



## VARIABILIDADE DE DESEMPENHO *IN SITU* DE PORTAS ACÚSTICAS E ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS E ESTIMATIVAS TEÓRICAS

Rui Miguel de Sousa Lima e Sá Ribeiro<sup>1\*</sup>

Isabel Cardoso, Tiago Brilhante, Francisco Vieira, Pedro Pinto, Clara Cardoso

<sup>1</sup>Amplitude Acoustics - Acústica e Vibração, Lda. – Portugal

### RESUMO

É reconhecida a fragilidade a sons de condução aérea das portas de acesso a unidades alojamento (privativas ou turísticas), no que concerne ao isolamento entre áreas de circulação e o interior. Deste modo, as portas desempenham um papel fundamental em garantir a privacidade e o necessário e obrigatório controlo de propagação sonora em quartos ou zonas de estar. Este estudo visa abordar o diferencial de desempenho identificado entre os cálculos desenvolvidos em fase de projeto, aplicando metodologias reconhecidas e em resultados de ensaios em laboratórios acreditados no âmbito da certificação de produto. Cumulativamente, pretende encontrar potenciais fatores que contribuam para estas diferenças.

Conclui-se então fundamental abordar as condições inerentes à construção e enfatizar a atenção aos detalhes durante a instalação e entrega final. Sugere-se e recomenda-se o aumento da amostragem de ensaios, que entre outros benefícios aumentará a sensibilização para a importância do tema e contribuirá com informações e saberes relevantes, para toda a fileira da construção.

### ABSTRACT

*Doors to residential accommodations are known to be the weakest link when it comes to sound insulation from circulation areas to private areas. Thus, acoustic doors play a crucial role in ensuring effective sound control and privacy in residential and hotel rooms. This study aims to address the performance variability identified between in situ testing and in house calculations at design stages applying known methodologies. Addressing the challenges within the construction phase and emphasizing attention to detail during installation and hand-over is critical. Extending the number of sample measurements is also beneficial and brings extra relevant information, to everyone involved.*

**Keywords** — Acoustic doors, sound insulation, in-situ measurements, construction phase, handover.

\* **Autor de contacto:** rui.ribeiro@amplitude-ac.eu

**Copyright:** ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

### 1. INTRODUÇÃO

Em paredes ou outras soluções construtivas, compostas por vários elementos, o desempenho acústico depende não só da capacidade de cada elemento, mas também da ligação/junção entre elementos. Acresce ainda que, para componentes móveis como portas, a instalação e afinação deste elemento carece de maiores cuidados construtivos considerando toda a sua génese e estrutura, composta, entre outros, por um aro, pré-aro, dobradiças, borrachas de vedação e sistemas de fecho do tipo batente, normais em portas de desempenho acústico superior. Todos estes elementos, durante a fase logística e de instalação, estão expostos a condicionantes que podem alterar as suas propriedades base.

Durante um período alargado de 5 anos (2018-2023), foi realizada uma série de ensaios, para determinação do isolamento a sons de condução aérea entre espaços interiores, nomeadamente entre circulações comuns e o interior de frações e/ou chaves hoteleiras. Neste hiato temporal foi possível, de certa forma, manter e controlar condições-tipo, tais como:

- entidade executante;
- relação de espaços, com volumetrias e soluções de revestimento similares, nos compartimentos emissores e recetores;
- sistemas construtivos e respetivos desempenhos acústicos similares, tanto no caso dos paramentos opacos (sistemas leves do tipo gesso cartonado), como dos elementos móveis (portas);
- valor objetivo a verificar,  $D_{nT,w} \geq 48$  dB, entre o espaço emissor e recetor, previsto durante o Projeto de Condicionamento Acústico.

