

Influência da amostragem nas medições dos níveis sonoros médios de longa duração e seu efeito nos descritores de ruído

Mateus, Mário L. O. S.¹; Gameiro da Silva, Manuel C.¹

¹ADAI – Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra – Pólo II, 3030-201 Coimbra, PORTUGAL
Tel. (351) 239 708 580 Fax: (351) 239 708 589
mario.mateus@adai.pt, manuel.gameiro@dem.uc.pt

Resumo

Actualmente, são levadas a cabo avaliações de ruído ambiental com diferentes objectivos, destacando-se o licenciamento de edifícios e instalações urbanas e industriais, a validação de cálculo de mapas de ruído, estudos científicos, etc. Uma vez que o tipo de sinal em análise é de natureza tipicamente aleatória, ainda que com alguma componente periódica, não é fácil definir os parâmetros de amostragem a usar nas campanhas de medição. Além disso, o descritor geralmente usado para caracterizar o ruído ambiente, o nível equivalente de ruído L_{eq} , é calculado através de um algoritmo onde a aplicação de logaritmos cria fortes assimetrias na contribuição relativa dos níveis de pressão sonora individuais usados para o cálculo. Em cada período, os valores máximos são fortemente dominantes na formação do valor do nível do ruído equivalente final. No presente trabalho, é apresentada uma análise da influência dos parâmetros de amostragem dos sinais sonoros na incerteza dos descritores de ruído ambiente (L_{den} e L_n). O trabalho baseia-se na reamostragem de valores de $L_{Aeq,30min}$ recolhidos, em contínuo, num ambiente urbano, por um período de três semanas.

Palavras-chave: Medições de longa duração, Indicadores de ruído; Incerteza.

Abstract

Evaluations of environmental noise are nowadays frequently carried out for different purposes, e. g. licensing of urban and industrial buildings and facilities, validation of noise maps calculations, scientific studies, etc. As the type of the signal under analysis has a typical random nature, even if with some periodicity pattern, it is not easy the definition of the sampling parameters to be used in measuring campaigns. Moreover, the descriptor usually used to characterize environmental noise, the noise equivalent level L_{eq} , is calculated through an algorithm where the application of logarithms creates strong asymmetries in the relative contributions of the individual sound pressure levels used to compute it. In each period, the maximum levels of sound pressure are strongly dominant in the formation of the final noise equivalent level value. In the present work an analysis of the influence of sampling parameters of noise signals on the uncertainty of environmental noise descriptors (L_{den} and L_n) is presented. The work is based on the resampling of records of $L_{Aeq,30min}$ data collected continuously in urban environment during a period of three weeks.

Keywords: Long term measurements; Noise descriptors; Uncertainty.

1 Introdução

A necessidade da implementação de políticas que privilegiem a melhoria de qualidade de vida das populações urbanas, nos múltiplos aspectos de que este conceito se reveste, tem sido afirmada em vários documentos orientadores da Organização Mundial de Saúde, tendo a União Europeia aprovado um conjunto de Directivas nesse sentido, que têm sido transpostas para as legislações nacionais pelos seus Estados-Membros. É, pois, neste contexto, que foi publicada e posteriormente transposta para o Direito Português, a Directiva nº 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho. Esta directiva alterou significativamente a metodologia para a avaliação e gestão do ruído ambiente, tendo por isso dado origem à publicação do Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de Janeiro, que fez aprovar o Regulamento Geral de Ruído actualmente em vigor.

O novo diploma veio permitir a adopção de indicadores de ruído ambiente harmonizados com os restantes estados membros. Estes indicadores são obtidos com base em níveis sonoros contínuos equivalentes, ponderados com a curva A e obtidos durante um determinado intervalo de tempo, os designados $L_{Aeq,T}$.

Tais indicadores são, pois, usados para estimar o nível de exposição à energia sonora a que as populações e os territórios se encontram sujeitos ao longo de determinados períodos temporais; neste caso ao longo de um ano.

