível ruído superior ao de um transporte ligeiro, excepto soluções como metro de superfície, veículos eléctricos ou a

gás), como são um meio de transporte que acomoda dezenas de pessoas simultaneamente, a comparação do nível sonoro global ponderado é francamente favorável aos transportes públicos. Além disso, as suas rotas encontram-se bem definidas, podendo-se desta forma controlar com muito maior exactidão que zonas serão afectadas pelo seu ruído e em que períodos do dia.

Outras formas de combate à produção de ruído com o auxílio de uma gestão do tráfego são o **incentivo ao uso meios de transporte alternativos** como as bicicletas e os percursos a pé. Estas medidas normalmente necessitam que se façam obras de beneficiação/adaptação das vias públicas, com o alargamento dos passeios e criação de ciclovias, de forma a não existirem conflitos com o tradicional tráfego urbano.

### A1.2.3. Tráfego ferroviário

#### A1.2.3.1. Características dos veículos

À semelhança do que acontece com os veículos rodoviários, as composições ferroviárias apresentam múltiplas fontes de ruído que resultam num mecanismo muito complexo de produção de ruído. As características do ruído emitido por cada uma dessas fontes sonoras dependem de vários factores como: o tipo de composição, a velocidade de circulação e a carga transportada, etc.

O ruído proveniente dos veículos ferroviários pode-se dividir em vários componentes consoante a contribuição sonora dominante. Assim, podem-se individualizar as seguintes fontes sonoras:

- **Ruído de tracção** (como motores, sistemas de ventilação, transmissão, etc.) preponderante até cerca de 50 km/h;
- **Ruído da interação roda/carril** predominante entre os 50 km/h e os 270 km/h;
- **Ruído aerodinâmico** dominante a partir de cerca de 270 km/h.

Conforme se pode visualizar na Figura A1. 5, verifica-se que o **ruído de rolamento** é geralmente o contribuinte mais importante do conjunto das fontes sonoras dos veículos ferroviários, dependendo não só da vibração do sistema roda/carril como também da rugosidade da interface entre estes dois elementos.



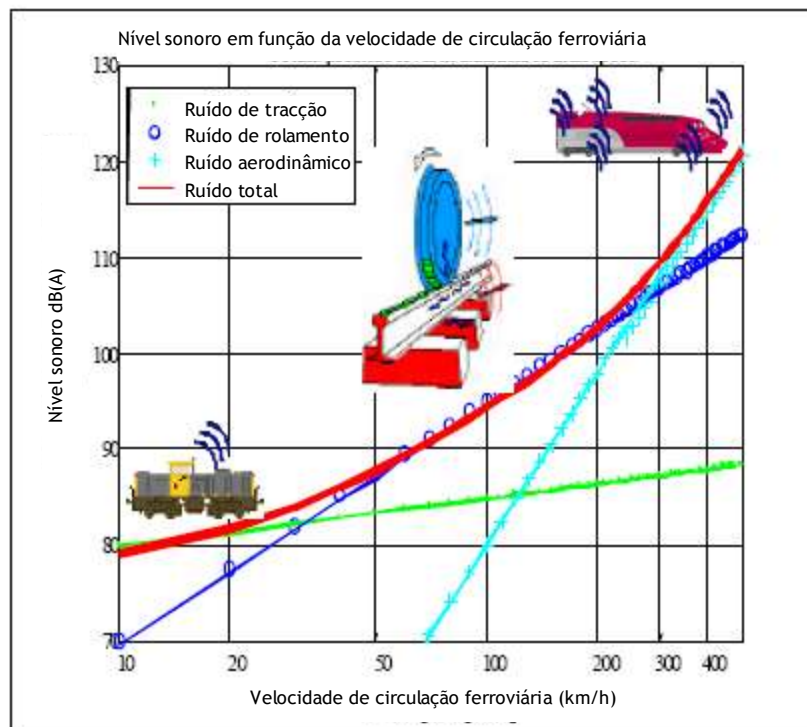


Figura A1. 5 - Fontes de ruído ferroviário [adaptado de (IMAGINE Consortium, 2007)]

O conhecimento desses factores é de fundamental importância para a sua previsão e controlo que resulta da consideração para cada carruagem de diversas fontes pontuais a variadas alturas (ruído aerodinâmico, ruído de tracção e ruído de rolamento [com repartição das fontes da interacção entre roda e carril]) (ver Figura A1. 6) e, posteriormente, de várias fontes lineares (nas alturas previamente consideradas) resultantes da circulação conjunta de várias composições durante um período de tempo predefinido.

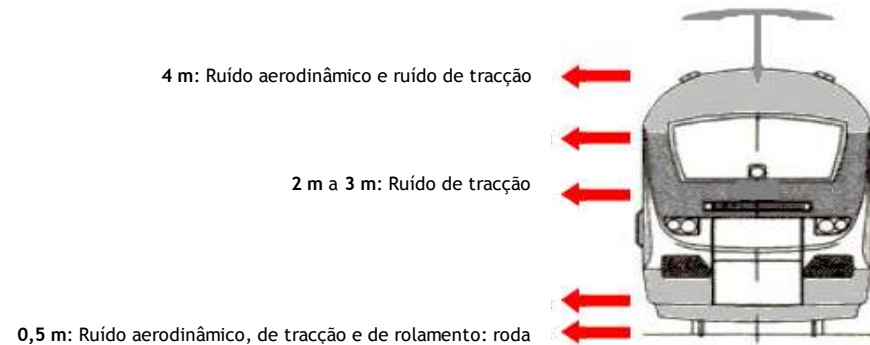


Figura A1. 6 - Fontes de ruído uma composição ferroviária [adaptado de (IMAGINE Consortium, 2007)]

Salienta-se ainda a importância de conhecer o regime de funcionamento das composições ferroviárias no local de avaliação do impacto sonoro, dado que a potencial contribuição das diversas fontes sonoras pode variar. Nomeadamente, de acordo com o facto do receptor se localizar na proximidade duma estação (aceleração, travagem ou regime estacionário), numa zona de curva ou em “regime livre” (zona linear do traçado), conforme se pode observar no Quadro A1. 2.

Quadro A1. 2 - Potenciais fontes sonoras na circulação ferroviária [adaptado de (IMAGINE Consortium, 2007)]

Condições de Circulação	Ruído de rolamento e de impacto	Ruído de tracção	Ruído de travagem	Silvo em curva	Ruído aerodinâmico
Aceleração constante	X	X	X (variável)	X	X
Em travagem	X	X	X	X	X
Em aceleração	X	X		X	X
Em curva	X	X	X	X	X
Estacionário		X			

#### A1.2.3.2. Características das vias

À semelhança do que se passa com o ruído provocado pelos veículos rodoviários, o ruído ferroviário em baixas velocidades é predominantemente gerado pelo motor, aumentando com a velocidade a preponderância ruidosa da interacção roda/carril e, posteriormente, do ruído aerodinâmico, sendo normalmente a interacção roda/carril a principal componente deste ruído.

O ruído da interacção roda/carril é provocado pelo contacto brusco e irregular entre as rodas e os carris. A redução deste tipo de ruído assenta em duas áreas, a redução das irregularidades dos carris e das rodas, e a redução das vibrações através duma optimização das estruturas, amortecimentos e protecções.

Torna-se assim importante conseguir controlar as irregularidades de modo a reduzir a rugosidade dos carris e o achatamento das rodas. A manutenção dos veículos e das linhas é assim uma actividade de elevada importância de forma a se alcançar um ruído o menor possível. Este tipo de anomalias pode aumentar o ruído em 10 a 20 dB(A).

Possíveis soluções para este problema são a colocação de travões de disco sintéticos em vez de travões mais usuais. Actualmente, existem no mercado soluções de travões do tipo “K” que conseguem uma redução de 8 a 10 dB(A), estando ainda em estudo soluções de travões do tipo “LL” que se espera que obtenham uma redução de 6 a 9 dB(A), não estando esta ainda suficientemente quantificada. A desvantagem de blocos “K” em comparação com os “LL” é a necessidade de reconfiguração do sistema de travagem dos veículos aumentando desta forma o seu custo.

Outra forma de controlar o ruído na fonte consiste na redução do número de rodas (diminuindo assim o número de fontes de ruído), ou recorrendo a técnicas de insonorização dos carris, como sejam o uso de prendedores elásticos de amortecimento de carris.

No projecto “*Silent Freight and Silent Track*”, foram indicados alguns valores para a redução sonora obtida pela conjugação de diferentes tipos de tratamentos nos rodados e nos carris que resumidamente se apresentam no Quadro A1. 3.

Quadro A1. 3 - Atenuações proporcionadas por intervenção conjunta em rodado e carril

Atenuação sonora dB(A)	Redução de ruído nos rodados	Apoios mais rígidos	Carris correntes + equipamento absorvente	Apoios mais rígidos + equipamento absorvente	Novos carris	Novos carris + equipamento absorvente
Redução de ruído nos carris	-	2	6	5	3	7
Rodas perfuradas com abafadores	4	2	6	4	2	6
Rodas optimizadas com escudos	8	3	7	5	4	8
Rodas optimizadas com equipamento absorvente em frequência	7	3	7	6	4	8



### A1.3. Redução do ruído no meio de propagação

#### A1.3.1. Uso do solo

##### A1.3.1.1. Objectivos

Uma das opções de minimização ou mesmo eliminação do “problema do ruído” passa pela actuação na área do planeamento ao nível das classes de uso do solo, uma vez que evitar antecipadamente a ocorrência de incomodidade associada ao ruído é sempre mais eficaz do que a sua correcção posterior. A melhor forma de minorar o ruído de tráfego consiste num planeamento prospectivo adequado e na responsabilização das diversas entidades envolvidas para o cumprimento desse mesmo planeamento que deve adoptar critérios de decisão que privilegiem a compatibilidade das várias classes de uso do território com o ambiente sonoro a que estarão sujeitas.

A actuação em termos de ordenamento do território e planeamento urbano tem, como acima se mencionou, o objectivo de eliminar ou reduzir os efeitos maléficos do ruído de tráfego através da localização de usos menos sensíveis ao ruído na proximidade das fontes sonoras mais significativas, da promoção de uma construção de qualidade adequada ao nível sonoro da sua envolvente e da criação de “zonas-tampão” cuja dimensão possibilite a dissipação do ruído para níveis aceitáveis na proximidade dos usos mais sensíveis.

#### A1.3.1.2. Condicionantes ao uso

Para a fixação de “condicionantes de uso”, uma primeira etapa de análise passará pela identificação das classes de uso menos sensíveis ao ruído e que até poderão beneficiar da proximidade, por exemplo, de infra-estruturas de transporte que favoreçam a sua utilização. Destes usos podem-se salientar a utilização industrial, de serviços ou comercial (centros comerciais, *retail centers*, *outlets*, etc.) que, inclusive, constituirão uma barreira acústica edificada entre a fonte de ruído e as zonas a proteger.

Esta nova forma de “ocupar” o território pode ter vantagens significativas, não só em termos económicos como na qualidade de vida da população ou mesmo no aspecto visual transmitido. Uma eventual substituição das por vezes “mal-amadas” barreiras acústicas por edifícios com utilização menos sensível ao ruído pode proporcionar não só uma mais-valia estética como também uma redução dos custos de investimentos públicos ao deixar de ser necessária a execução de outras medidas de redução do ruído.

Deve-se, no entanto, ter em atenção que esta “revolução” na forma de ocupar e planear a cidade pode induzir custos de diversas naturezas em todos os agentes envolvidos, nomeadamente:

- Nos *promotores imobiliários* pode significar o aumento dos custos de construção (terá de ser mais cuidada para fazer face ao elevado ruído ambiente exterior, que poderá ser insignificante em relação às contrapartidas económicas subsequentes advindas do “rótulo construção de qualidade ou de luxo” ) ou, eventualmente, a alteração do tipo de edifício a construir;
- Na *Administração Pública* pode significar a necessidade de atribuir indemnizações por alteração das expectativas criadas em termos de capacidade construtiva.

Convém ressaltar que, neste domínio, os ganhos obtidos tanto pelos promotores como pela Administração Pública serão significativamente superiores aos custos referidos no parágrafo anterior. Por parte da Administração, será de esperar a aludida redução dos custos de investimento (por exemplo, em barreiras acústicas), a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, uma consequente redução no número de reclamações sobre o excesso de ruído e a minimização dos custos de indemnização por reconversão do tipo de utilização em vez da inviabilização do mesmo. Quanto aos promotores imobiliários, uma das vantagens poderá ser a possibilidade de utilização de espaços que anteriormente estavam condicionados pela existência de níveis sonoros elevados pela simples reformulação da forma de ocupação do espaço exterior ou pela substituição do tipo de uso esperado por outro menos sensível mas sem perda de capacidade construtiva.

#### A1.3.1.3. Aquisição de terrenos

Sempre que as medidas enunciadas no ponto anterior não sejam eficazes ou que se considere a sua aplicação inconveniente ou inadequada, uma boa prática alternativa consiste na aquisição de terrenos adjacentes à fonte produtora de ruído, por parte da Administração Pública (ou entidades gestoras de infra-estruturas).

Apesar de não ser um procedimento corrente em Portugal, já vem sendo praticado em diversos países podendo-se salientar, como exemplo, os Estados Unidos, especialmente na proximidade de infra-estruturas aeroportuárias. É precisamente em casos de natureza similar que esta prática se torna mais útil, uma vez que o tráfego aéreo tem uma vasta área de influência e, apesar de em múltiplos casos inicialmente se situarem longe dos centros urbanos, a sua expansão acaba por “aproximá-los” de zonas urbanas, bastante sensíveis ao ruído aéreo.

Neste contexto, várias entidades responsáveis pela gestão de aeroportos foram comprando os terrenos livres e disponíveis à volta dos mesmos, criando uma maior zona de protecção sonora liberta de utilizações sensíveis, evitando assim futuras reclamações.

#### A1.3.2. Interposição de barreiras

As barreiras acústicas podem ser definidas como elementos físicos, com uma determinada massa e dimensões mínimas, localizadas entre a fonte ruidosa e o local receptor, alterando desta forma a normal propagação das ondas sonoras e reduzindo assim o ruído no receptor pelo fenómeno de difracção do som. A utilização de barreiras acústicas é um método versátil, eficaz, quase imediato e de relativa facilidade de previsão da redução sonora, podendo ser utilizado ao longo de vias rodoviárias e ferroviárias ou na envolvente de zonas industriais, cada qual com as suas características específicas. As barreiras podem ser de diversos materiais:

- *Betão (simples, texturado, revestido com argila expandida, fibras de madeira, lava, etc.);*
- *Muros de alvenaria (blocos de argila expandida, blocos de betão, tijolo cerâmico, etc.);*
- *Painéis metálicos (simples reflector, absorvente numa face ou absorvente em dupla face);*
- *Madeira (diversos tipos);*
- *Painéis transparentes (placa acrílica);*



- *Plásticos (diversos tipos);*
- *Borracha reciclada;*
- *Compósitos (diversos tipos);*
- *Motas de terra (aterros).*

Durante o projecto de uma via é conveniente tirar partido de alguns elementos naturais ou construídos que podem funcionar como barreiras acústicas: aterros, taludes, vegetação densa, ou mesmo edificações preexistentes ocupadas com utilizações não sensíveis ao ruído (zonas industriais ou de serviços). Como exemplo prático, considera-se que um conjunto de edifícios paralelos a uma via pode diminuir até cerca de 13 dB(A) o nível sonoro na correspondente zona de sombra.

A construção de túneis “falsos” ou de coberturas parciais da via são métodos alternativos de controlo de ruído bastante eficazes. No entanto, devidos ao elevado custo de construção e manutenção, é apenas pensado para soluções de gestão de tráfego e nunca unicamente devido a razões de ruído.

É também possível utilizar barreiras acústicas para controlar o ruído de vias ferroviárias, sendo uma medida facilmente aplicável tanto em vias em projecto como em vias já existentes. Neste caso, uma vez que o ruído mais significativo se encontra no contacto entre a roda e o carril (para velocidades de circulação correntes em Portugal), as barreiras apenas precisam de ter uma pequena altura e ser colocadas perto dos carris. Para que o ruído não seja reflectido da barreira para o comboio, e deste para os edifícios próximos, são aconselháveis barreiras acusticamente absorventes nas faces interiores. A redução típica deste tipo de soluções é de cerca de 10 dB(A), estando contudo dependente de algumas variáveis como a altura da barreira, distância entre a fonte e o receptor, a absorção sonora da própria barreira e do número de linhas.

Uma descrição mais detalhada de barreiras acústicas é apresentada no subcapítulo A1.7.3.1.

### A1.3.3. Recolocação de edifícios

Podem existir situações em que uma área sensível fique situada perto de uma via com elevado nível sonoro, e seja possível recolocar o(s) edifício(s) para mais longe, diminuindo desta forma o nível sonoro nos eventuais receptores.

Apenas será razoável pensar-se neste tipo de soluções em áreas rurais e não em zonas urbanas, quando existirem terrenos suficientemente vastos de maneira a se poder mudar de local uma habitação (ou uma escola, etc.), uma vez que para se conseguir uma redução de cerca de 3 dB(A) ao ruído rodoviário é necessário um aumento significativo da distância entre a fonte de ruído e o receptor.

#### **A1.4. Redução do ruído no receptor**

Quando não se conseguem resolver os problemas de ruído unicamente através de medidas de redução do ruído na fonte e no meio de propagação, é nalguns casos possível tomar medidas de último recurso (em conjugação com as anteriores) nos edifícios mais expostos com receptores identificados como Sensíveis, de forma a resolver ou minorar as situações de incomodidade existentes.

Esse tipo de actuação nos edifícios existentes engloba o reforço da sua envolvente exterior, especialmente nos considerados “*pontos frágeis*” das fachadas, ou seja, os vãos exteriores e os sistemas de ventilação.

No entanto, é importante ressaltar que o *Regulamento Geral do Ruído* só permite esta solução de acréscimo de isolamento sonoro de fachada de receptores Sensíveis após se esgotarem todos os outros tipos de medidas possíveis e quando o nível sonoro do ruído ambiente não exceda em mais de 5 dB(A) os valores definidos como limite para Zonas Mistas e Sensíveis. Nestes casos pode-se adoptar medidas nos receptores Sensíveis adoptando valores do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado,  $D_{2m,n,w}$ , superiores em 3 dB aos valores constantes do *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*.

A execução deste tipo de medidas poderá estar a cargo das entidades gestoras das infra-estruturas ou dos investidores privados consoante a precedência de implantação da infra-estrutura ou do edifício afectado.

No caso de edifícios, uma outra forma de actuar nos locais receptores é antecipando e prevendo possíveis problemas de ruído, e por isso, ter em conta algumas considerações durante a fase de planeamento e projecto que os minimizem. Assim, é possível sensibilizar os projectistas para a forma, orientação e localização do edifício, além da divisão arquitectónica interior dos compartimentos (localização dos compartimentos mais sensíveis em zonas menos expostas a ruído excessivo).

### **A1.5. Redução do ruído na construção e manutenção**

Os trabalhos de construção e manutenção são essenciais no desenvolvimento, reconstrução e reabilitação das zonas edificadas. No entanto, e como é natural, causam habitualmente transtornos generalizados à população. Como exemplos destes transtornos podem-se salientar o corte de vias públicas, a diminuição da qualidade dos serviços públicos prestados, o aumento dos tempos e distâncias de percurso e o acréscimo do ruído ambiente.

Em relação ao acréscimo do ruído ambiente, ele pode assumir duas facetas diferentes: pode ser um ruído local provocado pela execução da própria obra ou um ruído mais distante ocasionado por eventuais desvios de trânsito que irão alterar o ambiente acústico das novas zonas atravessadas. Nalguns casos, revela-se impossível ou impraticável a realização dos trabalhos de construção durante o período diurno, à partida, a altura do dia que menos incómodo trará à população residente, em termos de repouso e sossego. Encontram-se nesta situação aqueles casos em que a interrupção diurna do trânsito não é viável, optando-se, então, pela realização de trabalhos durante o período nocturno. Esta opção, em particular, é algo gravosa para a população em geral, pelo que se devem tomar medidas de protecção que minimizem o impacte podendo actuar na fonte de ruído, no meio de propagação ou no receptor.

Considerando, por exemplo, a **actuação na fonte**, pode-se restringir o horário de trabalho da obra, alterar os equipamentos e métodos construtivos, substituindo-os por outros geradores de menos ruído.

Já em relação à **actuação no meio de propagação** pode, como exemplo, passar pela eventual colocação de barreiras acústicas amovíveis, por cuidados particulares na colocação do estaleiro ou por um adequado cronograma de trabalhos ou ainda com uma definição criteriosa do percurso rodoviário dos veículos de obra (tentando evitar a passagem na vizinhança de zonas Sensíveis), da localização do estaleiro e de equipamentos ruidosos de apoio à obra, a selecção ponderada dos percursos de circulação alternativos ou mesmo na definição dos horários de execução dos trabalhos.

Finalmente, a **actuação ao nível do receptor** e como situação de recurso, a edilidade pode optar pelo realojamento temporário dos residentes afectados.

### A1.6. Regulação do ruído de transportes

No corpo do presente capítulo analisaram-se diversas formas de minimização do ruído ambiente, independentemente da sua origem. As opções apontadas envolvem diversos tipos de abordagem englobáveis em diversas categorias de intervenção:

- **Económico e fiscal**, com a adopção do princípio do “poluidor-pagador” e de medidas de incentivo à utilização de tecnologias menos poluentes;
- **Legislativo**, com a introdução de critérios ambientais mais restritivos;
- **Investimentos públicos**, locais ou nacionais, para melhoria das condições de circulação e do controlo efectuado sobre a circulação em geral e da integração das diversas políticas sectoriais (ordenamento territorial, transportes e planeamento urbano);
- **Educação**, com a implementação de programas de divulgação e consciencialização nacional;
- **Inovação**, considerando iniciativas como “dia sem carros” e optando por tecnologias que proporcionem condições de circulação mais eficientes.

No Quadro A1. 4, apresenta-se um resumo destas medidas e o tipo de resultado esperado (nível de impacto) e as potenciais estratégias de implementação (área e prazo).

