

**ENSAIO DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL – ACÚSTICA DE  
EDIFÍCIOS:  
ISOLAMENTO A SONS AÉREOS ENTRE COMPARTIMENTOS  
ISOLAMENTO A SONS DE PERCUSSÃO DE PAVIMENTOS  
ISOLAMENTO A SONS AÉREOS DE FACHADAS**

PACS: 43.15.+s

Jorge Fradique<sup>1</sup>; Isabel Leal<sup>1</sup>; Mário Mateus<sup>2</sup>; Fátima Inglês<sup>3</sup>; Ana Falcão<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Direcção Regional da Economia de Lisboa e Vale do Tejo. Amadora, Portugal

Email: [jorge.fradique@dre-lvt.min-economia.pt](mailto:jorge.fradique@dre-lvt.min-economia.pt); [isabel.leal@dre-lvt.min-economia.pt](mailto:isabel.leal@dre-lvt.min-economia.pt)

<sup>2</sup>ADAI - Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial. Coimbra, Portugal

E-mail: [mario.mateus@adai.pt](mailto:mario.mateus@adai.pt)

<sup>3</sup>Arsenal do Alfeite, S.A. Almada, Portugal

E-mail: [fatima.ingles@arsenal-alfeite.pt](mailto:fatima.ingles@arsenal-alfeite.pt)

<sup>4</sup>Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte. Porto, Portugal

E-mail: [ana.falcao@ccdr-n.pt](mailto:ana.falcao@ccdr-n.pt)

## RESUMO

Esta comunicação apresenta os resultados de um Ensaio de Comparação Interlaboratorial (ECI) em Acústica de Edifícios, que incidiu sobre: isolamento a sons aéreos entre compartimentos; isolamento a sons de percussão de pavimentos; e isolamento a sons aéreos de fachadas.

Este ECI teve por objectivo analisar o desempenho dos laboratórios participantes na aplicação dos critérios definidos no Decreto-Lei 96/2008, de 9 de Junho, que alterou e republicou o Regulamento Português dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, e de acordo com as normas aplicáveis, nomeadamente as NP EN ISO 140-4:2009, NP EN ISO 140-5:2009, NP EN ISO 140-7:2008, NP EN ISO 717-1:2009 e NP EN ISO 717-2:2009.

Para o efeito foram utilizadas algumas salas do edifício da Direcção Regional da Economia de Lisboa e Vale do Tejo, onde foram também efectuados ensaios pelos elementos da Comissão Técnica. Foi solicitado a cada laboratório participante que caracterizasse os índices de isolamento sonoro entre as diversas salas. O presente artigo discute as dificuldades encontradas na preparação e desenvolvimento do ensaio, apresenta as metodologias utilizadas na análise dos resultados dos laboratórios participantes, os resultados obtidos e as principais conclusões.

## INTRODUÇÃO

Os ensaios de comparação interlaboratorial são uma ferramenta de controlo da qualidade externo, permitindo avaliar o desempenho dos laboratórios participantes através da comparação dos seus resultados e, caso necessário, implementar acções preventivas ou correctivas. A participação nestes ensaios de intercomparação é obrigatória para os laboratórios acreditados segundo a NP EN ISO/IEC 17025.

Este ECI foi promovido pela Relacre - Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal, tendo integrado a sua comissão técnica as seguintes entidades:

- ADAI
- ARSENAL DO ALFEITE
- DRE-NORTE
- DRE-LVT

Participaram neste ECI 53 laboratórios de acústica de todo o país, dos quais 18 eram laboratórios acreditados para este tipo de ensaios.

### Laboratórios participantes



Figura 1 – Laboratórios participantes

### Enquadramento normativo e legislativo

A Legislação Nacional actualmente em vigor e aplicável ao tipo de ensaios em questão encontra-se publicada no Decreto Lei 96/2008 de 9 de Junho – Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios. Este regulamento define os parâmetros a utilizar e os principais requisitos aplicáveis para isolamento a sons aéreos entre compartimentos, isolamento a sons de percussão de pavimentos e isolamento a sons aéreos de fachadas, para diversos tipos de edifícios.

