

## Especificidades da Monitorização do Ruído de Tráfego Ferroviário

Vitor Rosão<sup>1</sup>, Liliano Abreu<sup>2</sup>, Eusébio Conceição<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve;  
[vitortadeiarosao@gmail.com](mailto:vitortadeiarosao@gmail.com)

<sup>2</sup> SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído; T.: 289998009; F.: 289998318;  
[lilianoabreu@schiu.com](mailto:lilianoabreu@schiu.com)

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve; [econcei@ualg.pt](mailto:econcei@ualg.pt)

**Resumo:** O Ruído de Tráfego Ferroviário, devido a uma menor variabilidade do número e tipo de ocorrências, quando comparado, por exemplo, com o tráfego rodoviário, faz com que seja viável a efectivação de uma monitorização por amostragem do ruído associado à passagem de cada um dos tipos de comboios que circulam na via-férrea, e no cálculo do Ruído Global tendo por base os dados de tráfego específicos da via. Assim, a incerteza dos resultados deste tipo de monitorização por amostragem, dependente da variabilidade do ruído associado a cada um dos tipos de comboio existentes e da importância que cada um desses tipos de comboio possui no conjunto das ocorrências diárias, quer em termos da importância de cada evento singular (caracterização *in situ*) quer em termos da importância do número total de eventos diários de cada tipo de comboio (dados de tráfego). Este trabalho discute e apresenta a forma de cálculo da incerteza global dos resultados da monitorização do ruído de tráfego ferroviário, em função das variabilidades singulares dos comboios e da sua importância no conjunto global de ocorrências diárias.

### 1- INTRODUÇÃO E OBJECTIVO

A referência [1] estabelece o seguinte, no capítulo “6.3 Rail traffic” (tradução livre):

*As medições deverão caracterizar o ruído de passagem de pelo menos 20 comboios. Cada categoria de comboio que contribui significativamente para o  $L_{eq}$  global deverá ser representada pelo menos por 5 passagens. Se necessário, as medições deverão continuar num dia subsequente.*

Face ao explicitado pelo menos 4 perguntas se impõem:

1. Se não caracterizarmos 20 comboios e pelo menos 5 comboios de cada uma das categorias que contribui mais significativamente para o ruído global, quais as consequências?
2. Como calculamos o  $L_{eq}$  global com base nos valores individuais de passagem?
3. Efectuar mais ou menos tempo de medição na obtenção dos valores individuais de passagem tem influência no valor global?
4. Como fazemos para determinar se uma dada categoria contribui significativamente para o  $L_{eq}$  global?

No nosso entender a resposta à 1.ª pergunta é a seguinte:

- As consequências vão ser a nível da exactidão dos resultados, sendo que em determinados casos pode ser suficiente uma menor exactidão. Se quisermos uma maior exactidão são necessárias mais medições, sendo a quantidade necessária, para uma dada exactidão, dependente da variabilidade específica de cada caso.

De facto a referência [2] vai de encontro ao referido, conforme se pode verificar na seguinte tradução livre constante no capítulo "7.3 Rail traffic" dessa referência:

*O número de passagens necessárias para obter a média da variação da emissão sonora individual dos veículos depende da exactidão pretendida. Se não estiver disponível outra informação, a incerteza padrão, denotada por  $u_{sou}$  na Tabela 1, pode ser calculada através da seguinte equação:*

$$u_{sou} [dB] \cong C/(n)^{1/2}$$

onde  $n$  é o número de passagens. Se a amostragem for efectuada sem ter em conta as condições de operação assumam-se  $C = 10$ , enquanto se a amostragem tiver em conta a ocorrência relativa dos diferentes tipos de comboio (mercadorias, passageiros, etc) esse valor pode ser diminuído para 5.

Confrontando a expressão anterior com a expressão constante na página 44 da referência [3], verifica-se que a incógnita  $C$  corresponde, nada mais nada menos, ao desvio padrão  $\sigma$ , o qual pode ser obtido mediante medições através da seguinte expressão (página 38 da referência [3]):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

onde  $x_i$  corresponde aos resultados de cada medição,  $\bar{x}$  à média aritmética e  $n$  ao número de medições.

