

MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AREA E DE PERCUSSÃO. ENSAIO DE COMPARAÇÃO LABORATORIAL

PACS: 43.55.Rg

Antunes, Sónia
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Av. Brasil, 101
1700-066 Lisboa. Portugal
Tel: (+351) 218443834
Fax: (+351) 218443028
Email: santunes@Inec.pt

ABSTRAT

Between October and November of 2004 the Portuguese Association of Accredited Laboratories (RELACRE) promoted the realization of an intercomparison in the field of building acoustics named: "Field Measurements of the airborne sound insulation between rooms and impact sound insulation of floors". Each participant laboratory should measure airborne and impact sound insulation between two and perform the calculation of the single number quantities D_{nw} and L'_{nw} . This article presents the methodologies used for the determination of the reference value, the results and the main conclusions of this intercomparison

RESUMO

Durante os meses de Outubro e Novembro de 2004 a Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal (RELACRE) promoveu a realização de um ensaio de comparação interlaboratorial no domínio da Acústica de Edifícios intitulado: "Medições in situ do Isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos e isolamento sonoro a sons de percussão de pavimentos". Neste ensaio foi solicitado que cada laboratório participante caracterizasse o isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão entre dois quartos adjacentes e efectuar o calculo do respectivo índice de isolamento sonoro, na perspectiva da Regulamentação actualmente em vigor em Portugal. Esta comunicação apresenta a metodologia utilizada na determinação dos valores de referência, os resultados obtidos e principais conclusões.

INTRODUÇÃO

Em Portugal, a legislação presentemente em vigor — Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (aprovado pelo Decreto —Lei nº 129/2002 de 11 de Maio) — estabelece um conjunto de critérios para o desempenho acústico dos edifícios de modo a potenciar condições de conforto acústico no seu interior. Para determinados tipos de edifícios, estes critérios são expressos em termos valores mínimos admissíveis para o índice de isolamento a sons de condução aérea, normalizado, $D_{n,w}$ e de valores máximos admissíveis para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão normalizado, $L'_{n,w}$. No caso das avaliações "in situ" destinadas a verificar o cumprimento deste regulamento deve ser tido em conta um factor de incerteza I (com $I = 3\text{dB}$) associado à determinação do índice de isolamento a sons aéreos

(neste caso o valor determinado experimentalmente acrescido do factor I deve satisfazer o limite regulamentar) e à determinação do índice de isolamento sonoro a sons de percussão (tendo-se que neste caso o valor determinado experimentalmente diminuído do factor I deve satisfazer o limite regulamentar). As medições “in situ” do isolamento sonoro normalizado (D_n) a sons de condução aérea (expressão 1) devem ser efectuadas segundo as metodologias descritas na norma EN ISO 140-4, devendo preferencialmente ser realizadas por banda de terço de oitava, enquanto que a determinação do respectivo índice de isolamento sonoro deve ser realizada segundo a metodologia descrita na norma EN ISO 717-1.

$$D_n = L_E - L_R - 10 \log_{10} \frac{A}{(A_0)} \quad (1)$$

em que : L_E representa o nível sonoro médio no compartimento emissor, determinado a partir da média energética (de acordo com a expressão 2) dos valores obtidos para cada posição do microfone fixo (o número mínimo de posições de medição é de $n=5$); L_R representa o nível sonoro médio no compartimento receptor; A , representa a área de absorção sonora equivalente do compartimento receptor, sendo determinada experimentalmente com base em medições do tempo de reverberação e utilizando-se a expressão de Sabine (expressão 3, em que V representa o volume do compartimento receptor e T o tempo de reverberação); A_0 representa a área de absorção sonora de referência e é igual a 10 m^2 .

$$L_E = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{(L_{E_i})/10} \right] \quad (2)$$

$$A = \frac{0,16V}{T} \quad (3)$$

As medições “in situ” do nível de percussão normalizado, por banda de terço de oitava (L'_n), (expressão 4) devem ser efectuadas segundo as metodologias descritas na norma EN ISO 140-7, enquanto que a determinação do respectivo índice de isolamento sonoro deve ser realizada segundo a metodologia descrita na norma EN ISO 717-2.