2 Indicadores de ruído e sua caracterização

A expressão (1) abaixo representa o indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno, L_{den} , que vem naturalmente expresso em dB(A). É obtido através dos indicadores parciais L_d , para o ruído diurno, L_e , para o ruído do entardecer, e L_n , para o ruído nocturno.

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

O indicador L_{den} é, na realidade, obtido pela média logarítmica dos níveis sonoros médios obtidos para os três períodos, com uma ponderação temporal adaptada à duração de cada um deles. A actual legislação divide um dia (período de 24 horas) em três intervalos de referência:

- i) período diurno – das 7 às 20 horas;
- ii) período do entardecer – das 20 às 23 horas;
- iii) período nocturno – das 23 às 7 horas.

A escolha da duração destes intervalos é da competência de cada estado membro, de forma a estarem adaptados à actividade humana de cada região (estado membro). Esta realidade tem, naturalmente, em conta o facto de ser a actividade humana, em todas as suas vertentes, o principal factor gerador de ruído ambiente.

Sendo o indicador L_{den} , obtido matematicamente pela expressão anterior, o seu grau de precisão estará intimamente ligado à precisão e ao rigor com que se determinam os factores (indicadores) intervenientes.

Cada um dos indicadores L_d , L_e e L_n , deverá, individualmente, ter uma representatividade anual, para que possam conferir o mesmo grau de representatividade ao indicador L_{den} .

Aqueles indicadores são, na realidade, níveis sonoros médios de longa duração que, não sendo adquiridos em contínuo, devem tanto quanto possível ser representativos dos períodos que pretendem caracterizar. Tal como são definidos na Norma NP 1730-1:1996 e na versão da Norma ISO 1996-1:2003, são caracterizados através de níveis sonoros contínuos equivalentes, durante um determinado intervalo de tempo.

A expressão (2) permite calcular o nível sonoro médio de longa duração, $L_{Aeq,LT}$, em dB(A), para um intervalo de tempo de referência, no caso em análise entenda-se um ano.

$$L_{Aeq,LT} = 10 \times \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 L_{Aeq,T_i}} \right] \quad (2).$$

Não sendo este valor adquirido em contínuo, são assim efectuadas várias amostras, L_{Aeq,T_i} , que individualmente devem tanto quanto possível ser representativas da grandeza que se pretende caracterizar, e deve, por isso, abarcar todas as variações significativas dos campos sonoros estabelecidos na zona em análise.

Estas variações podem ser originadas pelas próprias fontes geradoras, mas também por factores externos que afectam as condições de propagação da energia sonora, como, por exemplo, factores meteorológicos.

As variações impostas pelas fontes podem evidenciar, em algumas situações, natureza cíclica, podendo a sua periodicidade ser diária, semanal, mensal, ou outra.

Também as condições de propagação podem ser alteradas em função da periodicidade de ocorrência das estações meteorológicas, pelo que também será de admitir a sua influência. Todos estes fenómenos devem ser levados em conta durante o processo de amostragem e de medição. A este respeito, a Norma ISO 1996-2:2007 refere, de forma geral, que o tempo de medição deverá conter todas as variações significativas da emissão e da propagação e ainda que, sempre que o ruído manifeste características cíclicas, o tempo de medição deve pelo menos abranger três ciclos completos. Nas situações em que não for possível efectuar medições em contínuo, então os intervalos de tempo de medição devem ser escolhidos para que cada um, individualmente, represente uma parte do ciclo, e todos juntos possam representar um ciclo completo.

Diga-se, ainda, que estes critérios se podem aplicar, não apenas no domínio da acústica, mas em todos os domínios físicos onde exista a necessidade de medir e caracterizar grandezas variáveis no tempo.

3 Medições em campo – caso de estudo

Com o objectivo de analisar o efeito do parâmetro tempo na amostragem dos níveis sonoros e da sua influência nos indicadores de ruído, efectuou-se um conjunto de medições em contínuo perfazendo uma duração total de 3 semanas.

O parâmetro registado foi o nível sonoro contínuo equivalente, adquirido em contínuo, durante períodos de 30 minutos consecutivos, $L_{Aeq,30min}$, para o que se utilizou um analisador da classe I, com capacidade de armazenamento de dados. Estes foram posteriormente transferidos para um programa informático para posterior processamento.