Face ao enunciado, tem-se que a referência [2] estabelece, ao fim e ao cabo, uma variabilidade típica para as ferrovias, na ausência de outra informação, correspondente aos seguintes desvios padrão típicos:

- $\sigma = 10$  dB, se não forem tidos em conta os diferentes tipos de comboios.
- $\sigma = 5$  dB, se forem tidos em conta os diferentes tipos de comboios.

Apresenta-se assim como relevante determinar, através de medições *in situ*, em situação real, qual o tipo de variabilidade representativa dos desvios padrão assumidos pela referência [2].

Os objectivos do presente trabalho são assim os seguintes:

1. Determinar, através de medições *in situ*, o desvio padrão de duas situações distintas, com diferente variabilidade dos níveis sonoros, para tentar obter uma referência guia para a variabilidade assumida pela referência [2] e verificar quais as consequências da utilização de um número de medições maior ou menor (capítulo 2).

2. Explicitar a forma de cálculo do  $L_{eq}$  global, com base nos valores individuais de passagem, e demonstrar a influência do tempo de medição de cada passagem (capítulo 3).
3. Deduzir uma forma quantitativa para determinação de quais as categorias com maior influência não só no  $L_{eq}$  global mas também na incerteza padrão global (capítulo 4).
4. Apresentar, em conformidade com o desenvolvido nos pontos anteriores, uma metodologia geral de monitorização do ruído de tráfego ferroviário (capítulo 5).

## 2- DESVIO PADRÃO DE 2 SITUAÇÕES DISTINTAS

### 2.1- SITUAÇÕES CARACTERIZADAS

Foram efectuadas medições dos níveis sonoros à passagem de Comboios Regionais, junto à Linha Férrea do Algarve, em 2 Situações (2 pontos):

1. Um ponto perto da Estação de Faro (Ponto 1), onde é expectável uma maior variabilidade das velocidades de circulação dos Comboios e, subsequentemente, uma maior variabilidade dos níveis sonoros.
2. Um ponto afastado de estações e apeadeiros (Ponto 2), onde é expectável uma menor variabilidade das velocidades de circulação dos comboios e, subsequentemente, uma menor variabilidade dos níveis sonoros.

Por serem em maior número e tendo em vista a obtenção de desvios padrão de referência, apenas foram caracterizados Comboios Regionais e apenas foram caracterizados 5 Comboios em cada ponto.

### 2.2- EQUIPAMENTOS

Foram utilizados sonómetros de Classe 1 (NA27 da RION e SOLO da 01 dB) para as medições dos níveis sonoros, e um radar Bushnell para a medição das velocidades de circulação (conforme se ilustra nas Figuras seguintes).

### 2.3- NÍVEIS SONOROS E VELOCIDADES DE CIRCULAÇÃO OBTIDOS

Apresentam-se nas figuras seguintes o  $L_{eq}$  de 10 segundos (5 segundos antes e 5 segundos depois da passagem), as respectivas velocidades de circulação dos Comboios, a variação dos níveis sonoros ao longo do tempo de passagem e um apontamento fotográfico da passagem.

#### 2.2.1- PONTO 1

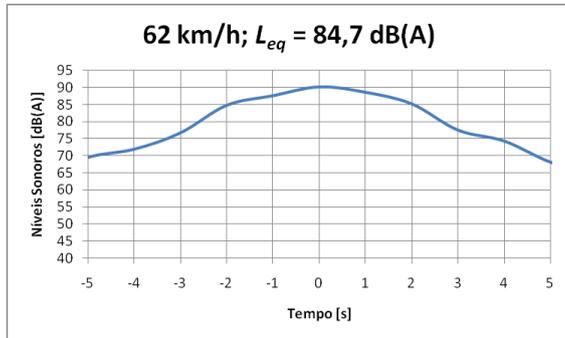


Figura 1 – Resultados da medição 1 no Ponto 1.

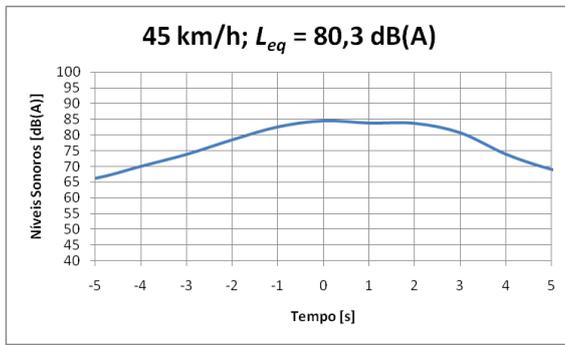


Figura 2 – Resultados da medição 2 no Ponto 1.

