

## **Mapas de Ruído - Escala Municipal**



**Adaptação dos Mapas de Ruído Existentes aos Novos  
Indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$**

### **Relatório Final**

(Extracto do Relatório Global da AMAE)

Revisto em Outubro de 2009

**Mapas de Ruído - Escala Municipal**  
**Associação de Municípios da Alta Estremadura**  
**Concelho: Batalha**

**Elaborado por:**

Laboratório de Acústica (ESTG / Inst. Politécnico de Leiria)

**Equipa Técnica:**

Doutor João Ramos (ESTG / Inst. Politécnico de Leiria)

Mestre Nuno Martinho (ESTG / Inst. Politécnico de Leiria)

Engenheira Judite Ventura (ESTG / Inst. Politécnico de Leiria)

Engenheiro Vítor Valente (Técnico colaborador).

## ÍNDICE

Apresentação Sumária .....	1
1. Enquadramento e Âmbito do Estudo .....	2
2. Disposições Legais, Normativas, Directivas e Directrizes .....	5
2.1. Contexto legislativo e normativo .....	5
2.2. Conceitos e Definições .....	7
3. Metodologia .....	12
3.1. Indicador de Ruído Adoptado .....	13
3.2. Dados de Entrada ( <i>inputs</i> ) .....	13
3.2.1. Cartografia de Base .....	13
3.2.2. Fontes de Ruído .....	16
3.2.2.1. Tráfego Rodoviário .....	17
3.2.2.2. Tráfego Ferroviário .....	21
3.2.2.3. Ruído Industrial .....	23
3.2.2.4. Tráfego Aéreo .....	30
3.3. Medições e Equipamento de Medição de Ruído .....	33
3.4. Cálculo dos Mapas de Ruído .....	36
3.5. Aferição/Validação dos Mapas .....	38
3.6. Estimativa da Exposição da População ao Ruído .....	39
4. Apresentação e Análise de Resultados .....	40
4.1. Concelho da Batalha .....	41
4.1.1. Fontes de Ruído consideradas .....	41
4.1.2. Resultados e Validação dos Mapas .....	45
4.2. Mapa de Ruído Inter-municipal .....	55
5. Conclusões .....	59
6. Agradecimentos .....	63
7. Referências .....	64
Anexo I – Boletim de Verificação Metrológica do Sonómetro .....	66
Anexo II – Mapas de Ruído .....	67

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Concelhos caracterizados no âmbito do trabalho *	2
Quadro 2 - Diplomas legais relativos à acústica e ao ruído ambiente	6
Quadro 3 – Normalização nacional relativa à acústica e ao ruído ambiente	6
Quadro 4 – Perfil médio diário da estrada 360 situada no Concelho de Ourém	18
Quadro 5 – Valores de $L_{Aeq}$ medidos vs $L_{Aeq}$ calculados e respectiva diferença	29
Quadro 6 – Valores utilizados para o cálculo da estimativa da população exposta aos diferentes níveis de ruído	39
Quadro 7 – Caracterização das vias de tráfego do Concelho da Batalha	42
Quadro 8 – Valores de $L_{Aeq}$ medidos vs $L_{Aeq}$ calculados e respectiva diferença	45
Quadro 9 – Valores de $L_{Aeq}$ medidos vs $L_{Aeq}$ calculados e respectiva diferença – Zona 1	47
Quadro 10 – Valores de $L_{Aeq}$ medidos vs $L_{Aeq}$ calculados e respectiva diferença – Zona 2	48
Quadro 11 – Valores de $L_{Aeq}$ medidos vs $L_{Aeq}$ calculados e respectiva diferença – Zona 3	49
Quadro 12 – Valores de $L_{Aeq}$ medidos vs $L_{Aeq}$ calculados e respectiva diferença – Zona 4	50
Quadro 13 – Valores de $L_{Aeq}$ medidos vs $L_{Aeq}$ calculados e respectiva diferença – Zona 5	51
Quadro 14 – Valores de $L_{Aeq}$ medidos vs $L_{Aeq}$ calculados e respectiva diferença – Zona 6	52
Quadro 15 – População da Batalha exposta a diferentes classes de níveis de ruído	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo da influência de indústrias extractivas e da auto-estrada A1, localizadas no Concelho de Ourém, no Mapa de Ruído do Concelho da Batalha.....	14
Figura 2 – Exemplo da altimetria e volumetria do edificado numa zona da cidade de Leiria .....	15
Figura 3 – Exemplo da modelação e conformação do terreno numa via rodoviária, a partir da cartografia original.....	15
Figura 4 - Perfil médio diário da circulação de veículos ligeiros na estrada 360 situada no Concelho de Ourém .....	19
Figura 5 - Perfil médio diário da circulação de veículos pesados na estrada 360 situada no Concelho de Ourém .....	19
Figura 6 – Exemplo de registo de valores do nível de pressão sonora - longa duração. ....	20
Figura 7 – Exemplo de monitorização do nível de pressão sonora junto a uma via rodoviária .....	21
Figura 8 – Exemplo de registo de valores do nível de pressão sonora na linha ferroviária do Norte	22
Figura 9 – Exemplo de numa indústria extractiva contendo fontes fixas e fontes móveis, no Concelho de Pombal.....	24
Figura 10 – Exemplo de alteração da cartografia, no Concelho de Porto de Mós. ....	25
Figura 11 – Exemplo de barreiras à propagação do som não constantes na cartografia, no Concelho de Ourém. ....	25
Figura 12 – Exemplo de indústria localizada junto a um grande eixo rodoviário (IC2), no Concelho de Pombal.....	26
Figura 13 – Esquema representativo da monitorização na envolvente de uma indústria extractiva, no Concelho de Pombal.....	27
Figura 14 – R11 – Ponto de monitorização.....	28
Figura 15 – R31 – Ponto de monitorização.....	28
Figura 16 – R32 – Ponto de monitorização.....	29
Figura 17 – Monitorização do nível de pressão sonora na envolvente da Base Aérea nº 5 – “Pontos chave” .....	32
Figura 18 – Fontes acústicas lineares para simulação das rotas de voo: pista, zona de descolagem e possíveis rotas seguidas (3D) .....	33
Figura 19 – Sonómetro de precisão integrador.....	34
Figura 20 – Kit de exteriores utilizado para monitorização permanente .....	34
Figura 21 – Sensor de velocidade do ar tipo turbina.....	35

Figura 22 – Traçado das vias de tráfego e localização dos pontos de monitorização de ruído e de contagem de tráfego rodoviário <i>in situ</i> .....	43
Figura 23 – Localização dos pontos de monitorização de ruído que permitiram aferir a potência das diversas fontes das respectivas unidades/zonas industriais consideradas .....	44
Figura 24 – Esquema representativo da Zona 1 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.....	47
Figura 25 – Esquema representativo da Zona 2 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.....	48
Figura 26 – Esquema representativo da Zona 3 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.....	49
Figura 27 – Esquema representativo da Zona 4 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.....	50
Figura 28 – Esquema representativo da Zona 5 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.....	51
Figura 29 – Esquema representativo da Zona 6 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.....	52
Figura 30– Percentagem de população exposta a níveis de ruído que respeitam os valores limite para zonas sensíveis .....	55
Figura 31 – Percentagem de população exposta a níveis de ruído que respeitam os valores limite para zonas mistas .....	56
Figura 32 - Percentagem de população exposta a níveis de ruído que excedem os valores limite para zonas mistas .....	57

## Apresentação Sumária

Na sequência do protocolo de colaboração celebrado entre a **Associação dos Municípios da Alta Estremadura (AMAE)** e a **Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria (ESTG Leiria)**, relativo à elaboração dos Mapas de Ruído à escala municipal (1:25.000) dos Concelhos da Batalha, Leiria, Ourém, Pombal e Porto de Mós, por forma a caracterizar a situação acústica do ambiente exterior nestes mesmos Concelhos, apresentam-se os novos indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$  e os Mapas de Ruído correspondentes, elaborados tendo por base os indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$ , de acordo quer com as “Directrizes para elaboração de Mapas de Ruído (versão 2 - Junho 2008)”, da autoria da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), quer com o Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo DL nº 9/2007, de 17 de Janeiro.

Com base nesses Mapas, obteve-se ainda um Mapa de Ruído Inter-municipal.

Para além dos resultados finais comentados, relativos aos Mapas de Ruído dos referidos Concelhos, este relatório faz alusão à legislação, normas e regras práticas seguidas para a elaboração do trabalho, resume a metodologia adoptada e apresenta dados quantitativos da estimativa da população exposta a determinados intervalos de níveis de ruído.

O presente relatório é constituído por um corpo principal de peças escritas e anexos, com um corpo final de peças desenhadas (Mapas de Ruído). Deste relatório global foram efectuados cinco extractos. Para cada extracto foi truncado o capítulo 4 - “Apresentação e Análise de Resultados” - ficando este capítulo apenas com a informação e os Mapas de Ruído relativos ao respectivo Concelho.

O estudo foi elaborado pela equipa técnica do Laboratório de Acústica da ESTG Leiria, a qual se apresenta disponível para prestar quaisquer esclarecimentos que se julguem necessários.

## 1. Enquadramento e Âmbito do Estudo

O Decreto-Lei 9/2007, de 17 Janeiro, que entrou em vigor em Fevereiro de 2007, aprova o Regulamento Geral do Ruído e revoga o regime legal da poluição sonora aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro. O novo Regulamento Geral do Ruído estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações

Este novo regulamento define agora o Mapa de Ruído como um “descriptor 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). Contempla também a definição de novos períodos de referência de modo a abranger as actividades humanas típicas, delimitados em período diurno (das 7 às 20 horas), em período do entardecer (das 20 às 23 horas) e em período nocturno (das 23 às 7 horas).

No trabalho ora relatado, reelaboraram-se os **Mapas de Ruído dos Concelho da Batalha, Leiria, Ourém, Pombal e Porto de Mós**, à escala municipal (1:25.000), para a situação actual. A partir da união dos Mapas individuais, elaborou-se ainda um **Mapa de Ruído Inter-Municipal** à mesma escala.

No Quadro 1 caracterizam-se os Concelhos dos pontos de vista da população residente e da área municipal.

Quadro 1 - Concelhos caracterizados no âmbito do trabalho \*

Concelho	População HM	Número de Freguesias	Área total	Densidade populacional
Batalha	15002	4	102,8 Km <sup>2</sup>	145,9 hab/Km <sup>2</sup>
Leiria	119847	29	568,3 Km <sup>2</sup>	210,9 hab/Km <sup>2</sup>
Ourém	46216	18	416,1 Km <sup>2</sup>	111 hab/Km <sup>2</sup>
Pombal	56299	17	625,7 Km <sup>2</sup>	90 hab/Km <sup>2</sup>
Porto de Mós	24271	13	264,3 Km <sup>2</sup>	91,8 hab/Km <sup>2</sup>
Total =	261635	81	1977,2 Km <sup>2</sup>	

\* Fonte: INE, Recenseamento Geral da População e Habitação – 2001 (Resultados Definitivos)



Os Mapas de Ruído, obtidos no âmbito deste trabalho, fornecem informação acústica que permite atingir os objectivos de identificação das principais fontes de ruído - tipicamente tráfego rodoviário, tráfego ferroviário, tráfego aéreo e instalações industriais - e ainda dos receptores expostos.

Com base na informação disponibilizada nos Mapas é possível definir estratégias para a preservação de zonas com níveis sonoros regulamentares, para a selecção de áreas prioritárias para redução de níveis de ruído não regulamentares e para a criação de novas zonas sensíveis ou mistas, com níveis sonoros compatíveis.

Sendo desejável começar os Mapas pelos Concelhos no seu todo (escala PDM), deverá posteriormente abordar-se o território a escalas superiores – Planos de Urbanização (PU) e Planos de Pormenor (PP). No entanto, estas escalas, bem como as diferenças nos procedimentos previstos para a obtenção dos Mapas de Ruído para as mesmas, não se encontram previstas no âmbito deste trabalho.

Mercê da dinâmica de desenvolvimento dos Concelhos, o modelo gerado permitirá, *à posteriori*, prever as características do ruído ambiente baseadas em qualquer alteração/intervenção que venha a ser efectuada, com vista à avaliação das alterações na qualidade do ambiente sonoro por estas provocado. Assim, as simulações geradas (cenários) poderão ser uma óptima ferramenta de apoio à tomada de decisões do ponto de vista da gestão e valorização ambiental.

O presente relatório é constituído por um corpo principal de peças escritas e anexos, com um corpo final de peças desenhadas (Mapas de Ruído).

Conforme consta no índice, no próximo capítulo são apresentadas as disposições legais relevantes, as normas e as directrizes recomendadas para a execução deste tipo de trabalho. Ainda no mesmo capítulo, são listados os principais conceitos e as principais definições utilizadas no âmbito do trabalho.

No capítulo 3 é descrita a metodologia adoptada – apresentação genérica do modelo de previsão adoptado, das diferentes fases do processo da preparação de dados, do cálculo dos Mapas de Ruído por recurso a modelos computacionais, das campanhas de monitorização realizadas *in situ* e da aferição/validação dos Mapas.

Tendo em conta os objectivos propostos, no capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos para cada um dos Concelhos, incluindo uma estimativa da população exposta a determinados intervalos de níveis de ruído. Neste capítulo apresenta-se ainda o Mapa de Ruído inter-municipal e faz-se uma análise comparativa da população exposta a valores de ruído limite entre os Concelhos em estudo.

Por fim, nos capítulos seguintes, tecem-se as principais conclusões, apresentam-se alguns agradecimentos e listam-se as referências bibliográficas.

## 2. Disposições Legais, Normativas, Directivas e Directrizes

### 2.1. Contexto legislativo e normativo

A Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu relativa à Avaliação e Gestão do Ruído Ambiente, publicada em 25 de Junho, adiante designada por Directiva, releva o princípio de que no planeamento, no ordenamento do território e no urbanismo, deve prevalecer a solução que melhor assegure a tranquilidade e o repouso das pessoas nos locais destinados à habitação, trabalho e lazer. A Directiva considera ainda os Mapas de Ruído como formas privilegiadas de diagnóstico para avaliação da incomodidade das populações ao ruído.

No nosso país, com a publicação do Decreto-Lei nº 9/2007 de 17 de Janeiro, que aprovou o novo Regulamento Geral do Ruído, foi revogado o Decreto-Lei nº 292/2000, de 14 de Novembro. Este diploma estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações, sendo da responsabilidade das Câmaras Municipais a classificação das zonas sensíveis e zonas mistas nos PMOT que gerem, de acordo com os usos do solo predominantes.

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  $L_n$ .

No Quadro 2 resumem-se os principais diplomas legais relativos à acústica e ao ruído ambiente, enquanto que no Quadro 3, em complemento, apresenta-se a principal normalização nacional em vigor.

Quadro 2 - Diplomas legais relativos à acústica e ao ruído ambiente

Decreto-Lei 9/2007, de 17 Janeiro	É aprovado o novo Regulamento Geral do Ruído, revogando o Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro.
Decreto-Lei 146/06, de 31 Julho	Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.
Decreto-Lei 259/02, 23 de Novembro	Transferência de atribuições e competências para as Autarquias Locais
Decreto-Lei 129/02 de 11 de Maio	Regulamento dos requisitos acústicos de edifícios
Decreto-Lei 292/00, 14 de Novembro	Regime Legal sobre a Poluição Sonora (antigo RGR). Já revogado!
Decreto-Lei 72/92 de 28 de Abril Decreto Reg. 9/92 de 28 de Abril	Protecção dos trabalhadores contra os riscos devidos à exposição ao ruído durante o trabalho
Portaria 1069/89 de 13 de Dezembro	Regulamento de Controlo Metrológico dos Sonómetros

Quadro 3 – Normalização nacional relativa à acústica e ao ruído ambiente

NP 1730-1:1996 (1ª Edição)	Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos
NP 1730-2:1996 (1ª Edição)	Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 2: Recolha de dados relevantes para o uso do solo.
NP 1730-3:1996 (1ª Edição)	Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 3: Aplicação aos limites do ruído.
NP 1733:1981	Acústica. Higiene e segurança no trabalho. Estimativa da exposição ao ruído durante o exercício de uma actividade profissional, com vista à protecção da audição
NP 3496:1988	Medições da incomodidade sonora L(A95), L(Aeq)
NP 3225-1:1986 (1ª Edição)	Acústica. Vocabulário. Parte 1: Definições gerais
NP 3225-2:1986 (1ª Edição)	Acústica. Vocabulário. Parte 2: Propagação do som.
NP 3225-3:1986 (1ª Edição)	Acústica. Vocabulário. Parte 3: Audição
prNP 4423:2003	Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Procedimentos específicos de medição

Para além destas normas nacionais foram ainda seguidas, nomeadamente para a selecção dos métodos de cálculo e para a avaliação das fontes de ruído de actividades ruidosas permanentes, um conjunto de normas internacionais (ISO) e estrangeiras (NMPB – francesa), conforme as recomendações quer da Direcção Geral do Ambiente, do Instituto do Ambiente e da Agência Portuguesa do Ambiente, quer da Directiva Europeia. Estas normas e métodos encontram-se descritos nas respectivas secções deste relatório.

Para a elaboração dos Mapas de Ruído foi seguido o documento “Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure”, publicado pela European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) em 2003, e as “Directrizes para a Elaboração de Mapas de Ruído”, disponibilizadas numa primeira versão em Março de 2007 e numa 2ª versão em Junho de 2008 pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

## 2.2. Conceitos e Definições

Com a finalidade de conferir, a quem se encontre menos familiarizado com a acústica, algumas noções consideradas essenciais para uma melhor compreensão do conteúdo do presente relatório, apresentam-se seguidamente as definições das grandezas fundamentais consideradas relevantes para a caracterização do ruído ambiente, assim como outros conceitos a ele associados.

