

DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE DISPOSITIVOS DE REDUÇÃO DE RUÍDO DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO

Fonseca, Ricardo¹; Inácio, Octávio²; Freitas, Elisabete¹; Bragança, Luís¹

¹ Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães

rfonseca@civil.uminho.pt, efreitas@civil.uminho.pt, braganca@civil.uminho.pt

² InAcoustics – Engenharia Acústica, Vibrações e Ambiente, Lda.
R. Carlos Pires Felgueiras, 173 – 6.º B
4470-157 Maia
octavio.inacio@inacoustics.com

Resumo

A Norma Portuguesa NP 4471: 2007 introduz um método de ensaio, de aplicação aos dispositivos de redução de ruído do tráfego rodoviário (barreiras acústicas), para determinação do seu desempenho acústico: valores de reflexão sonora e isolamento sonoro aéreo no local. Este artigo tem como objectivos a aplicação *in-situ* deste método em barreiras acústicas existentes, com recurso a dois tipos de sinais sonoros, a avaliação dos resultados em diferentes tipos de barreiras e a discussão de conclusões relativamente à aplicação do mesmo. A metodologia proposta demonstra-se adequada à interpretação dos fenómenos físicos em questão, permitindo uma clara e rápida detecção de falhas de isolamento sonoro das barreiras. No entanto, a sua aplicação nos locais de instalação das barreiras é por vezes acompanhada de dificuldades inerentes à tipologia do terreno em causa. A utilização dos dois sinais de ensaio conduziu a resultados semelhantes.

Palavras-chave: barreiras acústicas, isolamento sonoro, sinal MLS, Adrienne.

Abstract

The Standard Portuguese NP 4471: 2007 defines a new test method for measuring the intrinsic characteristics of road traffic noise reducing devices in situ: sound reflection/absorption and the airborne sound insulation. The present work consists on a verification of the test method for airborne sound insulation over existing barriers, comments of the results and conclusions regarding the method itself. Results obtain from two different signals are compared: MLS and Sweep Signal.

The new method is easy to use and reliable for all kinds of barriers, but its application in situ becomes sometimes difficult. The two signals used led to similar results. It has been found sensitive to quality of mounting, presence of seals, and other details typical of outdoor installations.

Keywords: noise reducing devices, airborne sound insulation, MLS signal, Adrienne.

1 Introdução

A utilização de barreiras acústicas é uma das medidas mais difundidas para a atenuação de ruído proveniente do tráfego rodoviário. Considerando a sua importância para a qualidade de vida da população, nomeadamente nas proximidades de grandes vias de tráfego, torna-se fundamental a avaliação e verificação do seu desempenho acústico. Esta avaliação permite a comparação das especificações de projecto com dados de desempenho reais e a verificação desse desempenho a longo prazo para a devida validação das soluções adoptadas.

As barreiras acústicas são tipicamente colocadas entre uma fonte sonora e um receptor sensível como meio de reduzir o nível do som directo que se propaga entre estes dois pontos. Se o isolamento sonoro do material que constitui a barreira é suficientemente elevado, a atenuação sonora providenciada por estes dispositivos é limitada pelo efeito de difracção pelo topo ou lados da barreira. Por esta razão, um dos aspectos mais relevantes no seu dimensionamento é a altura e comprimento, impondo-se uma redução sonora mínima no material ou materiais que a constituem. No entanto, uma construção deficiente da barreira no seu local de instalação pode originar que a componente transmitida através desta tenha um nível sonoro idêntico ou até superior à componente difractada, resultando num comportamento deficiente e em desacordo com as especificações de projecto.

A eficiência das barreiras acústicas depende de vários factores: (i) da geometria da barreira; (ii) das características acústicas das barreiras: reflexão/absorção sonora e isolamento sonoro a sons aéreos; (iii) qualidade da instalação: cuidados durante a execução e montagem das barreiras, nomeadamente a selagem entre componentes (painel/painel e painel/poste); (iv) deterioração ao longo do tempo; (v) geometria do local onde são instaladas as barreiras; (vi) características acústicas do local; (vii) condições meteorológicas.

No presente artigo apresenta-se o princípio, equipamento, forma e procedimento de ensaio de avaliação do desempenho dos dispositivos de redução de ruído *in situ*, assim com as dificuldades sentidas na realização dos ensaios nas barreiras existentes. São apresentados resultados da avaliação de diferentes tipos de barreiras acústicas, nomeadamente as características intrínsecas de isolamento sonoro aéreo, assim como a correlação entre os valores obtidos por diferentes métodos e a comparação com os valores previstos. De forma a investigar a robustez à presença do ruído de fundo e à invariância no tempo do sistema de medição foram utilizados dois tipos de sinais eléctricos de ensaio: um sinal Sequência de Comprimento Máximo (*MLS*) e um Varrimento de Sinais Sinusoidais (*Sine Sweep*).

2 Enquadramento

A Norma Europeia CEN/TS 1793-5:2003, actualmente na versão portuguesa NP 4471:2007, vem pela primeira vez normalizar um método de ensaio de aplicação aos dispositivos de redução de ruído do tráfego rodoviário.

