

Paulo Jorge Oliveira da Silva

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

Universidade Fernando Pessoa  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Mestrado em Engenharia Civil  
Porto, 2018

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

Paulo Jorge Oliveira da Silva

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

Universidade Fernando Pessoa  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Mestrado em Engenharia Civil  
Porto, 2018

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

Paulo Jorge Oliveira da Silva

**Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.**

Assinatura:

“Trabalho apresentado à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil”

## Sumário

Os ensaios do isolamento sonoro a sons de percussão permitem assegurar a monitorização final de um processo construtivo e seguem as metodologias especificadas pela norma NP EN ISO 16283-2. Este documento normativo face ao seu antecessor, a NP EN ISO 140-7, especifica dois procedimentos de ensaio distintos, o procedimento geral e o procedimento da baixa frequência, sendo a segunda metodologia aplicável a compartimentos com volume inferior a 25 m<sup>3</sup>.

A legislação nacional aplicável à acústica de edifícios só possui enquadramento para a aplicação do procedimento geral, através de valores regulamentares para o índice  $L'_{nT,w}$ , no entanto, já existem países a ter em conta o termo de adaptação espectral de baixa frequência.

O método de baixa frequência ainda não pode ser aplicado com enquadramento legal válido. É importante efetuar estudos para quantificar as diferenças obtidas com a aplicação dos dois métodos de ensaio de forma a ser equacionada a introdução do parâmetro de baixa frequência no quadro legislativo em termos de regulamentação de acústica de edifícios.

Este trabalho de investigação permite perceber a necessidade de alteração regulamentar com introdução de novos parâmetros, nomeadamente, o termo de adaptação espectral de baixa frequência; compatibilizar a norma com a legislação e rever os valores dos limites atuais com vista a uma construção sustentável e de qualidade, dado que, se esta proporcionar conforto para os utilizadores não carecerá de remodelações a curto prazo.

**Palavras Chave:** Acústica de edifícios; Sons de impacto; Propagação sonora, Procedimento de baixa frequência; Máquina de percussão.

## **Abstract**

Sound insulation test to percussion sounds allows ensure the final monitoring of a constructive process, and follows the methodologies specified by the standard NP EN ISO 16283-2. Compared with its predecessor, the standard NP EN ISO 140-7, this normative document specifies two distinct assays procedures, the general procedure and the low frequency procedure, with second methodology applicable to rooms with a volume of less than 25 m<sup>3</sup>.

The national legislation applicable to buildings acoustics only as framework to application the general procedure, through regulatory values for the index  $L'_{nT,w}$ , however there are already countries considering the low frequency spectral adaptation term.

The low frequency method still can't be applied with valid legal framework. It's important to realize studies to quantify the differences obtained with application of the two methods of assay in manner that can be equated the introduction of the low frequency parameter in the legislative framework in terms of building acoustics regulation.

This investigation work allows to understand the need of regulatory change with the introduction of new parameters, namely, the spectral adaptation term of low frequency; compatibilization of the standard with the legislation and review the values of the current limits to offer a sustainable and quality construction, since if it provide comfort for users, will don't need short-term remodelling.

**Keywords:** Buildings acoustics; Impact noise; Noise propagation; Low frequency procedure; Tapping machine.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

## **Dedicatória**

À memória dos meus pais.

## **Agradecimentos**

As minhas primeiras palavras de agradecimento vão para o corpo docente da Universidade Fernando Pessoa, que fez parte de meu percurso nesta Universidade. De uma forma muito especial agradeço ao professor Miguel Branco, ao professor Malafaya Batista e ao meu orientador, o professor Miguel Ferreira, pelo fenomenal apoio.

Agradeço ao meu irmão Rui pelo incondicional apoio e pela relação de confiança que nos une, que por mais palavras que use serão sempre poucas.

À minha companheira Ana Fernandes um especial agradecimento pela ajuda na leitura e sugestões de correções. Como não podia deixar de ser, um obrigado por toda a paciência e apoio durante esta fase de maiores ausências.

À Versegura, o meu muito obrigado pela cedência de equipamentos, sem os quais não seria possível concretizar este trabalho de dissertação.

## Lista de acrónimos

$B_2$  – Nível de pressão sonora, de ruído de fundo, no compartimento recetor (dB)

$C_{1,50-2500}$  – Termo de adaptação espectral (dB)

$c$  – Velocidade de propagação do som (m/s)

$d_{\min}$  – Distância mínima entre o microfone e a fonte (m)

$f$  – Frequência hertziana (Hz)

$L$  – Nível do sinal corrigido (dB)

$L_b$  – Nível do ruído de fundo (dB)

$L_{LF}$  – Nível de pressão sonora de baixa frequência (dB)

$L'_{nT, \text{sum}}$  – Soma numa base energética dos valores de  $L'_{nT}$  na gama de frequências de terço de oitava entre 50 Hz e 2500 Hz

$L'_{nT, w}$  – Índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão (dB) com correção de tempo de reverberação (dB)

$L_p$  – Nível de pressão sonora (dB)

$L_{sb}$  – Nível do sinal e do ruído de fundo combinados (dB)

$L_2$  – Nível de pressão sonora no compartimento recetor (dB)

$P$  – Valor eficaz da pressão sonora (pascal)

$P_0$  – Pressão sonora de referência (20  $\mu\text{Pa}$ )

$T$  – Estimativa do  $T_r$  (s)

$T_0$  – Tempo de reverberação de referência (0,5 s)

$T_2$  – Tempo de reverberação no local recetor (s)

$V$  – Volume ( $\text{m}^3$ )

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

ASTM - American Society for Testing and Materials

CASBEE – Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency

COST – European Cooperation in Science and Technology

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

EN – Norma Europeia

HUD – Housing and Urban Development

IPAC – Instituto Português da Acreditação

IBC – International Building Code

ICC – International Code Council

IEC – International Electrotechnical Commission

IIC – Impact insulation class

ISO – Organização Internacional de Normalização

JIS – Japanese Industrial Standard

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NP – Norma Portuguesa

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios - Decreto-Lei 96/2008 de 09 de junho

SPA – Sociedade Portuguesa de Acústica

## Índice

Capítulo 1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivo.....	2
1.3	Estrutura e Organização.....	3
Capítulo 2	Síntese Legislativa e Normativa.....	4
Capítulo 3	Conceitos de acústica de edifícios.....	11
3.1	Equipamentos.....	11
3.2	Parâmetros de medição.....	12
3.2.1	Máquina de Percussão.....	12
3.3	Metodologias de ensaio.....	17
3.3.1	Procedimento geral.....	18
3.3.1.1	Medição de $L_2$ .....	19
3.3.1.2	Medição de $B_2$ .....	20
3.3.1.3	Medição do tempo de reverberação - $T_2$ .....	21
3.3.2	Procedimento de baixa frequência.....	24
3.3.2.1	Medição de $L_2$ e $B_2$ .....	25
3.3.2.2	Medição de $T_2$ .....	26
3.4	Correções devido ao ruído de fundo - $B_2$ .....	27
3.5	Cálculos.....	28
3.5.1	Parâmetros de cálculo.....	28
3.5.2	Nível de pressão sonora dos sons de percussão de baixa frequência.....	29
3.5.3	Índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão - $L'_{nT,w}$ .....	30
3.5.4	Ponderação adicional do termo de adaptação espectral.....	33
3.5.4.1	Cálculo do termo de adaptação espectral de baixa frequência - $C_{1,50-2500}$ .....	34
3.5.5	Apresentação de resultados.....	34
3.5.6	Apresentação gráfica.....	35

3.6	Processamento de resultados .....	37
3.6.1	Processamento através de folha de cálculo em Excel.....	39
Capítulo 4	Medições <i>in situ</i> .....	43
4.1	Folha de recolha de dados .....	43
4.2	Organograma de execução.....	45
4.3	Ensaio realizados e resultados obtidos.....	46
4.4	Soluções construtivas dos ensaios realizados.....	46
4.4.1	Ensaio realizados.....	50
4.5	Resumo dos resultados .....	66
Capítulo 5	Conclusões e propostas de trabalho futuro.....	68
5.1	Conclusões.....	68
5.2	Propostas de trabalho futuro.....	69
	Referências Bibliográficas.....	70
	Anexos.....	a
	Anexo 1 – Certificado de verificação metrológica do sonómetro e do calibrador .....	a
	Anexo 2 – Certificado de calibração do sonómetro.....	f
	Anexo 3 – Certificado de calibração dos filtros do sonómetro.....	i
	Anexo 4 – Certificado de calibração do calibrador .....	l
	Anexo 5 – Certificado de calibração da máquina de percussão .....	o
	Anexo 6 – Relatórios dos ensaios efetuados.....	u

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> – Aplicação de um sistema de classificação na Europa. ....	5
<b>Figura 2</b> – Evolução das máquinas de percussão (MOJOLLA, 2015). ....	13
<b>Figura 3</b> – Máquina de percussão (Kjaer, 2018). ....	14
<b>Figura 4</b> – Dispositivo de controlo remoto e bateria (Kjaer, 2018). ....	15
<b>Figura 5</b> – Impulsos e espectro de frequências (MOJOLLA, 2015). ....	16
<b>Figura 6</b> – Transmissão dos sons aéreos e de percussão (Patrício, 2010). ....	16
<b>Figura 7</b> – Disposição dos compartimentos emissor e recetor. ....	17
<b>Figura 8</b> – Disposição dos equipamentos para medição de $L_2$ . ....	20
<b>Figura 9</b> – Disposição das posições dos microfones para medição de $B_2$ . ....	21
<b>Figura 10</b> – Representação gráfica do decaimento de $T_T$ (Kjaer, 2015). ....	22
<b>Figura 11</b> – Disposição das posições do microfone e fonte para medição de $T_2$ . ....	24
<b>Figura 12</b> – Disposição dos equipamentos para medição de $L_2$ e $B_2$ . ....	25
<b>Figura 13</b> – Distâncias para medição $L_2$ e $B_2$ (NP EN ISO 16283-2, 2016). ....	26
<b>Figura 14</b> – Representação gráfica da curva de referência para $L_{500\text{ Hz}} = 60\text{ dB}$ ....	32
<b>Figura 15</b> – Curva de referência deslocada e curva de isolamento. ....	33
<b>Figura 16</b> – Exemplo da apresentação de resultados. ....	36
<b>Figura 17</b> – Configurações do software BZ-7228 da Bruel & Kjaer. ....	37
<b>Figura 18</b> – Software de transferência de dados BZ 5503 da Bruel & Kjaer. ....	38
<b>Figura 19</b> – Erro do sonómetro 2250 da Bruel & Kjaer. ....	39
<b>Figura 20</b> – Separadores da folha de cálculo. ....	39
<b>Figura 21</b> – Separador do gráfico de apresentação de resultados. ....	42
<b>Figura 22</b> – Folha de campo para registo de dados. ....	44
<b>Figura 23</b> – Sequência de realização dos ensaios. ....	45
<b>Figura 24</b> – Medição de $T_2$ no compartimento recetor – Fonte Sonora. ....	51
<b>Figura 25</b> – Medição de $T_2$ no compartimento recetor - Sonómetro. ....	51
<b>Figura 26</b> – Posição de medição de $B_2$ e $L_2$ no compartimento recetor - Sonómetro. ....	52
<b>Figura 27</b> – Posição para medição $L_2$ – Máquina de percussão. ....	52
<b>Figura 28</b> – Posição do microfone para medição de $B_2$ e $L_2$ , posição inferior. ....	53
<b>Figura 29</b> – Posição do microfone para medição de $B_2$ e $L_2$ , posição superior. ....	53

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b> – Esquemas de classificação pelo mundo. ....	6
<b>Tabela 2</b> – Parâmetros de enquadramento legal na Europa. ....	8
<b>Tabela 3</b> – Parâmetros mais utilizados na Europa. ....	9
<b>Tabela 4</b> – Determinação da distância entre altifalante e microfone. ....	23
<b>Tabela 5</b> – Número mínimo de posições e de medições na avaliação de $T_r$ . ....	23
<b>Tabela 6</b> – Valores de referência para sons de percussão. ....	31
<b>Tabela 7</b> – Separador entrada de dados. ....	40
<b>Tabela 8</b> – Quadro das medições de $L_2$ . ....	40
<b>Tabela 9</b> – Resumo de dados dos dois métodos de ensaio. ....	41
<b>Tabela 10</b> – Resumo geral de dados e cálculos. ....	41
<b>Tabela 11</b> – Quadro de descrição dos compartimentos ensaiados. ....	46
<b>Tabela 12</b> – Quadro resumo do ensaio 1. ....	54
<b>Tabela 13</b> – Quadro resumo do ensaio 2. ....	55
<b>Tabela 14</b> – Quadro resumo do ensaio 3. ....	56
<b>Tabela 15</b> – Quadro resumo do ensaio 4. ....	57
<b>Tabela 16</b> – Quadro resumo do ensaio 5. ....	58
<b>Tabela 17</b> – Quadro resumo do ensaio 6. ....	59
<b>Tabela 18</b> – Quadro resumo do ensaio 7. ....	60
<b>Tabela 19</b> – Quadro resumo do ensaio 8. ....	61
<b>Tabela 20</b> – Quadro resumo do ensaio 9. ....	62
<b>Tabela 21</b> – Quadro resumo do ensaio 10. ....	63
<b>Tabela 22</b> – Quadro resumo do ensaio 11. ....	64
<b>Tabela 23</b> – Quadro resumo do ensaio 12. ....	65
<b>Tabela 24</b> – Quadro do resumo dos vários ensaios realizados. ....	66

## **Capítulo 1 Introdução**

### **1.1 Enquadramento**

Na sociedade atual uma das problemáticas que mais influencia o quotidiano das populações são os níveis de ruído a que os cidadãos estão expostos. Esta exposição ocorre em diferentes âmbitos, nomeadamente, no trabalho, nas atividades diárias inerentes às sociedades industrializadas e em casa, quando se necessita de conforto e de sossego. Destes âmbitos surgem as diferentes áreas da acústica: o ruído laboral, o ruído ambiente e a acústica de edifícios, cujos regulamentos são publicados pelos Decreto-Lei 182/2006 de 06 de setembro, Decreto-Lei 9/2007 de 17 de janeiro e Decreto-Lei 96/2008 de 9 de junho.

No desenvolvimento deste trabalho vai ser estudada a temática da acústica de edifícios que, por sua vez, se fragmenta em diferentes áreas: reverberação, ruído particular de equipamentos, isolamento a sons aéreos entre compartimentos, isolamentos a sons aéreos de fachada e isolamento a sons de percussão de pavimentos entre compartimentos. O conjunto destas diferentes áreas aplicadas ao dimensionamento acústico de edifícios permite que as equipas de projeto idealizem soluções, com vista a uma construção sustentável, que proporcione conforto aos utilizadores, mesmo quando se está perante edifícios mistos cuja utilização é habitacional e de serviços. Após um correto dimensionamento em projeto é necessário que os construtores possuam domínio sobre a correta aplicação dos diferentes materiais, dado que uma má aplicação se traduz diretamente num isolamento deficiente. Esta problemática é importante dado que de nada adianta gastar recursos económicos num bom isolante acústico quando este é mal aplicado.

Para verificação de uma correta aplicação dos materiais previstos em projeto, surge a necessidade de efetuar a monitorização final através de ensaios realizados *in situ* após a conclusão da construção. Para estas verificações serem efetuadas de forma similar, de modo a garantirem resultados credíveis, independentemente da entidade que os realiza, têm de ter por base procedimentos normalizados e equipamentos a cumprir com os mesmos requisitos. É aqui que surge a necessidade da produção de normas, que no caso concreto deste estudo tem por base a norma NP EN ISO 16283:2 que especifica os

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

requisitos relativamente aos ensaios de isolamento a sons de percussão de pavimentos entre compartimentos.

Na construção atual não é comum existirem salas com volumes abaixo dos 25 m<sup>3</sup>, a maioria das salas possuem volumes entre os 50 e os 70 m<sup>3</sup>. Neste tipo de compartimentos a reprodutibilidade das medições de isolamento acústico a sons de percussão não é satisfatória em frequências abaixo de 100 Hz, devido a ressonância dos compartimentos de volume reduzido. Daí resulta a necessidade de implementar metodologias que visem a sua melhoria. Com a implementação do método de baixa frequência e a utilização das posições de canto pretende-se obter melhores índices de reprodutibilidade nos ensaios realizados. Com o método de baixa frequência o desvio padrão associado à reprodutibilidade é cerca de 2 a 3 dB no intervalo de frequências dos 50 Hz a 80 Hz, enquanto com a aplicação do procedimento geral o desvio padrão é de aproximadamente 4 a 6 dB (Pedersen, Dan B.; Roland, Jacques; Raabe, Götz; Maysenhölder, Waldemar, 2000).

