

APLICAÇÃO DA LEGISLAÇÃO SOBRE RUÍDO À ESCALA DO AGLOMERADO URBANO

Licínio Cantarino de Carvalho

Engenheiro Civil, Equiparado a Professor Coordenador, Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, Faro, Portugal, lcarva@ualg.pt

Resumo

Na presente comunicação quantificam-se os limites de tráfego rodoviário correspondentes a diferentes valores de referência dos níveis sonoros nas fachadas dos edifícios, tendo em vista facultar informação facilmente interpretável que possa servir de orientação no planeamento urbano, para dar satisfação aos requisitos regulamentares aplicáveis. Para tal são analisadas diferentes situações tipo de rodovias e envolvente urbana e apresentados alguns comentários sobre as opções mais adequadas.

Palavras-chave: Ruído, Planeamento Urbano, Legislação

1. Introdução

A motorização crescente do mundo contemporâneo tem vindo a suscitar, cada vez mais, a necessidade de medidas para salvaguardar o sossego das pessoas. A integração da componente ruído no planeamento regional e urbano é um progresso recente que o decreto-lei 292/2000 de 14/11 [1] veio implementar. Esse diploma criou a obrigação de as câmaras municipais delimitarem, nos planos municipais de ordenamento do território, zonas próprias para usos sensíveis ao ruído, designadamente usos habitacionais, escolas, hospitais, espaços de recreio e lazer e outros similares. Definiu, para o efeito, dois tipos de zonas: zonas sensíveis destinadas exclusivamente aos usos referidos e zonas mistas compreendendo, também, outras utilizações, como comércio e serviços. Para cada tipo de zona, o diploma fixou os níveis de ruído limite seguintes, expressos através do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, L_{eq} , respectivamente para o período diurno (7 às 22 horas) e para o período nocturno (22 às 7 horas): 65 dB(A) e 55 dB(A), em zonas mistas; 55 dB(A) e 45 dB(A) em zona sensíveis.

Decorre destas disposições legais a necessidade de planear adequadamente as novas zonas urbanas, de modo a que, uma vez construídas e nas condições que a sua construção cria, nomeadamente de tráfego que gera, os limites estabelecidos sejam respeitados. Tal implica capacidade para prever e avaliar os resultados de diferentes opções do planeamento, o que torna indispensável o recur-

so a métodos de cálculo fiáveis. Implica também a inclusão de uma nova especialidade – de ruído – nas equipas que desenvolvem os PMOT's, o que se tem vindo a verificar. É necessário, todavia, que desde os primeiros traços dos planos exista a noção das implicações que a problemática do ruído cria e é nessa matéria que a presente comunicação pretende dar um contributo. Ela trata os efeitos do tráfego rodoviário, que se crê ser a principal fonte de ruído em meio urbano, e procura traduzir os limites dos níveis sonoros fixados legalmente em valores de limites de fluxos de tráfego, mais facilmente apreendidos pelos urbanistas.

Recentemente, foi anunciada a aprovação de um novo diploma reformulando o decreto-lei 292/2000, cujo teor exacto se desconhece no momento em que se prepara esta comunicação. Crê-se que o diploma não visa alterar as exigências, mas sim reformular os indicadores usados para os ajustar à directiva 2002/49/CE [2]. Esta prevê a consideração de três períodos – dia, entardecer, noite – e o uso dos indicadores L_{den} e L_{noite} , o primeiro relativo ao conjunto dos três períodos e o segundo relativo apenas ao período da noite.

Face ao exposto, optou-se por apresentar os resultados obtidos em função dos limites de referência do nível sonoro L_{eq} de 65 dB(A), 55 dB(A) e 45 dB(A), que facilmente se poderão, mais tarde, relacionar com as novas exigências, logo que vierem a ser conhecidas.

Após esta introdução, apresenta-se em 2 uma descrição dos meios de cálculos usados. Depois em 3 analisam-se diferentes situações tipo e sistematizam-se e comentam-se os resultados. Por fim, em 4 sumarizam-se as conclusões.

2. Meios de cálculo usados

A análise que se apresenta baseia-se na simulação pelo cálculo de diferentes situações, pelo que se começa por descrever e comentar sumariamente os meios de cálculo usados.

Os cálculos foram efectuados através do programa CADNA A [3], disponível comercialmente e vocacionado para uso profissional, sendo apropriado também para análises do tipo da efectuada. O programa tem capacidade para simular situações complexas e produzir resultados assentes em diferentes normas de cálculo. Na análise feita foi seguido o método “NMPB – Routes – 96” [4], recomendado pela directiva europeia 2002/49/CE e integrado na normalização francesa em 2001 [5].

