

ESTUDO DE CASOS PRÁTICOS DE MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO SONORO DE FACHADAS

Jorge Célio Fradique^{1*}
Hélder Gonçalves Martins²
Marco Antunes Mateus²

¹ Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I. P., Oeiras, Portugal

² Acustalbi, Castelo Branco, Portugal

RESUMO

Os ensaios de isolamento sonoro de fachadas, realizados de acordo com a norma NP EN ISO 16283-3, são dos ensaios de isolamento sonoro mais realizados, particularmente em regiões onde a construção em altura não é predominante. No entanto, alguns parâmetros podem influenciar os resultados, e pôr em causa o cumprimento dos requisitos legais.

Este estudo analisa um conjunto alargado de ensaios efetuados, na perspetiva de avaliar a influência de parâmetros como a percentagem de área translúcida e a eventual necessidade de utilização dos parâmetros C ou Ctr, nos valores de isolamento sonoro e no consequente cumprimento dos requisitos legais aplicáveis.

São também apresentados os valores de incerteza calculados de acordo com a norma EN ISO 12999.

Os resultados são analisados considerando a aplicação da legislação em vigor, o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei 96/2008, que define um fator de incerteza, a utilizar nas avaliações *in situ*, para verificação do cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios.

ABSTRACT

Facade sound insulation tests, carried out in accordance with the NP EN ISO 16283-3 standard, are one of the most frequently carried out sound insulation tests, particularly in regions where high-rise construction is not predominant. However, some parameters may influence the results and call into question compliance with legal requirements.

This study analyzes a wide range of tests carried out, with a view to evaluating the influence of parameters such as the percentage of translucent area and the possible need to use the C or Ctr parameters, on sound insulation values and the consequent compliance with applicable legal requirements.

Uncertainty values calculated in accordance with EN ISO 12999 are also presented.

The results are analyzed considering the application of current legislation, the Regulation on Acoustic Requirements for Buildings, approved by Decree-Law 96/2008, which defines an uncertainty factor, to be used in *in situ* assessments, to verify compliance with these acoustic requirements.

Palavras Chave — isolamento, fachada, incerteza, regulamento.

1. INTRODUÇÃO

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei 96/2008 [1], estabelece um conjunto de requisitos de isolamento sonoro, aplicáveis às fachadas de diversos tipos de edifícios. O mesmo regulamento define a aplicação de um fator de incerteza, *I*, a utilizar nas avaliações *in situ*, a adicionar aos valores medidos de isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas, $D_{2m,nT,w}$.

De acordo com o referido regulamento, os ensaios acústicos devem ser realizados de acordo com as normas aplicáveis, em vigor. No caso em apreço, para isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas, as normas em vigor atualmente são a norma NP EN ISO 16283-3 [2], que descreve os procedimentos para as medições *in situ* de isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas, e a norma NP EN ISO 717-1 [3], que define os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea em edifícios e estabelece a metodologia para determinação destes índices a partir dos resultados das medições efetuadas por bandas de frequências, com a largura de um terço de oitava, de acordo com a norma NP EN ISO 16283-3.

O cálculo de incerteza dos ensaios encontra-se também definido na norma NP EN ISO 12999-1 [4], que especifica os

* Autor de contacto: jorge.fradique@iniav.pt

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.

procedimentos para a avaliação da incerteza de medição do isolamento sonoro em acústica de edifícios.

Este artigo analisa um conjunto de ensaios recentes de isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas, na perspectiva do cumprimento do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, analisa a influência da utilização dos termos de adaptação espectral, C ou C_{tr} , nos valores de isolamento sonoro e no consequente cumprimento dos requisitos legais aplicáveis e compara os valores de incerteza calculados para estes ensaios, com os valores da norma NP EN ISO 12999-1 e com o fator de incerteza, I , definido no regulamento.

2. DADOS E METODOLOGIA

Foram utilizados os dados correspondentes a 90 ensaios de isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas, realizados entre outubro de 2022 e agosto de 2023.

Estes ensaios foram realizados de acordo com a norma NP EN ISO 16283-3 e NP EN ISO 717-1, por um laboratório acreditado para os mesmos.