O presente trabalho de investigação incidiu na sua maioria em edifícios de tipologia multifamiliar com realização de ensaios entre locais adjacentes, quer na horizontal quer na vertical. Nos ensaios cujos compartimentos estão dispostos na vertical foram realizados ensaios de baixo para cima e vice-versa. Um dos requisitos dos locais de ensaio para serem considerados é que possuam um volume inferior a 25 m<sup>3</sup>.

A leitura deste documento exige um conhecimento base dos princípios da acústica de edifícios e das terminologias aplicadas à realização de ensaios.

## **1.2 Objetivo**

Na primeira fase deste trabalho pretende-se abordar as metodologias e os equipamentos para a realização de ensaios de acústica de edifícios, nomeadamente, ensaios de determinação do isolamento sonoro a sons de percussão. Tal como sugere o tema da dissertação, não se pretende estudar apenas o procedimento geral, mas efetuar uma abordagem mais profunda, com o estudo do método de baixa frequência.

Posteriormente, depois da descrição das metodologias e dos equipamentos, pretende-se pôr em prática os conceitos teóricos, com a realização de ensaios, através da aplicação do procedimento geral e do procedimento de baixa frequência, para se efetuar uma análise

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

comparativa dos valores obtidos. Esta análise permitirá retirar conclusões acerca da efetiva necessidade de ser aplicado o método de baixa frequência e da mais-valia ou não da sua implementação.

### **1.3 Estrutura e Organização**

Este trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos, cujos conteúdos se desenvolvem da seguinte forma:

- No primeiro Capítulo faz-se uma abordagem ao enquadramento do tema, aos objetivos que se pretendem alcançar e à organização do presente trabalho;
- No segundo Capítulo efetua-se a descrição do estado da arte relativamente ao tema estudado neste trabalho de investigação;
- No terceiro Capítulo é efetuada uma descrição dos equipamentos e respetivos requisitos. São definidas as metodologias para os dois procedimentos de ensaio, e apresenta-se o modo de processamento dos cálculos inerentes ao ensaio de isolamento sonoro a sons de percussão. É ainda neste Capítulo que é efetuada a descrição das várias folhas de cálculo do ficheiro Excel elaborado pelo autor para o processamento de resultados e relatórios;
- No quarto Capítulo apresenta-se a descrição dos locais onde se realizaram os vários ensaios e os respetivos resultados obtidos;
- No quinto e último Capítulo, apresentam-se as conclusões do presente trabalho de investigação e as propostas de trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos.

## **Capítulo 2 Síntese Legislativa e Normativa**

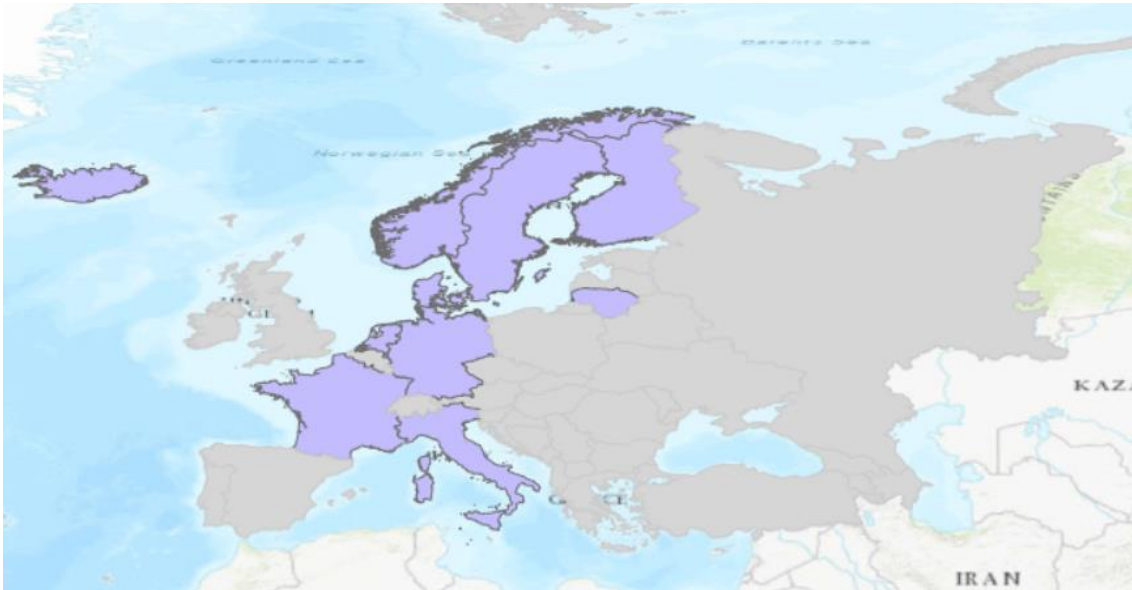
Atualmente a acústica de edifícios é uma das áreas de engenharia que requer especial cuidado, por parte das equipas de projeto, no dimensionamento das edificações, de modo a obter-se uma construção de qualidade e duradoura, com elevados níveis de conforto para os utilizadores. No entanto, devido à crise internacional dos últimos anos, que se fez sentir em especial no setor da construção civil foram publicados documentos regulamentares a isentar a aplicação do RRAE em reabilitações. Esta isenção vem permitir a intervenção em edifícios antigos de uma forma mais simples e despreocupada para as equipas de projeto, no entanto, se existir um total descoramento das condições de transmissão acústica entre espaços, pode-se estar a regredir na qualidade acústica do edificado.

As diferentes interpretações da Portaria 232/2008 de 11 de março, que apenas refere a necessidade de apresentação de termo em vez de relatório acústico ou termo baseado em ensaio acústico, gera as situações mais gravosas em termos de incumprimento do estipulado na legislação base da acústica. Embora existam pareceres do LNEC e da SPA a esclarecer claramente que os termos têm de ter sempre por base ensaios, o que acontece na realidade é que as entidades licenciadoras, na sua maioria, apenas pedem o termo de responsabilidade (Portaria nº232/2008, 2008).

Um pouco como já acontece noutras áreas em Portugal, nomeadamente no comportamento térmico de edifícios e noutros países na área da acústica, o LNEC tem vindo a desenvolver um esquema de classificação de acústica de edifícios com o objetivo de classificar o edificado e permitir ao utilizador comum comparar imóveis de uma forma expedita, mesmo para quem não possui conhecimentos técnicos nesta área (Patricio, 2014).

Com base na inexistência de qualquer requisito legal que imponha a obrigatoriedade desta classificação, a mesma acaba por não ter aplicabilidade prática e devido à isenção prevista pelo Decreto-Lei n.º 53/2014, muitos dos edifícios reabilitados não possuem qualquer registo que evidencie a qualidade acústica dos mesmos ( Decreto-Lei nº 53/2014, 2014).

A nível europeu já existem vários países com este sistema de certificação implementado, tendo sido o primeiro a França em 1993, seguida pela Alemanha, Dinamarca, Finlândia, Islândia, Noruega, Suécia, Itália, Holanda e Lituânia, como se pode analisar na Figura 1.



**Figura 1** – Aplicação de um sistema de classificação na Europa.

O isolamento acústico de edifícios a ruído de impacto é normalmente determinado pelos métodos gerais de ensaio, medido em bandas de frequência de 1/3 de oitava no intervalo de frequência entre 100 Hz e 3150 Hz. A escolha da frequência de 100 Hz como o início do intervalo de frequência de medição tem como fundamento a crescente incerteza de medição em frequências mais baixas.

Devido ao impacto significativo dos níveis de pressão sonora gerados pelos passos das pessoas a caminhar sobre pavimentos, que são geralmente mais elevados nas frequências abaixo dos 100 Hz, foi necessário que as normas ISO 140 e ISO 717 especificassem diretrizes para estes métodos. A revisão destas normas durante a década de 90, contemplou tais diretrizes de uma forma simplista nas frequências centrais de 50 Hz, 63 Hz e 80 Hz. Com estes novos métodos de ensaio surgiu um novo espectro de adaptação e respetivos termos de baixa frequência, nomeadamente, o  $C_{L,50-2500}$  para o intervalo de 50 Hz a 2500 Hz (Kylliäinen, 2004).

A crescente preocupação a nível mundial com a construção de edifícios sustentáveis, os “*green building*”, tem levado a que os diferentes países produzam especificações e normativos para a quantificação de parâmetros com o objetivo da classificação acústica.

**Tabela 1** – Esquemas de classificação pelo mundo.

País	Esquema de classificação	Ano de implementação	Contabilização do ruído de impacto
Austrália	Green Star	2002	Não
Austrália	NABERS-IE (NABERS Indoor	2009	Não
Austrália	EnviroDevelopment	2006	Não
Austrália	EarthCheck BPDS (Building Planning and Design Standard)	2014	Não
USA	LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	1998	Não
USA	WELL (WELL Building	2014	Não
USA	ASHRAE - 189.1	2011	Não
USA	Green Globes	2004	Sim
Inglaterra	BREEAM (Building Research Establishment	1990	Não
Japão	CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built	2001	Sim
Emirados	Estidama - Pearl	2010	Apenas em escolas
Hong Kong	BEAM (Building Environmental	1995	
Alemanha	DGNB-Seal	2007	Não
França	HQE (High Quality	2009	Sim
Itália	Protocollo ITACA	2009	Sim
China	GBES (Green Building	2006	Sim
Singapura	Green Mark	2005	Não
Malásia	Green Building Index	2009	Não
India	GRIHA (Green Rating for	2007	Não
Taiwan	EEWH (Ecology, Energy	1999	Sim
Indonésia	GreenShip	2009	Não

O isolamento a sons de percussão é considerado em cerca de metade dos esquemas de classificação apresentados na Tabela 1. Os parâmetros mais utilizados são a classe de isolamento ao impacto (IIC), o nível de pressão sonora padronizada ponderado ( $L'_{nT, w}$ ) ou o nível de pressão sonora normalizada ponderado ( $L'_{n, w}$ ). Devido à proliferação de estruturas leves em edifícios no Japão, a CASBEE usa o grau de isolamento acústico  $L_r$ ,

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

determinado pela aplicação das curvas de classificação contidas na norma JIS A 1419.2 (2000) na banda de frequência dos 63 Hz (Michael Hayne, 2016).

Os procedimentos de baixa frequência publicados através das normas NP EN ISO 16283 aplicam metodologias mais complexas, com o intuito de reduzir as respetivas incertezas de ensaio e transmitir fiabilidade aos resultados obtidos.

No que respeita ao método de baixa frequência, ainda não existe qualquer previsão da sua aplicação a nível nacional, no entanto, de acordo com as normas NP EN ISO 16283 não se pode aplicar o método geral a compartimentos com volume inferior a 25 m<sup>3</sup>.

Com a publicação das partes 1, 2 e 3 da NP EN ISO 16283, o método específico de ensaio para baixas frequências passou a fazer parte integrante das normas de ensaio de verificação dos requisitos acústicos de edifícios.

No contexto europeu, a Áustria é o país com a aplicação de requisitos mais exigentes. Para edifícios de habitação em banda, em comparação com Portugal, a diferença é de 17 dB (43 dB para 60 dB), o que representa um nível de exigência muito superior por parte dos austríacos. No que respeita à aplicação do método de baixa frequência esta ainda está numa fase muito prematura, sendo a Suécia o único país que a prevê, como se pode constatar para análise da Tabela 2 (Rasmussen, Machimbarrena, 2014).

Atualmente, o COST TU 0901 já identificou a necessidade de os países europeus adicionarem nos seus regulamentos internos requerimentos tendo em conta as metodologias de ensaio de baixas frequências, devido ao crescente recurso a estruturas leves, nomeadamente estruturas de madeira, cuja aplicação em construções novas e reconstruções tem vindo a aumentar. Os estudos e a incorporação de requisitos de baixas frequências são essenciais para que a indústria madeireira tenha sucesso no futuro da construção (HAGBERG & BARD, 2014).

**Tabela 2** – Parâmetros de enquadramento legal na Europa.

País	Parâmetro	Limite entre habitações (dB)	
		Edifícios multifamiliares	Edifícios em banda
Alemanha	$L'_{n,w}$	$\leq 53$	$\leq 48$
Áustria	$L'_{nT,w}$	$\leq 48$	$\leq 43$
Bélgica	$L'_{nT,w}$	$\leq 58$	$\leq 50$
Bulgária	$L'_{n,w}$	$\leq 53$	$\leq 53$
Croácia	$L'_w$	$\leq 68$	$\leq 68$
Dinamarca	$L'_{n,w}$	$\leq 53$	$\leq 53$
Eslováquia	$L'_{n,w}$ ou $L'_{nT,w}$	$\leq 55$	$\leq 48$
Eslovénia	$L'_{n,w}$	$\leq 58$	$\leq 58$
Espanha	$L'_{nT,w}$	$\leq 65$	$\leq 65$
Estónia	$L'_{n,w}$	$\leq 53$	$\leq 53$
Finlândia	$L'_w$	$\leq 53$	$\leq 53$
França	$L'_{nT,w}$	$\leq 58$	$\leq 58$
Grécia	$L'_{n,w}$	$\leq 60$	$\leq 60$
Holanda	$L'_{nT,w} + C_1$	$\leq 54$	$\leq 54$
Hungria	$L'_{n,w}$	$\leq 55$	$\leq 45$
Reino Unido	$L'_{nT,w}$	$\leq 62$	--
Irlanda	$L'_{nT,w}$	$\leq 62$	--
Islândia	$L'_{n,w}$	$\leq 53$	$\leq 53$
Itália	$L'_{n,w}$	$\leq 63$	$\leq 63$
Letónia	$L'_{n,w}$	$\leq 54$	$\leq 54$
Lituânia	$L'_{n,w}$	$\leq 53$	$\leq 53$
Noruega	$L'_w$	$\leq 53$	$\leq 53$
Polónia	$L'_{n,w}$	$\leq 58$	$\leq 53$
Portugal	$L'_{nT,w}$	$\leq 60$	$\leq 60$
República Checa	$L'_{n,w}$	$\leq 55$	$\leq 48$
Roménia	$L'_{n,w}$	$\leq 59$	$\leq 59$
Sérvia	$L'_{n,w}$	$\leq 68$	$\leq 68$
Suécia	$L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$	$\leq 56$	$\leq 56$
Suíça	$L'_{nT,w} + C_1$	$\leq 53$	$\leq 50$

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

Na Tabela 3, são apresentados os parâmetros de quantificação do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos, com maior utilização em países europeus. Pode-se verificar que maioritariamente é utilizado o parâmetro  $L'_{n,w}$ , sendo o segundo mais utilizado o  $L'_{nT,w}$ , parâmetro previsto pela atual legislação Portuguesa (Rasmussen, Machimbarrena, 2014).

**Tabela 3** – Parâmetros mais utilizados na Europa.

Nº de países	Parâmetro
15	$L'_{n,w}$
7	$L'_{nT,w}$
3	$L'_w$
2	$L'_{nT,w} + C_I$
1	$L'_{n,w}$ ou $L'_{nT,w}$
1	$L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$

A nível internacional, nos EUA, não são aplicadas as normas ISO para ensaio de isolamento ao ruído de percussão, mas sim o padrão ASTM, usando as classificações IIC para ensaios laboratoriais ou *in situ*. Assim, quaisquer códigos ou regulamentos nos EUA são baseados nos normativos ASTM e IIC. Os códigos de construção são escritos pelo ICC (International Code Council), nomeadamente, o IBC (International Building Code) e adotados na totalidade pelos 50 estados americanos, para que as classificações da IIC (Impact Insulation class) sejam ou não aplicadas. Adicionalmente, as cidades (NYC, LA, etc.) e respetivos departamentos governamentais como o HUD (Housing and Urban Development), também podem possuir os seus próprios códigos para edifícios de habitação. Em alguns casos podem ser aplicados os normativos ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) e LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) das classificações do green building rating system.

Assim sendo, nos EUA são utilizados os diferentes normativos indicados anteriormente, consoante o estado, com disposições específicas que podem diferir entre os distintos departamentos de urbanismo, mas a norma ISO, essa garantidamente não é aplicada.

Em termos de comparação entre normativos utilizados nos EUA e na Europa, o nível de pressão sonora de impacto é determinado usando a máquina de percussão padrão como

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

fonte de impacto. Os procedimentos de medição são definidos pela norma ASTM E492 e ISO 10140-3 para condições de ensaio em laboratório, e ASTM E1007 e ISO 16283-2 para medições *in situ*. Embora existam pequenas diferenças nos detalhes, os métodos de medição são semelhantes entre os normativos ASTM utilizados nos EUA e os normativos ISO utilizados na Europa (LoVerde & Dong, 2017).

