

# Avaliação de zonas de criticidade acústica

Aplicação das potencialidades de um SIG na avaliação do ruído de uma cidade de média dimensão

**SILVA, Lúgia T.; RODRIGUES, Daniel S.; RAMOS, Rui A. R.; MENDES, José F. G.**

## *Resumo*

*O crescimento urbano, pelas dimensões que actualmente assume, vem exercendo pressões de forma continuada nos recursos, nas infra-estruturas e nos equipamentos, afectando negativamente o standard de vida dos cidadãos. Neste contexto, a avaliação e monitorização da qualidade do ambiente urbano tornou-se um tema de primordial importância quando considerado como um instrumento de apoio à decisão para a construção de cidades mais sustentáveis e com melhor qualidade de vida.*

*Viana do Castelo é uma cidade de média dimensão localizada no litoral norte de Portugal e que aceitou o desafio de desenvolver um programa para a melhoria da qualidade do seu ambiente urbano, com o objectivo de aderir ao Projecto Cidades Saudáveis e integrar a Rede Europeia das Cidades Saudáveis.*

*Neste programa, a caracterização do ruído urbano, nomeadamente a determinação dos níveis de intensidade sonora na zona urbana e da exposição da população ao ruído ambiente, foi considerada uma das acções prioritárias. A ferramenta adoptada para desenvolver estes estudos inclui modelos de previsão de ruído numa plataforma de SIG. Com base em dados de tráfego e nas características físicas do local foram desenvolvidos mapas de ruído e procedeu-se ao seu cruzamento com o zonamento acústico do território e com a população residente.*

*Esta combinação foi a base para a identificação das zonas de criticidade acústica, em termos de níveis de ruído e dos índices de exposição da população a esses níveis de ruído.*

*O presente artigo apresenta uma abordagem deste problema, passando pelos fundamentos teóricos e pelo estudo desenvolvido para a cidade de Viana do Castelo.*

**PALAVRAS CHAVE:** SIG, ruído, criticidade, zonamento, acústico, avaliação

## **INTRODUÇÃO**

O Projecto Cidades Saudáveis é hoje um movimento de amplitude mundial, tendo por base o conceito de Saúde para Todos (SPT) da Organização Mundial de Saúde e as orientações estratégicas da Carta de Ottawa, a qual procurou proporcionar um veículo para testar a aplicação destes princípios a um nível local.

Em 1986 foram seleccionadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) onze cidades para demonstrar que as novas abordagens à saúde pública definidas na SPT funcionariam na prática. Assim nasceu o conceito de Cidades Saudáveis.

No âmbito do Projecto Cidades Saudáveis na cidade de Viana do Castelo, o ruído urbano, nomeadamente a determinação dos níveis de intensidade sonora na zona urbana e de exposição da população ao ruído ambiente, foram consideradas como acções prioritárias.

Em Portugal, o ruído está regulamentado desde 2000 através do novo Regime Legal sobre Poluição Sonora (RLPS), publicado no D.L. 292/2000 de 14 de Novembro[1].

Este diploma legal introduziu pela primeira vez a consideração da variável ruído urbano em sede de planeamento. O mesmo diploma define que as áreas vocacionadas para usos habitacionais existentes ou previstos, bem como para escolas, hospitais, espaços de recreio e lazer e outros equipamentos colectivos são classificadas de zonas sensíveis e as áreas cuja vocação seja afectada em simultâneo às utilizações referidas bem como a outras utilizações, nomeadamente comércio e serviços, são classificadas de mistas.

Às zonas sensíveis e mistas estão associados valores máximos admissíveis de ruído ambiente no exterior. Nos termos do RLPS, a aplicação do critério de exposição máxima obriga a que: as zonas sensíveis não devem ficar expostas a um nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A,  $L_{Aeq,T}$  de ruído ambiente exterior, superior a 55 dB(A) no período diurno (compreendido entre as 7h00 e as 21h00) e 45 dB(A) no período nocturno (compreendido entre as 21h00 e as 7h00); as zonas mistas não devem ficar expostas a um nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A,  $L_{Aeq,T}$  de ruído ambiente exterior, superior a 65 dB(A) no período diurno e 55 dB(A) no período nocturno.

O presente estudo tem como objectivo a avaliação de zonas de criticidade acústica numa cidade de médio porte, precisamente Viana do Castelo. A metodologia adoptada inclui a utilização de modelos de previsão de ruído urbano num ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Com base em dados de tráfego e nas características físicas do local foram criados mapas horizontais de ruído, e foi feita uma sobreposição com cartas de zonamento acústico e com a distribuição da população residente. Esta combinação foi a base para a identificação das zonas de criticidade acústica, em termos de níveis de ruído e de índices de exposição da população. Os resultados foram utilizados para identificar e rankear as medidas de mitigação a adoptar.

O recurso a uma plataforma SIG neste trabalho, dado o problema proposto ser de cariz espacial, permitiu tirar partido das técnicas de gestão de bases de dados que essa plataforma oferece, possibilitando gerir e manusear os dados de base e resultados da avaliação. Por outro lado, tirou-se também partido das funções de apresentação disponibilizadas de forma a representar os resultados obtidos em mapas da área em estudo. Por fim, o SIG dispõe ainda de ferramentas de análise que permitem efectuar diversas funções que integram o processo de cálculo referente ao confronto acústico com a população, tais como a selecção de locais relevantes, a sobreposição de mapas, a agregação de zonas ou o cálculo de estatísticas sobre atributos.