## 2. ENQUADRAMENTO E REQUISITOS

### 2.1. Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

Nos diferentes países Europeus existe regulamentações e normas, relacionadas com o isolamento acústico, que pretendem adequar o desempenho dos diferentes tipos de edificado, em particular daqueles dedicados à habitação. A proliferação de descritores é conhecida e reconhecida [1] [2], sendo que cada um destes documentos têm, como intuito primário, garantir e proteger o conforto no interior dos espaços, criando um ambiente confortável e adequado ao uso.

Em Portugal, estas necessidades são abordadas no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) publicado em Decreto-Lei n.º 129/2002, republicado em Decreto-Lei n.º 96/2008 e com a redação dada pelo Decreto-Lei n.º 95/2019 de 18 de julho [3]. No artigo 5.º deste documento são estabelecidos os requisitos acústicos a cumprir para edifícios habitacionais e mistos, assim como unidades hoteleiras, onde se transcrevem os valores apresentados na alínea c) do ponto 1, referentes ao isolamento sonoro entre circulações comuns e o interior de frações:

“(…)

c) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{nT,w}$ , entre locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:

- i)  $D_{nT,w} \geq 48$  dB;
- ii)  $D_{nT,w} \geq 40$  dB, se o local for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores;

(…)”.

Nas avaliações *in situ* destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos a que faz referência a legislação, deverá ser ainda contemplado um factor de incerteza,  $I$ , de +3 dB associado à determinação das grandezas em análise, para comparativo regulamentar e outros requisitos.

### 2.2. Avaliação Acústica Final

Em Portugal, de forma a obter licença de utilização de imóveis, devem ser realizados ensaios finais, por laboratório acreditado, que visam atestar a conformidade da obra com o projeto. Os princípios desta avaliação acústica, no âmbito do RRAE, assim como os critérios de amostragem correspondentes, são identificados pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), nomeadamente pelos Pareceres de 10 de julho de 2015 e de 16 de março de 2023 [4] [5], onde, para edifícios habitacionais multifamiliares e/ou hoteleiros, deverão ser analisados para a verificação dos parâmetros regulamentares aplicáveis, as soluções construtivas que tenham:

- a) diferente constituição;
- b) diferente composição.

## 3. METODOLOGIA E RESULTADOS

### 3.1. Estimativas teóricas de desempenho

As simulações de cálculo, em particular aquelas com recurso a *software* dedicado, representam um papel fundamental nas fases de desenvolvimento de projeto, permitindo decisões informadas na seleção de materiais e soluções construtivas, assim como nas fases posteriores de obra, como forma de validação das opções construtivas. Contudo, estas ferramentas são uma aproximação da realidade, pelo que cabe aos Projetistas salvaguardar e preconizar soluções otimizadas do ponto de vista custo-benefício. Por outro lado, todas as vicissitudes e incertezas associadas ao ecossistema de obra, de forma a atingir os critérios propostos, devem ter processos e mecanismos de monitorização e controlo que envolvam não só a equipa Projetista, mas também a Fiscalização e a Entidade Executante.

O dimensionamento das soluções foi de acordo com a norma EN 12354 nas suas variantes e emissão atualizada [6], recorrendo a ferramentas internas ou *software* de cálculo (*INSUL* 8.0, *SONarchitect* v.2.4.14, entre outras). As soluções preconizadas e posterior especificação, foi efetuada de forma integrada e compatibilizada entre todos os intervenientes.

O objetivo final estabelecido foi o correspondente a  $D_{nT,w} \geq 48$  dB, a verificar entre circulação comum e o interior das frações ou quartos de unidades hoteleiras.

Finalmente, de referir que, durante a fase de assistência técnica à construção, os elementos e soluções instaladas foram acompanhados pelos responsáveis de cada entidade envolvida.

### 3.2. Amostra *in situ*

De forma a avaliar o desempenho acústico entre circulações comuns dos edifícios e o interior de frações habitacionais e/ou hoteleiras, numa fase preparatória para a realização da respetiva avaliação acústica final, estudaram-se cinco edifícios (denominados para a presente análise de A, B, C, D e E) com a mesma tipologia de construção e volumetrias equiparáveis, e ainda com paramentos de igual constituição e desempenho acústico. Não obstante, de forma a validar o desempenho do paramento opaco, este elemento foi sempre testado e comprovado em obra, com recurso a uma medição *in situ* prévia à instalação da porta.