$$L'_n = L_R + 10 \log_{10} \frac{A}{(A_0)} \quad (4)$$

em que L_R representa o nível sonoro médio no compartimento receptor. Este ensaio de comparação interlaboratorial foi realizado nas instalações para estagiários do Centro de Convívio do LNEC e consistiu na realização de medições do isolamento sonoro a sons de condução aérea de uma parede divisória (com uma área de aproximadamente $9,6 \text{ m}^2$) entre dois quartos adjacentes do centro de convívio do LNEC (sendo o compartimento receptor designado por suite do piso 1 e ao qual corresponde um volume aproximadamente igual a 56 m^3) e medições do nível médio de percussão normalizado de um pavimento localizado no piso sobrejacente à suite do piso 1 (que constituía o compartimento receptor para os dois diferentes tipos de medições). Para o estabelecimento da metodologia de trabalho, determinação dos valores de referência e erros máximos face ao valor de referência foi constituída uma comissão técnica que integrou elementos dos Laboratórios de Acústica das seguintes instituições: LNEC; Direcção Regional do Norte, de Lisboa e Vale do Tejo e do Algarve do Ministério da Economia e Arsenal do Alfeite. A Comissão realizou medições no início, a meio e no final do ensaio tendo os pontos de medição sido distribuídos pelos diferentes quartos segundo as metodologias descritas nas normas EN ISO 140-4 e EN ISO 140-7. Nas medições do tempo de reverberação (obtendo-se este valor a partir de um decaimento dos níveis de pressão sonora de 30 dB) utilizou-se o método da fonte interrompida, validando-se os resultados obtidos segundo os critérios descritos no anexo B do projecto de norma ISO/CD 3382-2 (grau de não linearidade e grau de curvatura do decaimento). Também foram realizadas medições do tempo de reverberação do compartimento receptor utilizando-se o método impulsivo, com recurso a uma pistola. O conjunto de equipamentos de medição, analisadores de ruído: 2260 e 2231 da B&K, NA-27 da RION, Symphonie da 01dB, 593 da CEL, fontes sonoras de sons aéreos e máquinas de percussão normalizadas, utilizados pela comissão técnica pretendiam abranger um leque representativo dos equipamentos que têm actualmente aprovação de modelo em Portugal e que apresentam especificações técnicas adequadas para a realização destes ensaios. Foram convidados a participar Laboratórios de Ensaios Acreditados para a área da Acústica, assim

como também outros laboratórios interessados nesta área. Cada laboratório foi convidado a levar o seu equipamento de medição e respectivos protectores auriculares, dispondo cada participante de 3,5 horas para realizar as medições, devendo seguir a sua rotina normal no que respeita a operadores e equipamento. Antes de cada ensaio foi fornecido a cada participante uma ficha de registo de ensaio para a identificação do laboratório participante, data do ensaio e equipamento utilizado, registo dos resultados obtidos (D_n ; L'_{n} ; $D_{n,w}$; $L'_{n,w}$; medições do tempo de reverberação em função da frequência) e para a localização dos pontos de medição e posição das fontes sonora utilizadas na realização das medições.

RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

Apresentam-se no quadro 1 os valores utilizados como referência neste ensaio de comparação interlaboratorial, os respectivos desvios padrão e os valores de reprodutibilidade calculados de acordo com a norma EN ISO 140-2. Os valores de reprodutibilidade são em regra inferiores aos publicados na referida norma, tendo-se optado para a avaliação do desempenho dos participantes a utilização dos valores constantes na EN ISO 140-2. Nas figuras seguintes apresenta-se graficamente em função da frequência os resultados obtidos por 11 laboratórios participantes e os valores dos desvios relativamente ao valor de referência admissíveis neste ensaio de comparação interlaboratorial para o isolamento sonoro a sons aéreos (figura 1) e para o isolamento sonoro a sons de percussão (figura 2). No quadro 2 apresentam-se os valores obtidos para o isolamento sonoro a sons aéreos e as sons de percussão, assim como os respectivos desvios padrão e reprodutibilidade em função da frequência, considerando o valor médio dos resultados obtidos pelas medições realizadas pelos laboratórios participantes e pelos laboratórios da Comissão Técnica.

Quadro 1 – Valores do isolamento sonoro a sons aéreos (D_n) e de percussão (L'_{n}) e respectivos desvio padrão e de reprodutibilidade do valor de referência.