Estes ensaios baseiam-se na utilização de uma fonte sonora, no exterior da fachada, com incidência das ondas sonoras a 45° , sendo caracterizado o nível médio de pressão sonora, no exterior, a 2 m da fachada em ensaio, $L_{1,2m}$. No interior do compartimento é determinado o nível médio de pressão sonora média-energética no compartimento, L_2 , tendo sido utilizadas posições fixas de microfones, com recurso a um tripé. Determina-se de seguida o isolamento sonoro bruto, D_{2m} , que corresponde à diferença de nível entre $L_{1,2m}$ e L_2 calculada de acordo com a expressão:

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (1)$$

Por fim, obtém-se o isolamento sonoro padronizado, $D_{2m,nT}$, considerando o tempo de reverberação no compartimento recetor face ao tempo de reverberação de referência, e calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \lg (T/T_0) \quad (2)$$

Recorrendo à norma NP EN ISO 717-1, que define o método de adaptação à curva de referência, obtém-se o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea em edifícios, $D_{2m,nT,w}$, parâmetro utilizado na legislação, bem como os termos de adaptação espectral, C ou C_{tr} .

Para a realização destes ensaios, foi utilizado o seguinte conjunto de equipamentos:

- Sonómetro analisador 01dB, Solo;
- Calibrador RION NC-74;
- Fonte sonora dodecaédrica 01dB Omni12;
- Amplificador 01dB Ampli12.



Figura 1. Equipamento de ensaio, fonte sonora e sonómetro.

O sonómetro e o calibrador foram verificados e calibrados no ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade, entidade qualificada e acreditada para o efeito.

3. RESULTADOS GLOBAIS PARA OS ÍNDICES DE ISOLAMENTO

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios define os requisitos para isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas, em função do tipo de edifício e da sua utilização.

3.1. Requisitos regulamentares – edifícios habitacionais e mistos

Assim, para edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras o índice de isolamento sonoro a sons de condução

aérea, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos deve satisfazer o seguinte:

i) $D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB, em zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;

ii) $D_{2m,nT,w} \geq 28$ dB, em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;

iii) Os valores limite dos índices referidos nas subalíneas i) e ii) são acrescidos de 3 dB, quando se verifique o disposto no n.º 7 do artigo 12.º do Regulamento Geral do Ruído;

iv) Quando a área translúcida for superior a 60 % do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação apropriado, C ou C_{tr} , conforme o tipo de ruído dominante na emissão, mantendo-se os limites das subalíneas i) e ii);

3.2. Requisitos regulamentares – edifícios comerciais e de serviços

Os edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais os edifícios que se destinem a usos comerciais ou de prestação de serviços, ou partes análogas integradas em edifícios industriais, estão sujeitos ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos:

a) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior dos edifícios, como local emissor, e os locais tipificados no quadro I do anexo ao presente Regulamento, como locais recetores, deve satisfazer o seguinte:

i) $D_{2m,nT,w} \geq 30$ dB, para os escritórios;

ii) $D_{2m,nT,w} \geq 25$ dB, para os restantes recintos;

iii) Quando a área translúcida for superior a 60 % do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação apropriado, C ou C_{tr} , conforme o tipo de ruído dominante na emissão, mantendo-se os limites das subalíneas i) e ii);

3.3. Requisitos regulamentares – edifícios escolares e similares

Os edifícios escolares e similares, de investigação e de leitura estão sujeitos aos seguintes requisitos acústicos:

a) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior dos edifícios, como local emissor, e os compartimentos interiores identificados no quadro II do anexo ao presente Regulamento, como locais recetores, deve satisfazer o seguinte:

i) $D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB, em zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;

ii) $D_{2m,nT,w} \geq 28$ dB, em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;

iii) Quando a área translúcida for superior a 60 % do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação apropriado, C ou C_{tr} , conforme o tipo de ruído dominante na emissão, mantendo-se os limites das subalíneas i) e ii);

3.4. Requisitos regulamentares – fator de incerteza

Nas avaliações in situ destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios deve ser tido em conta um fator de incerteza, I , associado à determinação das grandezas em causa.

O edifício, ou qualquer das suas partes, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando:

a) O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, acrescido do fator I no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar.