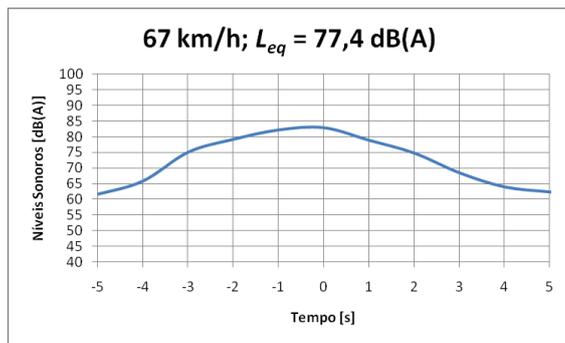


Figura 3 – Resultados da medição 3 no Ponto 1.

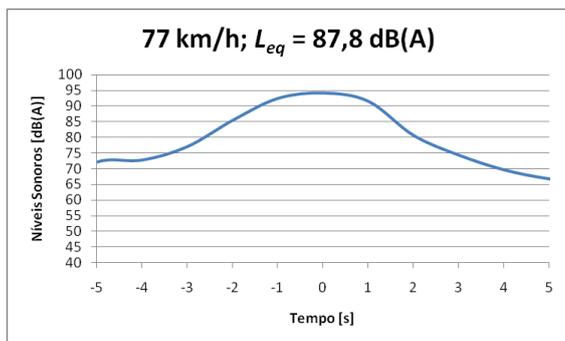


Figura 4 – Resultados da medição 4 no Ponto 1.

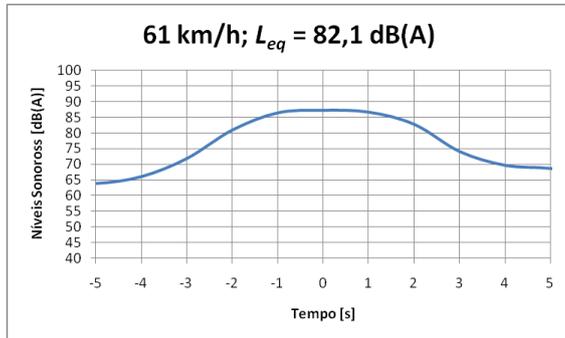


Figura 5 – Resultados da medição 5 no Ponto 1.

### 2.2.2- PONTO 2

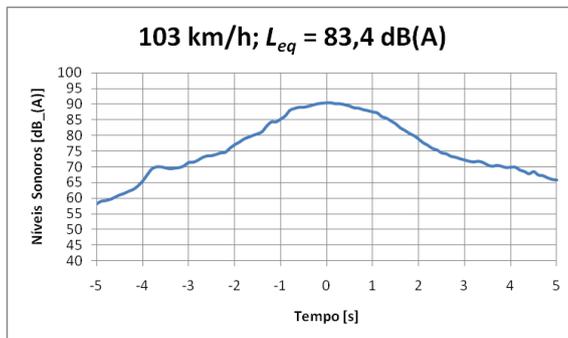


Figura 6 – Resultados da medição 1 no Ponto 2.

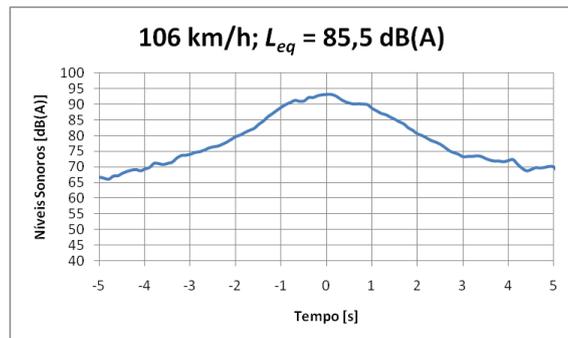


Figura 7 – Resultados da medição 2 no Ponto 2.