Freq. (Hz)	< D_n > (dB)	Dev. Pd. (dB)	Repro. (dB)	< L'_{n} > (dB)	Dev. Pd. (dB)	Repro. (dB)
100	29,2	2,6	7,2	60,3	1,0	2,8
125	35,8	2,9	8,2	59,8	0,9	2,4
160	30,7	3,1	8,7	63,8	1,5	4,3
200	34,9	1,7	4,8	63,9	0,5	1,3
250	35,3	1,4	3,9	66,2	0,9	2,6
315	35,2	1,1	3,0	67,3	0,6	1,7
400	36,4	1,1	3,2	67,5	0,4	1,1
500	37,9	0,7	2,0	67,6	0,7	2,1
630	40,7	1,1	3,2	67,5	0,9	2,5
800	42,6	0,9	2,5	67,6	0,9	2,5
1000	43,3	1,0	2,9	67,1	1,0	2,8
1250	45,0	0,7	2,0	66,7	1,3	3,7
1600	46,8	0,5	1,5	64,1	1,4	3,9
2000	48,1	1,0	2,8	61,6	1,6	4,5
2500	46,2	1,4	3,8	57,6	1,9	5,4
3150	48,2	1,0	2,8	52,5	2,7	7,5

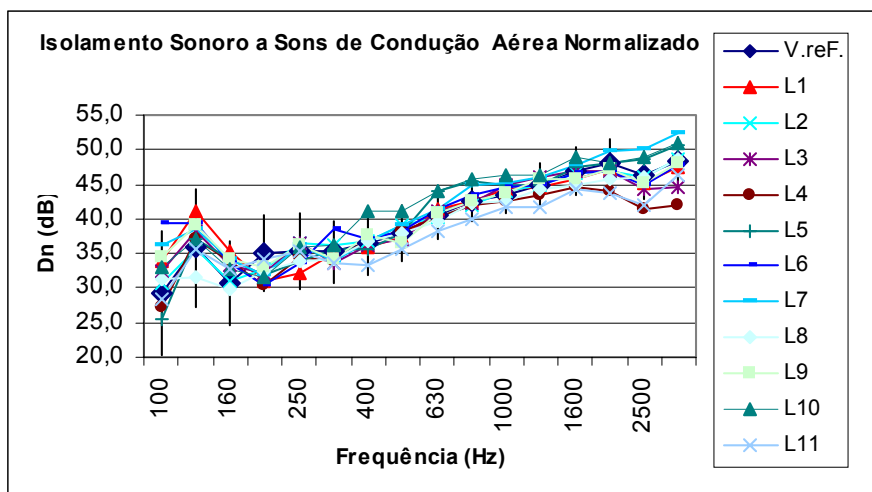


Fig. 1 – Valores do isolamento sonoro a sons aéreos obtidos pelos laboratórios participantes

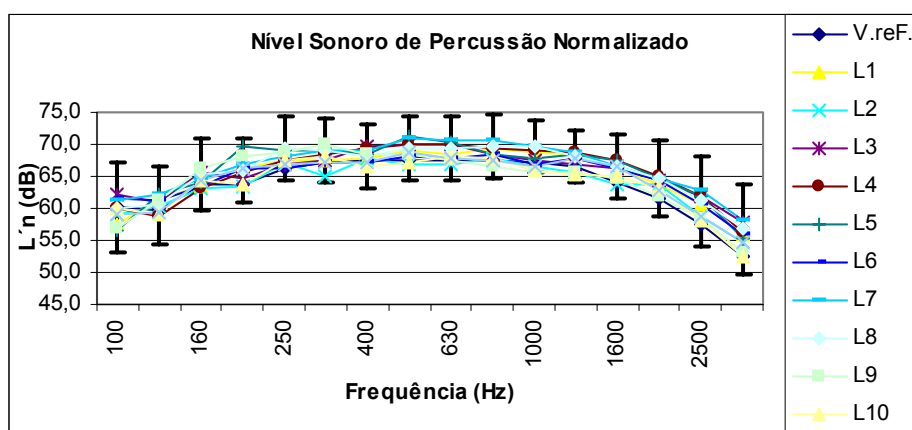


Fig. 2 – Valores do isolamento sonoro a sons aéreos obtidos pelos laboratórios participantes

Quadro 2 – Valores do isolamento sonoro a sons aéreos (D_n Lab) e de percussão (L'_n Lab) e respectivos desvio padrão e de reprodutibilidade de todos os laboratórios participantes.