**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;

**Avaliação acústica:** Verificação de conformidade de situações específicas de ruído com limites estabelecidos;

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

**Intervalo de tempo de Emergência:** Intervalo de tempo especificado para o qual os resultados das medições são representativos. Corresponde ao tempo de ocorrências das fontes de ruído em causa;

**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 séries de intervalos de tempo de referência, e é determinado com o fim de descrever o ruído ambiente, sendo, geralmente, fixado, pelas unidades responsáveis;

**Mapa de Ruído:** o 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);

**Nível sonoro contínuo equivalente ( $L_{eq}$ ) de um ruído e num intervalo de tempo [dB(A)]:** O nível sonoro contínuo equivalente  $L_{eq}$  de uma determinada distribuição de níveis sonoros, no domínio do tempo, corresponde ao valor de um nível sonoro constante, o qual, integrado no intervalo de tempo considerado T conduz à mesma mobilização de energia que a descrição dada. Este nível é calculado pela seguinte expressão:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right]$$

sendo:

$L(t)$  – o valor instantâneo do nível sonoro em dB(A);

T – o período de tempo considerado

Para uma certa evolução temporal de ruído, o valor do nível sonoro contínuo equivalente permite quantificar adequadamente a energia sonora percebida;

**Nível ponderado A, em dB(A):** Valor do nível de pressão sonora ponderado de acordo com a curva de resposta de filtro normalizado A, expresso em decibel;

**Nível sonoro médio de longa duração,  $L_{Aeq,LT}$ :** Média, num intervalo de tempo de longa duração, dos níveis sonoros contínuos equivalentes, ponderados A, para as séries de intervalo de tempo de referência compreendidos no intervalo de tempo de longa duração.

O  $L_{Aeq,LT}$ , em decibel, para um dado intervalo de tempo de referência, é dado pela fórmula:

$$L_{Aeq,LT} = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{Aeq,T})_i} \right]$$

onde:

N – número de amostras do intervalo de tempo de referência;

$(L_{Aeq,T})_i$  – nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, na amostra i, em decibel;

**Nível sonoro:** O valor do nível sonoro, que não é mais do que um valor de pressão sonora ponderada no domínio das bandas de frequência consideradas num processo de medição, pretende traduzir, sob a forma de valor único, a pressão sonora apercibida pelo ouvido humano, e é expresso em dB(A):

**Nível de pressão sonora (SPL):**

O nível de pressão sonora, expresso em decibéis, é dado pela seguinte expressão:

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_{ef.}^2}{p_{ref.}^2}$$

O valor de referência integrante desta expressão é normalmente considerado de  $p_{ref.} = 20 \mu Pa$ ;

Nesta equação, o quadrado do valor eficaz da pressão sonora, para um determinado intervalo de tempo t, definido por  $(t_2 - t_1)$ , é dado por:

$$p_{ef.}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [p(t)]^2 dt$$

**Nível de potência sonora:** A potência sonora de uma determinada fonte ou equipamento, normalmente expresso em dB(A), é dado pela seguinte expressão:

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_{ref.}}$$

onde W representa o valor da potência sonora da fonte ou equipamento em causa. O valor de referência integrante desta expressão é normalmente considerado de  $W_{ref.} = 10^{-12} \text{ W}$

**Intervalo de tempo de referência:** Intervalo de tempo a que se pode referir o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A. Pode ser especificado em normas internacionais ou nacionais ou por entidades locais para abranger as actividades humanas típicas e as variações dos modos de funcionamento das fontes sonoras. O novo Regime Geral do Ruído, Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 Janeiro, define três períodos de referência:

- i) Período diurno, das 7:00 às 20:00;
- ii) Período entardecer, das 20:00 às 22:00
- iii) Período nocturno, das 23:00 às 7:00

**Indicador de ruído:** O parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente que tenha uma relação com um efeito prejudicial na saúde ou no bem-estar humano;

- **Indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno  $L_{den}$  :**

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

- **Indicador de ruído nocturno  $L_n$**

em que  $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$  são os níveis sonoros contínuos equivalentes, ponderados A, para as séries de intervalo de tempo nos períodos de referência, respectivamente diurno e nocturno.

**Potência sonora (W) [watt]:** Taxa de energia radiada pela fonte sonora por unidade de tempo;



**Pressão sonora (p) [pascal]:** Valor da flutuação da pressão correspondente às perturbações na atmosfera envolvente, devidas a contracções e dilatações de volumes de ar elementares. A pressão total  $P$  em cada ponto e instante de tempo é, assim, a soma da pressão atmosférica  $P_0$  com a pressão sonora  $p$

$$P(t) = p(t) + P_0$$

**Ruído ambiente:** 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;

**Ruído inicial:** Ruído ambiente que prevalece numa dada área, antes de qualquer modificação da situação existente;

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

**Ruído residual (ou ruído de fundo):** Ruído ambiente a que se suprimem um ou mais ruídos particulares, para uma determinada situação;

**Zonas Sensíveis:** 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 ;

**Zonas Mistas:** 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;

### 3. Metodologia

A metodologia seguida nas diferentes fases da elaboração dos Mapas, descrita detalhadamente nas respectivas secções deste relatório, está de acordo com a respectiva legislação, normas e directrizes referidas no capítulo anterior.

A metodologia adoptada está ainda de acordo com as tendências mais recentes no espaço europeu e tem vindo a ser recomendada, quer pela Agência Portuguesa do Ambiente, quer pelo *European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN)* (“Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure”).

A cartografia de ruído foi efectuada com base nos resultados de modelos de previsão de níveis de ruído, tendo em conta as diferentes fontes sonoras existentes e um conjunto diversificado de informação de base relativa às áreas dos Concelhos em análise. Para esse fim, recorreu-se ao programa computacional *CadnaA* (*Datakustik GmbH*, Alemanha) de modelação da emissão e propagação sonora.

Sendo a modelação matemática, apoiada pelos actuais meios computacionais, uma ferramenta fundamental para a previsão de níveis de pressão sonora, não é menos importante e torna-se complementar, ou mesmo necessária, a aferição/validação dos seus resultados através de medições acústicas *in situ*. Assim, foram efectuadas inúmeras campanhas de medições acústicas segundo procedimentos normalizados, quer com esse objectivo de aferição/validação do modelo, quer para a caracterização da emissão de fontes sonoras.

As fontes sonoras consideradas foram o tráfego rodoviário, o tráfego ferroviário, o tráfego aéreo e as actividades industriais.

### 3.1. Indicador de Ruído Adoptado

Segundo o Regulamento Geral do Ruído, o indicador de ruído ambiente exterior a utilizar na elaboração de Mapas de Ruído é o nível sonoro médio de longa duração  $L_{Aeq}$ , expresso em dB(A), também na aceção da referida norma. Este indicador é considerado para cada um dos períodos de referência, ou seja, período diurno (07H00-20H00), período do entardecer (20H00-23H00) e período nocturno (23H00-7H00).

Os Mapas de Ruído elaborados são uma representação da distribuição geográfica deste indicador de ruído ambiente apresentado sob a forma de linhas isofónicas e manchas coloridas, representando as áreas cujo nível de ruído se situa numa dada gama de valores.

### 3.2. Dados de Entrada (*inputs*)

#### 3.2.1. Cartografia de Base

A elaboração dos Mapas de Ruído, a que se reporta a presente memória descritiva, teve como um dos dados de base a cartografia militar digital dos Concelhos em estudo (1:25.000), fornecida pela Associação de Municípios da Alta Estremadura. Esta contém informação de qualidade indispensável à execução do estudo, designadamente elementos geográficos (altimetria do terreno - curvas de nível cotadas, espaçadas de 10 m), o edificado, os eixos das vias rodoviárias e ferroviárias e a implantação das zonas industriais no terreno.

Para todos os Concelhos em estudo foi considerada uma área alargada de 1000 m para além dos seus limites em toda a sua periferia, isto é, para além da área onde se pretendem conhecer os níveis de pressão sonora. Este procedimento prende-se com a influência de algumas fontes sonoras localizadas na proximidade dos limites em Concelhos vizinhos. A título de exemplo, refira-se o caso do Mapa do Concelho da Batalha onde é notória a influência de indústrias extractivas (pedreiras) e da auto-estrada A1, ambas localizadas no Concelho de Ourém (Figura 1). Refira-se ainda no caso do Mapa do Concelho de Porto de Mós a consideração do ruído proveniente da Estrada 361 que se localiza a Sul, fora dos limites do Concelho.

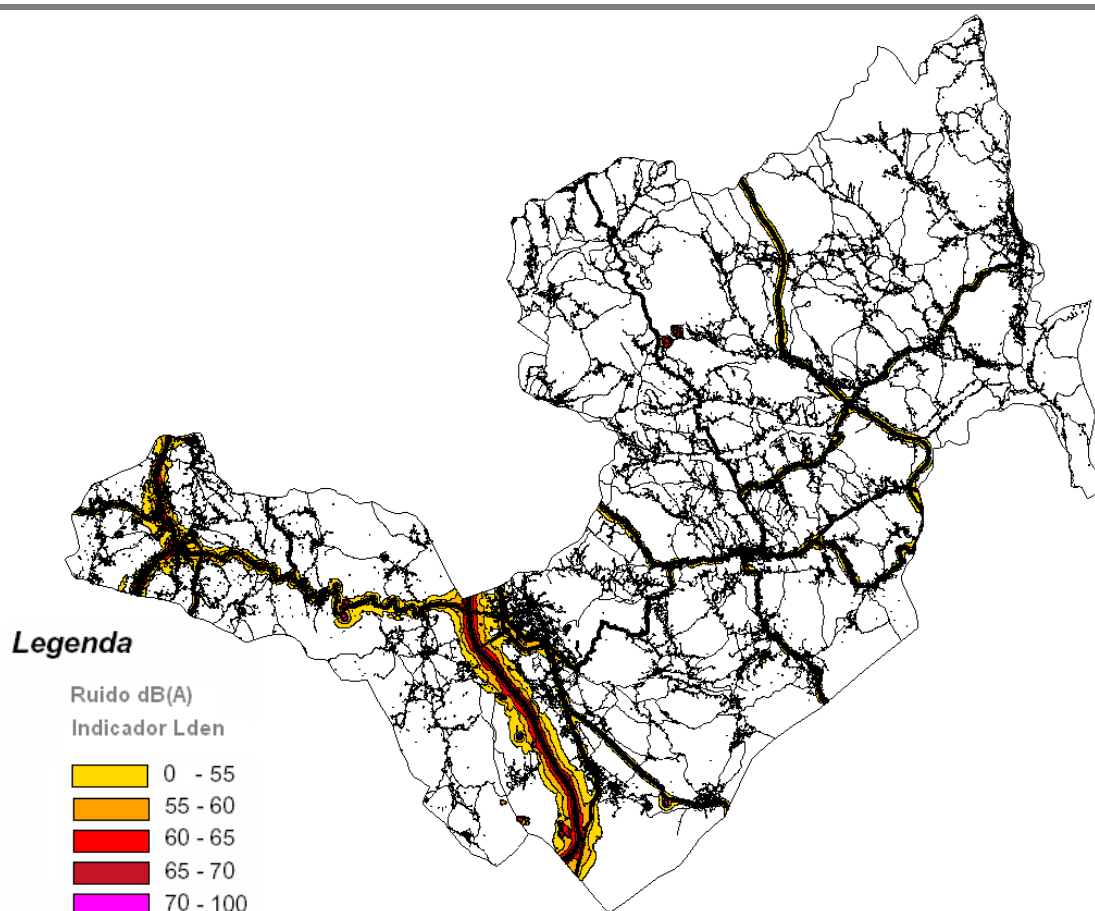


Figura 1 – Exemplo da influência de indústrias extractivas e da auto-estrada A1, localizadas no Concelho de Ourém, no Mapa de Ruído do Concelho da Batalha

Para o tratamento da cartografia base acima referida, foi necessária a caracterização física dos dados de entrada necessários ao modelo.

No caso dos edifícios e de outras barreiras à propagação sonora procedeu-se à atribuição das respectivas volumetrias (Figura 2).

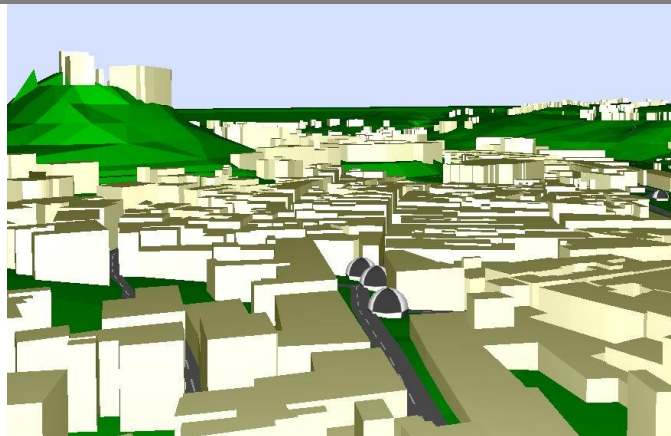
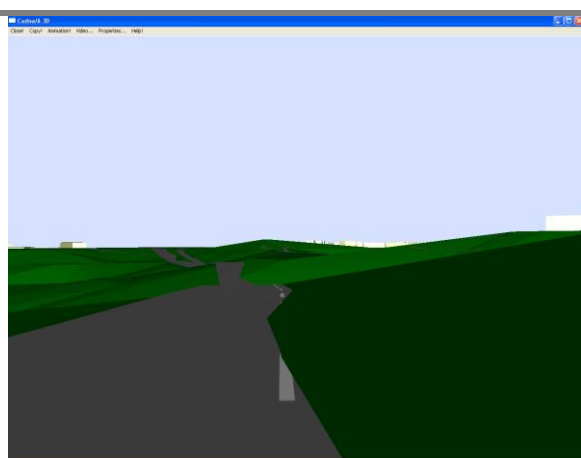
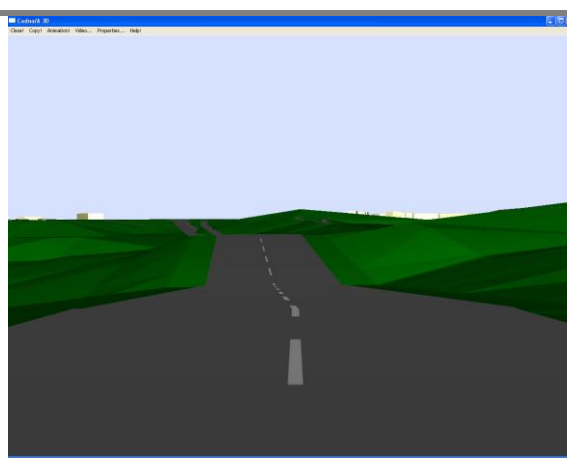


Figura 2 – Exemplo da altimetria e volumetria do edificado numa zona da cidade de Leiria

No que diz respeito às vias de tráfego rodoviário e ferroviário foi necessário proceder à adaptação/conformação ao/do terreno para que o modelo contemplasse a existência de taludes, bermas, pontes e barreiras sonoras (Figura 3).



a) Situação antes do tratamento (original)



b) Situação após conformação

Figura 3 – Exemplo da modelação e conformação do terreno numa via rodoviária, a partir da cartografia original

A caracterização física das fontes rodoviárias (perfil das vias, taludes, bermas, pontes e barreiras sonoras) foi feita através da análise cartográfica e de visitas de campo nas inúmeras campanhas efectuadas. Foram ainda filmadas as infra-estruturas para posterior visualização em gabinete no momento da sua modelação no *software*.

### 3.2.2. Fontes de Ruído

De acordo com a definição apresentada no regulamento, as fontes de ruído são as actividades ruidosas permanentes e temporárias, isto é, são todas as actividades susceptíveis de produzir ruído nocivo ou incomodativo para os que habitem, trabalhem ou permaneçam nas imediações do local onde decorrem.

Tendo em vista uma harmonização de critérios nos Mapas de Ruído elaborados a escalas compatíveis com os Planos Directores Municipais, o Instituto do Ambiente, no documento “Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído”, recomenda que sejam consideradas individualmente, pelo menos, as seguintes fontes sonoras:

- as rodovias cujo tráfego médio diário anual (TMDA) ultrapasse 8 000 veículos;
- as ferrovias, incluindo as linhas da rede principal e complementar, o metropolitano de superfície, com 30 000 ou mais passagens de comboios por ano;
- todos os aeroportos e aeródromos;
- As fontes fixas abrangidas pelos procedimentos de Avaliação de Impacte Ambiental e de Prevenção e Controlo Integrados de Poluição.

No âmbito deste trabalho, conforme se pode constatar nos quadros resumo apresentados no capítulo 4, dedicado à apresentação dos resultados para cada um dos Concelhos, consideraram-se ainda vias de tráfego rodoviário e ferroviário (linha do Norte e linha do Oeste) que, embora tendo valores de TDMA e de passagens por ano, respectivamente, inferiores aos valores acima referidos, são vias principais de circulação relevantes para uma melhor caracterização acústica dos Concelhos. De igual forma, e dado o impacto significativo junto de receptores existentes na sua proximidade, foram consideradas várias fontes sonoras fixas provenientes de indústrias não sujeitas a avaliação de impacte ambiental e foi ainda considerada a Base Aérea Militar de Monte Real, no Concelho de Leiria

A significativa ausência de alguns dados de base para os Concelhos em estudo, nomeadamente dados relativos ao volume de tráfego rodoviário, ferroviário, movimentos aéreos e ruído industrial, levou à necessidade de realização de campanhas de contagem de

tráfego, de recolha de dados junto de entidades como o IEP, a CP/REFER, a Base Aérea Militar nº5 e ainda de medições de ruído *in situ*.

A cada fonte de ruído individualizada foi associada uma envolvente acústica, resultando o ruído ambiente da integração da contribuição das várias fontes de ruído no local.

#### 3.2.2.1. Tráfego Rodoviário

As emissões sonoras deste tipo de fonte, dependem do valor do fluxo de tráfego, da tipologia dos veículos (ligeiros e pesados), da respectiva velocidade de circulação, do tipo de pavimento e ainda das características físicas referidas na secção 3.2.1.

No que concerne ao volume de tráfego procedeu-se, numa primeira abordagem, à consulta de dados do recenseamento de tráfego de postos de contagem do Instituto de Estradas de Portugal. Dado que só para um número restrito de postos/vias existia essa informação, e desconhecendo-se, *à priori*, o perfil do tráfego diário das vias onde não existia recenseamento prévio, adoptou-se o seguinte procedimento:

**1º Passo:** Dividiram-se as vias em estradas nacionais (principais) e estradas secundárias;

**2º Passo:** Para cada um dos tipos anteriores foram efectuadas contagens *in situ* “Pontos Chave” do volume de tráfego para um período de 24 horas.

A título de exemplo, apresenta-se no Quadro 4 o perfil médio diário da estrada 360, situada no Concelho de Ourém.

**3º Passo:** Simultaneamente, nestes mesmos “Pontos Chave” foram efectuadas medições em continuo do valor de SPL;

A Figura 6 ilustra o registo de valores de SPL obtidos para o caso exemplificado.