Quadro A1. 4 - Instrumentos estratégicos de minimização do ruído ambiente

Instrumentos estratégicos	Nível de Impacto estimado *	Estratégia de Implementação						
		Area				Prazo		
		LO	RE	NA	EU	C	M	L
		LO = local RE = regional NA = nacional EU = europeu	Início da implementação: C = curto-prazo (<1 ano) M = médio-prazo (1-5 anos) L = longo-prazo (> 5 anos)					
<b>Fiscal, Económico</b>								
<i>Utilização de estradas e do espaço público</i>								
Introdução de portagens urbanas	+		X	X			X	
Aumento do imposto de circulação	+			X	X		X	

Instrumentos estratégicos	Nível de Impacto estimado *	Estratégia de Implementação						
		Área				Prazo		
		LO = local RE = regional NA = nacional EU = europeu	LO	RE	NA	EU	C = curto-prazo (<1 ano) M = médio-prazo (1-5 anos) L = longo-prazo (> 5 anos)	M
Estacionamento pago	+	X						
<i>Veículos e tecnologia</i>								
Incentivo à utilização de veículos eléctricos, limpos, silenciosos e com emissões muito baixas	+			X	X			X
Incentivo à utilização de veículos híbridos	+			X	X			X
Incentivo à renovação da frota de transportes públicos	+			X		X		
Incentivo à substituição de veículos pesados “velhos” por outros “novos” (menos poluentes)	+			X	X	X		
<i>Atitudes e hábitos “amigos” do ambiente</i>								
Atribuição de subsídios para promoção do transporte multi-modal	+			X				
Viagens de trabalho: pagamento de estacionamento e incentivo à utilização de transportes públicos ou alternativos (bicicleta)	++			X		X		
<b>Legislativo</b>								
<i>Combustíveis e emissões</i>								
Fiscalização das emissões	+	X		X				
<i>Tráfego rodoviário</i>								
Restrições à circulação de pesados (período nocturno, fim-de-semana)	++	X		X			X	
Medidas de acalmia de tráfego: limite de circulação de 30 km/h, redução do espaço de estacionamento, zonas pedestres, distribuição urbana mais eficiente	++	X				X		

Instrumentos estratégicos	Nível de Impacto estimado *	Estratégia de Implementação							
		Área				Prazo			
		Elevado “++” ou “- -” Médio “+” ou “- -” Sem impacto = Ø	LO = local RE = regional NA = nacional EU = europeu	LO	RE	NA	EU	C = curto-prazo (<1 ano) M = médio-prazo (1-5 anos) L = longo-prazo (> 5 anos)	M
Redução da velocidade e controlo das infra-estruturas rodoviárias não urbanas	++		X	X					
Restrição ao acesso de veículos tradicionais em áreas urbanas e introdução da sinalização adequada	++	X				X			
Regulamentos para incentivo à utilização de veículos menos poluentes	+	X							
Melhoria das condições de circulação (condução a velocidade constante, introdução da “onda-verde”)	+		X	X		X			
<i>Modos de transporte menos poluentes</i>									
Reformulação dos critérios de projecto de infra-estruturas, do Código da Estrada, da estrutura de ordenamento do território para promover a utilização do transporte público, das bicicletas e do “andar-a-pé”.	+	X	X						X
<i>Ruído</i>									
Regulamentos para veículos de transporte rodoviário e ferroviário, características de pneus, superfícies de desgaste e emissões sonoras de aviões	++			X	X				
Imposição de limites mais restritivos ao ambiente sonoro de zonas Sensíveis	++	X	X	X					
Optimização de pistas de aterragem, de descolagem e dos corredores de aviação	+	X				X			
Planos e medidas de redução sonora	++	X	X	X					
Revestimentos de piso menos ruidosos	++	X	X	X	X			X	



Instrumentos estratégicos	Nível de Impacto estimado *	Estratégia de Implementação						
		Área				Prazo		
	Elevado “++” ou “--” Médio “+” ou “-” Sem impacto = Ø	LO = local RE = regional NA = nacional EU = europeu				Início da implementação: C = curto-prazo (<1 ano) M = médio-prazo (1-5 anos) L = longo-prazo (> 5 anos)		
		LO	RE	NA	EU	C	M	L
<b>Investimentos</b>								
<i>Combustíveis e emissões</i>								
Aumento da rede ferroviária de transporte de passageiros e carga	-							
Aumento e melhoria da rede de ciclovias e pedestre	+	X	X				X	
Aumento e melhoria da rede regional de transporte público e dos serviços conexos	+		X	X			X	
<i>Intervenção governamental</i>								
<i>Integração de políticas</i>								
Integração das políticas de ordenamento do território, transportes e planeamento urbano	++	X	X	X				
<i>Monitorização</i>								
Controlo mais severo de velocidade de circulação e do tempo de condução de veículos pesados	+			X	X		X	
Criação de um sistema de monitorização de emissão sonora	+/-			X			X	
<b>Educação e incentivo</b>								
Implementação de programas de divulgação e consciencialização nacionais	Ø			X	X			
<b>Inovação</b>								
Iniciativas como “Dia sem carros”	+	X	X			X		

Instrumentos estratégicos	Nível de Impacto estimado *	Estratégia de Implementação						
		Área				Prazo		
		LO = local RE = regional NA = nacional EU = europeu	LO	RE	NA	EU	C = curto-prazo (<1 ano) M = médio-prazo (1-5 anos) L = longo-prazo (> 5 anos)	M
Implementação de tecnologias de telecomunicações que proporcionem uma mobilidade e logística mais eficiente e menos poluente (sistemas de navegação)	Elevado “++” ou “- -” Médio “+” ou “- -” Sem impacto = Ø +	X					X	

\* “++” - Impacte positivo elevado; “- -” - Impacte negativo elevado; “+” - Impacte positivo moderado; “- -” - Impacte negativo moderado

## A1.7. Implementação de técnicas de redução de ruído

### A1.7.1. Objectivo

A implementação de técnicas para a redução de ruído é a principal forma de se conseguir compatibilizar, nos espaços urbanos, os diferentes modos de transporte e a população atingida pelo ruído por eles emitido, tentando desta forma melhorar a qualidade de vida reduzindo o impacto dos veículos no ambiente.

De maneira a se conseguir solucionar este tipo de conflitos é necessário analisar criteriosamente que fontes sonoras contribuem para o problema, e a sua exacta localização em relação aos receptores Sensíveis afectados, de forma a serem estudadas as possíveis técnicas de redução de ruído actuando na fonte, no meio de propagação e no receptor.

Devem ser dadas prioridades às medidas de controlo de ruído na fonte, de seguida no meio de propagação e finalmente (em último recurso e excepcionalmente) no receptor, devido à perda de eficácia global das mesmas.

## A1.7.2. Redução do ruído na fonte

### A1.7.2.1. Mecanismos de actuação

A redução de ruído na fonte é forma mais eficaz de controlar a propagação sonora que pode ser conseguida actuando, simultaneamente ou não, através de diversos mecanismos, sendo possível salientar os seguintes:

- *Alteração do tipo de pavimento;*
- *Adopção de medidas de gestão de tráfego ambientalmente mais eficazes;*
- *Adopção de formas urbanas que protejam os habitantes mais afectados pelas fontes sonoras em causa.*

### A1.7.2.2. Pavimentos

#### A1.7.2.2.1. Efeitos acústicos

Quando se decide pela colocação de pavimentos menos ruidosos, há factores que devem ser tomados em consideração como forma de otimizar o seu desempenho. Esses aspectos estão relacionados com a envolvente da estrada, o alinhamento horizontal e vertical da estrada, a velocidade de circulação, a composição do tráfego rodoviário, o estado de degradação dos pavimentos, as condições meteorológicas habituais e o tipo de pneus correntemente utilizados.

A eficiência de *pavimentos absorventes*, como os pavimentos porosos, aumenta por comparação com pavimentos betuminosos comuns, quando na envolvente da via existem fachadas de edifícios, túneis ou semi-coberturas. Tal facto deve-se ao acréscimo de reflexões na superfície da estrada por parte das fachadas envolventes que, apesar de elevar o nível de energia sonora produzido, facilita a sua absorção pelo pavimento poroso.

Quando se tem construções apenas num dos lados da estrada, a melhoria pode chegar aos 4 dB(A), enquanto que nos casos em que existem paramentos verticais dos dois lados da via (Figura A1. 7) essa melhoria pode variar entre 1 dB(A) e 5 dB(A). Em casos de total enclausura, como túneis, a redução pode chegar aos 10 dB(A). Pode-se concluir que quanto mais reverberantes forem as condições existentes e maior o grau de enclausuramento, mais eficazes se tornam os pavimentos porosos. Assim, o uso de superfícies absorventes porosas é mais benéfico em situações de vias fechadas e com fachadas sem tratamentos com

materiais absorventes, apesar de não se poder desprezar a sua eficácia em meios abertos, tanto em termos de redução sonora como de segurança na circulação.

A *presença de declives nas estradas* pode induzir um aumento das emissões sonoras dos veículos que, nalgumas circunstâncias, excede os 3 dB(A). Diversos estudos demonstraram que a aplicação de superfícies porosas ou de camadas betuminosas finas têm vantagens tanto em estradas planas como em estradas com inclinações.

Em *estradas onde são praticadas velocidades mais elevadas* torna-se particularmente importante escolher correctamente uma superfície menos ruidosa uma vez que o aumento do nível sonoro em superfícies mais duras pode ser substancialmente maior que em superfícies mais suaves. Assim, na selecção dos materiais da camada de desgaste não se pode confiar completamente em estudos efectuados para o ruído do contacto pneu/estrada para vias com velocidades inferiores.

A *proporção de veículos pesados e veículos ligeiros* existentes numa estrada torna-se importante na consideração de que tipo de pavimento se deverá utilizar. Uma superfície pode ser optimizada para reduzir o ruído de tráfego composto por veículos pesados, sendo diferente de outra pensada para reduzir o ruído de tráfego de veículos ligeiros. É também possível, na mesma via, optimizar as diferentes faixas de rodagem, como por exemplo em vias rápidas, em que a faixa da direita é composta por veículos em marcha mais lenta e com maior percentagem de veículos pesados, ao contrário da faixa mais à esquerda com velocidades superiores e quase sem tráfego pesado. Desta forma, usar o mesmo tipo de superfície em todas as faixas da via não será a melhor forma de optimizar a redução de ruído.

Após *reparações das superfícies* é importante verificar se as zonas corrigidas não têm diferenças significativas nas suas características de textura ou as emendas e juntas mal efectuadas. Qualquer diferença no ruído provocado pelos veículos na superfície reparada pode ser particularmente incomodativo à população local. Isso nota-se mais em vias com tráfego lento, sendo mais relevante nas horas de descanso, como são o entardecer e a noite. Alterações nas superfícies podem originar diferenças de nivelamento, podendo causar ruído quando os veículos o atravessam. Isto é especialmente gravoso para veículos pesados que criam ruído elevado devido ao transporte de cargas não muito presas, existência de atrelados, existência de correntes, suspensões, etc. As medições efectuadas mostram que estas situações podem provocar ruídos de pico superiores em



Figura A1. 7 - Exemplo de arruamento com perfil "U" (IBGE, 2003)

10 dB(A). Deve por isso evitar-se este tipo de casos, devendo, sempre que for impossível evitá-los, criar uma zona de rampa suficientemente grande de forma a aplainar a diferença ou criá-la longe de zonas Sensíveis.

Embora de uso raro em Portugal, o uso de pneus preparados para a neve aumenta significativamente o ruído de rolamento. Isto acontece devido ao impacto dos elementos metálicos na superfície da estrada e às vibrações resultantes no pneu. Em velocidades na gama dos 70-90 km/h o seu efeito pode provocar um aumento de 2 a 6 dB(A) na banda de frequências dos 500-5.000 Hz, de 5 a 15 dB(A) para frequências menores, e de 3 a 7 dB(A) para frequências superiores.

#### A1.7.2.2.2. Efeitos não acústicos

Ao serem utilizados novos pavimentos com características para reduzir o nível de ruído, é necessário ter em atenção a segurança rodoviária e os acidentes daí provenientes. Os pavimentos betuminosos porosos, ao terem uma estrutura com 20 a 25% de poros com ar, permitem drenar a água mais rapidamente e reduzir a condutividade térmica que pavimentos betuminosos mais densos. Desta forma proporcionam uma melhoria na resistência ao deslizamento. Assim, além dos benefícios óbvios para a redução de ruído, podem-se contabilizar os benefícios para os automobilistas devido à redução da quantidade de água na estrada durante períodos de chuva. Desta maneira, diminui-se a água nos vidros dos carros, aumentando a visibilidade e, subsequentemente, reduzindo drasticamente o risco de *hidroplanagem* e da reflexão da luz na água. Deste modo, permite-se ao tráfego uma velocidade de circulação mais elevada.

É também possível avaliar alguns aspectos relacionados com a sustentabilidade, como os efeitos na *poluição da água*, no *consumo de combustível* e no *uso de materiais* e posterior *capacidade de reciclagem*. A principal fonte de impacto na poluição da água relaciona-se com a manutenção da estrada no período de Inverno uma vez que as suas características de porosidade obrigam a um maior uso de sal para combater a neve. Este facto pode influenciar a água que escorre devido a um aumento da concentração de químicos do sal e também do aumento da segregação de metais pesados que ocasionarão maiores custos de operação e manutenção.

São ainda discutidas as possibilidades de tratar a água usada na limpeza dos poros dos pavimentos, de forma a repor as suas características iniciais de redução de ruído. Em estradas com muito movimento e elevada velocidade de circulação como as auto-estradas, a limpeza das superfícies até pode acabar por não ser necessária devido à acção aerodinâmica dos pneus dos veículos que acabam por limpar automaticamente a superfície, embora permaneça a necessidade de limpeza profunda após um longo período de tempo. Quando se procede à reabilitação ou substituição do pavimento é premente o tratamento a dar às

substâncias contaminantes que se vão acumulando nos poros. Se esse material tem como finalidade a reciclagem, a limpeza dos agregados e o transporte ao depósito dos materiais contaminados irá encarecer a operação, estimando-se uma taxa de reciclagem na ordem dos 50-80%, menor que no caso de pavimentos betuminosos comuns.

O uso de superfícies porosas acarreta uma menor esperança de vida dos seus materiais do que o uso de superfícies betuminosas correntes. A sua superfície necessita de ser mais fina, apresentando uma maior tendência para desagregação e maior necessidade de manutenção como impermeabilizações e repavimentações, originando desta forma um maior gasto de energia e material.

Estimou-se que os tipos de superfícies utilizadas podem ser responsáveis pela duplicação da resistência de rolamento, reduzindo o consumo de combustível em cerca de 10%. Em condições urbanas com velocidades moderadas de circulação e um comportamento de condução irregular, as alterações na resistência de rolamento têm pouca influência no consumo de combustível. Contudo, em condições de condução típicas de auto-estradas, essas alterações influenciam significativamente o consumo de combustível e as emissões gasosas.

#### A1.7.2.2.3. Tipos de pavimentos

Existem diversos tipos de pavimentos:

- *Betão betuminoso drenante de camada única (BBDr);*
- *Camadas de desgaste em mistura betuminosa delgada (MBD);*
- *Mistura betuminosa de granulometria descontínua (MBGD ou SMA);*
- *Exposição dos agregados (EACC);*
- *Superfície de betão texturado longitudinalmente (SBTx);*
- *Revestimentos superficiais em resinas epoxídias (EP-GRIP);*
- *Betume modificado com borracha (BMB).*



a) **Betão betuminoso drenante (BBDr) de camada única**

Os pavimentos de *betão betuminoso drenante*, pelo facto de serem superfícies com uma elevada percentagem de vazios (elevada porosidade) vão permitir uma melhor drenagem da água favorecendo desta maneira a condução devido ao aumento da visibilidade por uma redução da projecção de gotículas de água e do brilho na estrada em tempo de chuva. Aumenta ainda a resistência ao deslizamento e à *hidroplanagem* tanto em tempo seco como em tempo de chuva. Há uma quase eliminação do efeito corneta (*horn-effect*) assim como uma elevada redução do ruído de compressão do ar (*air-pumping*). As suas características de redução do som são baseadas no fenómeno de absorção devido aos vazios, sendo o ruído de rolamento e o ruído do motor absorvidos. É uma superfície que funciona significativamente melhor em vias de velocidades elevadas do que em vias de velocidades reduzidas em que quase não há um efeito de redução.

Neste tipo de superfícies há um desgaste mais rápido, necessitando assim de maiores cuidados com a manutenção, principalmente de limpeza de poros para evitar a sua colmatção. A resistência ao deslizamento é menor quando sujeito a travagens bruscas, tendo-se verificado que para veículos pesados a distância de travagem pode reduzir-se em 20 a 40%. Este facto apenas acontece nos primeiros meses de utilização enquanto a fina camada superficial betuminosa não se desgasta. Verificou-se igualmente que em condições de chuva quando comparado com tempo seco o nível de ruído aumenta cerca de 3,5 dB(A) ao contrário das superfícies asfálticas correntes. Estudos explicam este fenómeno com as boas condições de condução que este tipo de superfícies oferece em chuva, levando os condutores a não reduzirem tanto a velocidade como o que seria esperado e normal em superfícies correntes, além da maior demora do completo desaparecimento da água na superfície.

O facto de serem superfícies porosas leva a um acumular de detritos e sujidade nesses mesmos poros, deteriorando as suas características. Apesar de em estradas com velocidades mais elevadas a passagem de veículos gerar uma auto-limpeza é necessária uma manutenção cuidada e periódica destas superfícies.

Em locais propícios à existência de neve, a limpeza da estrada com sal irá ser mais frequente devido à maior probabilidade de enchimento dos poros com gelo devido à humidade acumulada e à baixa condutividade térmica da superfície.

b) **Camadas de desgaste em mistura betuminosa delgada (MBD)**

Os pavimentos com camadas de desgaste delgadas em mistura betuminosa têm uma boa resistência à deformação e à fadiga, devido à sua constituição com agregados e à elevada percentagem de materiais de enchimento respectivamente. Devido ao tipo de textura o ruído originário da interacção pneu/estrada é menor, além de originar uma diminuição da projecção de gotículas

de água. São superfícies com um tempo de construção rápido, podendo-se desta forma diminuir o tempo de interrupção das vias de circulação rodoviária. É possível reciclar até 70% dos materiais utilizados na sua construção. Possuem uma durabilidade de 12 a 20 anos dependendo da sua porosidade. Possuem ainda boas características drenantes diminuindo os problemas de projecção de gotículas de água.

Como desvantagens são de referir a menor resistência ao deslizamento nos primeiros meses de utilização e que, exactamente para melhorar a resistência ao deslizamento, é obrigatório o uso de agregados especiais caracterizados pela sua escassez e elevado custo. Além disso, em muitos casos este tipo de superfícies possuem betões modificados com polímeros que ao serem reciclados podem ser ambientalmente nocivos.

Estudos efectuados na Finlândia evidenciaram alguns resultados para MBD com agregados de 5 mm utilizados como superfícies finas: pavimentos novos obteve-se uma redução de 3 de dB(A) a 50 km/h e de 7 dB(A) a 80 km/h. Contudo, devido ao seu elevado uso, o ruído aumentou significativamente após um ano (FEHRL, 2006).

#### c) **Mistura betuminosa de granulometria descontínua (MBGD ou SMA)**

Os pavimentos com mistura de granulometria descontínua (MBGD ou SMA) necessitam de um cuidado especial na sua construção, de maneira a ter em atenção a exacta proporção volumétrica dos materiais constituintes e uma boa técnica construtiva, criando uma correcta distribuição dos vazios e mástique, de acordo com as características das vias onde irá ser utilizada. Contudo, a sua construção não necessita de equipamentos específicos (apesar da constituição com agregados, betão e fibras) sendo executados com os normalmente utilizados em pavimentos correntes. Assim, quando correctamente fabricados, originam excelentes características de condução, como são a sua suavidade, serenidade e redução da projecção de gotículas de água, além de boa resistência ao deslizamento, possuindo também uma elevada resistência a deformações permanentes e a quebras, além de permitirem uma redução dos níveis de ruído.

#### d) **Exposição dos agregados (EACC)**

Este tipo de superfícies, quando correctamente executado, pode ter um comportamento acústico quase tão eficaz como o MBGD ou o MBD, ao mesmo tempo assegurando uma boa resistência ao deslizamento e suavidade. Uma grande vantagem é a sua elevada durabilidade (pode chegar aos 20 - 30 anos), conjugada com a sua capacidade de manter as características

praticamente intactas ao longo do seu período de vida, além de pouca manutenção ser necessária. Não há problemas com a adição de sal para vias com neve.

As técnicas de construção são de alguma complexidade, além de que os agregados necessários têm de ser de boa qualidade sendo portanto um tipo de superfície cara. De forma a serem minimizados os custos, estes apenas são usados na camada superior, otimizada para diminuição de ruído, sendo a camada inferior de betão normal de pavimentos, ou inclusive de materiais reciclados, garantindo assim uma óptima resistência estrutural.

De forma a minimizar o nível sonoro, limita-se a camada superior a agregados de 8 mm, enquanto na camada inferior utilizam-se habitualmente agregados de dimensão máxima de 32 mm. Este facto pode levar a uma redução de cerca de 2 dB(A) quando comparados com pavimentos de betão betuminoso (BB) convencionais. É possível usar-se agregados com dimensão máxima de 11 mm, aumentando-se assim a resistência ao deslizamento, sendo a perda acústica pequena e aceitável.

#### **e) Superfície de betão texturado longitudinalmente (SBTx)**

As superfícies de betão texturado longitudinalmente não se podem adoptar em vias de elevada velocidade uma vez que a textura criada tem uma fraca resistência ao deslizamento quando comparada com outras soluções.

São superfícies que necessitam de duas camadas de betão de forma a se obter as características desejadas. A durabilidade, consistência e espessura da camada superficial da argamassa tem elevada importância na textura final esperada, devendo por isso ser usados agregados com alta resistência e um baixo rácio água/cimento.

#### **f) Revestimentos superficiais em resinas epoxídias (EP-GRIP)**

Os revestimentos superficiais em resinas epoxídias são superfícies normalmente usadas em zonas críticas onde é necessária uma elevada resistência ao deslizamento, como por exemplo curvas rápidas ou junções, principalmente devido ao reduzido tempo de construção e ao facto de manter as suas características de redução de ruído ao longo do tempo. Por esta mesma característica são usualmente utilizadas em túneis e pontes. São superfícies que possuem um potencial de redução do nível sonoro de cerca de 2 a 4 dB(A) quando comparadas com pavimentos comuns de betão betuminoso. Contudo, são tratamentos dispendiosos devido à alta qualidade dos seus componentes, além de elevada dificuldade de reciclagem.

### g) Betume modificado com borracha (BMB)

As superfícies de Betume Modificado com Borracha (BMB) são superfícies que, devido à junção de borracha reciclada de pneus (cerca de 22%) ao betume tradicional, aumentam a sua elasticidade, a resistência ao envelhecimento e à propagação de fendas, além de diminuírem a distância de travagem e o ruído de circulação de tráfego. A utilização deste tipo de pavimentos é possível em vias novas e em situações de reabilitação, tanto para estradas de elevada velocidade (auto-estradas) como em vias de menor velocidade de circulação. Em casos de vias existentes com problemas de fissuração ou de ruído elevado são soluções aconselháveis, sendo a redução sonora proporcionada na ordem dos 5 a 6 dB(A).