## **Capítulo 3 Conceitos de acústica de edifícios**

### **3.1 Equipamentos**

Os equipamentos utilizados no ensaio de medição do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos, devem satisfazer os requisitos para instrumentos de medição da classe 0 ou 1 de acordo com a norma IEC61672-1. O equipamento de medição do tempo de reverberação deve cumprir com os requisitos da norma NP EN ISO 3382-2 e a fonte de impacto deve cumprir com o estipulado no anexo A da NP EN ISO 16382-2.

Os equipamentos de medição a utilizar no âmbito dos ensaios do presente trabalho são:

- O sonómetro, para registo dos níveis de pressão sonora;
- O calibrador para verificação em campo do correto funcionamento do sonómetro;
- A máquina de percussão, para produção do campo sonoro no compartimento emissor;
- O amplificador de potência para utilizar conjuntamente com a fonte sonora omnidirecional para medição dos tempos de reverberação do compartimento recetor;
- A fonte sonora omnidirecional para emitir o ruído necessário para obtenção dos decaimentos do tempo de reverberação.

Para assegurar a rastreabilidade das medições, deve-se verificar o correto funcionamento dos equipamentos, garantir a fiabilidade dos dados obtidos e é necessário sujeitar os mesmos a ações de calibração / verificação adequadas. Assim sendo, os sonómetros são sujeitos a verificação metrológica anual e calibração de filtros e do sonómetro com periodicidade bienal. Os calibradores devem ser sujeitos à verificação metrológica em simultâneo com o sonómetro e a uma calibração anual ou bienal, tendo em conta o registo e a análise do histórico destes equipamentos, que normalmente é perfeitamente estável ao longo do tempo. A máquina de percussão deve ser calibrada com periodicidade bienal, a mesma periodicidade que deve ser aplicada ao ensaio de diretividade para verificação da fonte sonora (IPAC, 2014).

### 3.2 Parâmetros de medição

Para obtenção do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos, devem ser efetuadas medições que contemplem os seguintes três parâmetros acústicos:

- $B_2$ , nível sonoro contínuo equivalente de ruído de fundo, medido no compartimento recetor, que quantifica o ruído no compartimento recetor devido às atividades da envolvente. Por exemplo, num compartimento recetor dentro de um edifício multifamiliar este ruído pode ter origem no ruído proveniente de outras frações, no ruído produzido por equipamentos coletivos do próprio edifício e por ruídos da envolvente como tráfego de veículos, pessoas a falar e até mesmo de animais;
- $L_2$ , nível sonoro contínuo equivalente, medido no compartimento recetor, devido à percussão da máquina de impactos sobre o pavimento do compartimento emissor. Neste caso, o ruído deve ser significativamente superior ao ruído de fundo, de modo a que este não seja influenciado por ruídos provenientes de fontes externas à máquina de percussão;
- $T_2$ , tempo de reverberação, medido no compartimento recetor. Por definição corresponde ao intervalo de tempo necessário para que o nível de pressão sonora, após ter sido interrompida a emissão de energia sonora, decresça 60 dB. Como na prática não é fácil obter um decaimento linear de 60 dB, a norma prevê a utilização de  $T_{20}$ , que corresponde ao mesmo decaimento de 60 dB obtido por extrapolação a partir de um decréscimo de 20 dB do nível de pressão sonora. O tempo de reverberação tem a finalidade de quantificar a maior ou menor capacidade de absorção sonora do compartimento recetor e assim permitir a realização de medições, quer os compartimentos estejam vazios ou devidamente mobilados, caso em que normalmente o tempo de reverberação é inferior. Esta correção com o tempo de reverberação é efetuada quando se efetua a padronização do índice de isolamento sonora a sons de percussão através do cálculo de  $L'_{nT,w}$ .

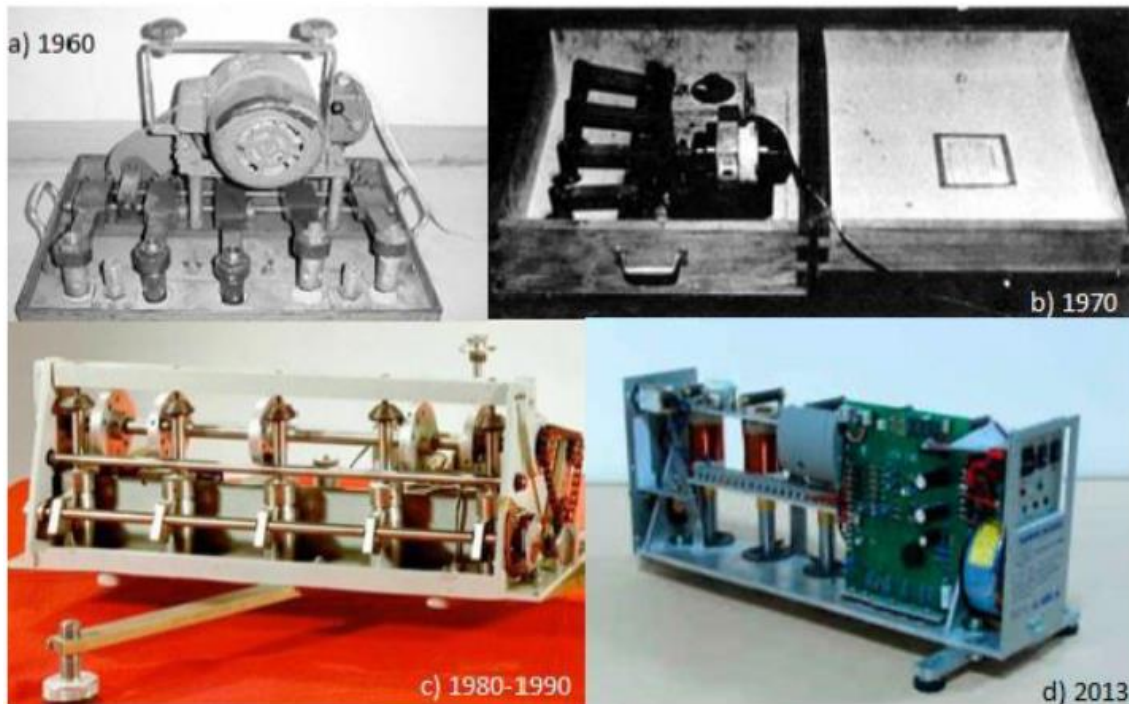
#### 3.2.1 Máquina de Percussão

No ensaio de medição do isolamento sonoro a sons de percussão, o gerador de ruído de impacto normalizado, assume um papel de elevada importância, dado ser o equipamento

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

cuja finalidade é gerar uma percussão normalizada nos elementos a ensaiar, neste caso, pavimentos. A necessidade deste equipamento possuir requisitos específicos prende-se com a necessidade de comparar resultados, uma vez que todos os equipamentos possuem características similares de forma a permitir essa comparação.

Na Figura 2 são apresentados alguns exemplos de máquinas de percussão desde a década de 1960, onde se pode constatar a evolução ao longo dos tempos, passando de equipamento rudimentares a dispositivos eletrónicos, fáceis de transportar e cuidadosamente tratados esteticamente.



**Figura 2** – Evolução das máquinas de percussão (MOJOLLA, 2015).

As máquinas de percussão atuais, conforme o exemplo da Figura 3, devem ser de funcionamento automático e possuir 5 martelos alinhados longitudinalmente, cujo peso do equipamento completo não deve exceder os 25 kg, para não subcarregar os pavimentos em ensaio. Os apoios da máquina no pavimento não devem permitir a propagação de vibração através destes para a superfície de ensaio.

Requisitos da máquina de martelos:

- A massa de cada martelo deve ser de  $500 \pm 12$  g;

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

- A direção de queda deve ser perpendicular à superfície de ensaio, o que resulta numa inclinação de  $0 \pm 0,5^\circ$ ;
- O diâmetro da secção circular deve ser de  $30 \pm 0,2$  mm;
- A superfície de impacto dos martelos deve ser esférica, com uma curvatura da superfície de impacto cujo raio deve ter  $500 \pm 100$  mm;
- O intervalo de tempo entre impactos sucessivos deve ser de  $100 \pm 20$  ms e o tempo médio entre impactos deve ser de  $100 \pm 5$  ms;
- A velocidade no momento de impacto deve corresponder a um valor de  $886 \pm 22$  mm/s;
- Os centros dos cinco martelos alinhados devem distar, entre martelos adjacentes, de  $100 \pm 3$  mm.



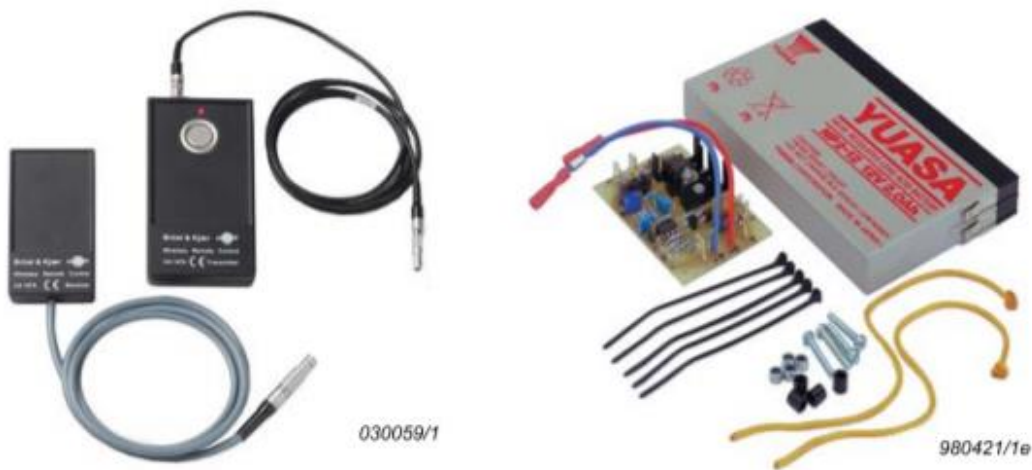
**Figura 3** – Máquina de percussão (Kjaer, 2018).

Quando a máquina de percussão é acionada, gera um ciclo de impactos padronizado através da elevação e queda dos martelos. Num ciclo completo de funcionamento, cada um dos martelos realiza o impacto no piso duas vezes por segundo, ou seja, 2 Hz. Os cinco martelos são acionados por um género de cambota que provoca o batimento

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

alternado destes sobre o pavimento, o que origina vibrações e o respetivo ruído de percussão.

Atualmente a evolução tecnológica chegou aos fabricantes de máquinas de percussão, dado um equipamento como o apresentado na Figura 3 poder ser equipado com baterias, para permitir a autonomia relativamente à corrente elétrica. Outra evolução que estes equipamentos tiveram, mais prática que a autonomia elétrica, é o controlo remoto da máquina de percussão, o que permite ao operador acioná-la a partir do compartimento recetor, de forma manual e através de sinal emitido diretamente pelo sonómetro de medição, com os dispositivos apresentados na Figura 4.



**Figura 4** – Dispositivo de controlo remoto e bateria (Kjaer, 2018).

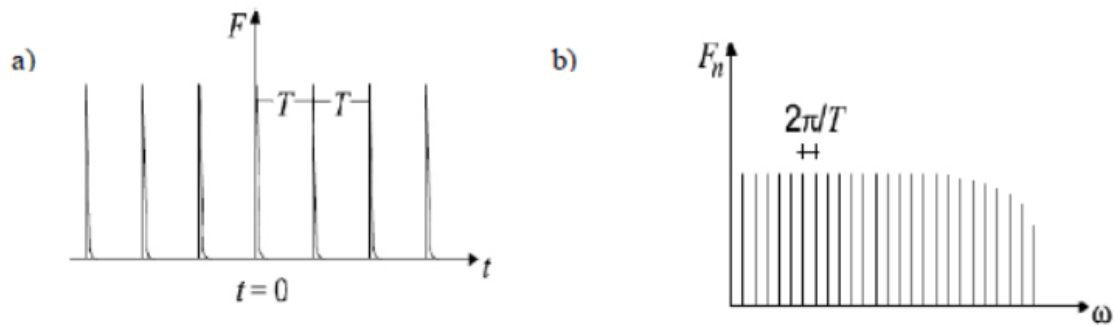
As vibrações produzidas pela máquina de percussão propagam-se do pavimento para a restante estrutura e divisórias do edifício e irradiam-se para o ambiente do compartimento recetor, permitindo obter neste o nível sonoro resultante a sons de percussão. Devido à propagação estrutural do ruído de percussão, este consegue atingir recintos afastados da emissão, dentro do mesmo edifício.

Quanto mais rígido for o revestimento do piso de batimento dos martelos maior será a energia transmitida ao pavimento, o que resulta numa maior propagação, caso não existam elementos resilientes nas soluções construtivas aplicadas.

A Figura 5a apresenta graficamente os impulsos de energia produzida com os impactos dos martelos na superfície do piso, em função do tempo e parte dessa energia produzida induz vibração ao pavimento que está a ser excitado. A superfície do pavimento transmite

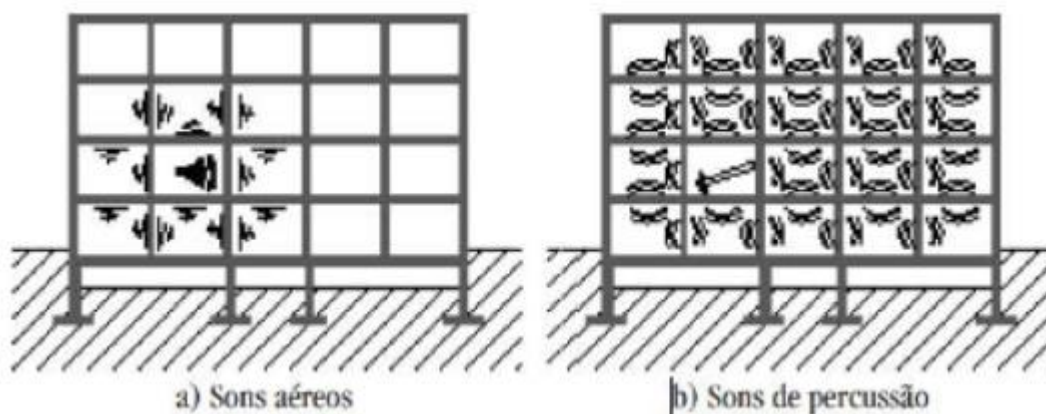
Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

essa vibração pela estrutura da edificação. A Figura 5b apresenta o espectro de intensidade das frequências produzidas pela máquina de percussão onde se pode verificar que a intensidade da força ( $F$ ) é praticamente constante em baixas e médias frequências, e reduz gradualmente nas altas frequências (MOJOLLA, 2015).



**Figura 5** – Impulsos e espectro de frequências (MOJOLLA, 2015).

A Figura 6 apresenta de forma gráfica a distinta propagação dos sons de percussão e dos sons aéreos entre compartimentos. Enquanto os sons aéreos têm dificuldade em atingir compartimentos afastados do local emissor, os sons de percussão, depois de atingirem a estrutura do edifício, dificilmente podem ser eliminados, propagando-se a todos os compartimentos (Patrício, 2010).



**Figura 6** – Transmissão dos sons aéreos e de percussão (Patrício, 2010).

De forma a assegurar o correto funcionamento das máquinas de percussão ao longo do tempo, as características técnicas devem ser verificadas através de calibração em entidade

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

acreditada com periodicidade mínima bienal, segundo as orientações do IPAC – Instituto Português da Acreditação (IPAC, 2014).

Além da calibração anteriormente referida, o laboratório de ensaios deve ter procedimentos específicos para assegurar periodicamente a manutenção deste equipamento, que dada a sua composição interna, requer lubrificação dos componentes, bem como verificação de apertos e ajustes da altura dos apoios do equipamento.

### 3.3 Metodologias de ensaio

Para a realização de ensaios de medição do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos, de acordo com a NP EN ISO 16283-2, é necessária a existência de dois compartimentos, que serão designados compartimento emissor, onde é colocada em funcionamento a fonte de impactos e um compartimento recetor, no qual são registados os níveis de pressão sonora, provenientes do compartimento emissor, quando a fonte excita o pavimento desse compartimento.

A medição do isolamento sonoro a sons de percussão é maioritariamente efetuada para compartimentos adjacentes, quer na vertical quer na horizontal, tal como apresentado na Figura 7.