Os métodos existentes para determinação da absorção sonora (ISO 354) e do isolamento sonoro a sons de condução aérea (ISO 140) foram elaborados para aplicação a elementos de construção em edifícios, são de aplicação laboratorial e utilizam um campo sonoro difuso. As barreiras acústicas, por sua vez, estão sujeitas não a um campo sonoro difuso mas a ondas sonoras com determinados ângulos de incidência. Tornou-se portanto necessário desenvolver um método que consiga avaliar o seu desempenho real, com a configuração com que as barreiras acústicas são construídas.

A Comissão Europeia, enquadrada no programa de 1994-1997 SMT (Standard, Measurement and Testing), criou o Projecto de Investigação “ADRIENNE”, que de uma forma geral pretendia definir um método: (i) capaz de diferenciar determinados ângulos de incidência das ondas sonoras em vez da

utilização do campo sonoro difuso; (ii) aplicável em diversos tipos de barreiras acústicas: planas ou não planas, verticais ou inclinadas; (iii) que utilize os mesmos princípios e equipamento para medir a absorção sonora e o isolamento sonoro a sons aéreos; (iv) de aplicação in-situ ou em laboratório; (v) não destrutivo; (vi) capaz de medir a absorção sonora e o isolamento sonoro a sons aéreos em bandas de 1/3 de oitava e numa gama dos 100Hz aos 5kHz.

O método adoptado pelo projecto ADRIENNE utiliza um sinal de ensaio MLS (Maximum Length Sequence), gerado por uma fonte sonora, que captado por um microfone possibilita determinar a resposta global ao impulso entre estes elementos. Este sinal garante uma boa relação sinal/ruído, uma boa imunidade ao ruído de fundo, através de uma correlação periódica entre o sinal emitido pela fonte e o sinal recebido pelo microfone. É ainda um método fácil e económico de ser aplicado, sendo o limite inferior da frequência de fiabilidade a maior limitação: é apenas possível classificar os produtos em toda a gama desde os 100Hz até aos 5kHz para amostras com dimensões superiores a 4,0x 4,0m². O método de determinação do coeficiente de absorção de barreiras pode igualmente ser aplicado para caracterizar a absorção sonora dos pavimentos rodoviários.

3 Metodologia de Ensaio

3.1 Objectivo e Campo de Aplicação

O método apresentado na norma portuguesa NP 4471:2007, baseada na CEN/TS 1793-5:2003, descreve um método de ensaio para determinar as características intrínsecas de reflexão sonora e isolamento sonoro aéreo de dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário, utilizando o mesmo equipamento e princípios. É um método não destrutivo, que pode ser aplicado no local ou em laboratório, utilizável para verificar o desempenho a longo prazo e a conformidade às especificações de projecto das barreiras acústicas. Permite ainda o estudo de elementos planos e não planos, curvos e não curvos, heterogéneos, inclinados e de espessura variável.

Através da separação da componente directa e difractada do som, é possível determinar qual o contributo de cada uma das componentes essenciais para a atenuação acústica da barreira.

3.2 Principio Geral

O ensaio de determinação do isolamento a sons de condução aérea do dispositivo consiste na emissão de uma onda sonora, a partir de uma fonte direccionada colocada num dos lados da barreira acústica (lado da rodovia), e na recepção da mesma através de um microfone colocado no outro lado da barreira, em 9 pontos distintos formando a grelha vertical de medição.

O microfone recebe, quer a onda de pressão sonora transmitida, que se propaga através do dispositivo em ensaio, quer a onda de pressão sonora difractada pelo bordo superior. O desfasamento no tempo das duas ondas permite, através da aplicação de uma janela temporal, eliminar a componente difractada. A determinação do isolamento é realizada por comparação do nível da componente transmitida com o nível de uma onda directa em campo aberto. Esta última é obtida por repetição da medição sem o dispositivo em ensaio entre a fonte sonora e o microfone.

O índice de isolamento sonoro, calculado através dos espectros de potência das componentes directa e reflectida, é a média logarítmica dos índices de isolamento sonoro medidos em cada ponto da grelha.

3.3 Grandeza Medida

A expressão usada para calcular o índice de isolamento sonoro, SI, em função da frequência em bandas de um terço de oitava, é a seguinte:

$$SI_j = -10 \times \log \left\{ \frac{\sum_{k=1}^n \int_{\Delta f_j} |F[h_{tk}(t) \times w_{tk}(t)]|^2 df \times \left(\frac{d_k}{d_i}\right)^2}{n \times \int_{\Delta f_j} |F[h_i(t) \times w_i(t)]|^2 df} \right\} \quad (1)$$

- Onde:
- $h_i(t)$ é a componente de referência incidente da resposta a impulsos em campo aberto;
 - $h_{tk}(t)$ é a componente transmitida da resposta a impulsos, no ponto de verificação de ordem k ;
 - $d_i(t)$ é o factor de correcção da dispersão geométrica, de referência, para a componente em campo aberto;
 - $d_k(t)$ é o factor de correcção da dispersão geométrica para a componente transmitida, no ponto de verificação de ordem k ($k = 1, \dots, n$);
 - $w_i(t)$ é a janela temporal da componente em campo aberto, de referência (janela temporal de Adrienne);
 - $w_{tk}(t)$ é a janela temporal (janela temporal de Adrienne) para a componente transmitida, no ponto de verificação de ordem k ;
 - F é o símbolo da transformada de Fourier;
 - j é o índice da banda de frequência de um terço de oitava de ordem j (entre 100 Hz e 5kHz);
 - Δf_j é a largura da banda de frequência de um terço de oitava;
 - $n = 9$ é a quantidade de pontos de verificação.