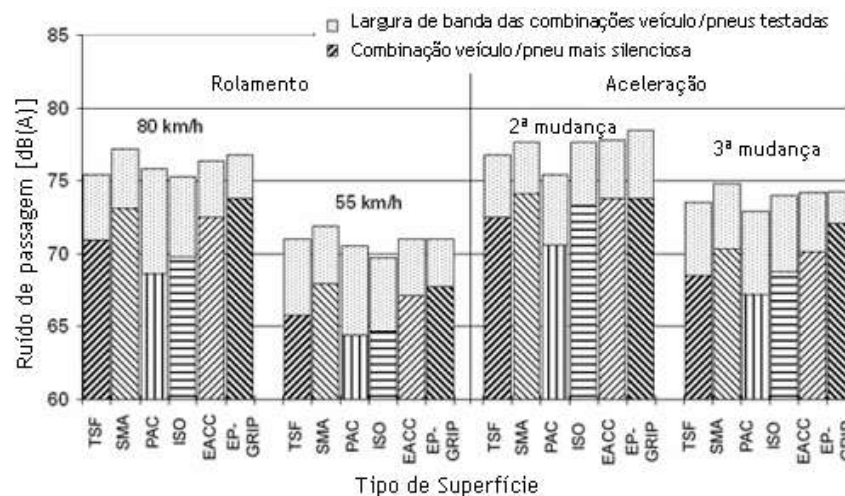
A possibilidade de reciclagem de pneus que esta solução oferece é também uma vantagem ambiental, sendo reutilizados cerca de 4.000 pneus por km de estrada de 12 m de largura e espessura betuminosa de 4 cm. O custo do BMB é superior ao de um piso convencional, contudo, no final de uma obra pode-se considerar que o seu custo é semelhante uma vez que devido às suas elevadas propriedades de resistência à fadiga e à fissuração, não se torna necessária uma camada tão espessa, além de determinados trabalhos prévios não serem necessários. Vários estudos concluíram também que os custos com a sua conservação são menores quando comparados com soluções tradicionais.

Na Figura A1. 8 e no Quadro A1. 5 apresenta-se um estudo comparativo do desempenho acústico de diversos tipos de pavimentos, entre os quais:

- *TSF: Camadas de desgaste delgadas em mistura betuminosa;*
- *SMA: Mistura Betuminosa de granulometria descontínua;*
- *PCA: Betão betuminoso drenante de camada única;*
- *ISO: superfícies de teste segundo a norma ISO 10844:1994;*
- *EACC: exposição de agregados;*
- *EP-GRIP: revestimentos superficiais em resinas epoxídias.*

**Quadro A1. 5 - Desempenho acústico de diversos tipos de pavimentos [adaptado de (FEHRL, 2006)]**

Tipo de Pavimento	Desempenho acústico, em dB(A)						
	Veículos ligeiros			Veículos pesados			
	50 km/h	80 km/h	110 km/h	duplo eixo		multi-eixos	
	50 km/h	80 km/h	110 km/h	50 km/h	85 km/h	50 km/h	85 km/h
Betão betuminoso drenante de camada única	-	76	79	-	82	-	85
Camadas de desgaste em mistura betuminosa delgada	66	72	82	77	84	-	86
Mistura Betuminosa de granulometria descontínua	71	79	82	79	85	82	88
Exposição dos agregados	-	76	84	-	86	-	87
Superfícies de betão texturado longitudinalmente	76	-	85	83	87	82	90



**Figura A1. 8 - Comparação acústica de diferentes tipos de pavimentos [adaptado de (FEHRL, 2006)]**

### A1.7.2.3. *Medidas de gestão de tráfego*

As medidas de gestão de tráfego têm como principal objectivo a redução da velocidade dos veículos, como forma de criar vias mais seguras reduzindo os acidentes e a sua gravidade, reduzir a poluição sonora e criar uma qualidade de vida mais agradável aos utentes da via e da sua envolvente através da requalificação do espaço urbano.

São formas de desencorajar o uso excessivo dos veículos privados, mas mantendo e assegurando sempre uma mobilidade sustentável, tentando minimizar o mais possível os impactes negativos do tráfego.

É importante ter a noção que estas medidas não podem ser aplicadas aleatoriamente e de uma forma isolada. Devem normalmente ser introduzidas após um cuidado estudo e em zonas onde exista uma integração lógica e coerente com a restante rede viária. Para cada situação, devem-se definir e estudar critérios possíveis de quantificar, de forma a avaliar que soluções são realmente ajustáveis e qual o grau de utilidade que cada uma trará.

Os tipos de medidas de gestão de tráfego a discriminar são:

- a) *Estreitamento de vias;*
- b) *Restrições de largura na entrada de intersecções;*
- c) *Intersecções em “T” modificadas;*
- d) *Gincanas;*
- e) *Rotundas e mini-rotundas;*
- f) *Bandas sonoras e cromáticas;*
- g) *Lombas;*
- h) *Plataformas, intersecções e travessias pedestres sobrelevadas;*
- i) *Limitação da velocidade de circulação;*
- j) *Limitação à circulação de veículos pesados;*
- k) *Outras medidas.*



#### a) **Estreitamento de vias**

Os estreitamentos de vias ou estrangulamentos são medidas em que se opta pela redução da largura da faixa de rodagem ao longo duma zona com o intuito de reduzir a velocidade de circulação, através do alargamento dos passeios, criação de novos espaços de circulação de peões ou espaços ajardinados ou criação de novas zonas de estacionamento (Figura A1. 9 e Figura A1. 10). Pode também ser realizado nas zonas centrais da via pela criação duma ilha com passeio ou área ajardinada. É um método que pode ser aplicado em zonas residenciais com moderado volume de tráfego e velocidade de circulação ou mesmo em vias com volumes de tráfego mais elevados, desde que a diminuição não seja demasiado acentuada. Tem um impacto mínimo para veículos de emergência, mas deve ser conjugado com outras medidas de gestão de tráfego para aumentar a sua eficácia.

É necessário ter em atenção que o facto de se reduzir a largura da via pode promover conflitos entre veículos, quando essa mesma redução apenas permitir um sentido de circulação, podendo desta forma originar um aumento do congestionamento de tráfego e que a circulação de veículos pesados pode ficar comprometida, sendo necessário analisar alternativas viáveis que possibilitem a manutenção das actividades económicas presentes e as necessidades de transportes.

#### b) **Restrições de largura na entrada de intersecções**

As restrições de largura à entrada de intersecções são um conjunto de estrangulamentos nos cruzamentos das vias - através de um aumento dos passeios, para que a largura transversal da via à entrada da intersecção seja significativamente menor (Figura A1. 11). Obrigando os automobilistas a reduzirem a velocidade, o que além de melhorar a segurança dos peões, evita o estacionamento ilegal junto das intersecções e melhora o aspecto estético da área.



Figura A1. 9 - Exemplo de medidas de estreitamento de vias (Fehr & Peers, 2005)



Figura A1. 10 - Exemplo de medidas de estreitamento de vias (Fehr & Peers, 2005)

É uma medida indicada para zonas residenciais, centrais e vias de atravessamento de povoações com velocidades não muito elevadas, e cujo volume de tráfego de veículos pesados seja reduzido devido à dificuldade de manobra. É uma medida que irá afectar a circulação de veículos de emergência, além de poder ter um impacto negativo nas ruas vizinhas com o deslocamento de algum tráfego.

### c) Intersecção em T modificada

Uma intersecção em *T* modificada consiste na mudança dos alinhamentos que convertem numa intersecção em *T* como ângulos rectos em arruamentos curvados (Figura A1. 12). Desta forma, torna-se imposto que os condutores em diferentes sentidos partilhem o mesmo espaço, originando assim uma redução das velocidades de circulação e frequentemente do volume de tráfego de atravessamento. Há que ter atenção às manobras de veículos pesados que serão dificultadas, potenciando possíveis congestionamentos. A via sem prioridade que termina em *T* é controlada por sinalização vertical de paragem obrigatória (*STOP*).

### d) Gincanas

As gincanas são uma série de estreitamentos alternados formando curvas em *S*. São construídas através da colocação alternada de obstáculos nas bermas da via como espaços ajardinados, espaços de estacionamento ou outras medidas físicas, permitindo desta forma uma redução de velocidade. Pode-se também originar um efeito gincana com uma redução de duas para uma via num dos sentidos, tendo assim os condutores de ceder a passagem (Figura A1. 13).

É uma medida indicada para áreas residenciais e centrais com um volume de tráfego reduzido e vias de atravessamento com velocidades reduzidas, que também permite uma melhoria da estética das vias. Não é indicada para zonas com circulação de veículos pesados sendo inconveniente para veículos de emergência. É também uma medida que diminui a capacidade de



Figura A1. 11 - Exemplo de restrição de largura à entrada de intersecções (Huang, et al., 2001)



Figura A1. 12 - Exemplo de intersecção em T modificada (Fehr & Peers, 2005)

estacionamento e em casos de gincanas com duas vias pode não ser obtido o resultado esperado, devido à passagem de veículos em linha recta, não ocorrendo desta forma uma diminuição da velocidade e aumentando o risco de acidentes. A sua localização é fortemente influenciada pelas condições locais, nomeadamente pela existência de acessos às habitações ou a locais de carga e descarga de mercadorias.

#### e) Rotundas e mini-rotundas

São intersecções giratórias, com uma praça central de forma usualmente circular, em torno da qual é estabelecido um sentido único de circulação, de direcção inversa à dos ponteiros do relógio, com prioridade em relação ao tráfego que chega. Uma rotunda tem a praça central com um diâmetro superior a 4 metros e um Diâmetro de Círculo Inscrito (DCI) entre 28 e 40 metros, enquanto uma mini-rotunda tem a praça central com um diâmetro inferior a 4 metros e um DCI entre 14 e 28 metros (Figura A1. 14).

Estas medidas são muitas vezes usadas de maneira a efectuar a transição entre diferentes tipologias de vias, normalmente entre uma via distribuidora principal para uma via distribuidora local no caso de rotundas, e entre uma via distribuidora local para uma via de acesso local ou entre vias de acesso local para o caso de mini-rotundas. São também bastante recomendadas em locais com frequentes zonas de viragens e de inversões de marcha. O facto de as vias de acesso à rotunda terem de ceder a sua passagem aos veículos que nela circulam leva a um abrandamento da velocidade, diminuindo desta forma os conflitos entre veículos, organizando os fluxos de tráfego e melhorando a sua capacidade e condições de fluidez.

Contudo, são obstáculos físicos à circulação de veículos pesados, sendo necessário garantir a facilidade de manobra, adoptando superfícies galgáveis para evitar que os veículos sofram danos. São também uma desvantagem para a circulação de peões.



Figura A1. 13 - Exemplo de gincana (Fehr & Peers, 2005)



Figura A1. 14 - Exemplo de mini-rotunda (Fehr & Peers, 2005)



#### f) Bandas sonoras / cromáticas

As bandas sonoras e cromáticas são pré-avisos consistindo numa série de bandas transversais à faixa de rodagem, agrupadas cuja distância diminui progressivamente à medida que se aproxima a zona de perigo. O seu objectivo é alertar os condutores da proximidade duma zona perigosa de maneira a que estes reduzam a velocidade, quer pela sua visualização quer pelo efeito sonoro provocado pelo impacto dos pneus nas bandas transversais (Figura A1. 15).

As bandas cromáticas são constituídas por uma espessura de tinta com cerca de 7 mm, enquanto as bandas sonoras são constituídas por espessuras que podem chegar aos 30 mm.

São medidas simples e de baixo custo, mas necessitam de elevada manutenção para aplicação em zonas centrais, residenciais e de atravessamento das povoações, próximo de áreas onde se quer atingir velocidades mais moderadas como escolas, curvas mais pronunciadas ou cruzamentos com cedência de passagem. São uma medida de redução de velocidade com um efeito regularmente adverso dado que as bandas sonoras provocam mais ruído que a velocidade de circulação.



Figura A1. 15 - Exemplo de bandas sonoras (ACA-M, 2007)

#### g) Lombas

As lombas são umas das medidas mais utilizadas, devido ao seu forte efeito na redução da velocidade. Podem-se distinguir dois tipos de lombas: as “*bumps*” e as “*humps*”. As *bumps* são lombas curtas e altas com uma altura de cerca de 10 cm por comprimentos até 1 metro com graves problemas para a segurança dos veículos quando transpostas a elevadas velocidades, além do ruído provocado (Figura A1. 16). As *humps* são lombas mais alongadas, com um comprimento da ordem dos 4 metros e alturas de 10 a 12 cm, podendo ter a forma circular, sinusoidal ou parabólica. Há também lombas mais compridas, com cerca de 9



Figura A1. 16 - Exemplo de lombas do tipo “*bump*” (Wikipedia, 2008)

metros, de forma a facilitar a passagem de veículos pesados, principalmente transportes públicos (Figura A1. 17).

São medidas utilizadas para limitar a velocidade, sendo aconselhadas para vias de acesso local em áreas residenciais e comerciais. Não devem ser colocadas em vias de distribuição principais, de atravessamento ou em trajectos usuais de veículos de emergência, devendo ser convenientemente sinalizadas e iluminadas.

De forma a evitar problemas para os veículos de emergência, é possível a utilização de lombas parciais e interrompidas (*Narrow speed cushions*) em locais de normal circulação rodoviária, existindo assim uma interrupção na lomba que permite a sua transposição em boas condições de segurança (Figura A1. 18).

São medidas de relativo baixo custo, com eficaz redução de velocidade. Não são contudo medidas muito populares, podendo aumentar o nível sonoro devido às constantes acelerações e desacelerações dos veículos, além do aumento de tráfego em vias circundantes, e ainda eventuais problemas de drenagem.

Alguns estudos demonstraram que entre lombas a redução sonora é de 1 a 2 dB(A), existindo contudo um aumento em 2 a 3 dB(A) (dependendo do tipo de veículos e do tipo de lombas) e de incomodidade (devido às acelerações e desacelerações) nas zonas próximas das lombas.

#### **h) Plataformas, intersecções e travessias pedestres sobrelevadas**

As plataformas sobrelevadas são lombas alongadas com a parte superior plana e as extremidades em rampa, de forma a ser possível o seu uso por todos os utilizadores (Figura A1. 19 e Figura A1. 20). Quando a plataforma é usada como travessia pedestre passa a designar-se por travessia pedestre sobrelevada, realizando-se um tratamento da superfície de forma a esta ser parecida ao passeio e dar continuidade ao mesmo, fazendo desta forma com que o veículo sinta que está a atravessar e a galgar um passeio. Tem vantagens para os peões utilizar esta medida em conjugação com estrangulamentos dos passeios de forma a reduzir o comprimento de atravessamento dos peões.



Figura A1. 17 - Exemplo de lombas do tipo "hump" (Partington, 1999)



Figura A1. 18 - Lomba parcial e interrompida (Chase, 2007)

Intersecções sobrelevadas são plataformas sobrelevadas mas que ocupam toda a área de intersecção, existindo rampas nas suas extremidades para a passagem dos veículos. Devem ter uma coloração ou material diferente de forma a alertar os automobilistas da sua existência.

São todas medidas usadas em áreas residenciais urbanas com velocidades moderadas, muitas vezes em intersecções em que se poderia construir uma rotunda mas que iria impossibilitar a passagem de veículos pesados. Não é aconselhável a sua utilização em vias arteriais e vias frequentemente usadas por transportes públicos ou veículos de emergência.

#### i) Limitação da velocidade de circulação

A *limitação da velocidade de circulação* rodoviária é uma forma fácil de implementar, que origina uma redução do nível sonoro nas suas envolventes. É possível criar, em zonas de uso sensível, uma limitação de 30 km/h como velocidade máxima de circulação, através do uso de sinalização limitadora, ao mesmo tempo empregando sinalização de aviso de incomodidade sonora, estando assim os automobilistas mais sensibilizados para a problemática do ruído.

#### j) Limitação à circulação de veículos pesados

Em muitas zonas de passagem de veículos pesados, apesar da sua reduzida velocidade de circulação, existe incomodidade devido ao superior nível de ruído em comparação com o dos veículos ligeiros. Deve-se por isso restringir, parcial ou totalmente, a sua circulação em zonas Sensíveis, tendo sempre em atenção um estudo cuidado para que as novas rotas apontadas para a sua circulação não causem problemas nas novas zonas devido à sua fraca mobilidade e consequente facilidade em originar conflitos de tráfego. Esta medida não é apontada aos transportes públicos, apesar de serem igualmente veículos pesados com um nível de ruído elevado uma vez que são meios de transporte que conduzem dezenas de pessoas



Figura A1. 19 - Exemplo de travessia sobrelevada (Fehr & Peers, 2005)



Figura A1. 21 - Exemplo de travessia sobrelevada (Fehr & Peers, 2005)



simultaneamente, sendo assim os seus benefícios superiores, além de ser possível estudar e realizar rotas previamente definidas, sendo possível evitar a sua passagem por zonas Sensíveis problemáticas.

#### k) Outras medidas

Além de promover o uso de transportes públicos, pode-se promover igualmente o uso de transportes alternativos, como a bicicleta e andar-a-pé. São medidas que funcionam bem apenas em cidades de pouco relevo topográfico, e que necessitam sempre de obras de adaptação das vias públicas, com a criação de ciclovias e melhoramento dos passeios, para ser viável a sua uma conjugação com o tráfego urbano.

Uma outra forma de gerir o tráfego rodoviário passa pela introdução de cruzamentos, com ou sem semaforização, ajudando assim a reduzir a velocidade dos veículos, quer seja pela existência de semáforos, quer devido ao cuidado acrescido que deverá existir pela existência de vias de entrada. Se for tomada a opção de utilizar semaforização, deverá ter-se em atenção uma cuidada programação dos mesmos de maneira a evitar-se situações constantes de acelerações e desacelerações, ajudando a um melhor fluxo dos veículos.

O Quadro A1. 6 apresenta o resumo dos tipos de intervenção acima referidos com a gama de atenuação sonora potencial possível.

Quadro A1. 6 - Medidas de gestão de tráfego e suas atenuações potenciais

Medidas de gestão de tráfego	Atenuação sonora potencial, dB(A)*
Estreitamento de vias	0 a -2
Introdução de rotundas (pode ocasionar reclamações do ruído provocado pelas acelerações e travagens efectuadas)	0 a -4
Bandas sonoras termo-elásticas (considera-se que será de adicionar +5 dB(A) devido às características impulsivas deste tipo de ruído)	0 a +4
Bandas sonoras em cubos de granito (“paralelos”), (considera-se que será de adicionar +5 dB(A) devido às características impulsivas deste tipo de ruído)	0 a +3
Dispositivos sonoros de vibração (induzem ruído no interior do veículo)	0

Medidas de gestão de tráfego	Atenuação sonora potencial, dB(A)*
Lombas com forma circular	0 a -2
Lombas extensas com topo de nível	0 a +6
Lombas parciais e interrompidas ( <i>Narrow speed cushions</i> )	0 a +1
Medidas de acalmia de tráfego, conjugando diversos dispositivos de redução de velocidade	0 a -4
Definição de zonas com limite de 30 km/h como velocidade máxima de circulação, apenas com introdução de sinalização	0 a -2
Redução da velocidade de circulação conjugada com sinalização de aviso de incomodidade sonora	-1 a -4
Restrições à circulação de pesados em período nocturno (pode ocasionar reclamações devido ao aumento do tráfego matinal)	0 a -7
Introdução de cruzamentos	-1 a -3
Introdução de cruzamentos (com semaforização)	0 a -7
Promoção do uso de transportes alternativos (bicicleta e andar-a-pé)	0 a -2

\* Valores positivos indicam acréscimo de ruído

#### A1.7.2.4. Formas Urbanas

Um aspecto fundamental no planeamento das áreas das cidades perto de vias geradoras de ruído é saber planejar conveniente e atempadamente o uso do solo de forma a evitar conflitos de ruído.

É possível actuar no planeamento das formas urbanas para redução do ruído no interior dos edifícios considerados sensíveis. Tal actuação pode consistir no *aumento da distância entre a fonte ruidosa e o receptor*, na *modificação da orientação dos edifícios* ou na *colocação de edifícios de uso não sensível entre a fonte ruidosa e o receptor*, funcionando desta forma como barreiras acústicas.

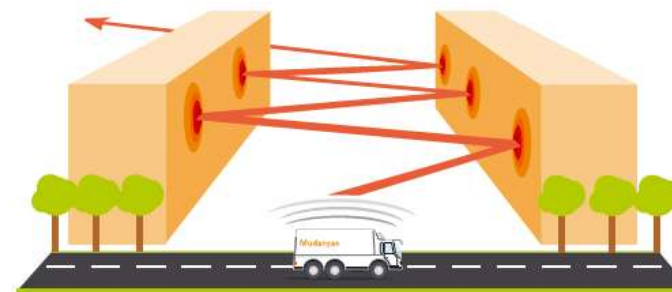


Figura A1. 22 - Exemplo de propagação sonora em edifícios paralelos à via (IA, et al., 2004)

O **aumento da distância entre as fontes ruidosas e os edifícios** de uso sensível é uma forma eficaz de reduzir o ruído, sendo que o duplicar da distância à fonte sonora pode ser capaz de reduzir até 6 dB(A). Durante a fase de concepção e projecto de zonas Sensíveis pode-se ter em atenção quais as fachadas expostas ao ruído. Assim, é possível projectar os edifícios tendo em mente quais e onde estão localizadas as fontes sonoras, tentando-se desta forma diminuir a superfície de fachada exposta ao ruído.

A **construção de edifícios com uma forma paralela à estrada** é preferível à construção perpendicular à estrada, uma vez que desta maneira o ruído não encontra obstáculos à sua propagação, invadindo todas as fachadas, como se pode verificar na Figura A1. 22. Se se construir paralelamente à via, apesar de se obter uma fachada com níveis sonoros mais elevados, também se permite que a fachada oposta esteja orientada para uma área mais calma, podendo desta forma organizar-se a arquitectura da habitação tendo em atenção esta diferença de ruído, tentando-se colocar na zona mais calma as áreas mais sensíveis como os quartos de dormir e salas de estar. Além do acima exposto deve-se também tentar conjugar esse facto com uma atenção à quantidade de fachada exposta à via ruidosa, tentando limitar ao máximo essa situação de forma a libertar uma maior superfície calma às habitações (Figura A1. 23).

Aplicando o mesmo princípio descrito anteriormente para espaços exteriores de edifícios de uso sensível, pode-se construir à volta de um pátio ou jardim interior, diminuindo desta forma as fachadas expostas ao ruído além das mesmas zonas exteriores serem também áreas calmas de pouca exposição ao ruído (conforme indicado na Figura A1. 23).