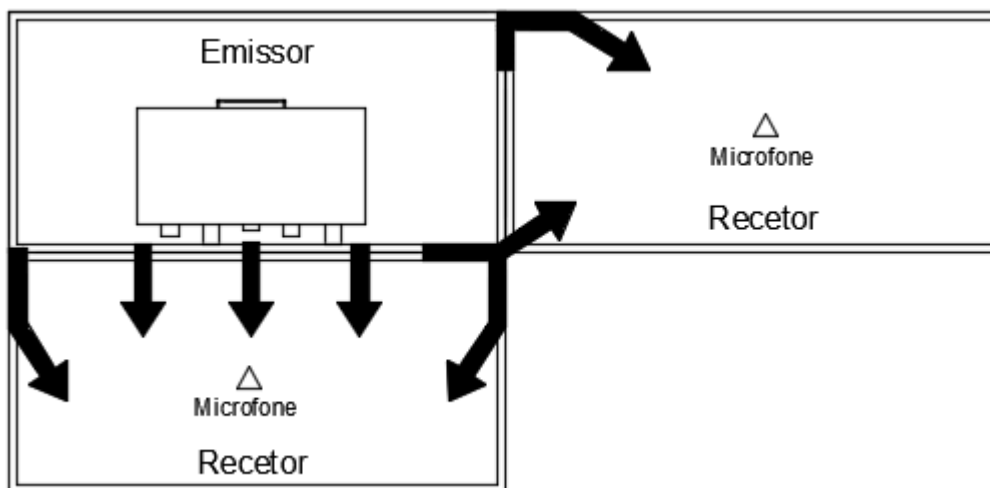


Figura 7 – Disposição dos compartimentos emissor e recetor.

Como fonte de impactos, a norma prevê dois tipos de fontes, nomeadamente, a máquina de percussão e a bola de borracha. No âmbito deste trabalho, apenas será estudada e utilizada a máquina de percussão.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

No que diz respeito às metodologias de ensaio são descritos dois procedimentos, um procedimento geral, muito similar ao método de ensaio descrito na NP EN ISO 140-7, anterior norma aplicada a este tipo de ensaio, e um procedimento de baixa frequência com diretrizes específicas para as baixas frequências.

O procedimento geral consiste em obter o nível médio de pressão sonora, na zona central do compartimento recetor, cumprindo com os afastamentos a eventuais obstáculos. Para tal, são realizadas várias medições com o sonómetro seguro manualmente e que se desloca de posição em posição. O campo sonoro é gerado pela máquina de percussão, cujas posições se distribuem pela zona central do compartimento emissor.

Para aplicação do procedimento de baixas frequências são realizadas medições adicionais, quando o compartimento recetor possui um volume inferior a 25 m<sup>3</sup>, pouco frequente na construção atual, devido à ressonância acústica que pode ocorrer quando a frequência sonora é igual à frequência natural do espaço recetor. Estas medições são efetuadas, numa posição específica, nos cantos do compartimento, com o microfone do sonómetro fixo através de um tripé.

Para realização das medições com vista à determinação do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos é necessário proceder à medição de três parâmetros: o  $B_2$ ,  $T_2$  e  $L_2$ , que correspondem respetivamente ao ruído de fundo, ao tempo de reverberação e ao ruído medido no compartimento recetor (NP EN ISO 16283-2, 2016).

### **3.3.1 Procedimento geral**

A aplicação do procedimento geral implica efetuar medições num espectro linear com a utilização de filtros de largura de banda de terço-de-oitava nas seguintes frequências centrais, em Hertz: 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 e 3150.

O ruído de impacto deve ser gerado pela máquina de percussão que origina um campo sonoro no compartimento recetor.

### **3.3.1.1 Medição de $L_2$**

Para realizar as medições de  $L_2$  são tidos em consideração os requisitos da máquina de percussão no compartimento emissor e os requisitos do sonómetro no compartimento recetor.

A máquina de percussão deve cumprir o mínimo de 4 posições no compartimento emissor, distribuídas de forma aleatória sobre o pavimento. Sempre que no compartimento emissor o piso possua vigas ou nervuras, a linha de martelos deve ser colocada a 45° relativamente à direção destes elementos.

A medição só deve ocorrer depois do nível de pressão sonora do ruído de percussão evidenciar estabilidade. Esta instabilidade na maioria dos casos resulta de irregularidades ou alguma sujidade presente nos pavimentos que os próprios martelos reduzem após alguns batimentos. Se a superfície do pavimento for frágil, os martelos podem estar a danificar a superfície no local dos batimentos.

No que respeita a distâncias dentro do compartimento emissor, as diferentes posições da máquina de percussão devem distar 0,5 m entre si e estar no mínimo a 0,5 m de distância dos limites do compartimento.

O sonómetro, para medição do nível de pressão sonora do ruído de percussão no compartimento recetor, pode ser manuseado de quatro formas distintas: seguro manualmente pelo operador; fixo num tripé; por varrimento manual e por varrimento mecânico. No âmbito deste trabalho deve ser seguro manualmente pelo operador de medição que pode estar presente no compartimento. Este deve permanecer com o braço estendido para que o seu corpo não influencie os dados da medição.

As posições de medição devem ser uniformemente distribuídas no compartimento e o seu número deve ser igual ao número de posições da máquina de percussão ou múltiplos inteiros deste. Deve ser utilizado sempre o mesmo número de posições de microfones para cada posição da máquina de percussão. No mínimo devem ser efetuadas seis medições do nível de pressão sonora do ruído de percussão.

Por exemplo: Para quatro posições da máquina de percussão terão de ser utilizadas no mínimo duas medições do nível de pressão sonora do ruído de percussão, o que perfaz um mínimo de 8 medições.

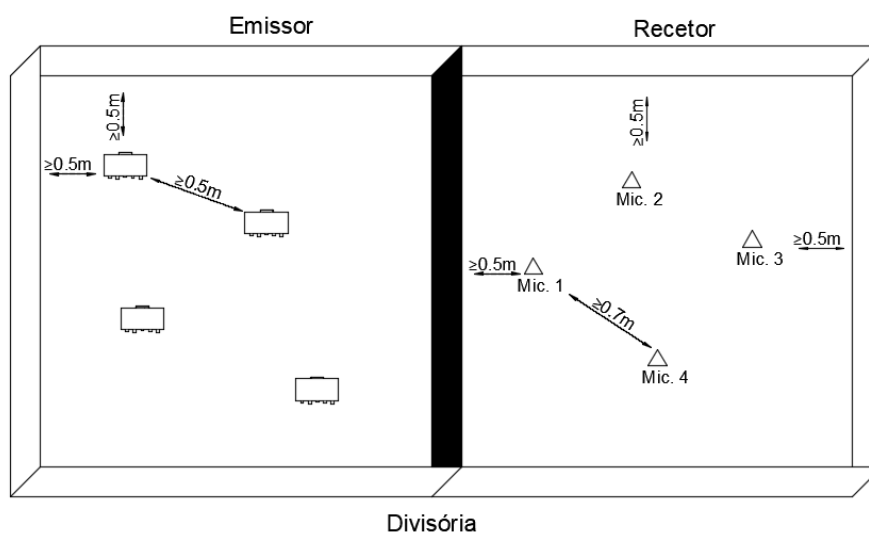
Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

As distâncias mínimas a ter em consideração para as posições do microfone no compartimento recetor devem cumprir o seguinte:

- 0,7 m entre posições fixas do microfone;
- 0,5 m entre uma posição do microfone e os limites do compartimento;
- 1,0 m entre uma posição do microfone e o pavimento excitado pela máquina de percussão.

Para cada posição do microfone o tempo de medição mínimo, tendo em conta que as medições são realizadas nas bandas de frequência entre 50 Hz e 3150 Hz, é de seis segundos.

Para uma melhor identificação das localizações dos equipamentos dentro dos respetivos compartimentos é apresentada uma representação esquemática na Figura 8.



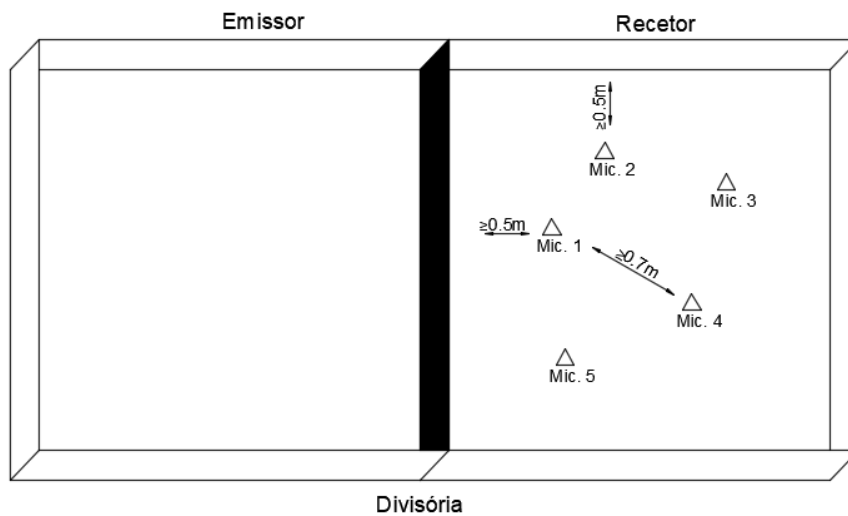
**Figura 8** – Disposição dos equipamentos para medição de  $L_2$ .

### 3.3.1.2 Medição de $B_2$

Para realizar as medições de ruído de fundo,  $B_2$ , devem ser efetuadas 5 medições, uniformemente distribuídas dentro do compartimento a ensaiar. O tempo de integração deve ser no mínimo de 15 s, para cada medição, dado que nas medições de acústica de edifícios, *in situ*, é difícil conseguir que os níveis de ruído de fundo sejam constantes e contínuos, logo torna-se necessário que os tempos sejam superiores aos utilizados nas

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

medições de  $L_2$ . A Figura 9 apresenta uma distribuição típica das posições dos microfones para medição de  $B_2$ .



**Figura 9** – Disposição das posições dos microfones para medição de  $B_2$ .

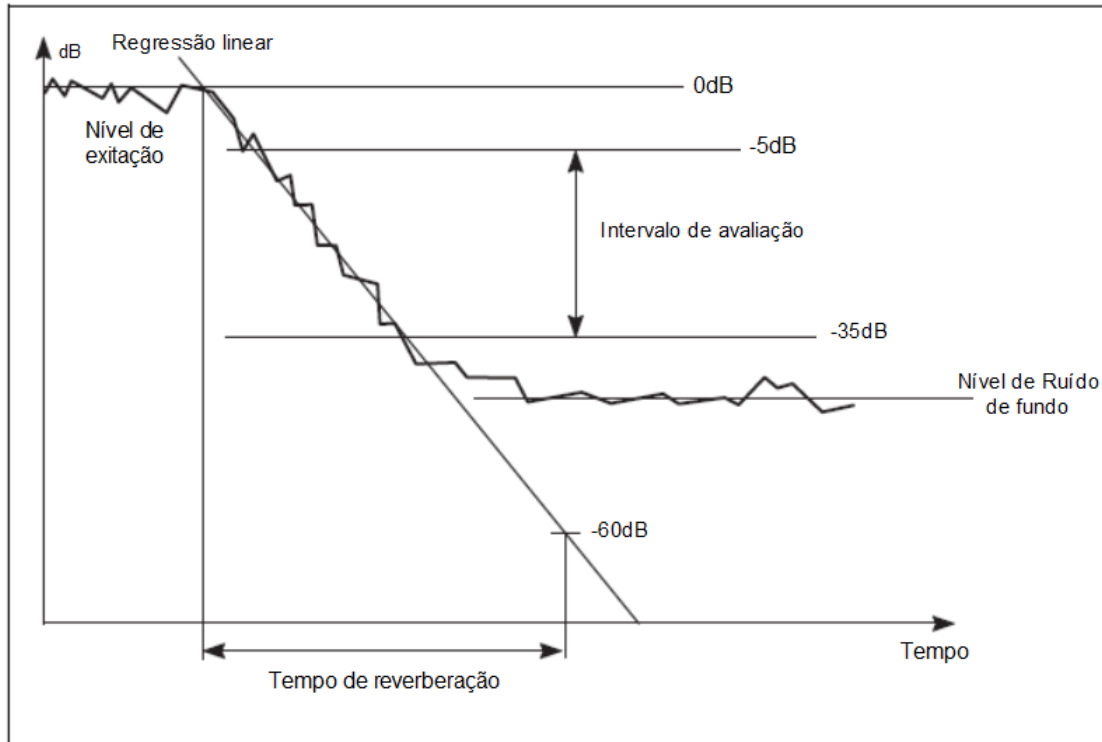
### 3.3.1.3 Medição do tempo de reverberação - $T_2$

De acordo com o estipulado na legislação nacional, o isolamento sonoro a sons de percussão deve ser verificado através do parâmetro  $L'_{nT,w}$ , que requer a determinação do  $T_2$  – Tempo de reverberação do compartimento recetor, para efetuar a padronização do isolamento sonoro determinado.

A medição deste parâmetro será efetuada de acordo com o método de fonte interrompida ao nível de engenharia descrito na NP EN ISO 3382-2:2015, que de seguida se descreve.

Nas medições do tempo de reverberação deve-se excitar o compartimento com um nível de pressão sonora de pelo menos 35 dB acima do ruído de fundo, isto porque vai ser utilizado o parâmetro  $T_{20}$ . A determinação de  $T_{20}$  inicia-se 5 dB abaixo do nível de pressão sonora inicial e a parte inferior da faixa de avaliação ainda deve estar 10 dB acima do ruído de fundo (NP EN ISO 3382-2, 2015).

Na Figura 10 é apresentado um decaimento típico de uma medição de  $T_r$ , numa determinada frequência para o parâmetro  $T_{30}$ .



**Figura 10** – Representação gráfica do decaimento de  $T_1$  (Kjaer, 2015).

O altifalante pode localizar-se em posições que correspondam a locais de utilização normal do compartimento. Em compartimentos de dimensão reduzida, que será o caso dos ensaios efetuados no âmbito deste trabalho, a localização da fonte sonora é num dos cantos do compartimento.

As posições do microfone devem estar espaçadas entre si pelo menos meio comprimento de onda, aproximadamente 2 m, e de modo a que se encontrem a pelo menos um quarto de comprimento de onda, aproximadamente 1 m, de qualquer superfície refletora.

A distância mínima entre o microfone e a fonte é calculado pela equação (1):

$$d_{min} = 2 \sqrt{\frac{V}{cT}} \quad (1)$$

Onde,

$V$  é o volume em  $m^3$ ;

$c$  é a velocidade de propagação do som no ar, m/s;

$T$  é a estimativa do  $T_r$ .

De forma a facilitar o trabalho de campo, apresenta-se na Tabela 4 o valor de  $d_{\min}$ , distância adequada consoante a dimensão do compartimento recetor, que pode servir de orientação, dada a reduzida dimensão dos compartimentos recetores.

**Tabela 4** – Determinação da distância entre altifalante e microfone.

Área de pavimento $m^2$	Volume compartimento $m^3$	$d_{\min}$ m	$T_r$ (Esperado) s
8	24	0.75	0.50

Através da consulta da Tabela 5, pode-se determinar o número mínimo de posições requeridas, de forma a obter uma cobertura uniforme do compartimento. Nos casos em que a geometria do compartimento é complexa, o número de medições pode ser superior.

**Tabela 5** – Número mínimo de posições e de medições na avaliação de  $T_r$ .

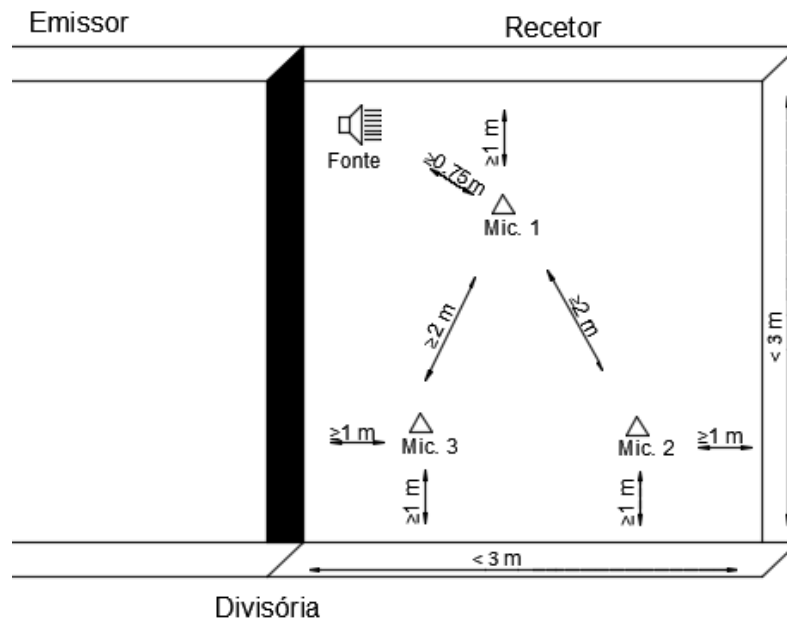
	Método de engenharia
Nº mínimo de medições	6
Nº de posições do altifalante	$\geq 1$
Nº de posições do microfone	$\geq 2$
Nº de decaimentos para cada posição	$\geq 1$

Assim sendo, o número mínimo de medições pode ser alcançado com uma posição de altifalante e três posições de microfone, com dois decaimentos em cada posição.

