

# Estudo sobre o factor de correcção acústica nas medições de ruído ambiental com microfone aplicado directamente em elementos de fachada

Mário Mateus, Manuel C. Gameiro da Silva

ADAI-LAETA, Department of Mechanical Engineering, University of Coimbra  
([mario.mateus@adai.pt](mailto:mario.mateus@adai.pt)); {manuel.gameiro@dem.uc.pt}

## Resumo

A norma NP ISO 1996-2: 2011, que é a versão portuguesa da norma ISO 1996-2:2008, sobre descrição e avaliação do ruído ambiental, sugere a aplicação de uma correcção para as situações em que o microfone usado nas medições do ruído ambiental numa dada zona se encontra montado directamente sobre uma fachada. Esta correcção corresponde a subtrair um valor de 6dB ao nível de pressão sonora obtido nas medições com o microfone na fachada para obter o valor do nível de pressão sonora em campo livre.

No presente trabalho, estudam-se os efeitos das condições de montagem do microfone em elementos da fachada de um edifício e da intensidade e direcção do vento sobre o factor de correcção a aplicar às medições, numa situação em que o ruído dominante é proveniente de uma via de tráfego.

Os resultados obtidos indicam que, para a configuração correspondente à montagem do microfone sobre uma placa de material reflector, a diferença é da mesma ordem de grandeza que a sugerida na norma, estando compreendida num intervalo de confiança entre 4,9 dB e 6,5 dB, com um nível de confiança de 95%. Para a situação de montagem do microfone sobre uma janela, esta diferença situa-se fora desse intervalo de confiança, tendo-se obtido valores entre 3,7 dB e 4,5 dB.

Verificou-se ainda que, para o caso da montagem sobre a janela, os efeitos devidos ao aumento da intensidade do vento (em sentido contrário ao da propagação sonora), têm influência notória em determinados intervalos do espectro, nomeadamente nas baixas e nas altas frequências. Os resultados obtidos aconselham assim a necessidade de estudos prévios “*in-situ*”, sempre que esta solução de medição for utilizada, de forma a poder aplicar os termos de correcção mais adequados, pois a adopção do valor convencionado de -6 dB, poderá levar em alguns casos a introduzir erros significativos nos resultados finais.

**Palavras-chave:** microfone sobre a fachada, reflexões na fachada, correcções das leituras.

## Abstract

NP ISO 1996-2: 2011, the Portuguese version of ISO 1996-2:2008 standard about description and measurement of environmental noise, suggests the application of a -6 dB correction, for situations where the used microphone is directly mounted over a facade. In this paper, the effects of the conditions of installation of the microphone on the facade were studied as well as the effects of wind intensity and direction on the values environmental noise values obtained for a two-way road zone. The obtained results, corresponding to the difference found for the total value, indicate that for the corresponding configuration of the reflective material plate, the difference is consistent with the one presented by similar studies, which is comprised between 4,9 dB and 6,5 dB, with a confidence level of 95%. The obtained results for the window mounted microphone were between 3,7 dB and 4,5 dB, which is not comprised within this confidence range. Furthermore, the effects due to the wind intensity

(opposite direction to propagation) have a noteworthy influence in given spectrum range, namely at low and high frequencies. The presented results allow us to conclude that there is a necessity to previously study “in-situ”, whenever this measurement solution is applied. Thus, applying the proper correction terms, since adopting the conventional value of -6 dB, may originate some significant errors.

**Keywords:** microphone on the surface, surface reflections, measurements corrections.

**PACS no. 43.20.EI, 43.20.Ye**

## 1 Introdução

A medição dos níveis sonoros de ruído ambiental, com o microfone colocado sobre as fachadas ou na proximidade destas, requer que esses níveis sejam corrigidos de forma a retirar a influência da reflexão e da difracção que ocorre nas ondas sonoras.

São vários os trabalhos e documentos de referência que indicam o valor de -6 dB a aplicar como correcção nas situações em que o microfone é colocado sobre fachadas de alvenaria, betão, madeira, vidro ou qualquer outro material reflector de características semelhantes. As Normas NP ISO1996-2:2011 [3] e NORDTEST NT ACOU 039 [4] indicam esta correcção.