## **RUÍDO AMBIENTAL EM MEIO URBANO**

O ruído tornou-se um dos principais factores de degradação da qualidade de vida das populações. Constitui um problema que tende a agravar-se devido, sobretudo, ao desenvolvimento desequilibrado dos espaços urbanos e ao aumento significativo da mobilidade das populações, com o conseqüente incremento dos níveis de tráfego rodoviário.

O ruído tem vindo a aumentar no espaço e no tempo, sendo de facto o tráfego de veículos motorizados uma das fontes sonoras mais poluentes; no entanto, outras fontes, tais como o tráfego aéreo e ferroviário, o funcionamento de equipamentos industriais e domésticos e o ruído da vizinhança têm tendência a desenvolver-se e a multiplicar-se. Além disso, a intensidade do ruído atinge em muitos casos níveis preocupantes, afectando de diversas formas a saúde física e mental, com conseqüências mais ou menos graves que vão do simples incómodo à afectação da audição.

Dada a importância relativa que assume o ruído produzido pelo tráfego em meio urbano, a sua avaliação quantitativa é a base na qual assentam as políticas de controle de ruído [2]. São necessárias ferramentas de avaliação para estabelecer os níveis de ruído existentes, avaliar o impacto do ruído do tráfego no processo de planeamento e determinar a eficiência das medidas anti-ruído tomadas.

Existem disponíveis no mercado numerosos modelos previsionais de ruído que constituem um importante instrumento de trabalho na modelação da situação acústica, como referido por Bertellino e Licitra [3]. O método utilizado, designado por *Novo Método de Previsão do Ruído do Tráfego* (NMPB 96) foi desenvolvido em França em 1996 por um grupo de trabalho constituído pelas seguintes entidades: *Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques* (CERTU), *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LCPC) e *Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes* (SETRA). Este é o método recomendado pela Directiva 2002/49/EC do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho[4], relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

O algoritmo de cálculo gera, a partir de cada ponto receptor, um conjunto de raios correspondentes à propagação do ruído, normalmente espaçados em ângulos iguais e, portanto, definindo sectores de círculo. O cálculo acústico é realizado para cada raio que sai do receptor considerado e que pode intersectar uma fonte de ruído. Se o intervalo angular for suficientemente pequeno, poder-se-á assumir que, nesse intervalo, o terreno e o meio mantêm características constantes e a propagação média não varia no sector. Nestas condições, o problema resume-se ao cálculo numa secção definida entre uma fonte pontual e o

receptor. Para tal é necessário definir a potência acústica associada à fonte, a atenuação devida à divergência geométrica ( $A_{div}$ ), a absorção pelo ar ( $A_{atm}$ ), a difracção ( $A_{dif}$ ), os efeitos devidos ao solo ( $A_{solo}$ ) e a absorção das superfícies verticais ( $A_{ref}$ ) nas quais o raio foi reflectido no plano horizontal.

Para a estimativa do nível sonoro por um período longo, denominado *a longo termo* ( $L_{LT}$ ), o método tem em consideração as condições meteorológicas observadas localmente[5]. Este nível  $L_{LT}$  é obtido à custa da soma dos contributos energéticos dos níveis sonoros obtidos para as condições atmosféricas homogéneas (situação em que o gradiente vertical de velocidade do som é nulo) e favoráveis (situação em que aquele gradiente é positivo), ponderadas segundo a sua ocorrência relativa no local considerado. Nos períodos em que ocorrem condições atmosféricas desfavoráveis (situação em que o gradiente vertical de velocidade do som é negativo) são assumidos pelo método níveis sonoros correspondentes a condições homogéneas. Esta assumpção majora de facto os níveis reais obtidos nestas condições de propagação, mas acaba por traduzir uma abordagem pelo lado da segurança [6].

## **AVALIAÇÃO DE ZONAS DE CRITICIDADE ACÚSTICA NUMA CIDADE DE MÉDIA DIMENSÃO**

Este estudo tem como objectivo a avaliação de zonas de criticidade acústica numa cidade de médio porte, localizada no litoral norte de Portugal. Reporta-se à cidade de Viana do Castelo, com uma área de 37,04 km<sup>2</sup> e uma população residente de 36.544 habitantes, onde as grandes preocupações em termos das emissões de ruído centram-se numa via de atravessamento, que divide a cidade e apresenta um volume de tráfego rodoviário assinalável.

Com base em dados de tráfego e nas características físicas do local foram criados mapas horizontais de ruído, foi feita uma sobreposição com cartas de zonamento acústico e com a população residente. Esta combinação foi a base para a identificação das zonas de criticidade acústica, em termos de níveis de ruído e de índices de exposição da população a esses níveis de ruído.

### **1. Cálculo dos mapas horizontais de ruído**

Os mapas acústicos são cartas que representam o ruído efectivamente existente numa determinada área, podendo ser obtidos através de medição e/ou através de instrumentos computacionais. Estes últimos permitem também elaborar simulações do ruído esperado em determinadas condições, as quais podem ser tidas em conta no desenvolvimento de cenários de planeamento do território.