As medições foram efectuadas a uma altura de 12 m e uma distância aproximada de 100 m de uma via colectora, cujo fluxo de tráfego, bastante fluído, é da ordem de 20.000 veículos/dia, numa zona urbana, na cidade de Coimbra.

Na figura 1, apresenta-se o padrão de evolução dos $L_{Aeq,30min}$ ao longo de um período de 24 h.

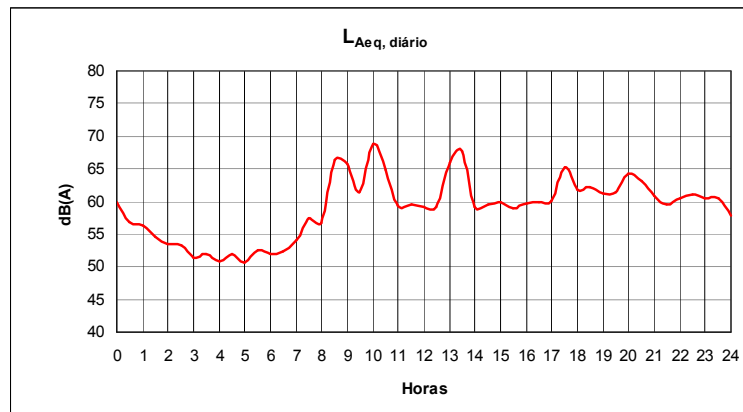


Figura 1 – Evolução do padrão diário dos níveis $L_{Aeq,30min}$ ao longo de um período de 24 h.

Da análise da figura, verifica-se que os valores $L_{Aeq,30min}$ sofrem variações consideráveis ao longo de um período de 24h. Estas estão intimamente relacionadas com a distribuição do fluxo de tráfego na zona, sendo esta a fonte condicionante de ruído ambiente no local estudado, podendo atingir amplitudes de 10 dB nos períodos diurno e nocturno.

Magnitudes desta ordem terão inevitáveis repercussões nos níveis sonoros médios de longa duração, $L_{Aeq,LT}$, e consequentemente nos indicadores de ruído, L_{den} e L_n , se a recolha de dados for efectuada com aquisições de curta duração, quando comparada com os períodos de referência, e de forma aleatória dentro desses períodos, o que facilmente se conclui da observação da expressão (1).

4 Metodologia e processamento dos dados

De forma a ser possível evidenciar a magnitude dos erros que se possam cometer, os ficheiros contendo os valores de $L_{Aeq,30 min}$, obtidos em contínuo durante as 3 semanas em que decorreram as medições foram transferidos para uma aplicação informática, desenvolvida em LabVIEW, onde foram processados.

Com o ficheiro inicial, foram criados três ficheiros distintos, contendo sequências obtidas com a junção, ordenada por ordem de ocorrência, das séries temporais dos valores adquiridos ao longo das 3

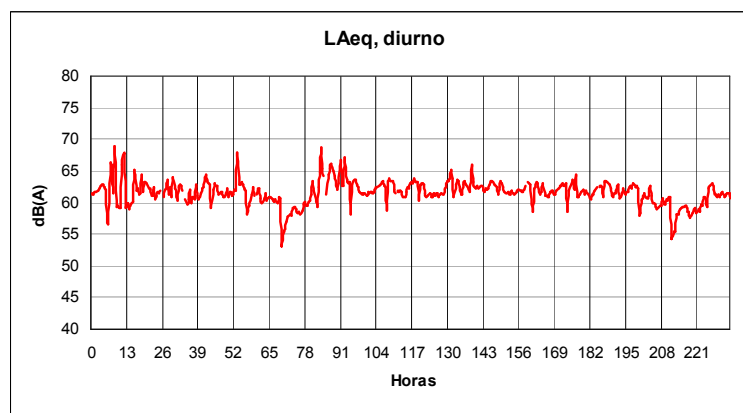


Figura 2 – Variação dos níveis $L_{Aeq,30min}$ ao longo dos períodos diurnos adquiridos, para cada um dos períodos de referência.