Os factores de correcção da dispersão geométrica d_i e d_k são:

$$d_1 = d_5 = d_T = d_S + t_B + d_M = 1,25 + t_B \quad (2)$$

$$d_2 = d_4 = d_6 = d_8 = \sqrt{d_i^2 + S^2} \quad (3)$$

$$d_1 = d_3 = d_7 = d_9 = \sqrt{d_i^2 + 2.S^2} \quad (4)$$

Onde: t_B é a espessura da barreira (m) e S é o passo da grelha de medição (0,40 m).

As figuras seguintes representam o esquema de montagem do equipamento para a medição do isolamento sonoro aéreo, onde:

- H_B é a altura da barreira (m);
- H_S é a altura de referência, igual a metade da barreira (m);
- d_S é a distância do painel frontal da fonte sonora à barreira (m);
- d_M é a distância do microfone à barreira (m).

Em campo aberto, a distância entre o painel frontal da fonte sonora e o microfone deverá ser:

$$d_T = d_S + t_B + d_M = 1,25 + t_B \quad (5)$$

3.4 Equipamento de Medição

O equipamento de medição deve ser constituído por: um sistema electro-acústico, constituído num gerador de sinal eléctrico, um amplificador de potência e um altifalante, um microfone com o seu próprio amplificador e um sistema de aquisição capaz de realizar transformações entre o domínio tempo e o domínio frequência.

3.4.1 Fonte Sonora

A fonte sonora electro-acústica deve apresentar as seguintes características: um único acesso para o altifalante, ser construída sem portas de entrada (como seja as usadas para melhorar a resposta a baixas frequências), ser construída sem quaisquer componentes eléctricos activos ou passivos (como filtros) que possam alterar a resposta em frequência de todo o sistemas e ter uma respostas em frequência de magnitude alisada.

3.4.2 Sinal de Ensaio

O sinal eléctrico de entrada deve ser constituído num sinal MLS (Maximum Length Sequence). Este sinal obtém-se alimentando a fonte sonora electro-acústica com uma sequência de comprimento máximo (MLS), gerada electricamente e continuamente repetida.

Uma sequência de comprimento máximo é uma sequência pseudo-aleatória de valores binários, por conveniência gerados recursivamente por um registo digital de atraso com N-níveis e retro-alimentação. As MLS são determinísticas e periódicas:

$$L = 2^N - 1 \quad (6)$$

Onde: N é a ordem e L é o período.

3.5 Procedimento de Medição

O procedimento de medição é baseado na relação dos espectros de potência de sinais extraídos de respostas a impulso amostradas com o mesmo equipamento, no mesmo local e nas mesmas condições. Uma calibração absoluta da cadeia de medição relativamente ao nível de pressão sonora não é, portanto, necessária.

A fonte sonora deve ser posicionada conforme mostra a figura 1. O microfone deve ser colocado subsequentemente nos nove pontos da grelha de medição conforme mostra a figura 2. A resposta ao impulso em campo aberto é obtida com a mesma configuração geométrica de montagem conforme mostra a figura 3.

Em barreiras constituídas por painéis fixados por postes verticais, deverão ser realizadas medições nos nove pontos da grelha de medição colocada no centro dos painéis mas também colocando a grelha de medição em frente aos postes.