A elaboração dos mapas horizontais de ruído da cidade de Viana do Castelo foi baseada em métodos previsionais e complementada com medições acústicas para validação do modelo.

A previsão dos níveis sonoros teve em conta a contribuição do tráfego rodoviário, a informação geográfica e física relativa à cidade e os fenómenos físicos mais relevantes na radiação e propagação das ondas sonoras.

Para o cálculo dos níveis de ruído rodoviário, o modelo utilizado teve como parâmetros de entrada o tráfego rodoviário (densidade, composição e velocidade média de circulação), as características do pavimento (betuminoso, cubos, macadame, ...) e o tipo de tráfego (fluido, ininterrupto ou em aceleração).

Relativamente à informação geográfica e física, teve-se em conta a altimetria do terreno, perfis transversais e longitudinais das vias rodoviárias e a implantação dos edifícios na cidade com as respectivas cêrcea e características de superfície de fachadas. A Figura 1 apresenta um extracto da Base Cartográfica preparada.

Para a caracterização das fontes de ruído ambiental na cidade de Viana do Castelo, e considerando o seu carácter sazonal, foram levadas a cabo duas campanhas de contagem de veículos automóveis, uma de Verão e outra de Inverno, as quais deram origem a dois cenários.

As campanhas de contagem de Verão e de Inverno contaram com a informação de 31 postos de contagem estrategicamente localizados nas 5 freguesias da cidade de Viana do Castelo e decorreram em períodos contínuos de 24 horas.

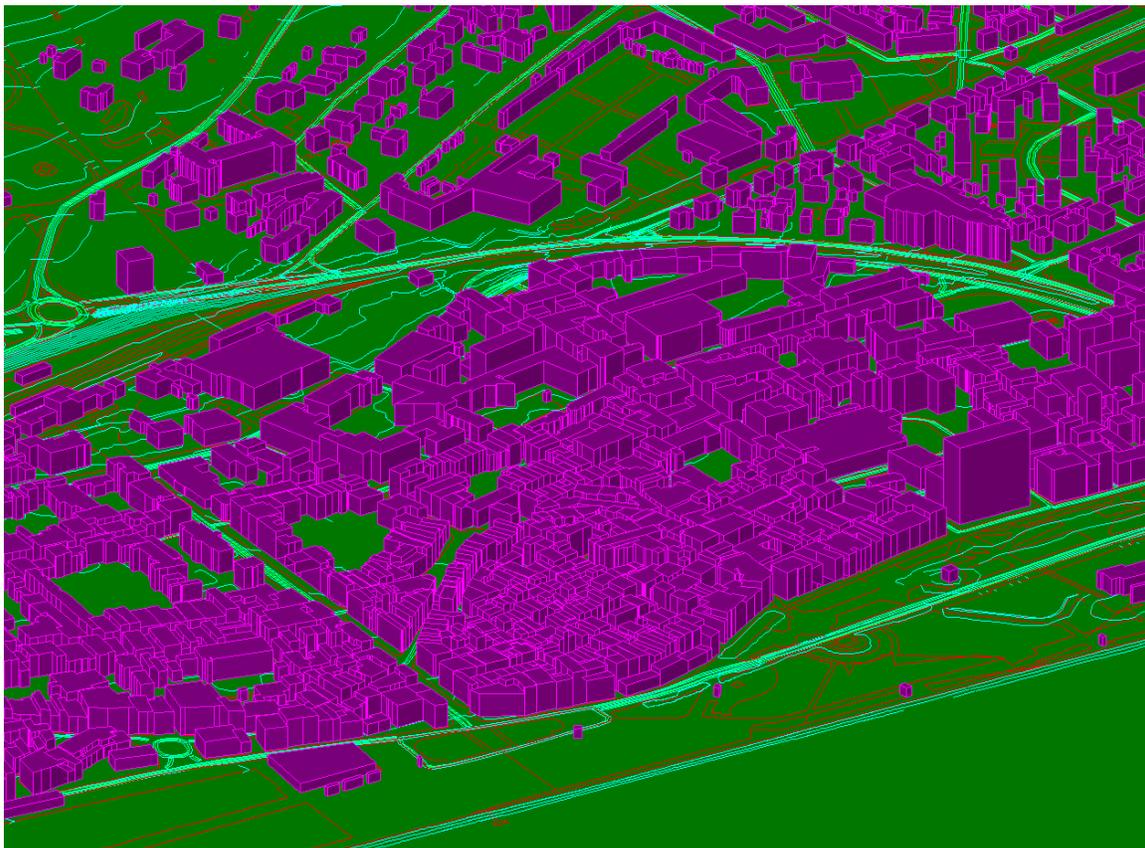
Após levantamento detalhado da topografia do local e da localização e características dos obstáculos à propagação do ruído, tais como por exemplo edifícios, muros ou barreiras arbóreas, foi levada a cabo a modelação matemática tendo em vista a elaboração de mapas acústicos horizontais do local (para os períodos diurno e nocturno). Para efeitos de cálculo, a cidade foi dividida numa malha irregular cuja dimensão se apresentava mais reduzida nas zonas de maior densidade de edifícios. Os valores de  $Leq(A)$  foram calculados para os vértices da malha e os parâmetros de cálculo adoptados foram os seguintes:

- Mapa acústico horizontal;
- Altura do mapa:  $h = 1,2$  m acima da cota do solo;

- Condições meteorológicas favoráveis à propagação de ruído
- N° de raios: 50 nas zonas urbanas dispersas e 100 nas zonas urbanas densas;
- Distância de propagação: 2000 m;
- N° de reflexões: 5;
- Índices calculados:  $Leq(A)$  diurno e  $Leq(A)$  nocturno;
- Tipo de piso (variável): betuminoso, cubos de granito;
- Velocidades médias consideradas (variáveis): 80 km/h nas vias de atravessamento (EN13 e acesso ao IC1-troço nascente); 50 km/h nas vias de acesso/penetração ao centro da cidade e vias de atravessamento no interior da cidade; 35 - 45 km/h (arruamentos urbanos);

A partir dos níveis estimados foram delimitadas classes de ruído por intervalos de 5 dB(A). Às diferentes classes de ruído foi atribuída uma cor de acordo com a norma portuguesa NP 1730, de 1996 [7].

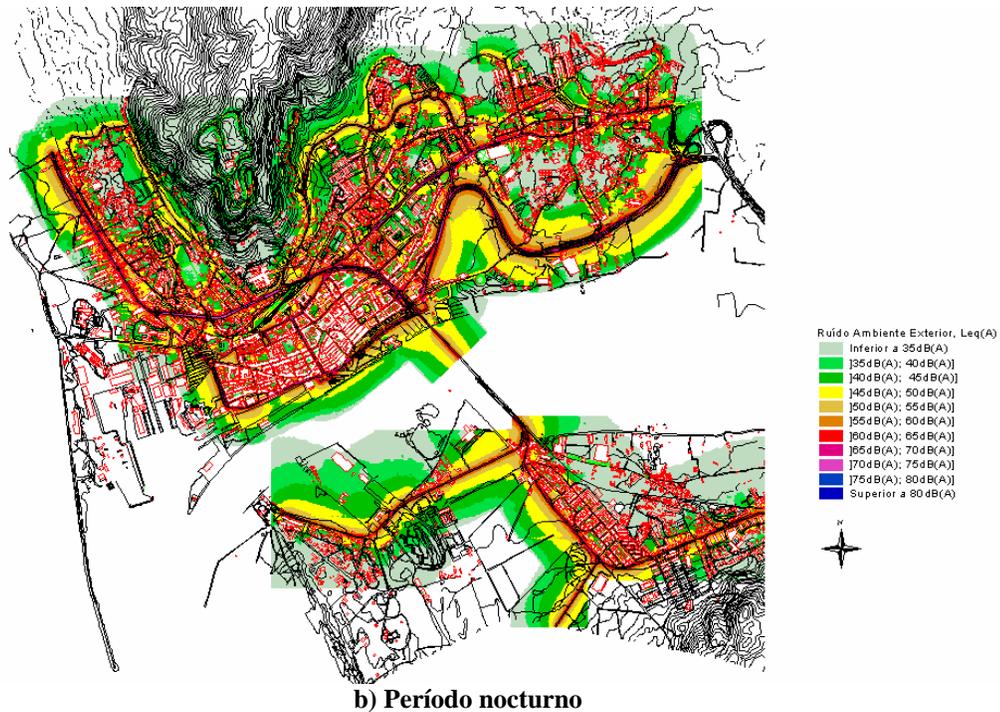
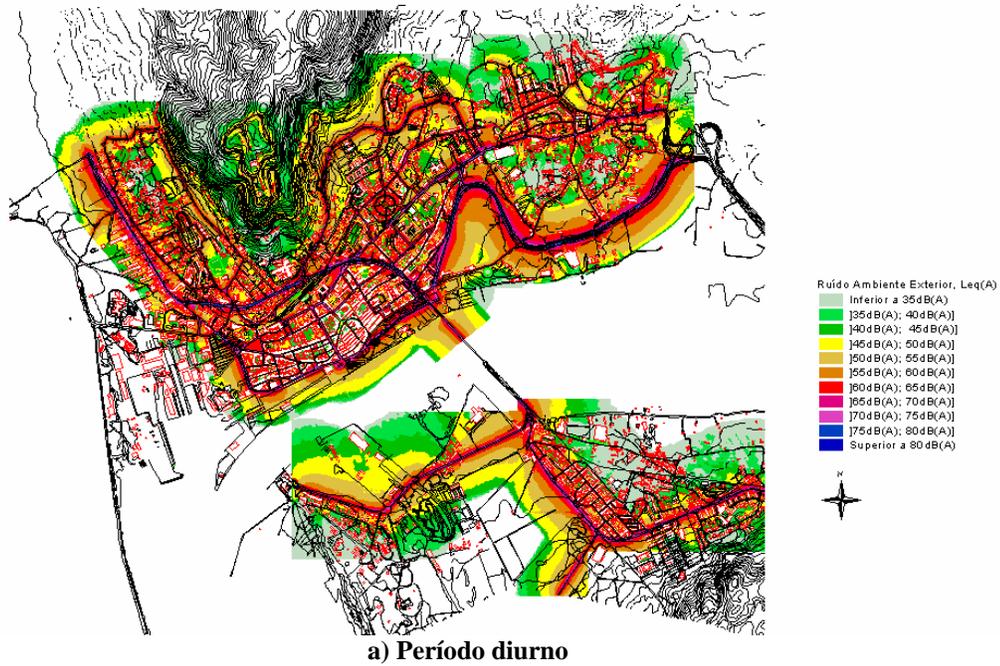
Devido a limitações de espaço neste artigo, os resultados apresentados restringem-se ao cenário de Verão, aquele que se identificou como o mais crítico. As Figuras 2a) e 2b) apresentam os mapas de ruído obtidos para os períodos diurno e nocturno na cidade.