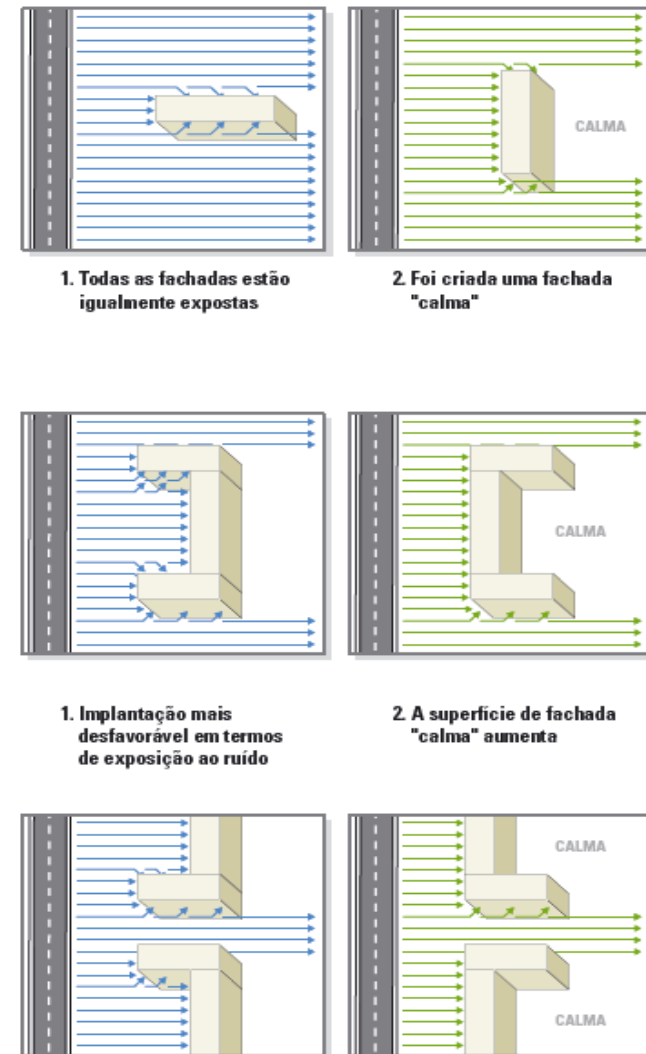


Figura A1. 23 - Comparação acústica da disposição de edifícios em relação à via (IA, et al., 2004)

É importante tentar, sempre que possível, localizar os edifícios de uso comercial, industrial, garagens ou qualquer uso não sensível perto das vias rodoviárias, colocando também espaços verdes e vegetação. Assim, é criada uma zona de protecção para os edifícios sensíveis que funciona como uma barreira, além de se poder criar também mais espaços de lazer à população. Este facto permite também aumentar a cêrcea dos edifícios à medida que se aumenta a distância à fonte produtora de ruído. (ver Figura A1. 24, Figura A1. 25 e Figura A1. 26).



Figura A1. 24 - Proposta de desenho urbano para protecção ao ruído rodoviário (IA, et al., 2004)



Figura A1. 25 - Proposta de perfil transversal em zona de influência de ruído rodoviário (IA, et al., 2004)

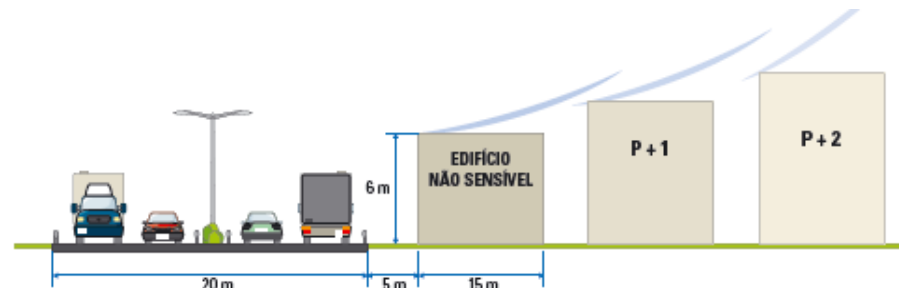


Figura A1. 26 - Proposta de perfil transversal em zona de influência de ruído rodoviário com evolução de cêrcea (IA, et al., 2004)

### A1.7.3. Redução do ruído no meio de propagação

#### A1.7.3.1. Barreiras Acústicas

##### A1.7.3.1.1. Generalidades

As barreiras acústicas são elementos construídos na envolvente de uma fonte sonora (por exemplo, via rodoviária ou ferroviária) para criar uma zona mais calma na parte posterior.

São sistemas construtivos que reduzem o nível sonoro entre uma fonte emissora de ruído e um receptor através de fenómenos de absorção, transmissão, reflexão e difracção (Figura A1. 27). O fenómeno de difracção das ondas sonoras à volta de um obstáculo pode ocorrer pelo topo da barreira ou pelos seus contornos laterais, existindo diferenças de acordo com a frequência da onda sonora emitida.

De acordo com um dos princípios universais da acústica ambiental, as medidas de minimização de ruído devem ser colocadas o mais próximo possível da fonte como forma de aumentar a sua eficácia.

No entanto, antes de se instalar uma barreira acústica é preciso determinar se uma actuação na fonte não será mais eficaz, nomeadamente, pela redução da velocidade de circulação, pela alteração do pavimento por um menos ruidoso, etc. Se se revelarem impossíveis esses tipos de intervenção (actuação na fonte ou instalação de barreiras acústicas) resta ainda a possibilidade de actuar no receptor, por exemplo, pela colocação de janelas duplas, apesar de ser uma solução que do ponto de vista económico não é compensatória.

Os factores determinantes na escolha de uma barreira e na sua eficácia são os seguintes:

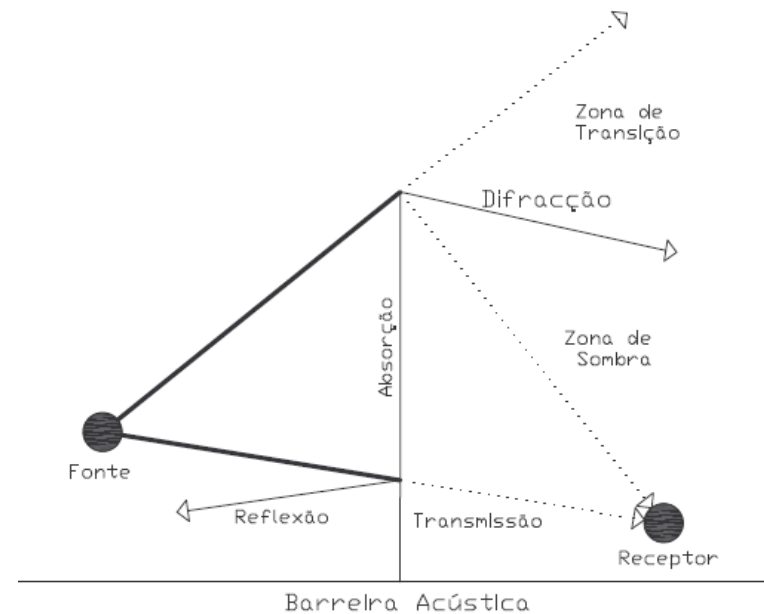


Figura A1. 27 - Fenómenos de absorção, transmissão, reflexão e difracção numa barreira acústica [adaptado de(FHWA, et al., 2000)]

- *A distância entre a estrada e a barreira, entre a barreira e o receptor e a altura da barreira;*

São parâmetros muito importantes na definição de uma barreira, sendo a sua altura a base de todo o dimensionamento (quanto mais alta a barreira maior será a sua eficácia). Outra condição relevante é a distância “*fonte-barreira-receptor*” que deve ser a menor possível de forma a maximizar a sua eficácia. De facto a colocação de uma barreira a meia distância entre o emissor e o receptor é a menos eficaz



Figura A1. 28 - Exemplo de perda de eficácia de uma barreira colocada a meia distância entre emissor e receptor (IBGE, 2003)

- *A intensidade e espectro do som a atenuar;*

Uma dada barreira garante uma maior eficácia para sons com uma componente aguda mais significativa (ruído de motociclos, por exemplo) do que para sons com uma componente grave mais acentuada (como o ruído produzido por veículos pesados).

- *As condições atmosféricas: regime de ventos e inversão térmica;*

Sempre que a orientação do vento é desfavorável (da fonte para o receptor) ou ocorre uma inversão térmica (fenómeno natural que acontece com maior frequência em noites quentes no verão) a atenuação proporcionada pela barreira pode ser praticamente anulada durante um certo período de tempo. O vento ou o efeito da inversão térmica forçam a curvatura das ondas sonoras em direcção ao solo favorecendo a ineficácia da barreira que deixa de ser obstáculo à propagação das ondas sonoras.



Figura A1. 29 - Exemplo de influência do vento na propagação das ondas sonoras (IBGE, 2003)

- *Propriedades de absorção da barreira;*

Uma superfície absorvente é aquela que absorve parte ou a totalidade da energia recebida e a converte em calor. A absorção acústica revela-se de particular importância quando as barreiras são colocadas de ambos os lados da fonte sonora ou quando existem edifícios do lado oposto ao da colocação da barreira, como forma de evitar reflexões entre a fonte e as barreiras ou de evitar o acréscimo de nível sonoro nos receptores opostos aos protegidos.



- *Peso por m<sup>2</sup> da barreira;*

Uma barreira deve ter uma massa/m<sup>2</sup> mínima (de 10 kg/m<sup>2</sup>) que lhe permita ser eficaz na atenuação do ruído, sendo de evitar a existência de aberturas ou fendas para não ser reduzida essa eficácia.

- *A forma da barreira;*

Uma barreira inclinada (por exemplo, um talude) é menos eficaz que uma barreira vertical com a mesma altura. O facto de se terminar uma barreira com um topo especial pode proporcionar um efeito de atenuação acrescido por redução da componente da difracção.

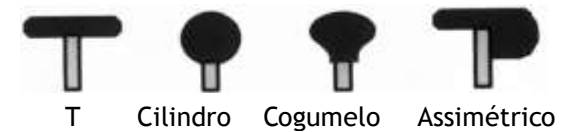


Figura A1. 30 - Exemplos de terminações de barreiras [adaptado de (IBGE, 2003)]

- *O perfil transversal da estrada (posição relativa da estrada em relação à envolvente: aterro, de nível ou escavação).*

Uma estrada em escavação induz um ruído ambiente menos importante dado que os taludes actuam como barreiras “naturais” se, mesmo assim, for necessária a colocação de uma barreira, esta deve ser colocada no topo do talude (no entanto, é de salientar que se a escavação for profunda, a atenuação proporcionada pela barreira será reduzida).

Por oposição, uma estrada em aterro ou em viaduto cria um ruído ambiente não desprezável, uma vez que não existe a atenuação proporcionada pelo solo nem grande interferência de edifícios que possam existir. Nestes casos, a utilização de barreiras acústicas é muito importante não só para os edifícios mais próximos como também para os mais longínquos, devendo haver particular atenção na reflexão entre barreiras (se existirem de ambos os lados da via).

#### A1.7.3.1.2. Conceitos

As ondas sonoras de elevada frequência apresentam um menor comprimento de onda, (pois  $f = c/\lambda$ , sendo  $f$  a frequência em Hz,  $\lambda$  o comprimento de onda em  $m$  e  $c$  a celeridade em  $m/s$ ) e têm um menor ângulo de difracção, enquanto frequências inferiores com maior comprimento de onda têm uma difracção mais próxima da zona de “sombra”. Sendo assim, uma barreira é mais eficaz para situações de ruído com uma forte componente de frequências elevadas.

A **atenuação sonora** ( $A'$ ) (ou perda por inserção) devida à presença de uma barreira acústica pode ser expressa pela diferença entre os níveis de pressão sonora com e sem a presença da barreira acústica (expressão A1.1):

$$A' = Lp_{(sem\ barreira)} - Lp_{(com\ barreira)} \quad (A1.1)$$

É possível utilizar um método de cálculo aproximado muito simples (método proposto por Kurze), válido apenas para fontes sonoras pontuais atrás de barreiras infinitas, em que a atenuação  $A'$  (dB) é dada por uma das seguintes expressões:

$$A' = 0 \quad \text{se } N < -0,1916 - 0,0635K \quad (A1.2)$$

$$A' = 5 + 0,6K + 20 \log \left( \frac{\sqrt{-2\pi N}}{\tan \sqrt{-2\pi N}} \right) \quad \text{se } -0,1916 - 0,0635K \leq N \leq 0 \quad (A1.3)$$

$$A' = 5 + 0,6K + 20 \log \left( \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \right) \quad \text{se } 0 < N < 5,03 \quad (A1.4)$$

$$A' = 20 + 15K \quad \text{se } N \geq 5,03 \quad (A1.5)$$

sendo:

$N$  - Número de *Fresnel*  $N = \frac{2}{\lambda} \times \left[ \sqrt{a^2 + h^2} + \sqrt{b^2 + h^2} - c \right]$ , usando-se o sinal negativo quando o emissor se encontra na linha de visão do receptor (ver Figura A1. 31)

$\lambda$  - Comprimento de onda (m);

$K = 0$  - se a barreira é do tipo vertical;

$K = 1$  - se a barreira é do tipo natural (mota de terra).

Há que ter alguma reserva na aplicação deste método a resultados de  $A'$  superiores a 15 dB, dado que os resultados podem ser mais favoráveis que a realidade, uma vez que não

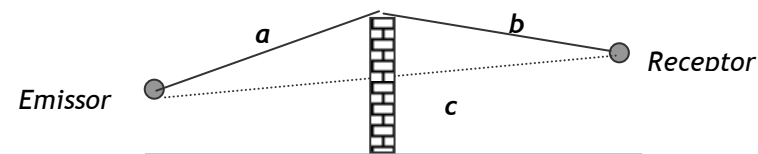


Figura A1. 31 - Geometria da barreira acústica (Carvalho, 2007)

são tomados em consideração todos os percursos das ondas sonoras.

Outra forma expedita de determinar um valor aproximada da atenuação de uma barreira acústica mas agora em dB(A) é através da Figura A1. 32, que em função da diferença de percurso ( $a+b-c$ ) determina o valor da atenuação da barreira:

Uma vez que o limite de eficácia duma barreira está inteiramente dependente da difracção nos seus bordos, a sua massa superficial não necessita nunca de ser superior a  $20 \text{ kg/m}^2$ .

Uma barreira que apenas quebra ligeiramente a linha de visão entre o emissor e o receptor ( $N \approx 0$ ) apenas origina uma redução de 5 dB. Normalmente, projectam-se as barreiras acústicas de modo a obter uma redução mínima de 10 dB, sendo bastante difícil a obtenção de reduções superiores a 15 dB.

Independentemente do tipo de barreira e do seu material constituinte, há certas considerações relativas ao custo estimado que devem ser sempre prévia e atempadamente estudadas, devido a vários factores como o custo de produção, transporte e colocação da barreira além de possível equipamento necessário.

#### A1.7.3.1.3. Factores determinantes no custo de uma barreira

##### Relação entre o tipo de projecto e o tipo de barreira

A construção de uma barreira acústica pode ocorrer em dois momentos: durante a fase de construção da infra-estrutura de transporte ou, posteriormente, minimizando situações de conflito identificadas.

A construção da barreira aquando da construção da infra-estrutura de transporte ou de um empreendimento de uso sensível irá, naturalmente, ter um custo inferior ao da execução numa fase posterior. Durante esta fase, determinados custos (como os relacionados com a mobilização e protecção do tráfego rodoviário possivelmente afectado, os equipamentos e mão-de-obra necessários) serão associados não só à construção da barreira, mas a todas as empreitadas que também os necessitariam.

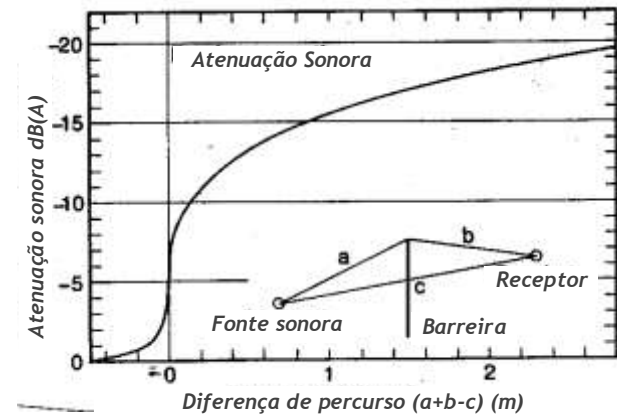


Figura A1. 32 - Método gráfico para determinação da atenuação de barreiras acústicas em função de  $a+b-c$  (Carvalho, 2007)

No caso de se construir posteriormente a barreira acústica, o seu custo irá ser significativamente agravado uma vez que todos os custos atrás descritos irão ser, exclusivamente, associados à sua construção. Em casos de zonas já consolidadas, com problemas de ruído em que a única solução é uma barreira acústica não se poderá ter este tipo de pensamento. No caso de ser possível antecipar futuras zonas de conflito, é conveniente e vantajoso estudar a possibilidade de colocação de barreiras acústicas no momento de construção da infra-estrutura.

### **Acessibilidade**

A localização de uma barreira vai ter influência no seu custo. Caso se queira construir no topo de secções sobrelevadas podem ser necessários guindastes de maiores dimensões e mais dispendiosos para levantar e deslocar os materiais da barreira, além de eventuais indemnizações a terceiros por ocupação temporária de terrenos para construção da barreira. Barreiras construídas em zonas de espaço limitado, como em estruturas previamente construídas e próximas de vias de tráfego, geralmente ficam mais caras devido aos cortes de tráfego necessários.

### **Transporte de material, equipamento e mão-de-obra**

Além das acessibilidades discutidas no ponto anterior, a localização dos componentes necessários à sua construção, os equipamentos e a mão-de-obra também vão influenciar o respectivo custo. O preço aumenta quando os materiais têm de ser enviados de grande distância devido à localização dos postos de produção. De acordo com a localização geográfica da barreira, pode ser fundamental conhecer também as carências de alojamento para a mão-de-obra necessária.

### **Quantidade**

O custo por unidade de barreira acústica irá ser superior no caso de se construir barreiras pequenas. Isto acontece pois caso se construa uma barreira com 100 metros, as medidas de segurança, de mobilização de mão-de-obra e de equipamentos e de corte de tráfego irão ser as mesmas que se construísse uma barreira com 1.500 metros. O mesmo acontece se forem necessários equipamentos especiais para apenas uma pequena parte da barreira. O preço do material também irá variar: por exemplo, para barreiras em aço, o fabricante poderá ter de utilizar um rolo inteiro mesmo para pequenas quantidades, aumentando o custo de produção.

### Disponibilidade de material

No caso de serem necessárias encomendas especiais de determinados materiais (situação mais corrente), é conveniente acrescentar essa encomenda de uma certa percentagem que possibilite a sua armazenagem para eventuais situações de reparação. Uma possível desvantagem desta medida é o excesso de material que uma determinada empresa responsável por várias empreitadas poderá acabar por acumular. É ainda mais importante ter em atenção casos de peças e acessórios especialmente fabricadas para uma obra que, a encomendar no futuro, poderão tornar a sua manutenção extremamente difícil e dispendiosa.

### Limitação às horas de construção

No caso de ser necessário o corte de alguma via de rodagem e seja preciso que a mesma esteja aberta em determinados períodos do dia (como horas de ponta), a eficiência de construção vai ser menor. Da mesma forma, se o trabalho durante o fim-de-semana e durante a noite não forem permitidos, a duração da obra irá ser alargada, podendo representar um aumento nos custos. Assim, se em determinadas zonas próximas de áreas sensíveis não for permitido trabalhar durante algumas horas do dia, não forem permitidos o uso de certos equipamentos ou métodos construtivos, ou que se ultrapasse determinados valores de níveis sonoros, a obra será mais dispendiosa devido a atrasos, construção de barreiras temporárias ou equipamentos mais silenciosos.

#### A1.7.3.1.4. Categorias e materiais

As barreiras acústicas, de acordo com as suas características de absorção sonora, podem-se classificar como *reflectoras*, *reflectoras-dispersivas*, *absorventes*, *naturais* e *combinação das anteriores*.

Em relação ao tipo de materiais de constituição podem-se classificar as barreiras nos seguintes grupos:

- a) *Betão (simples, texturado, revestido a argila expandida, a fibras de madeira, a lava);*
- b) *Muros de alvenaria (blocos de argila expandida, blocos de betão, tijolo cerâmico);*
- c) *Painéis metálicos (simples, absorvente numa face, absorvente em dupla face);*
- d) *Madeira (diversos tipos);*

- e) Painéis transparentes (chapa acrílica fundida ou extrudida);
- f) Plásticos (diversos tipos);
- g) Compósitas (diversos tipos);
- h) Motas de terra (aterros).

Qualquer um dos materiais anteriormente mencionados possui diversas vantagens e desvantagens, dependendo a sua escolha dos requisitos a cumprir e da natureza do projecto.

#### a) Barreiras em Betão

O betão é um material que, quando bem projectado, moldado, executado e curado, é considerado um dos mais duráveis (é resistente, suporta temperaturas extremas, gelo, Sol intenso e sal, não necessitando de muita manutenção). É facilmente moldado e texturado, podendo apresentar um aspecto semelhante à de outros materiais como madeira ou pedra natural e sofrer tratamentos superficiais capazes de reflectir o som num determinado ângulo evitando desta maneira receptores Sensíveis.

As barreiras acústicas em betão podem ser fabricadas *in situ* (economicamente viáveis apenas para pequenas quantidades), sendo por vezes utilizadas em muros de suporte devido à flexibilidade do *design*, alta resistência estrutural e elevada resistência ao impacto de veículos. Quando moldados em fábrica, e por razões de transporte e de construção, os painéis de betão pré-fabricados estão normalmente sujeitos a um comprimento máximo de 4,5 metros.

Os painéis pré-fabricados são normalmente assentes sobre fundação contínua ou discreta. A colocação em obra é relativamente rápida embora possa necessitar de equipamentos robustos devido ao seu peso, necessitando de camiões para o seu



Figura A1. 33 - Barreira em betão texturado colorida (FHWA, et al., 2000)



Figura A1. 34 - Barreira em betão texturado natural (FHWA, et al., 2000)



transporte e guas para a montagem (pode implicar o fecho parcial ou total das vias de circulação). Além disso, visto serem basicamente várias peças de betão juntas e unidas, há a possibilidade de serem reutilizadas em barreiras temporárias ou permanentes (ver Figura A1. 33 e Figura A1. 34).