3.5. Resultados globais

Para os ensaios analisados, verifica-se que todos os cumprem os limites regulamentares para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachada, $D_{2m,nT,w}$, tendo em consideração o fator de incerteza definido no regulamento.

Tabela 1. Tipologia dos locais ensaiados.

Tipologia	Número de ensaios
Moradia	59
Habitação	7
Escola	3
Hotel	2
Comércio	17
Escritório	2

Verificou-se no entanto que, em 8 dos ensaios em moradias, cerca de 14% do total de moradias, o resultado obtido apenas permitia cumprir o limite legal para zonas sensíveis, que é de $D_{2m,nT,w} \geq 28$ dB, ficando abaixo do limite legal para zonas mistas, que é de $D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB.

4. TERMOS DE ADAPTAÇÃO ESPETRAL

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios prevê, em algumas situações, a utilização de termos de adaptação espectral. Assim, sempre que a área translúcida da fachada em ensaio seja superior a 60% do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação apropriado, C ou C_{tr} , conforme o tipo de ruído dominante na emissão.

Uma vez que os termos de adaptação espectral são tipicamente negativos, a sua utilização pode afetar o cumprimento dos requisitos regulamentares de isolamento.

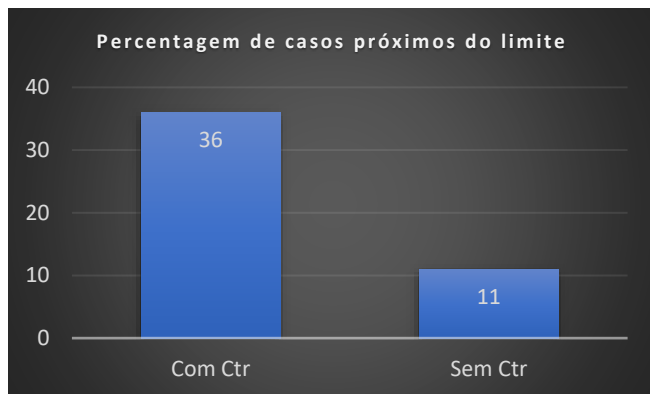


Figura 2. Percentagem de casos próximos dos valores limite, em função da utilização de C_{tr} .

No conjunto de situações analisadas, os termos de adaptação espectral eram aplicáveis em 14 situações, cerca de 16% do total, por se verificar que a área translúcida da fachada em ensaio era superior a 60% de toda a fachada em análise. Nestes casos, foi sempre utilizado o C_{tr} , dado as fachadas serem maioritariamente expostas a ruído de tráfego.

Verificou-se que, em 5 das situações analisadas, os resultados não permitiam cumprir o limite legal para zonas mistas, de 33 dB para moradias, ou ficavam muito próximo do limite, de 25 dB, para estabelecimentos comerciais.

Este resultado corresponde a cerca de 36% das situações em que eram aplicáveis os termos de adaptação espectral.

Analisando as situações em que os resultados não permitiam cumprir o limite legal para zonas mistas, de 33 dB para moradias, ou ficavam muito próximo do limite, de 25 dB, para estabelecimentos comerciais, em relação ao número total de situações analisadas, este resultado verificou-se em 10 dos ensaios efetuados, o que corresponde a cerca de 11% das situações.

Verifica-se assim que, nas situações em que a área translúcida da fachada em ensaio é superior a 60% de toda a fachada em análise e consequentemente devem ser utilizados os termos de adaptação espectral, a percentagem de situações próximas do limite legal para o isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas aumenta significativamente, no caso para mais do triplo dos ensaios, em percentagem, face à amostra de ensaios considerada.

5. INCERTEZAS ESTIMADAS POR BANDAS DE FREQUÊNCIAS

As incertezas estimadas por bandas de frequências foram calculadas para os ensaios em análise, utilizando a metodologia descrita na norma NP EN ISO 12999-1 e no Guia RELACRE 22 [5].

Os resultados obtidos foram comparados com as incertezas padrão associadas ao isolamento a sons aéreos, por

bandas de um terço de oitava, apresentados no quadro 2 da norma NP EN ISO 12999-1 para a situação *in situ*.