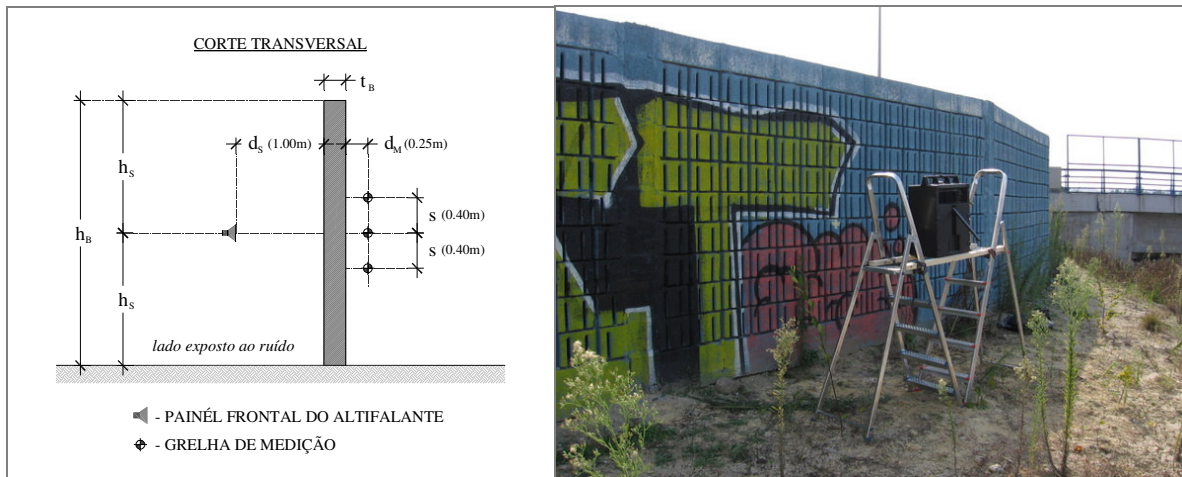


Figura 1 – Medição de componentes transmitidas

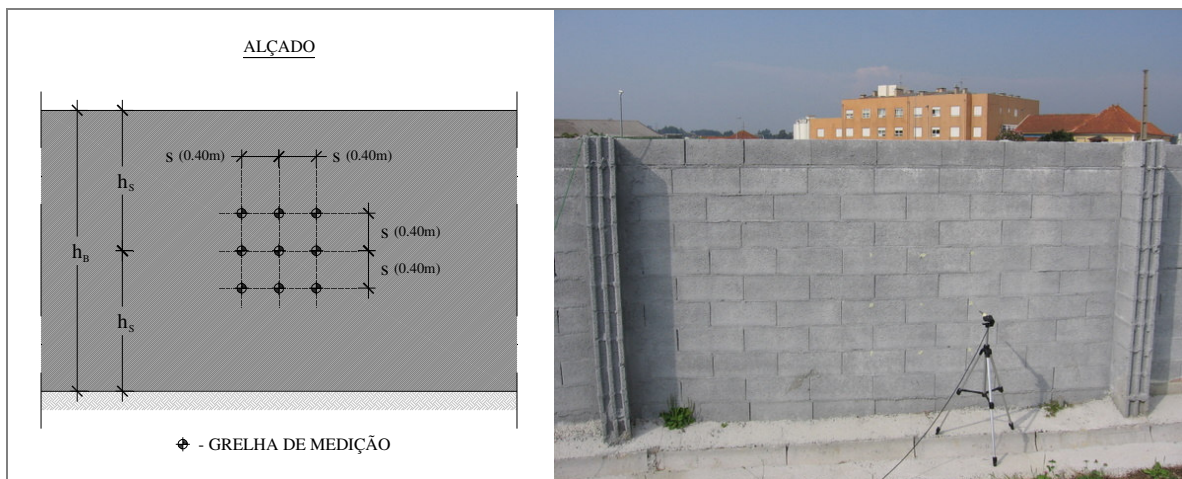


Figura 2 – Grelha para medição (posições do microfone)

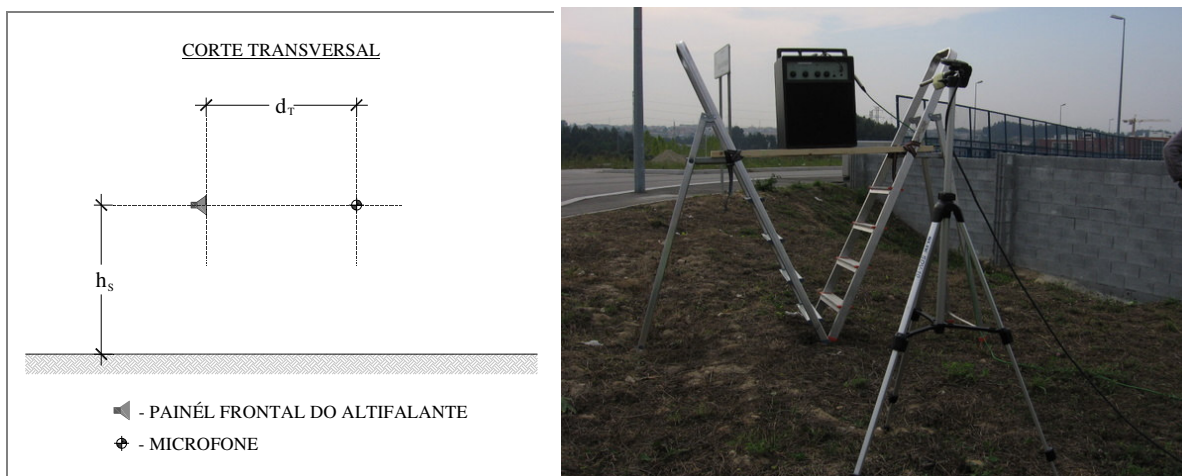


Figura 3 – Medição de componente em “campo aberto”

3.6 Processamento de Dados

A transformação do sinal entre o domínio tempo e o domínio frequência deve ser efectuada utilizando uma janela temporal, denominada “janela temporal Adrienne”, com as seguintes especificações: (i) um bordo frontal com metade esquerda em forma de Blackman-Harris e um comprimento total de 0,50ms; (ii) uma parte plana com um comprimento total máximo de 5,18ms; (iii) um bordo posterior com a metade direita em forma de curva de Blackman-Harris e um comprimento total de 2,22ms.

O comprimento total máximo da janela temporal de Adrienne é de $T_{W,ADR} = 7,90\text{ms}$ (ver figura 4).