Os cinco volumes analisados foram construídos ou iniciaram a sua construção entre 2018 e 2023. Realizaram-se, neste hiato temporal, 47 ensaios de isolamento a sons de condução aérea entre circulações comuns e o interior de frações.

À data da realização dos ensaios, os edifícios ainda se encontravam em fase de construção, mas em condição de obra próxima da receção provisória. Os ensaios foram distribuídos conforme o indicado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Ensaio realizados por edifício habitacional e/ou hoteleiro analisados

Edifício	N.º Ensaio	População	% Amostragem
A	8	188	4%
B	5	112	5%
C	9	93	10%
D	18	139	13%
E	7	210	3%

### 3.3. Resultados dos ensaios

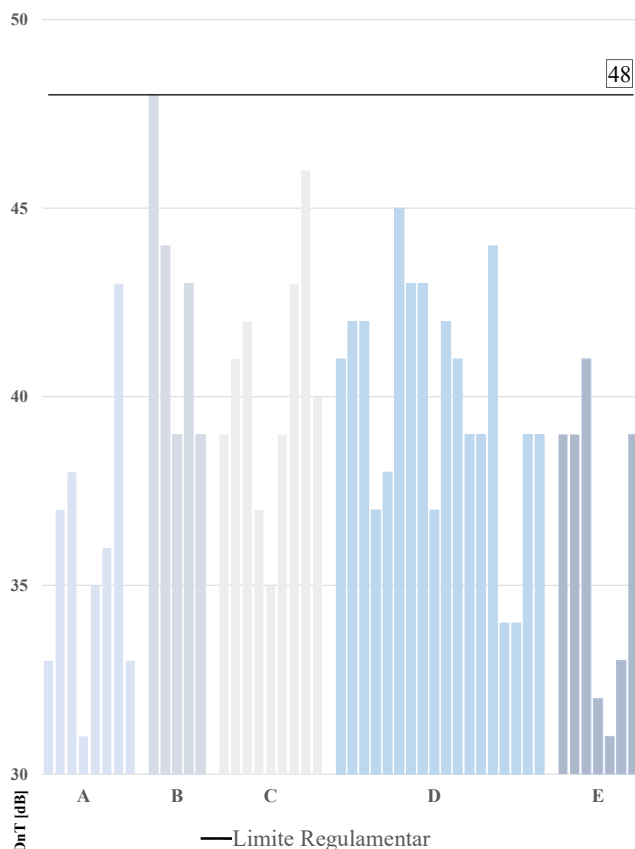
Na Tabela 2, são apresentados os resultados de todos os ensaios realizados, distribuído por edifício. Cumulativamente, apresenta-se a mesma distribuição de resultados no gráfico da Figura 1, com marcação do critério estipulado, de 48 dB.

Os resultados reportam aos valores base, sem considerar a incerteza de ensaio prevista na legislação portuguesa. Este factor permite comparar de forma direta e inequívoca resultados entre entidades ou países distintos, que sigam as mesmas normativas.

As campanhas de medição foram realizadas seguindo as normas e metodologias aplicáveis, usando equipamento calibrado, nomeadamente: sonómetro, fonte sonora, microfone, calibrador, amplificador, equalizador e kit transmissor de sinal sem fios. [7] [8] [9]