Tabela 2. Comparação dos valores de incerteza da norma NP EN ISO 12999-1, com os resultados obtidos nos ensaios.

Bandas de 1/3 de oitava	Valores da Norma 12999	Média de $u(D_{nT,i})$	Mediana de $u(D_{nT,i})$	Percentagem de valores inferiores à norma
100 Hz	2,8	2,3	2,1	80%
125 Hz	2,4	1,9	1,8	79%
160 Hz	2,0	1,8	1,5	73%
200 Hz	1,8	1,5	1,5	81%
250 Hz	1,6	1,4	1,3	71%
315 Hz	1,4	1,3	1,2	68%
400 Hz	1,2	1,3	1,1	63%
500 Hz	1,1	1,2	1,0	59%
630 Hz	1,0	1,2	1,1	39%
800 Hz	1,0	1,1	1,0	51%
1000 Hz	1,0	1,1	1,0	52%
1250 Hz	1,0	1,1	1,0	50%
1600 Hz	1,0	1,1	1,0	50%
2000 Hz	1,0	1,1	0,9	58%
2500 Hz	1,3	1,0	0,9	83%
3150 Hz	1,6	1,0	0,9	94%

Em termos gerais verifica-se uma boa concordância dos resultados obtidos nos ensaios, com os valores apresentados na norma.

Para a maioria das bandas de frequências, verifica-se que quer a média quer a mediana se situam abaixo ou muito próximo dos valores previstos na norma. A mediana tem uma melhor representação dos resultados, dado que a média pode ser enviesada pela ocorrência de valores pontuais anormalmente elevados.

A última coluna apresenta a percentagem de valores calculados para a incerteza por bandas de terço de oitava que são inferiores ou iguais aos valores previstos na norma. Verifica-se que, em algumas bandas de frequências, particularmente nas frequências médias, concretamente nas bandas de frequências de 630 Hz, 800 Hz, 1000 Hz, 1250 Hz e 1600 Hz, apenas cerca de 50% dos valores se situam abaixo dos valores da norma.

No gráfico 4 apresentam-se os resultados obtidos para a banda de frequências de 630 Hz, onde se obteve a menor percentagem de valores que cumprem a norma. Verifica-se que grande parte dos valores acima do valor da norma se situam pouco acima deste. No entanto, em algumas situações pontuais, obtiveram-se valores significativamente superiores ao valor da norma, sendo que em seis das situações os valores são mesmo superiores ao dobro do valor previsto na norma.

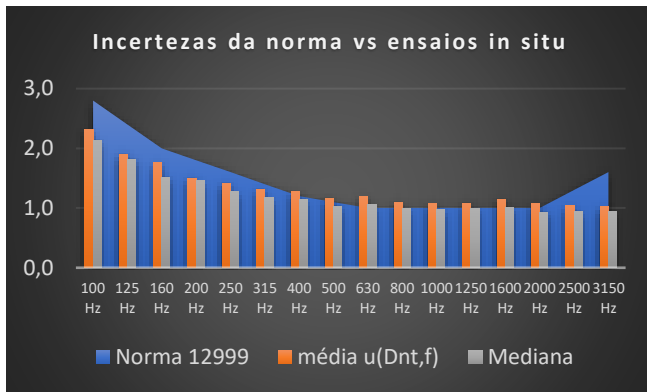


Figura 3. Comparação dos valores da norma com os valores obtidos nos ensaios *in situ* [dB].

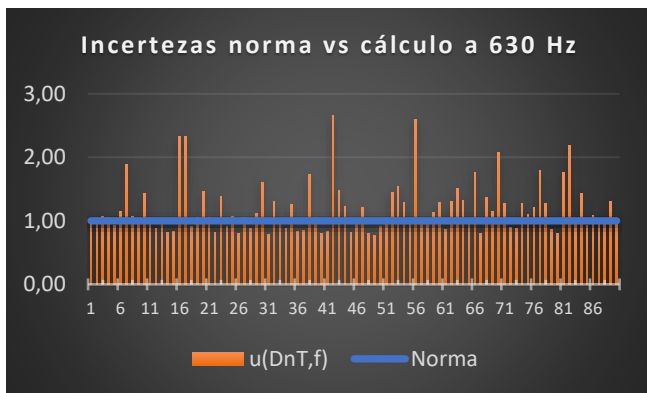


Figura 4. Comparação dos valores da norma com os valores obtidos nos ensaios *in situ*, para a banda de 630 Hz [dB].