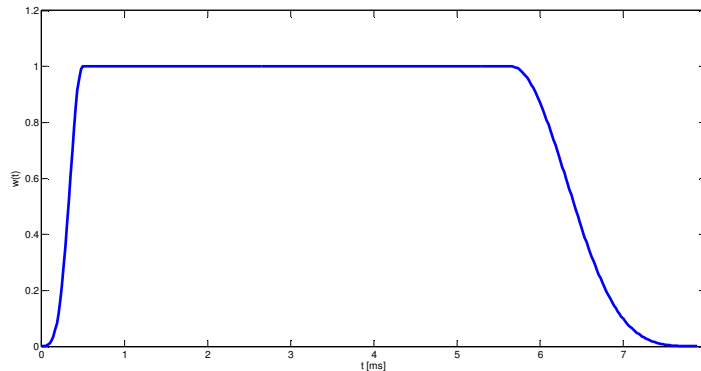


Figura 4 – Janela temporal de Adrienne

A introdução dessa janela permite eliminar a componente difractada do sinal, isolando a componente transmitida. As componentes indesejadas que devem ser mantidas fora da janela temporal são: (i) as componentes de som difractado pelos bordos do dispositivo de redução de ruído em ensaio; (ii) as componentes de som reflectido pelo solo, no lado fonte-receptor do dispositivo de redução de ruído em ensaio;

Para a componente directa, o início da parte plana deve ser colocado 0,20ms antes do pico correspondente à componente directa (ponto marcador) e termina após 7,40ms (ver figura 5).

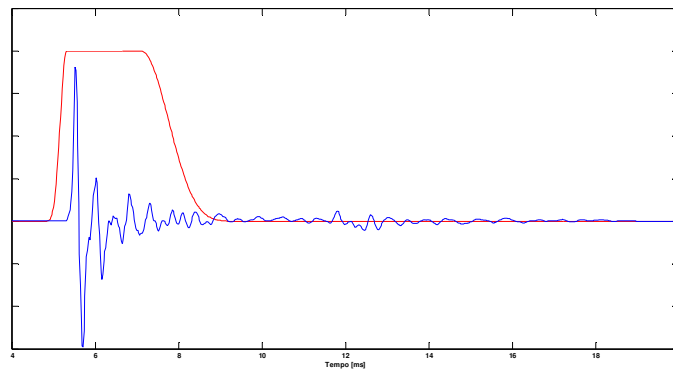


Figura 5 – Janela temporal de Adrienne aplicada à função de resposta ao impulso medida em campo aberto

Para a componente transmitida, o início da parte plana deve ser colocado 0,20ms antes do pico da correspondente à componente transmitida (ponto marcador) e termina após 7,40ms ou no começo convencional da difracção, consoante o que ocorrer primeiro de entre os dois (a distância temporal entre o pico relativo à componente transmitida e à componente difractada depende da altura da barreira) – ver figura 6.

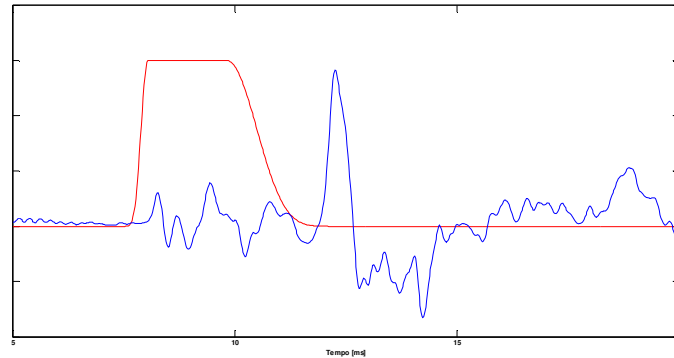


Figura 6 – Janela temporal de Adrienne aplicada função de resposta ao impulso medida com a barreira, para a posição 5 do microfone.

Para dispositivos de redução de ruído com uma altura menor que o comprimento, na generalidade, a componente mais crítica é a difractada pelo bordo superior.

O limite inferior de frequência (f_{\min}), corresponde ao valor mais baixo da frequência que deve ser utilizado das medições para o cálculo do isolamento sonoro. Este valor depende da largura da janela temporal de Adrienne, que depende por sua vez da menor dimensão da barreira. Esta limitação prende-se com a relação dimensional entre os comprimentos de onda e as dimensões da barreira.

3.7 Superfície de Amostra e Condições Climatéricas

As medições devem ser realizadas apenas quando as superfícies da amostra estejam secas e no caso de a amostra tiver um significativo conteúdo de vazios, os poros devem também estar completamente secos.

Durante a medição a temperatura do ar ambiente deve estar entre os 0°C e os 40°C e a temperatura da superfície da amostra deve estar compreendida entre os 0°C e os 70°C. A velocidade do vento nas posições do microfone não deve exceder os 5m/s.

3.8 Classificação do Número Único do Isolamento Sonoro Aéreo DL_{SI}

A classificação do índice único do isolamento sonoro aéreo para elementos e postes, DL_{SI} , em decibel, é dada por:

$$DL_{SI} = -10 \cdot \log \left[\frac{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i} \times 10^{-0,1 \cdot SI_i}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i}} \right] \quad (7)$$

Onde:

- m = 4 (número da banda de frequência de um terço de oitava de 200Hz);
- s níveis de pressão sonora relativos (dB), de ponderação A, do espectro de ruído de tráfego normalizado, definido em EN 1793-3, na banda de frequência de um terço de oitava, de ordem j .