**Tabela 2.** Distribuição de resultados,  $D_{nT,w}$  [dB], por edifício

A	E01	E02	E03	E04	E05
	33	37	38	31	35
B	E06	E07	E08		
	36	43	33		
C	E09	E10	E11	E12	E13
	48	44	39	43	39
D	E14	E15	E16	E17	E18
	39	41	42	37	35
E	E19	E20	E21	E22	
	39	43	46	40	
F	E23	E24	E25	E26	E27
	41	42	42	37	38
G	E28	E29	E30	E31	E32
	45	43	43	37	42
H	E33	E34	E35	E36	E37
	41	39	39	44	34
I	E38	E39	E40		
	34	39	39		
J	E41	E42	E43	E44	E45
	39	39	41	32	31
K	E46	E47			
	33	39			



**Figura 1.** Resultados obtidos nos 47 ensaios *in situ* efetuados, e respetivo valor objetivo

Apresenta-se na Tabela 3 a frequência absoluta dos resultados obtidos.

**Tabela 3.** Frequência absoluta dos resultados,  $D_{nT,w}$  [dB]

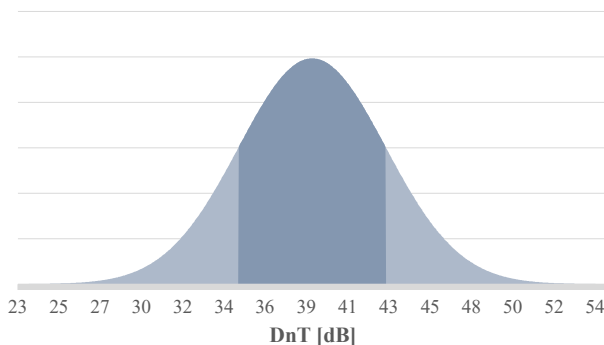
Resultado <i>In Situ</i> [dB]	N.º Ensaio	Resultado <i>In Situ</i> [dB]	N.º Ensaio
31	2	40	1
32	1	41	4
33	3	42	4
34	2	43	5
35	2	44	2
36	1	45	1
37	4	46	1
38	2	47	0
39	11	48	1
TOTAL			47

### 3.4. Análise estatística

Apresenta-se, na Tabela 4., parâmetros estatísticos de interesse para análise de resultados, nomeadamente a média, mediana, moda e desvio padrão. Cumulativamente, encontra-se na figura seguinte, a curva de tendência obtida para os resultados das 47 medições realizadas.

**Tabela 4.** Parâmetros estatísticos em função dos resultados obtidos das medições *in situ* (valores desconsiderando a incerteza, *I*, de ensaio)

Parâmetro	Valor [dB]
Média	39
Desvio Padrão	4
Mediana	39
Moda	39



**Figura 2.** Distribuição normal dos resultados obtidos (desconsiderando o factor incerteza, *I*, de ensaio)

Conforme mencionado no capítulo anterior, a legislação portuguesa contempla um factor de incerteza, *I*, associado à determinação das grandezas agora apresentadas. Nesse sentido, com a aplicação deste factor, a média, mediana e moda destes resultados, encontrar-se-á na ordem dos 42 dB, com o mesmo desvio padrão (4 dB).

### 3.5. Discussão de resultados das medições

Os resultados permitem verificar um valor médio dos resultados dos ensaios na ordem dos 39 dB (42 dB, se tivermos em consideração o factor de incerteza, *I*) onde a curva de tendência indica  $\approx 68\%$  dos resultados estão compreendidos entre os 35 e os 43 dB, e, por conseguinte, distante do objetivo traçado.

Regista-se ainda uma aleatoriedade de valores, compreendidos entre os 31 e os 48 dB, resultando num diferencial total de 17 dB para o mesmo modelo construtivo.

Constata-se que 94% dos ensaios se encontram aquém do valor objetivo, mesmo aplicando o fator de incerteza, *I*, aplicável, implicando trabalhos adicionais de afinação e/ ou

reparação para garantir a condição de realização da Avaliação Acústica final.