Quadro 4 – Perfil médio diário da estrada 360 situada no Concelho de Ourém

Períodos de Referência	Hora	N.º de Veículos		Fracção do Tráfego no Período (%)		Fracção do Tráfego no Período/Total Diário (%)		Tráfego Médio Horário no Período	
		Ligeiros	Pesados	Ligeiros	Pesados	Ligeiros	Pesados	Ligeiros	Pesados
Diurno	07 - 08	526	34	5,5%	6,3%	88,2%	91,4%	636	36
	08 - 09	778	37	8,2%	6,9%				
	09 - 10	605	38	6,3%	7,1%				
	10 - 11	677	53	7,1%	9,8%				
	11 - 12	576	44	6,0%	8,2%				
	12 - 13	640	39	6,7%	7,2%				
	13 - 14	603	29	6,3%	5,4%				
	14 - 15	529	37	5,5%	6,9%				
	15 - 16	561	57	5,9%	10,6%				
	16 - 17	595	36	6,2%	6,7%				
	17 - 18	839	45	8,8%	8,3%				
	18 - 19	833	43	8,7%	8,0%				
	19 - 20	764	25	8,0%	4,6%				
	20 - 21	559	14	5,9%	2,6%				
	21 - 22	451	8	4,7%	1,5%				
	<b>Total:</b>	<b>9536</b>	<b>539</b>	100,0%	100,0%				
Nocturno	22 - 23	427	3	33,5%	5,9%	11,8%	8,6%	142	6
	23 - 24	258	2	20,2%	3,9%				
	00 - 01	157	4	12,3%	7,8%				
	01 - 02	89	2	7,0%	3,9%				
	02 - 03	27	1	2,1%	2,0%				
	03 - 04	7	0	0,5%	0,0%				
	04 - 05	22	3	1,7%	5,9%				
	05 - 06	31	12	2,4%	23,5%				
	06 - 07	257	24	20,2%	47,1%				
	<b>Total:</b>	<b>1275</b>	<b>51</b>	100,0%	100,0%				
<b>Total Diário</b>		<b>10811</b>	<b>590</b>						

Nas Figura 4 e Figura 5 apresentam-se os perfis médios diários de circulação de veículos ligeiros e pesados, respectivamente, nesta via.



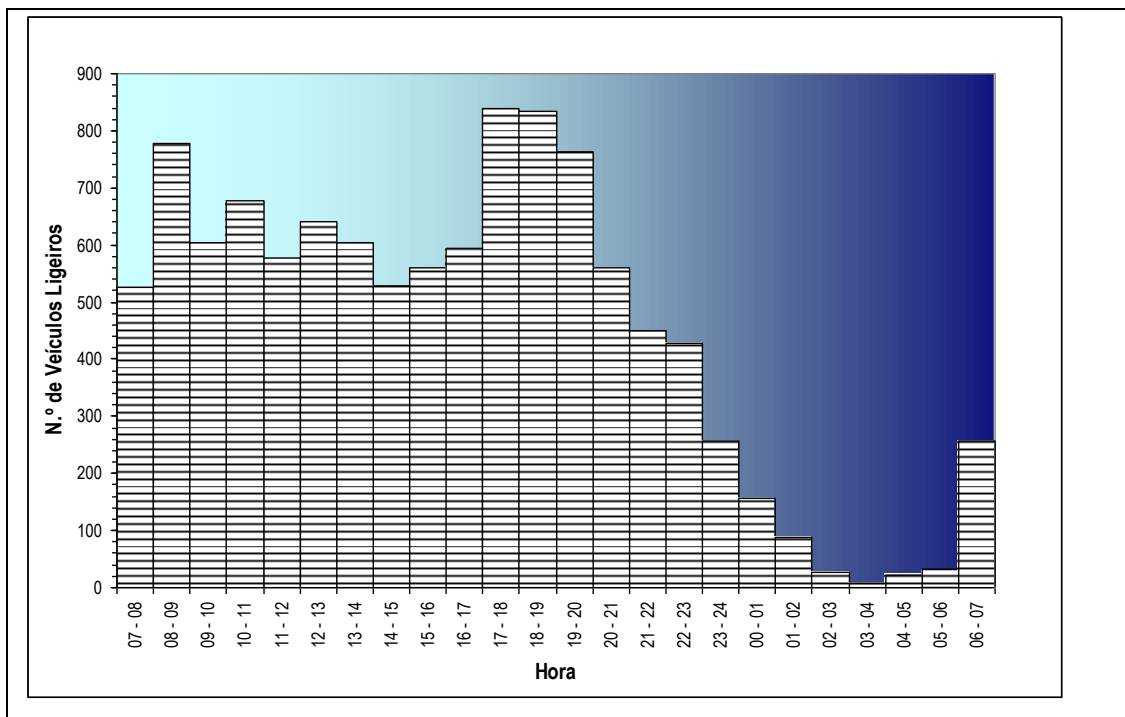


Figura 4 - Perfil médio diário da circulação de veículos ligeiros na estrada 360 situada no Concelho de Ourém

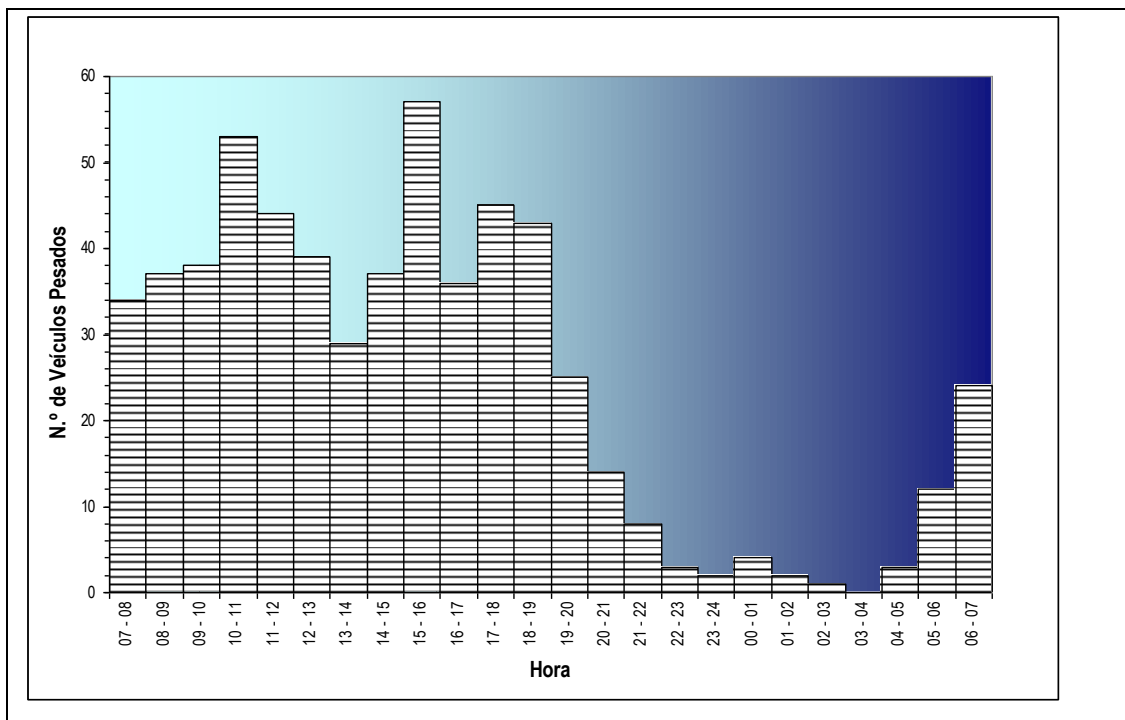


Figura 5 - Perfil médio diário da circulação de veículos pesados na estrada 360 situada no Concelho de Ourém

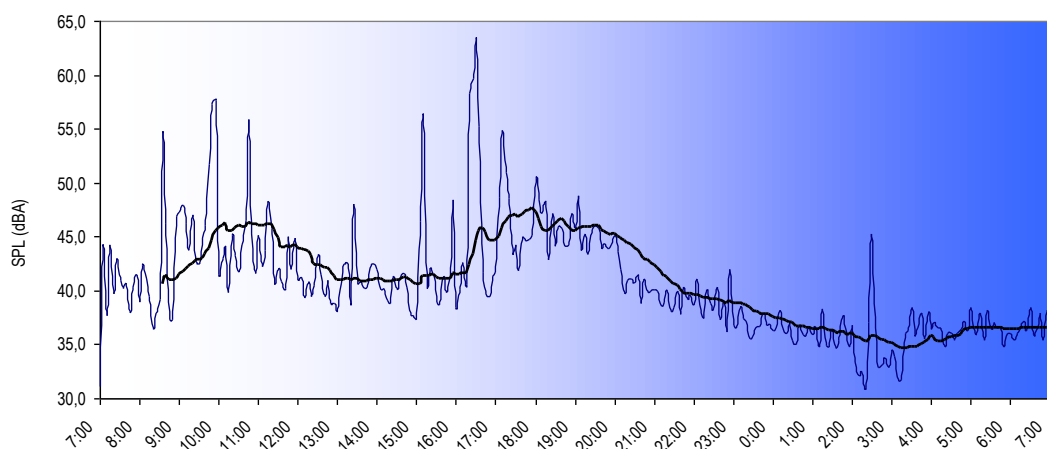


Figura 6 – Exemplo de registo de valores do nível de pressão sonora - longa duração.

**4º Passo:** Cruzando a informação referida nos passos anteriores, foi possível estabelecer relações entre o tráfego e os correspondentes níveis de ruído e, assim, obter um perfil médio diário típico para cada tipo de via.

Desta forma, para as restantes vias do mesmo Concelho, quer com contagens de tráfego de duração mais limitada quer com medições de ruído por amostragem (Figura 7), realizadas nos mesmos intervalos de tempo, foi possível obter valores do tráfego médio horário (TMH) e do tráfego médio diário anual (TDMA), para cada um dos períodos de referência diurno e nocturno, por ajuste destas amostras a esses perfis típicos.

Para a reelaboração dos Mapas de Ruído, tendo por base os indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$ , foi necessário redistribuir os fluxos de tráfego pelos três novos períodos de referência, de acordo quer com as “Directrizes para elaboração de Mapas de Ruído (versão 2 - Junho 2008)”, da autoria da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), quer com o Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo DL n.º 9/2007, de 17 de Janeiro.

Assim, para o cálculo dos valores dos novos fluxos de tráfego rodoviário foram assumidas as seguintes relações:

Período Diurno:  $TMH_{7-20h} = TMH_{7-22h}$

Período de Entardecer:  $TMH_{20-23h} = \frac{(2 \times TMH_{7-22h} + 1 \times TMH_{22-7h})}{3}$

Período Nocturno:  $TMH_{23-7h} = TMH_{22-7h}$

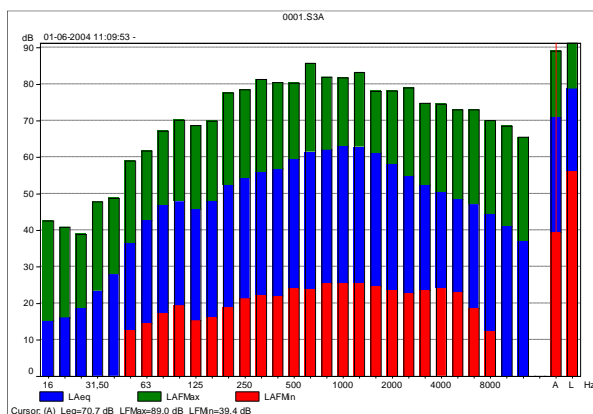


Figura 7 – Exemplo de monitorização do nível de pressão sonora junto a uma via rodoviária

Conforme referido, outro dado necessário para o cálculo da influência deste tipo de fonte é a velocidade média de circulação dos veículos. Na prática este parâmetro é de difícil determinação. Assim, como primeira aproximação para o cálculo, adoptou-se o valor legalmente estipulado como limite para cada tipo de via. Após o cálculo dos níveis de pressão sonora resultantes da modelação matemática e da sua comparação com os dados reais obtidos pelas medições *in situ*, foi realizada a aferição e ajuste da fonte, nomeadamente a partir da alteração desse valor de velocidade. Foram considerados aceitáveis desvios até  $\pm 2$  dB(A).

No capítulo dedicado à apresentação dos resultados são indicados, para cada Concelho, quer os pontos onde foram realizadas as contagens de tráfego e a monitorização de ruído, quer os valores TMH e velocidade de circulação adoptados. Nesse capítulo são ainda listados os resultados comparativos para verificação/validação do cálculo.

### 3.2.2.2. Tráfego Ferroviário

Em termos de infra-estruturas ferroviárias, o Concelho de Leiria é servido pela linha do Oeste, o Concelho de Ourém pela linha do Norte e o Concelho de Pombal por ambas.

O presente estudo tem em consideração as emissões ruidosas produzidas pela circulação de diversas composições, essencialmente comboios regionais, inter-regionais, alfas, inter-cidades e de mercadorias. Para o modelo de previsão é necessário o conhecimento do número médio diário de movimentos relativo a cada tipo de composição e respectiva velocidade de circulação característica em cada período de referência.

Ainda de acordo com o método de cálculo utilizado para este tipo de fonte foi necessário caracterizar a tipologia das composições, o comprimento médio por tipo de composição e o assentamento dos carris.

A informação acima referida foi obtida a partir dos horários de circulação disponibilizados aos utilizadores e por contacto directo com responsáveis da CP/REFER.

A caracterização foi complementada com a realização de medições de SPL, em contínuo (24 horas), em pontos próximos das respectivas linhas ferroviárias. Desta forma, obtiveram-se perfis diários do nível da pressão sonora na proximidade dessas vias (ver Figura 8).

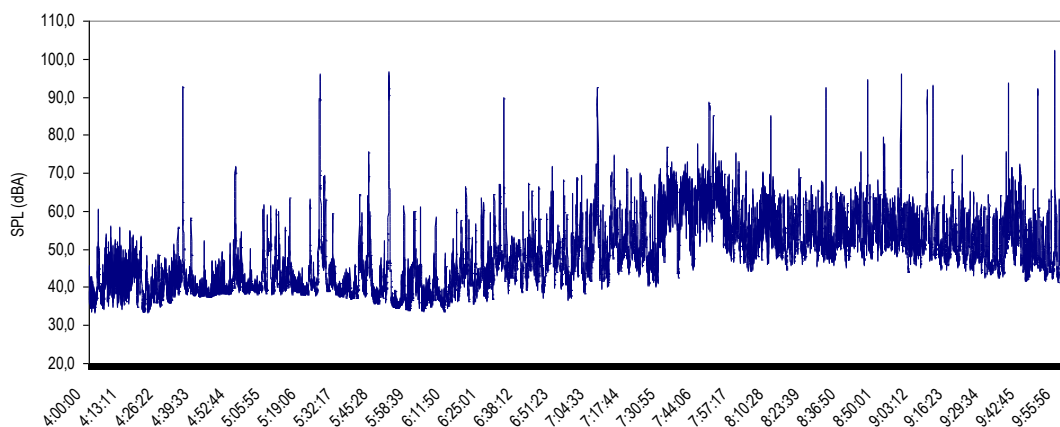


Figura 8 – Exemplo de registo de valores do nível de pressão sonora na linha ferroviária do Norte

Para além da validação do valor calculado pelo modelo para estes pontos, estas monitorizações permitiram validar o número de movimentos considerados - número de picos do nível da pressão sonora.

No capítulo dedicado à apresentação dos resultados são indicados, para os Concelhos onde existem linhas ferroviárias, quer os dados de entrada característicos das composições necessários para o cálculo, quer os pontos onde foram realizadas as campanhas de monitorização de ruído e os respectivos valores medidos. Nesse capítulo são ainda listados os resultados comparativos para verificação/validação do cálculo.

### 3.2.2.3. Ruído Industrial

Os Concelhos modelados no âmbito deste trabalho caracterizam-se por um elevado número de áreas definidas em sede de planeamento territorial como Zonas Industriais consolidadas e/ou previstas. Estas zonas apresentam dimensão apreciável em área, em número de unidades industriais e na diversidade de actividades económicas.

Para os fins pretendidos, elaboração de Mapas de Ruído à escala 1:25.000, interessa essencialmente aferir os níveis de ruído particular que uma determinada fábrica e/ou área industrial origina na sua envolvente, isto é, estimar a contribuição destas emissões ruidosas para os níveis de ruído ambiente prevalecentes.

Para o modelo de cálculo é assim necessário introduzir, como dados de entrada, os níveis de potência sonora associados a cada uma destas fábricas e/ou áreas industriais consideradas.

Uma vez que estes dados não se encontram catalogados para nenhum dos Concelhos em estudo, houve a necessidade de efectuar medições acústicas *in situ* para o posterior cálculo do valor das referidas potências acústicas. Para o efeito a Directiva Comunitária recomenda a adopção da Norma ISO 8297: 1994 - «*Acoustics – Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment – Engineering method*». O método de medição de níveis de pressão sonora para posterior cálculo da potência sonora especificado nesta norma, apresenta limitações como a área, o tipo da instalação industrial em causa e o nível de ruído residual circundante.

Para além disso, no caso dos Concelhos em estudo, levantaram-se outras dificuldades de aplicação desta mesma norma, nomeadamente:

- i) A indústria cuja contribuição para o ruído ambiente é significativa à escala de elaboração dos Mapas é essencialmente indústria extractiva (extracção de pedra, areia e terra). Tratam-se assim de casos em que não existem uma ou várias fontes de ruído fixas no espaço, com fachadas às quais seja possível atribuir potência sonora. Na verdade, está-se perante um conjunto de fontes temporariamente fixas (grupos de máquinas como esteiras de transporte de matéria prima, britadeiras e moinhos) com fontes móveis (escavadoras, veículos pesados de transporte e uma série de outras máquinas móveis);

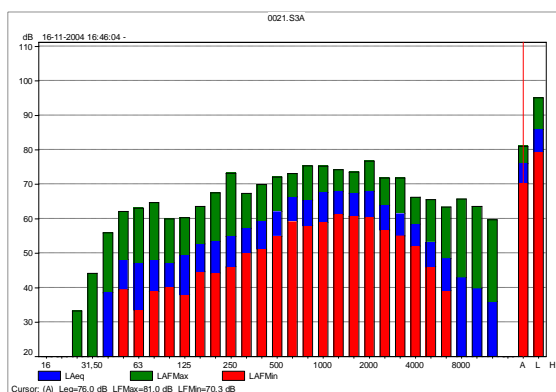


Figura 9 – Exemplo de numa indústria extractiva contendo fontes fixas e fontes móveis, no Concelho de Pombal.