As vias de tráfego são simuladas como fontes lineares, que são divididas em pequenos troços e passam a constituir fontes independentes. A divisão é feita para cada receptor em duas fases: na primeira, separam-se os troços obstruídos dos que o não estão; na segunda, subdividem-se os troços de modo a que fiquem suficientemente pequenos face à distância a que estão do receptor, para poderem ser tratados como fontes pontuais. A cada troço é atribuído um nível

de potência sonora, de acordo com as características do tráfego e da via e o comprimento do trecho. É possível distinguir veículos leves e pesados, atender à sua velocidade, à inclinação e tipo de pavimento da via e ao tipo de circulação.

Entre cada trecho e cada receptor é considerado um trajecto directo de propagação do som, ao longo do qual é estimada a atenuação em resultado da divergência geométrica (efeito da distância), da absorção pela atmosfera, do efeito do solo e da difracção em torno de obstáculos. Para além do trajecto directo, é também atendido o efeito das reflexões pelo método da imagem reflectida num espelho. Neste método, as superfícies são consideradas reflectores especulares, pelo que as fontes sonoras em frente produzem uma imagem sobre a mesma normal à superfície, do lado oposto e a igual distância. Essas imagens passam a ser consideradas como se de fontes se tratasse, sendo o seu nível de potência corrigido em função das características de reflexão da superfície. É possível contabilizar apenas reflexões de 1ª ordem ou de ordem superior, crescendo o número de fontes exponencialmente com a ordem das reflexões. Dada a simplicidade das situações analisadas, foi possível optar por um número de reflexões muito elevado, sem penalizar excessivamente os tempos de execução, o que permite, praticamente, eliminar a possibilidade de qualquer imprecisão por insuficiência de número de reflexões.

O cálculo faz-se por oitavas para duas situações distintas: de condições de propagação favorável e de condições homogéneas, isto é, de atmosfera homogénea que não causa perturbações na propagação. No final, faz-se, primeiro, a ponderação dos valores obtidos de acordo com a frequência de ocorrência de cada situação, permitindo obter níveis médios de longa duração e, depois, a soma energética dos valores por oitavas para obter níveis sonoros em dB(A).

A frequência de ocorrência de diferentes condições de propagação depende das características meteorológicas locais, tendo sido admitida a opção por defeito do programa, correspondente a condições de propagação sempre favoráveis no período da noite e favoráveis em 50% do tempo durante o dia.

3. Análise de situações tipo

3.1. Descrição das situações

Consideram-se três tipos de situações típicas em ambiente urbano:

- Ruas em U
- Ruas em L
- Construções a diferentes distâncias de rodovia

Ruas em U são vias de tráfego marginadas continuamente por edifícios, de ambos os lados. Ruas em L são vias em que esses edifícios só existem de um

lado. Na figura 1 representam-se os perfis dos arruamentos em U analisados, num total de cinco. Quatro perfis simulam o efeito de uma rodovia com uma faixa de circulação de 7 m e afastamentos entre alinhamentos de edifícios marginais de 10 m, 13 m, 16 m e 20 m, respectivamente. O quinto perfil simula o efeito de uma rodovia com uma faixa de 7,5 m em cada sentido e distância entre alinhamentos dos edifícios de 22 m. Assumiu-se que as fachadas eram reflectoras, tendo-se admitido uma perda por reflexão de 1 dB, apontado pelo programa CADNAA para fachadas lisas. A altura dos edifícios de um lado e do outro não afecta os resultados das simulações efectuadas, desde que atinja a cota dos pontos receptores. Estes foram considerados a meia altura do rés-do-chão e do 1º andar, que se admitiu ficar, respectivamente, às cotas 2 m e 5,5 m acima do piso das rodovias.