#### Vantagens:

- Material muito resistente e com massa/m<sup>2</sup> muito significativa ;
- É autoportante;
- Apresenta uma longa vida útil (pode chegar ao 40 anos), exigindo pouca manutenção;
- Pode ter características de absorção medianas (por comparação com barreiras metálicas ou plásticas absorventes);
- Pode apresentar variações de praticamente ilimitadas.

#### Inconvenientes:

- Como é uma solução opaca, obstrui o campo de visão aos utilizadores da via e aos receptores;
- Apresenta menores características de absorção quando comparada com as barreiras metálicas absorventes;
- As características cromáticas são pouco flexíveis.

#### b) Muros de alvenaria

Os muros de alvenaria podem ser executados manualmente ou pré-montados por máquinas. A execução manual tem a vantagem de ser mais versátil na conformidade no contacto com a topografia geográfica onde se encontra a via e de não necessitar de equipamentos pesados para a colocação de painéis. Contudo, os painéis pré-montados apesar de mais fáceis de montar necessitam de maior espaço de manobra para camiões e guas, constituindo soluções que facilmente podem ser utilizadas em terrenos com alguma inclinação - até cerca de 6% (Figura A1. 35).

Ambas as situações necessitam de fundações contínuas de betão, encontrando-se os blocos ancorados à fundação através de barras de aço. Varões verticais e horizontais são também necessários na própria parede para obter estabilidade estrutural. Na maior parte dos casos são também necessários andaimes ou mesmo



Figura A1. 35 - Barreira em muro de alvenaria (FHWA, et al., 2000)

guindastes. É preciso espaço e uma base sólida e plana, além de bastante tempo para a sua montagem e desmontagem.

### c) Barreiras em Painéis Metálicos

Há três tipos de metais comumente utilizados em barreiras acústicas: aço, alumínio e aço inoxidável (Figura A1. 36 e Figura A1. 37).

O *alumínio* é normalmente revestido com tinta de esmalte ou é anodizado. Não é compatível com revestimentos galvanizados, mas apresenta elevada durabilidade, não só nas suas características acústicas como também nas suas características exteriores (pintura, furação, corrosão, etc.). O *aço* é o mais barato dos metais utilizados. A maior parte dos painéis de aço e respectiva estrutura de suporte vertical e horizontal são revestidos a plastisóis ou tinta de esmalte ou materiais galvanizados ou produzidos com acabamento auto-protector contra ferrugem. O *aço inoxidável* apresenta elevada durabilidade e resistência à corrosão, não necessitando de revestimentos para a sua protecção.

Este tipo de barreiras é geralmente absorvente, consistindo numa fachada frontal metálica perfurada e um painel traseiro metálico não perfurado, com um interior preenchido por material absorvente poroso como por exemplo lã mineral de alta densidade. Os painéis metálicos têm a vantagem de ser leves, sendo particularmente úteis no prolongamento vertical de barreiras acústicas existentes, para montar em muros de suporte com resistência limitada ou em estruturas como pontes.

Considerações a ter em atenção para barreiras em painéis metálicos:

- A existência de painéis não pintados e enferrujados em contacto com betão mancham-no;
- É necessário ter um cuidado especial na conjugação de diferentes metais de forma a não criar condições de incompatibilidade (o alumínio em contacto com o revestimento galvanizado do aço acaba por se deteriorar num curto período de tempo);



Figura A1. 36 - Barreira em painéis metálicos (vista posterior) (FHWA, et al., 2000)

- Para salvaguardar a segurança rodoviária, são de evitar materiais brilhantes que possam ofuscar os condutores;
- Deve ser evitada a sua construção perto de linhas de electricidade, a não ser que os seus componentes possam ser convenientemente aterrados;
- Os painéis metálicos são finos, sendo facilmente vítimas de vandalismo ou danificados por veículos e equipamentos, devendo portanto ter-se em atenção a sua espessura, força estrutural e distância à via.



Figura A1. 37 - Barreira em painéis metálicos (FHWA, et al., 2000)

#### Vantagens:

- Material opaco com massa/m<sup>2</sup> suficiente para ter características de isolamento;
- Com alguns cuidados de manutenção pode apresentar uma vida útil longa (pode chegar aos 30 anos);
- As barreiras metálicas absorventes apresentam boas características de absorção.

#### Inconvenientes:

- Deve ter tratamento anti-corrossão (quando o material de constituição é o aço). Este procedimento deve ser periodicamente repetido (máximo de 20 anos), bem como a substituição das peças danificadas para evitar a perda de utilidade das barreiras;
- O material de absorção contido no interior da barreira reduz as suas características na presença de humidade, pelo que deve ser substituído regularmente;
- Apresenta pouca variação de forma, em contrapartida as conjugações de cor são praticamente ilimitadas;
- A sua integração paisagística é difícil de conseguir, uma vez que, sendo opaca, obstrui a visibilidade tanto do lado da estrada como do receptor. Esta situação é agravada pelo facto de ser difícil a sobrevivência de vegetação junto aos painéis metálicos pelo calor acumulado.

#### d) Barreiras em Madeira

As barreiras acústicas em madeira (Figura A1. 38) são de aplicação muito rara em Portugal. A maior parte destas barreiras são construídas com madeira, contraplacado de madeira ou ainda por produtos laminados de madeira (tratada contra fungos, insectos e outros organismos capazes de a destruir), podendo apresentar tanto a função de absorção acústica como a função dispersiva. Há diversas espécies de madeira possíveis de utilizar em barreiras acústicas, cada uma com características e desempenho acústico específico. As espécies mais comuns são: amieiro vermelho, abeto, pinheiro e eucalipto.

São um tipo de barreiras mais adequado para zonas rurais devido à sua estética rudimentar, sendo de evitar a sua colocação ao longo de viadutos e pontes. Este facto deve-se, essencialmente, a questões de segurança e estéticas e não às características acústicas dos diferentes materiais.



Figura A1. 38 - Barreiras em Madeira (FHWA, et al., 2000)

#### Vantagens:

- Material opaco com massa/m<sup>2</sup> suficiente para ter características de isolamento;
- Integração paisagística facilitada dado que é um material “natural”;
- As barreiras de madeira absorventes apresentam características de absorção medianas.

#### Inconvenientes:

- A sua vida útil é limitada (máximo de 20 anos), tendo em atenção as características climatéricas (clima húmido);
- Deve ter tratamento anti-fungos para aumentar a sua durabilidade, contudo estes produtos são ambientalmente agressivos;
- Como é uma solução opaca, obstrui o campo de visão aos utilizadores da via e aos receptores.

#### e) Barreiras em Materiais Transparentes

As barreiras transparentes são constituídas por materiais como o vidro temperado, endurecido ou reforçado ou por chapas acrílicas transparentes fundidas ou extrudidas, podendo ser completamente incolores ou apresentar diversas tonalidades.

Sempre que necessário podem apresentar reforço com fibras de carbono ou de poliamida ou a aplicação de equipamento suplementar com função de redução do perigo de colisão de aves (autocolantes de aves ou riscas abrasivas no material).

A utilização deste tipo de materiais está associada ao enquadramento estético pretendido e à necessidade de reduzir o impacto visual da barreira, permitindo o prolongamento do campo visual através da barreira e evitando que zonas posteriores à barreira estejam permanente ou temporariamente em sombra ou com reduzida luminosidade (Figura A1. 39). Devem ser usadas em situações bem estudadas como maior abrangência do campo visual, probabilidade de acções de vandalismo (por exemplo, podem ter tratamento anti-*grafitti*), sem receptores Sensíveis no lado oposto da via (excepto quando se adoptam medidas complementares de minoração do efeito de reflexão das ondas sonoras), visto serem mais dispendiosas que barreiras de betão ou metálicas.

Alguns materiais perdem a sua transparência com relativa facilidade, sendo também mais rapidamente desgastados com areias, pelo que a sua selecção deve obedecer a critérios rigorosos que não onerem desmesuradamente a sua manutenção e aumentem a esperança de vida útil. A sua utilização pode originar problemas à fauna existente, nomeadamente, aos pássaros que têm alguma dificuldade em notar a sua presença (painéis transparentes e incolores), pelo que devem ser incorporados no material riscas ou outros elementos que aumentem a sua visibilidade.



Figura A1. 39 - Barreira acústica transparente com pormenor de integração paisagística (FHWA, et al., 2000)

#### Vantagens:

- Material transparente com massa/m<sup>2</sup> suficiente para ter características de isolamento;
- Como é uma solução transparente, não obstrui o campo de visão aos utilizadores da via e aos receptores, potenciando o sentido de orientação e permitindo o desfrute da paisagem;
- Apresenta uma vida útil moderada e é resistente aos raios ultravioletas, apesar de exigir alguns cuidados de manutenção;

#### Inconvenientes:

- É um material relativamente frágil, sensível ao vandalismo e inflamável (pelo que deve ter o respectivo tratamento);
- Não apresenta características de absorção;
- Pode ostentar temporariamente, devido a fenómenos de condensação, alguma opacidade;



#### f) Barreiras em Materiais Plásticos

Existem diversos tipos de materiais plásticos com possibilidade de utilização em barreiras acústicas, como o polietileno, o PVC e a fibra de vidro. Uma característica deste tipo de materiais é a sua versatilidade e maleabilidade, podendo-se utilizar estes materiais de forma a serem parecidos com qualquer tipo de material existente. São leves e passíveis de reciclagem (Figura A1.40).

Considerações a ter em atenção para as barreiras em materiais plásticos:

- Alguns materiais não são muito estáveis podendo ter variações dimensionais significativas criando, desta forma, falhas entre juntas e originar deformações;
- Alguns materiais não são resistentes à radiação ultravioleta, devendo por isso ter na sua composição produtos capazes de os proteger de forma a não causar uma rápida deterioração da aparência do material e da sua resistência;
- São materiais com uma tendência para ao longo do tempo perderem a capacidade de resistência à quebra, levando a que um pequeno impacto possa ser destrutivo. O seu arranjo é a total substituição do módulo quebrado, elevando assim os custos de manutenção além de poder acontecer que o mesmo material seja de difícil execução originando painéis com estéticas diferentes;
- Dependendo da textura da superfície aplicada, são susceptíveis de brilho.



Figura A1. 40 - Barreira absorvente em material plástico (FHWA, et al., 2000)

#### Vantagens:

- Material opaco com massa/m<sup>2</sup> suficiente para ter características de isolamento;
- Pode oferecer variações cromáticas praticamente ilimitadas, é resistente aos raios ultra-violetas e tem uma vida útil prolongada;
- Apresenta excelentes características de absorção;
- Pode ser fabricado a partir de materiais reciclados e pode ser reciclável;

#### Inconvenientes:

- É um material novo pelo que ainda não há expectativas quanto à manutenção das suas características a longo prazo;
- Como é uma solução opaca, obstrui o campo de visão aos utilizadores da via e aos receptores;
- São materiais mais inflamáveis, com emissões, fumos, gases e cinzas tóxicas;
- São materiais susceptíveis de vandalismo fácil.



### g) Barreiras Compósitas

Uma barreira compósita não é mais do que uma barreira composta por dois ou mais materiais, como por exemplo um suporte de betão que posteriormente é revestido com madeira, fibra de vidro, borracha, lava ou madeira misturada com betão (betão-madeira) (Figura A1. 41 e Figura A1. 42).

Dada a variedade possível de combinações, torna-se importante conhecer a fundo o material compósito antes de o usar para perceber quais as suas características de desempenho, de durabilidade, de segurança, etc.

Considerações a ter em atenção para barreiras em materiais compósitos:

- *Alguns compósitos têm tendência a arder, devendo por isso conhecer-se a toxicidade das suas emissões e cinzas e ainda incorporar na sua produção produtos retardantes de fumo e chama;*
- *Devido à utilização de diversos materiais com características elásticas diferentes, podem ocorrer fenómenos que levam ao aparecimento de fendas. Da mesma forma, todas as outras características físicas também poderão ter diferenças significativas que poderão originar outros problemas;*
- *A reciclagem deste tipo de barreiras poderá ser problemático devido aos aditivos necessários para a sua produção.*

#### Vantagens:

- Material opaco com massa/m<sup>2</sup> suficiente para ter características de isolamento;
- Pode oferecer variações cromáticas praticamente ilimitadas, é resistente aos raios ultra-violetas e tem uma vida útil prolongada;
- Apresenta excelentes características de absorção;

#### Inconvenientes:

- São materiais mais inflamáveis, com emissões, fumos, gases e cinzas tóxicas;
- Apresenta elevadas características de absorção sonora;
- Como é uma solução opaca, obstrui o campo de visão aos utilizadores da via e aos receptores.



Figura A1. 41 - Barreira compósita de betão com betão madeira (FHWA, et al., 2000)



Figura A1. 42 - Barreira compósita de betão com borracha (FHWA, et al., 2000)

#### h) Motas de Terra (aterros)

Motas de terra são elevações erigidas com materiais naturais (aterros) que funcionam como barreiras acústicas. São soluções que podem apresentar vantagens em relação às barreiras “não naturais” pelo facto de serem “transparentes” na paisagem. O seu enquadramento natural não cria um elemento intrusivo no horizonte visual, criando uma sensação de liberdade e não de enclausura. Podem apresentar menores custos de manutenção e um potencial de durabilidade quase ilimitado (Figura A1. 43 e Figura A1. 44).

Em caso de projectos novos, é possível utilizar os materiais de terraplenagem excedentários criando bermas elevadas a um custo relativamente baixo, que minoram os impactos negativos do transporte e deposição dos materiais de escavação em vazadouros exteriores. Contudo, o material excedentário nem sempre permite a criação de pequenas encostas, sendo necessárias maiores quantidades para a construção de elevações com porte suficiente para proporcionar alguma atenuação acústica, razão pela qual é importante ter em consideração a localização e a disponibilidade dos materiais pretendidos.

São medidas que necessitam de grandes espaços de terreno para assegurar a estabilidade estrutural, podendo ser aplicados reforços de geotêxtil que permitem o aumento da inclinação dos taludes e reduzem a área da base. É uma solução que encarece este tipo de medida de minoração, podendo ou não ser mais atractiva visualmente.

A criação de motas de terra é uma medida quase exclusivamente indicada para zonas rurais ou semi-rurais, onde o espaço disponível é mais abundante, criando uma maior harmonia com a paisagem circundante. Devido ao formato da própria mota de terra e caso seja necessário, é possível a colocação de um paramento vertical no topo de forma a aumentar a eficácia do conjunto.



Figura A1. 43 - Barreiras “naturais” em mota de terra (FHWA, et al., 2000)



Figura A1. 44 - Barreiras “naturais” em mota de terra (FHWA, et al., 2000)

#### Vantagens:

- Material com massa/m<sup>2</sup> suficiente para ter características de isolamento;
- É uma solução dispendiosa ou não consoante a disponibilidade de terras para realizar o aterro;
- É uma barreira “natural” com tratamento paisagístico fácil, principalmente, pela plantação de vegetação, tornando-a quase “invisível” passado alguns anos;
- Tem uma vida útil ilimitada e não é facilmente afectada por danos externos.

#### Inconvenientes:

- É uma solução que exige grande disponibilidade de espaço quando comparada com as soluções tradicionais (pode-se reduzir um pouco as necessidades de espaço utilizando estruturas de reforço de taludes);
- A atenuação sonora proporcionada é menos eficaz do que para uma barreira tradicional com a mesma altura, além de exigir cuidados de manutenção das espécies vegetais;
- Como é uma solução opaca, obstrui o campo de visão aos utilizadores da via e aos receptores.

#### A1.7.3.1.5. Resumo de características das barreiras

O Quadro A1. 7 apresenta um resumo das características dos diversos tipos de barreiras acústicas anteriormente descrito e de aplicação comum em Portugal.

Quadro A1. 7 - Quadro-resumo das características de barreiras acústicas [adaptado de (IBGE, 2003)]

Tipo de Barreira Critério	Metal		Betão		Madeira tratada		Transparente		Materiais Compósitos	Mota de terra		
	Aço		Alumínio		A		NA					
	A	NA	A	NA	A	NA	PC	AC				
Protecção acústica	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0		
Absorção sonora	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	0	
Peso por m <sup>2</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+	
Disponibilidade de formas	-	-	-	-	+	+	0	0	+	+	-	0
Disponibilidade cromática	+	+	+	+	0	0	0	0	-	-	+	n.a.
Espaço disponível	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Integração paisagística	-	-	-	-	-	-	+	+	0	0	-	+

Tipo de Barreira Critério	Metal				Betão		Madeira tratada		Transparente		Materiais Compósitos	Mota de terra
	Aço		Alumínio		A	NA	A	NA	PC	AC		
	A	NA	A	NA								
Obstrução do campo de visão	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Durabilidade	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+
Resistência às condições climatéricas	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+
Resistência ao vandalismo	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	+
Resistência ao vento	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+
Frequência de manutenção	0	0	+	+	+	+	-	-	-	-	0	-
Custo de construção	-	0	-	0	0	-	0	0	+	+	+	+
Custo de manutenção	-	-	-	-	0	+	0	0	0	0	-	0

**LEGENDA :**

A - barreira com propriedades de absorção sonora  
 NA - barreira sem propriedades de absorção sonora  
 PC - barreira em policarbonato  
 AC - barreira acrílica

n.a. critério não aplicável ao tipo de barreira em causa  
 + O tipo de barreira tem um comportamento favorável em relação ao critério  
 0 O tipo de barreira não é sensível a este critério  
 - O tipo de barreira tem um comportamento desfavorável em relação ao critério

### A1.7.3.1.6. Factores que afectam o desempenho de barreiras

#### A1.7.3.1.6.1. Redução da atenuação sonora

Em certas situações, podem surgir pequenas fendas nas ligações entre painéis das barreiras ou entre painéis e a estrutura de suporte. Contudo, na maior parte dos casos, a presença de uma fenda não diminui significativamente a capacidade de atenuação sonora da barreira, uma vez que a área de abertura é quase insignificante relativamente à área total de barreira.

O Quadro A1. 8 mostra a relação entre a percentagem de área de vazios numa barreira e a perda de eficácia a esperar nessa barreira, concebida para proporcionar uma determinada atenuação sonora. Conforme se pode verificar a presença desses orifícios e fendas tornam-se mais problemática quanto maior a atenuação sonora pretendida.

Quadro A1. 8 - Relação entre áreas de vazio e a redução da atenuação proporcionada por uma Barreira (EPD, 2003)

% máxima de área ocupada por orifícios e fendas	Atenuação sonora aos 500 Hz sem orifícios e fendas			
	10 dB*	15 dB*	20 dB*	25 dB*
	Redução na atenuação sonora, dB			
6,0	5	10	14	19
3,0	4	7	11	16
1,5	2	5	9	13
0,8	1	3	6	10
0,4	1	2	4	8
0,2	0	1	3	5
0,1	0	1	1	4
0,05	0	0	1	2

\* Atenuação sonora requerida para uma dada barreira

**Nota:** Há, no entanto, casos em que se criam aberturas propositadamente: na Finlândia, estudos revelaram que uma abertura de 40 cm no fundo da barreira de forma a evitar estragos devido ao gelo diminui em 3 dB a atenuação imediatamente por detrás da barreira, contudo a distâncias superiores a 20 m este facto já não se torna importante.

#### A1.7.3.1.6.2. Extensão mínima

O fenómeno de difracção do som ocorre também pelos contornos laterais das barreiras, apesar de, em geral, poder ser considerado menos significativo que o fenómeno pelo topo. Isto faz com que o nível de redução sonora atingida por uma barreira dependa não só da sua altura e localização entre o receptor e a fonte ruidosa, mas também do comprimento da barreira.

Uma regra empírica refere que o comprimento da barreira deve ser o suficiente para que a distância entre o receptor e a extremidade da barreira seja pelo menos 4 vezes a distância, medida na perpendicular, entre o receptor e a barreira. Nestas condições o ângulo formado entre o receptor e cada extremidade vertical da barreira será superior a 75°, logo o comprimento

da barreira pode ser reduzido através da utilização de troços terminais de barreira inclinados nas extremidades, criando assim um ângulo idêntico (Figura A1. 46 e Figura A1. 45).

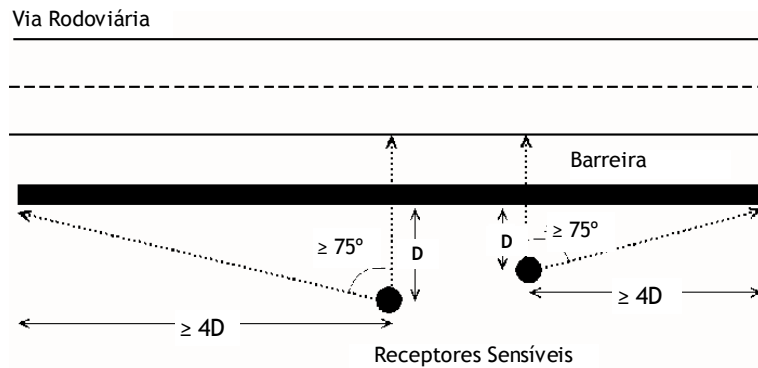


Figura A1. 46 - Esquema com regras empíricas para determinação do comprimento mínimo de uma barreira (FHWA, et al., 2000)

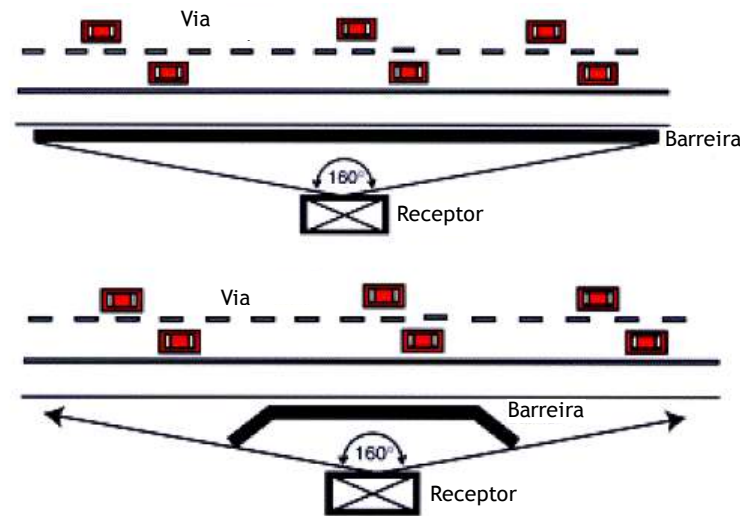


Figura A1. 45 - Esquema com minimização do comprimento da barreira por inclinação dos troços finais da barreira (Kotzen, et al., 1999)

#### A1.7.3.1.7. Considerações acústicas na concepção

Em situação corrente é de esperar uma atenuação sonora de 5 dB(A) nos receptores cuja linha de visão para a fonte ruidosa seja interrompida pela barreira (ver Quadro A1. 9).