A cartografia de base, à escala 1:25.000 (com curvas de nível espaçadas de 10 em 10 m), não contém uma série de barreiras à propagação do som (montes de terra, muros e taludes,...) verificadas no terreno. Refira-se ainda que o próprio tipo de indústria vai provocando, ao longo do tempo, alterações na própria cartografia do local;



Figura 10 – Exemplo de alteração da cartografia, no Concelho de Porto de Mós.

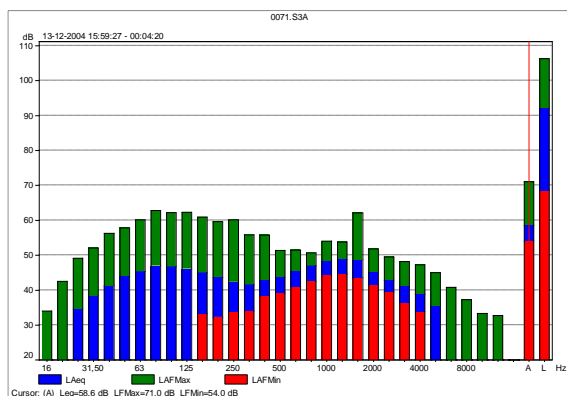


Figura 11 – Exemplo de barreiras à propagação do som não constantes na cartografia, no Concelho de Ourém.



- ii) No caso de outros tipos de indústria, verificou-se que a sua localização se encontra maioritariamente perto de grandes eixos rodoviários tornando-se inviável o cumprimento do critério de ter um nível de ruído residual 6 dB (preferencialmente 10 dB) inferior ao nível de ruído particular proveniente das indústrias em causa.



Figura 12 – Exemplo de indústria localizada junto a um grande eixo rodoviário (IC2), no Concelho de Pombal.

Estas dificuldades, conjugadas com o factor “escala” de elaboração dos Mapas de Ruído (não se tratando de planos de pormenor), conduziram à adopção da seguinte metodologia para a determinação da potência sonora das fontes de ruído industrial relevantes:

**Passo 1:** Com base no conhecimento prévio das zonas industriais existentes/propostas, fornecido cartograficamente pelos respectivos Concelhos, procedeu-se à identificação, no terreno, da tipologia das unidades industriais activas e destas, das que efectivamente produziam ruído com contribuição significativa para o ruído ambiente;

**Passo 2:** Efectuaram-se uma série de medições do nível de pressão sonora contínuo equivalente, em média durante períodos não inferiores a 10 minutos, na envolvente das unidades referidas no passo anterior;

**Passo 3:** Tirando partido de uma função do *software* de modelação utilizado – *Optimisable Sources* – o valor da potência sonora das fontes (fontes em área) consideradas significativas



foi calculado automaticamente a partir da introdução dos valores de pressão sonora medidos nas respectivas envolventes. Refira-se que no caso particular das indústrias extractivas referidas, toda a área de actividade das mesmas foi considerada uma fonte sonora em área, à qual o programa de modelação atribui uma potência sonora por forma a que a influência desta na envolvente coincida com os valores de pressão medidos.

As Figura 13, Figura 15, Figura 14 e Figura 16 ilustram o exemplo de monitorização do nível de ruído na envolvente de uma unidade industrial extractiva.

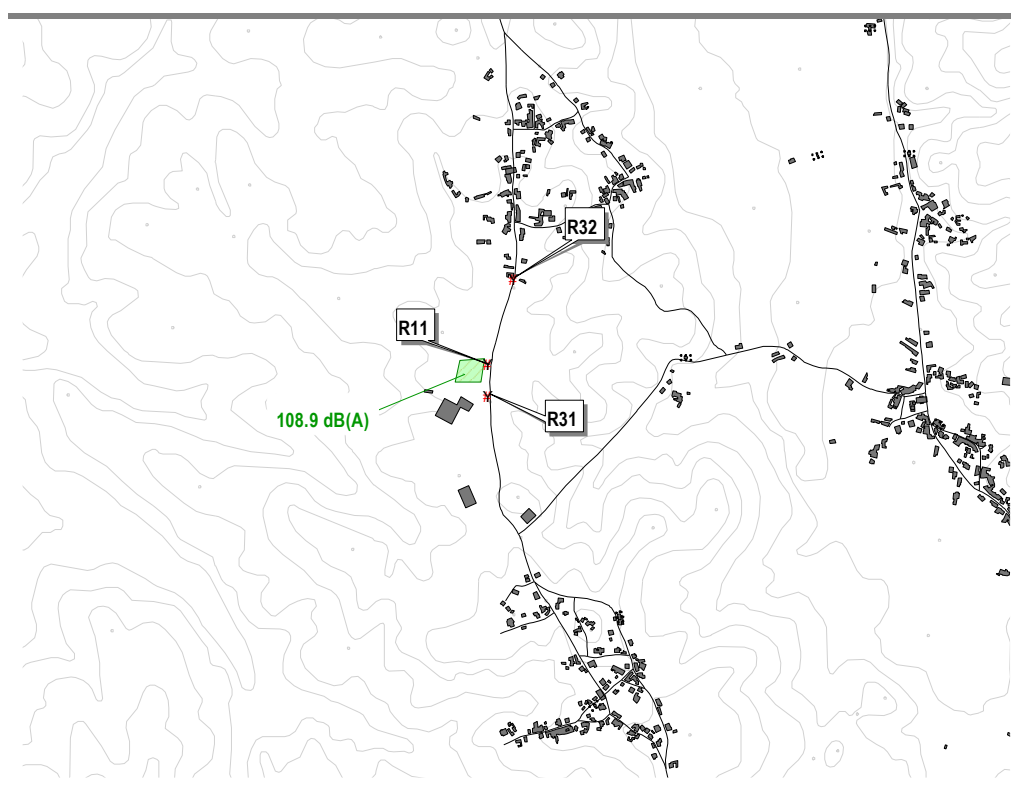


Figura 13 – Esquema representativo da monitorização na envolvente de uma indústria extractiva, no Concelho de Pombal

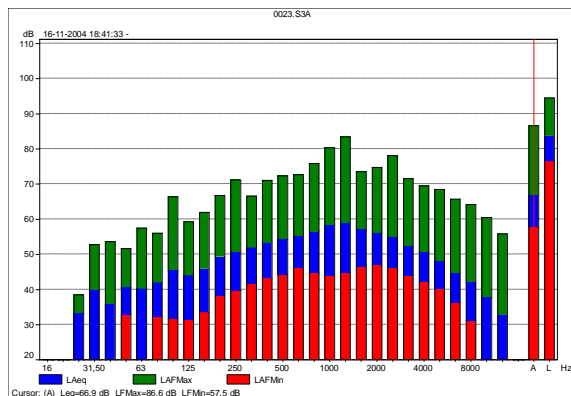


Figura 14 – R11 – Ponto de monitorização.

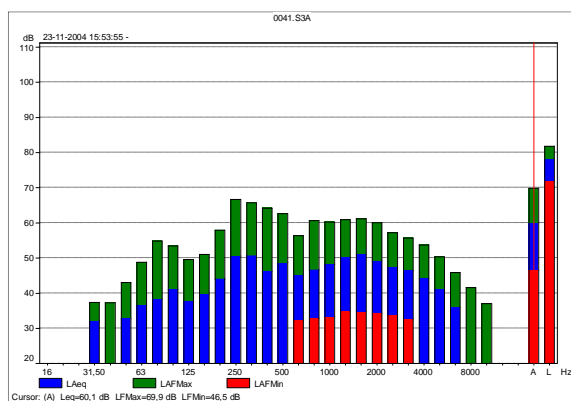


Figura 15 – R31 – Ponto de monitorização.

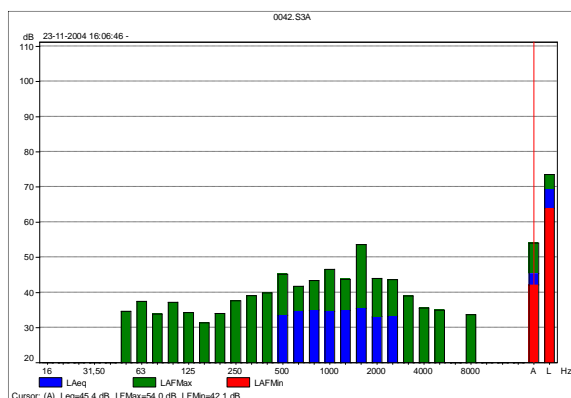


Figura 16 – R32 – Ponto de monitorização.

A partir dos valores de  $L_{Aeq}$  medidos e indicados no Quadro 5, o software calculou um valor de 73,0 dB(A)/m<sup>2</sup> para o nível de intensidade sonora da área em causa, a que corresponde um nível de potência sonora de 108,9 dB(A) como o valor que melhor se ajusta aos valores de pressão medidos. É este valor final de potência, conjugado com o período de funcionamento desta indústria, que o software de previsão acústica, baseado na Norma ISO 9613-2: «Acoustics – Attenuation of sound propagation outdoors. Part 2: General method of calculation», utilizará para o cálculo do valor da pressão sonora em toda a envolvente desta unidade industrial.

Quadro 5 – Valores de  $L_{Aeq}$  medidos vs  $L_{Aeq}$  calculados e respectiva diferença.

Ponto de Monitorização	Valor de $L_{Aeq}$ Medido (dBA)	Valor de $L_{Aeq}$ Calculado (dBA)	Valor de $\Delta L_{Aeq}$ (dBA)
R11	66,9	64,9	2,0
R31	60,1	58,6	1,5
R32	45,4	44,8	0,6

No capítulo de apresentação de resultados encontra-se representada, nos Mapas de cada Concelho, a localização dos pontos envolventes onde foram realizadas as várias campanhas de medição de ruído para caracterização do ruído das respectivas zonas industriais. Por

existirem muitas zonas industriais, totalizando um elevado número de pontos medidos, não se torna suficientemente perceptível a sua visualização numa representação única do Concelho à escala 1:25 000. Assim, para a representação dessas zonas, optou-se por ampliá-las sendo apresentadas com maior detalhe zona a zona.

#### 3.2.2.4. Tráfego Aéreo

Dos Concelhos modelados no âmbito deste trabalho, apenas o Concelho de Leiria apresenta uma fonte de ruído aéreo cuja emissão sonora é acusticamente relevante para o ruído ambiente exterior. Trata-se da Base Aérea Militar localizada na proximidade de Monte Real.



Sendo uma base militar, em que os movimentos são predominantemente de caças F16, trata-se de um caso muito particular onde se torna de difícil aplicabilidade a norma de cálculo recomendada pela Directiva - “*European Civil Aviation Conference Doc. 29*”, publicado em 1997 - por não constarem os valores de emissão

sonora típicos destas aeronaves na sua base de dados. Esta norma é mais dedicada a aeroportos comerciais.

Por outro lado, e ao contrário do que é comum nesses aeroportos comerciais, as rotas seguidas pelas aeronaves militares nos seus movimentos, essencialmente de descolagem, dependem da missão que o piloto vai executar e não estão, à partida, bem definidas no espaço e no tempo.

Assim, houve necessidade de recorrer à caracterização acústica deste tipo de fonte particular. Para tal efectuaram-se os seguintes passos:

**1º Passo:** Foram solicitados e fornecidos pela Base Aérea nº 5 o número de movimentos ocorridos na base nos anos de 2003 e até Outubro de 2004. Constatou-se não ocorrerem movimentos no período de referência nocturno;

**2º Passo:** Em complemento a estes dados, foram ainda fornecidos os ângulos típicos de aproximação e afastamento da pista para aterragem e descolagem, respectivamente;

**3º Passo:** Com conhecimento prévio dos dias e horas em que se efectuariam movimentos na base, foram realizadas medições do nível de pressão sonora, e respectivo conteúdo espectral, em vários “Pontos Chave” na envolvente da pista da Base Aérea, durante vários períodos coincidentes com movimentos de aeronaves.

Desta forma, obtiveram-se os parâmetros necessários para a caracterização da fonte, ou seja:

1º. A partir da cartografia de base e dos dados referidos no **2º Passo**, foram atribuídas fontes acústicas lineares **em três zonas distintas: uma na pista da base** – correspondente à fase inicial de voo em que a aeronave se desloca no chão; **outra na fase de descolagem/aterragem** e **as restantes foram divididas pela área no espaço aéreo onde se poderão situar as possíveis rotas**, dada a incerteza da rota seguida. De referir ainda que o sentido da descolagem/aterragem também não se encontra previamente definido. Conforme as condições meteorológicas no curto período de tempo antes do voo, assim é seleccionado o sentido. Com base nestes dados e sabendo que, mantendo-se as condições meteorológicas, a aterragem se efectua no sentido oposto da descolagem, optou-se por dividir de forma simétrica as rotas das aeronaves relativamente ao centro da pista, isto é, distribuição uniforme de rotas nos quadrantes Norte e Sul (orientação da pista);



2º. A partir dos valores de pressão sonora medidos em cada “Ponto Chave” durante a ocorrência do movimento de uma aeronave, ou seja, no intervalo de tempo de emergência, determinou-se o valor da potência acústica linear a atribuir às referidas fontes lineares (“rotas”). Estes valores, complementados com o número de movimentos médio diário anual de aeronaves na base em causa, permitiu determinar o valor final da potência a atribuir a estas fontes lineares e, consequentemente, a sua influência na zona envolvente.

As Figura 17 e Figura 18 ilustram a modelação efectuada conforme descrito. Os resultados finais desta análise apresentam-se na secção 4.2.1 e 4.2.2.

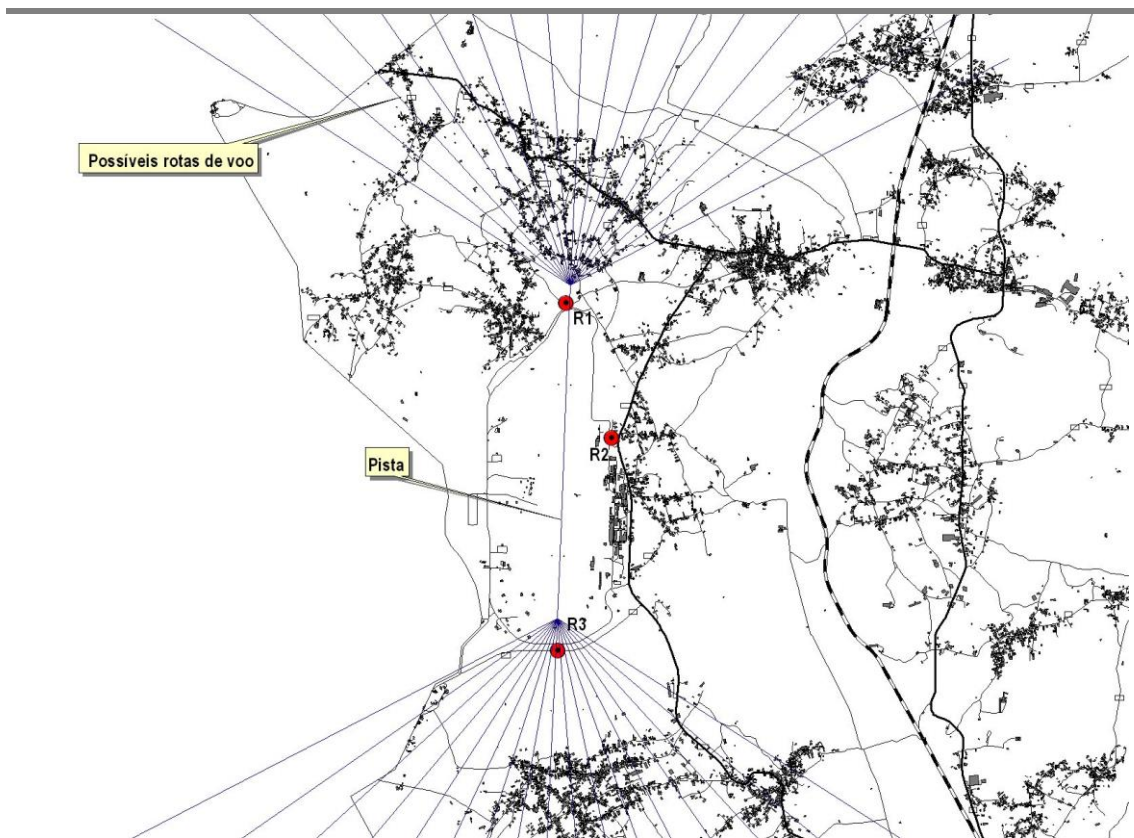


Figura 17 – Monitorização do nível de pressão sonora na envolvente da Base Aérea nº 5 – “Pontos chave”

Conforme referido, após o devido tratamento dos valores medidos nos pontos de monitorização R1, R2 e R3, determinaram-se os valores das potências acústicas lineares a atribuir, respectivamente, às rotas de voo (neste caso, tendo-se dividido equitativamente a influência do número de movimentos total pelo número de rotas consideradas), à zona de descolagem e à zona da pista da base aérea.

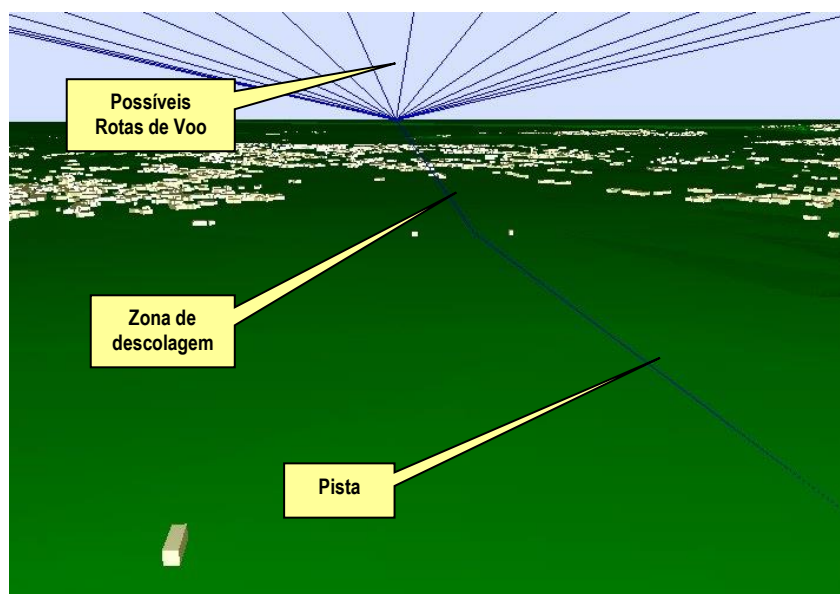


Figura 18 – Fontes acústicas lineares para simulação das rotas de voo: pista, zona de descolagem e possíveis rotas seguidas (3D)

### 3.3. Medições e Equipamento de Medição de Ruído

As Campanhas de Monitorização Acústica foram baseadas em medições realizadas com um sonómetro integrador digital – *Bruel & Kjaer Investigator 2260* - com classe de precisão 1 de acordo com a CEI 804, com microfone de banda larga de alta sensibilidade, filtros de análise espectral e módulos de análise estatística (Figura 19).

