

## MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS EM LABORATÓRIO. AVALIAÇÃO DA REPRODUTIBILIDADE DOS TÉCNICOS E INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ASSOCIADAS

PACS: 43.58c

Sónia Monteiro Antunes<sup>1</sup>, Tiago Dias<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil

{[santunes@lneec.pt](mailto:santunes@lneec.pt), [tiagodias.business@gmail.com](mailto:tiagodias.business@gmail.com)}

### RESUMO

Atualmente a garantia de qualidade em laboratórios de ensaios de acústica integra a realização de ensaios periódicos para a aferição da proficiência de técnicos. Neste contexto, a realização de ensaios de repetibilidade e reprodutibilidade, e respectivo processamento de resultados, tendo em conta a normalização mais recente sobre o assunto, pode apresentar-se como um método eficiente para a avaliação deste requisito. Com o objectivo de determinar o valor de repetibilidade e reprodutibilidade dos técnicos do Laboratório de Ensaios de Acústica do LNEC, efectuaram-se 2 conjuntos de ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos, utilizando a série de normas internacionais ISO 10140-2, para a medição do isolamento sonoro a sons aéreos. Nesta comunicação apresenta-se a análise dos ensaios efetuados, assim como o balanço de incertezas associado.

**Palavras-chave:** Acústica de edifícios, isolamento sonoro, incerteza de medição.

### ABSTRACT

Nowadays the quality assurance in testing laboratories integrates the assessment of technical proficiency by realization of periodic tests. In this context, laboratories must conducted repeatability and reproducibility tests. This procedure can be used as an efficient method for the assessment of technical proficiency. In order to determine the value of repeatability for the acoustics and vibrations in buildings laboratory at LNEC, repeated measurements of airborne sound insulation were made, according to the set of ISO 10140-2 international standards. This paper presents the analysis of the reproducibility tests performed, and the measurement uncertainties associated.

**Keywords:** Building acoustics, sound isolation, measurement uncertainty

## 1- INTRODUÇÃO

Na realização de medições no domínio da Acústica, é essencial ter em conta três aspetos, designadamente:

- Equipamento de medição calibrado e rastreado a padrão primário de medição por meio de uma cadeia ininterrupta de comparações;
- Método pré-estabelecido para a medição, de preferência normalizado internacionalmente;
- Executante treinado e experiente na área.

A coexistência destes três aspetos, em simultâneo, permite que laboratórios distintos obtenham resultados análogos, dentro de gama de valores de reprodutibilidade, para a medição em causa. O terceiro aspeto, a utilização de um executante treinado e experiente na área, reveste-se de extrema importância, nesta área, tendo em conta a necessária interpretação crítica dos resultados obtidos e respetiva validação. Com o objectivo de aferir a proficiência dos técnicos de ensaio da unidade de acústica e vibrações em edifícios do LNEC (UAVE), para os ensaios de medição do isolamento sonoro a sons aéreos, em laboratório, foram desenhados dois conjuntos de ensaios. Para este efeito, foi colocada uma parede de alvenaria de blocos de betão, com espessura de 0,32 m e massa superficial de 226 kg/m<sup>2</sup>, a qual foi aplicada uma camada de isolante térmico, pelo exterior, constituída por lã mineral de 60 mm de espessura, e camada de regularização de espessura igual a 6 mm, entre as duas camaras reverberantes, existentes no LNEC.

No primeiro conjunto, foi realizada uma sucessão de cinco ensaios de repetibilidade pelo mesmo operador, enquanto que para o segundo conjunto, os ensaios foram realizados por 4 técnicos distintos. Em ambos os casos, os valores obtidos, foram confrontados com os valores constantes na norma internacional ISO 12999-1:2014. Para a realização deste trabalho, entendeu-se como condições de repetibilidade, a determinação de uma mesma grandeza, utilizando o mesmo procedimento, operador, equipamento e local, sendo as medições realizadas sobre um mesmo elemento de teste ou similar e num curto intervalo de tempo. Enquanto as condições de reprodutibilidade, são entendidas como as condições de medição que incluem a variação do operador, mantendo os restantes parâmetros de medição (provetes de ensaio, equipamento, procedimento e instalações). Os valores obtidos nestes dois conjuntos de medições são utilizados na determinação da incerteza de medição do laboratório.