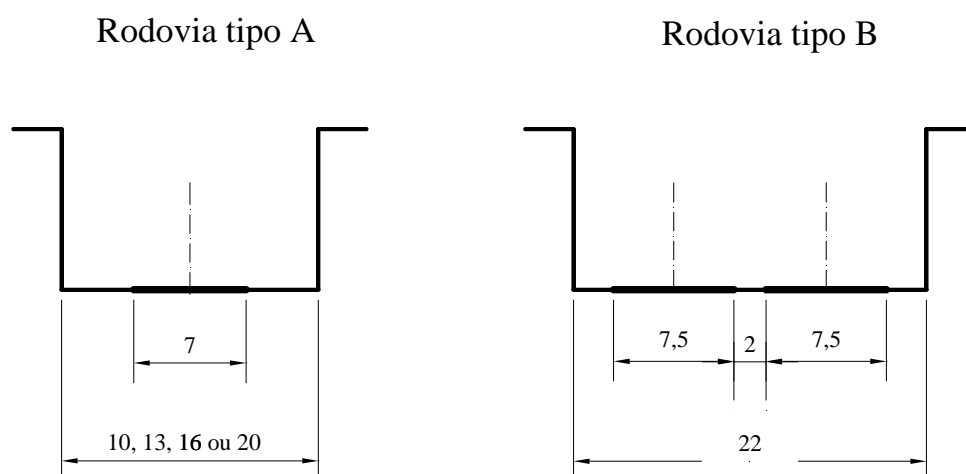


Figura 1: Perfis tipo em U analisados

Os perfis em L analisados correspondem aos que se indicam na figura 1, mas com edifícios apenas de um lado. Os pontos receptores ficam, obviamente, do lado desses edifícios.

Nos arruamentos em U e em L, as bermas, entendidas como o espaço entre as faixas de circulação e os edifícios, foram consideradas pavimentadas.

A análise do efeito da distância a vias de tráfego considera uma rodovia do tipo A, representado na figura 1, e receptores às cotas 2 m, 5,5 m e de 3 em 3 m até ao andar desejado, que, como se verá adiante, varia de caso para caso. As distâncias simuladas são 5 m, 10 m, 20 m, 50 m e 100 m e são medidas até

ao bordo da rodovia, que se admite ficar a 5 m do eixo da faixa de circulação. Admitem-se duas possibilidades de características de reflexão do solo entre o bordo da rodovia e as fachadas: reflector, caso de solos pavimentados, e absorvente, caso de solos com revestimento vegetal.

As rodovias são consideradas em todos os casos horizontais com pavimento betuminoso e circulação do tráfego fluida com velocidade de 50 km.h⁻¹.

Nos pontos receptores no plano das fachadas apenas se considera a energia sonora incidente e não a reflectida pela própria fachada.

3.2. Resultados e sua análise

Para as situações consideradas, verificou-se que as condições de propagação do som na atmosfera diferentes de dia e de noite não afectavam de forma relevante os resultados. Isso decorre do facto de serem curtas as distâncias de propagação contempladas na análise efectuada. Podem, pois, considerar-se igualmente válidos os resultados obtidos para qualquer período do dia.

Os resultados são apresentados nos quadros 1, 2 e 3, expressos em veículos ligeiros por hora correspondentes a um nível sonoro contínuo equivalente de 65 dB(A) nos pontos receptores identificados atrás. Trata-se do volume de tráfego que em média ocorre ao longo do período de referência – dia, entardecer, noite.

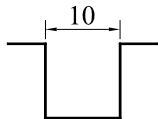
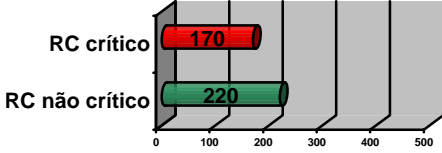
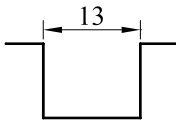
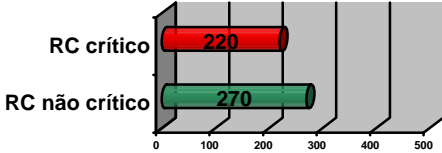
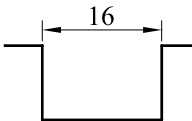
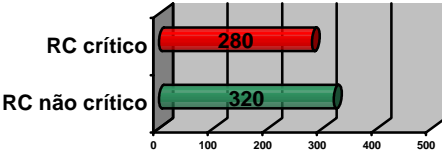
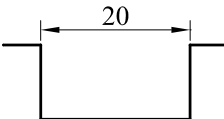
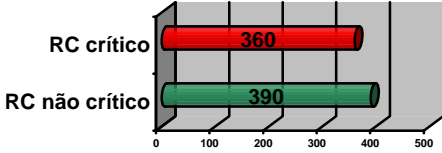
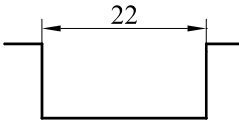
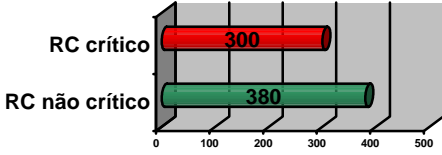
No quadro 1, sistematizam-se os valores obtidos para ruas em U. Para cada configuração analisada, distinguem-se dois casos: aquele em que o limite de 65 dB(A) é aplicável ao rés-do-chão (RC crítico) e o caso em que o limite não é aplicável a esse piso (RC não crítico), por não se prever aí utilização para habitação ou outro uso sensível ao ruído.