No que respeita à definição dos métodos de ensaio são aplicáveis as seguintes normas, que correspondem à edição Portuguesa das normas ISO:

- NP EN ISO 140-4:2009 (Ed. 2)  
Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos
- NP EN ISO 140-5:2009 (Ed. 2)  
Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada
- NP EN ISO 140-7:2008  
Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 7: Medição, in situ, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão
- NP EN ISO 717-1:2009  
Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea
- NP EN ISO 717-2:2009  
Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento sonoro a sons de percussão

- ISO 140-14:2004  
Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements --  
Part 14: Guidelines for special situations in the field

### **Condições dos ensaios**

Os ensaios decorreram entre Maio a Julho de 2009, em algumas salas do edifício da Direcção Regional da Economia de Lisboa e Vale do Tejo.

Foi prevista a realização de ensaios de isolamento a sons aéreos e de percussão entre duas salas adjacentes na vertical, sendo a fachada exterior de uma das salas usada para o ensaio de isolamento a sons de fachada. Os sentidos de realização dos ensaios foram pré-definidos, e iguais para todos os laboratórios. A sala receptora foi sempre a mesma em todos os ensaios, de modo a otimizar o tempo disponível para os laboratórios.

A comissão técnica efectuou uma caracterização prévia dos locais de ensaio. Para evitar dispersões muito elevadas entre os laboratórios, particularmente no que respeita à determinação dos tempos de reverberação, a comissão técnica optou por delimitar a área de ensaio na sala receptora, pois devido às características da sala, particularmente à sua grande dimensão, e à configuração do ensaio, poderia introduzir uma fonte de incerteza adicional que não se pretendia aqui considerar.



Figura 2 – Fachada a caracterizar



Figura 3 – Sala receptora



Figura 4 – Sala emissora

Cada laboratório dispõe de 3 horas para efectuar os ensaios, seguindo os seus próprios procedimentos de ensaio, naturalmente baseados nas normas aplicáveis referidas acima.

As dimensões das salas e da fachada eram determinantes para a escolha do número e localização dos pontos de ensaio.

<b>Compartimento</b>	<b>Emissor</b>	<b>Sala 14 (Lab. Acústica), Piso -2, Bloco B</b>				
		<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Altura</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Dimensões</b>	(m)	10,3	4,9	3,0	50,47	151,41

<b>Compartimento</b>	<b>Receptor</b>	<b>Sala 6 (Sala Formação), Piso -1, Bloco B</b>				
		<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Altura</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Dimensões</b>	(m)	12,6	7,05	2,7	88,83	239,84

**Figura 5 – Caracterização das salas**

Dadas as elevadas dimensões das salas, em áreas e volumes, bem como à dimensão linear da fachada, tornava-se necessário aplicar não apenas as normas de base mas também as indicações da norma ISO 140-14.

**O número de posições de microfone e de fonte sonora no compartimento emissor e receptor recomendadas de acordo com a Tabela A.1 da ISO 140-14:2004**

Tipo	Área do chão do Compartimento	Número de posições de fonte e de microfone		
		Posições de Fonte no Emissor	Posições de Microfone Fixo	Número de níveis de pressão sonora
B	50 m <sup>2</sup> até 100 m <sup>2</sup>	2	10	10

<b>Nota:</b>	<b>Não devem ser usadas as mesmas cinco posições de microfone para as duas posições de fonte.</b>
	As posições de microfone quer no compartimento receptor quer no emissor devem ser distribuídas de uma forma não simétrica em todo o espaço.