Um estudo detalhado é apresentado por Memoli, Paviotti, Kephelopoulos, & Licitra [2], onde para além de se considerar a situação de colocação do microfone sobre a fachada, é também considerada a sua colocação noutras posições e a outras distâncias. Esse estudo incidiu sobre vários locais com diferentes configurações de ruas, nomeadamente com formatos em L e em U e algumas das suas variantes como seja, a largura e a distância a que se encontra a parede oposta, no caso de uma variante da configuração em L. Para a geração do campo sonoro utilizou-se o próprio ruído gerado pela passagem dos veículos (fonte móvel) e, numa das posições, uma fonte sonora que emitia sinais MLS (Maximum Length Sequence), que permitiu a análise da resposta a impulso em frente de uma fachada reflectora. A altura de colocação do microfone era de 4 m, sendo este colocado sobre uma placa de alumínio, de 5 mm de espessura, com dimensões de 60 cm x 90 cm. Considerando todos os formatos de ruas estudadas, a distância média fonte-fachada foi entre 6,6 m e 34,0 m.

No presente trabalho os autores experimentaram uma configuração de via em L, em que a distância média da fonte à fachada é de 150 m. Foram consideradas duas posições distintas para a colocação do microfone, sendo uma das posições numa janela e a outra directamente sobre a fachada. A fonte geradora considerada foi a via de tráfego rodoviário e os períodos de medição tiveram sempre uma duração total de uma hora. Durante os períodos de medição considerados, a via apresentava um fluxo médio de tráfego de aproximadamente 2500 veículos/hora. Para o cálculo da diferença média entre cada uma das posições estudadas e o correspondente “valor de campo livre”, efectuou-se a determinação do nível sonoro contínuo equivalente médio,  $L_{Aeq,15min}$ , obtido ao longo dos quatro períodos sussecivos de 15 minutos. As medições nos pontos considerados foram sempre efectuadas em simultâneo com a medição correspondente à situação de “campo livre”.

## 2 Instalação experimental

### 2.1 Local de medição

A fachada considerada é uma das que constituem o edifício do Laboratório de Aerodinâmica Industrial (LAI), situado no Vale das Flores em Coimbra.



Figura 1 – Vista aérea da área de estudo, com a identificação da via de tráfego principal

A zona envolvente é atravessada transversalmente por uma via de tráfego, de relativa importância, que se encontra assinalada na Figura 1 pelas linhas desenhadas a amarelo. Esta via possui duas faixas de rodagem em cada um dos sentidos de circulação, tendo um tráfego bastante fluido e uma taxa média diária (TMD) de aproximadamente 24.000 veículos.

O local de implantação do edifício do Laboratório encontra-se devidamente caracterizado em termos meteorológicos no que respeita, para além de outros parâmetros, à velocidade e direcção do vento. Estes valores têm sido adquiridos em contínuo desde o ano 2009, no âmbito de um trabalho de investigação que actualmente ainda decorre.



Figura 2 – Direcção e velocidade do vento, determinadas com base nos valores médios mensais ocorridos durante o triénio 2009/2011.

## 2.2 Caracterização do sistema de medição acústica

As medições sobre a fachada foram efectuadas por um sistema [5] que utiliza uma placa de aquisição NI 9233 da National Instruments, com um software desenvolvido pelos autores sobre a plataforma de

programação LabView, que permite medir e registar os níveis sonoros ao longo de períodos de tempo de longa duração. Este sistema encontra-se a monitorizar o campo sonoro no mesmo local, desde Maio de 2009. Este sistema inclui um microfone de ½” (meia polegada) modelo 4189 com o respectivo pré-amplificador modelo 2671, ambos da marca Brüel & Kjær.



Figura 3 – Rumo médio e intensidade dos ventos, determinada com base nos valores médios mensais, ocorridos durante o triénio 2009/2011.

Nas medições em condição de “*campo livre*”, que serviram como referência no presente trabalho, utilizou-se um sonómetro analisador CESVA, modelo SC310, que cumpre todas as especificações da classe I, exigidas pelas normas IEC61672-1:2002 e IEC61260:2001

Previamente os dois sistemas de medição foram submetidos a um teste simultâneo, estando os microfones colocados lado a lado, num ponto no interior de uma sala de ensaio existente no LAI. Nesta gerou-se um campo sonoro estacionário, através de uma fonte dodecaédrica emitindo um ruído rosa, filtrado entre 50 Hz e 5000 Hz. Os espectros correspondentes são apresentados na figura 4.