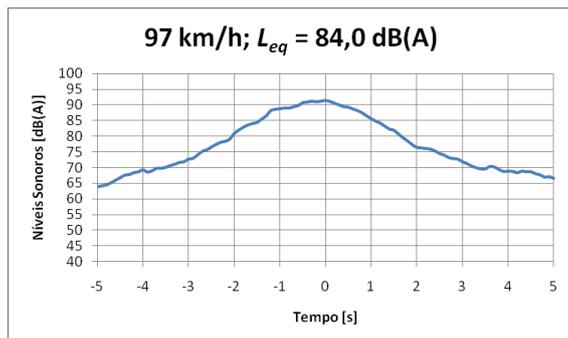


Figura 8 – Resultados da medição 3 no Ponto 2.

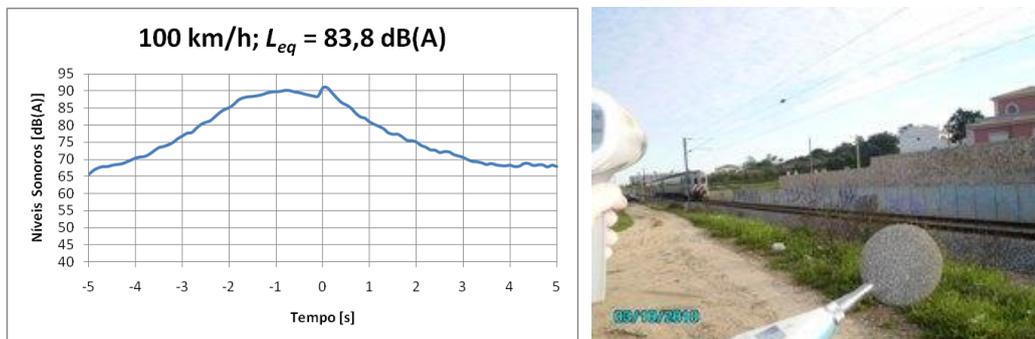


Figura 9 – Resultados da medição 4 no Ponto 2.

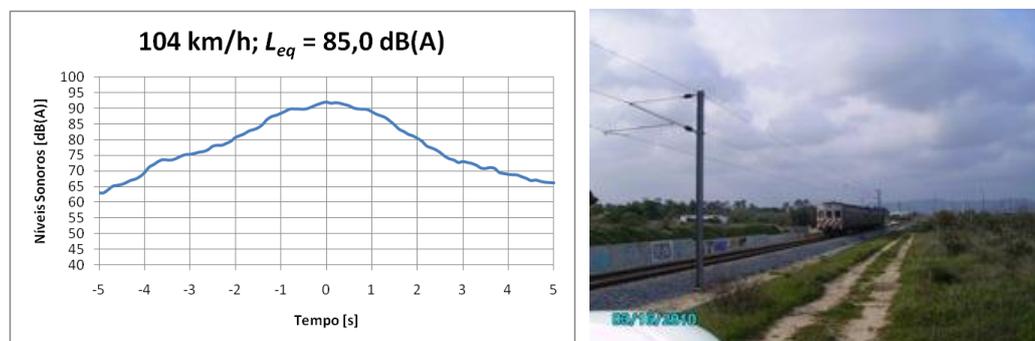


Figura 10 – Resultados da medição 5 no Ponto 2.

### 2.3- DESVIOS PADRÃO OBTIDOS

Apresenta-se no Quadro 1 os valores de  $L_{eq}$  obtidos, a respectiva média aritmética ( $\langle L_{eq} \rangle$ ), e os respectivos desvios padrão.

Quadro 1 – Valores obtidos para os desvios padrão.

$L_{eq}$		$\langle L_{eq} \rangle$		Desvio Padrão	
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2
84,7 dB(A)	83,4 dB(A)	82,5 dB(A)	84,3 dB(A)	4 dB(A)	0,9 dB(A)
80,3 dB(A)	85,5 dB(A)				
77,4 dB(A)	84,0 dB(A)				
87,8 dB(A)	83,8 dB(A)				
82,1 dB(A)	85,0 dB(A)				

### 2.4- REPRESENTATIVIDADE DE C = 5 dB

Tendo por base os valores apresentados no Quadro 1, verifica-se que o valor  $C = 5 \text{ dB}$  considerado na referência [2], é aproximadamente representativo da variabilidade dos níveis sonoros dos Comboios Regionais, na Linha do Algarve, junto à Estação de Faro (Ponto 1), onde existe uma significativa variação das velocidades de circulação (45 a 77 km/h)], e onde o desvio padrão obtido foi  $C = 4 \text{ dB}$ .