Freq. (Hz)	$\langle D_n \text{ Lab} \rangle$ (dB)	Dev. Pd. (dB)	Repro. (dB)	$\langle L'_n \text{ Lab} \rangle$ (dB)	Dev. Pd. (dB)	Repro. (dB)
100	30,7	3,62	10,1	59,9	1,55	4,4
125	36,6	2,74	7,7	60,3	1,14	3,2
160	32,0	2,69	7,5	64,1	1,30	3,6
200	33,4	2,05	5,7	65,0	1,76	4,9
250	35,1	1,40	3,9	67,0	1,29	3,6
315	35,1	1,26	3,5	67,7	1,19	3,3
400	36,6	1,52	4,2	67,9	0,86	2,4
500	38,0	1,16	3,3	68,4	1,39	3,9
630	40,9	1,45	4,1	68,2	1,31	3,7
800	42,8	1,36	3,8	68,2	1,14	3,2
1000	43,7	1,25	3,5	67,5	1,31	3,7
1250	44,9	1,09	3,1	67,0	1,33	3,7
1600	46,6	1,11	3,1	65,1	1,61	4,5
2000	47,4	1,56	4,4	62,9	1,78	5,0
2500	45,9	2,15	6,0	59,2	2,35	6,6
3150	48,1	2,19	6,1	54,2	2,72	7,6

Neste ensaio de comparação interlaboratorial o valor médio para o índice de isolamento sonoro obtido pelos laboratórios que constituíram a Comissão Técnica é igual a 43 dB (sons aéreos) 68 dB. Para estes dois parâmetros optou-se por realizar a avaliação do desempenho dos participantes tendo como base o factor de incerteza publicado na legislação portuguesa (ou seja, admite-se um desvio de 3 dB relativamente ao valor de referência). Neste trabalho, e tendo em conta os valores médios e os desvios padrão de todos os laboratórios participantes (valores do quadro 2) foi utilizado um método numérico baseado na simulação de Monte Carlo para a determinação dos desvios máximos admissíveis associados aos índices de isolamento sonoro e seguindo a metodologia apresentada na comunicação [7]. A simulação de Monte Carlo utilizada consistiu em admitir que cada variável de entrada (neste caso 16, correspondendo cada uma ao isolamento sonoro da frequência central da banda de terço de oitava respectiva) é representada por uma função de distribuição de probabilidade (fdp) Normal, com valor médio igual ao isolamento sonoro e desvio padrão igual ao desvio de reprodutibilidade obtido considerando a contribuição de todos os laboratórios participantes (valores constantes no quadro 2). Foram gerados aleatoriamente 5000 valores para cada fdp das variáveis de entrada e que foram utilizados para a determinação do índice de isolamento sonoro de acordo com a metodologia descrita nas normas EN ISO 717-1 e 717-2. Deste modo foram obtidas cerca de 5000 aproximações para a fdp da mensuranda. Estes valores foram ordenados por ordem crescente num bloco, obtendo-se uma distribuição da frequência dos possíveis valores do índice de isolamento sonoro (histograma). A melhor estimativa da mensuranda é determinada pelo valor médio destes possíveis valores e a incerteza de medição associada é determinada pela raiz quadrada da variância dos valores obtidos. Obteve-se a representação gráfica do ajustamento à distribuição Normal (Papel de Probabilidades) da fdp da grandeza de saída, calculando-se o respectivo coeficiente de correlação. As figuras 3 e 4 representam os histogramas das distribuições de frequência para o índice de isolamento sonoro a sons aéreos (ao qual corresponde um valor médio de 43 dB e o desvio padrão de 1,5 dB) e para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão (ao qual corresponde um valor médio de 69 dB e o desvio padrão de 1,7 dB), utilizando a técnica de simulação de Monte Carlo. A estes valores assim obtidos tendo como base as medições realizadas “*in situ*” corresponde uma incerteza de medição para a determinação do índice de isolamento a sons aéreos de 3 dB e para os sons de percussão de 3,4 dB,”. Considerando que a média dos valores obtidos por todos os laboratórios é de 43 dB para o índice de isolamento sonoro a sons de aéreos, com uma dispersão de valores entre os 40 e 45 dB (cerca de 3 dB em torno do valor médio) e de 69 dB para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, com uma dispersão de valores entre os 66 e 71 dB (cerca de 3 dB em torno do valor médio), os resultados obtidos pela simulação de Monte Carlo apresentam-se como uma técnica promissora na determinação da incerteza de medição associada à determinação dos índices de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão.