De acordo com o anteriormente referido, as distâncias a cumprir são: 2 m entre posições de microfone, 1 m entre o microfone e os limites do compartimento e por último, 0,75 m entre altifalante e microfone. No caso de um compartimento de volume inferior a  $25 m^3$ , que resulta de uma área de 8 a  $9 m^2$  por uma altura de 2,7 m, torna-se difícil cumprir com as distâncias especificadas, o que obriga o técnico de ensaios a reduzir ligeiramente as mesmas. Esta situação é facilmente verificada analisando a Figura 11, onde seria

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

necessário um compartimento com dimensões de 4 m por 4 m, para cumprir no limite estas distâncias.



**Figura 11** – Disposição das posições do microfone e fonte para medição de  $T_2$ .

Para o cálculo da média dos vários decaimentos podem ser utilizadas duas metodologias: determinar o tempo de reverberação para cada medição individual e efetuar a média aritmética, ou preferencialmente, utilizar um segundo método, que consiste em efetuar a média do conjunto dos decaimentos do quadrado da pressão e determinar o tempo de reverberação a partir desta curva resultante.

### 3.3.2 Procedimento de baixa frequência

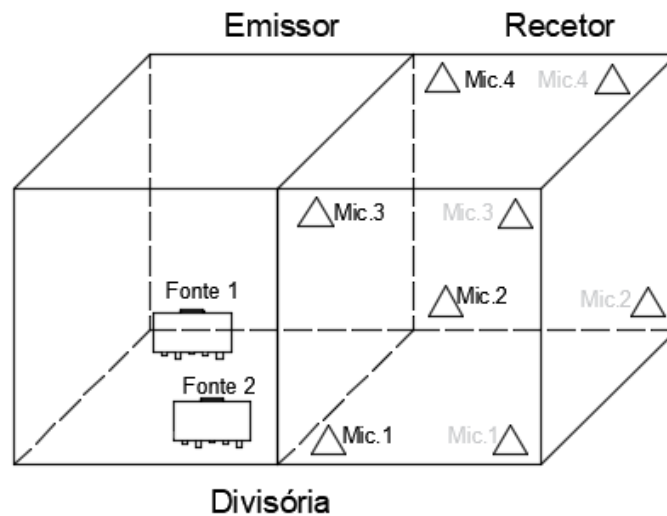
O procedimento de baixa frequência deve ser aplicado para as bandas de terço-de-oitava nas seguintes frequências centrais de 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, no compartimento recetor quando o volume deste é inferior a  $25\text{ m}^3$ .

As medições do nível de pressão sonora de baixa frequência devem ser realizadas próximo de cada um dos cantos do compartimento recetor, de forma a identificar qual o canto com nível sonoro mais elevado, quando a máquina de percussão se encontra em funcionamento, e respetivo nível de ruído de fundo, quando a máquina se encontra desligada.

### 3.3.2.1 Medição de $L_2$ e $B_2$

Para realizar as medições de  $L_2$ , a máquina de percussão deve ser colocada em funcionamento em pelo menos duas das posições utilizadas na execução do procedimento geral, conforme apresentados na Figura 12.

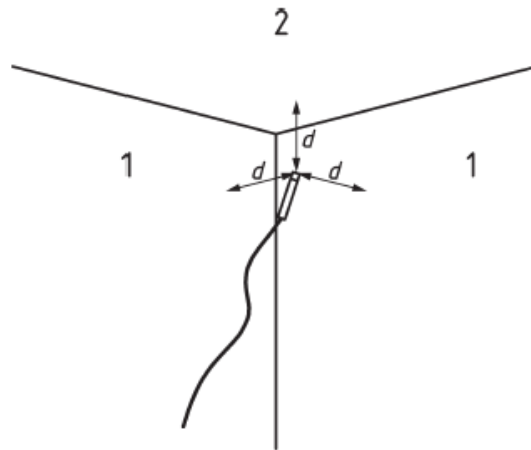
Para realizar as medições de  $B_2$ , são utilizadas as mesmas posições de microfone e deve ser desligada a fonte de impactos, permanecendo em funcionamento todas as restantes fontes existentes.



**Figura 12** – Disposição dos equipamentos para medição de  $L_2$  e  $B_2$ .

O microfone deve ser colocado de forma fixa em cada um dos cantos do compartimento a caracterizar, conforme apresentado na Figura 13 e a uma distância ( $d$ ) de 0,3 m a 0,4 m de cada uma das superfícies que o definem;

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.



**Legenda:** 1 – Parede; 2 - teto

**Figura 13** – Distâncias para medição  $L_2$  e  $B_2$  (NP EN ISO 16283-2, 2016).

Para cada posição da máquina de percussão devem ser efetuadas medições em pelo menos quatro cantos do compartimento recetor. Para cada conjunto de quatro cantos devem ser efetuadas duas medições junto ao teto e duas junto ao pavimento.

Para um determinado canto ser considerado para a realização de medições, deve ser formado por superfícies com área mínima de  $0,5 \text{ m}^2$  cada uma.

O tempo de integração mínimo para cada medição de  $L_2$  e  $B_2$ , com a aplicação do procedimento de baixa frequência é de 15 s.

Com os valores mais elevados das pressões sonoras registadas para cada posição da máquina de percussão é calculado o respetivo nível de pressão sonora, média energética.

### 3.3.2.2 Medição de $T_2$

Para realizar as medições de  $T_2$  é utilizado o método descrito para o procedimento geral em termos de número de medições e de posicionamento dos equipamentos dentro do compartimento recetor. No entanto, em vez de ser medido nas bandas de terços de oitava de 50 Hz, 63 Hz e 80 Hz é apenas medido na banda de oitava de 63 Hz e este valor único é utilizado para representar as bandas de terços de oitava no cálculo de  $L'_{nT,w}$ .

### 3.4 Correções devido ao ruído de fundo - B<sub>2</sub>

O ruído de fundo é um dos fatores que influencia significativamente os resultados dos ensaios de acústica de edifícios, devendo sempre que possível, ser evitada a aplicação de correções devido a este parâmetro. Este ruído que incrementa os níveis de pressão sonora no compartimento recetor pode ter origem em ruídos estranhos, tais como ruído exterior ao compartimento recetor, ruído elétrico do equipamento de medição, ruído mecânico da movimentação contínua do microfone e até mesmo, ruído dos operadores dentro do compartimento de ensaio.

Em ambos os procedimentos, geral e de baixa frequência, medem-se os níveis do ruído de fundo para assegurar que os resultados obtidos no local recetor não são afetados por nenhum ruído perturbador.

O nível do ruído de fundo deve ser, preferencialmente, inferior 10 dB ao nível de ruído da máquina de percussão combinado com o ruído de fundo, situação que não requer qualquer tipo de correção.

Se a diferença entre estes níveis for menor do que 10 dB, mas superior a 6 dB, devem ser calculadas as correções do nível do sinal de acordo com a equação (2):

$$L = 10 \log(10^{0.1 * L_{sb}} - 10^{0.1 * L_b}) \quad (2)$$

em que:

$L$  é o nível do sinal corrigido, em dB;

$L_{sb}$  é o nível do sinal e do ruído de fundo combinados, em dB;

$L_b$  é o nível do ruído de fundo, em dB.

Os valores de  $L_{sb}$  e  $L_b$  devem ser arredondados a uma casa decimal. O arredondamento é efetuado considerando o valor em décimas de dB mais próximo, de modo a que  $XX,XYZZZ$  seja arredondado para  $XX,X$  se  $Y$  for menor que 5 e para  $XX,X+0,1$  se  $Y$  for maior ou igual a 5.

Se a diferença entre os níveis for menor ou igual a 6 dB, deve usar-se a correção de 1,3 dB. Neste caso, relativamente a  $L'_{nT,w}$ , deve indicar-se no relatório de ensaio que os valores consagrados constituem o limite da medição.

### 3.5 Cálculos

Após a realização das várias medições, é necessário processar os cálculos para a obtenção do nível de pressão sonora padronizado do ruído de percussão,  $L'_{nT,w}$ , parâmetro de verificação da conformidade do isolamento a sons de percussão especificado no RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 96/2008, 2008).

Relativamente aos valores de baixa frequência,  $L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$ , atualmente a legislação nacional ainda não prevê o seu enquadramento.

#### 3.5.1 Parâmetros de cálculo

O nível de pressão sonora padronizado no compartimento recetor para várias posições da máquina de percussão é obtido pela expressão (3):

$$L'_{nT} = 10 \log \left( \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{\frac{L'_{nT,j}}{10}} \right) \quad (3)$$

em que:

$m$  é o número de posições da máquina de percussão;

$L'_{nT,j}$  é o nível de pressão sonora padronizado do ruído de percussão para a posição  $j$  da máquina de percussão.

O nível de pressão sonora a sons de percussão para cada posição de fonte é obtido pela expressão (4)

$$L'_{nT,j} = L_i - 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (4)$$

em que:

$T$  é o tempo de reverberação no compartimento recetor;

$T_0$  é o tempo de reverberação de referência ( $T_0 = 0,5$  s);

$L_i$  é o nível médio de pressão sonora, média energética, no compartimento recetor.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

O nível médio de pressão sonora, média energética, no compartimento recetor é calculado pela equação (5).

$$L_i = 10 \log \left( \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{np_0^2} \right) \quad (5)$$

em que:

$p_1^2, p_2^2, p_n^2$  são os valores quadráticos médios de pressão sonora medidos nas  $n$  diferentes posições do microfone no compartimento;

$p_0$  é a pressão sonora de referência ( $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ ).

Na prática, o cálculo anterior é efetuado internamente no sonómetro, sendo medidos os níveis de pressão sonora, e devendo o nível médio de pressão sonora, média energética, ser calculado recorrendo à equação (6).

$$L_i = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \right) \quad (6)$$

em que:

$L_1, L_2, \dots, L_n$  são os níveis de pressão sonora para as  $n$  posições diferentes do microfone no compartimento recetor.

### 3.5.2 Nível de pressão sonora dos sons de percussão de baixa frequência

Deve-se determinar o nível de pressão sonora mais elevado de entre o conjunto de cantos onde foram efetuadas as medições para cada uma das bandas de um terço de oitava de 50 Hz, 63 Hz e 80 Hz, após serem efetuadas as correções de ruído de fundo.

Efetua-se o cálculo do nível de pressão sonora de canto para cada banda de frequência, através da equação (7)

$$L_{i,\text{canto}} = 10 \log \left( \frac{p_{\text{canto},TM1}^2 + p_{\text{canto},TM2}^2 + \dots + p_{\text{canto},TMq}^2}{qp_0^2} \right) \quad (7)$$

em que:

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

$p_{canto, TM1}^2, p_{canto, TM2}^2, \dots, p_{canto, TMq}^2$  são os valores médios quadráticos mais elevados das pressões sonoras das posições de canto, correspondentes a cada posição  $q$  da máquina de percussão;

$p_0$  é a pressão sonora de referência ( $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ ).

O nível de pressão sonora, média-energética, de baixa frequência é calculado pela equação (8).

$$L_{LF} = 10 \log \frac{10^{0.1 * L_{canto}} + (2 * 10^{0.1 * L_i})}{3} \quad (8)$$

em que:

$L_i$  é o nível de pressão sonora, média-energética, obtido a partir do procedimento geral;

$L_{canto}$  é o nível de pressão sonora de canto, obtido a partir do procedimento de baixa frequência.

### 3.5.3 Índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão – $L'_{nT,w}$

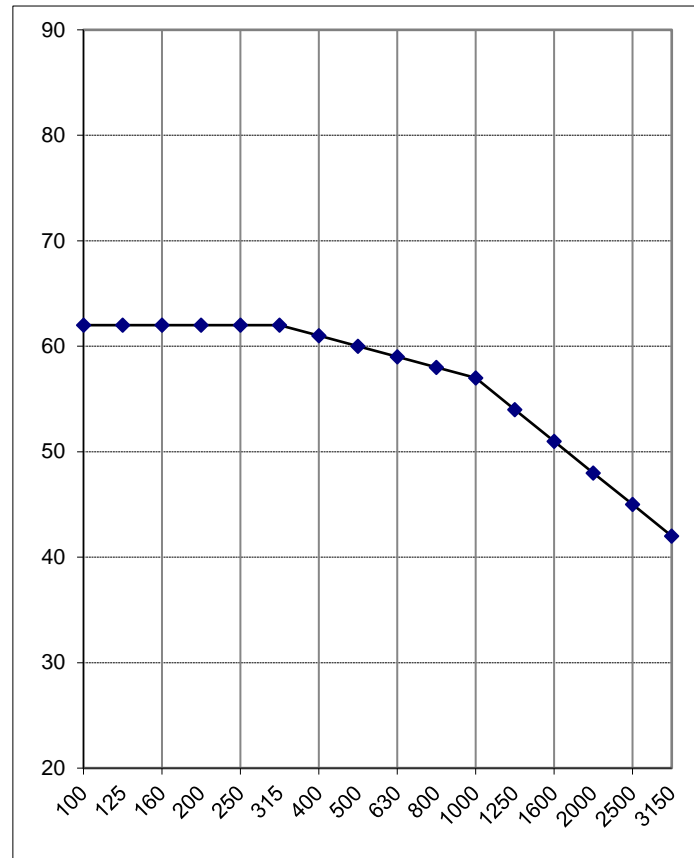
O parâmetro  $L'_{nT,w}$ , índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão pretende caracterizar o desempenho acústico de um determinado compartimento para o qual foram anteriormente calculados os valores unitários de isolamento de  $L'_{nT}$ , obtidos por banda de oitava, na gama de 100 Hz a 3150 Hz.

O cálculo de  $L'_{nT,w}$  tem por base o especificado na norma NP EN ISO 717-2, que define procedimentos para determinar os índices de caracterização do isolamento sonoro a sons de percussão, a partir dos resultados de medições realizadas por bandas de frequências de terço de oitava. Esta norma prevê também o procedimento de cálculo dos termos de adaptação espectral, que no caso do presente trabalho é o termo de adaptação espectral de baixa frequência  $C_{1,50-2500}$ .

Para implementação do método de comparação, os valores de  $L'_{nT}$  devem ser arredondados a uma décima, que posteriormente são comparados com os valores de referência, apresentados na Tabela 6 e na Figura 14. Entre parênteses são apresentados valores a título de exemplo, partindo do valor de  $f_{100} = 62 \text{ dB}$ .

**Tabela 6** – Valores de referência para sons de percussão.

Bandas de referência (Hz)	Valores de referência (dB)
	Bandas de terço de oitava
100	$f_{100} = (62)$
125	$f_{100} = (62)$
160	$f_{100} = (62)$
200	$f_{100} = (62)$
250	$f_{100} = (62)$
315	$f_{100} = (62)$
400	$f_{100} - 1 = (61)$
500	$f_{100} - 2 = (60)$
630	$f_{100} - 3 = (59)$
800	$f_{100} - 4 = (58)$
1000	$f_{100} - 5 = (57)$
1250	$f_{100} - 8 = (54)$
1600	$f_{100} - 11 = (51)$
2000	$f_{100} - 14 = (48)$
2500	$f_{100} - 17 = (45)$
3150	$f_{100} - 20 = (42)$



**Figura 14** – Representação gráfica da curva de referência para  $L_{500\text{ Hz}} = 60\text{ dB}$

Na determinação do índice de isolamento sonoro, ajusta-se a curva de referência em patamares de 1 dB em 1 dB relativamente à curva dos valores medidos, de modo a que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não superior a 32,0 dB, uma vez que estamos perante o tratamento de valores das 16 bandas de terços de oitava.

Por desvio desfavorável numa determinada banda de frequências, entende-se o desvio que ocorre quando o valor medido é superior ao valor de referência. Apenas são tidos em consideração os desvios desfavoráveis.

O valor de  $L'_{nT,w}$  resulta então da ordenada da curva de referência correspondente à banda de frequências de 500 Hz, após a realização do ajuste anteriormente descrito (NP EN ISO 717-2, 2013).