No Ponto 2, em situação de menor variabilidade (97 a 106 km/h) o desvio padrão é, de acordo com as medições efectuadas, 4 vezes inferior ( $C \approx 1 \text{ dB}$ ).

## 2.4- CONSEQUÊNCIAS DE UM MAIOR OU MENOR NÚMERO DE MEDIÇÕES

Fazendo uso da expressão:

$$u_{sou} \text{ [dB]} \cong \sigma/(n)^{1/2}$$

Temos as seguintes incertezas padrão para as duas Situações caracterizadas, para as 5 medições efectuadas:

- Ponto 1:  $u_{sou} = 4/(5)^{1/2} \approx 1,8$  dB.
- Ponto 2:  $u_{sou} = 0.9/(5)^{1/2} \approx 0,4$  dB

Para 3 medições teríamos (admitindo, por simplicidade, o mesmo desvio padrão):

- Ponto 1:  $u_{sou} = 4/(3)^{1/2} \approx 2,3$  dB.
- Ponto 2:  $u_{sou} = 4/(3)^{1/2} \approx 0,5$  dB.

Para 20 medições teríamos (admitindo, por simplicidade, o mesmo desvio padrão):

- Ponto 1:  $u_{sou} = 4/(20)^{1/2} \approx 0,9$  dB.
- Ponto 2:  $u_{sou} = 4/(20)^{1/2} \approx 0,2$  dB.

Utilizando um factor de expansão de 2 (nível de confiança de 95 %), podemos escrever:

- Ponto 1:
  - 3 medições:
    - $L_{eq} = 83 \pm 5$  dB(A).
  - 5 medições:
    - $L_{eq} = 83 \pm 4$  dB(A).
  - 20 medições:
    - $L_{eq} = 83 \pm 2$  dB(A).
- Ponto 2:
  - 3 medições:
    - $L_{eq} = 84 \pm 1$  dB(A).
  - 5 medições:
    - $L_{eq} = 84,3 \pm 0,8$  dB(A).
  - 20 medições:
    - $L_{eq} = 84,3 \pm 0,4$  dB(A).

Assim, a suficiência de um menor número de medições e a necessidade de uma maior número de medições depende, por exemplo, dos valores limite que se querem verificar:

- Admitindo que os valores limite que se pretendem verificar são 90 dB(A) para o Ponto 1 e 80 dB(A) para o Ponto 2, temos que mesmo com apenas 3 medições conseguimos ter um nível de confiança de 95 % no cumprimento no Ponto 1 e no incumprimento no Ponto 2.

- Admitindo que os valores limite que se pretendem verificar são 86 dB(A) para o Ponto 1 e 83,8 dB(A) para o Ponto 2, só para 20 medições (nos valores apresentados) conseguimos ter um nível de confiança de 95 % no cumprimento no Ponto 1 e no incumprimento no Ponto 2.

### 3- $L_{eq}$ GLOBAL

Para determinar o  $L_{eq}$  Global, associado à passagem de diferentes tipos de comboios e vários comboios do mesmo tipo, devemos usar a seguinte expressão, ou equivalente:

$$L_{eq} \text{ Global} = 10 \log \left[ \frac{(m_1 \times t_1 \times 10^{(L_{eq,1}/10)} + m_2 \times t_2 \times 10^{(L_{eq,2}/10)} + \dots + m_i \times t_i \times 10^{(L_{eq,i}/10)})}{T} \right]$$

onde  $m_i$  corresponde ao número de comboios do tipo  $i$  que passam no tempo global  $T$ ,  $t_i$  corresponde ao tempo de passagem de cada tipo de comboio  $i$ , e  $L_{eq,i}$  ao nível sonoro contínuo equivalente devido à passagem de um comboio do tipo  $i$  durante o tempo  $t_i$ .