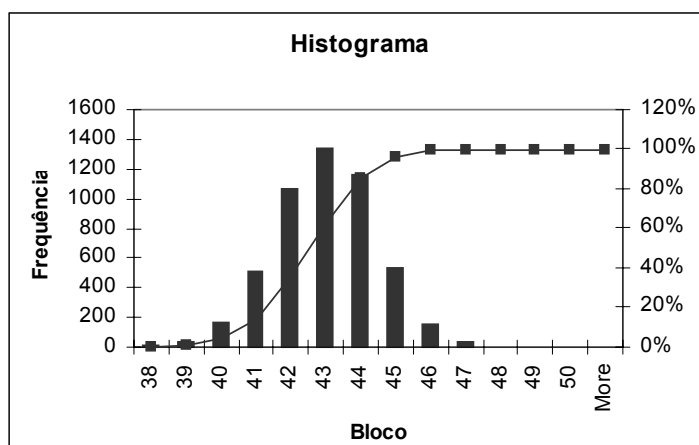


Fig. 3 - Histograma relativo à distribuição de frequências para o índice de isolamento sonoro a sons aéreos ($V_{\text{médio}} = 43$ dB, $Dev. \text{ Pad} = 1,5$ dB)

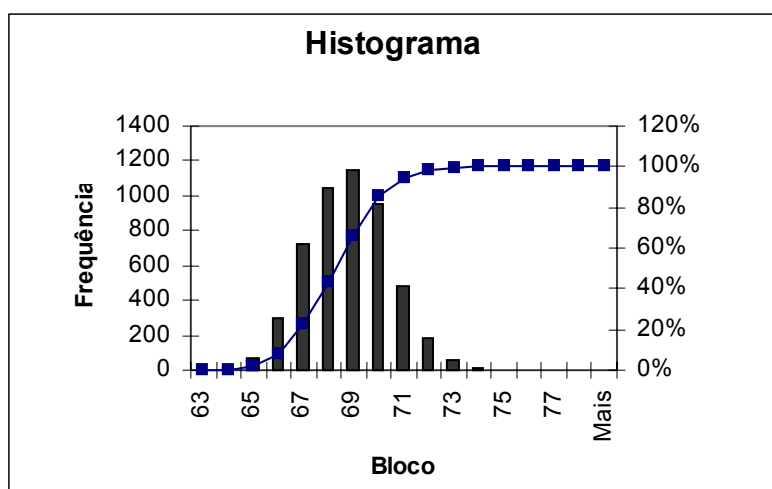


Fig. 4- Histograma relativo à distribuição de frequências para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão ($V_{\text{médio}} = 69$ dB, $\text{Dev. Pad} = 1,7$ dB)

AGRADECIMENTOS

Agradece-se aos técnicos dos Laboratórios de Acústica da Direcção Regional do Ministério da Economia do Norte, de Lisboa e Vale do Tejo e do Algarve e aos técnicos do Laboratório de Acústica do Arsenal do Alfeite e do LNEC que contribuíram para a realização da campanha de medições. Finalmente agradece-se às firmas Bruel & Kajer Portugal, Amberg e MRA Instrumentação pela cedência de equipamentos que foram utilizados nas medições.

REFERÊNCIAS

- [1] – Série de normas EN ISO 140. Acoustics - *Measurement of sound insulation in buildings and of building elements*.
- [2] EN ISO 717-1:1996. Acoustics - *Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation*.
- [3] EN ISO 717-2: 1996. Acoustics - *Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation*
- [4] ISO/TR 140-13: 1997. Acoustics - *Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 13: Guidelines*
- [5] ISO/CD 3382-2: 2003. Acoustics. - *Measurement of reverberation time. Part 2 : Ordinary rooms*.
- [6] Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios. Decreto-Lei nº 129/2002 de 11 de Maio de 2002.
- [7] Antunes, Sónia - *Determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão. Análise das fontes de incerteza de medição e determinação da incerteza expandida de medição*. A publicar In Proceedings do 36º Congresso Nacional de Acústica e Encontro Ibérico de Acústica.