**Fig. 1 - Extracto da base cartográfica preparada**

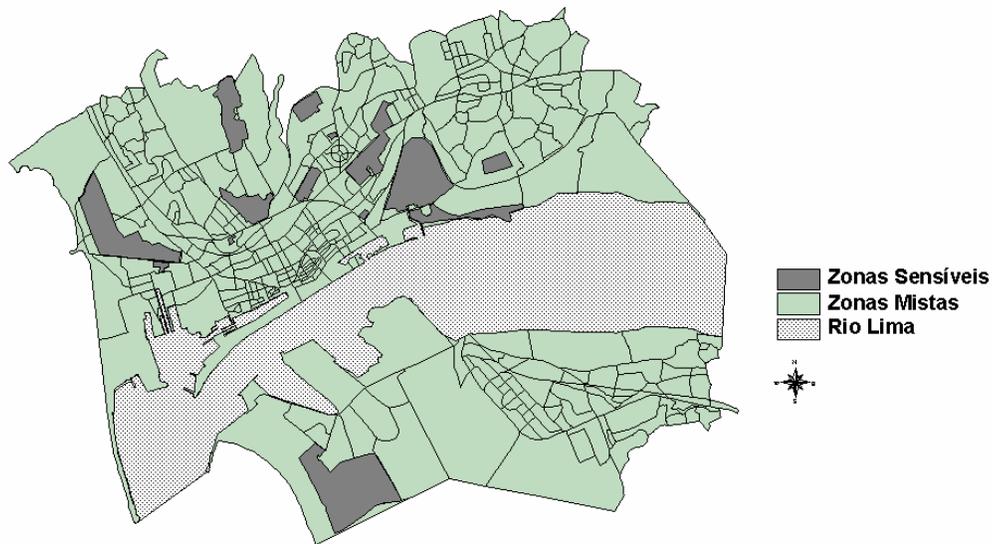
## 2. Confronto do ambiente acústico com o zonamento acústico

A carta de zonamento acústico é efectuada a partir do uso do solo, existente e planeado, seguindo essencialmente normativas nacionais ou de outros países europeus, quer em termos de valores de referência quer em termos metodológicos.



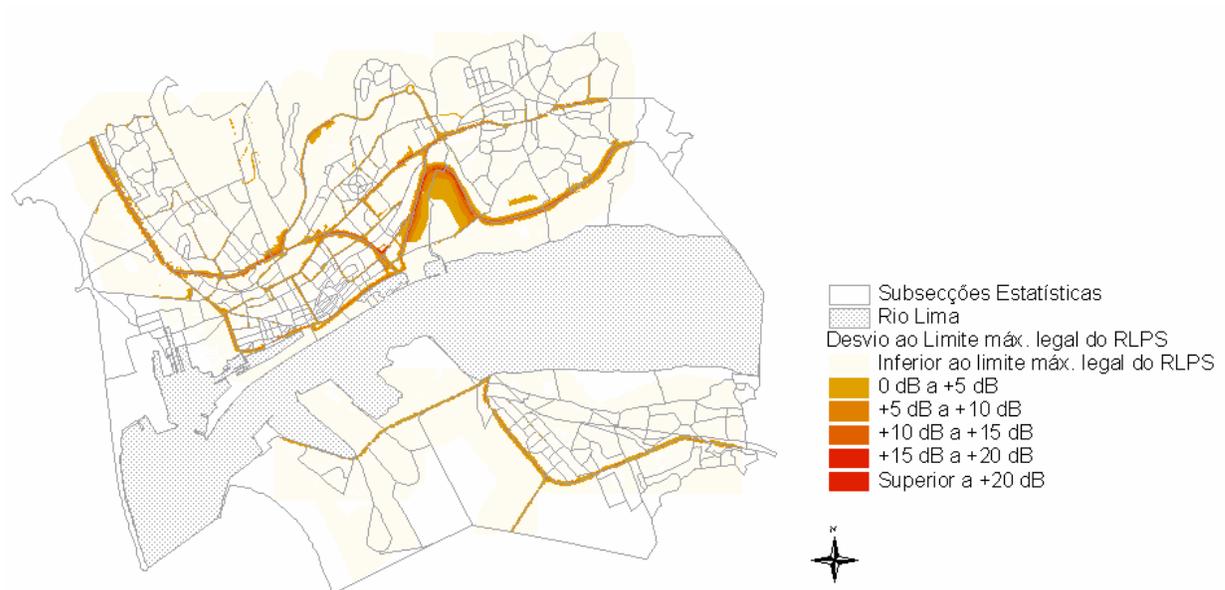
**Fig. 2 - Cartas de ruído para o cenário de Verão**

As cartas de zonamento acústico estabelecem zonas no território de acordo com os níveis de ruído admissíveis, constituindo assim condicionantes ao uso do solo. Com base no uso do solo existente e proposto na carta de ordenamento do PDM, e de acordo com o estabelecido no RLPS, a carta de zonamento acústico classifica o solo em duas classes, identificando zonas no território sensíveis e zonas mistas. A Figura 3 apresenta um extracto da Carta de Zonamento Acústico que compreende a área urbana de Viana do Castelo.