#### 3.1- INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MEDIÇÃO NAS PASSAGENS INDIVIDUAIS

Fazendo uso das medições representadas pela Figura 2 (menor velocidade) e pela Figura 7 (maior velocidade), e estendendo esses gráficos até 8 segundos antes e 8 segundos depois, como se apresenta na Figura 11, verifica-se que se pode considerar, por segurança e para estes casos, um Ruído Residual de 65 dB(A), o que significa que, idealmente, para caracterização do Ruído Particular, devemos usar, para estes casos, apenas valores maiores ou iguais a 75 dB(A), conforme referido no capítulo “9.6 Residual sound” da referência [1].

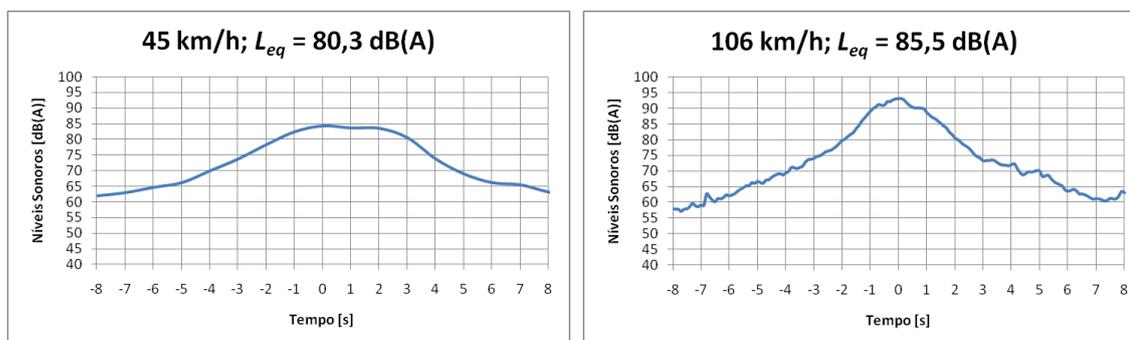


Figura 11 – Resultados da medição 2 no Ponto 1, à esquerda (a), e da medição 5 no Ponto 2, à direita (b), durante 16 segundos.

De acordo com a Figura 11(a), verifica-se que o maior intervalo de tempo que cumpre valores maiores ou iguais a 75 dB(A), corresponde a cerca de 7 segundos (-3 a 4; máximo não centrado), pelo que se apresenta, em seguida, os resultados de:

$$L_{eq,i}(t_i) = 10 \log (t_i \times 10^{(L_{eq,i})})$$

para 7 (-3 a 4), 6 (-2,5 a 3,5), 5 (-2 a 3), 3 (-1 a 2) e 16 (-8 a 8) segundos:

- $L_{eq}(7 \text{ s}) = 90,1$ .
- $L_{eq}(6 \text{ s}) = 90,2$ .  $L_{eq}(7 \text{ s}) - L_{eq}(6 \text{ s}) = -0,1$ .
- $L_{eq}(5 \text{ s}) = 91,1$ .  $L_{eq}(7 \text{ s}) - L_{eq}(5 \text{ s}) = -1,0$ .

- $L_{eq} (3 \text{ s}) = 88,4$ .  $L_{eq} (7 \text{ s}) - L_{eq} (3 \text{ s}) = 1,7$ .
- $L_{eq} (16 \text{ s}) = 90,4$ .  $L_{eq} (7 \text{ s}) - L_{eq} (8 \text{ s}) = -0,3$ .

De acordo com a Figura 11(b), verifica-se que o maior intervalo de tempo que cumpre valores maiores ou iguais a 75 dB(A), corresponde a cerca de 5 segundos (-2,5 a 2,5; máximo centrado), pelo que se apresenta, em seguida, os resultados de:

$$L_{eq,i} (t_i) = 10 \log (t_i \times 10^{L_{eq,i}})$$

para 5 (-2,5 a 2,5), 4 (-2 a 2), 3 (-1,5 a 1,5), 2 (-1 a 1), 1 (-0,5 a 0,5) e 16 (-8 a 8) segundos:

- $L_{eq} (5 \text{ s}) = 95,4$ .
- $L_{eq} (4 \text{ s}) = 95,3$ .  $L_{eq} (5 \text{ s}) - L_{eq} (4 \text{ s}) = 0,1$ .
- $L_{eq} (3 \text{ s}) = 95,1$ .  $L_{eq} (5 \text{ s}) - L_{eq} (1 \text{ s}) = 0,3$ .
- $L_{eq} (2 \text{ s}) = 94,4$ .  $L_{eq} (5 \text{ s}) - L_{eq} (1 \text{ s}) = 1,0$ .
- $L_{eq} (1 \text{ s}) = 92,2$ .  $L_{eq} (5 \text{ s}) - L_{eq} (1 \text{ s}) = 3,2$ .
- $L_{eq} (16 \text{ s}) = 95,5$ .  $L_{eq} (5 \text{ s}) - L_{eq} (16 \text{ s}) = -0,1$ .