Pode-se estipular como regra empírica que, por cada acréscimo de 1 m na altura da barreira, existe um acréscimo de 1,5 dB(A) na atenuação sonora proporcionada aos receptores colocados na zona de sombra.



Quadro A1. 9 - Relação entre a perda por inserção da barreira e a facilidade de concepção [adaptado de (FHWA, et al., 2000)]

Perda por Inserção da barreira	Facilidade de concepção	Redução na energia sonora	Redução perceptível da sonoridade
5 dB(A)	Simple	68%	Mínimo imediatamente perceptível
10 dB(A)	Atingível	90%	“Metade” do ruído
15 dB(A)	Muito complicado	97%	“Um terço” do ruído
20 dB(A)	Quase impossível	99%	“Um quarto” do ruído

As barreiras devem ser suficientemente altas e compridas de forma a evitar, o mais possível, a difracção do som pelas suas extremidades. Quando não é possível um comprimento desejado da barreira, devem prever-se anteparas laterais de forma a evitar que o ruído atinja o receptor pelo contorno lateral, conforme se pode observar na Figura A1. 47.

**Paredes verticais versus mota de terra** - a decisão de se optar por uma barreira acústica vertical ou por uma mota de terra depende, essencialmente, da área e material disponível, dos custos associados, das características estéticas e das preocupações da população. Acusticamente, tendo as duas soluções possíveis a mesma altura e comprimento, uma mota de terra fará ganhar cerca de 1 a 3 dB(A) de atenuação suplementar devido ao patamar existente no topo, normalmente plantado com diversas espécies arbóreas e arbustivas, além de possibilitar uma dupla difracção de ambos os lados do patamar, permite a atenuação e mascaramento do som. Contudo, devido à maior área e quantidade de material de aterro necessária e ao facto da atenuação suplementar não ser facilmente perceptível pelo ouvido humano, normalmente só é utilizada em situações de excesso de terras e com espaço de expropriação suficiente.



Figura A1. 47 - Exemplo de terminação de barreira (FHWA, et al., 2000)

A **colocação de uma barreira acústica** pode originar um aumento do nível sonoro no lado oposto à da sua colocação devido à reflexão das ondas sonoras. É um fenómeno comum que, apesar de medições efectuadas normalmente demonstrarem aumentos não superiores a 1 ou 2 dB(A) no receptor oposto mais afectado, reflecte o incómodo percebido por este receptor que percebe

o som de modo diferente devido à mudança de frequências resultante das reflexões (as altas frequências sofrem mais reflexões que as baixas frequências, são as mais audíveis e, portanto, as mais incómodas).

A **colocação de barreiras paralelas** em lados opostos da estrada também pode degradar a atenuação possível das barreiras entre 2 e 6 dB(A). Este tipo de problemas pode ser minimizado por actuação nos seguintes domínios:

- *Utilização de materiais absorventes nas faces das barreiras voltadas para a via;*
- *Durante a construção da barreira adoptar uma inclinação mínima de 5° para o exterior da via;*
- *Assegurar que a distância entre as duas barreiras paralelas é pelo menos 10 vezes a sua altura. Quanto maior a relação distância/altura (d/a), menor a perda de eficácia da atenuação das barreiras (ver Quadro A1. 10).*

Quadro A1. 10 - Relação entre a distância de barreiras paralelas e a sua perda de eficácia [adaptado de (FHWA, et al., 2000)]

Relação distância/altura	Máxima variação na perda por inserção em dB(A)	Recomendação
< 10:1	≥ 3	Necessária acção para minimizar a perda de eficácia
10:1 - 20:1	0 - 3	Perda de eficácia pode ser quase imperceptível, na maior parte das situações não é necessário tomar medidas complementares
> 20:1	Sem perda de eficácia apreciável	Nenhuma acção necessária

Nas situações em que seja necessário dotar uma barreira acústica de uma abertura franca (sem porta com fecho de batente) há que prever uma colmatação dessa abertura com uma barreira paralela que se prolongue, na parte posterior e para cada lado, pelo menos duas vezes a largura do corredor formado pelas duas barreiras.

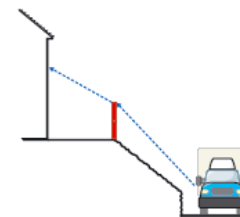
Para minimizar os **efeitos de difracção pelo topo**, podem-se considerar a utilização de terminações absorventes em “T” que poderão proporcionar um ganho de eficácia máximo de 2,5 dB(A) por comparação com barreiras de topo vertical. Outra forma

de melhorar essa eficácia, sem alterar a forma da barreira, consiste na colocação um remate vertical absorvente (com cerca de 0,5 m) cuja atenuação suplementar poderá chegar aos 2 dB(A).

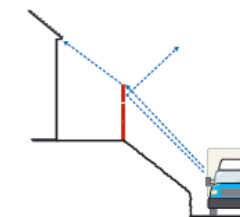
A Figura A1. 48 apresenta um exemplo de uma moradia localizada próximo de uma auto-estrada, cuja solução para atenuar o desconforto sonoro causado por essa via é exemplificado com quatro soluções de colocação e altura de uma barreira acústica.

O Quadro A1. 11 resume alguns pontos relativos a barreiras acústicas que se podem considerar como contemplações gerais:

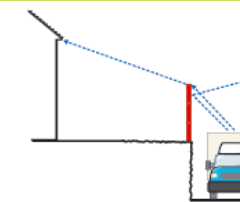
**SOLUÇÃO 1:** barreira implantada a meio caminho entre a fonte e o receptor, com duas unidades de altura.  
**RESULTADO:** objectivo não alcançado.



**SOLUÇÃO 2:** barreira semelhante à da Solução 1 mas com três unidades de altura.  
**RESULTADO:** protecção insuficiente para o piso superior, existindo intrusão visual face ao espaço existente para a circulação dos moradores.



**SOLUÇÃO 3:** barreira semelhante à da Solução 2 mas colocada junto à berma da estrada.  
**RESULTADO:** protecção idêntica à conseguida com a barreira anterior mas um pouco melhor para o piso superior. No entanto, a relocalização da barreira permitiu diminuir a intrusão visual para os moradores. O custo desta Solução é cerca de 1,7 vezes superior ao da Solução 2.



**SOLUÇÃO 4:** barreira semelhante à da Solução 3 mas com cinco unidades de altura.  
**RESULTADO:** maior eficácia, mas muito mais dispendiosa e claramente pouco integrada na paisagem. O custo desta Solução é cerca de 2,5 vezes superior ao da Solução 3.

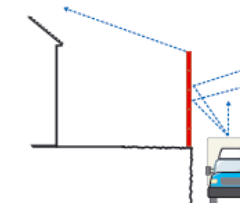


Figura A1. 48 - Exemplo de instalação de barreiras junto a edifícios [(IA, et al., 2004)]

Quadro A1. 11 - Resumo sobre Barreiras Acústicas [adaptado de (FHWA, et al., 2000)]

### Atenuação da barreira acústica

Assegurar que as características físicas da barreira são adequadas.

#### Peso:

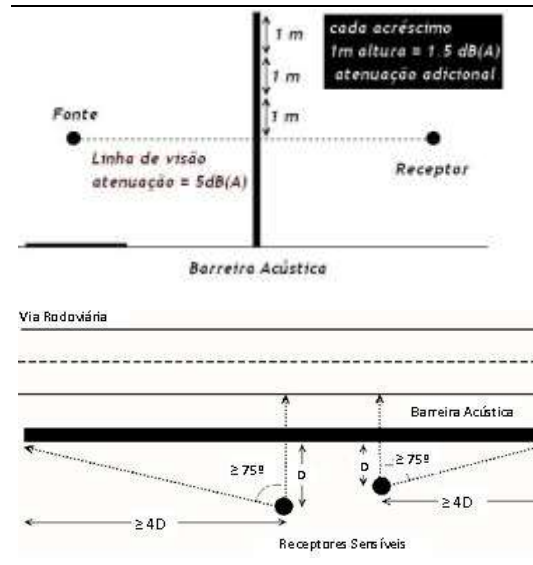
- O material que compõe a barreira deverá garantir uma massa superficial mínima de 20 kg/m<sup>2</sup>

#### Isolamento Sonoro:

- O material/sistema que compõe a barreira deverá garantir um isolamento sonoro mínimo por atravessamento de 20 dB(A)

### Dimensões da barreira acústica

Assegurar que as características técnicas (altura e comprimento) da barreira são adequadas.



#### Altura da barreira:

- Correspondente ao sombreamento da linha de visão  $\Rightarrow$  5 dB(A)
- Cada 1 m de barreira acima desse ponto  $\Rightarrow$  1,5 dB(A)

#### Comprimento da barreira:

- No mínimo igual a quatro vezes a distância medida na perpendicular entre o receptor a proteger e a barreira
- O ângulo formado entre a perpendicular à barreira e o final da mesma com centro no receptor a proteger deve ser, no mínimo, de 75°.

### A1.7.3.2. *Vegetação*

Por vezes pensa-se que a colocação de vegetação (árvores) pode servir como eficaz barreira acústica. Ora tal só raramente é verdade. O acréscimo de atenuação sonora devida à propagação através de densa vegetação só é significativa para espessuras superiores a 10 m e é muito mais importante para altas frequências do que para as baixas frequências. Um dos métodos possíveis de prever essa atenuação é descrito numericamente no Quadro A1. 12.

Existe porém um efeito psicológico positivo na colocação de vegetação pois se o receptor não tiver na sua linha de visão a fonte sonora mais facilmente se abstrai da sua existência.

Quadro A1. 12 - Atenuação sonora proporcionada por um maciço de vegetação

Espessura de vegetação EV (m)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz
$10 \leq EV < 20$	0	0	0	1	1	1	1	2	3	dB
$20 \leq EV \leq 200$	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12	dB/m
$EV > 200$	4	4	6	8	10	12	16	18	24	dB

### A1.7.4. *Redução do ruído no receptor*

#### A1.7.4.1. *Reforço Acústico*

##### A1.7.4.1.1. *Objectivo*

É possível considerar num plano de redução de ruído como último recurso e quando comprovadas como esgotadas as medidas de redução de ruído na fonte e no meio de propagação, a adopção de medidas de minoração do ruído no receptor, nomeadamente, pela actuação no reforço do isolamento sonoro das fachadas dos edifícios. A sua adopção e implementação vai competir à entidade responsável pela actividade produtora de ruído ou ao receptor afectado, conforme aquele que mais recentemente se tenha instalado ou dado início à respectiva actividade ou seja titular da autorização ou licença mais recente, conforme indicado no RGR.

Assim, estas medidas poderão constituir formas de minimização de incomodidade sonora podendo, por exemplo, tomar-se o valor do indicador  $L_{Aeq}$  do ruído ambiente no interior dos locais de recepção igual ou inferior a 27 dB(A) como valor limite para não ocorrer incomodidade no interior de espaços sensíveis (conforme RGR). Podem, assim, ser estudadas soluções de reforço acústico que baixem os níveis sonoros no interior dos espaços onde se localizem esses receptores. Porém, na maioria das situações correntes revela-se quase impossível aumentar o isolamento sonoro da fachada em mais do que 6 dB.

Como forma de melhorar o isolamento sonoro das fachadas dos edifícios existem diversas opções de actuação mas podem-se resumir em dois grandes grupos: reforço das envolventes opacas e reforço dos vãos envidraçados exteriores.

#### A1.7.4.1.2. Reforço das envolventes opacas

O aumento do isolamento sonoro de envolventes opacas obtém-se por duas formas: aumentando a massa do elemento (sendo esta uma solução, apenas válida até um limite físico de  $500 \text{ kg/m}^2$ , por motivos económicos e funcionais) ou, mais facilmente, pela duplicação dos paramentos verticais (paredes duplas).

Assim, em cada situação, é necessário conhecer o valor do nível sonoro de ruído ambiente exterior, o nível sonoro no interior dos edifícios e o valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ( $R_w$ ) de cada elemento construtivo, de forma a poder ser estudada uma solução de colocação ou substituição dos elementos construtivos por outros com melhores características de isolamento sonoro.

#### A1.7.4.1.3. Reforço dos vãos envidraçados exteriores

O aumento do isolamento sonoro de vãos envidraçados obtém-se por duplicação dos elementos de vidro. Tal pode ser feito colocando uma nova janela (“janela dupla”) ou substituindo o vidro existente por outro duplo (“vidro duplo”). Destas duas alternativas, a da “janela dupla” é a mais eficaz e aconselhável (isto pois também minimiza a entrada de ruído através das caixas de estore, quando existem).

A forma actual de se comparar o desempenho acústico de diferentes tipos de vidros é efectuada através do conhecimento de um único **índice de redução sonora  $R_w(C;C_{tr})$** . É um índice medido em laboratório, de acordo com a norma NP EN 140-3, que



tem em consideração os valores do isolamento nas bandas de frequência de terços de oitava de 100 Hz a 3150 Hz, conforme a norma **NP EN ISO 717-1**, para uma curva de referência e também adaptada a dois espectros de um dado ruído:

- **Ruído rosa** de referência, ruído que contém a mesma energia acústica em cada intervalo de frequência de medida ( $C$ );
- **Ruído de tráfego** que pretende caracterizar um ruído exterior de tráfego urbano ( $C_{tr}$ ).

Estas correcções  $C$  e  $C_{tr}$  tomam em consideração as características da fonte de ruído, evitando-se desta forma erros de investimento, e uma melhor eficácia na selecção dos vidros mais adequados a uma situação específica. Nalguns casos pode-se assim usar o índice  $R_w + C_{tr}$  em situações com ruído de tráfego e o índice  $R_w + C$  nas outras circunstâncias.

Todos os vidros têm uma frequência crítica onde o ruído se transmite com maior facilidade, originando uma quebra no isolamento sonoro que pode atingir os 10 a 15 dB. É pois importante ter envidraçados que apresentem essa frequência crítica em valores o mais reduzidos possível, para o que se devem usar sempre vidros de espessuras diferentes.

Deverá ser dada atenção ao efeito de eventuais varandas ou outras saliências significativas nas fachadas que podem aumentar ou diminuir o isolamento sonoro do conjunto.

Nos Quadro A1. 13 e Quadro A1. 14 apresentam-se valores meramente indicativos de isolamentos sonoros potenciais para diversos tipos de vidros e caixilharia.

Quadro A1. 13 - Isolamento Sonoro de diversos tipos de vidro [adaptado de (Saint-Gobain Glass, 2000)]

Composição do vidro (mm)	$R_{A,tr}$ Vidro (dB)	$R_{A,tr}$ Janela (dB)			$D_{2m,n,w}$ Fachada (dB)				
		Mínimo	Médio	Máximo	30	35	38	42	45
4 (12) 4	27	27	28	30	Possível	Não	Não	Não	Não
4 (12) 6	29	29	31	33	Sim	Possível	Não	Não	Não
6 (12) 10	33	33	34	36	Sim	Possível	Possível	Não	Não
8 (12) 44.1	35	35	37	38	Sim	Sim	Possível	Possível	Não
10 (12) 44.1	37	37	38	40	Sim	Sim	Sim	Possível	Não
64.2 (20) 44.2	40	40	41	43	Sim	Sim	Sim	Sim	Possível

**Quadro A1. 14 - Isolamento Sonoro de diversos tipos de vidro [adaptado de (Carvalho, 2007)]**

Tipo de envidraçado	$R_w$ (dB)
Vidro simples (6 mm) com caixilho (pesado)	29
Vidro simples (8 mm) com caixilho (pesado)	31
Vidro simples 4 mm	29
Vidro simples 5 mm	30
Vidro simples 6 mm	31
Vidro laminado 6 mm	32
Vidro laminado 8 mm	33
Vidro duplo 4-(6 a 16)-4	29
Vidro duplo 6-(6 a 16)-4	32
Vidro duplo 6-(6 a 16)-6	31

Os vidros apresentados no Quadro A1. 13 possuem características referidas no Quadro A1. 15:

**Quadro A1. 15 - Características físicas de vidros [adaptado de (Saint-Gobain Glass, 2000)]**

	4 (12) 4	4 (12) 6	6 (12) 10	8 (12) 44.1	10 (12) 44.1	64.2 (20) 44.2
Espessura total (mm)	20	22	28	28	30	40
Massa superficial (kg/m <sup>2</sup> )	20	26	40	40,5	45,5	47
Factor luminoso $T_l$ (%)	81	80	77	77	76	76
UV $T_{UV}$ (%)	44	41	33	2	2	< 1
Factor solar $g_{EN 410}$	0,76	0,75	0,70	0,67	0,65	0,64
Coef. de sombreamento	0,87	0,86	0,81	0,78	0,75	0,73
Coef. U (W/(m <sup>2</sup> .K))	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,7

#### A1.7.4.2. Soluções estratégicas

##### A1.7.4.2.1. Compra ou expropriação de terrenos

Quando um município ou entidade pública decide pela **opção de compra de um dado terreno** como forma de aplicação da sua política de redução de ruído, há determinados factores que devem ser tomados em consideração como o custo monetário de aquisição e os custos e benefícios sociais associados à sua posse. Destes, o mais relevante acaba por ser o valor de aquisição existindo, contudo, outros custos adicionais como as taxas e impostos envolvidos, os custos legais, as peritagens e eventuais custos de reparações ou demolições de estruturas existentes no terreno, de arranjo e manutenção da propriedade.

A compra de terrenos possivelmente afectados por problemas de ruído (presentes ou futuros) é a forma mais eficaz, embora dispendiosa, de conseguir um desenvolvimento sustentável para os problemas de ruído. É um método que, a partir do momento que seja do domínio público pode deixar de ser praticável dada a natural inflação do preço dos terrenos adjacentes a infra-estruturas de transporte ruidosas que poderá vir a ser exigido pelos proprietários.

A **expropriação de terrenos** é uma outra forma de solucionar o problema do ruído com regras e limites definidos por legislação nacional pela Lei n.º 168/99, de 18 de Setembro (alterado pela Lei n.º 13/2002 de 19 de Fevereiro, pela Rectificação n.º 18/2002 de 12 de Abril e pela Lei n.º 4-A/2003 de 19 de Fevereiro). Nesses casos, é necessário um conhecimento pleno das intenções de uso previstas para o terreno, de forma a poder ser declarado o interesse público da expropriação. É possível argumentar-se a favor de expropriações por incompatibilidade com os elevados níveis de ruído ambiente usando razões como a protecção da saúde pública devido aos malefícios daí resultantes e para melhoria da qualidade de vida da população vizinha às principais fontes de ruído existentes (ou previstas). Os valores a serem pagos aos proprietários dos terrenos serão estipulados pelos tribunais (com apoio de peritos) não se conhecendo à partida quais os custos exactos deste tipo de medida. Esta metodologia é usada em muitos países por exemplo nas áreas circundantes a aeroportos.

##### A1.7.4.2.2. Outras acções

Uma outra forma de os municípios actuarem na gestão do solo, de forma a combaterem o problema de ruído ambiente, pode ser feita através de **restrições ao uso do solo** como acontece frequentemente para situações de zonas de protecção (Reserva

Ecológica Nacional, Reserva Agrícola Nacional, Domínio Hídrico, Rede Natura, Zonas Históricas e Patrimoniais, etc.) ou mesmo Zonas *Non-Aedificandi* de protecção às infra-estruturas de transporte e outras. Nessas circunstâncias o município tem a garantia que um determinado terreno apenas irá ter o uso que foi previamente definido. Naturalmente que uma medida que limita os “direitos” de utilização de um dado terreno não será facilmente aceite pela população abrangida, principalmente numa situação de “excesso” de ruído em que, potencialmente, deverão ser tomadas todas as medidas possíveis para o minorar. Ainda assim, em situações em que seja manifestamente impossível reduzir o ruído ambiente para níveis aceitáveis, esta deverá ser a medida a equacionar, se bem que deva ser convenientemente estudada e justificada. Através destas restrições pode-se limitar a construção de edifícios nas zonas adjacentes às grandes infra-estruturas de transporte (ou apenas a autorizar se forem cumpridos determinados requisitos acústicos) evitando-se, desta forma, possíveis problemas futuros. Pode-se também restringir o corte de densa vegetação ou elevações que actuem como barreiras acústicas. É, portanto, uma medida que regula a forma de ocupação do espaço urbano de uma forma eficaz e sem os custos associados à compra ou expropriação de terrenos.

Outra forma de “obtenção” de terreno praticamente a “custo zero” corresponde a **terrenos de cedência** conseguidos aquando de processos de loteamento. São situações onde se torna possível intervir, não só durante a aprovação do projecto do loteamento como *a posteriori* no tratamento das áreas cedidas. Estas podem-se transformar em “zonas tampão” entre infra-estruturas de transporte e zonas Mistas ou Sensíveis, pela construção de áreas com espaços ajardinados e recreativos que combatem o ruído ao mesmo tempo que proporcionam espaços públicos de lazer à população.

Os municípios podem usar os terrenos “adquiridos” para controlo de ruído de três formas:

- **Usos municipais passivos**, como zonas ajardinadas, zonas disponíveis para desporto indiferenciado ou pátios de recreio, zonas de conservação florestais, áreas de protecção de espécies ou de protecção de pequenas ribeiras;
- **Usos municipais activos**, que incluem edifícios de uso municipal ou parques de estacionamento;
- **Usos não municipais** como áreas agrícolas privadas, uso por serviços governamentais com níveis sonoros compatíveis, etc.



## ANEXO 2: ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO E ADMINISTRATIVO

### A2.1. *Legislação de Acústica*

#### A2.1.1. Regulamento Geral do Ruído (RGR)

O decreto-lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro aprovou o *Regulamento Geral do Ruído (RGR)*, estabelecendo o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações, matéria esta já regulada no ordenamento jurídico português através da Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 11/87 de 11 de Abril) e do Decreto-lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro, que aprovou o *Regime Legal sobre Poluição Sonora (RLPS)* agora revogado.

A transposição da directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, tornou premente proceder a ajustamentos ao *Regime Legal sobre Poluição Sonora* aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro (com as alterações introduzidas pelos Decretos-Lei n.ºs 76/2002 de 26 de Março, 259/2002 de 23 de Novembro, e 293/2003 de 19 de Novembro), de modo a compatibilizá-lo com as orientações ora aprovadas, em especial a adopção de indicadores de ruído ambiente harmonizados.

Procede o RGR também à alteração de normas do *Regime Legal sobre Poluição Sonora* que revelaram alguma complexidade interpretativa com consequências para a eficácia do respectivo regime jurídico.