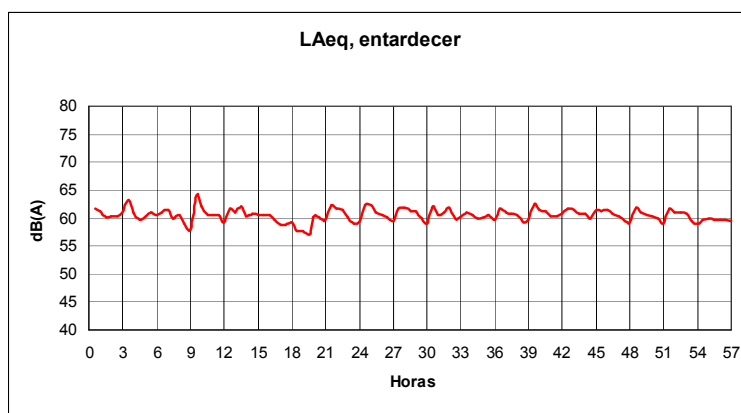


Figura 3 – Variação dos níveis $L_{Aeq,30min}$ ao longo dos períodos do entardecer adquiridos.

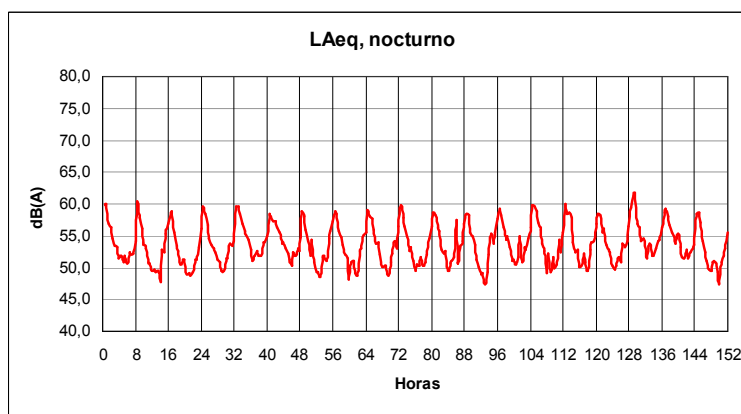


Figura 4 – Variação dos níveis $L_{Aeq,30min}$ ao longo dos períodos nocturnos adquiridos.

As figuras anteriores, em particular as que representam os períodos diurno e nocturno, mostram claramente que os níveis $L_{Aeq,30min}$ têm uma variabilidade interna substancial dentro de cada período. Se nas figuras 2 e 3 não é fácil identificar alguma tendência de repetição, esta é inequivocamente mostrada na figura 4 onde se encontram representados todos os períodos nocturnos adquiridos durante a campanha de medição.

4.1 Monitorização em contínuo – Efeito do tempo total de amostragem

Para as amostras recolhidas, efectuou-se a integração dos valores $L_{Aeq,30min}$, o que na prática corresponderia a uma medição em contínuo, desde o instante inicial até perfazer a duração da totalidade de cada período de referência. Nas figuras 5, 6 e 7, mostram-se os resultados obtidos.

Desta forma, verifica-se que, durante os períodos diurno e nocturno, o valor acumulado a que corresponderia o nível sonoro médio de longa duração e que permitiria obter os indicadores de ruído diurno e nocturno, respectivamente, L_d e L_n , só entraria definitivamente numa faixa de erro de ± 1 dB, após ter decorrido pelo menos um período de referência completo.

Para a amostra em análise, este facto não se manifesta no período do entardecer, uma vez que os níveis $L_{Aeq,30min}$, adquiridos durante este período manifestam uma diminuta variabilidade.