Este equipamento, homologado pelo IPQ, com o nº 245.70.98.3.10, foi sujeito a uma verificação metrológica periódica. Para além disso, antes de cada campanha era efectuada uma verificação com o calibrador *Bruel & Kjaer 4231*.



Figura 19 – Sonómetro de precisão integrador

Associado a este analisador foi utilizado ainda um sistema de monitorização permanente *Brüel & Kjær 3592* - com *kit* de exteriores (Figura 20), equipado com pára-vento e tripé, alimentado com uma bateria permitindo uma autonomia máxima de 96 horas consecutivas de medições. Este sistema foi utilizado para as medições em contínuo do perfil diário do nível da pressão sonora nos “Pontos Chave”.



Figura 20 – Kit de exteriores utilizado para monitorização permanente

As medições do nível de pressão sonora foram realizadas em “Pontos Chave” seleccionados conforme o tipo de fonte a caracterizar. Conforme mencionado nas secções anteriores, nuns pontos a medição foi realizada em contínuo (48 horas, em dois dias consecutivos ou não), noutros a medição foi realizada por amostragem, nos respectivos períodos de referência



diurno e nocturno, tendo-se adoptado um tempo de medição acumulado de três amostras, totalizando no mínimo 30 minutos por local, por período de referência. Noutros casos ainda, nomeadamente no que diz respeito à Base Aérea Militar localizada no Concelho de Leiria, estas medições foram realizadas igualmente em “Pontos Chave” previamente seleccionados e tendo em conta o intervalo de tempo de emergência.

Houve a preocupação de realizar as campanhas de medição do ruído apenas quando as condições meteorológicas o permitiam, ou seja, na ausência de chuva e com baixa velocidade do vento, inferior a 5 m/s, seguindo as recomendações indicadas, quer no Projecto Norma prNP 4423 (2003), quer nos Procedimentos Específicos de Medição de Ruído Ambiente – Instituto do Ambiente (Abril 2003). Para a medição da velocidade do vento nos pontos de monitorização, usou-se o sensor de velocidade do ar tipo turbina “TSI Velocicalc Modelo 8322” (Figura 21).



Figura 21 – Sensor de velocidade do ar tipo turbina.

### 3.4. Cálculo dos Mapas de Ruído

Para o cálculo dos Mapas de Ruído utilizou-se o *software* de Previsão Acústica *CadnaA*, desenvolvido pela empresa *Datakustik GmbH* - Alemanha. Este *software* tinha sido já utilizado pela equipa autora deste trabalho na elaboração de outros Mapas de Ruído.

Para a modelação matemática dos fenómenos de propagação das ondas de pressão sonora e caracterização das fontes de ruído foram utilizadas bases de dados e algoritmos *standard* normalizados, conforme recomendado pela Directiva, ou seja:

– **Ruído de TRÁFEGO RODOVIÁRIO:**

O método de cálculo francês «*NMPB-Routes-96*» que consta da norma francesa «*XPS 31-133 – Acoustique. Bruit des infrastructures de transport terrestres*».

– **Ruído de TRÁFEGO FERROVIÁRIO:**

Por se julgar o mais adequado ao tipo de composições ferroviárias existentes no nosso país, optou-se por seguir o método de cálculo alemão Schall 03 «*Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen*», Deutsche Bundesbahn 1990.

– **Ruído INDUSTRIAL e propagação sonora exterior:**

A Norma ISO 9613-2: «*Acoustics – Attenuation of sound propagation outdoors. Part 2: General method of calculation*».

– **Ruído de TRÁFEGO AÉREO:**

Uma vez que as normas existentes para o cálculo da propagação do ruído proveniente de tráfego aéreo, nomeadamente a «*European Civil Aviation Conference Doc. 29*», recomendada pela directiva, não possuem nas suas bases de dados as características de emissão de aeronaves militares, atribuíram-se fontes lineares às rotas seguidas pelas aeronaves em causa, seguindo-se a norma de propagação sonora exterior ISO 9613-2. Tal procedimento encontra-se descrito de forma detalhada na secção 3.2.2.4.

### **Malha de cálculo**

Os pontos de cálculo ( $x_i, y_i$ ) localizam-se numa malha ( $x_i, y_i, z$ ), onde  $z$  representa a altura do ponto de cálculo. O factor de atenuação depende fortemente da altura, já que o percurso de propagação é calculado num espaço tri-dimensional.

Tendo em conta o compromisso entre rigor e tempo de cálculo, para todos os Concelhos foi considerada uma malha de cálculo de 15 m x 15 m como sendo a solução otimizada, com um grau de reflexões de 1ª ordem, um raio máximo de busca de 2000 m e um coeficiente de absorção sonora pelo solo de 0,5.

As malhas assim geradas possuem desde cerca de 457.000 pontos de cálculo no caso do Concelho da Batalha, passando por 1.175.000, 1.849.000, 2.526.000 respectivamente para os Concelhos de Porto de Mós, Ourém e Leiria, até 2.728.000 para o Concelho de Pombal.

Adoptou-se ainda uma altura de 4 m para a malha de cálculo. Esta altura é adequada à avaliação do ruído no espaço exterior atendendo à altura média dos edifícios (receptores), à altura das medições de ruído *in situ* e ainda à altura da recepção do cidadão na rua.

O valor do índice indicador de ruído ambiente em cada ponto do domínio de cálculo (receptor) resulta da contribuição das diferentes fontes sonoras localizadas ou que exercem influência na área em estudo, do intervalo de tempo de emergência e da atenuação do nível da pressão sonora devido à propagação. A atenuação é devida a diversos fenómenos físicos, nomeadamente ao efeito da divergência geométrica, à absorção e reflexão no solo, à absorção atmosférica, ao efeito da difracção em barreiras ou outras estruturas, aos efeitos de reflexão e ainda aos efeitos meteorológicos. Para caracterização dos dados meteorológicos foi consultado o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), tendo sido considerados valores médios anuais da temperatura, humidade relativa, direcção e velocidade do vento típicos dos locais. O INMG tem uma cobertura apreciável disponibilizando em diversas publicações e em suporte magnético (ver referências), valores médios mensais destes parâmetros, obtidos a partir de períodos de observação de 30 anos.

A modelação de um Mapa de Ruído, a uma escala municipal, é um processo bastante moroso que requer a tipificação de todas as estruturas municipais. Para tal, contribuem aspectos como a dimensão da área em estudo, o elevado número de fontes sonoras envolvidas a caracterizar,

sejam pontuais, em área ou lineares, a quantidade de pontos receptores, de edificações e outros elementos que interferem na propagação sonora.

Para o processamento do cálculo foram utilizadas duas *Workstation* com 2 processadores de 3,4 GHz cada, tendo cada máquina requerido cerca de 12 semanas de cálculo efectivo.

### 3.5. Aferição/Validação dos Mapas

Dado que os valores obtidos no cálculo dos Mapas de Ruído são, entre outros, função dos dados de entrada, foi necessário recorrer à sua aferição/validação.

Nos casos do ruído de tráfego rodoviário e ferroviário, esta aferição/validação foi baseada na comparação dos valores do indicador  $L_{AeqT}$  obtidos pelo cálculo com os valores obtidos pelas medições *in situ* em pontos coincidentes, seleccionados nas diversas campanhas de monitorização de ruído, realizadas em cada um dos Concelhos. Após a primeira simulação e nos casos em que se verificou uma diferença superior a  $\pm 2$  dB(A) procedeu-se, iterativamente, à alteração do valor da fonte, essencialmente através da alteração do valor da velocidade média dos respectivos veículos, até que esta diferença se situasse dentro do intervalo referido.

No caso de ruído industrial, foram as medições *in situ* que serviram para a determinação do valor da potência das fontes emissoras, ficando assim os valores gerados pelo modelo validados à partida, conforme referido na secção 3.2.2.3.

Também no caso do ruído proveniente do tráfego aéreo, ou seja, no caso da Base Aérea Militar do Concelho de Leiria, foram as medições *in situ*, realizadas em períodos contendo o intervalo de tempo de emergência das respectivas fontes, que permitiu aferir o valor da sua potência sonora, conforme referido na secção 3.2.2.4.

A simulação foi aceite para a generalidade das diferenças entre os valores simulados e medidos não superiores  $\pm 2$  dB(A). No capítulo seguinte, dedicado à apresentação, análise e validação dos resultados, são apresentados os locais onde foram efectuadas estas medições de ruído e os quadros comparativos dos valores obtidos.

### 3.6. Estimativa da Exposição da População ao Ruído

Com o objectivo de efectuar uma estimativa da população exposta a diferentes classes de níveis de ruído, nos dois períodos de referência, adoptou-se o seguinte procedimento:

**Passo 1:** Uma vez que a distribuição da população pela área do Concelho não é uniforme, sendo claramente mais densa nos centros urbanos, estimou-se o número de habitantes em cada edifício tendo em conta a proporção entre o número total de habitantes por Concelho, a área total ocupada pelos edifícios desse Concelho e, finalmente, a área de cada edifício (Quadro 6);

Quadro 6 – Valores utilizados para o cálculo da estimativa da população exposta aos diferentes níveis de ruído.

Concelho	Nº de habitantes (Censos 2001)	Nº de edifícios	Área ocupada por edifícios (m <sup>2</sup> )
Batalha	15.002	10.564	2.482.920,9
Leiria	119.847	65.218	15.841.303,2
Ourém	46.216	37.140	7.100.341,6
Pombal	56.299	43.336	9.279.559,4
Porto de Mós	24.271	16.944	3.859.646,3

**Passo 2:** Com o valor do número de habitantes em cada edifício do respectivo Concelho e os dados das fontes sonoras envolventes, o software de previsão acústica calcula o valor da população exposta a diferentes intervalos de níveis de ruído.

Os resultados desta análise são apresentados no capítulo 4, para cada um dos Concelhos. Optou-se por apresentar os resultados na gama entre 45 dB(A) e 75 dB(A), em intervalos de 5 dB.

#### 4. Apresentação e Análise de Resultados

Os Mapas de Ruído são fornecidos em formato digital à escala 1:25.000 - escala da cartografia digital fornecida para a elaboração dos mesmos.

Para a representação foram considerados intervalos entre 40 dB(A) e 85 dB(A). Os índices de ruído ambiente são apresentados em intervalos de 5 dB, sendo a cada intervalo atribuída uma cor distinta, de acordo com a Tabela 1 (Relação de cores e padrões para as classes de níveis sonoros) apresentada no documento “Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído”, do Instituto do Ambiente.

Numa abordagem imediata, os Mapas de Ruído do presente estudo constituem um elemento de descrição da exposição ao ruído das populações dos Concelhos. No entanto, a informação neles contida permite, entre outros, identificar as fontes com maior contribuição para o ruído prevaiente, a localização de áreas críticas e áreas acusticamente mais confortáveis.

#### 4.1. Concelho da Batalha

A partir do cálculo da contribuição de cada fonte particular, obteve-se e é apresentado o Mapa de Ruído relativo ao ruído ambiente do Concelho da Batalha, para cada indicador de ruído.

São ainda apresentados os resultados relativos à estimativa da exposição da população a diferentes classes de níveis de ruído.

##### 4.1.1. Fontes de Ruído consideradas

As fontes de ruído identificadas neste município foram o tráfego rodoviário e o ruído industrial.

##### Tráfego Rodoviário

No Quadro 7 listam-se as vias de tráfego rodoviárias consideradas e caracterizadas no âmbito deste Concelho, segundo a metodologia descrita na secção 3.2.2.1. Conforme se pode verificar, para além das vias que apresentam tráfego rodoviário com TDMA superior a 8.000 veículos (cerca de 333 veículos/hora) foram ainda consideradas outras vias cuja influência se julgou relevante para o ruído ambiente do Concelho.

Quadro 7 – Caracterização das vias de tráfego do Concelho da Batalha

Estrada	Volume de tráfego	Fluxo de Tráfego (TMH)						Velocidade		Largura da via
		Período de Referência Diurno		Período de Referência Entardecer *		Período de Referência Nocturno		Km/h		
	Nº veículos	Veículos /hora	% Pesados	Veículos /hora	% Pesados	Veículos /hora	% Pesados	Ligeiros	Pesados	m
Acesso à Vila IC2 – Centro da Vila	–	153	16	115	14	38	9	40	40	3,6
N356_T3 Variante – Reguengo do Fetal	–	519	16	393	14	141	9	60	50	7
N356_T1 Maceirinha – Casal do Marra	–	343	6	258	5	89	2	50	50	6
Avenida Principal Posto dos Correios	–	229	5	172	5	57	5	50	50	7
Avenida Principal Posto de Turismo	–	197	5	145	5	42	4	50	50	6
362 Variante – Porto de Mós	–	198	7	150	5	55	2	50	50	6
356-2 Alcaidaria – N356	–	84	7	64	5	24	2	50	50	6
Estrada de Fátima	–	161	4	125	4	54	4	50	50	6
CM1275	–	173	5	122	5	20	5	50	50	6
Variante	–	374	17	279	15	90	10	60	50	7
IC2	–	1500	17	1127	17	380	16	60	50	15,5
A1	30692	–	–	–	–	–	–	120	90	29,5

\*  $TMH_{20-23h} = (2 \times TMH_{7-22h} + TMH_{22-7h}) / 3$

Fonte:

IEP

Câmara Municipal da Batalha

Contagens *in situ*

Na Figura 22 complementa-se a informação, quer com a visualização dos traçados das vias na carta, quer com a representação dos pontos onde foram realizadas as campanhas de monitorização de ruído e as contagens de tráfego *in situ*.



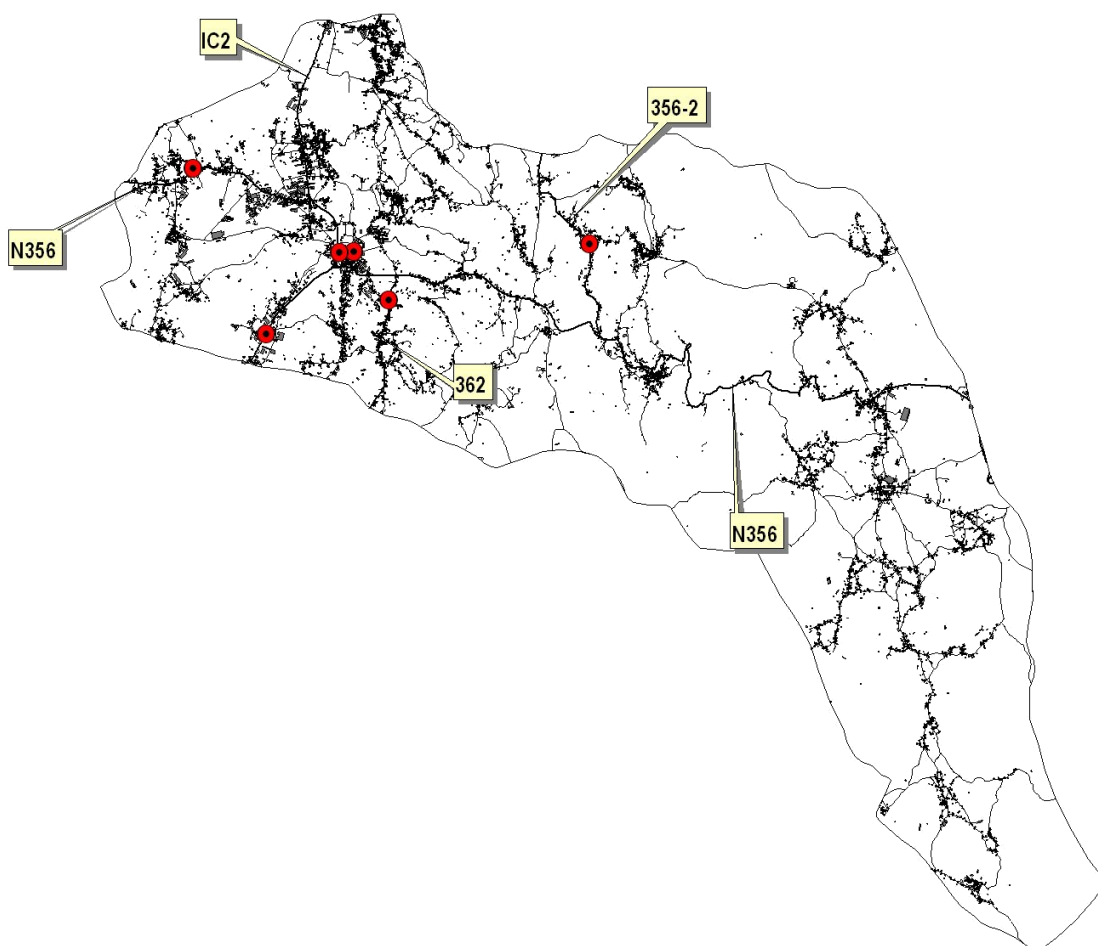


Figura 22 – Traçado das vias de tráfego e localização dos pontos de monitorização de ruído e de contagem de tráfego rodoviário *in situ*

### **Ruído Industrial**

Na Figura 23 apresenta-se a localização dos diversos pontos de medição de ruído que permitiram aferir o valor da potência acústica das diversas fontes nas respectivas unidades/zonas industriais consideradas, de acordo com a metodologia descrita na secção 3.2.2.3.