Esta legislação pretende regulamentar algumas competências do Estado, a saber:

- *Compete ao Estado, às Regiões Autónomas, às autarquias locais e às demais entidades públicas promover as medidas de carácter administrativo e técnico adequadas à prevenção e controlo da poluição sonora, nos limites da lei e no respeito do interesse público e dos direitos dos cidadãos;*
- *Compete ao Estado definir uma estratégia nacional de redução da poluição sonora e definir um modelo de integração da política de controlo de ruído nas políticas de desenvolvimento económico e social e nas demais políticas sectoriais com incidência ambiental, no ordenamento do território e na saúde;*



- *Compete ao Estado e às demais entidades públicas, em especial às autarquias locais, tomar todas as medidas adequadas para o controlo e minimização dos incómodos causados pelo ruído resultante de quaisquer actividades, incluindo as que ocorram sob a sua responsabilidade ou orientação.*

Este Regulamento aplica-se às actividades ruidosas permanentes e temporárias e a outras fontes de ruído susceptíveis de causar incomodidade, sendo igualmente aplicável ao ruído de vizinhança, não prejudicando o disposto em legislação especial, nomeadamente sobre ruído nos locais de trabalho, certificação acústica de aeronaves, emissões sonoras de veículos rodoviários a motor e de equipamentos para utilização no exterior e sistemas sonoros de alarme. Não se aplica, por exemplo, à sinalização sonora de dispositivos de segurança relativos a infra-estruturas de transporte ferroviário, designadamente de passagens de nível.

Nos planos municipais de ordenamento do território, a classificação, a delimitação e a disciplina das zonas Sensíveis e das zonas Mistas são da competência dos municípios, devendo estes acautelar, no âmbito das suas atribuições de ordenamento do território, a ocupação dos solos com usos susceptíveis de vir a determinar a classificação da área como zona sensível, verificada a proximidade de infra-estruturas de transporte existentes ou programadas.

As câmaras municipais elaboram mapas de ruído para apoiar a elaboração, alteração e revisão dos planos directores municipais e dos planos de urbanização, sendo que os municípios que constituam aglomerações com uma população residente superior a 100.000 habitantes e uma densidade populacional superior a 2.500 habitantes/km<sup>2</sup> estão sujeitos à elaboração de mapas estratégicos de ruído, nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho.

Os municípios que já dispunham de mapas de ruído à data de publicação deste decreto-lei devem proceder à sua adaptação, conforme o disposto no RGR.

As zonas Sensíveis ou Mistas com ocupação expostas a ruído ambiente exterior que exceda os valores limite fixados no RGR devem ser objecto de *planos municipais de redução de ruído*, cuja elaboração é da responsabilidade das câmaras municipais.

Os *planos municipais de redução de ruído* devem ser executados num prazo máximo de dois anos contados a partir da data de entrada em vigor do RGR (isto é, até Fevereiro de 2009), podendo contemplar o faseamento de medidas, considerando prioritárias as referentes a zonas Sensíveis ou Mistas expostas a ruído ambiente exterior que exceda em mais de 5 dB(A) os valores limite fixados no artigo 11.º.

A gestão dos problemas e efeitos do ruído, incluindo a redução de ruído, em municípios que constituam aglomerações com uma população residente superior a 100.000 habitantes e uma densidade populacional superior a 2500 habitantes/km<sup>2</sup> é assegurada através de *planos de acção*, nos termos do Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho.

As câmaras municipais devem apresentar à assembleia municipal, de dois em dois anos, um relatório sobre o estado do ambiente acústico municipal, excepto quando esta matéria integre o relatório sobre o estado do ambiente municipal.

Em função da classificação de uma zona como *Mista* ou *Sensível*, devem ser respeitados os seguintes valores limite de exposição:

- As zonas **Mistas** não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;
- As zonas **Sensíveis** não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;
- As zonas **Sensíveis** em cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do RGR, uma grande infra-estrutura de transporte não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;
- As zonas **Sensíveis** em cuja proximidade esteja projectada, à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento do território, uma grande infra-estrutura de transporte aéreo não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;
- As zonas **Sensíveis** em cuja proximidade esteja projectada, à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento do território, uma grande infra-estrutura de transporte que não aéreo não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 60 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 50 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ .

**NOTA:** A expressão do indicador  $L_{den}$  encontra-se no ponto 3.2 deste Manual.

Os municípios podem estabelecer, em espaços delimitados de zonas Sensíveis ou Mistas, designadamente em centros históricos, valores inferiores em 5 dB(A) aos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$  apresentados nos dois primeiros pontos atrás indicados.

**Até à classificação em zonas Sensíveis ou Mistas, para efeitos de verificação do valor limite de exposição, aplicam-se aos receptores Sensíveis os valores limites de  $L_{den}$  igual ou inferior a 63 dB(A) e  $L_n$  igual ou inferior a 53 dB(A).**

A instalação e o exercício de actividades ruidosas permanentes em zonas Mistas, nas envolventes das zonas Sensíveis ou Mistas ou na proximidade dos receptores Sensíveis isolados estão sujeitos ao cumprimento dos valores limite fixados ( $L_{den}$  e  $L_n$ ), e ao cumprimento do *critério de incomodidade*, considerado como a diferença entre o valor do indicador  $L_{Aeq}$  do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da(s) actividade(s) em avaliação e o valor do indicador  $L_{Aeq}$  do ruído residual, diferença que não pode exceder 5 dB(A) no período diurno (7-20 h), 4 dB(A) no período do entardecer (20-23 h) e 3 dB(A) no período nocturno (23-7 h), corrigido para o tempo de emergência do ruído particular (de 0 a 4 dB(A)) e tendo em conta possíveis penalidades de 3 dB(A) caso o ruído tenha componentes tonais e/ou impulsivas.

São competentes quanto à fiscalização do cumprimento das normas previstas no RGR:

- *A Inspeção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território;*
- *A entidade responsável pelo licenciamento ou autorização da actividade;*
- *As comissões de coordenação e desenvolvimento regional;*
- *As câmaras municipais*
- *As autoridades policiais;*

O RGR inclui ainda dois anexos. O anexo I refere-se aos parâmetros para a aplicação do critério de incomodidade e o anexo II refere os limites de nível sonoro admissível para veículos de duas e três rodas.

### A2.1.2. Directiva do Ruído Ambiente (DRA)

O Decreto-lei n.º 146/2006, de 31 de Julho estabelece a Directiva do Ruído Ambiente (DRA) que transpõe para a ordem interna a Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, que veio estabelecer a obrigatoriedade de efectuar a recolha de dados acústicos nos vários Estados membros e de elaborar relatórios sobre o ambiente acústico ao nível comunitário de forma a criar uma base para a definição de uma futura política comum neste domínio e a garantir uma informação mais ampla ao público.

A DRA estabelece um regime especial para a elaboração de mapas estratégicos de ruído, impondo a obrigação de recolha e de disponibilização de informação ao público relativa aos níveis de ruído ambiente sob a forma de mapas estratégicos de ruído, de acordo com critérios definidos ao nível comunitário, e a utilização de indicadores e métodos de avaliação harmonizados, bem como para os *planos de acção*. Essa obrigação recai sobre as grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo e as aglomerações de maior expressão populacional. Com base em mapas estratégicos de ruído, este decreto-lei prevê ainda a elaboração de *planos de acção* destinados a gerir o ruído ambiente e problemas conexos.

Esta legislação sobre *avaliação e gestão do ruído ambiente* (DRA) é aplicável ao ruído ambiente a que os seres humanos estão expostos em zonas destinadas a usos habitacionais, escolares, hospitalares ou similares, espaços de lazer, em zonas tranquilas de uma aglomeração ou em campo aberto e noutras zonas cujo uso seja sensível ao ruído produzido nas aglomerações ou por grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário ou aéreo.

Compete, no âmbito da DRA:

- a) Aos municípios elaborar, aprovar e alterar os mapas estratégicos de ruído e os planos de acção para as aglomerações;
- b) Às entidades gestoras ou concessionárias de infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário ou aéreo elaborar e rever os mapas estratégicos de ruído e os planos de acção das grandes infra-estruturas de transporte, respectivamente, rodoviário, ferroviário e aéreo;
- c) À Agência Portuguesa do Ambiente (APA):
  - *Aprovar os mapas estratégicos de ruído e os planos de acção referidos na alínea b), bem como as respectivas alterações;*
  - *Centralizar todos os mapas estratégicos de ruído e planos de acção elaborados no âmbito deste decreto-lei;*

- *Recolher as informações e os dados disponibilizados pelas entidades competentes referidas nas alíneas a) e b) e enviá-las à Comissão Europeia;*
- *Prestar informação ao público.*

Este decreto-lei é constituído por seis anexos: indicadores de ruído; métodos de avaliação dos indicadores de ruído; métodos de avaliação dos efeitos sobre a saúde; requisitos mínimos para os mapas estratégicos de ruído; requisitos mínimos para os planos de acção e dados a enviar à Comissão Europeia.

No anexo I encontra-se definido o indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno ( $L_{den}$ ) e o indicador de ruído nocturno ( $L_n$ ) e a indicação da norma aplicável (NP 1730-1:1996 ou versão actualizada correspondente).  $L_{den}$  é um indicador do nível de ruído global ao longo do período dia/entardecer/noite, utilizado para qualificar o eventual desconforto associado à exposição ao ruído.  $L_n$  é um indicador do nível sonoro durante a noite, que qualifica as possíveis perturbações do sono.

São também definidos os períodos de cálculo correspondente: o período *diurno* corresponde a treze horas (das 7 às 20 horas), o período de *entardecer* a três horas (das 20 às 23 horas) e o período *nocturno* a oito horas (das 23 às 7 horas).

Em relação aos **mapas estratégicos de ruído para aglomerações**, eles deverão ser elaborados, aprovados e enviados à APA (juntamente com toda a informação indicada no n.º 1 do anexo VI do regulamento):

- *Para o ano civil de 2006, para todas as aglomerações com mais de 250.000 habitantes até 31 de Março de 2007;*
- *Para o ano civil de 2011, para todas as aglomerações com mais de 100.000 habitantes até 31 de Março de 2012.*

Em relação aos **mapas estratégicos de ruído para as grandes infra-estruturas de transporte**, eles serão elaborados e enviados à APA (juntamente com a informação indicada no n.º 2 do anexo VI do regulamento):

- *Para o ano civil de 2006, para transporte rodoviário com mais de 6 milhões de passagens de veículos por ano, para transporte ferroviário com mais de 60.000 passagens de comboios por ano e para transporte aéreo com mais de 50.000 movimentos por ano até 31 de Março de 2007, sendo aprovados pela APA até 30 de Junho de 2007;*

- Para o ano civil de 2011, para transporte rodoviário com mais de 3 milhões de passagens de veículos por ano, para transporte ferroviário com mais de 30.000 passagens de comboios por ano, até 28 de Fevereiro de 2012, sendo aprovados pela APA até 30 de Junho de 2012.

Em relação aos **planos de acção para aglomerações**, eles são elaborados, aprovados e enviados ao APA:

- Para o ano civil de 2006, para todas as aglomerações com mais de 250.000 habitantes até 31 de Março de 2008;
- Para o ano civil de 2011, para todas as aglomerações com mais de 100.000 habitantes até 31 de Março de 2013.

Em relação aos **planos de acção para as grandes infra-estruturas de transporte**, eles são elaborados e enviados à APA:

- Para o ano civil de 2006, para transporte rodoviário com mais de 6 milhões de passagens de veículos por ano, para transporte ferroviário com mais de 60.000 passagens de comboios por ano e para transporte aéreo com mais de 50.000 movimentos por ano, até 28 de Fevereiro de 2008, sendo aprovados pela APA até 18 de Julho de 2008;
- Para o ano civil de 2011, para transporte rodoviário com mais de 3 milhões de passagens de veículos por ano, para transporte ferroviário com mais de 30.000 passagens de comboios por ano, até 28 de Fevereiro de 2013, sendo aprovados pela APA até 31 de Março de 2013.

Os mapas estratégicos de ruído e os planos de acção serão reavaliados e alterados de cinco em cinco anos a contar da data da sua elaboração, sofrendo reavaliações sempre que se verificarem alterações significativas relativamente a fontes sonoras ou à expansão urbana com efeitos no ruído ambiente.

Os mapas estratégicos de ruído e os planos de acção aprovados são obrigatoriamente divulgados e disponibilizados junto do público, devendo estar disponíveis para consulta nas câmaras municipais abrangidas, na APA e em todas as entidades gestoras ou concessionárias de infra-estruturas de transporte.

É ainda obrigatória a realização de consulta pública no procedimento de elaboração e revisão dos planos de acção, devendo a versão final do plano levar em consideração os resultados dessa consulta.



A APA, ao abrigo da DRA e até seis meses após a entrada em vigor do decreto-lei n.º 146/2006, de 31 de Julho, isto é, até Fevereiro de 2007 (após esta data, de 5 em 5 anos a contar de Junho de 2005), fica responsável pelo envio à Comissão Europeia de toda a informação sobre grandes infra-estruturas de transporte rodoviário (mais de 6.000.000 de passagens de veículos por ano), ferroviário (mais de 60.000 passagens de comboios por ano), aéreo (mais de 50.000 movimentos por ano) e aglomerações com mais de 250.000 habitantes, assim como a listagem das entidades competentes para a elaboração, aprovação e recolha dos mapas estratégicos de ruído e planos de acção.

Para todas as outras infra-estruturas de transporte e aglomerações, as suas informações devem ser enviadas pela APA à Comissão Europeia até 31 de Dezembro de 2008 e posteriormente de 5 em 5 anos.

Todas as aglomerações e todas as grandes infra-estruturas de transporte devem enviar à APA a listagem das grandes infra-estruturas de transporte rodoviário com mais de 6.000.000 de passagens de veículos por ano, das grandes infra-estruturas de transporte ferroviário com mais de 60.000 passagens de comboios por ano, das grandes infra-estruturas de transporte aéreo com mais de 50.000 movimentos por ano e das aglomerações com mais de 250.000 habitantes, até 60 dias antes do termo do prazo correspondente ao envio da informação pela APA à Comissão Europeia.

Todas as aglomerações, grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo devem enviar à APA a listagem das grandes infra-estruturas de transporte rodoviário com mais de 3 milhões de passagens de veículos por ano, das grandes infra-estruturas de transporte ferroviário com mais de 30.000 passagens de comboios por ano e das aglomerações com mais de 100.000 habitantes, até 60 dias antes do termo do prazo correspondente ao envio da informação pela APA à Comissão Europeia.

A APA tem de enviar à Comissão Europeia, de acordo com o disposto no anexo VI do DRA:

- *A informação fornecida pelos mapas estratégicos de ruído referentes às aglomerações com mais de 250.000 habitantes, às grandes infra-estruturas de transporte rodoviário com mais de 6 milhões de passagens por ano, ferroviário com mais de 60.000 passagens por ano e transporte aéreo com mais de 50.000 movimentos por ano, até 30 de Dezembro de 2007;*
- *Os resumos dos planos de acção referentes às aglomerações com mais de 250.000 habitantes, às grandes infra-estruturas de transporte rodoviário com mais de 6 milhões de passagens por ano, ferroviário com mais de 60.000 passagens por ano e transporte aéreo com mais de 50.000 movimentos por ano, até 18 de Janeiro de 2009;*

- A informação fornecida pelos mapas estratégicos de ruído referentes às aglomerações com mais de 100.000 habitantes, às grandes infra-estruturas de transporte rodoviário com mais de 3 milhões de passagens por ano, ferroviário com mais de 30.000 passagens por ano, até 30 de Dezembro de 2012;
- Os resumos dos planos de acção referentes às aglomerações com mais de 100.000 habitantes, às grandes infra-estruturas de transporte rodoviário com mais de 3 milhões de passagens por ano, ferroviário com mais de 30.000 passagens por ano, até 18 de Janeiro de 2014.

### A2.1.3. Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)

O decreto-lei n.º 129/2002 de 11 de Maio aprova o *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* (RRAE), visando regular a vertente do conforto acústico no regime da edificação e, em consequência, contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações, pela melhoria no projecto e construção de edifícios.

O *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* tem como princípios orientadores a harmonização, à luz da normalização europeia, das grandezas características do desempenho acústico dos edifícios e respectivos índices e a quantificação dos requisitos atendendo, simultaneamente, quer à satisfação das exigências funcionais de qualidade dos edifícios quer à contenção de custos inerentes à execução das soluções necessárias à sua verificação.

O núcleo fundamental do RRAE é a exigência de que na elaboração dos projectos de condicionamento acústico dos edifícios abrangidos por este Regulamento sejam aplicáveis as normas sobre requisitos acústicos dos edifícios, constantes dos seus artigos 5.º a 10.º (onde constam limites numéricos a diversos índices de comportamento acústico).

Os projectos de condicionamento acústico devem ser elaborados e subscritos por técnicos qualificados que, sendo engenheiros, possuam especialização em engenharia acústica outorgada pela Ordem dos Engenheiros<sup>4</sup> ou, não o sendo ou não tendo esta especialização, tenham recebido qualificação adequada por organismo ou entidade credenciada para o efeito, nos termos do Decreto-Lei n.º 73/73 de 28 de Fevereiro e demais legislação aplicável.

O projecto de condicionamento acústico deve ser instruído com uma declaração do técnico que ateste a observância das normas gerais sobre prevenção do ruído e das normas do RRAE.

---

<sup>4</sup> <http://www.ordemengenheiros.pt/Default.aspx?tabid=2032>

No âmbito do aplicável a este Manual (limites impostos para a envolvente exterior dos edifícios), o RRAE estabelece que o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado ( $D_{2m,n,w}$ ) entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos deverá ser superior a 33 dB ou a 28 dB em zonas Mistas ou Sensíveis respectivamente. O mesmo princípio deve ser aplicado quando se trata de edifícios para fins escolares, de investigação, de leitura ou de prestação de serviços hospitalares.

## A2.2. Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT)

### A2.2.1. Resumo

O Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT) encontra-se instituído pelo decreto-lei n.º 380/99 de 22 de Setembro, com as alterações introduzidas pelos decretos-lei n.º 53/2000 de 7 de Abril, n.º 310/2003, de 10 de Dezembro, pelas Leis n.º 310/2003 de 10 de Dezembro e n.º 56/2007 de 31 de Agosto e pelo decreto-lei n.º 316/2007 de 19 de Setembro.

O RJIGT é um diploma que desenvolve as bases da política de ordenamento do território e de urbanismo, definindo o regime de coordenação dos instrumentos de ordenamento de âmbito nacional, regional e municipal do sistema de gestão territorial, o regime geral de uso do solo e o regime de elaboração, aprovação e avaliação dos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT). Actualmente, impõe a transcrição digital georreferenciada dos planos municipais de ordenamento do território.

Esta última alteração teve como principal objectivo a simplificação dos procedimentos de aprovação dos IGT e a responsabilização dos municípios pelas opções de planeamento tomadas. Assim, considerando a aprovação do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território e a elaboração de quatro novos planos regionais de ordenamento do território, foi decidido que os Planos Directores Municipais (PDM) só estão sujeitos a ratificação quando possam existir dúvidas sobre a sua compatibilidade com Planos Sectoriais ou Planos Regionais de Ordenamento do Território ou quando a respectiva Câmara o solicite no âmbito de alterações que pretende introduzir em planos ordenamento do território de ordem superior.

A distinção entre atribuições e competências da administração central e municipal em matérias de ordenamento do território e de urbanismo, assegurando que os respectivos PDM se desenvolvem no quadro das opções definidas pelos instrumentos de gestão territorial de âmbito nacional e regional é outra das mais-valias associada à aprovação desta alteração ao RJIGT.

A estrutura de Ordenamento do Território portuguesa está organizada em três níveis: *nacional*, *regional* e *municipal*.

Com âmbito nacional salienta-se o **Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território** (PNPOT), um instrumento de desenvolvimento territorial de natureza estratégica, cujas directrizes e orientações fundamentais traduzem um modelo de organização espacial que terá em conta o sistema urbano, as redes, as infra-estruturas e os equipamentos de interesse nacional, bem como as áreas de interesse nacional em termos agrícolas, ambientais e patrimoniais. Estabelece as grandes opções com referência para a organização do território nacional, consubstancia o quadro de referência a considerar na elaboração dos demais instrumentos de gestão territorial e constitui um instrumento de cooperação com os demais Estados membros para a organização do território da União Europeia.

Ainda de âmbito nacional podem-se também salientar os **Planos Sectoriais** (PS) e os **Planos Especiais de Ordenamento do Território** (PEOT). Os primeiros (PS) são instrumentos de política sectorial, com incidência territorial, da responsabilidade dos diversos sectores da administração central, nomeadamente, nos domínios dos transportes, das comunicações, da energia e recursos geológicos, da educação e da formação, da cultura, da saúde, da habitação, do turismo, da agricultura, do comércio, da indústria, das florestas e do ambiente. Os segundos (PEOT) são instrumentos de gestão territorial de natureza especial, de carácter regulamentar, elaborados pela Administração Central, que vinculam as entidades públicas e ainda directa e imediatamente os particulares, constituindo um meio supletivo de intervenção do Governo para a prossecução de objectivos de interesse nacional com repercussão espacial, estabelecendo regimes de salvaguarda de recursos e valores naturais e assegurando a permanência dos sistemas indispensáveis à utilização sustentável do território, bem como a tutela de princípios fundamentais consagrados no programa nacional da política de ordenamento do território não asseguradas por plano municipal de ordenamento do território eficaz.

Quanto ao âmbito regional, existem os **Planos Regionais de Ordenamento do Território** (PROT) que são documentos de natureza estratégica que, de acordo com as directrizes definidas a nível nacional e tendo em conta a evolução demográfica e as perspectivas de desenvolvimento económico, social e cultural, estabelecem as orientações para o ordenamento do território regional e definem as redes regionais de infra-estruturas e transportes, constituindo o quadro de referência para a elaboração dos planos municipais de ordenamento do território, devendo ser acompanhados de um esquema representando o modelo territorial proposto.

Finalmente e em relação ao âmbito municipal existem dois planos de diferente natureza: **Planos Intermunicipais de Ordenamento do Território** (PIOT) e **Planos Municipais de Ordenamento do Território** (PMOT), sendo que este último pode apresentar distintos níveis de pormenor: **Plano Director Municipal** (PDM), **Plano de Urbanização** (PU) e **Plano de Pormenor** (PP).

## A2.2.2. Relação entre instrumentos de âmbito nacional e regional

### A2.2.2.1. *Objectivo*

O programa nacional da política de ordenamento do território (PNPOT), os planos sectoriais (PS), os planos especiais de ordenamento do território (PEOT) e os planos regionais de ordenamento do território (PROT) traduzem um compromisso recíproco de compatibilização das respectivas opções, estabelecendo os princípios e as regras orientadoras da disciplina a definir por novos planos especiais de ordenamento do território.

O Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território implica a alteração dos Planos Especiais de Ordenamento do Território que com o mesmo não se compatibilizem, a compatibilização das suas orientações com os planos sectoriais e com os planos regionais de ordenamento do território.