**Figura 6 – Isolamento a sons aéreos entre compartimentos**

**O número de posições de microfone e de máquina de percussão recomendadas de acordo com a Tabela B.1 da ISO 140-14:2004**

Área do compartimento emissor	Número de posições	Área do compartimento receptor > 50 m <sup>2</sup>
		Separação tipo 2 (betão maciço com mais de 100mm)
> 50 m <sup>2</sup>	Máquina de percussão	8
	Microfone fixo	8

<b>Nota:</b>	O anexo D da norma ISO 140-14:2004 mostra as combinações para as posições da máquina de percussão e do microfone fixo. (a cada posição de máquina de percussão corresponde uma posição de microfone fixo o que corresponde a medir 8 níveis de pressão sonora)
--------------	--

**Figura 7 – Isolamento a sons de percussão de pavimentos**

Para o ensaio de isolamento a sons aéreos de fachadas, e dado que a mesma possui um comprimento superior a 10 m, devia ser considerado o ponto 4.2 da norma NP EN ISO 140-5:

<b>4.2 Altifalante</b>
A direccionalidade do altifalante, em campo livre, deve ser tal que as diferenças locais do nível de pressão sonora em cada banda de frequências de interesse sejam inferiores a 5 dB, com as medições efectuadas sobre uma superfície imaginária que possua a mesma dimensão e orientação do provete de ensaio.

**Figura 8 – Ponto 4.2 da norma NP EN ISO 140-5**

Sendo que o cumprimento deste ponto da norma levava à obrigatoriedade de utilização de duas posições de fonte no exterior, para a realização do ensaio.

### Posições de ensaio dos laboratórios

Os laboratórios participantes definiram de forma autónoma o número de posições de ensaio a utilizar, sendo que nem todos seguiram as indicações referidas acima, particularmente no que respeita ao número de posições das fontes e do microfone.

ISOLAMENTO A SONS AEREOS ENTRE COMPARTIMENTOS				
Tipo de Ensaio	Número de posições de fonte sonora no emissor	Número de posições de microfone fixo	Número de medição de níveis de pressão sonora	Número de laboratórios
Isolamento a sons aéreos entre compartimentos	2	10	10	> 10
	2	5	10	> 15
	2	5	20	< 5
	2	10	20	< 5
	4	5	20	< 5

Figura 9 – Escolha de posições para isolamento a sons aéreos entre compartimentos

ISOLAMENTO A SONS DE PERCUSSÃO DE PAVIMENTOS				
Tipo de Ensaio	Número de posições de máquina de percussão	Número de posições de microfone fixo	Número de medição de níveis de pressão sonora	Número de laboratórios
Isolamento a sons de percussão de pavimentos	8	8	8	> 5
	8	8	16	< 5
	4	8	16	< 5
	4	4	16	< 5
	4	4	8	< 5
	4	4	6	> 5
	4	6	12	< 5
	2	5	10	< 5
2	4	8	< 5	

Figura 10 – Escolha de posições para isolamento a sons de percussão de pavimentos

ISOLAMENTO A SONS AEREOS DE FACHADAS				
Tipo de Ensaio	Número de posições de fonte sonora e distância à fachada	Número de posições de microfone fixo	Número de posições de microfone fixo	Número de laboratórios
Isolamento a sons aéreos de fachadas	2 a 7 m	2	10 / 12	> 5
	2 a 6 m	2	10	< 5
	2 a 5 m	2	10	< 5
	1 a 6 m	1	5 / 10	< 5
	1 a 5 m	3	15	< 5
	1 a 5 m	2	10	< 5
	1 a 5 m	5	10	< 5
	3 a 6 m	5	15	< 5
	3 a 5 m	3	15	< 5
5 a 6 m	5	4	< 5	

Figura 11 – Escolha de posições para isolamento a sons aéreos de fachadas

### ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise estatística dos resultados foi utilizado em primeiro lugar o teste Grubbs com vista à eliminação de valores aberrantes.

O teste de Grubbs consiste na determinação do parâmetro G, por meio da expressão:

$$G = \frac{\max |y_i - \bar{y}_p|}{s}$$

Onde,

$y_i$  – elementos da amostra;  
 $y_p$  – média da amostra de cada laboratório;  
 $s$  - desvio padrão.

O valor  $G$  é posteriormente comparado com os valores críticos de uma tabela estatística (ISO 5725-2:1994 Grubbs and Beck, 1972).