4 Casos de estudo

Para aplicação do método foram realizadas medições em dois tipos de barreiras acústicas correntes tendo por objectivo principal a verificação das dificuldades inerentes à aplicação *in-situ* do método proposto. Os ensaios foram realizados com recurso a dois tipos de sinais eléctricos de entrada: um sinal de Sequência de Máximo Comprimento (MLS) conforme preconizado na norma portuguesa e um Varrimento de Sinais Sinusoidais (Sine Sweep). O objectivo desta comparação foi aferir a adequação do sinal MLS e a potencialidade do Varrimento de Sinais Sinusoidais para aplicação neste procedimento. A razão desta última hipótese baseia-se nos estudos recentes realizados por Angelo Farina [7] em que a utilização do método de Varrimento de Sinais Sinusoidais é preferida à utilização de sinais extremamente não lineares como o MLS. As vantagens do Varrimento de Sinais Sinusoidais vão desde uma maior robustez à invariância no tempo do sistema e à indiferença à presença do ruído de fundo.

4.1 SELECÇÃO DAS BARREIRAS

A escolha das barreiras acústicas a ensaiar foi um dos maiores desafios, uma vez que a realização dos ensaios nas barreiras acústicas exige: (i) fácil acesso a ambos os lados da barreira, para montagem e calibração do equipamento; (ii) patamar de trabalho seguro, na parte frontal da barreira, de dimensões suficientes para colocação do equipamento e circulação das pessoas; (iii) evitar a permanência da viatura de apoio na via de circulação, de preferência esta deverá ficar no tardo da barreira; (iv) barreiras com altura não superior a 4,00m por condições de segurança e restrição do equipamento.

As barreiras acústicas escolhidas para a realização dos ensaios foram de dois tipos: de alvenaria constituída por blocos de betão leve tipo Leca®Mursom da Maxit (Figura 7) e outra em painéis pré-fabricados de betão com inertes leves tipo “Leça” na face exposta ao tráfego (Figura 8):



Figura 7 – Barreira em alvenaria



Figura 8 – Barreira em painéis pré-fabricados de betão

A barreira de alvenaria é constituída por panos verticais, de espessura constante, travados verticalmente por pilares em bloco afastados de 4,65m. A barreira de painéis é constituída por um conjunto de dois elementos pré-fabricados: um elemento inferior com 1,00m de altura e um superior com 2,50m de altura, ambos com 4,00m de largura, travados verticalmente por perfis metálicos HEB.

Ambas as barreiras respondiam a todas as exigências impostas, com excepção do fácil acesso a ambos os lados.

4.2 EQUIPAMENTO UTILIZADO

Para a realização do ensaio foi utilizado o seguinte equipamento: (i) fonte sonora Bruel & Kjaer Sound Source Type 4224; (ii) microfone omnidireccional e pré-amplificador tipo 1 da BSWA; (iii) placa de som D-Audio de 2 canais; (iv) computador portátil com software WinMLSe MATLAB.

4.3 RESULTADOS

Os resultados dos ensaios realizados encontram-se ilustrados nas figuras 9 a 13, onde se mostra como exemplo, uma resposta ao impulso da componente obtida na posição central (posição 5), os índices de isolamento sonoro (SI), em função da frequência, em bandas de um terço de oitava e um gráfico comparativo entre os valores dos índices de isolamento sonoro obtido utilizando dois sinais distintos: MLS e Varrimento de Sinais Sinusoidais.

O pós processamento dos dados foi realizado com base em código MATLAB desenvolvido em exclusivo para esta investigação.

Para uma comparação mais directa com os parâmetros típicos de especificação de projecto, Garai e Guidorzi [6] propõem as seguintes expressões para determinação do valor de R_w a partir dos valores obtidos de DL_{SI} nos elementos:

$$DL_R = 0,93.R_w + 0,37 \quad (8)$$

$$DL_{SI} = 1,18.D_{LR} - 0,94 \quad (9)$$

4.3.1 Barreiras em alvenaria – MLS

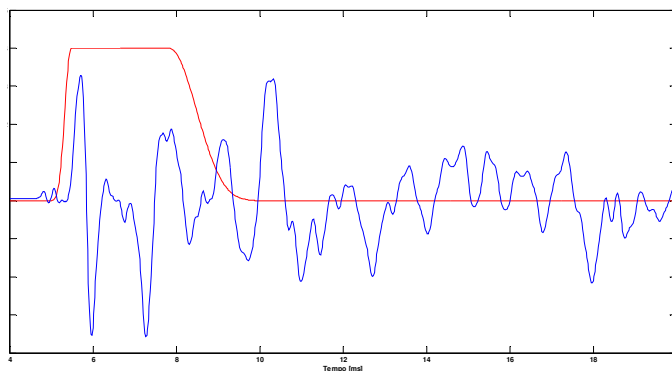


Figura 9 – Resposta ao impulso da componente transmitida (posição 5)