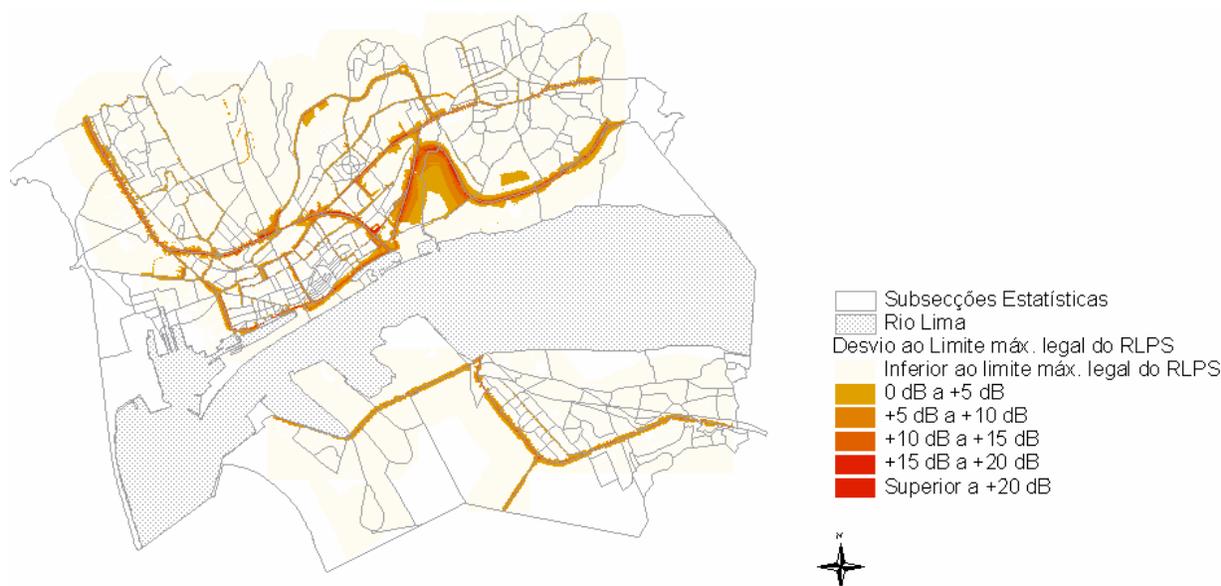


**Fig. 3 - Extracto da carta de zonamento acústico para a zona em estudo**

Os mapas de ruído e o zonamento acústico foram introduzidos em ambiente SIG e sobrepostos. Esta operação teve como resultado o mapa de desvios de  $Leq(A)$  em relação ao limite legal constante no RLPS e previsto em sede de zonamento, os quais podem ser observados nas Figuras 4a) e 4b).



**Fig. 4a) - Sobreposição das cartas de ruído com a carta de zonamento acústico -Período diurno**



**Fig. 4b) - Sobreposição das cartas de ruído com a carta de zonamento acústico - Período noturno**

Os dados da população foram introduzidos no SIG e sobrepostos com os mapas de ruído de forma a permitir o cálculo da população exposta aos vários níveis de ruído ambiente. Neste cálculo foi assumida uma distribuição uniforme da população em cada subsecção estatística e foram adoptadas as recomendações da Directiva 2002/2002/49/CE do Parlamento Europeu [4], relativa à monitorização do ruído ambiente para definir as classes de ruído a estudar. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2 - População exposta ao ruído - classes de níveis de ruído**

Níveis de ruído ambiente $Leq(A)$ dB(A)	População exposta ao ruído			
	Período diurno		Período noturno	
	População	%	População	%
]0 ; 35]	2640	9,4	6557	23,4
]35 ; 40]	2534	9,1	4268	15,3
]40 ; 45]	3906	14,0	4660	16,7
]45 ; 50]	4398	15,7	3910	14,0
]45 ; 55]	4361	15,6	3193	11,4
]55 ; 60]	3337	11,9	2621	9,4
]60 ; 65]	2970	10,6	1684	6,0
]65 ; 70]	2147	7,7	840	3,0
]70 ; 75]	1244	4,5	120	0,4
]75 ; 80]	287	1,0	0	0,0
]80 ; 85]	6	0,0	0	0,0

Foi levada a cabo uma sobreposição de dados similar à anterior, mas desta vez combinando os dados da população com os dados de desvios de  $Leq$  em relação ao limite, resultando neste caso no número de pessoas expostas aos níveis de ruído acima dos limites estabelecidos no RLPS, nos períodos diurno e noturno (Tabela 3).

#### 4. Identificação de zonas de criticidade acústica

Nesta fase, a "fotografia acústica" da cidade, descrita pelos mapas acústicos e o pelo zonamento acústico, é ponderada pela população residente de forma a identificar as zonas acusticamente problemáticas, denominadas zonas de criticidade acústica..