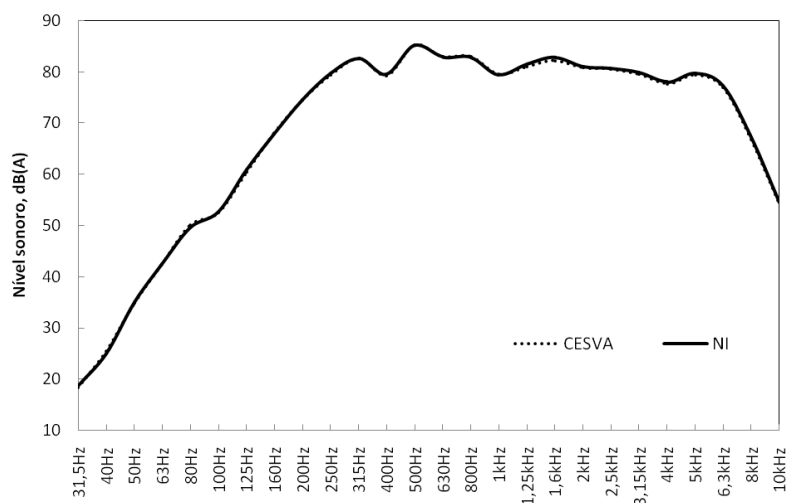


Figura 4 – Espectro de frequências adquirido em simultâneo pelos dois sistemas de medição.

O objectivo deste teste foi determinar as diferenças de nível registado pelos dois sistemas. Os resultados, representados na figura 5, permitiram posteriormente equalizar as leituras dos dois equipamentos, eliminando os desvios existentes entre eles.

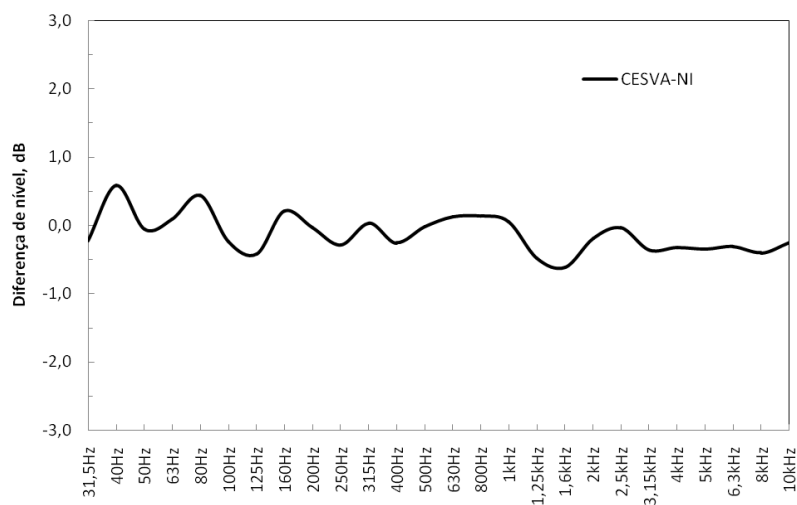


Figura 5 – Representação das diferenças (CESVA – NI), no espectro de frequências de interesse.

### 2.3 Montagem exterior

A zona onde decorreu o estudo, é uma área relativamente plana e sem obstáculos entre a fonte e o local receptor.





Figura 6 – Vista da zona frontal à fachada do LAI.

A montagem do microfone do sistema de monitorização permanente, referenciado com a sigla M1 e que se encontra esquematizada na Figura 7, foi efectuada num envidraçado de uma sala do último piso do Laboratório da ADAI.

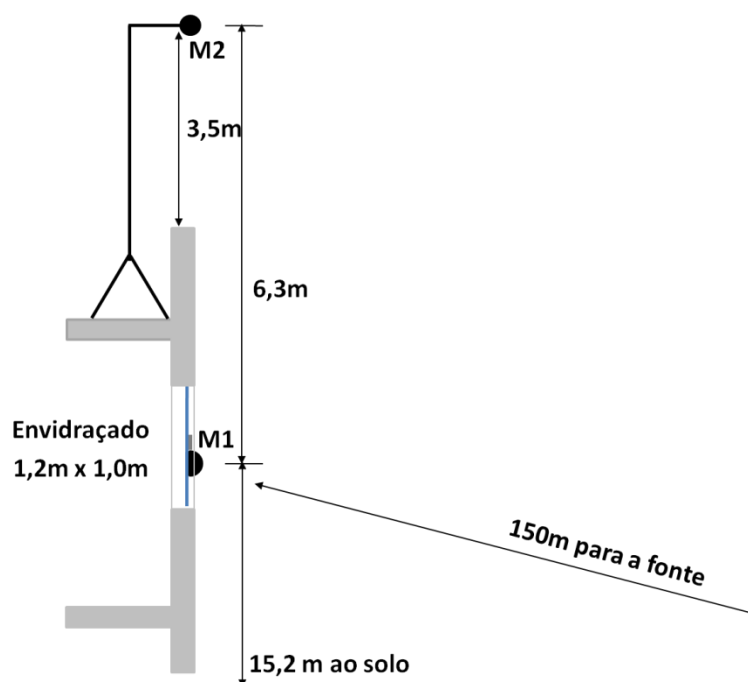


Figura 7 – Representação dimensional do sistema de monitorização acústica (s/escala).