O quadro 2 apresenta os resultados para ruas em L, sistematizados de forma idêntica.

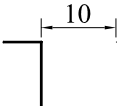
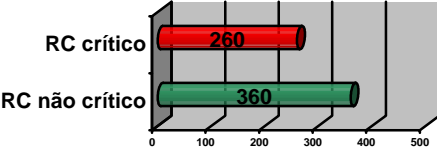
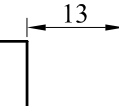
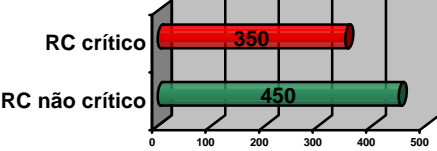
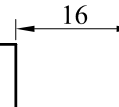
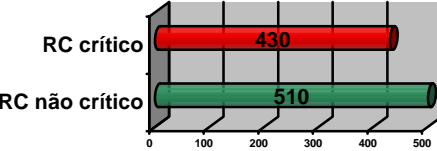
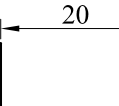
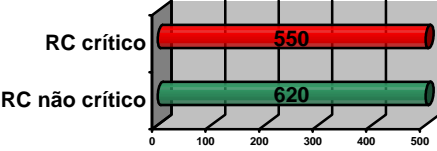
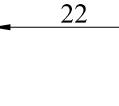
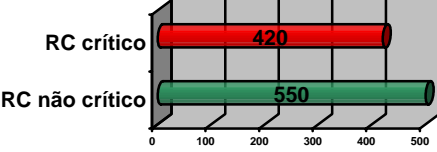
O quadro 3 organiza os valores calculados relativos ao efeito da distância e da reflexão do solo. Com o solo absorvente, constata-se que, para distância maiores, os níveis sonoros deixam de ser mais elevados no rés-do-chão, passando o piso mais exposto a situar-se em posição mais alta. Por esse facto, a análise efectuada não se limitou a considerar receptores ao nível do rés-do-chão e 1º andar, mas também nos pisos acima. Por exemplo, para a distância de 50 m a exposição sonora aumenta até ao 4º andar. No quadro 3, quando o rés-do-chão não é o mais exposto, os valores para as duas situações contempladas – RC crítico e RC não crítico – são iguais.

É possível extrapolar para os casos em que existe circulação de pesados, considerando uma equivalência de 17 ligeiros por pesado. Os valores podem admitir-se válidos para as condições de simulação indicadas atrás e para inclinações das rodovias até 2%, havendo necessidade de correcção acima desse limite.

Quadro 1: Limites de tráfego para ruas em U

CONFIGURAÇÃO DA RUA EM U (m)	VEÍCULOS LIGEIOS POR HORA CORRESPONDENTES A 65 dB(A) NAS FACHADAS
 <p>Rodovia A</p>	 <p>RC crítico: 170 RC não crítico: 220</p>
 <p>Rodovia A</p>	 <p>RC crítico: 220 RC não crítico: 270</p>
 <p>Rodovia A</p>	 <p>RC crítico: 280 RC não crítico: 320</p>
 <p>Rodovia A</p>	 <p>RC crítico: 360 RC não crítico: 390</p>
 <p>Rodovia B</p>	 <p>RC crítico: 300 RC não crítico: 380</p>

Quadro 2: Limites de tráfego para ruas em L

CONFIGURAÇÃO DA RUA EM L (m)	VEÍCULOS LIGEIOS POR HORA CORRESPONDENTES A 65 dB(A) NAS FACHADAS
 <p>Rodovia A</p>	 <p>RC crítico 260 RC não crítico 360</p>
 <p>Rodovia A</p>	 <p>RC crítico 350 RC não crítico 450</p>
 <p>Rodovia A</p>	 <p>RC crítico 430 RC não crítico 510</p>
 <p>Rodovia A</p>	 <p>RC crítico 550 RC não crítico 620</p>
 <p>Rodovia B</p>	 <p>RC crítico 420 RC não crítico 550</p>