Verifica-se assim que no caso da Figura 11(a), não é conveniente um tempo de integração superior a 7 segundos, devido à influência do Ruído Residual, e um tempo de integração inferior a 6 segundos, pois a variação deixa de ser representativa da passagem.

Verifica-se assim que no caso da Figura 11(b), não é conveniente um tempo de integração superior a 5 segundos, devido à influência do Ruído Residual, e um tempo de integração inferior a 3 segundos, pois a variação deixa de ser representativa da passagem.

Tais constatações podem ser resumidas da seguinte forma, que se coaduna com o estabelecido no capítulo “8.4.3 Sound exposure level,  $L_E$ ” e no capítulo “9.6 Residual sound” da referência [1]:

- Para caracterizar a passagem de comboios o tempo de integração, à passagem, deve conter obrigatoriamente valores desde pelo menos 10 dB abaixo (antes e depois da passagem) do valor máximo, sem atingir valores menores do que 10 dB acima do Ruído Residual.

Resulta assim como conveniente a caracterização de valores, pelo menos de 1s em 1s, e idealmente de 0,1s em 0,1s, durante a passagem, para determinação do intervalo de integração adequado, caso contrário (determinação automática de  $L_{eq}$  durante a passagem, sem verificação da adequabilidade do intervalo) haverá sempre incertezas não negligenciáveis associadas, conforme demonstrado nos exemplos anteriores.

#### 4- CATEGORIAS COM MAIOR INFLUÊNCIA

Tendo como objectivo a determinação de um valor médio global, e de uma incerteza expandida associada, tendo por base os resultados de medições, tipo:

$$L_{eq} \text{ Global} = 65 \pm 4 \text{ dB(A)}$$

verifica-se que a influência de determinada categoria no resultado Global, pode ocorrer em termos de valor médio ou em termos de incerteza expandida (ou de incerteza padrão global associada, dada a proporcionalidade).

##### 4.1- VALOR MÉDIO

Tendo por base a expressão:

$$L_{eq} \text{ Global} = 10 \log \left[ \frac{m_1 \times t_1 \times 10^{(L_{eq,1}/10)} + m_2 \times t_2 \times 10^{(L_{eq,2}/10)} + \dots + m_i \times t_i \times 10^{(L_{eq,i}/10)}}{T} \right]$$

Pode demonstrar-se que têm pouca influência no  $L_{eq}$  Global as categorias de comboios que verificam a seguinte condição:

$$10 \log \left[ \frac{m_i \times t_i \times 10^{(L_{eq,i}/10)}}{T} \right] \leq L_{eq} \text{ Global} - 10$$

Verifica-se assim, ser necessário caracterizar previamente todas as categorias, para determinar quais as que verificam tal condição.

##### 4.1- INCERTEZA EXPANDIDA

Tendo por base a referência [4] podemos escrever a incerteza padrão Global  $u$ , em função das incertezas padrão  $u_i$  de cada tipo de comboio  $i$ , da seguinte forma:

$$u = \frac{1}{T} \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i t_i u_i^2}$$

Fazendo:

$$L_E = L_{eq} \text{ Global} + 10 \log (T)$$

Podemos demonstrar a seguinte relação:

$$\frac{u}{L_E} = \frac{1}{T} \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i t_i u_i^2} \times \frac{1}{L_E}$$

Donde resulta que têm pouca influência na incerteza padrão Global as categorias de comboios que verificam as seguintes condições:

- $u \approx 0,5 \text{ dB}$ :  $\frac{u_i}{L_E} \leq 0,01$
- $u \approx 1 \text{ dB}$ :  $\frac{u_i}{L_E} \leq 0,02$
- $u \approx 2 \text{ dB}$ :  $\frac{u_i}{L_E} \leq 0,04$

- $u \approx 3$  dB: \_\_\_\_\_ .
- $u \approx 4$  dB: \_\_\_\_\_ .
- $u \approx 5$  dB: \_\_\_\_\_ .
- $u \approx 6$  dB: \_\_\_\_\_ .