Se  $G_{\text{calculado}} \geq G_{\text{tabelado}}$  considera-se o laboratório como “outlier”/valor aberrante. Esta análise prévia é necessária uma vez que os valores de referência vão ser obtidos a partir dos valores médios dos laboratórios participantes.

Após eliminação dos aberrantes são então calculados o valor médio e o desvio padrão dos resultados dos vários laboratórios, com base nas expressões:

$$Y = \frac{1}{p} \sum_i^p y_i \qquad s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p (Y_i - Y)^2}{p - 1}}$$

O cálculo do indicador de desempenho Z-score é efectuado a partir da expressão:

$$z_i = \frac{Y_i - Y}{s}$$

Onde,

$Y_i$  – média individual do laboratório;  
 $Y$  – média global dos laboratórios (após eliminação dos aberrantes);  
 $S$  – desvio padrão (após eliminação dos aberrantes).

Os resultados são interpretados da seguinte forma:

$ z  \leq 2$	resultado aceitável
$2 <  z  < 3$	resultado questionável
$ z  \geq 3$	resultado inaceitável

## RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

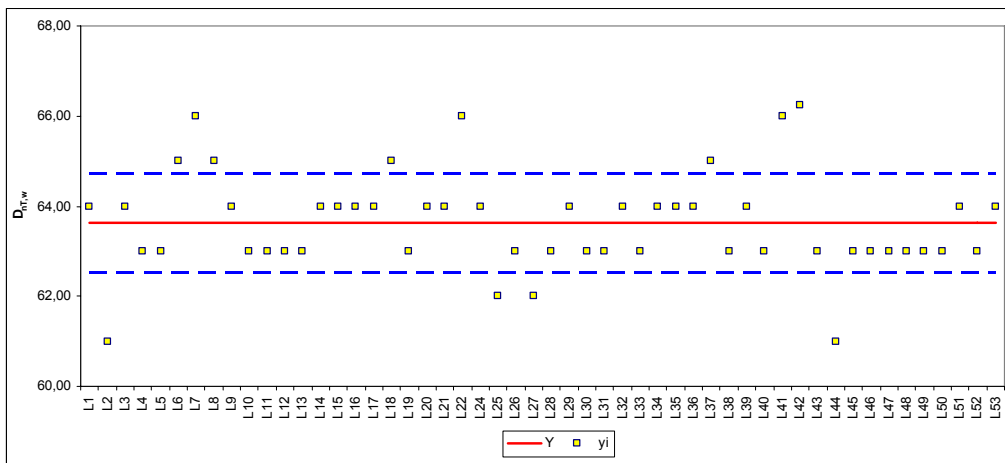


Figura 12 – Resultados obtidos para  $D_{nT,w}$

O laboratório L23 apresentou um valor aberrante para o parâmetro  $D_{nT,w}$ .

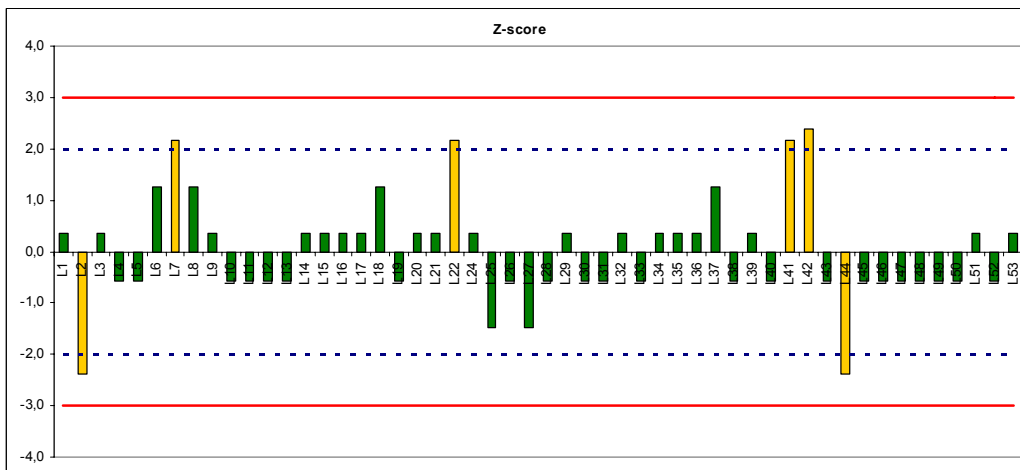


Figura 13 – Valores de Z-score para  $D_{nT,w}$

Os laboratórios L2, L7, L22, L41, L42 e L44 apresentaram desempenhos questionáveis para o parâmetro  $D_{nT,w}$ .