Para ser possível efectuar também uma análise das diferenças que ocorrem entre as medições efectuadas em condições de “*campo livre*” e as obtidas na condição de reflexão sobre a superfície do vidro, foram efectuadas, em simultâneo, medições no ponto M2, referenciado na figura 7 e figura 8.

Foram ainda efectuadas medições com o microfone directamente aplicado sobre uma placa reflectora com 19 mm de espessura e de dimensões 53 cm x 71 cm colocada na fachada e com características equivalentes às indicadas em [1], [3] e [4].

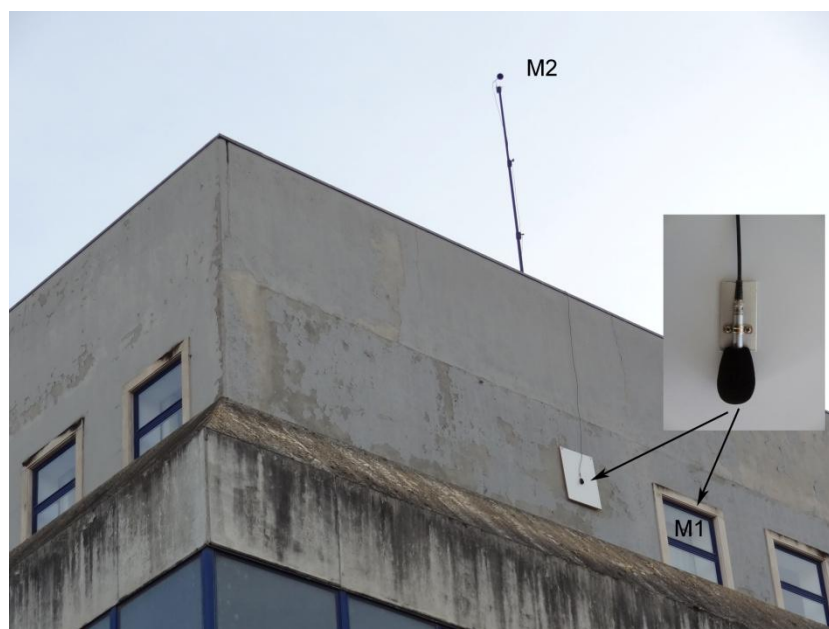


Figura 8 – Localização dos pontos de medição sobre o envidraçado (M1) e sobre a fachada (placa reflectora) do edifício do Laboratório da ADAI.

As medições efectuadas com estes sistemas permitiram obter as diferenças de nível do parâmetro global  $L_{Aeq,15min}$  e também as respectivas componentes espectrais  $L_{Aeq,15min,f}$  em todos os terços de banda de oitava, compreendidos entre 31,5 Hz e 10.000 Hz.

As medições no ponto M2 foram efectuadas com o analisador CESVA, modelo SC310, já referido.

### 3 Dados experimentais

Ao contrário do estudo apresentado em [2], no qual as fontes se encontravam a curta distância das fachadas, no presente trabalho a distância foi consideravelmente superior, aproximadamente de 150m, entre a fonte geradora (via rodoviária) e o local de medição (receptor). Admite-se pois que os níveis sonoros medidos sobre a fachada possam ser influenciados pelos efeitos da propagação, nomeadamente pela direcção e intensidade do vento, pelo que na análise das diferenças de nível sonoro obtidas pelos sistemas de medição foram tidos em consideração estes parâmetros. Considerou-se a ocorrência de vento favorável quando este se faz sentir no sentido da fonte para o receptor e desfavorável quando ocorre no sentido contrário. Todas as situações de seguida apresentadas, representam a diferença relativamente ao ponto M2, considerada “*valor de campo livre*”.

Todos os valores correspondem ao valor médio de uma hora, sendo este obtido através de quatro valores de  $L_{Aeq,15min,f}$ , através de períodos de integração sucessivos de 15 minutos.