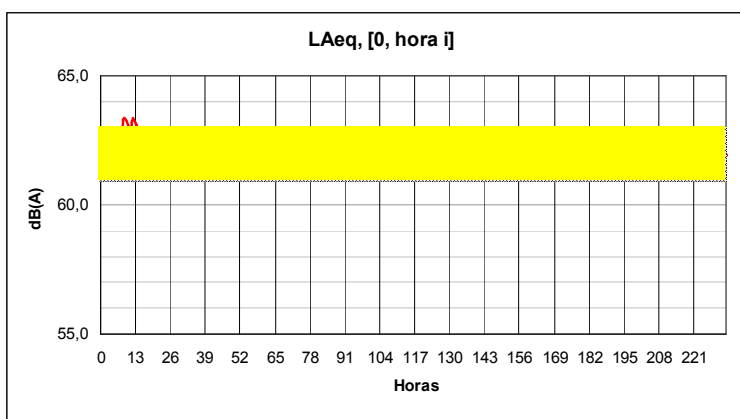


Figura 5 – Valor acumulado dos níveis $L_{Aeq,30min}$ desde o início das medições até ao fim dos períodos diurnos.

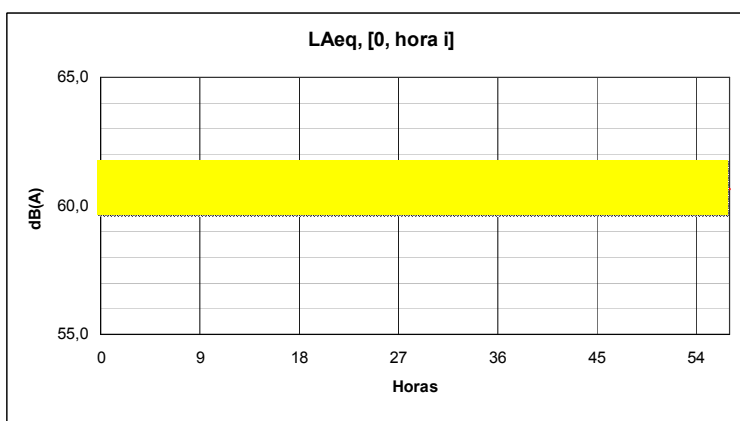


Figura 6 – Valor acumulado dos níveis $L_{Aeq,30min}$ desde o início das medições até ao fim dos períodos de entardecer.

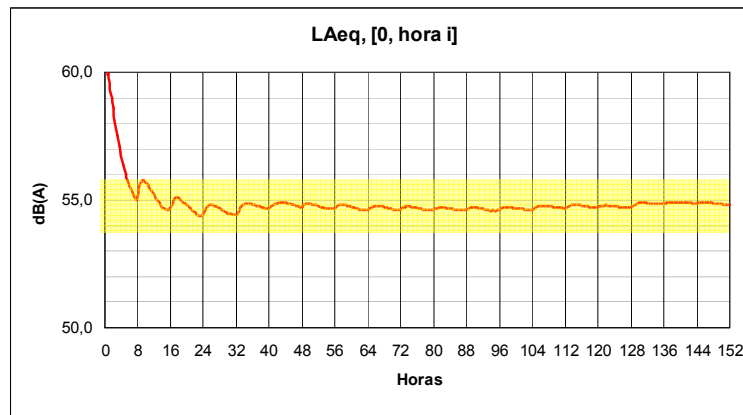


Figura 7 – Valor acumulado dos níveis $L_{Aeq,30min}$ desde o início das medições até ao fim dos períodos nocturnos.

4.2 Aquisição em períodos não contínuos – teste de estratégias de amostragem

Foi desenvolvida uma aplicação computacional que permite testar o efeito de diferentes estratégias de amostragem para a determinação dos níveis de ruído equivalente de cada um dos períodos de referência. Sobre os mesmos ficheiros referidos no ponto anterior, o programa de cálculo efectua o número de recolhas escolhido pelo operador, de um conjunto de n amostras com a duração também definida pelo operador. Apresenta-se o caso em que foi simulada 5000 vezes a repetição da recolha de 3 amostras com a duração de 30 minutos, $L_{Aeq,30min}$, retiradas de forma aleatória.