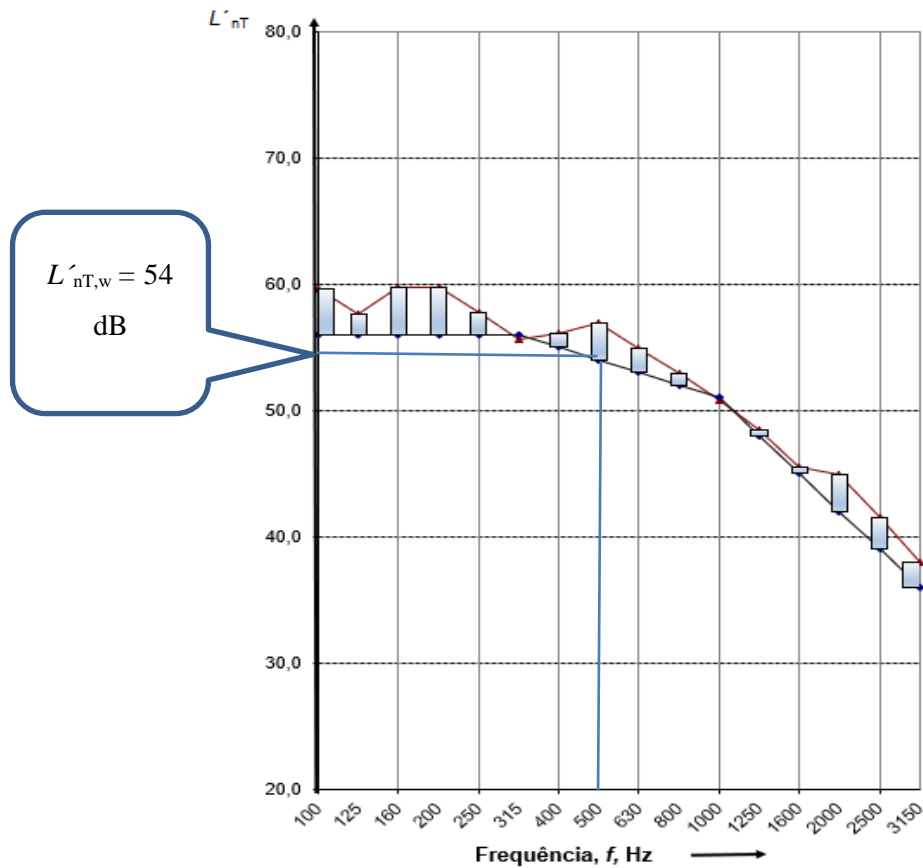


Figura 15 – Curva de referência deslocada e curva de isolamento.

Na Figura 15 podem observar-se, a azul, os desvios desfavoráveis. A resultante da interseção da frequência de 500 Hz com a curva de referência deslocada corresponde ao valor do índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , neste caso quantificado em 54 dB.

### 3.5.4 Ponderação adicional do termo de adaptação espectral

Além do valor de  $L'_{nT,w}$  global podem ainda ser calculados os termos de adaptação espectral, devido à excitação de impacto.

A quantificação efetuada através do valor de  $L'_{nT,w}$  é adequada para sons de percussão decorrentes da ação de caminhar sobre revestimentos de madeira e sobre pavimentos de betão revestidos a alcatifa ou flutuante. No entanto, é insuficiente no modo como contabiliza os picos do nível de pressão sonora de baixas frequências, como no caso dos pavimentos compostos por barrotes de madeira, ou pavimentos de betão não revestido.

### 3.5.4.1 Cálculo do termo de adaptação espectral de baixa frequência - $C_{I,50-2500}$

Com a utilização do termo de adaptação espectral,  $C_{I,50-2500}$ , pretende-se ter em conta os picos de nível de pressão sonora de baixas frequências. Este parâmetro assenta no pressuposto de que para pavimentos maciços, com revestimentos acusticamente eficazes, o seu valor seja de aproximadamente zero e para pavimentos que integrem barrotes de madeira o seu valor seja ligeiramente superior a zero. No caso de lajes maciças e aligeiradas, em betão, sem aplicação de revestimentos superficiais, ou quando estes não são eficazes, o seu valor estará no intervalo entre menos quinze a zero dB (NP EN ISO 717-2, 2013).

Para o cálculo do termo de adaptação espectral de baixa frequência é necessário adicionar os níveis de pressão sonora, resultantes do processo de medição, nomeadamente, o  $L'_{nT}$  calculado por bandas de terço de oitava na gama de frequências entre 50 Hz e 2500 Hz, arredondados às décimas, numa base energética para obter o parâmetro  $L'_{nT,sum}$ , através da equação (9) e arredondar o valor final à unidade,

$$L'_{nTsum} = 10 \log \sum_{i=1}^k 10^{\frac{L'_{nT}}{10}} \quad (9)$$

O termo de adaptação espectral  $C_I$  é calculado como um número inteiro através da equação (10).

$$C_{I,50-2500} = (L'_{nTsum} - 15 - L'_{nT,w}) \quad (10)$$

### 3.5.5 Apresentação de resultados

No processamento dos cálculos, os resultados devem ser apresentados de acordo com a seguinte metodologia:

- $L'_{nT}$  - Os resultados das medições de isolamento sonoro a sons de percussão devem ser apresentados em décimas de decibel em todas as bandas de frequência de largura de terço de oitava;
- $L'_{nT,w}$  - Apresentado à unidade (dB);

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

- $C_{1,50-2500}$ - Apresentado à unidade (dB), no caso de XX,YZZZ é arredondado para XX se Y for inferior a 5 e para XX+1 se Y for igual ou superior a 5;
- $L_{sb}$  e  $L_b$ , nos cálculos da correção devido à influência do ruído de fundo, são arredondados à décima de dB. No caso de XX,XYZZZ é arredondado para XX,X se Y for inferior a 5 e para XX,X+0,1 se Y for igual ou superior a 5.

### 3.5.6 Apresentação gráfica

Na apresentação gráfica existem alguns requisitos a ser cumpridos, nomeadamente:

- As curvas com os valores de referência e de isolamento já apresentadas na Figura 15;
- A escala horizontal deve apresentar uma escala logarítmica e cumprir com 5 mm para representar cada banda de frequência de largura de terço de oitava;
- A escala vertical deve apresentar uma escala linear e cumprir com 10 mm para cada 10 dB de nível de isolamento sonoro padronizado.

A Figura 16 exemplifica o formato sugerido para a apresentação gráfica dos resultados e restantes informações relativas ao conteúdo de um relatório de medição de isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

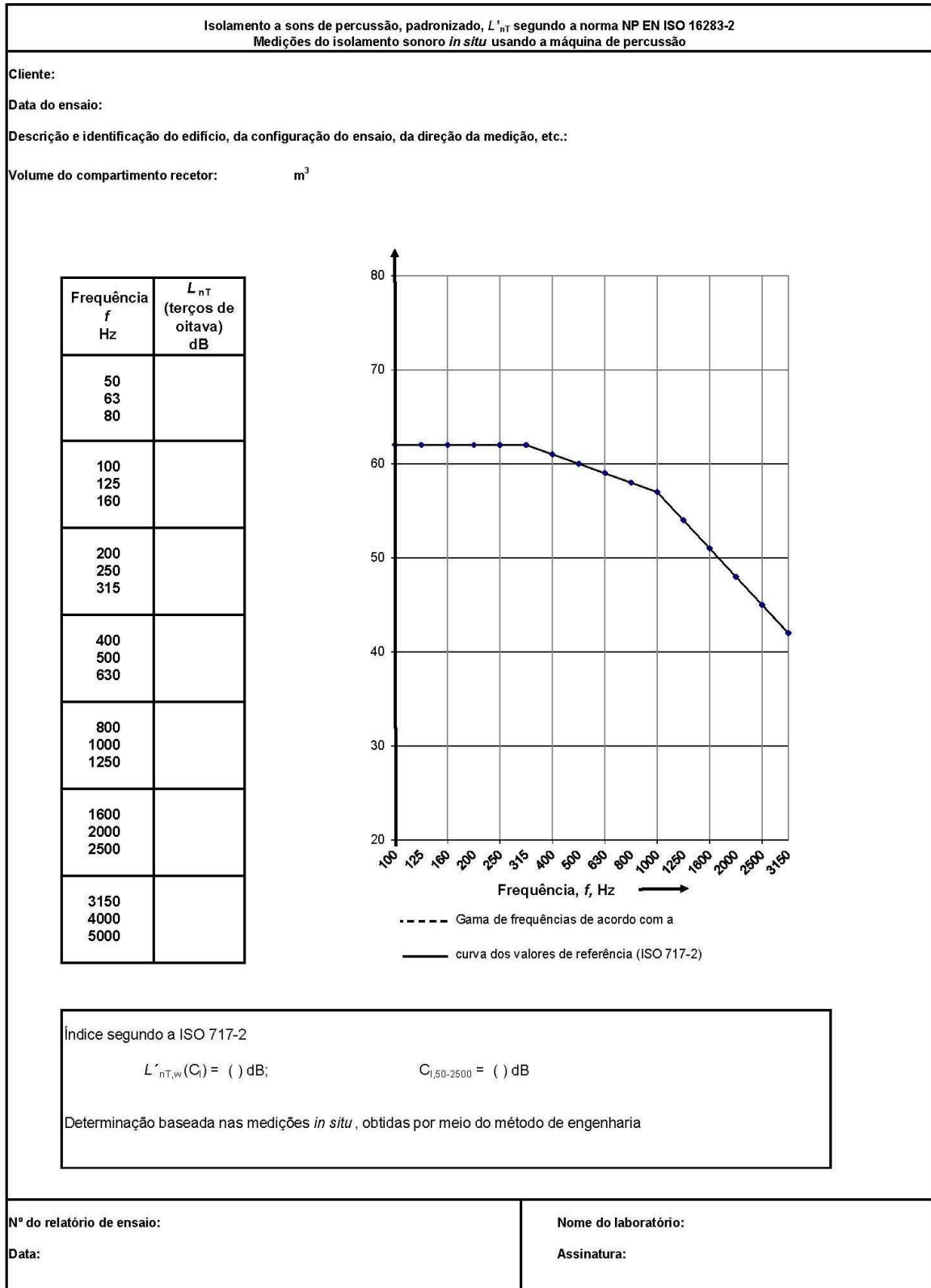


Figura 16 – Exemplo da apresentação de resultados.

### 3.6 Processamento de resultados

O processamento do cálculo do isolamento sonoro a sons de percussão é efetuado diretamente no equipamento de medição através do software de cálculo de acústica de edifícios do sonómetro Bruel & Kjaer 2250, *Building Acoustics Software BZ-7228*. Este software torna a realização dos ensaios mais fácil e intuitiva em termos dos parâmetros a medir, bem como o respetivo número de medições, uma vez que permite que sejam guardadas configurações tipo, com os padrões de ensaio predefinidos.

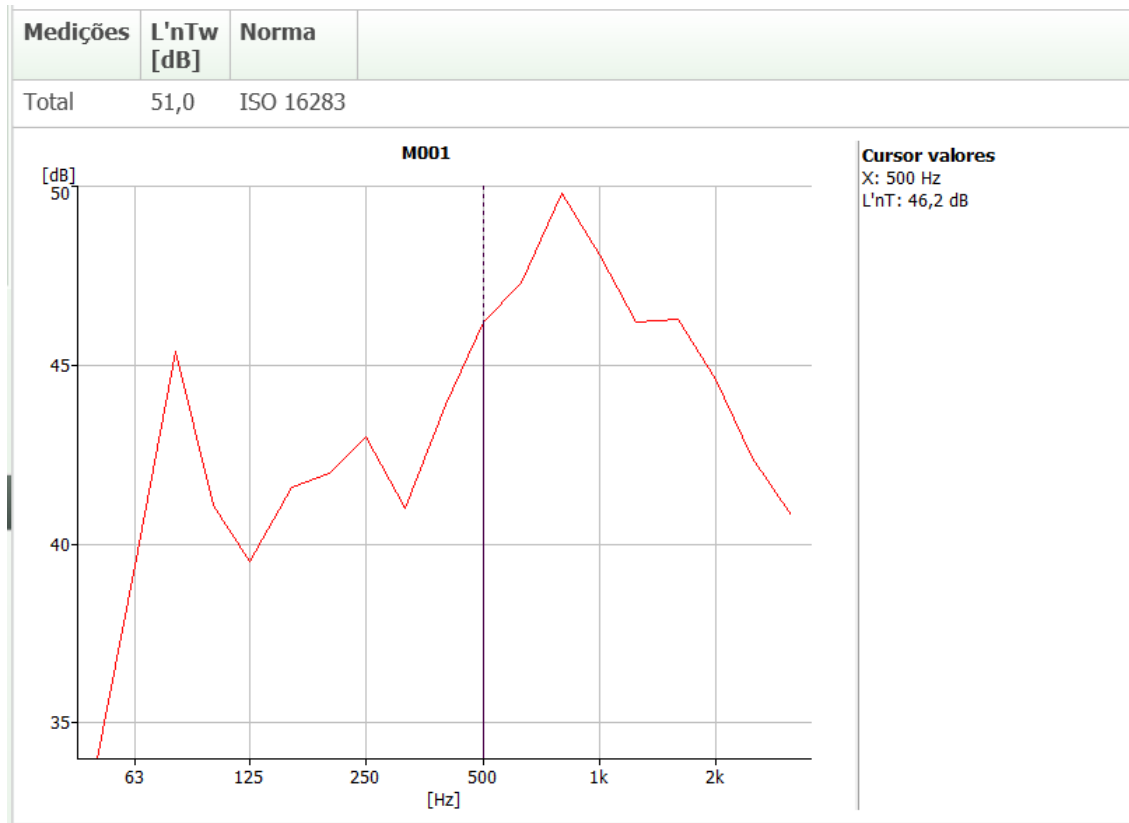
Na Figura 17 pode verificar-se a possibilidade que o software tem de selecionar a norma de ensaio a aplicar, de modo, a efetuar todos os cálculos de acordo com o documento de referência selecionado. Pode ainda selecionar-se o tipo de ensaio a efetuar, o que vai ajudar o técnico, uma vez que o equipamento só permite efetuar a medição dos parâmetros aplicáveis ao ensaio escolhido.



Figura 17 – Configurações do software BZ-7228 da Bruel & Kjaer.

Os dados recolhidos durante as medições são gravados no sonómetro que automaticamente efetua o cálculo do isolamento sonoro a sons de percussão. Posteriormente são transferidos para o computador através do software específico da *Bruel & Kjaer*, o *BZ 5503*, apresentado na Figura 18, sendo de seguida exportados para o Excel, para processamento do cálculo do índice de adaptação espectral de baixa frequência.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.



**Figura 18** – Software de transferência de dados BZ 5503 da Bruel & Kjaer.

O recurso a folhas de cálculo em Excel para processamento de resultados deveu-se ao facto de o software do sonómetro da Bruel & Kjaer bloquear sempre que são efetuadas as medições aplicando o procedimento de baixa frequência e se processa a visualização de resultados, situação demonstrada através da Figura 19.

Depois de identificada esta situação e pedida ajuda à Specman, lda, representante da Bruel & Kjaer em Portugal, os mesmos adiaram consecutivamente uma resposta até ao momento e a respetiva resolução do problema. Após quinze dias de espera optou-se pelo recurso ao Excel de modo a não colocar em causa a continuidade e respetiva entrega deste trabalho de dissertação.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

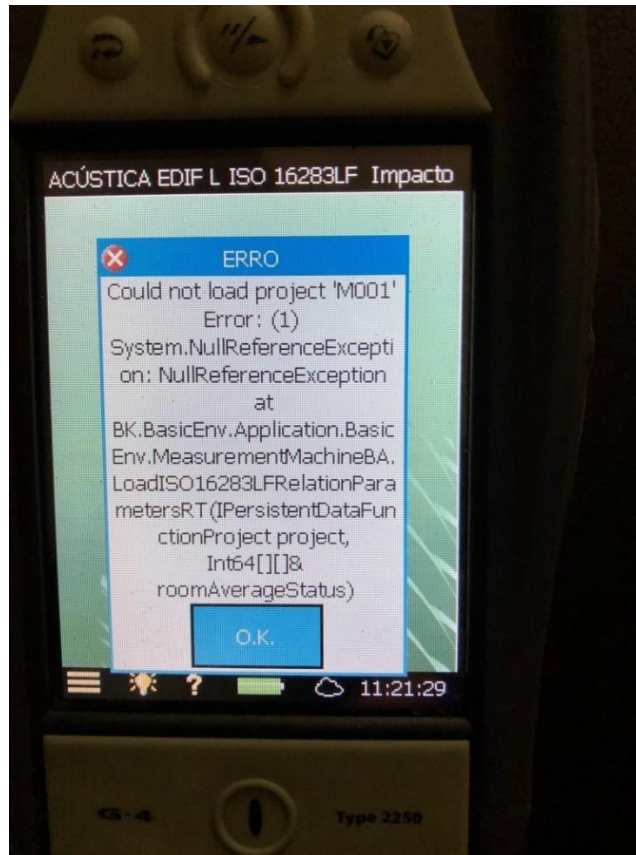


Figura 19 – Erro do sonómetro 2250 da Bruel & Kjaer.