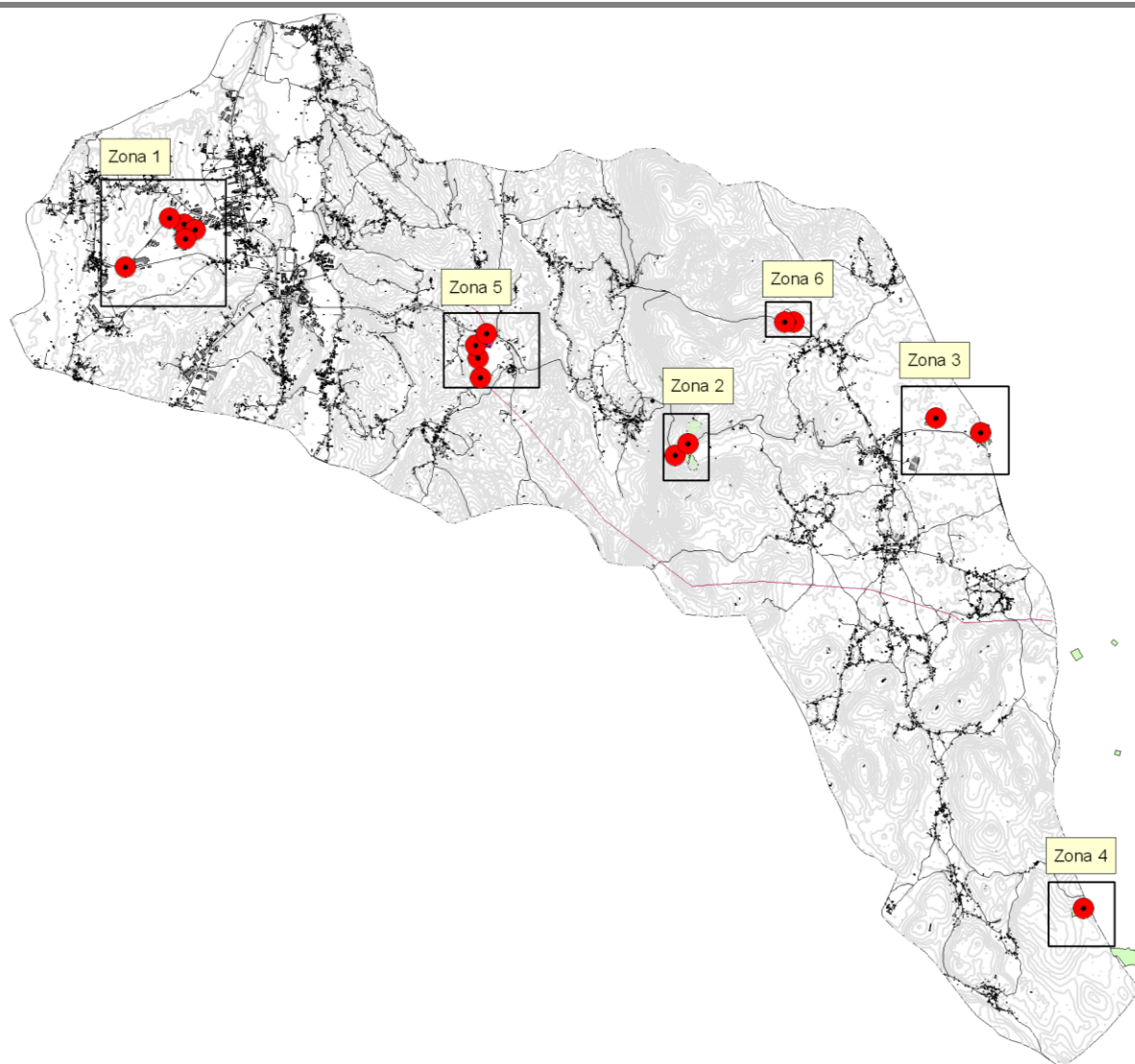


Figura 23 – Localização dos pontos de monitorização de ruído que permitiram aferir a potência das diversas fontes das respectivas unidades/zonas industriais consideradas

#### 4.1.2. Resultados e Validação dos Mapas

##### Tráfego Rodoviário

Os valores do indicador  $L_{Aeq}$  obtidos nas campanhas de medição *in situ* e pelo cálculo, nos dois períodos de referência diurno e nocturno, encontram-se listados no Quadro 8. Na perspectiva de validação dos resultados, são ainda indicadas as diferenças obtidas entre esses valores.

Quadro 8 – Valores de  $L_{Aeq}$  medidos vs  $L_{Aeq}$  calculados e respectiva diferença.

Pontos de Monitorização	Local	$L_{Aeq}$ Calculado		$L_{Aeq}$ Medido		$L_{Aeq}$ Med – $L_{Aeq}$ Cal	
		Período de Referência Diurno	Período de Referência Nocturno	Período de Referência Diurno	Período de Referência Nocturno	Período de Referência Diurno	Período de Referência Nocturno
		dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA
R01	IC2	74,2	68,4	74,2	67,7	0,0	-0,7
R02*	356_T1	65,3	58,6	64,7	59,1	-0,6	0,5
R03*	362	64,4	56,6	64,1	56,9	-0,3	0,3
R04	356_2	61,0	53,8	61,1	52,9	0,1	-0,9
R05	IC2	61,4	56,8	61,2	57,2	-0,2	0,4
R06	IC2	61,3	55,1	62,0	56,3	0,7	1,2

(\*) Pontos-chave: medições acústicas e contagens de tráfego de longa duração conforme referido na secção 3.2.2.1.

Da análise do Quadro 8 verificam-se diferenças dentro do intervalo  $\pm 2$  dB(A), consideradas aceitáveis para a escala de trabalho.

Os Mapas de Ruído ambiente finais reflectem que o tráfego rodoviário constitui a fonte de ruído mais significativa no Concelho de Batalha. As principais fontes são as vias estruturantes que servem e atravessam o Concelho e que apresentam volumes de tráfego significativo, designadamente o **IC2** e a **EN 356**. De referir ainda a influência da auto-estrada **A1**, localizada no Concelho de Ourém, neste Concelho.

A fonte associada ao **IC2** apresenta, em termos de extensão de área de influência para o indicador  $L_{den}$ , uma faixa onde os valores são superiores a 65 dB(A) que varia entre 36 m e 86 m para cada lado da via. Para o indicador  $L_n$ , a largura da faixa onde os valores são superiores a 55 dB(A) varia de cerca de 42 m a 136 m.

A **EN 356** apresenta, para o indicador  $L_{den}$ , uma faixa onde os valores são superiores a 65 dB(A) que varia entre 26 m a 39 m para cada lado da via. Para o indicador  $L_n$ , a largura da faixa onde os valores são superiores a 55 dB(A) varia de cerca de 20 m a 52 m.

Após a classificação das zonas em "mistas" e "sensíveis" a efectuar pela Câmara Municipal da Batalha, que segundo o RGR deverá ser efectuada de acordo com o tipo de uso do solo, a ultrapassagem daqueles limiares poderá significar desconformidade com o RGR. A visualização do Mapa de Ruído permite identificar as povoações afectadas que se situam nos limítrofes destas vias estruturantes.

### **Ruído Industrial**

Conforme referido na secção 3.2.2.3, dedicada à metodologia de modelação das fontes de ruído industriais, o *software CadnaA* possui uma ferramenta que permite o cálculo automático do valor da intensidade sonora (potência por unidade de área) de instalações industriais a partir de valores do nível de pressão sonora contínua equivalente medidos em pontos na sua envolvente.

Nas Figura 24 a 27 e na Figura 29 encontram-se representados, para cada uma das Zonas Industriais do Concelho da Batalha, os pontos de monitorização de ruído e os valores de potência sonora calculados para as diferentes instalações industriais com contribuição relevante para o ruído ambiente. Na Figura 28 encontram-se representados os pontos de monitorização de ruído e os valores de potência sonora calculados para a sub-estação eléctrica do Celeiro, a linha de muito alta tensão (LMAT) Batalha-Pego e a linha de alta tensão Batalha-Rio Maior.

Os valores do indicador  $L_{Aeq}$  obtidos nas campanhas de medição *in situ*, pelo cálculo e as diferenças entre esses valores encontram-se listados do Quadro 9 ao Quadro 14.

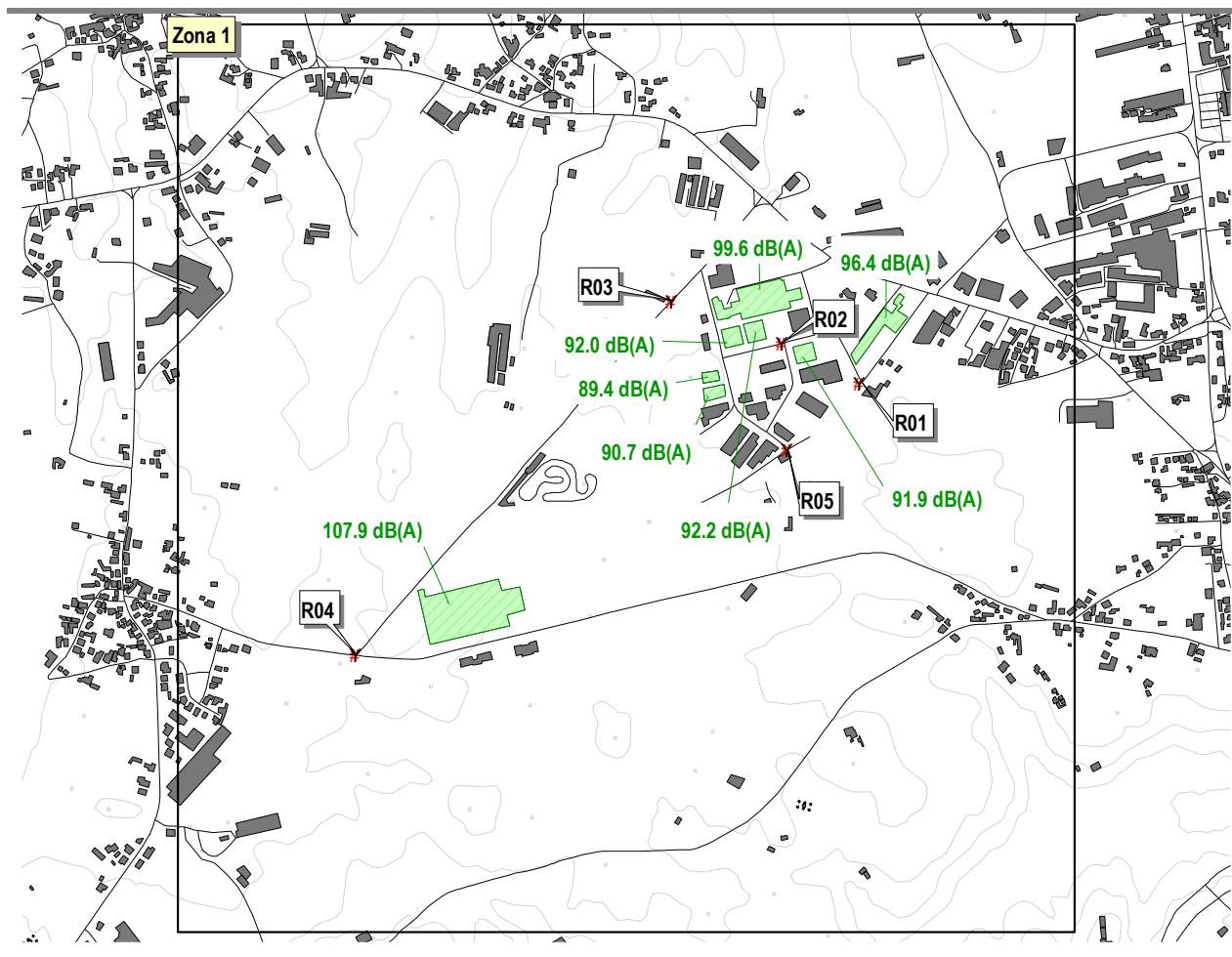


Figura 24 – Esquema representativo da Zona 1 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.

Quadro 9 – Valores de  $L_{Aeq}$  medidos vs  $L_{Aeq}$  calculados e respectiva diferença – Zona 1.

Ponto de Monitorização	Valor de $L_{Aeq}$ Medido (dBA)	Valor de $L_{Aeq}$ Calculado (dBA)	Valor de $\Delta L_{Aeq}$ (dBA)
R01	44,8	44,1	0,7
R02	53,5	51,2	2,3
R03	45,9	46,3	-0,4
R04	48,5	49,6	-1,1
R05	48,0	46,3	1,7

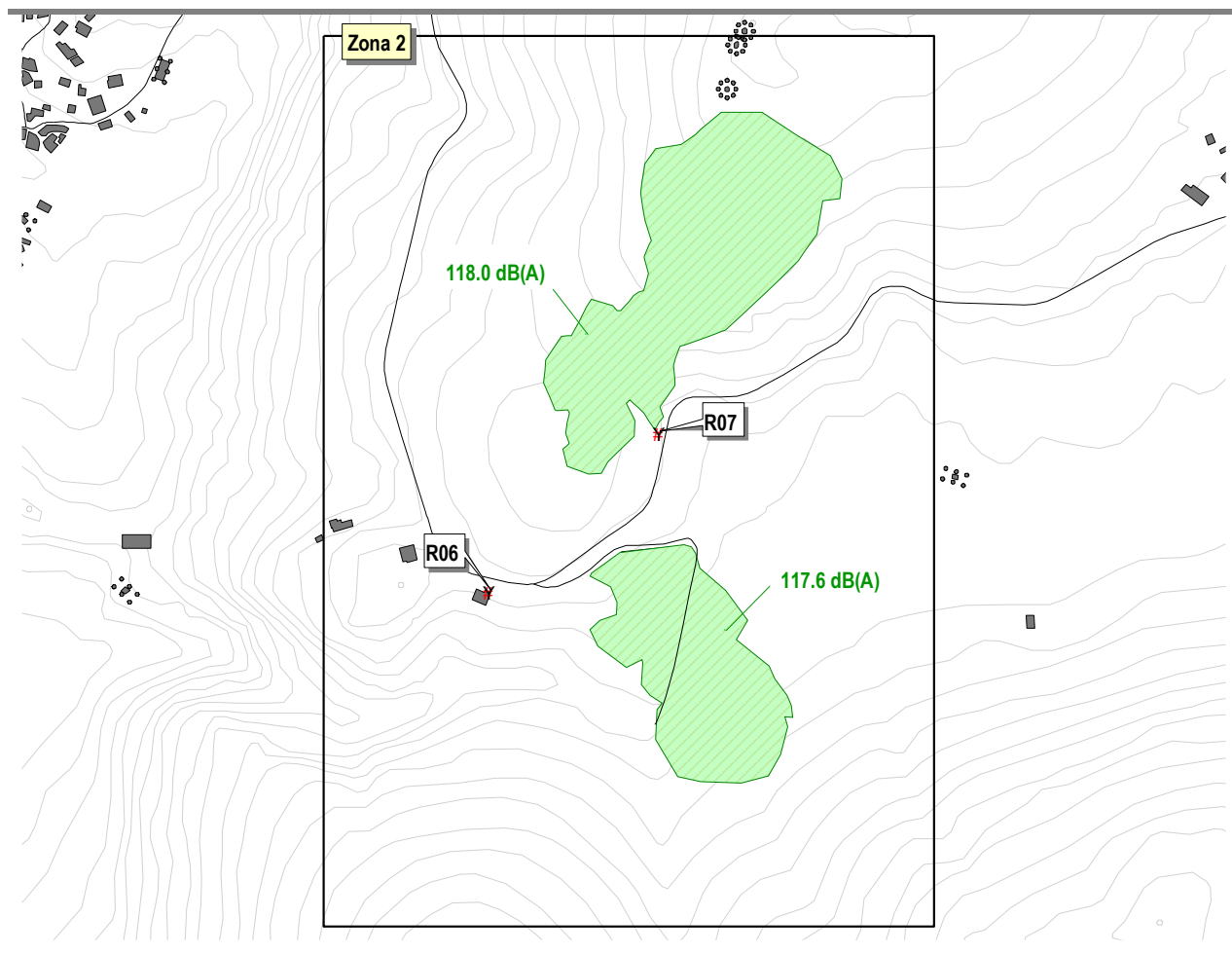


Figura 25 – Esquema representativo da Zona 2 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.

Quadro 10 – Valores de  $L_{Aeq}$  medidos vs  $L_{Aeq}$  calculados e respectiva diferença – Zona 2.

Ponto de Monitorização	Valor de $L_{Aeq}$ Medido (dBA)	Valor de $L_{Aeq}$ Calculado (dBA)	Valor de $\Delta L_{Aeq}$ (dBA)
R06	55,7	53,9	1,8
R07	72,1	73,5	-1,4

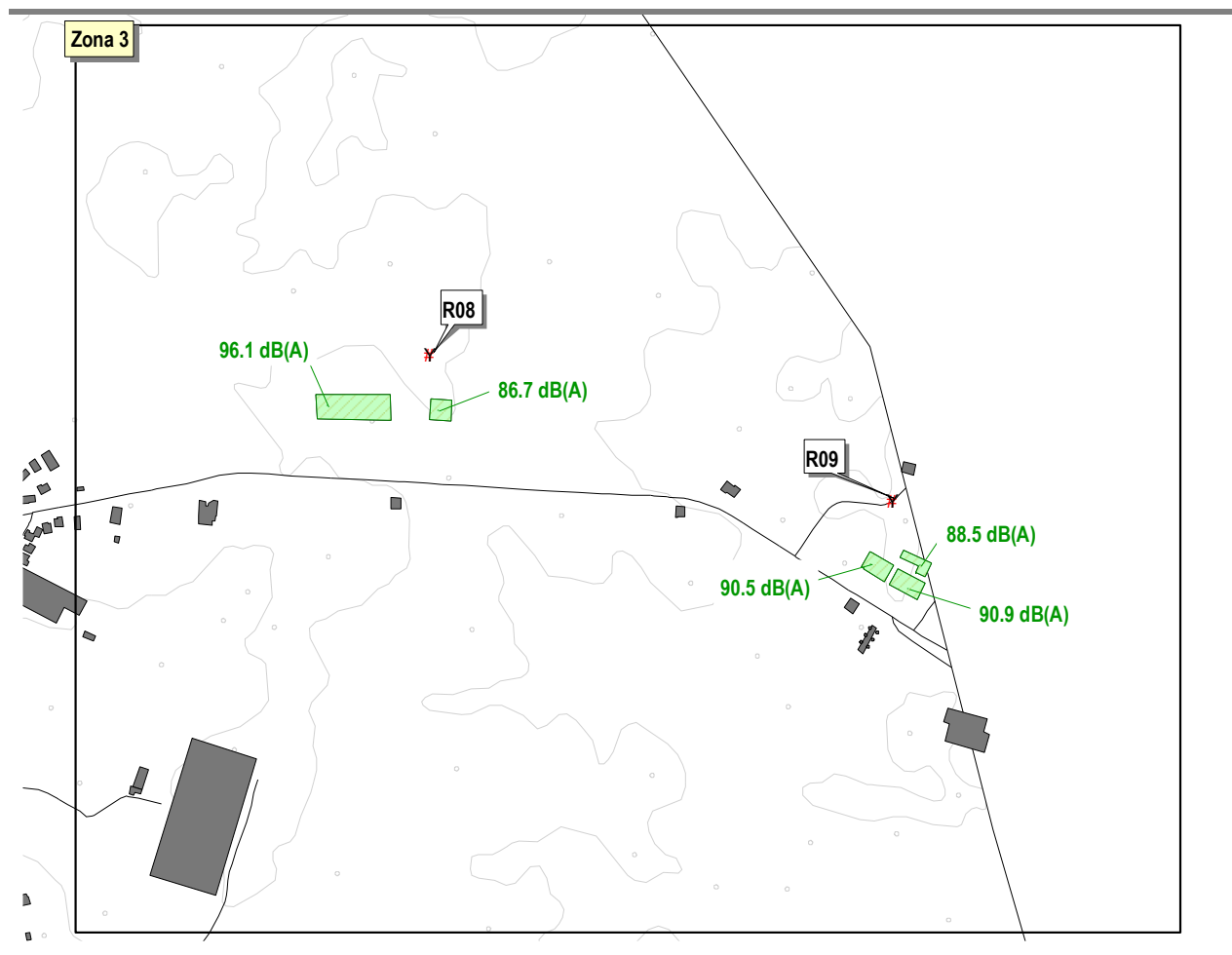


Figura 26 – Esquema representativo da Zona 3 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.