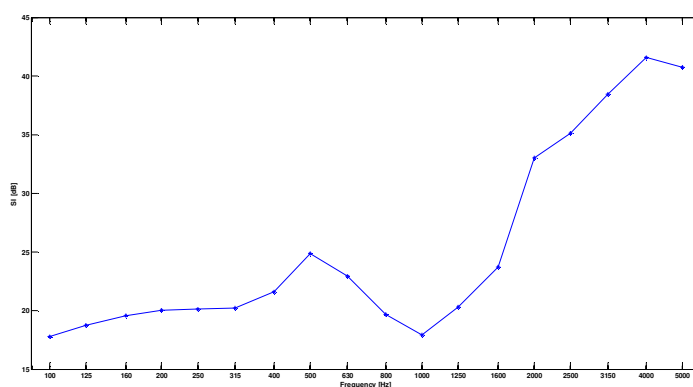


Figura 10 – Índice de Isolamento Sonoro (dB)

De acordo com os resultados obtidos para o índice de isolamento sonoro (SI), utilizando as expressão (7) é determina-se o número único do isolamento sonoro aéreo: $DL_{SI} = 21,4\text{dB}$.
 O valor de R_W estima-se com recurso às expressões (8) e (9): $R_W = 20,0\text{dB}$.

4.3.2 Barreiras em painéis pré-fabricados de betão – MLS

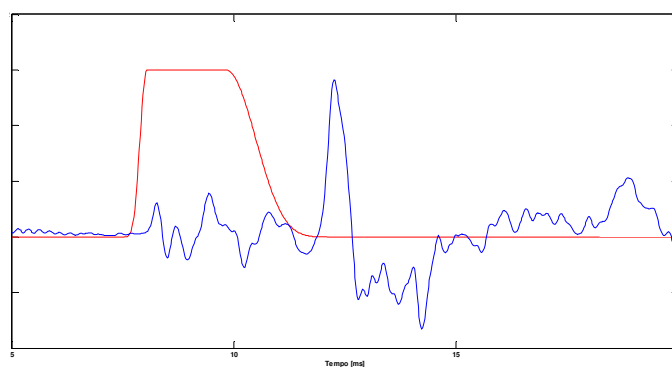


Figura 11 – Resposta ao impulso da componente transmitida (posição 5)

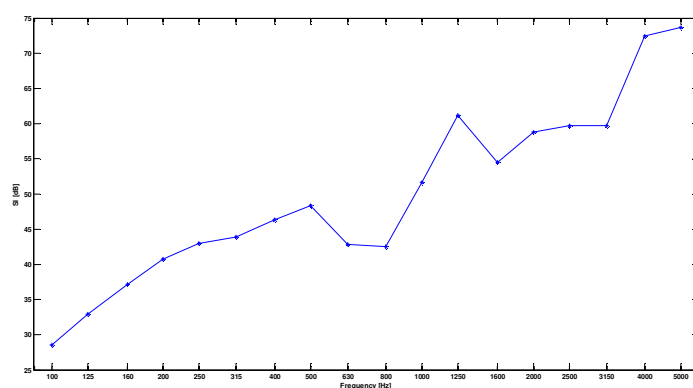


Figura 12 – Índice de Isolamento Sonoro (dB)

De acordo com os resultados obtidos para o índice de isolamento sonoro (SI), utilizando as expressão (7) é determina-se o número único do isolamento sonoro aéreo: $DL_{SI} = 46,9\text{dB}$.
 O valor de R_W estima-se com recurso às expressões (8) e (9): $R_W = 43,2\text{dB}$.

4.3.3 Comparação entre MLS e Varrimento em Frequência

A figura 13 apresenta as diferenças obtidas no ensaio da barreira acústica de painéis pré-fabricados de betão pela utilização dos dois sinais diferentes:

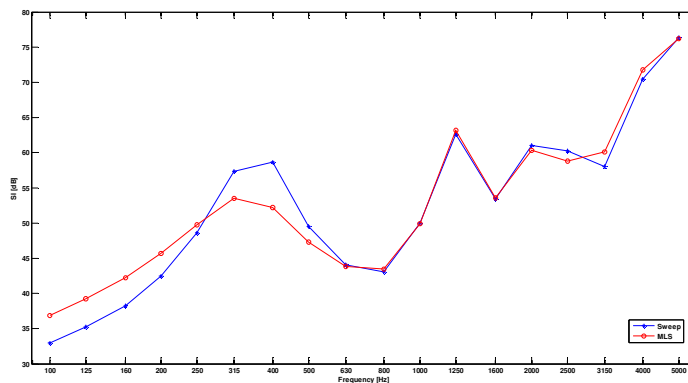


Figura 13 – Índices de Isolamento Sonoro (dB) obtidos pelos dois sinais

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em primeiro lugar importa evidenciar o funcionamento distinto das duas barreiras: uma barreira de alvenaria cujo isolamento sonoro a sons aéreos é muito inferior ao isolamento conferido pela barreira em painéis pré-fabricados de betão. O principal motivo desta diferença prende-se com o facto de a barreira de alvenaria ser constituída por blocos de pequena dimensão e as juntas verticais entre blocos não ser preenchida por argamassa. Por este motivo a componente transmitida tem maior facilidade em atravessar a barreira, como se pode comprovar na figura 9 onde a componente transmitida tem aproximadamente a mesma amplitude da componente difractada.

Em segundo lugar refere-se a semelhança dos resultados obtidos através dos dois tipos de sinal, nomeadamente nas bandas de frequência acima do limite inferior de frequência (f_{\min}).