## 2 - ENSAIOS DE REPETIBILIDADE

Com o objectivo de determinar os valores de repetibilidade na medição do isolamento sonoro a sons aéreos, foi realizada uma sucessão de cinco ensaios no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). As medições iniciaram-se no dia dez de Outubro de 2013 tendo sido finalizadas no dia dezoito do mesmo mês. Para a elaboração deste estudo foram tidos em conta todos os procedimentos especificados na norma internacional ISO 10140-2 [2]. Na tabela 1 apresentam-se os resultados obtidos para os cinco ensaios, designadamente o índice de redução sonora, em condições de repetibilidade (mesmo operador, o mesmo equipamento e o mesmo provete e instalação laboratorial). Na tabela 2 são apresentados os respectivos valores médios e os desvios padrão da média. A última coluna da Tabela 2 indica os desvios padrão da média, apresentados na norma ISO 12999-1, [1] para a situação em que as medições são efectuadas em condições de repetibilidade, e com o mesmo operador (situação C). Pela análise dos valores constantes nestas duas últimas colunas, é possível verificar que o técnico realizou os ensaios dentro dos parâmetros de repetibilidade, descrito na norma referida.

Tabela 1 – Resultados da medição do índice de redução sonora, para cada uma das cinco medições efetuadas em condições de repetibilidade

f(Hz)	Ens01	Ens02	Ens03	Ens04	Ens05
100	30.1	30.3	30.4	30.4	30.4
125	31.7	32.0	31.7	32.4	31.5
160	34.5	35.2	34.0	34.9	34.5
200	34.5	34.8	34.4	35.3	35.5
250	40.0	40.6	40.0	39.9	40.8
315	43.3	43.3	43.3	44.2	43.8
400	44.0	43.5	43.3	43.2	43.3
500	46.1	46.0	45.5	45.7	45.7
630	48.2	47.6	47.7	47.4	47.7
800	49.8	49.5	50.0	49.4	49.5
1000	53.0	53.0	52.9	52.6	52.8
1250	53.9	53.9	53.6	54.1	53.8
1600	55.5	55.5	55.3	54.9	55.0
2000	57.8	57.4	57.2	57.2	57.4
2500	57.7	57.6	57.6	57.5	57.6
3150	58.7	58.2	58.5	58.3	58.2

Tabela 2 – Valor médio e respetivo desvio padrão da média, e valor máximo para o desvio padrão de repetibilidade (ISO 12999-1)

f(Hz)	Média Arit. (dB)	$s_r$ (Desvio Padrão)	$s_r$ (ISO 12999-1)
100	30.3	0.12	1.4
125	31.9	0.34	1.2
160	34.6	0.46	1.0
200	34.9	0.47	0.9
250	40.2	0.40	0.8
315	43.6	0.40	0.7
400	43.5	0.30	0.6
500	45.8	0.23	0.6
630	47.7	0.32	0.6
800	49.6	0.26	0.6
1000	52.9	0.16	0.6
1250	53.9	0.18	0.6
1600	55.2	0.25	0.6
2000	57.4	0.25	0.6
2500	57.6	0.09	0.6
3150	58.4	0.21	0.6

### 3 - ENSAIOS DE REPRODUTIBILIDADE DOS TÉCNICOS

Foram realizados novos ensaios, para o mesmo provete, mas desta vez por 4 técnicos distintos. A sequência de ensaios demorou cerca de uma semana, efectuando o primeiro técnico (neste caso, o técnico com mais experiência), uma aferição dos resultados, antes e depois dos restantes 3 técnicos. Na tabela 3 apresentam-se os resultados para a medição do índice de redução sonora, enquanto que na tabela 4 são apresentados, respectivamente, os resultados para os respectivos valores médios, por operador, valor médio global (6ª coluna) e desvio padrão de repetibilidade (7ª coluna) e desvio padrão de reprodutibilidade (8ª coluna).

Confrontando os resultados de reprodutibilidade obtidos na tabela 4, com os resultados do desvio padrão de repetibilidade da norma ISO 12999-1 (coluna 4 da tabela 2), verifica-se que a reprodutibilidade obtida para os 4 técnicos é sempre inferior à preconizada pela norma. Neste caso, optou-se por fazer uma comparação directa com os valores correspondentes à situação C indicada pela norma (e que correspondem aos valores mais baixos), uma vez que os ensaios são repetidos sempre na mesma instalação laboratorial e com o mesmo tipo de equipamento (sistema de medição Pulse).