Quadro 3: Limites de tráfego a diferentes distâncias D da rodovia A

D (m)	VEÍCULOS LIGEIOS POR HORA CORRESPONDENTES A 65 dB(A) NAS FACHADAS	
	Solo absorvente	Solo reflector
5	<p>RC crítico: 620 RC não crítico: 650</p>	<p>RC crítico: 550 RC não crítico: 620</p>
10	<p>RC crítico: 980 RC não crítico: 980</p>	<p>RC crítico: 830 RC não crítico: 890</p>
20	<p>RC crítico: 1700 RC não crítico: 1700</p>	<p>RC crítico: 1400 RC não crítico: 1500</p>
50	<p>RC crítico: 4200 RC não crítico: 4200</p>	<p>RC crítico: 3300 RC não crítico: 3500</p>
100	<p>RC crítico: 9120 RC não crítico: 9120</p>	<p>RC crítico: 6500 RC não crítico: 7600</p>

Nota: A escala dos gráficos para a distância de 100 m é diferente.

A relação entre o nível sonoro L_{eq} produzido e o volume de tráfego Q é dado por uma expressão do tipo:

$$L_{eq} = C + 10 \log Q$$

Em que C é uma constante, pelo que é possível extrapolar os valores facultados nos quadros para níveis L_{eq} diferentes de 65 dB(A) dividindo-os de acordo com o quadro 4.

Quadro 4: Volumes de tráfego correspondentes a limites diferentes de 65 dB(A)

Para nível sonoro L_{eq} de [dB(A)]:	60	55	50	45
Dividir o volume de tráfego Q por:	3,2	10	31,6	100

Os resultados dos quadros 1 a 3 estão arredondados, de modo a ficarem com apenas dois algarismos significativos. Há que ter presente na sua interpretação que eles correspondem a um indicador muito sensível a pequenas variações do nível sonoro L_{eq} , como facilmente se pode constatar pelo quadro 4.

Os valores do quadro 1 reflectem o efeito conjunto da distância das fachadas à via de tráfego e da reflexão das ondas sonoras entre fachadas e nos pavimentos. No caso apresentado em último lugar no quadro, apesar de a largura do U ser a maior, o tipo diferente de rodovia leva a que o mesmo não aconteça em relação ao volume de tráfego calculado.

Quando se suprimem as fachadas em frente – caso das ruas em L (quadro 2) -, o volume de tráfego permitido aumenta de 50 a 70%, pois é eliminado o efeito das reflexões entre fachadas.

Os resultados do quadro 3 continuam os do quadro 2. A menor distância à berma contemplada nesse quadro, $D = 5$ m, indica valores de 550 e 620 veículos ligeiros por hora para condições de solo reflector, iguais àquelas que no quadro 2 correspondem à configuração de 20 m. Comparando os valores das duas colunas do quadro 3 é visível o efeito favorável da absorção do solo, que aumenta com a distância e é mais acentuado para receptores em posição inferior.

Tem interesse analisar os resultados face aos níveis L_{eq} de referência de 65 dB(A), 55 dB(A) e 45 dB(A), tendo presente o que, sobre o assunto, se expôs na Introdução. Para tal, opta-se por exprimir os valores calculados em intervalos médios de tempo entre passagens consecutivas de veículos ligeiros, pois se crê facilitar assim a sua interpretação.

Em média, para os casos analisados, o nível L_{eq} de 65 dB(A) nas fachadas é atingido para cerca de 1 veículo ligeiro em cada 12 segundos. É óbvio que a média obtida seria diferente se fossem outros os casos escolhidos para análise, mas como critério para uma avaliação global crê-se ser este procedimento adequado. O quadro 5 resume os resultados que se obtêm contemplando as diferentes situações analisadas e os três níveis L_{eq} acima referidos.

Torna-se evidente do quadro 5, tendo presente a equivalência referida atrás de 17 veículos ligeiros para 1 veículo pesado, que só com uma forte limitação da circulação de pesados será viável a satisfação dos níveis L_{eq} de referência. Naturalmente, que essa limitação será menos severa quando os edifícios estão mais afastados e o nível L_{eq} é maior. Por outro lado, para os limites mais severos e para as ruas em U ou L tratadas terá que haver praticamente eliminação da circulação de pesados.