Verifica-se assim, ser necessário caracterizar previamente todas as categorias, para determinar quais as que verificam tais condições.

#### 4.1- EXEMPLO

Nos exemplos seguintes  $\alpha$  corresponde ao factor de expansão, e considera-se, por simplicidade, apenas 1 comboio de cada tipo, 1 segundo de tempo de integração e 10 segundos de tempo global.

Exemplo 1:

- $L_{eq,1} = 90$  dB(A),  $L_{eq,2} = 80$  dB(A),  $u_1 = 2$  dB,  $u_2 = 10$  dB
- $L_{eq}$  Global =  $80 \pm \alpha \times 2,2$  dB(A).

Tem-se assim que, neste exemplo, a categoria 2 tem pouca influência quer no valor médio quer na incerteza expandida:

- $80 \leq 90 - 10$ .
- $10 \wedge (80/10) \times 10 < 0,7 \times 2,2 \times 10 \wedge (90/10)$ .

Exemplo 2:

- $L_{eq,1} = 90$  dB(A),  $L_{eq,2} = 80$  dB(A),  $u_1 = 2$  dB,  $u_2 = 20$  dB
- $L_{eq}$  Global =  $80 \pm \alpha \times 2,8$  dB(A).

Tem-se assim que, neste exemplo, a categoria 2 tem pouca influência no valor médio mas já não tem uma influência negligenciável na incerteza expandida:

- $80 \leq 90 - 10$
- $10 \wedge (80/10) \times 20 > 0,6 \times 2,8 \times 10 \wedge (90/10)$ .

#### 5- METODOLOGIA DE MONITORIZAÇÃO

Face ao explicitado, considera-se que uma metodologia adequada de monitorização, que tenha em conta as incertezas dos resultados, deverá ser constituída por:

1. Uma Monitorização Preliminar, em que se caracteriza, em cada ponto de monitorização, cada categoria 3 vezes (idealmente em horários diferentes, nomeadamente, se possível, dia, entardecer e noite, para garantir, à partida, uma maior variabilidade) para determinar a influência global de cada categoria. Cada medição deverá registar, idealmente, os valores de 0,1 em 0,1 segundos, durante a passagem dos comboios, para determinar o adequado tempo de integração, face ao valor máximo e ao Ruído Residual, e para detectar eventuais singularidades (tipo uso de buzina nos comboios à passagem) que permitam

decidir adequadamente pela não consideração ou correcção desse gráfico da medição.

2. Uma Monitorização Complementar, em que se caracteriza complementarmente apenas as categorias mais relevantes (em termos de valor médio e de incerteza padrão) e apenas os pontos onde a incerteza padrão global associada aos resultados da Monitorização Preliminar não é suficiente para determinar se existe ou não incumprimento dos limites aplicáveis. Também nos casos onde a Monitorização Preliminar permite garantir o incumprimento, poderá ser conveniente a realização de Monitorização Complementar, para determinar com o maior rigor possível a magnitude do incumprimento e dimensionar, em conformidade e de forma otimizada as medidas de Redução de Ruído necessárias. De referir, a este respeito, que de acordo com a referência [5] uma diferença de apenas 2 dB na eficácia das medidas pode significar uma diferença de cerca de 600000 euros no custo das medidas típicas.

## REFERÊNCIAS

- [1] ISO, International Standard 1996-2: Acoustics — *Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels*. 2007.
- [2] Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment – *Determination of Lden and Lnight using measurements*. 2006.
- [3] Cruz, António – *Incerteza de medição. Introdução ao conceito*. Instituto Português da Qualidade, 2005. ISBN 972-763-084-7.
- [4] Taylor, John R. - *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. University Science Books, 1997.
- [5] Rosão, Vitor; Neto, Fátima - *Influence of traffic noise emission spectra on the design of barriers*. Noise Control Eng. J. 55 (3), 2007 May-June.