Tabela 3 – Resultados da medição do índice de redução sonora, medições efectuadas por 4 técnicos distintos

f(Hz)	OPERADOR A						OPERADOR B			OPERADOR C			OPERADOR D		
	R1A	R2A	R3A	R4A	R5A	R6A	R1B	R2B	R3B	R1C	R2C	R3C	R1D	R2D	R3D
100	30.1	30.3	30.3	30.4	30.4	31.1	30.3	30.9	30.4	31.1	30.5	30.7	30.3	30.5	30.2
125	31.6	31.4	31.7	31.2	31.2	30.9	31.2	31.1	31.3	31.1	31.0	30.6	31.1	31.0	31.1
160	34.3	34.3	34.4	34.1	33.9	33.9	33.6	34.2	33.9	34.4	34.2	32.9	34.0	33.4	34.1
200	36.2	36.3	36.8	37.0	36.8	36.2	36.9	36.2	36.4	37.3	37.1	36.5	36.1	36.5	35.7
250	39.3	39.4	39.7	40.4	40.4	39.9	39.0	38.7	38.5	40.4	40.1	39.9	40.2	40.6	41.3
315	43.7	43.3	43.3	43.1	43.0	43.0	43.3	43.3	43.3	43.6	43.6	43.5	43.0	43.6	43.7
400	43.0	43.4	43.7	43.8	43.8	43.8	43.3	44.0	43.2	43.9	43.9	43.6	43.9	43.9	43.8
500	45.9	45.8	45.7	45.7	45.7	45.7	45.4	46.2	45.6	45.8	45.6	45.4	46.0	46.0	46.1
630	47.3	47.3	47.1	46.8	46.8	46.7	46.5	47.8	46.7	47.0	47.0	47.0	47.6	47.3	47.7
800	49.4	49.3	49.1	49.7	49.7	49.3	49.0	49.4	49.0	49.5	49.3	49.4	49.7	49.6	50.2
1000	52.6	52.5	52.5	52.9	52.9	52.4	52.8	52.5	52.6	52.6	52.9	52.7	53.1	53.3	53.3
1250	53.7	53.7	53.7	53.6	53.6	53.5	53.6	53.4	53.5	53.5	53.6	53.8	54.1	53.9	53.9
1600	54.7	54.8	54.6	55.0	54.8	54.8	54.9	55.3	54.9	54.8	54.9	55.0	55.4	55.2	55.4
2000	56.9	57.0	57.0	56.9	56.8	57.1	57.0	57.1	56.9	57.1	57.2	57.0	57.6	57.6	57.4
2500	57.1	57.0	57.2	57.1	57.0	57.0	57.3	57.7	57.0	57.2	57.3	57.1	57.4	57.4	57.6
3150	57.1	57.1	57.2	57.2	57.2	57.3	57.3	57.2	57.2	57.2	57.4	57.3	57.9	57.6	57.5

Tabela 4 – Médias dos resultados na medição do índice de redução sonora para cada operador, média global da medição e desvio padrão de reprodutibilidade

f(Hz)	OPERADOR A	OPERADOR B	OPERADOR C	OPERADOR D	Média Geral (dB)	Média (s <sub>r</sub> )	s <sub>c</sub> (Desvio Padrão)
	Média Arit. (dB) A	Média Arit. (dB) B	Média Arit. (dB) C	Média Arit. (dB) D			
100	30.4	30.5	30.8	30.3	30.5	0.28	0.21
125	31.3	31.2	30.9	31.1	31.1	0.19	0.18
160	34.2	33.9	33.8	33.8	33.9	0.42	0.16
200	36.5	36.5	37.0	36.1	36.5	0.38	0.35
250	39.9	38.7	40.1	40.7	39.8	0.38	0.82
315	43.2	43.3	43.6	43.4	43.4	0.18	0.15
400	43.6	43.5	43.8	43.9	43.7	0.25	0.18
500	45.7	45.7	45.6	46.0	45.8	0.20	0.20
630	47.0	47.0	47.0	47.5	47.1	0.30	0.26
800	49.4	49.1	49.4	49.8	49.4	0.22	0.29
1000	52.6	52.6	52.8	53.2	52.8	0.18	0.28
1250	53.7	53.5	53.6	54.0	53.7	0.10	0.21
1600	54.8	55.0	54.9	55.3	55.0	0.14	0.24
2000	56.9	57.0	57.1	57.5	57.1	0.11	0.28
2500	57.1	57.4	57.2	57.5	57.3	0.16	0.17
3150	57.2	57.2	57.3	57.7	57.4	0.11	0.22