Os resultados obtidos são apresentados nas figuras 8, 9 e 10, sendo apresentados, para cada um dos períodos de referência, os histogramas dos valores de nível equivalente de ruído, bem como as respectivas variáveis estatísticas, a média e o desvio-padrão.

Calculou-se, para cada um dos 5000 conjuntos de 3 valores, correspondente a cada dos três períodos de referência, o desvio padrão tendo-se registado o valor máximo ocorrido em cada caso. Os valores obtidos foram 7,34 dB, 2,30 dB e 6,74 dB, respectivamente, para os períodos diurnos, do entardecer e nocturnos.

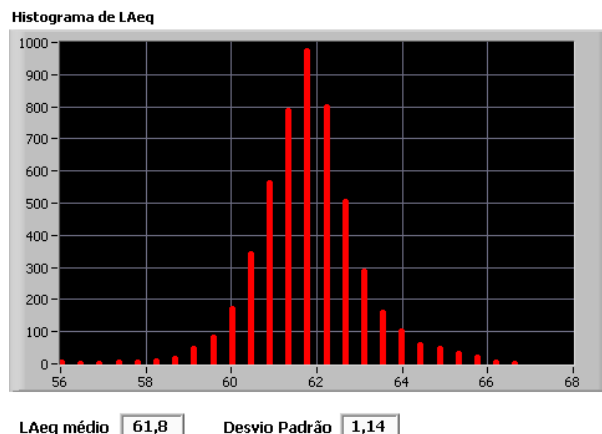


Figura 8 – Histograma do indicador L_d e respectivas variáveis estatísticas, para o caso simulado.

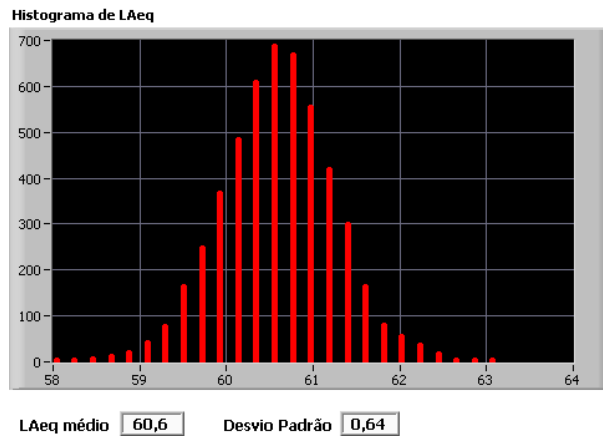


Figura 9 – Valores médios para o indicador L_e e seu desvio padrão.

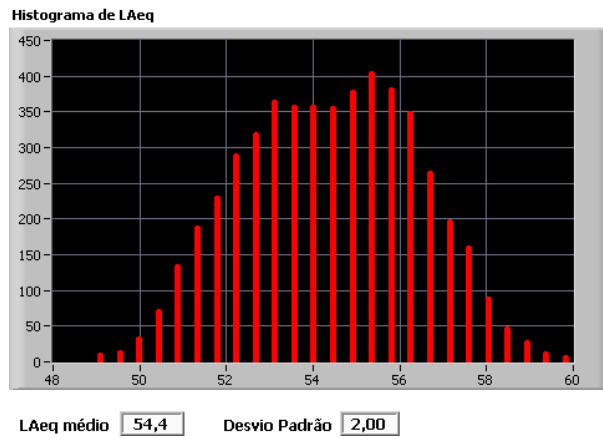


Figura 10 – Valores médios para o indicador L_n e seu desvio padrão.

5 Estimativa da incerteza para o indicador L_{den}

Com base nos valores dos desvios padrão obtidos nas 5000 repetições, pode-se estimar o valor da incerteza para o indicador L_{den} .