Quadro 11 – Valores de  $L_{Aeq}$  medidos vs  $L_{Aeq}$  calculados e respectiva diferença – Zona 3.

Ponto de Monitorização	Valor de $L_{Aeq}$ Medido (dBA)	Valor de $L_{Aeq}$ Calculado (dBA)	Valor de $\Delta L_{Aeq}$ (dBA)
R08	49,5	48,4	1,1
R09	50,2	48,6	1,6



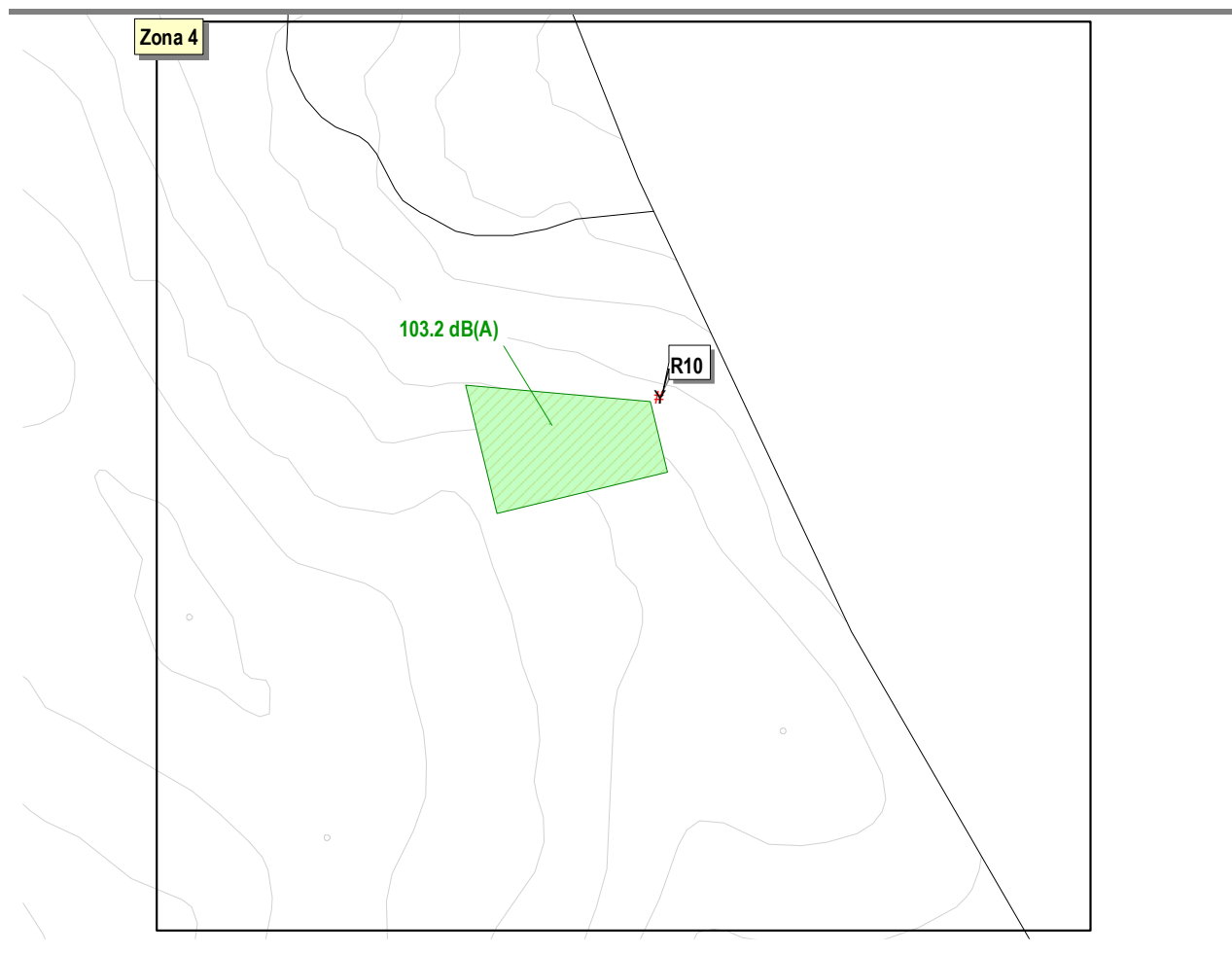


Figura 27 – Esquema representativo da Zona 4 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.

Quadro 12 – Valores de  $L_{Aeq}$  medidos vs  $L_{Aeq}$  calculados e respectiva diferença – Zona 4.

Ponto de Monitorização	Valor de $L_{Aeq}$ Medido (dBA)	Valor de $L_{Aeq}$ Calculado (dBA)	Valor de $\Delta L_{Aeq}$ (dBA)
R10	48,9	51,3	-2,4



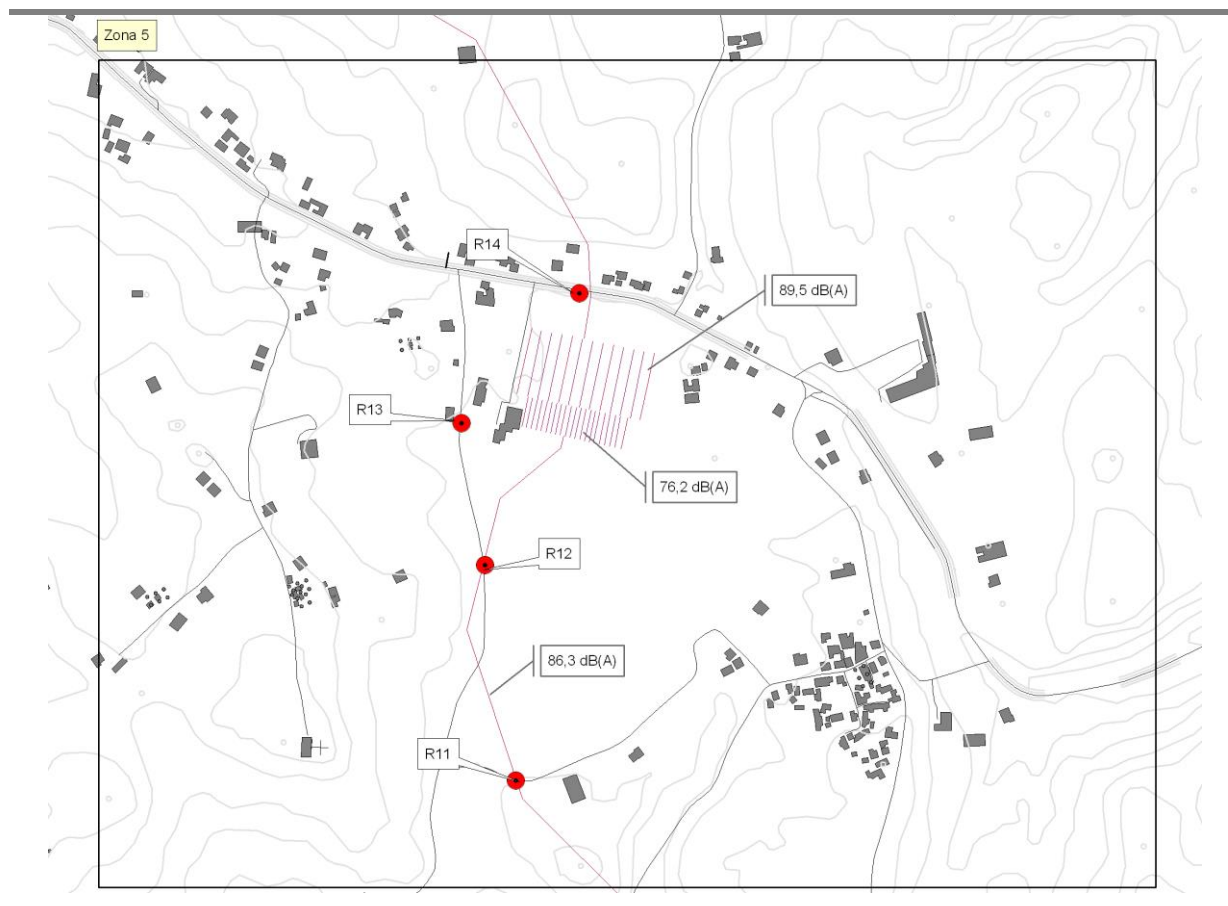


Figura 28 – Esquema representativo da Zona 5 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de ruído nas imediações da sub-estação eléctrica do Celeiro, da linha de muito alta tensão Batalha-Pego e da linha de alta tensão Batalha-Rio Maior.

Quadro 13 – Valores de  $L_{Aeq}$  medidos vs  $L_{Aeq}$  calculados e respectiva diferença – Zona 5.

Ponto de Monitorização	Valor de $L_{Aeq}$ Medido (dBA)	Valor de $L_{Aeq}$ Calculado (dBA)	Valor de $\Delta L_{Aeq}$ (dBA)
R11	36,7	37,1	-0,4
R12	43,2	43,0	0,2
R13	45,2	45,2	0,0
R14	49,8	50,1	-0,3

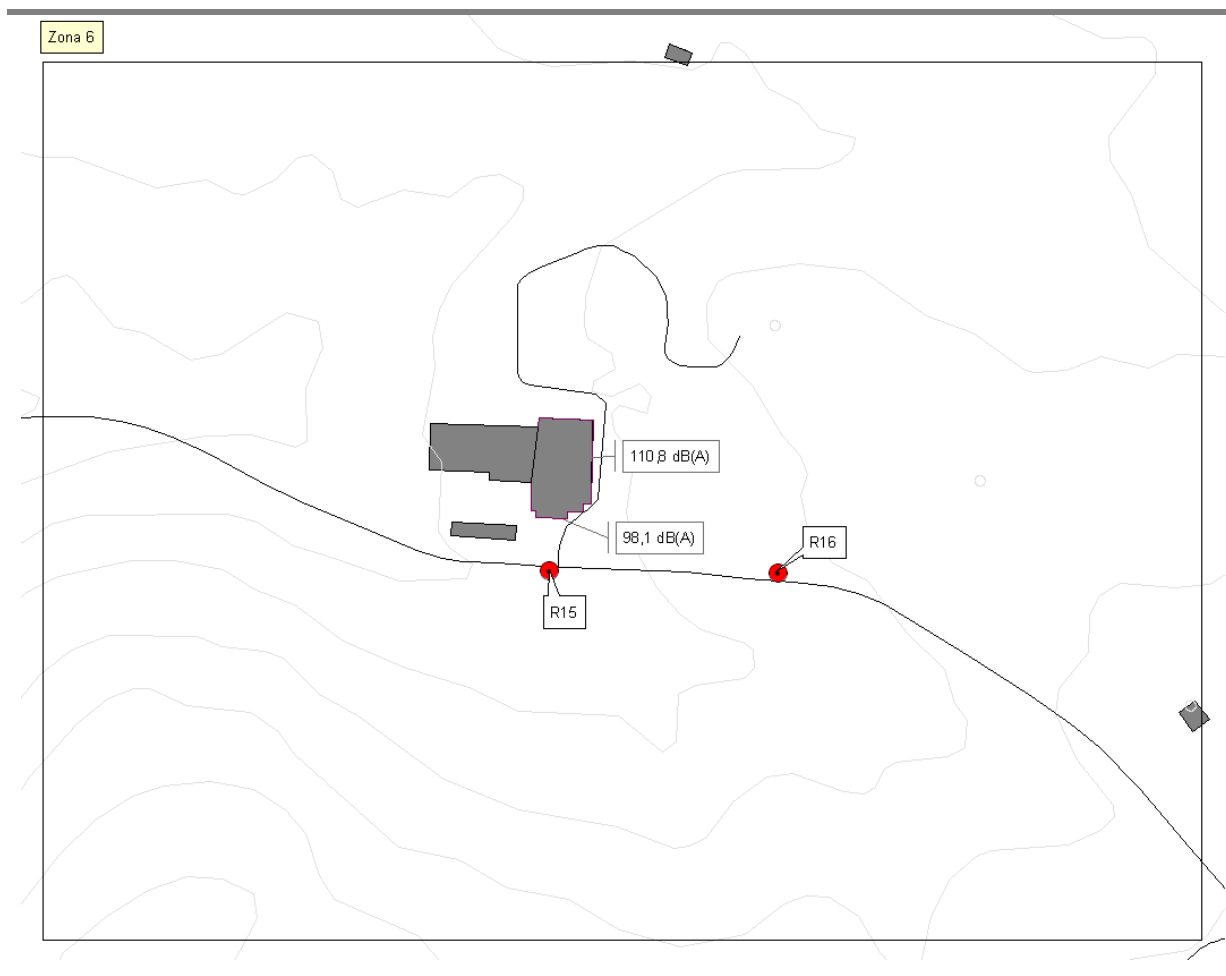


Figura 29 – Esquema representativo da Zona 6 do Concelho da Batalha onde se realizaram medições de Ruído Industrial.

Quadro 14 – Valores de  $L_{Aeq}$  medidos vs  $L_{Aeq}$  calculados e respectiva diferença – Zona 6.

Ponto de Monitorização	Valor de $L_{Aeq}$ Medido (dBA)	Valor de $L_{Aeq}$ Calculado (dBA)	Valor de $\Delta L_{Aeq}$ (dBA)
R15	59,3	57,3	2,0
R16	56,0	54,1	1,9

A acção deste tipo de fonte de ruído encontra-se confinada à envolvente das respectivas unidades/zonas industriais, sendo a fonte mais significativa associada às indústrias de transformação “pesada”. As unidades/zonas industriais aqui existentes e estudadas, localizam-se maioritariamente próximo das vias de maior volume de tráfego, nomeadamente do IC2, da A1 e da EN 356, o que torna a sua influência no ruído ambiente pouco significativa.

### **Estimativa da população exposta às diferentes classes de níveis de ruído**

De acordo com o procedimento referido na secção 3.6, efectuou-se a estimativa da exposição da população a diferentes classes de níveis de ruído.

No Quadro 15 apresentam-se os resultados obtidos para o Concelho da Batalha, quer em valor absoluto, quer relativo (percentagem).

Para comparar os valores calculados com os limites estabelecidos pelo RGR para as diferentes zonas - “sensíveis” e “mistas” – para os respectivos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , o Quadro 15 apresenta zonas com uma coloração diferente correspondentes aos respectivos valores limite. Assim, os níveis que respeitam os limites para zonas sensíveis apresenta-se sem sombreado, o sombreado cinza claro corresponde aos limites para zonas mistas e o cinza escuro marca os limites dos níveis sonoros que excedem ambos os critérios.

Quadro 15 – População da Batalha exposta a diferentes classes de níveis de ruído

Classes de níveis de ruído ambiente (dB(A))	Indicador $L_{den}$		Indicador $L_n$	
	N.º Hab.	% Hab expostos aos limites	N.º Hab.	% Hab expostos aos limites
<45	9304	80	8424	56
45-50	1526		1400	20
50-55	1190		1566	
55-60	817	13	1074	24
60-65	1139		1046	
65-70	751	7	935	
70-75	262		454	
>75	10		104	

A estimativa da percentagem da população exposta aos diferentes níveis de ruído indica que:

- **Para o indicador  $L_{den}$ :**
  - 13% da população está exposta a níveis de ruído ambiente que excedem o limite referente a zonas sensíveis;
  - 7% da população está exposta a níveis superiores ao limite máximo para zonas mistas;
- **Para o indicador  $L_n$ :**
  - 20 % da população está exposta a um nível superior ao limite para zonas sensíveis;
  - 24% da população está sujeita a níveis que excedem o limite máximo para a zonas mistas.

#### 4.2. Mapa de Ruído Inter-municipal

A partir da união dos Mapas de Ruído dos Concelhos da Batalha, Leiria, Ourém, Pombal e Porto de Mós, respectivamente para os indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , obtiveram-se os Mapas de Ruído Inter-Municipal que congregam num único mapa a caracterização da situação acústica ambiental actual dos respectivos Concelhos.

##### **Estudo comparativo da exposição da população a níveis de ruído limite**

A partir dos resultados obtidos para cada Concelho, da exposição da população a diferentes classes de níveis de ruído, efectuou-se um estudo comparativo, em termos relativos, da população exposta a níveis de ruído limite. Como referência usaram-se os limites impostos pelo RGR, respectivamente para zonas mistas e sensíveis.

No que diz respeito aos valores limite para zonas sensíveis, isto é, a níveis inferiores a 55 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e inferiores a 45 dB(A) para o indicador  $L_n$ , a Figura 30 apresenta a percentagem de habitantes por Concelho que se encontram dentro destes limites.