#### 3.1 Ponto M1 - Vento desfavorável e diferente intensidade

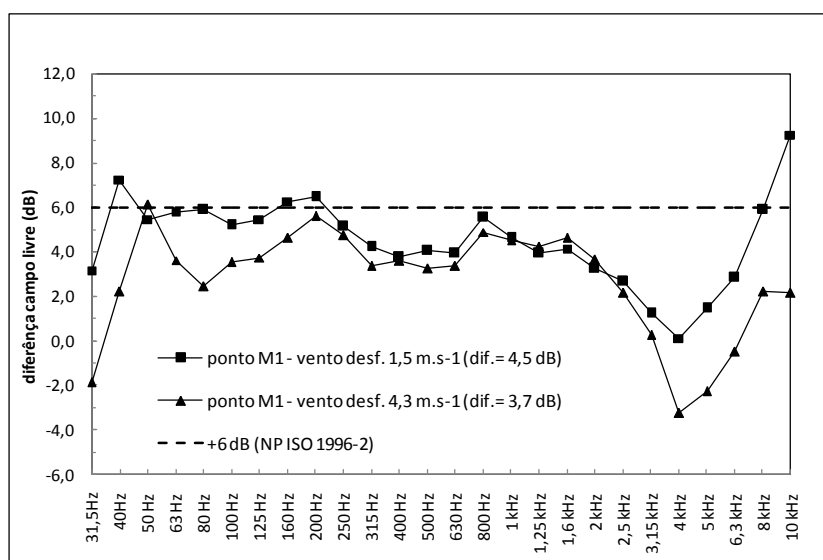


Figura 9 – Valores experimentais das diferenças obtidas entre a posição M1 e o correspondente “valor de campo livre”, para duas intensidades de vento distintas, na condição de vento desfavorável.

O gráfico da figura 9 evidencia as diferenças entre os níveis equivalentes de ruído obtidos no ponto M1 e M2, em cada banda de terço de oitava, considerando dois regimes de intensidade de vento distintos mas para um mesmo rumo desfavorável à propagação sonora. Os espectros apresentados denotam uma variabilidade significativa ao longo da gama de frequências. Relativamente ao valor de referência de 6 dB, verifica-se que, para a uma velocidade média do vento de 1,5 m/s a diferença global registada foi de 4,5 dB. Para uma velocidade média do vento de 4,3 m/s, o valor da diferença foi de 3,7 dB. As maiores diferenças ocorrem na gama baixa e na gama alta do espectro de frequências.

### 3.2 Ponto M1 - Vento favorável/desfavorável mesma intensidade e ausência de vento

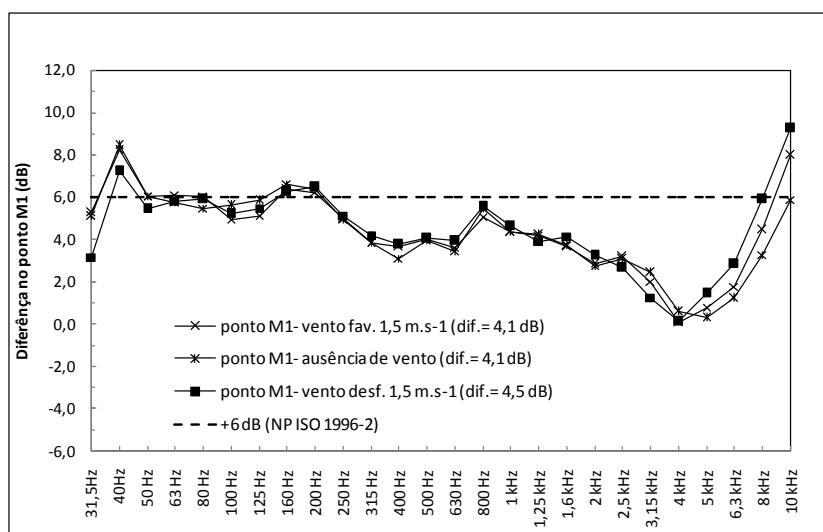


Figura 10 – Valores experimentais das diferenças obtidas entre a posição M1 e o correspondente “valor de campo livre”, para diferentes condições de vento



Na figura 10 apresentam-se as diferenças espectrais existentes no ponto M1 relativamente ao “valor de campo livre”. Embora as diferenças entre as várias evoluções não sejam significativas, a comparação dos factores globais das diferenças obtidas para estes casos com o valor nominal de referência 6 dB [3] e [4], ou mesmo 5,7 dB [1] dá diferenças importantes.