Analisando os quatro ensaios correspondentes aos valores de incerteza mais elevados para a banda de 630 Hz, com valores de 2,65, 2,6, 2,3 e 2,3 dB, verifica-se que, em todos os casos, se trata de ensaios de isolamento sonoro de fachadas de espaços comerciais. Verifica-se também que ocorreram dispersões elevadas, quer nas medições de ruído recebido, L_2 , quer nas medições de ruído de fundo, B_2 , como é perceptível nos gráficos seguintes.

Estas dispersões justificam os valores de incerteza mais elevados e poderão relacionar-se com uma maior dificuldade de realização das medições em espaços comerciais, quer por possuírem mais ocupação por mobiliário, quer por se tratar de espaços com maior reverberação, o que também se verificava, nas medições de tempo de reverberação.

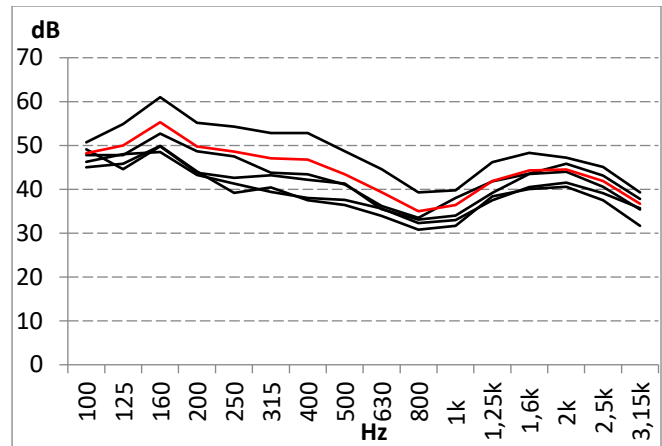


Figura 5. Dispersões de valores nas medições de ruído recebido, L_2 , num dos ensaios com maiores incertezas.

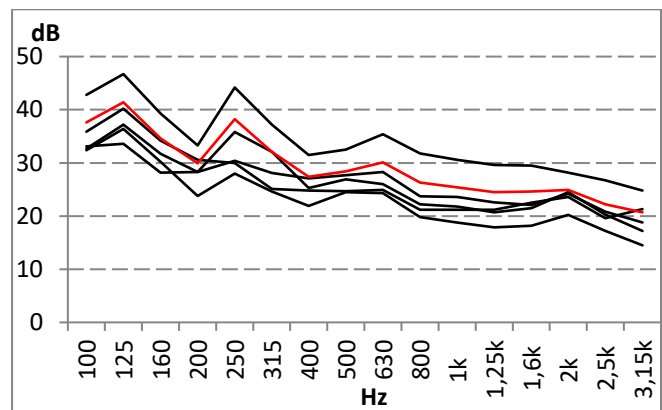


Figura 6. Dispersões de valores nas medições de ruído de fundo, B_2 , num dos ensaios com maiores incertezas.

6. INCERTEZAS ESTIMADAS PARA O ÍNDICE DE ISOLAMENTO

O Anexo B da norma NP EN ISO 12999-1 apresenta uma metodologia que permite calcular os valores de incerteza associados aos índices de isolamento sonoro, a partir dos valores de incerteza determinados por bandas de frequências.

Este método baseia-se em admitir uma correlação total entre os isolamentos obtidos por bandas de terços de oitava. Assim, todas as incertezas são adicionadas aos isolamentos sonoros medidos por bandas de terços de oitava, sendo determinado um índice de isolamento. Em seguida, todas as incertezas são subtraídas aos mesmos isolamentos sonoros medidos por bandas de terços de oitava e determinado um novo índice de isolamento. A incerteza padrão associada ao valor do índice de isolamento será a média destes dois índices assim obtidos.