Dos 6% que permitiram a verificação do valor objetivo traçado, apenas um dos resultados valida o critério definido sem que seja necessário recorrer à aplicação do fator de incerteza.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em conta as campanhas de ensaios realizadas ainda durante a fase de obra e preparatória à avaliação acústica final, verifica-se um diferencial significativo na reprodutibilidade dos ensaios das soluções construtivas. Dentro da totalidade da amostra avaliada, foi verificada uma dispersão de resultados de 17 dB, entre os valores máximo e mínimo, para soluções construtivas similares.

Analisando cada edifício individualmente, o A foi aquele que apresentou maior dispersão, com uma variação de 12 dB. Tornam-se assim evidentes as variações significativas, que se podem esperar, no desempenho de um mesmo elemento num único imóvel.

Neste contexto, tornam-se evidentes os riscos e desconhecimentos que uma doutrina de amostragem limitada a apenas um caso (desde que com a mesma constituição e composição) poder mascarar ou não diagnosticar eventuais falhas que se possam verificar, de forma generalizada, no edifício construído.

Neste sentido, em nossa opinião, poderá justificar-se e recomendar-se um incremento do número de ensaios a realizar para efeitos de licença de utilização, em particular no caso de construções com distribuição de espaços bastante tipificadas e repetidas. Desta forma, salvaguardar-se-á melhor os interesses e condições de habitabilidade dos imóveis, acautelando bem-estar dos futuros utilizadores.

Complementarmente, é de esperar que o aumento direto do número de ensaios possa alertar e tornar premente um maior controlo e cuidado, durante a fase de construção, permitindo a retificação atempada de eventuais defeitos ou falhas de construção, decorrentes das normais vicissitudes impostas pelo ecossistema de obra. Desta forma seria possível também avaliar-se, de forma inicial, as variações e incertezas associadas à construção com impactos diretos na repetibilidade e reprodutibilidade do seu desempenho. A ausência de monitorização traduz-se numa perda de controlo sistemático da solução construtiva entregue. A título de exemplo, no Reino Unido, atualmente, deverá ser realizado um ensaio em cada dez frações em fase final da obra. No mesmo sentido, o *Building Research Establishment*, estabelece o mesmo critério de aproximadamente 10% da amostra total de frações. [10] [11]

Alerta-se ainda para as vantagens de implementação de um maior controlo de qualidade aos produtos e sistemas construtivos. Atualmente, assume-se que o desempenho de qualquer elemento é transferível e imutável ao longo do tempo.



## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Rasmussen B, Rindel JH. Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe. *Applied Acoustics* 2010;71:171 – 180.
- [2] COST Action TU0901. Integrating and harmonizing sound insulation aspects insustainable urban housing constructions.
- [3] Decreto-Lei n.º 129/2002, republicado em Decreto-Lei n.º 96/2008 e com a redação dada pelo Decreto-Lei n.º 95/2019 de 18 de julho. Diário da República, 1.ª série — N.º 110 — 9 de junho de 2008 – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).
- [4] Laboratório Nacional de Engenharia Civil, “Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios – Avaliação Acústica / Critérios Amostragem”, 10 de julho de 2015.
- [5] Laboratório Nacional de Engenharia Civil, “Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios – Avaliação Acústica / Critérios Amostragem”, 16 de março de 2023.
- [6] EN 12354-1 (2017). *Building Acoustics – Estimation of acoustic performance in buildings from the performance of elements – Part 1: Airborne sound insulation between rooms.*
- [7] NP EN ISO 16283-1 (2014.A1:2017). Acústica - Medição *in situ* do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento a sons de condução aérea.
- [8] NP EN ISO 16283-1 (2014.A1:2019). Acústica - Medição *in situ* do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento a sons de condução aérea.
- [9] NP EN ISO 717-1 (2021). Acústica - Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea.
- [10] The Building Regulations (2010). *Approved Document E: Resistance to the passage of sound.* 2003 edition, incorporating 2004, 2010, 2013 and 2015 amendments.
- [11] *Building Research Establishment. (2008). BRE Environmental & Sustainability Standard – BREEAM Education 2008 Assessor Manual.* Manual do assessor