#### 4 – INCERTEZA DE MEDIÇÃO ASSOCIADA

Utilizando a informação referente aos valores de repetibilidade e reprodutibilidade obtidos neste trabalho, foi também calculada a incerteza de medição associada. A metodologia utilizada neste cálculo seguiu o publicado numa comunicação anterior [5]. Para este efeito consideraram-se as seguintes contribuições para a incerteza do tipo A:

- contribuição associada à repetibilidade do ensaio (desvio padrão da média constante na tabela 2);
- contribuição associada à medição do tempo de reverberação de acordo com cálculo da norma ISO 3382-2 (padrão da média constante na tabela 2).

Para a avaliação da incerteza de medição do tipo B foram consideradas as seguintes fontes de incerteza:

- contribuição devidas ao padrão (calibrador acústico) utilizado no ajuste da sensibilidade global do sonómetro em função da frequência (incerteza de calibração, coeficientes de temperatura e de pressão atmosférica);
- contribuição devida à diferença entre a resposta em campo livre e o campo de pressão do sonómetro (0,0001 dB);
- contribuição devida à resolução do equipamento de medição (0,03 dB) e a contribuição devida ao arredondamento do resultado final (0,003 dB);
- contribuição devida ao equipamento de medição.

Para a estimativa das contribuições devidas ao equipamento de medição recorreu-se a informação constante num relatório publicado pelo *National Physical Laboratory* [5], onde são consideradas as contribuições devidas à linearidade do sonómetro fora da gama de referência (0,09 dB), ao detector RMS (0,1 dB), à utilização da resposta de ponderação de tempo Fast (0,14 dB), à utilização de filtros de terço de oitava (entre 0,06 e 0,03 dB em função da frequência), à influência do corpo do sonómetro no campo sonoro (entre 0,01 e 0,04 dB em função da frequência), à influência da presença do operador (0,12 dB) e à influência das condições ambientais (temperatura e pressão atmosférica) no nível de sensibilidade do microfone (respectivamente iguais a 0,05 e 0,03 dB).

- reprodutibilidade dos técnicos de ensaio ( 8ª coluna da tabela 4).

Na tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos para a incerteza de medição, em bandas de terço de oitava, na determinação do índice de redução sonora.

Tabela 5 – Incertezas de medição para o ensaio de isolamento sonoro a sons aéreos

f (Hz)	u 95% (dB)	f (Hz)	u 95% (dB)	f (Hz)	u 95% (dB)
100	0.69	400	0.95	1600	0.84
125	1.05	500	0.79	2000	0.85
160	1.25	630	1.01	2500	0.64
200	1.33	800	0.87	3150	0.80
250	1.55	1000	0.70		
315	1.12	1250	0.69		

## 5 - CONCLUSÕES

Embora a análise de resultados e o tipo de ensaios realizados não substituam a participação num ensaio interlaboratorial, a metodologia utilizada permite fazer a avaliação da proficiência dos técnicos. De facto é possível verificar se o desempenho de um técnico, assenta em valores de reprodutibilidade da mesma ordem de grandeza que os preconizados pela norma internacional ISO 12999-1. A utilização desta metodologia, permite igualmente uma actualização do cálculo da incerteza de medição, com o recurso a introdução valores de reprodutibilidade para os ensaios.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] ISO 12999-1- Acoustics – Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics. Part 1 : Sound insulation, 2014

[2] ISO 10140-2: Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation, 2010

[3] ISO 3382-2: Acoustics — Measurement of room acoustic parameters -- Part 2: Reverberation time in ordinary rooms, 2008

[4] NPL REPORT DQL-AC 002 – Uncertainties associated with the use of sound level meter. Teddington, UK : National Physical Laboratory, 2004

[5] Antunes, Sónia – Uncertainties in building acoustic single number quantities. How apply uncertainty calculation in the scope of the Portuguese regulation. 19 th International Congress On Acoustics, Madrid, 2007