O modelo matemático para o cálculo de incertezas do indicador L_{den} pode ser descrito pela expressão seguinte:

$$\begin{aligned}
 u^2 L_{den} = & \frac{\partial L_{den}^2}{\partial L_d} \times (u^2 L_d + u^2_{inst} + u^2_{meteo}) + \frac{\partial L_{den}^2}{\partial L_e} \times (u^2 L_e + u^2_{inst} + u^2_{meteo}) + \\
 & + \frac{\partial L_{den}^2}{\partial L_n} \times (u^2 L_n + u^2_{inst} + u^2_{meteo})
 \end{aligned} \tag{3}$$

onde:

uL_d – Componente devida à incerteza do indicador L_d , desvio padrão médio das medições;

uL_e – Componente devida à incerteza do indicador L_e , desvio padrão médio das medições;

uL_n – Componente devida à incerteza do indicador L_n , desvio padrão médio das medições;

u_{inst} – Componente devida à incerteza da cadeia de medição, igual a 1 dB;

u_{meteo} – Componente de incerteza para as condições meteorológicas e a distância da fonte, igual a 2 dB;

$$\frac{\partial L_{den}}{\partial L_d} = \text{Coeficiente de sensibilidade devido a } L_d, \text{ tomando neste caso o valor } 0,374;$$

$$\frac{\partial L_{den}}{\partial L_e} = \text{Coeficiente de sensibilidade devido a } L_e, \text{ tomando neste caso o valor } 0,207;$$

$$\frac{\partial L_{den}}{\partial L_n} = \text{Coeficiente de sensibilidade devido a } L_n, \text{ tomando neste caso o valor } 0,419.$$

Aplicando os valores anteriores na expressão (3), a incerteza combinada vem igual a

$$u^2 L_{den} = 0,374^2 \times (1,14^2 + 1^2 + 2^2) + 0,207^2 \times (0,64^2 + 1^2 + 2^2) + 0,419^2 \times (2,00^2 + 1^2 + 2^2) \quad (4)$$

Vindo finalmente a incerteza expandida igual ao valor da incerteza combinada multiplicada por um factor de expansão $k=2$, a que corresponde uma distribuição com uma probabilidade de 95%.

$$UL_{den} = \pm 2 \times u^2 L_{den} = 3,3 \text{ dB} \quad (5)$$

6 Conclusão

Tendo presente as características dos parâmetros com que são determinados os descritores de ruído e a sua sensibilidade aos valores máximos dos níveis de pressão sonora, bem como ao tempo de integração (tempo de medição), conclui-se que poderão ser cometidos erros significativos em medições pontuais de curta duração, quando o padrão de ruído apresentar grandes variações ao longo do período de referência que se pretende caracterizar.

Os valores estimados para a incerteza, tendo por base medições pontuais, podem levar a valores significativamente superiores aos simulados no presente trabalho, uma vez que ficarão fortemente dependentes da dispersão das leituras efectuadas.

A adopção de metodologias para a caracterização de níveis sonoros de longa duração, que não contemplem medições em contínuo, ou semi-contínuo, ou seja com base em medições pontuais e de duração muito curta quando comparada com a do período de referência em análise, deve ter por base uma reflexão cuidada relativamente aos parâmetros de amostragem.

A escolha do tempo de medição, o número de medições e a sua distribuição ao longo do período que se pretende caracterizar, deverá ser tomada sempre com base no conhecimento da evolução do padrão característico da componente acústica da zona. Não sendo assim, as medições dificilmente poderão ser consideradas como tendo mais representatividade do que o “*instantâneo fotográfico*” daquele momento.

Na realidade, parece não ser fácil, nem consensual, estabelecer um critério específico para estas amostragens. Tal facto prende-se com a natureza e a variabilidade da grandeza em causa, uma vez que esta difere de caso para caso. Tenha-se, para isso, em atenção a natureza e a diversidade das fontes.

Referências

- [1] Directiva nº 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho.
- [2] Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de Janeiro – *Regulamento Geral do Ruído*, INCM, Lisboa, 2007.

- [3] Norma NP 1730-1:1996 – *Acústica – Descrição e medição do ruído ambiente – Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos*, IPQ, Monte da Caparica, 1996.
- [4] Norma ISO 1996-1:2003 – *Acoustic - Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures*, ISO, Switzerland, 2003.
- [5] Norma ISO 1996-2:2007 – *Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise levels – Part 2: Determination of environmental noise levels*, ISO, Switzerland, 2007.