Quando sobre a mesma área territorial incida mais do que um plano sectorial ou mais do que um plano especial, o plano posterior deve indicar expressamente quais as normas do plano preexistente que revoga, sob pena de invalidade por violação deste.

### A2.2.2.2. *Instrumentos de Gestão Municipal*

#### A2.2.2.2.1. Planos Intermunicipais de Ordenamento do Território (PIMOT)

O plano intermunicipal de ordenamento do território (PIMOT) é o instrumento de desenvolvimento territorial que assegura a articulação entre o plano regional e os planos municipais de ordenamento do território, no caso de áreas territoriais que, pela interdependência dos seus elementos estruturantes, necessitam de uma coordenação integrada. Abrange a totalidade ou parte das áreas territoriais pertencentes a dois ou mais municípios vizinhos, visando a articulação das estratégias de desenvolvimento económico e social dos municípios envolvidos, designadamente nos seguintes domínios:

- *Estratégia intermunicipal de protecção da natureza e de garantia da qualidade ambiental;*
- *Coordenação da incidência intermunicipal dos projectos de redes, equipamentos, infra-estruturas e distribuição das actividades industriais, turísticas, comerciais e de serviços constantes do programa nacional da política de ordenamento do território, dos planos regionais de ordenamento do território e dos planos sectoriais aplicáveis;*

- *Estabelecimento de objectivos, a médio e longo prazo, de racionalização do povoamento;*
- *Definição de objectivos em matéria de acesso a equipamentos e serviços públicos.*



#### A2.2.2.2.2. Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT)

##### A2.2.2.2.2.1. Âmbito

Os Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT) são instrumentos da política de ordenamento do território, de natureza regulamentar, elaborados e aprovados pelas respectivas câmaras municipais, estando consagrados no decreto-lei n.º 380/99 de 22 de Setembro.

Os PMOT estabelecem a classificação, qualificação e regulamentação do regime de uso do solo, definindo modelos de evolução previsível da ocupação humana e da organização de redes e sistemas urbanos e, na escala adequada, parâmetros de aproveitamento do solo e de garantia da qualidade ambiental.

Os vários PMOT: Plano Director Municipal (PDM), Plano de Urbanização (PU) e Plano de Pormenor (PP) variam segundo a área e a escala de intervenção.

##### A2.2.2.2.2.2. Plano Director Municipal (PDM)

O Plano Director Municipal (PDM) encontra-se consagrado no regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial (decreto-lei n.º 380/99 de 22 de Setembro, com as alterações provocadas pelo decreto-lei n.º 316/2007, de 19 de Setembro), sendo portanto considerado um instrumento de gestão e planeamento territorial, de elaboração obrigatória, com carácter regulamentar vinculando a administração pública e particulares. Constitui um instrumento de referência para a elaboração dos demais planos municipais de ordenamento do território de natureza regulamentar, sendo uma síntese estratégica de desenvolvimento territorial, a política municipal de ordenamento do território e de urbanismo e as demais políticas urbanas, integra e articula as orientações estabelecidas pelos instrumentos de gestão territorial de âmbito nacional e regional e estabelece o modelo de organização espacial do território municipal.



Os PDM estabelecem o regime de uso do solo e definem modelos de evolução previsível da ocupação humana e da organização de redes e sistemas urbanos, assegurando a garantia da qualidade ambiental.

O PDM deve ser realizado com uma escala gráfica de 1:25.000 ou 1:10.000.

É um instrumento de planeamento de ocupação, uso e transformação do território municipal e de programação das realizações e investimentos municipais, definindo um modelo de organização municipal do território, estabelecendo:

- *A definição e caracterização da área de intervenção identificando as redes urbanas, viária, de transportes e de equipamentos de educação, de saúde, de abastecimento público e de segurança, bem como os sistemas de telecomunicações, de abastecimento de energia, de captação, de tratamento e abastecimento de água, de drenagem e tratamento de efluentes e de recolha, depósito e tratamento de resíduos;*
- *A definição dos sistemas de protecção dos valores e recursos naturais, culturais, agrícolas e florestais, identificando a estrutura ecológica municipal;*
- *A identificação das áreas e a definição de estratégias de localização, distribuição e desenvolvimento das actividades industriais, turísticas, comerciais e de serviços;*
- *A identificação e a delimitação dos perímetros urbanos, com a definição do sistema urbano municipal;*
- *A especificação qualitativa e quantitativa dos índices, indicadores e parâmetros de referência, urbanísticos ou de ordenamento, a estabelecer em plano de urbanização e plano de pormenor, bem como os de natureza supletiva aplicáveis na ausência destes;*
- *A identificação de condicionantes, designadamente reservas e zonas de protecção, bem como das necessárias à concretização dos planos de protecção civil de carácter permanente;*
- *A identificação das áreas de interesse público para efeitos de expropriação, bem como a definição das respectivas regras de gestão;*
- *A articulação do modelo de organização municipal do território com a disciplina consagrada nos demais instrumentos de gestão territorial aplicáveis.*

Deve conter os seguintes elementos:

- **Regulamento** - estabelece os princípios, normas e mecanismos reguladores das acções de intervenção e utilização do território;
- **Planta de ordenamento** - representa o modelo de estrutura espacial do território municipal de acordo com a classificação e a qualificação dos solos, bem como com as unidades operativas de planeamento e gestão;

- **Planta de condicionantes** - identifica as servidões e restrições de utilidade pública em vigor que possam constituir limitações ou impedimentos a qualquer forma específica de aproveitamento;
- Anexos:
  - *Estudos de caracterização do território municipal;*
  - *Relatório fundamentando as soluções adoptadas;*
  - *Programa contendo disposições indicativas sobre a execução das intervenções municipais previstas bem como os meios de financiamento das mesmas.*

#### A2.2.2.2.3. Plano de Urbanização (PU)

O Plano de Urbanização (PU) encontra-se consagrado no regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial (decreto-lei n.º 380/99 de 22 de Setembro, com as alterações provocadas pelo decreto-lei n.º 316/2007 de 19 de Setembro), definindo e concretizando, para uma determinada área do território municipal, a política de ordenamento do território e de urbanismo, fornecendo o quadro de referência para a aplicação das políticas urbanas e definindo a estrutura urbana, o regime de uso do solo e os critérios de transformação do território. Os PU podem versar sobre qualquer área do território do município incluída em perímetro urbano, sobre solo rural complementar de um ou mais perímetros urbanos onde se revele necessário para estabelecer uma intervenção integrada de planeamento ou outras áreas que, de acordo com os objectivos e prioridades estabelecidas no plano director municipal, possam ser destinadas a usos e funções urbanas específicas.

O PU deve ser realizado com uma escala não superior a 1:5.000.

O PU prossegue o equilíbrio da composição urbanística, estabelecendo:

- A concepção geral da organização urbana, a partir da qualificação do solo, definindo a rede viária estruturante, a localização de equipamentos de uso e interesse colectivo, a estrutura ecológica, bem como o sistema de circulação de transporte público e privado e de estacionamento;
- A definição do zonamento para localização das diversas funções urbanas, designadamente habitacionais, comerciais, turísticas, de serviços e industriais, bem como a identificação das áreas a recuperar ou reconverter;
- A adequação do perímetro urbano definido no PDM em função do zonamento e da concepção geral da organização urbana definidos;

- Os indicadores e os parâmetros urbanísticos aplicáveis a cada uma das categorias e subcategorias de espaços.

Deve conter os seguintes elementos:

- **Regulamento**;
- **Planta de zonamento** - representa a organização urbana adoptada;
- **Planta de condicionantes** - identifica as servidões e restrições de utilidade pública em vigor que possam constituir limitações ou impedimentos a qualquer forma específica de aproveitamento;
- Anexos:
  - *Relatório fundamentando as soluções adoptadas*;
  - *Programa contendo disposições indicativas sobre a execução das intervenções municipais previstas bem como os meios de financiamento das mesmas.*

#### A2.2.2.2.4. Plano de Pormenor (PP)

O Plano de Pormenor (PP) encontra-se consagrado no regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial (decreto-lei n.º 380/99 de 22 de Setembro, com as alterações provocadas pelo decreto-lei n.º 316/2007 de 19 de Setembro), e desenvolve e concretiza propostas de ocupação de qualquer área do território municipal. Estabelece regras sobre a implantação das infra-estruturas e o desenho dos espaços de utilização colectiva, a forma de edificação e a disciplina da sua integração na paisagem, a localização e inserção urbanística dos equipamentos de utilização colectiva e a organização espacial das demais actividades de interesse geral, de acordo com as prioridades estabelecidas nos programas de execução constantes do PDM e do PU. Pode ainda desenvolver e concretizar programas de acção territorial em áreas contínuas do território municipal correspondentes a uma unidade ou subunidade operativa de planeamento e gestão.

O PP deve ser realizado com uma escala não superior a 1:5.000.

O PP estabelece:

- O desenho urbano, exprimindo a definição dos espaços públicos, de circulação viária e pedestre, de estacionamento bem como do respectivo tratamento, alinhamentos, implantações, modelação do terreno, distribuição volumétrica, bem como a localização dos equipamentos e zonas verdes;

- A distribuição de funções e a definição de parâmetros urbanísticos, designadamente índices, densidade de fogos, número de pisos e cércuas;
- As operações de demolição, conservação e reabilitação das construções existentes;
- A identificação do sistema de execução a utilizar na área de intervenção.

Deve conter os seguintes elementos:

- **Regulamento;**
- **Planta de implantação;**
- **Planta de condicionantes** - identifica as servidões e restrições de utilidade pública em vigor que possam constituir limitações ou impedimentos a qualquer forma específica de aproveitamento;
- Anexos:
  - *Relatório fundamentando as soluções adoptadas;*
  - *Peças escritas e desenhadas que suportem as operações de transformação fundiária previstas;*
  - *Programa de execução das acções previstas e respectivo plano de financiamento.*

### A2.2.3. Interacção com o ruído

#### A2.2.3.1. Âmbito

De acordo com os planos municipais de ordenamento do território, as áreas abrangidas por estes são delimitadas e classificadas, sendo distinguidas e assinaladas quais os locais considerados como zonas *Sensíveis* e *Mistas*.

São também efectuados mapas de ruído, que são uma representação geográfica de um indicador de ruído, constituindo ferramentas para prever, representar e visualizar espacialmente níveis sonoros de uma dada área. Os mapas de ruído são um elemento fundamental para a informação acústica das áreas objecto de estudos de âmbito municipal, sendo por isso fundamental que acompanhem os PMOT, sendo possível localizar as fontes de ruído e respectivas áreas afectadas.

Estudando os mapas de ruído e conhecendo quais as zonas *Sensíveis* e *Mistas*, é possível identificar quais as *zonas de conflito*, ou seja, em que zonas são ultrapassados os valores limite, por exemplo: 65 dB(A) de  $L_{den}$  e 55 dB(A) de  $L_n$  para as zonas *Mistas*, e 55 dB(A) de  $L_{den}$  e 45 dB(A) de  $L_n$  para as zonas *Sensíveis*. Após se terem identificados *zonas de conflito*, são considerados e efectuados *planos municipais de redução de ruído* de forma a serem reduzidos os níveis sonoros e a incomodidade da população.

Relativamente ao PDM, os usos do solo são tratados globalmente integrando áreas classificadas como perímetros urbanos/aglomerados, devido à escala a que se elaboram as plantas de ordenamento. Desta forma, quando a escala o permitir, devem ser evitados usos do solo que provoquem conflitos entre zonas *Sensíveis* e *Mistas* e actividades produtoras de ruído, estabelecendo-se assim, em regulamento municipal, acções de restrições de actividades incompatíveis com o uso do solo e se necessário, estratégias para a elaboração de *planos municipais de redução de ruído*.

As áreas classificadas nas plantas de ordenamento como perímetros urbanos ou aglomerados são normalmente trabalhadas e planeadas através dos Planos de Urbanização. Devido à escala, mais pormenorizada, usada nas plantas de zonamento é possível um maior rigor na definição de Zonas *Sensíveis* e *Mistas*, podem-se apresentar planos de redução de ruído ao nível do quarteirão.

Os Planos de Pormenor são efectuados com uma escala bastante mais pormenorizada, sendo possível desta forma contemplar acções de controlo de ruído de forma individualizada ao nível dos edifícios e seus usos, espaços públicos e infra-estruturas existentes.

#### A2.2.3.2. Instrumentos de Gestão do Ruído

##### A2.2.3.2.1. Carta de Classificação de Zonas (CCZ)

Uma **Carta de Classificação de Zonas (CCZ)** é da competência do município e representa o mapa do concelho com a respectiva classificação e delimitação das suas zonas *Sensíveis* e *Mistas*. Estas zonas devem ser classificadas de acordo com o seu uso presente. No entanto, os municípios devem acautelar, para as áreas não edificadas e no âmbito das suas atribuições de ordenamento do território, a ocupação futura do solo de maneira a que essas zonas ao serem classificadas como *Sensíveis* não estejam em conflito com grandes infra-estruturas de transporte existentes ou programadas bem como com outras fontes ruidosas.

#### A2.2.3.2.2. Mapa de Ruído (MR)

Um **mapa de ruído** (MR) é, por definição, uma representação geográfica que descreve o ruído ambiente exterior, através dos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , traçado em documento onde se representam as isófonas e as áreas por elas delimitadas às quais corresponde uma determinada classe de valores expressos em dB(A).

Para a elaboração de mapas de ruído utilizam-se os indicadores de ruído, podendo a informação necessária à sua elaboração ser obtida utilizando modelos de cálculo ou recorrendo a medições acústicas. Na representação gráfica dos mapas de ruído, para uma articulação com os PDM e com os PP e PU, a sua escala não deve ser inferior a 1:25.000 e 1:5.000, respectivamente.

Constitui um documento essencial para a informação acústica de locais onde se pretenda realizar estudos municipais, funcionando como uma ferramenta estratégica de apoio a decisões de planeamento e ordenamento de território, facilitando a divulgação e o acesso público à informação considerada relevante.

Deste modo, deve ser realizado antevendo uma articulação com a preparação dos planos municipais de ordenamento do território, proporcionando assim maior facilidade de enquadramento de medidas de controlo de ruído através de uma mais fácil localização de fontes de ruído e áreas afectadas pelo ruído. O primeiro mapa de ruído deve ser efectuado a uma escala municipal, servindo de base a um sistema de informação e gestão do ruído, efectuando-se posteriormente, se necessário, mapas de ruído mais detalhados para planos de urbanização ou planos de pormenor.

Há situações, relativas a aglomerações populacionais e a grandes infra-estruturas de transporte, em que devem obrigatoriamente ser efectuados *mapas estratégicos de ruído*. Os condicionalismos para a sua execução encontram-se já descritos nos subcapítulos “Regulamento Geral do Ruído” e “Avaliação e Gestão do Ruído Ambiente”.

Segundo o artigo 11.º do decreto-lei n.º 146/2006 de 31 de Julho (DRA) os mapas estratégicos de ruído são reavaliados e alterados de cinco em cinco anos a contar da data da sua elaboração, sendo ainda reavaliados e alterados sempre que se verifique uma alteração significativa relativamente a fontes sonoras ou à expansão urbana com efeitos no ruído ambiente.



#### A2.2.3.2.3. Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR)

Devem ser delineados **planos municipais de redução de ruído** de forma a serem assegurados os valores limite de exposição indicados no RGR para as zonas Sensíveis e Mistas - já explicitados anteriormente no subcapítulo “Regulamento Geral de Ruído”.

Os *Planos Municipais de Redução de Ruído* (PMRR) vinculam as entidades públicas e os particulares, sendo aprovados pela assembleia municipal, sob proposta da câmara municipal.

Segundo o artigo 9.º do RGR, os planos municipais de redução de ruído devem conter obrigatoriamente:

- Identificação das áreas onde é necessário reduzir o ruído;
- Quantificação da redução global de ruído ambiente exterior relativa aos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$  para zonas Sensíveis ou Mistas que excedam os valores limites fixados;
- Quantificação, para cada fonte de ruído, da redução necessária relativa aos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$  e identificação das entidades responsáveis pela execução de medidas de redução de ruído;
- Indicação das medidas de redução de ruído e respectiva eficácia quando a entidade responsável pela sua execução é o município.

#### A2.2.3.2.4. Relatório sobre Ambiente Acústico (RSAA)

Segundo o artigo 10.º do Regulamento Geral de Ruído “*As câmaras municipais apresentam à assembleia municipal, de dois em dois anos, um relatório sobre o estado do ambiente acústico municipal, excepto quando esta matéria integre o relatório sobre o estado do ambiente municipal.*”

Com a obrigatoriedade dos municípios em elaborarem mapas de ruído e planos municipais de redução de ruído, torna-se possível uma descrição da situação actual das fontes produtoras de ruído urbano sob o ponto de vista acústico, e respectivas zonas conflituosas. Neste documento constam essas informações e uma descrição dos instrumentos municipais de gestão de ruído urbano e sua eficácia, de acordo com determinadas propostas do PMRR.

#### A2.2.3.2.5. Regulamento Municipal de Ruído (RMR)

O Regulamento Municipal de Ruído pretende definir um conjunto de normas tendentes à harmonização dos procedimentos adoptados pelo Município, no âmbito das competências que lhe são atribuídas pelo Regulamento Geral do Ruído, como forma de garantir uma boa qualidade acústica nos locais de trabalho, lazer e principalmente nas habitações.

Deve ser um documento que garanta não só o cumprimento do estabelecido no RGR mas, principalmente, que uniformize procedimentos administrativos e estabeleça os critérios económicos que lhe estão associados.

Pode, por exemplo, incluir:

- as regras administrativas e encargos económicos associados às licenças especiais de ruído;
- os critérios de obtenção ou de execução dos “extractos de mapas de ruído” a utilizar nos processos de licenciamento;
- os procedimentos para avaliação de reclamações por excesso de ruído qualquer que seja a sua natureza;
- a disponibilidade para a realização de ensaios ou avaliações acústicas, bem como o respectivo regime de preços;
- ou ainda, a definição de “zonas de protecção acústica especial” como centros históricos ou outros locais que o município considere de particular interesse nos quais os valores-limite estabelecidos no RGR possam ser reduzidos em 5 dB(A).

### A2.3. Normalização

- **NP EN ISO 140-1:2001** “Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Especificações para laboratórios sem transmissão marginal”
- **EN ISO 140-3:1995** e **AM 1:2004** “Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements”;e “Amendment 1: Installation guidelines for lightweight twin leaf partitions”
- **NP EN ISO 140-4:2000** “Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos”

- **NP EN ISO 140-5:2000** “Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição, *in situ*, do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada”
- **NP EN ISO 140-6:2000** “Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 6: Medição, em laboratório, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão”
- **EN ISO 140-7:1998** “Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors”
- **EN ISO 140-8:1997** “Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 8: Medição, em laboratório, da redução da transmissão sonora de revestimentos de piso em pavimento normalizado”
- **EN ISO 354:2003** “Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room”
- **EN ISO 717-1:1996/AM 1:2006** “Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation -Amendment 1: Rounding rules related to single number ratings and single number quantities”
- **EN ISO 717-2:1996/AM 1:2006** “Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation -Amendment 1”
- **NP 1730-1: 1996** “Acústica. Descrição e medição de ruído ambiente. Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos.”
- **NP 1730-2:1996** “Acústica. Descrição e medição de ruído ambiente. Parte 2: Recolha de dados relevantes para o uso do solo.”
- **NP 1730-3:1996** “Acústica. Descrição e medição de ruído ambiente. Parte 3: Aplicação aos limites de ruído.”

### ANEXO 3: ENTIDADES RODOVIÁRIAS, FERROVIÁRIAS E AEROPORTUÁRIAS

Quadro A3. 1 - Contactos das concessionárias rodoviárias em Portugal

Concessionárias	telefone	fax	email	internet
EP - Estradas de Portugal, S.A.	212879000	212 951 997	ep@estradasdeportugal.pt	www.estradasdeportugal.pt
<b>Grupo AENOR</b>	229997490	229940535	geral.aenor@aenor.pt	www.aenor.pt
AENOR - Auto-Estradas do Norte, S.A.	229997490	229940535	geral.aenor@aenor.pt	www.aenor.pt
LUSOLISBOA - Auto-Estradas da Grande Lisboa, S.A.	213711100	213867797	geral.aenor@aenor.pt	www.aenor.pt
LUSOS CUT - Auto-Estradas do Grande Porto, S.A.	229997490	229940535	geral.aenor@aenor.pt	www.aenor.pt
LUSOS CUT - Auto-Estradas da Costa de Prata, S.A.	234301970	234311046	geral.aenor@aenor.pt	www.aenor.pt
LUSOS CUT - Auto-Estradas das Beiras Litoral e Alta, S.A.	232990020	232997420	geral.aenor@aenor.pt	www.aenor.pt
<b>Auto-Estradas do Atlântico, S.A.</b>	261318500	261318501	aea@aeatlantico.pt	www.aeatlantico.pt
<b>Brisa - Auto-Estradas de Portugal, S.A.</b>	214448627	214448627	contacto@brisa.pt	www.brisa.pt
Brisal - Auto-Estradas do Litoral, S.A	214448627	214448627	contacto@brisa.pt	www.brisa.pt
<b>EUROSCUT - Sociedade Concessionária da Scut do Algarve, S.A.</b>	213512150	213151462	geral@cc.euroscut.pt	-
EUROSCUT Norte	213512150	213151462	geral@euroscutnorte.pt	-
<b>Lusoponte - Concessionária para a Travessia do Tejo, S.A.</b>	212947920	212943044	-	www.lusoponte.pt
<b>NORSCUT - Concessionária de Auto-Estradas, S.A.</b>	210329855	210329860	norscut@norscut.com	www.norscut.com
<b>SCUTVIAS - Auto-Estradas da Beira Interior</b>	217826200	217826190	scutvias@scutvias.pt	www.scutvias.pt

**Quadro A3. 2 - Contactos das concessionárias ferroviárias em Portugal**

Concessionárias	telefone	fax	email	internet
CP - Caminhos-de-ferro Portugêes, E.P.	211023000	213473093	webmaster@mail.cp.pt	www.cp.pt
Fertagus	211066300	211066399	fertagus@fertagus.pt	www.fertagus.pt
REFER - Rede Ferroviária Nacional	211022000	211022439	-	www.refer.pt
INTF - Instituto Nacional do Transporte Ferroviário	213178900	213178910	intf@intf.pt	www.intf.pt

**Quadro A3. 3 - Contactos das concessionárias aeroportuárias em Portugal**

Concessionárias	telefone	fax	email	internet
ANA - Aeroportos de Portugal, SA	218413500	218404231	contactar@ana.pt	www.ana.pt

## ANEXO 4: PEÇAS DESENHADAS







Com o apoio do *Programa Operacional do Ambiente*



FEDER