### 3.3 Ponto M1 e placa reflectora fachada - Vento desfavorável e mesma intensidade

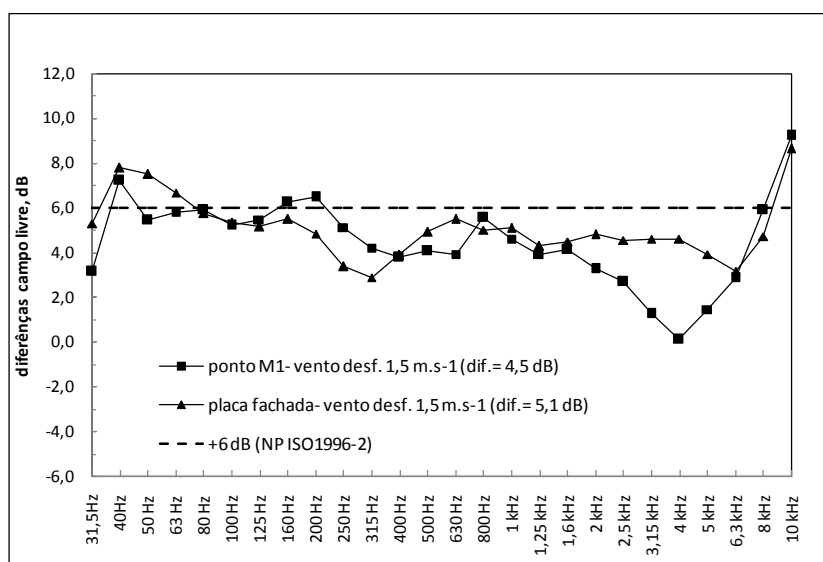


Figura 11 – Valores experimentais das diferenças obtidas para a posição M1, e placa reflectora, e correspondente “valor de campo livre”, para a mesma intensidade de vento, na condição de ventos desfavorável.

Para as mesmas condições de direcção e de velocidade de vento, as diferenças obtidas para a placa reflectora são mais próximos do valor nominal de referência.

## 4 Conclusões

Nos estudos anteriormente efectuados que utilizaram também o ruído gerado pelo tráfego rodoviário, a forma de montagem do microfone sobre a superfície é indicada como um factor sensível. Destes estudos destaca-se o de Memoli *et al.* [2], que determinaram um intervalo de confiança para o valor do aumento da pressão sonora devida ao efeito da reflexão sobre a fachada. Nesse estudo, em que as medições foram efectuadas sobre uma placa reflectora com dimensões de 60 cm x 90 cm, 95% dos valores obtidos estão contidos no intervalo

$$L_{fachada} - L_{campolivre} = 5,7 \pm 0,8 \text{ dB} \quad (1)$$

No presente trabalho, apenas o valor da diferença correspondente a 5,1 dB, obtida para a montagem sobre a placa reflectora, está contido neste intervalo. Considera-se que apenas esta situação é a única directamente comparável com a configuração estudada por Memoli *et al.* [2], devendo contudo ter-se em conta a diferença existente nos dois trabalhos para a distância média entre a fonte – receptor. Todos os valores das diferenças obtidas no caso da montagem do microfone na janela (posição M1) ficam fora do intervalo de confiança indicado. Com base nestes valores verifica-se existir influência,

não só da condição de montagem, mas também dos efeitos da velocidade e da direcção do vento. A principal conclusão que daqui resulta é que, em determinadas situações, nomeadamente para grandes distâncias fonte – receptor, o valor assumido de 6dB pode introduzir erros significativos nos resultados, justificando-se um estudo preliminar de determinação do factor de correcção a utilizar.

## Referências

- [1] Imagine Project, Deliverable IMA32TR-040510-SP08, Determination of  $L_{den}$  and  $L_{night}$  using measurements.
- [2] Memoli, G., Paviotti, M., Kephelopoulos, S., Licitra, G. Testing the acoustical corrections for reflections on a façade. *Applied Acoustics*, 2007, pp. 479-495.
- [3] Norma Portuguesa, NP ISO 1996-2, publicada 2011:02, 2011.
- [4] Nordtest method, NT ACOU 039, approved 2002:05, 2002
- [5] Mário Mateus, Manuel C. Gameiro da Silva, “Desenvolvimento de um sistema de monitorização contínua de ruído sobre uma plataforma LabVIEW”, Évora, Acústica 2012, 1 a 3 de Outubro de 2012.