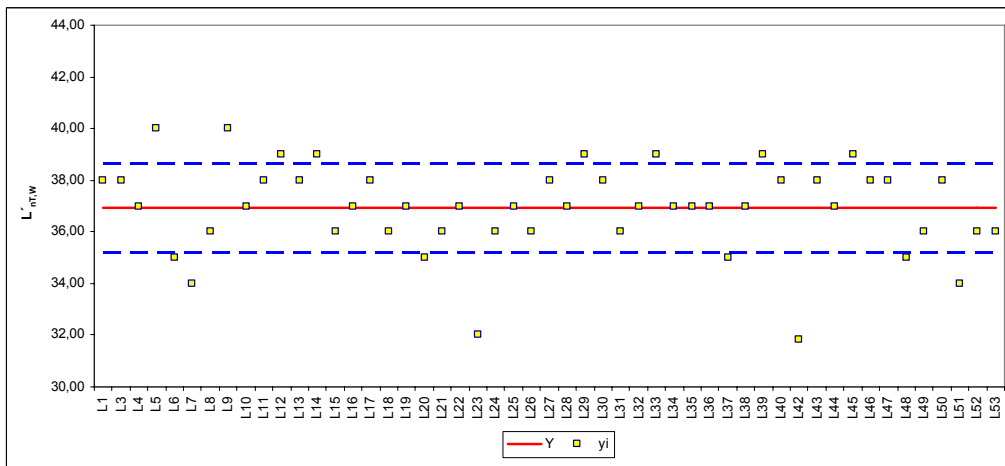


Figura 14 – Resultados obtidos para  $L'_{nT,w}$

Os laboratórios L2 e L41 apresentaram valores aberrantes para o parâmetro  $L'_{nT,w}$ .

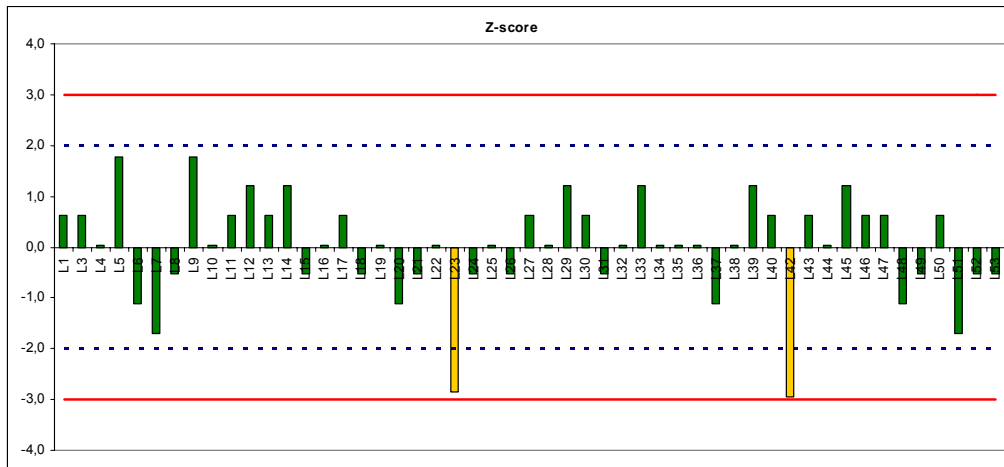


Figura 15 – Valores de Z-score para  $L'_{nT,w}$

Os laboratórios L23 e L42 apresentaram desempenhos questionáveis para o parâmetro  $L'_{nT,w}$ .