### 3.6.1 Processamento através de folha de cálculo em Excel

Na determinação do isolamento sonoro padronizado, segundo a norma NP EN ISO 16238-2:2016, utilizou-se uma folha de cálculo com onze separadores, desde a entrada de dados até à geração do relatório, de acordo com o apresentado na Figura 20, cujas funcionalidades são a seguir descritas:

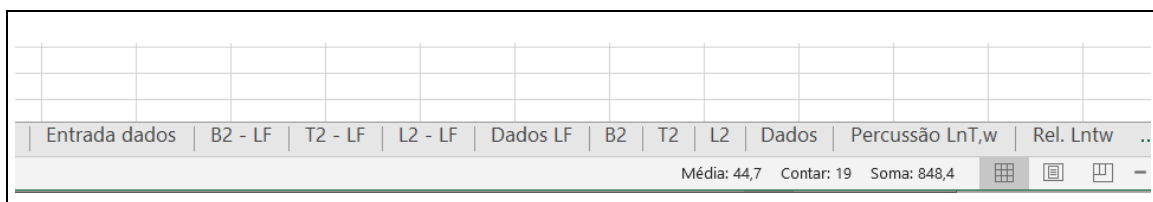


Figura 20 – Separadores da folha de cálculo.

- Separador “Entrada de dados”, apresentado na Tabela 7, permite a inserção dos dados gerais e dos dados que caracterizam em termos de dimensões os locais em estudo.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

**Tabela 7 – Separador entrada de dados.**

Dados Gerais	
Cliente:	Dissertação 2017/2018
Data Ensaio:	27/06/2018
Data Emissão relatório:	15/07/2018
Nº relatório:	Tese001
Nome laboratório:	Universidade Fernando Pessoa - Tese
Dados Compartimento	
Largura compartimento emissor (m)	3,05
Comprimento compartimento emissor (m)	2,67
Altura compartimento emissor (m)	2,63
Volume compartimento emissor (m <sup>3</sup> )	21,42
Largura compartimento recetor (m)	3,09
Comprimento compartimento recetor (m)	2,95
Altura compartimento recetor (m)	2,60
Volume compartimento recetor (m <sup>3</sup> )	23,70

Entrada dados | B2 - LF | T2 - LF | L2 - LF | Dados LF | B2 | T2 | L2 | ... (+) |

- Separadores “B2 - LF”, “T2 - LF”, “L2 - LF” e “B2”, “T2”, “L2”, apresentados na Tabela 8, permitem a inserção dos dados individuais de cada parâmetro medido e o cálculo do seu valor médio ou valor a ser considerado. Os três primeiros parâmetros referem-se ao procedimento de baixa frequência enquanto o segundo conjunto de três itens é referente ao procedimento geral.

**Tabela 8 – Quadro das medições de L<sub>2</sub>.**

Medições de L <sub>2</sub> e médias parciais - (dB)													
Posição de microfone		1ª Posição máquina martelos			2ª Posição máquina martelos			3ª Posição máquina martelos			4ª Posição máquina martelos		
		1	2	Média	1	2	Média	1	2	Média	1	2	Média
Frequência (Hz) 1/3 Oitava	50	40,2	38,9	39,6	39,8	39,8	39,8	41,1	40,9	41,0	38,5	38,3	38,4
	63	40,3	41,8	41,1	44,9	42,4	43,8	41,6	41,0	41,3	41,5	42,3	41,9
	80	47,3	40,5	45,1	48,6	47,7	48,2	47,2	47,2	47,2	47,3	38,5	44,9
	100	43,7	40,9	42,5	44,5	43,6	44,1	43,4	43,5	43,5	43,3	41,3	42,4
	125	41,3	44,6	43,3	43,2	41,4	42,4	41,1	41,3	41,2	40,5	45,7	43,8
	160	46,5	44,9	45,8	45,2	45,5	45,3	45,7	46,2	46,0	43,7	46,2	45,1
	200	44,3	44,6	44,5	44,2	44,1	44,2	44,2	43,8	44,0	42,0	44,4	43,4
	250	45,0	43,6	44,3	43,7	46,1	45,0	46,4	45,0	45,8	42,8	43,9	43,4
	315	43,5	41,4	42,6	45,8	42,4	44,4	42,4	43,1	42,7	42,1	41,5	41,8
	400	47,3	44,8	46,2	47,9	46,4	47,2	46,6	46,8	46,7	45,9	43,8	45,0
	500	50,1	49,0	49,6	47,0	47,0	47,0	46,6	49,9	48,6	44,9	48,8	47,3
	630	49,3	49,7	49,5	49,1	49,8	49,5	50,1	49,7	49,9	48,7	49,7	49,2
	800	51,4	52,8	52,2	50,3	51,8	51,1	51,6	51,9	51,8	51,6	52,4	52,0
	1000	50,1	50,4	50,2	48,8	49,0	48,9	49,1	50,2	49,7	49,2	50,3	49,7
	1250	46,7	49,3	48,1	47,8	47,2	47,5	47,2	47,4	47,3	47,0	48,8	48,0
	1600	48,2	48,1	48,1	48,8	47,9	48,4	47,5	48,3	47,9	47,6	48,3	48,0
	2000	46,6	47,2	46,9	47,8	45,7	46,9	45,6	46,8	46,3	46,8	47,4	47,1
2500	44,3	44,7	44,5	45,1	43,6	44,4	43,9	44,7	44,4	44,1	45,2	44,7	
3150	42,7	42,5	42,6	42,8	42,2	42,5	42,2	42,7	42,5	43,0	42,5	42,7	

Entrada dados | B2 - LF | T2 - LF | L2 - LF | Dados LF | B2 | T2 | **L2** | Dados | Percussão L ... (+) |

- Os separadores “Dados LF” e “Dados”, apresentados na Tabela 9, referem-se, respetivamente, ao resumo dos valores médios das medições de baixa frequência e do procedimento geral.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

Tabela 9 – Resumo de dados dos dois métodos de ensaio.

Quadro dos valores médios dos resultados obtidos.				
Parâmetro medido	L <sub>2</sub> - (dB)	T <sub>2</sub> - (s)	B <sub>2</sub> - (dB)	
Frequência (Hz) 1/3 Oitava	50	39,8	1,9	29,2
	63	42,2	0,7	19,6
	80	46,6	0,8	18,2
	100	43,2	0,8	18,2
	125	42,8	1,1	15,4
	160	45,6	1,3	17,4
	200	44,0	0,8	15,7
	250	44,7	0,8	13,0
	315	43,0	0,8	11,9
	400	46,4	0,9	10,5
	500	48,2	0,8	11,4
	630	49,5	0,8	9,5
	800	51,8	0,8	9,6
	1000	49,7	0,7	8,4
	1250	47,7	0,7	7,4
	1600	48,1	0,8	7,3
	2000	46,8	0,8	5,9
2500	44,5	0,8	5,4	
3150	42,6	0,8	6,7	

Quadro dos valores médios dos resultados obtidos.				
Parâmetro medido	L <sub>2</sub> - (dB)	T <sub>2</sub> - (s)	B <sub>2</sub> - (dB)	
Frequência (Hz) 1/3 Oitava	50	55,1	0,6	27,6
	63	55,0		37,1
	80	50,4		24,9

- O separador “Percussão LnT,w”, apresentado na Tabela 10, é o separador que apresenta uma maior complexidade já que é nele que a maioria dos cálculos são processados.

Tabela 10 – Resumo geral de dados e cálculos.

Medições do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos																							
1ª Posição máquina percussão	Frequência(Hz)	Proced. Baixa Freq.										Procedimento Geral											
		50	63	80	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
	L <sub>2</sub>	55,1	55,0	50,4	39,6	41,1	45,1	42,5	43,3	45,8	44,5	44,3	42,6	46,2	49,6	49,5	52,2	50,2	48,1	48,1	46,9	44,5	42,6
	L <sub>2</sub> -B <sub>2</sub>	27,4	17,8	25,5	10,4	21,5	26,9	24,3	27,9	28,4	28,8	31,4	30,7	35,7	38,2	40,0	42,5	41,9	40,8	40,8	41,0	39,1	35,9
	L <sub>2</sub> corrigido	55,1	55,0	50,4	39,6	41,1	45,1	42,5	43,3	45,8	44,5	44,3	42,6	46,2	49,6	49,5	52,2	50,2	48,1	48,1	46,9	44,5	42,6
	L <sub>2,F</sub>	50,5	50,6	48,3																			
	Correção B(<6),b(<10)																						
2ª Posição máquina percussão	LnT	50,0	50,2	47,8	33,8	39,9	43,1	40,5	40,0	41,8	42,4	42,6	40,6	43,7	47,6	47,3	50,2	48,7	46,6	46,3	44,7	42,5	40,8
	L <sub>2</sub>				39,8	43,8	48,2	44,1	42,4	45,3	44,2	45,0	44,4	47,2	47,0	49,5	51,1	48,9	47,5	48,4	46,9	44,4	42,5
	L <sub>2</sub> -B <sub>2</sub>				10,6	24,2	30,0	25,9	27,0	28,0	28,4	32,0	32,5	36,7	35,6	40,0	41,5	40,5	40,1	41,0	41,0	39,0	35,8
	L <sub>2</sub> corrigido				39,8	43,8	48,2	44,1	42,4	45,3	44,2	45,0	44,4	47,2	47,0	49,5	51,1	48,9	47,5	48,4	46,9	44,4	42,5
3ª Posição máquina percussão	LnT				34,0	42,6	46,1	42,1	39,1	41,3	42,1	43,3	42,4	44,7	45,0	47,2	49,1	47,3	45,9	46,5	44,7	42,4	40,7
	L <sub>2</sub>				41,0	41,3	47,2	43,5	41,2	46,0	44,0	45,8	42,7	46,7	48,6	49,9	51,8	49,7	47,3	47,9	46,3	44,4	42,5
	L <sub>2</sub> -B <sub>2</sub>				11,8	21,7	29,0	25,3	25,8	28,6	28,3	32,8	30,8	36,2	37,2	40,4	42,1	41,3	39,9	40,6	40,4	39,0	35,8
	L <sub>2</sub> corrigido				41,0	41,3	47,2	43,5	41,2	46,0	44,0	45,8	42,7	46,7	48,6	49,9	51,8	49,7	47,3	47,9	46,3	44,4	42,5
4ª Posição máquina percussão	LnT				35,2	40,1	45,1	41,4	38,0	42,0	42,0	44,0	40,7	44,2	46,6	47,7	49,8	48,1	45,7	46,1	44,1	42,3	40,7
	L <sub>2</sub>				38,4	41,9	44,9	42,4	43,8	45,1	43,4	43,4	41,8	45,0	47,3	49,2	52,0	49,7	48,0	48,0	47,1	44,7	42,7
	L <sub>2</sub> -B <sub>2</sub>				9,2	22,3	26,6	24,2	28,4	27,7	27,7	30,4	29,9	34,5	35,8	39,7	42,4	41,4	40,6	40,7	41,2	39,3	36,0
	L <sub>2</sub> corrigido				37,8	41,9	44,9	42,4	43,8	45,1	43,4	43,4	41,8	45,0	47,3	49,2	52,0	49,7	48,0	48,0	47,1	44,7	42,7
Global	LnT				b																		
	T <sub>2</sub>				32,0	40,7	42,8	40,3	40,6	41,1	41,3	41,6	39,8	42,5	45,3	47,0	50,1	48,2	46,4	46,2	44,9	42,7	40,9
	B <sub>2</sub>				1,9	0,7	0,8	0,8	1,1	1,3	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	Correção B(<6),b(<10)	27,6	37,1	24,9	29,2	19,6	18,2	18,2	15,4	17,4	15,7	13,0	11,9	10,5	11,4	9,5	9,6	8,4	7,4	7,3	5,9	5,4	6,7
Global	LnT	50,0	50,2	47,8	33,9	41,0	44,5	41,1	39,5	41,6	42,0	43,0	41,0	43,8	46,3	47,3	49,8	48,1	46,2	46,3	44,6	42,5	40,8
Curva referência				b																			
Curva deslocada																							
Diferença LnT curva deslocada																							
Soma dos desvios				26,3																			
Verificação				Conforme																			
LnT,w				51																			
C <sub>ISO-3150</sub>				-7																			

Este separador tem uma célula para inserir o deslocamento da curva de referência, de modo a que a soma dos desvios favoráveis atinja, sem ultrapassar, o valor de 32 dB. Assim, quando este é atingido, a célula destinada à verificação de resultados, apresenta o texto “Conforme” e fundo verde, tal como apresentado na Tabela 10, caso contrário apresenta “Não conforme” e fundo vermelho.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

- Separador “Rel. Lntw”, apresentado na Figura 21, é o separador que apresenta, de forma gráfica, os valores calculados, dando assim cumprimento ao estipulado na norma para apresentação dos resultados de ensaio.

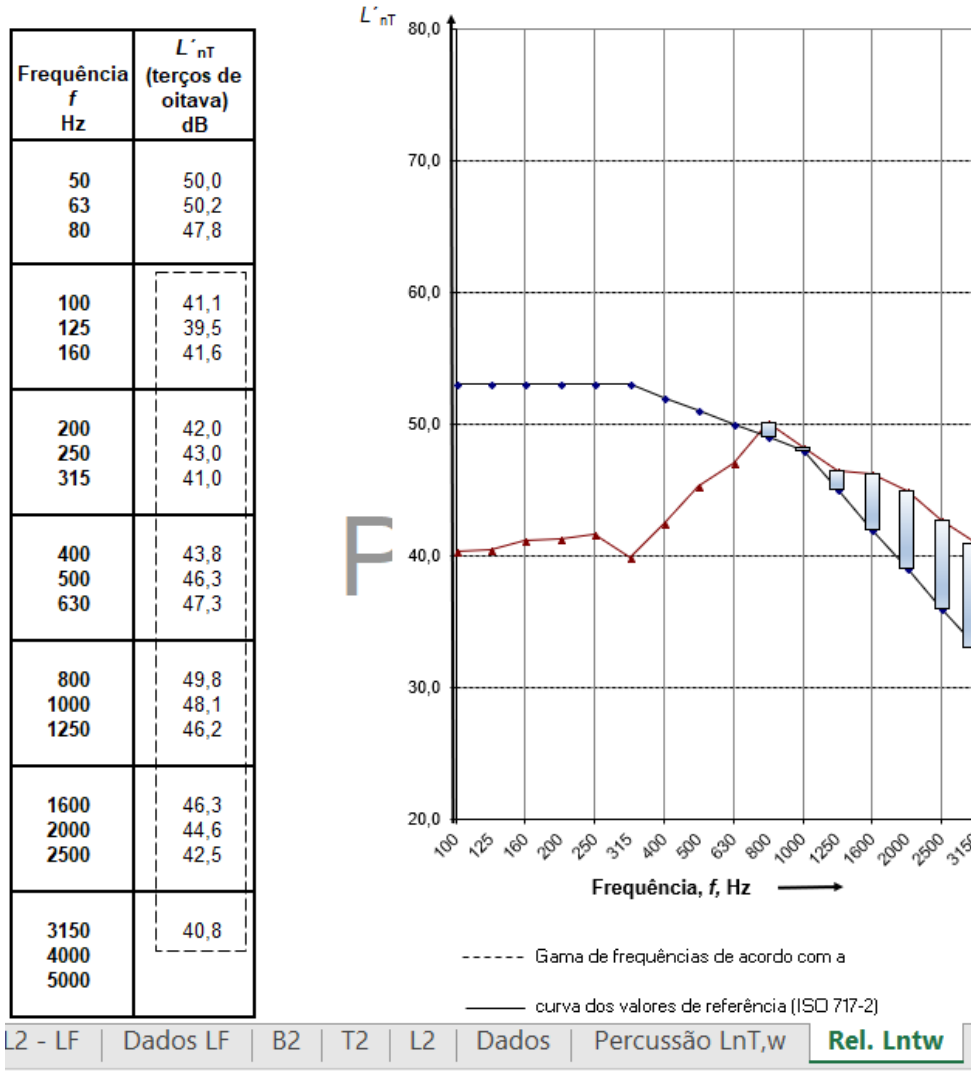


Figura 21 – Separador do gráfico de apresentação de resultados.

## **Capítulo 4**    **Medições *in situ***

Para comparação dos resultados do método geral com os resultados obtidos aplicando o método de baixa frequência, tornou-se necessário, após estudo das metodologias de execução dos ensaios e depois de conhecido o equipamento de medição, pôr em prática a realização de ensaios reais.