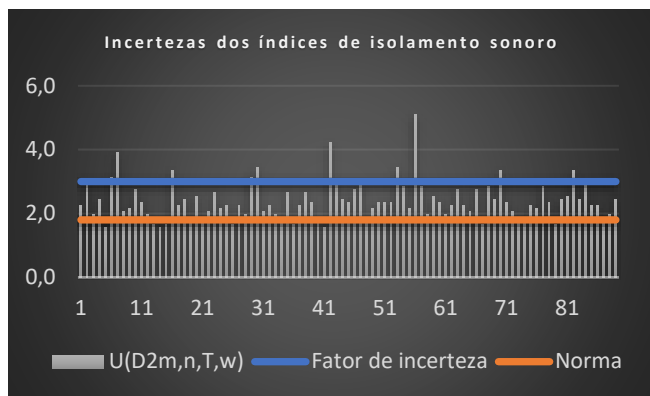


Figura 7. Comparação dos valores da norma com os valores obtidos nos ensaios *in situ*, para a incerteza associada aos índices de isolamento sonoro, $D_{2m,n,T,w}$ [dB].

A norma NP EN ISO 12999-1 aponta para uma incerteza padrão associada ao valor do índice de isolamento de 0,9 dB, ou seja 1,8 dB para a incerteza expandida, considerando um fator de expansão de 1,96, para um nível de confiança de 95%.

Neste caso, os resultados obtidos nos ensaios *in situ*, aplicando a metodologia acima descrita, de acordo com a norma NP EN ISO 12999-1, originaram valores um pouco superiores aos preconizados pela norma.

De facto, o valor médio obtido entre todos os ensaios analisados foi de 2,4 dB, sendo a mediana de 2,3 dB, valores um pouco mais elevados do que o valor expectável de 1,8 dB.

Dos ensaios analisados, apenas em cerca de 16% dos casos se obtiveram valores de incerteza para o índice de isolamento sonoro inferiores ou iguais a 1,8 dB.

Uma explicação possível para esta diferença pode ser o facto de que os valores da norma se baseiam nos resultados de Comparações Interlaboratoriais, em que tipicamente os ensaios são todos realizados nas mesmas situações e no mesmo local. Nestes casos práticos, comparam-se valores de incertezas estimadas para um conjunto de ensaios, todos realizados em diferentes situações e locais, o que justifica a obtenção de valores um pouco mais elevados.

7. CONCLUSÃO

O Decreto-Lei 96/2008, que aprova o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios define a aplicação de um fator de incerteza, a considerar na avaliação de conformidade dos ensaios previstos. No caso dos ensaios de isolamento sonoro, esse fator de incerteza tem o valor de 3 dB e deve ser adicionado ao valor medido de $D_{2m,n,T,w}$, o que corresponde à regra de decisão a aplicar na avaliação de conformidade.

Considerando os resultados obtidos para estes ensaios *in situ*, verifica-se que a grande maioria dos valores de incerteza calculados se situa abaixo de 3 dB. De facto, apenas em cerca

de 12% das situações caracterizadas se obtiveram valores superiores a 3 dB. Se considerarmos o número de casos com incerteza inferior a 3,2 dB, estes representam apenas cerca de 8% da totalidade de ensaios analisados.

Deste modo, a utilização do fator de incerteza de 3 dB, adicionado ao índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas, como regra de decisão na avaliação de conformidade deste tipo de ensaios de isolamento sonoro, permite assegurar que está a ser utilizado um fator de incerteza adequado à maioria significativa das situações reais, tal como se encontram na prática.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Decreto-Lei 96/2008, de 9 de junho, que aprova o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.
- [2] Instituto Português da Qualidade (IPQ) – NP EN ISO 16283-3:2017 – Acústica. Medição *in situ* do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 3: Isolamento sonoro de fachadas.
- [3] Instituto Português da Qualidade (IPQ) – NP EN ISO 717-1:2021 – Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento a sons de condução aérea.
- [4] Instituto Português da Qualidade (IPQ) – NP EN ISO 12999-1:2023 – Acústica. Determinação e aplicação das incertezas de medição em acústica de edifícios. Parte 1: Isolamento sonoro.
- [5] RELACRE - Guia RELACRE 22 - Cálculo de Incertezas - Acústica de Edifícios. Volume I. Setembro de 2021.