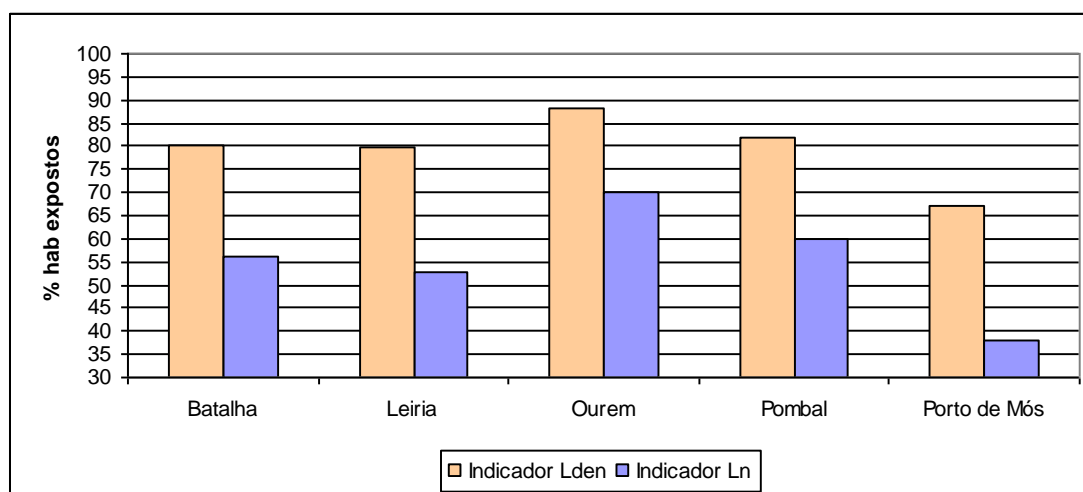


Figura 30– Percentagem de população exposta a níveis de ruído que respeitam os valores limite para zonas sensíveis

Pela análise deste gráfico verifica-se que, os Concelhos apresentam uma percentagem média de cerca de 80% de habitantes que se encontram abaixo dos referidos limites para o indicador  $L_{den}$  e uma percentagem média ligeiramente acima dos 50% de habitantes que se encontram abaixo dos referidos limites para o indicador  $L_n$ .

A partir destes resultados pode verificar-se que o Concelho de Ourém é o que apresenta uma maior percentagem de população dentro desses limites. Tal facto está relacionado com a maior dispersão das residências relativamente às fontes de ruído consideradas. Por outro lado, as principais fontes de ruído (tráfego rodoviário) aqui existentes, à excepção da A1, não apresentam em termos de potência, valores tão elevados como os que apresentam outras vias principais que atravessam outros Concelhos.

Ainda da Figura 30 verifica-se que o Concelho de Porto de Mós é o que apresenta a mais baixa percentagem de população que se encontra dentro destes limites. Este facto prende-se, quer com a maior concentração de habitações junto das fontes sonoras de maior potência (IC2 e EN8), quer com a própria potência destas fontes.

Na Figura 31 apresenta-se a comparação intermunicipal da exposição da população a níveis de ruído que respeitam os valores limite para zonas mistas, isto é, a níveis inferiores a 65 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e inferiores a 55 dB(A) para o indicador  $L_n$ .

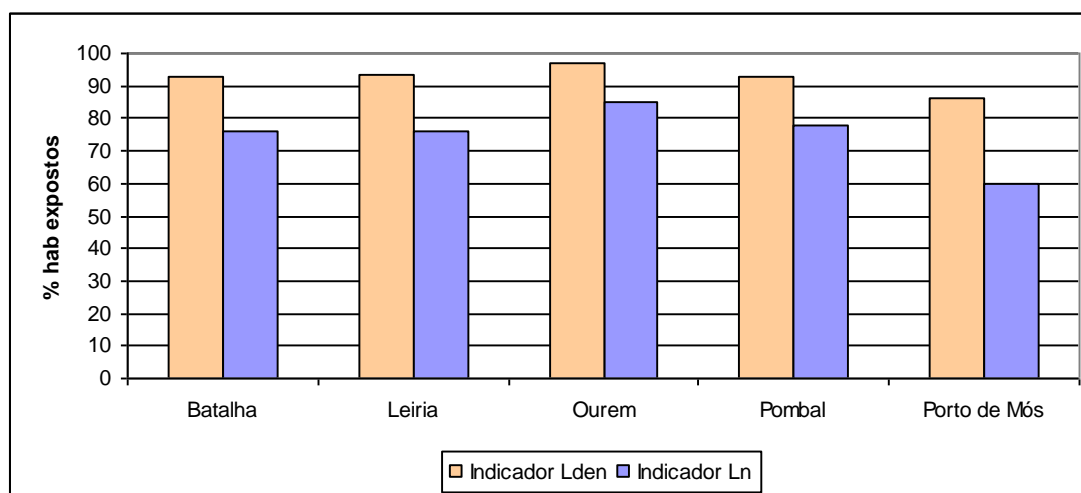


Figura 31 – Percentagem de população exposta a níveis de ruído que respeitam os valores limite para zonas mistas

Na generalidade dos casos verifica-se uma percentagem que varia entre 60 % e 80 % de habitantes que se encontram expostos a níveis de ruído dentro destes limites. Uma vez que, como se referiu atrás, Ourém é o Concelho que apresenta maior percentagem de população dentro dos limites estabelecidos para zonas sensíveis, é de esperar que seja agora a que apresenta maior percentagem de população dentro dos limites estabelecidos para zonas mistas. Esta análise é válida para os restantes Concelhos.

Por fim, na Figura 32 comparam-se as percentagens de população exposta a valores que excedem os valores limite estabelecidos para zonas mistas.

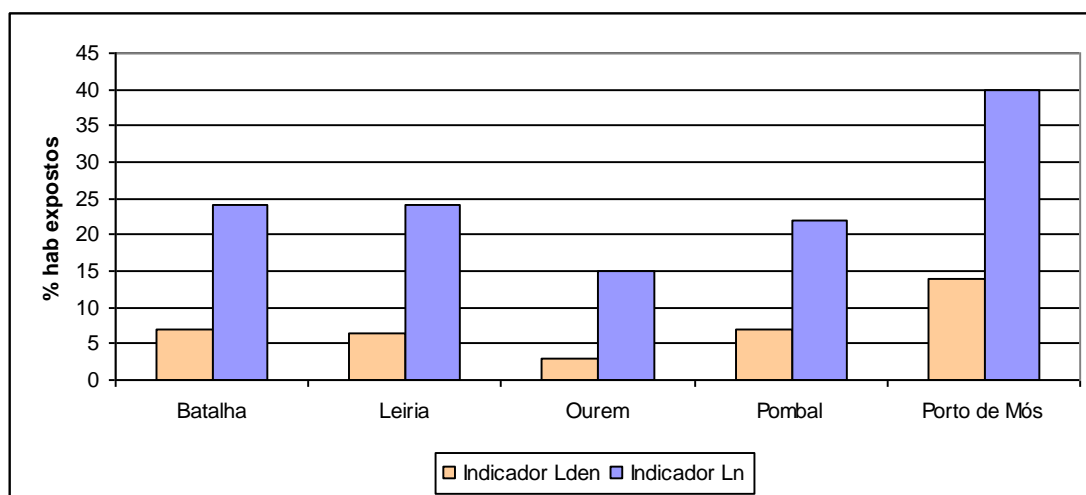


Figura 32 - Percentagem de população exposta a níveis de ruído que excedem os valores limite para zonas mistas

Analisando a Figura 32 verifica-se uma percentagem que varia entre 3 % e 40 % de habitantes que se encontram fora destes limites. De salientar que, em todos os Concelhos, o indicador  $L_n$  apresenta percentagens mais elevadas do que o indicador  $L_{den}$ .

Os Concelhos de Porto de Mós destaca-se dos restantes por registar as percentagens mais elevadas, principalmente para o indicador  $L_n$ . Conforme referido, para além de uma maior concentração de habitações junto das vias de tráfego principais, existe uma forte contribuição

de fontes de ruído, nomeadamente do IC2 e da EN8, que apresentam volumes de tráfego muito elevados para os dois indicadores de ruído.

Por último, saliente-se que na análise efectuada os valores são apresentados em termos relativos (percentagem). Assim, uma menor percentagem de população exposta a determinados limites num Concelho mais populoso poderá corresponder em termos absolutos a um número de habitantes significativamente maior. Lembre-se que os Concelhos estudados têm uma população que vai desde 15.002 habitantes no caso da Batalha até 119.847 habitantes no caso de Leiria.



## 5. Conclusões

Adaptaram-se os Mapas de Ruído dos Concelho da Batalha, Leiria, Ourém, Pombal e Porto de Mós, à escala municipal (1:25.000), que descrevem os níveis de ruído ambiente dos respectivos Concelhos, para a situação actual, tendo por base os indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$ , de acordo, quer com as “Directrizes para elaboração de Mapas de Ruído” (versão 2 - Junho 2008), da autoria da APA, quer com o Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo DL nº 9/2007, de 17 de Janeiro. A partir da união dos Mapas individuais, obteve-se ainda um Mapa de Ruído Inter-Municipal.

Para cada Concelho foi estimada a exposição da população a intervalos de níveis de ruído numa gama entre 45 dB(A) e 75 dB(A), em intervalos de 5 dB.

Os Mapas de Ruído obtidos constituem um elemento importante para a incorporação da poluição sonora nas tomadas de decisões nos processos de planeamento e ordenamento do território dos respectivos Concelhos. Com base na informação disponibilizada nos Mapas é possível identificar as principais fontes de ruído, identificar áreas prioritárias para redução de níveis de ruído, visualizar e quantificar as áreas de influência acústica das principais fontes sonoras existentes e definir estratégias para o zonamento acústico com níveis sonoros compatíveis.

Para a caracterização acústica das diferentes fontes de ruído - tráfego rodoviário, tráfego ferroviário, tráfego aéreo e instalações industriais – seguiram-se critérios e metodologias que cumprem a Legislação e Normalização Nacional. Esta metodologia está ainda de acordo com as mais recentes notas técnicas do Instituto do Ambiente/Agência Portuguesa do Ambiente e da *European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN)*. Tratando-se de elaboração de Mapas à escala municipal, a selecção das fontes a cartografar teve como ponto de partida as características mínimas constantes no documento “Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído”, do Instituto do Ambiente. No entanto, essa selecção foi adaptada à realidade de cada Concelho.

Para o cálculo dos Mapas foi utilizado o programa de previsão acústica *CadnaA* que permite a modelação da emissão e propagação sonora considerando todos os aspectos relevantes destes fenómenos. Para todos os Concelhos foi considerada uma discretização do domínio segundo uma malha de receptores distanciados de 15 m x 15 m, com uma altura de avaliação de 4 m acima do solo.

Para efeitos de validação dos resultados gerados pelo modelo efectuaram-se uma série de campanhas de monitorização de ruído *in situ*. A selecção dos locais (“Pontos Chave”) para estas campanhas teve em conta critérios essencialmente relacionados com o tipo de ruído particular (fonte) a caracterizar. Para a generalidade dos casos foram aceites diferenças entre os valores simulados e medidos dentro do intervalo  $\pm 2$  dB(A).

Da análise dos resultados obtidos destacam-se os seguintes aspectos mais significativos:

- Do ponto vista qualitativo e quantitativo, a fonte de ruído mais significativa em todos os Concelhos estudados é o tráfego rodoviário. As vias com uma influência mais significativa são as estruturantes que servem e atravessam os respectivos Concelhos, nomeadamente: o **IC2** e a **EN356** no caso da **Batalha**; a **A1**, o **IC2**, a **EN242** e a **EN109** para o Concelho de **Leiria**; a **A1**, a **EN113** e a **356** no município de **Ourém**; a **A1**, o **IC2**, a **EN109** e o **IC8** no caso de **Pombal**; o **IC2** e a **EN8** para o Concelho de **Porto de Mós**;
- No que diz respeito ao ruído devido ao tráfego ferroviário verifica-se um impacto sonoro consideravelmente menor e mais localizado do que os principais eixos rodoviários, com uma influência relativa mais significativa para o indicador  $L_n$ . No caso da linha ferroviária do Norte que atravessa os Concelhos de Pombal e Ourém verifica-se a existência de um corredor acústico com cerca de 39 m para cada lado do eixo, com níveis de pressão sonora superiores a 55 dB(A). Tal facto poderá gerar situações conflituosas na população residente dentro destes corredores. À escala de elaboração dos Mapas, o ruído proveniente do tráfego ferroviário na linha do Oeste, que passa nos Concelhos de Pombal e Leiria, não apresenta contribuição significativa para o ruído ambiente, uma vez que os níveis de pressão sonora não ultrapassam os 50 dB(A) para o indicador  $L_{den}$ ;
- Relativamente ao ruído industrial verificou-se que as indústrias extractivas (extracção de pedra, argilas e areia). Estas unidades de extracção de matérias-primas encontram-se

normalmente em zonas isoladas, quer de eixos rodoviários (possuindo muitas vezes vias de acesso apenas à própria unidade industrial), quer de habitações. Este facto torna a sua influência no ruído ambiente bastante significativa ao nível local, o que pode ser facilmente constatado nos Mapas de Ruído.

Na generalidade dos casos as restantes indústrias apresentam impacto sonoro menos significativo, ou porque se localizam próximo das vias de maior volume de tráfego, ou porque se tratam de indústrias “leves”, muitas vezes confinadas em pavilhões industriais fechados. Exemplos disso são: a Zona Industrial da Jardoeira no Concelho da Batalha; a Zona Industrial Zircofa no Concelho de Leiria; a Zona Industrial de Ourém no Concelho de Ourém; a Zona Industrial do Abiúl no Concelho de Pombal e uma série unidades industriais no Concelho de Porto de Mós situadas no cruzamento entre o IC2 e a EN 243. Na maioria destes e de outros casos, algumas medições de ruído (devidamente filtradas da contribuição de outras fontes de ruído particulares como o tráfego rodoviário) efectuadas a cerca de 75 m para além dos limites das respectivas unidades/zonas industriais registaram valores inferiores a 50 dB(A);

- No que diz respeito ao ruído provocado por tráfego aéreo verifica-se que a Base Aérea Militar existente no Concelho de Leiria tem um impacto significativo a nível local, sobretudo nos receptores localizados a Norte e a Sul da pista, numa extensão que pode atingir cerca de 1000 m do centro da base com valores de  $L_{Aeq}$  superiores a 60 dB(A). As freguesias mais afectadas pelo ruído da Base Aérea são as que se localizam na proximidade imediata da base, nomeadamente Monte Real, Carvide, Serra de Porto Urso e Amor.
- A análise efectuada às estimativas da população exposta a diferentes classes de níveis de ruído indicam, do ponto de vista global:
  - Para o **indicador**  $L_{den}$  regista-se uma percentagem da população que varia entre 3 % e 14 %, respectivamente para os Concelhos de Ourém e de Porto de Mós, que se encontra exposta a níveis de ruído superiores a 65 dB(A), limite estabelecido pelo RGR para **zonas mistas**;
  - Para o **indicador**  $L_n$  a percentagem da população que se encontra exposta a níveis de ruído superiores a 55 dB(A), limite estabelecido pelo RGR para **zonas mistas**, varia entre 15 % e 40 %, respectivamente para Ourém e Porto de Mós. Em todos os Concelhos o indicador  $L_n$  corresponde, segundo esta análise, à situação mais crítica.

- Para o **indicador  $L_{den}$**  regista-se uma percentagem da população que varia entre 12 % e 33 %, respectivamente para os Concelhos de Ourém e de Porto de Mós, que se encontra exposta a níveis de ruído superiores a 55 dB(A), limite estabelecido pelo RGR para **zonas sensíveis**;
- Para o **indicador  $L_n$**  a percentagem da população que se encontra exposta a níveis de ruído superiores a 45 dB(A), limite estabelecido pelo RGR para **zonas sensíveis**, varia entre 30 % e 62 %, respectivamente para Ourém e Porto de Mós. Em todos os Concelhos o indicador  $L_n$  corresponde, segundo esta análise, à situação mais crítica.

## 6. Agradecimentos

A Equipa técnica que elaborou o presente trabalho expressa os seus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para este trabalho com o seu apoio científico, técnico e humano. Em particular, agradece-se às instituições abaixo listadas a disponibilidade e colaboração prestada.

- Associação de Municípios da Alta Estremadura;
- Instituto do Ambiente/Agência Portuguesa do Ambiente;
- Câmaras Municipais;
- Base Aérea nº 5 de Monte Real;
- I.E.P. – Instituto de Estradas de Portugal;
- C.P./REFER - Caminhos de Ferro Portugueses;
- dBLab - Grupo Absorber;
- Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

## 7. Referências

- Computation and Measurement, Progress Report; EU WG3.
- Decreto Lei nº 292/2000 - Regime Legal sobre a Poluição Sonora, 14 de Novembro;
- Directive of the European Parliament and of the Council 2002/49/CE on the assessment and management of environmental noise, 25 de Junho;
- Directrizes para a avaliação de ruído de actividades permanentes, Instituto do Ambiente, Abril de 2003;
- Directrizes para a avaliação de ruído de actividades permanentes, Agência Portuguesa do Ambiente, Junho de 2008;
- Directrizes para a elaboração de planos de monitorização de ruído de infra-estruturas rodoviárias e ferroviárias, Instituto do Ambiente, Fevereiro de 2003;
- Elaboração de Mapas de Ruído – Princípios Orientadores, Direcção Geral do Ambiente/ Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Outubro de 2001;
- Environmental Impact Analyses Handbook. Edited by John G. Rau & David Wooten;
- Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), 2003;
- Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. *Atlas climatológico*, Lisboa, 1974;
- Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica/Laboratório Nacional de Engenharia Civil. *Temperaturas de projecto e números de graus-dias*, Lisboa, 1989.
- Livro Verde da Comissão Europeia, Futura Política de Ruído, Comissão das Comunidades Europeias, COM(96), 1996;
- Noise Policy Working Group 4 on Noise Mapping; EU WG4,
- Norma Europeia ISO 3746:1995. Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure;
- Norma Europeia ISO 8297:1994. Acoustics – Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment – Engineering Method

- Norma Europeia ISO 9613. Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1. Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. Part 2. General method of calculation;
- Norma Francesa XP S 31 – 133:2001. Acoustique. Bruit des infrastructures de transport terrestres;
- Norma Portuguesa NP 1730:1996. Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos. Parte 2: Recolha de dados relevantes para o uso de solos (ISO 1996:1982 e ISO 1996:1987);
- Norma Portuguesa NP 4361 – 2:2001. Acústica. Atenuação do som na sua propagação ao ar livre. Parte 2: Método geral de cálculo. (ISO 9613 – 2:1996);
- Procedimentos Específicos de Medição de Ruído Ambiente, Instituto do Ambiente, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Abril de 2003;
- Procedimentos específicos de medição de ruído ambiente, Instituto do Ambiente, Abril de 2003;
- Projecto Norma Portuguesa prNP 4433:2003. Acústica. Descrição e Medição do Ruído Ambiente. Procedimentos Específicos de Medição;
- Projecto-piloto de demonstração de Mapas de Ruído – escalas municipal e urbana, Instituto do Ambiente, Maio 2004;
- Recomendações para a selecção de métodos de cálculo a utilizar na previsão de níveis sonoros, Instituto do Ambiente, Setembro de 2001;
- Ruído de tráfego rodoviário, Martins da Silva, P., LNEC, 1975;
- Técnicas de prevenção e controlo do ruído, Instituto do Ambiente;

## Anexo I – Boletim de Verificação Metrológica do Sonómetro



## Anexo II – Mapas de Ruído