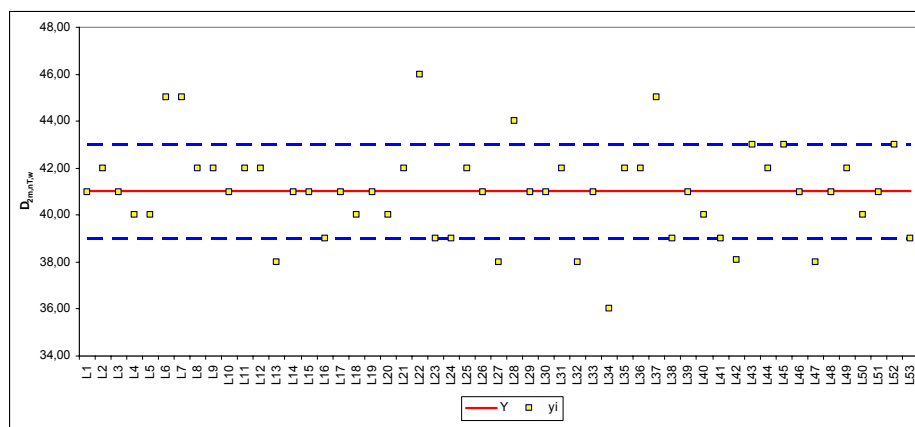


Figura 16 – Resultados obtidos para  $D_{2m,nT,w}$

O laboratório L23 apresentou um valor aberrante para o parâmetro  $D_{2m,nT,w}$ .

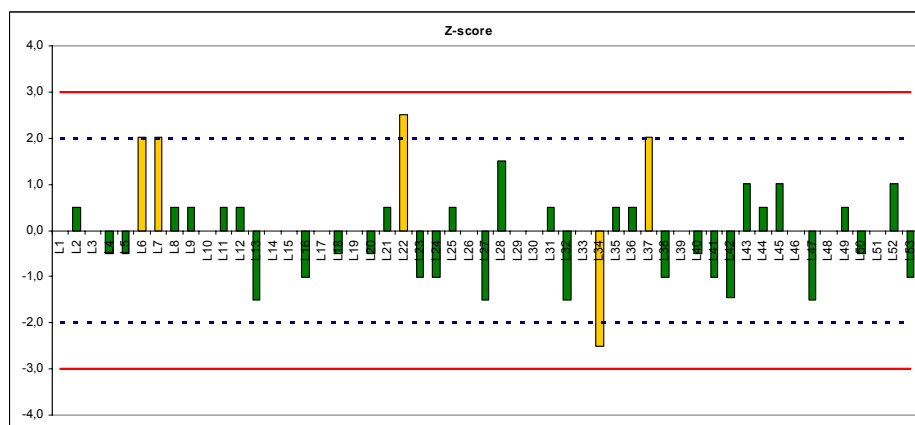


Figura 13 – Valores de Z-score para  $D_{2m,nT,w}$



Os laboratórios L6, L7, L22, L34, e L37 apresentaram desempenhos questionáveis para o parâmetro  $D_{2m,nT,w}$ .

Os resultados globais obtidos para os três parâmetros em causa neste ECI e o respectivo desvio padrão, considerando os valores dos laboratórios com resultados não aberrantes encontram-se sintetizados na tabela seguinte. Os valores de desvio padrão enquadram-se no expectável para este tipo de ensaio, embora para o caso do parâmetro  $D_{2m,nT,w}$ , o desvio padrão obtido seja um pouco elevado. Este valor poderá ser justificado pela variedade de opções utilizada na escolha de posições de fonte e de microfone para este ensaio.

Parâmetro		Valores obtidos [dB]
$D_{nT,w}$	Média (Y)	63,6
	Desvio padrão (s)	1,10
$L'_{nT,w}$	Média (Y)	36,9
	Desvio padrão (s)	1,73
$D_{2m,nT,w}$	Média (Y)	41,0
	Desvio padrão (s)	1,99