O tráfego de ligeiros terá também restrições mais ou menos severas, consoante os casos. Os valores do quadro 5 exprimem directamente essas restrições. Para as satisfazer é necessário conciliar as opções relativas à geometria do espaço urbano com as que determinam os fluxos de tráfego. Estas últimas são fortemente condicionadas pela localização dos pólos geradores de tráfego e pelos condicionamentos à circulação (sentidos de circulação, prioridades, ruas sem saída, etc.)

No que respeita à geometria urbana interessa ter presente, em primeiro lugar, o efeito da distância. É possível obter reduções apreciáveis do nível L_{eq} nas fachadas com o aumento das distâncias quando estão muito próximas das vias de tráfego, mas esse efeito é bem menos pronunciado a distâncias elevadas. Por exemplo, recuar 5 m uma fachada no bordo de uma via de tráfego permite uma redução do nível sonoro a que está exposta muito superior a idêntico recuo de uma fachada a 10 ou 20 m dessa via. Ou seja, se o tráfego é intenso e mesmo a distâncias relativamente elevadas produz níveis acima dos limites, não é pelo aumento dessas distâncias que se conseguem grandes alterações.

O efeito das reflexões no solo e nas fachadas está quantificado nos resultados apresentados, que tornam evidente o partido que é possível tirar do controle desse fenómeno.

Interessa referir ainda, por lembrança, outro aspecto que a análise efectuada não contempla: o efeito dos obstáculos. Esse efeito é muito importante e com tráfego elevado é praticamente indispensável aproveitá-lo. Pode conseguir-se basicamente por três vias, que não é intenção desta comunicação desenvolver e que apenas se citam: modelação do terreno, disposição de edifícios destinados a usos não sensíveis ou menos sensíveis ao ruído (comércio, serviços) como tampão e construção de barreiras sonoras.

Quadro 5 – Intervalos médios de tempo entre passagens consecutivas de veículos ligeiros, nos casos estudados, para diferentes níveis L_{eq}

NÍVEIS L_{eq} NAS FACHADAS dB(A)		65	55	45
Ruas em U		12 s	2 min	20 min
Ruas em L		8 s	1,3 min	13 min
Afastamentos ao bordo da via de tráfego sendo o solo absorvente	10 m	4 s	40 s	6 min
	20 m	2 s	20 s	3,5 min
	50 m	1 s	9 s	1,5 min
	100 m	0,4 s	4 s	40 s

4. Conclusões e considerações finais

Fazendo uso de procedimentos de cálculo apropriados, foram determinados, para diferentes situações tipo, os volumes de tráfego compatíveis com limites de referência do nível sonoro contínuo equivalente L_{eq} nas fachadas expostas ao ruído produzido. Os resultados são, primeiro, sistematizados nos quadros 1 a 3 e, depois, tratados e resumidos para níveis L_{eq} de 65 dB(A), 55 dB(A) e 45 dB(A) no quadro 5.

Constata-se que a satisfação dos níveis L_{eq} de referência impõe restrições muito severas ao tráfego pesado e bastante significativas ao tráfego ligeiro, traduzidas estas pelos valores do quadro 5. Na parte final do número anterior, fazem-se alguns comentários sobre as disposições a tomar para satisfazer os níveis sonoros referidos.

Por fim, é importante salientar que os resultados apresentados apenas têm em vista facultar aos urbanistas informação que se crê útil para orientar as suas decisões no que respeita à componente ruído. Mas não podem ser usados em substituição dos resultados que um estudo de ruído dá. São, com efeito, muitos os factores condicionantes, que o intuito de simplificação dos resultados levou a fixar dentro de certas hipóteses que são apresentadas no texto, mas que, em situações concretas, há que avaliar, caso a caso, se são aplicáveis.

Referências bibliográficas

- [1] PORTUGAL - *Leis, decretos, etc.- Regime legal sobre poluição sonora (Regulamento geral do Ruído)*. Lisboa, Imprensa Nacional. Decreto-lei n.º 292/2000 de 14/11.
- [2] UNIÃO EUROPEIA – *Directivas.- Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25/6 relativa à avaliação da gestão do ruído ambiente*. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 18/7/2002.
- [3] DATAKUSTIK – *Manual Cadna A (Version 3.4)*. Greifenberg, 2004.
- [4] CERTU *et al – Bruit des infrastructures routières. Méthode de calcul incluant les effets météorologiques. Version expérimentale. NMPB – Routes – 96*. Lyon, Bureau Éditions du CERTU, 1997.
- [5] Normalisation française XP S 31-133 (Avril 2001). Saint-Denis La Plaine, Association Française de Normalisation.