5 Conclusões

O método apresentado na norma portuguesa NP 4471:2007 permite avaliar o desempenho acústico dos dispositivos de redução de ruído do tráfego rodoviário, ferroviário assim como caracterizar a absorção sonora dos pavimentos rodoviários.

A metodologia proposta é fácil e conduz a bons resultados. No entanto, a sua aplicação nos locais de instalação das barreiras pode ser difícil por diversos motivos: condições do terreno e acessibilidades (garantir o acesso a ambos os lados da barreira e patamares de trabalho), e condições meteorológicas.

A altura reduzida de grande parte das barreiras existente implica um limite inferior de frequência elevado, isto é, não é possível determinar os valores do isolamento sonoro para as bandas de frequência mais baixas: para obter o índice de isolamento sonoro de cerca de 166Hz é necessária uma barreira com altura mínima de 4,00m.

Em barreiras acústicas com isolamento sonoro aéreo reduzido, a marcação da janela temporal não é clara, uma vez que no gráfico da resposta ao impulso a componente transmitida tem amplitude semelhante à componente difractada, tal como mostra a figura 14. A marcação tem de ser feita com recurso a cálculos geométricos que estimam o tempo de propagação da onda transmitida e da onda difractada.

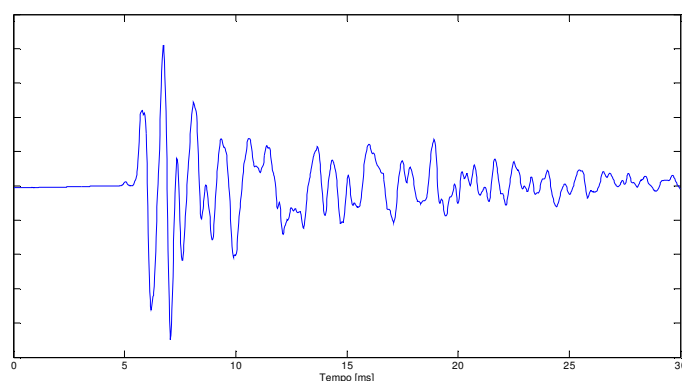


Figura 14 – Resposta ao impulso da componente transmitida (barreira alvenaria) em que a componente transmitida é superior à componente difractada.

A aplicação do método mostra claramente a importância do tratamento das juntas (entre elementos e entre elementos e postes), da qualidade geral da construção e dos detalhes construtivos.

O objectivo da comparação entre os dois sinais eléctricos foi aferir a adequação do sinal MLS e a potencialidade do sinal de Varrimento em Frequência para aplicação neste procedimento. A resposta ao impulso obtida por ambos os métodos é semelhante conduzindo a valores do índice de isolamento sonoro muito próximo, revelando a possibilidade de utilização do Varrimento de Sinais Sinusoidais como sinal alternativo ao MLS. As diferenças obtidas resultam de condições de medição ligeiramente diferentes entre os ensaios com os dois sinais (temperatura, vento, ruído de fundo, etc.). No entanto, considera-se que uma possível desvantagem do Varrimento de Sinais Sinusoidais seja a possível semelhança com as características sonoras de viaturas motorizadas em aceleração.

Pode-se considerar um método com grandes potencialidades, adequado à aplicação em dispositivos de redução de ruído do tráfego rodoviário, permitindo avaliar o funcionamento real, com a configuração com que as barreiras acústicas são construídas, a comparação das especificações de projecto com dados de desempenho reais e verificação do desempenho a longo prazo para validação das soluções adoptadas.

Agradecimentos

Este trabalho contou com o apoio imprescindível da AENOR – Auto-estradas do Norte, S.A nomeadamente na pessoa do engenheiro José Oliveira. Contou ainda com a participação dos colaboradores Andre McDade, Tiago Brilhante e João Carvalho.

Referências

- [1] Norma Portuguesa NP 4471: 2007 – Dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário. Método de ensaio para determinar o desempenho acústico. Características intrínsecas. Valores de reflexão sonora e isolamento sonoro aéreo no local, 2007.
- [2] Norma Portuguesa NP EN 1793-1: 2007 – Dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário. Método de ensaio para determinação do desempenho acústico. Parte 1: Características intrínsecas de absorção sonora, 2007.
- [3] Norma Portuguesa NP EN 1793-2: 2007 – Dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário. Método de ensaio para determinação do desempenho acústico. Parte 2: Características intrínsecas do isolamento a sons aéreos, 2007.

- [4] Norma Portuguesa NP EN 1793-3: 2007 – Dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário. Método de ensaio para determinar o desempenho acústico. Parte 3: Espectro normalizado do ruído do tráfego, 2007.
- [5] Adrienne Research Team, Test methods for the acoustic performance of road traffic noise reducing devices: SMT Project MAT1- CT94049 – Final report, *European Commission*, 1998.
- [6] Garai, Massimo; Guidorzi, Paolo. European Methodology for testing the airborne sound insulation characteristics of noise barriers *in situ*: Experimental verification and comparison with laboratory data. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2000, 1054-1067.
- [7] Farina, Angelo. Advancements in impulse response measurements by sine sweeps. AES 122nd Convention, Vienna, Austria, 2007 May 5–8.