O índice de criticidade acústica de determinada zona, identificado por  $C$ , é calculado através da multiplicação do desvio de  $Leq$  ao limite legal em dB(A),  $DL$ , pela densidade populacional que habita aquela zona  $DP$ :

$$C = DP \times DL$$

**Tabela 3 - População exposta ao ruído - classes de desvios de ruído ao limite legal**

Desvios de $Leq(A)$ ao limite legal dB(A)	População exposta ao ruído			
	Período diurno		Período nocturno	
	População	%	População	%
]-30 ; -15]	10672	38,2	10120	36,2
]-15 ; -10]	4287	15,3	4580	16,4
]-10 ; -5]	3335	11,9	3880	13,9
]-5 ; 0]	3071	11,0	3268	11,7
]0 ; +5]	2225	8,0	2716	9,7
] +5 ; +10]	1281	4,6	1730	6,2
] +10 ; +15]	314	1,1	870	3,1
] +15 ; +30]	18	0,1	147	0,5

Nas Figuras 5a) e 5b) pode observar-se a distribuição do índice de criticidade para a cidade de Viana do Castelo, para os períodos diurno e nocturno, incluindo a identificação das zonas mais críticas, consideradas acusticamente problemáticas.

### CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nas cartas de ruído (Figura 2) e cartas de desvio de  $Leq$  ao limite legal (Figura 4), permitem concluir que cerca de 11,3% e 15,6% da área estudada, respectivamente para os períodos diurno e nocturno, se encontram acima do limite estabelecido no RLPS.

Esta área de não conformidade inclui obviamente as próprias vias rodoviárias; se estas forem excluídas, verifica-se que apenas pontualmente e ao longo das faixas adjacentes às vias principais de atravessamento, se ultrapassam os limites legais. Esta é aliás uma situação incontornável, verificada em todas as cidades europeias, dado que sobre a rodovia e no local de passagem dos veículos a potência sonora significa níveis de  $Leq(A)$  sempre superiores a 80 dB(A).

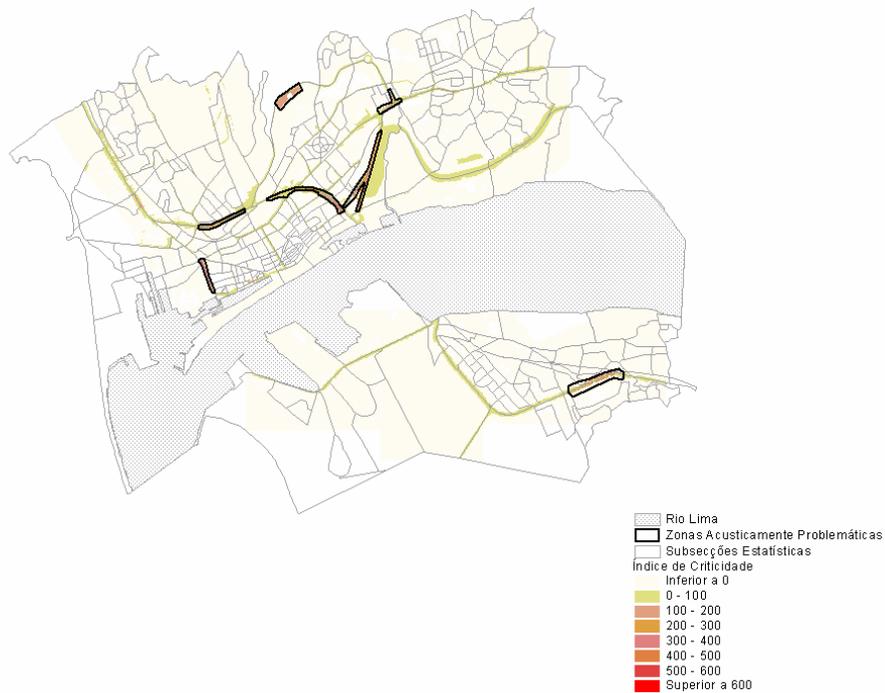
Uma análise da variação do ruído ao longo das 24 horas mostra que o período nocturno é mais gravoso relativamente ao diurno. Esta é também uma situação habitual em cidades sazonais de veraneio, que se relaciona com hábitos de vida nas cidades de praia em horários nocturnos e os resultados apresentados neste artigo reportam-se a uma simulação do cenário de Verão.

Analisando as situações de não conformidade acústica mais pertinentes, os resultados apresentados nas Figuras 2 e 4 mostram a existência de uma via que atravessa a cidade onde os níveis de ruído se apresentam substancialmente acima dos limites legais. Esta via, com características de atravessamento, é composta pela Avenida 25 de Abril e prolonga-se para Norte com a EN13 e para Nascente com a via de acesso ao IC1, apresentando uma elevada percentagem de veículos pesados que se vêm obrigados, por falta de alternativas, a atravessar a cidade.

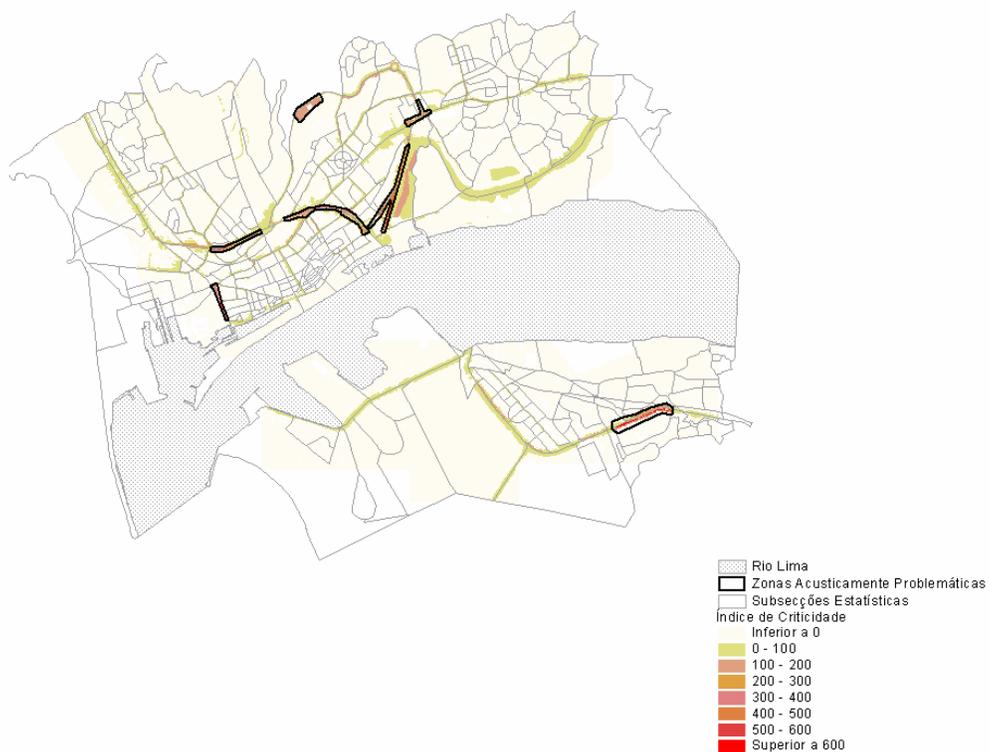
Analisando agora o centro histórico da cidade de Viana do Castelo, com características essencialmente pedonais, verifica-se que se encontra dentro dos limites estabelecidos no RLPS nos dois períodos diurno e nocturno.

Para toda a zona em estudo e para o período diurno, calculou-se uma percentagem de 13,2 % da população exposta a níveis de ruído ( $Leq(A)$ ) acima de 65 dB(A); no período nocturno, 18,8% da população encontra-se exposta a níveis de ruído ( $Leq(A)$ ) acima de 55 dB(A). Quando considerados os desvios de  $Leq(A)$  ao limite legal para zonas sensíveis e zonas mistas, a população acima dos limites é similar, 13,7% e 19,5% para os períodos diurno e nocturno respectivamente.

Os dados de ruído e de população, combinados através do índice de criticidade, revelam a existência de seis zonas acusticamente problemáticas, como mostra a Figura 4, a saber: Avenida 25 de Abril em quase toda a sua extensão, vias de acesso ao IC1 (troço poente), Escola localizada na via Entre Santos, cruzamento da EN 202 com a Rua Aquilino Ribeiro, Avenida Campo do Castelo e troço da via EN 13 em Darque. Estas zonas deveriam assumir um estatuto de primeira prioridade num plano de mitigação futuro.



**Fig. 5a) - Cartas de criticidade acústica para o cenário de Verão - Período diurno**



**Fig. 5b) - Cartas de criticidade acústica para o cenário de Verão - Período nocturno**

**REFERÊNCIAS**

1. Decreto-Lei n° 292/2000. *Diário da República*, I Série-A, Lisboa, Portugal, n. 263, p. 6511-6520
2. OECD *Roadside Noise Abatement*. Organisation for Economic Co-operation and Development Publications, Paris, France, 1995.

3. **Bertellino, F. e G. Licitra** I Modelli Previsionali per il Rumore da Traffico Stradale. *Atti Convegno Nazionale Traffico e Ambiente 2000*, Progetto Trento Ambiente, Trento, Italia, p. 63-82, 2000.
4. **Directiva 2002/49/EC** do Parlamento Europeu e do Conselho, de Junho de 2002, Official Journal of the European Communities, p.12-25, 2000.
5. **CSTB Mithra Technical Manual**. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris, France, 2001.
6. **Berengier, M. e M. Garai** Propagazione del Rumore da Traffico Veicolare. *Atti Convegno Nazionale Traffico e Ambiente 2000*, Progetto Trento Ambiente, Trento, Italia, p. 49-62, 2000.
7. **NP 1730**, Norma Portuguesa nº 1730, 1996
8. **INE - CENSOS2001**. Lisboa, 2001

***Endereço dos autores:***

---

Lígia Maria Marques Oliveira Torres Silva, Assistente

Email: lsilva@civil.uminho.pt

Daniel Souto Rodrigues, Assistente

Email: dsr@civil.uminho.pt

Rui António Rodrigues Ramos, Prof. Auxiliar

Email: rui.ramos@civil.uminho.pt

José Fernando Gomes Mendes, Professor Catedrático

Email: jmendes@civil.uminho.pt

---

UNIVERSIDADE DO MINHO

Esc. de Engenharia - Depart. de Eng. Civil

Campus de Gualtar

4710-057 Braga, PORTUGAL