A realização de ensaios vai para além da aplicação dos procedimentos descritos, sendo necessário que o técnico esteja atento e tenha espírito crítico relativamente a eventuais influências que fontes exteriores possam originar nos dados recolhidos. Nos ensaios de acústica de edifícios, as influências exteriores são muito comuns, uma vez que dificilmente se conseguem efetuar medições num edifício completamente vazio e sem ruídos exteriores da envolvente. Os casos mais usuais deste tipo de situações que podem ocorrer são por exemplo, arrastar objetos dentro de compartimentos adjacentes, o bater de uma porta ou o passar de uma ambulância.

As medições de ruído de fundo, que caracteriza o ruído da envolvente onde se realizam os ensaios, deve ser similar quando se caracteriza este parâmetro e quando se efetuam as medições do ruído proveniente da máquina de percussão sobre o pavimento. Há casos em que o isolamento a sons de percussão é de muito boa qualidade e o ruído de percussão medido no compartimento recetor é muito baixo, logo se o ruído de fundo for elevado pode-se obter um valor de  $B_2$  superior a  $L_2$ , ocorrência que inviabiliza os resultados do ensaio. Este tipo de precaução é imprescindível para se obter resultados adequados e fíáveis. Um técnico de ensaios necessita de muita prática para gradualmente adquirir esta sensibilidade. A obrigatoriedade dos ensaios serem efetuados apenas por entidades acreditadas é em parte para assegurar que estas e outras regras sejam cumpridas pelas entidades que realizam ensaios.

### **4.1**    **Folha de recolha de dados**

A recolha de dados na realização dos ensaios acústicos foi efetuada de duas formas: através da folha de campo de ensaios de acústica e diretamente no sonómetro que é utilizado nas medições. A folha de campo, apresentada na Figura 22, ajuda o técnico de ensaios, uma vez que descreve o número mínimo de medições e permite, entre outras situações, identificar claramente os locais de ensaio, as posições de medição e os



## 4.2 Organograma de execução

Na Figura 23, são descritas sequencialmente as várias etapas a executar num ensaio de isolamento sonoro a sons de percussão, de forma a facilitar ao técnico de ensaios, o trabalho em campo.

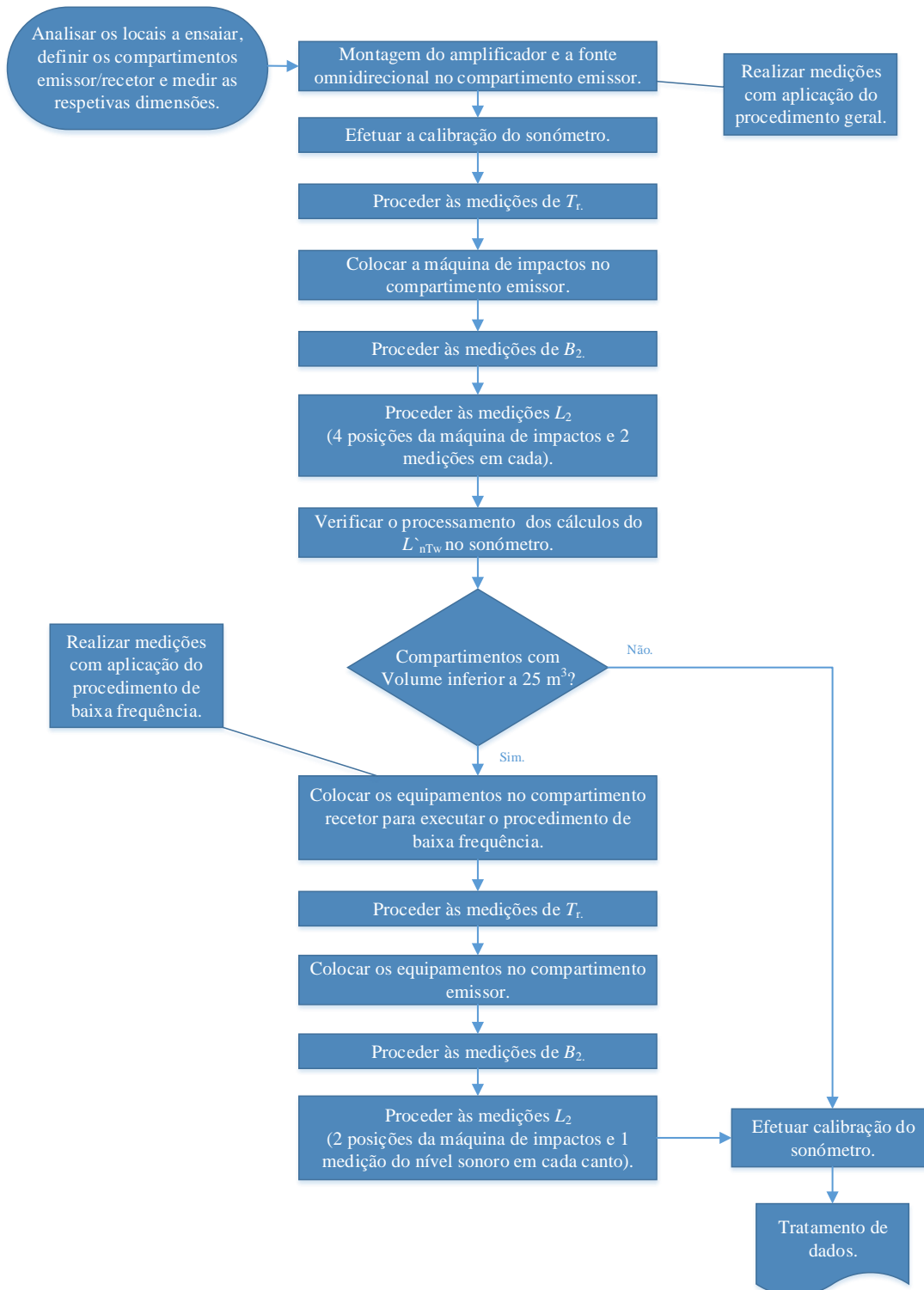


Figura 23 – Sequência de realização dos ensaios.

### 4.3 Ensaios realizados e resultados obtidos



Depois de descritas as metodologias de realização dos ensaios e apresentados os métodos de cálculo previstos na norma NP EN ISO 16283:2 é necessário pôr em prática estes conceitos e realizar os ensaios de determinação do índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$  e do índice de adaptação espectral de baixa frequência,  $C_{I,50-2500}$ .



Os ensaios foram na sua maioria realizados entre frações de habitação, sendo apenas um realizado entre uma fração de comércio e habitação, tal como descrito de seguida na apresentação dos locais ensaiados, através da Tabela 11.







### 4.4 Soluções construtivas dos ensaios realizados

Na Tabela 11 é apresentada uma descrição das soluções construtivas dos pavimentos. O elemento construtivo da face superior foi possível verificar para a totalidade dos ensaios, uma vez que é sobre este que se coloca a máquina de percussão. Quanto à parte inferior e aos elementos intermédios os mesmos são descritos com base em elementos de projeto e de acordo com indicações dos proprietários dos imóveis.





**Tabela 11** – Quadro de descrição dos compartimentos ensaiados.

Nº do ensaio	Uso edifício	Tipo compartimento		Tipo de divisória / Direção e sentido da propagação	Solução construtiva	
		Emissor	Recetor		Descrição	Foto da superfície de ensaio
1	Edifício Multi-familiar e comercial	Arrecadação do comércio	Quarto da frente do nº 54 do 1º piso esquerdo	Laje Aligeirada / Vertical 	Revestimento cerâmico 1 cm, regularização de 10 cm, pavimento térreo de betão de 20 cm	

Nº do ensaio	Uso edifício	Tipo compartimento		Tipo de divisória / Direção e sentido da propagação	Solução construtiva	
		Emissor	Recetor		Descrição	Foto da superfície de ensaio
2	Edifício Multi-familiar e comercial	Casa de banho do nº 54 do 2º piso direito	Quarto da frente do nº 54 do 1º piso direito	Laje Aligeirada / Vertical 	Revestimento cerâmico 1 cm, regularização de 10 cm, laje aligeirada de 25 cm, reboco de 2 cm	
3	Edifício Multi-familiar e comercial	Escritório do nº 54 do 2º piso direito	Escritório do nº 54 do 1º piso direito	Laje Aligeirada / Vertical 	Soalho de 2 cm, regularização de 10 cm, laje aligeirada de 25 cm, reboco de 2 cm	
4	Edifício Multi-familiar e comercial	Quarto de trás do nº 54, do 2º piso direito	Quarto de trás do nº 54, do 2º piso esquerdo	Parede de alvenaria / Horizontal 	Soalho de 2 cm, regularização de 10 cm, laje aligeirada de 25 cm, reboco de 2 cm	

Nº do ensaio	Uso edifício	Tipo compartimento		Tipo de divisória / Direção e sentido da propagação	Solução construtiva	
		Emissor	Recetor		Descrição	Foto da superfície de ensaio
5	Edifício Multi-familiar	Hall do r/ chão do nº40	Quarto da frente, do 1º piso do nº40	Laje Aligeirada / Vertical 	Revestimento cerâmico de 1cm, regularização de 10 cm, pavimento térreo de betão de 20 cm	
6	Edifício Multi-familiar	Quarto do r/ chão do nº40	Quarto de trás do r/ chão do nº42	Parede de alvenaria / Horizontal 	Revestimento cerâmico de 1cm, regularização de 10 cm, pavimento térreo de betão de 20 cm	
7	Edifício Multi-familiar	Hall do 1º piso do nº42	Quarto da frente do 1º piso do nº42	Parede de alvenaria / Horizontal 	Revestimento cerâmico de 1cm, regularização de 10 cm, laje aligeirada de 20 cm, reboco de 2	

Nº do ensaio	Uso edifício	Tipo compartimento		Tipo de divisória / Direção e sentido da propagação	Solução construtiva	
		Emissor	Recetor		Descrição	Foto da superfície de ensaio
8	Edifício Multi-familiar	Quarto do 1º piso do nº40	Quarto de trás do 1º piso do nº42	Parede de alvenaria / Horizontal 	Revestimento cerâmico de 1 cm, regularização de 10 cm, laje aligeirada de 20 cm, reboco de 2	
9	Edifício Multi-familiar	Arrecadação do nº31	Escritório do nº29	Parede de alvenaria / Horizontal 	Revestimento cerâmico de 1 cm, regularização de 10 cm, laje aligeirada de 25 cm, reboco de 2	
10	Edifício Multi-familiar	WC do 1º piso do nº35	Quarto do 1º piso do nº33	Parede de alvenaria / Horizontal 	Revestimento cerâmico de 1 cm, regularização de 10 cm, laje aligeirada de 25 cm, reboco de 2	

Nº do ensaio	Uso edifício	Tipo compartimento		Tipo de divisória / Direção e sentido da propagação	Solução construtiva	
		Emissor	Recetor		Descrição	Foto da superfície de ensaio
11	Edifício Multi-familiar	Dispensa do n.º 31	Escritório do n.º 29	Parede de alvenaria / Horizontal 	Flutuante, regularização de 10 cm, laje aligeirada de 25 cm, reboco de 2	
12	Edifício Multi-familiar	Hall do 1º piso do n.º 35	Escritório do r/chão do n.º 35	Laje Aligeirada / Vertical 	Cerâmica de 1 cm, regularização de 10 cm, laje aligeirada de 25 cm, reboco de 2	

#### 4.4.1 Ensaios realizados

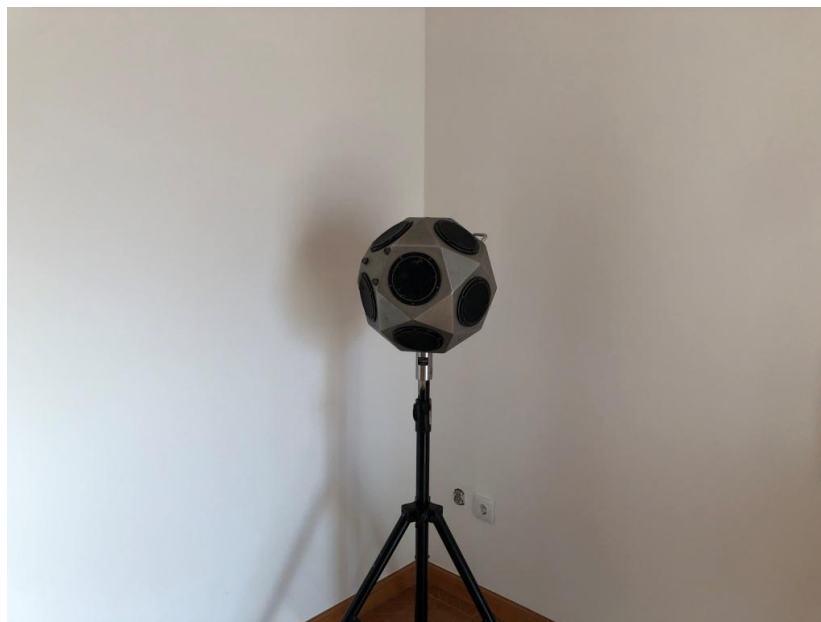
##### Ensaio 1

Para o primeiro ensaio realizado é apresentada uma descrição pormenorizada com fotografias dos dois procedimentos de ensaio. Deste modo, é possível verificar a distribuição dos equipamentos e a forma como estes devem ser colocados dentro dos respetivos compartimentos.

Para uma perceção mais intuitiva da parte dos leitores, são apresentadas várias fotografias desde a Figura 24 à Figura 29, com a identificação de cada parâmetro medido, das posições do sonómetro, da máquina de percussão e do altifalante, no caso da medição dos  $T_r$ . São também identificadas quais as situações que se referem ao procedimento geral, ao

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

procedimento de baixa frequência ou se eventualmente são comuns aos dois métodos de ensaio.



Posição de canto do altifalante para aplicação do procedimento geral e de baixa frequência, no canto do compartimento.

**Figura 24** – Medição de  $T_2$  no compartimento recetor – Fonte Sonora.



Posição do microfone na aplicação do procedimento geral ou de baixa frequência, distância à fonte de 75 cm e 1 m às paredes do compartimento.

**Figura 25** – Medição de  $T_2$  no compartimento recetor - Sonómetro.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.



Posição do microfone na aplicação do procedimento geral, distância de 50 cm aos limites do compartimento com braço estendido.

**Figura 26** – Posição de medição de  $B_2$  e  $L_2$  no compartimento recetor - Sonómetro.



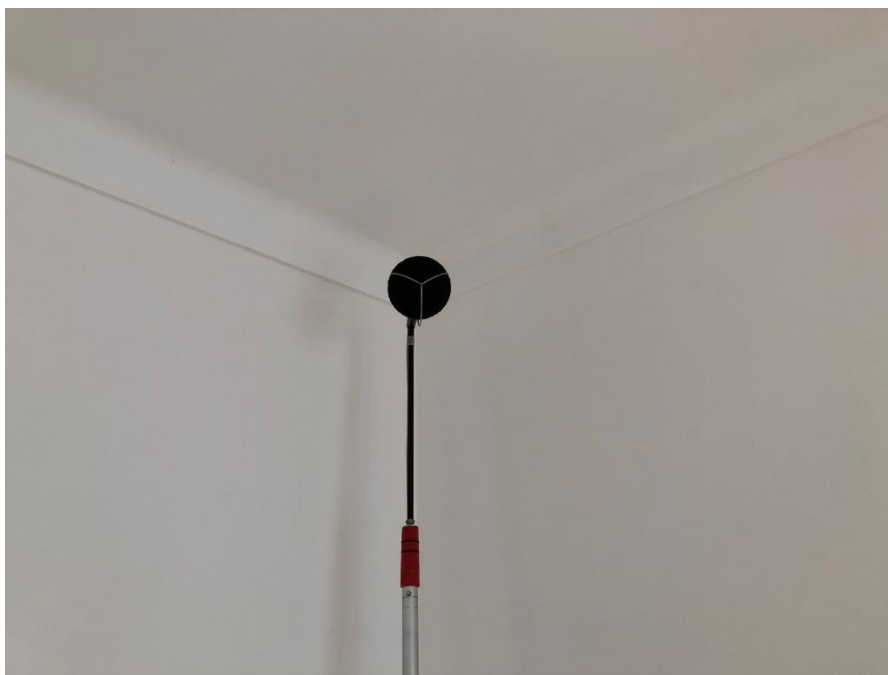
Posição da máquina de percussão no compartimento emissor para medição de  $L_2$ , distância às paredes no mínimo de 50 cm.

**Figura 27** – Posição para medição  $L_2$  – Máquina de percussão.



Posição de canto inferior para procedimento de baixa frequência, distância ao pavimento e às paredes laterais entre 30 e 40 cm.

**Figura 28** – Posição do microfone para medição de  $B_2$  e  $L_2$ , posição inferior.



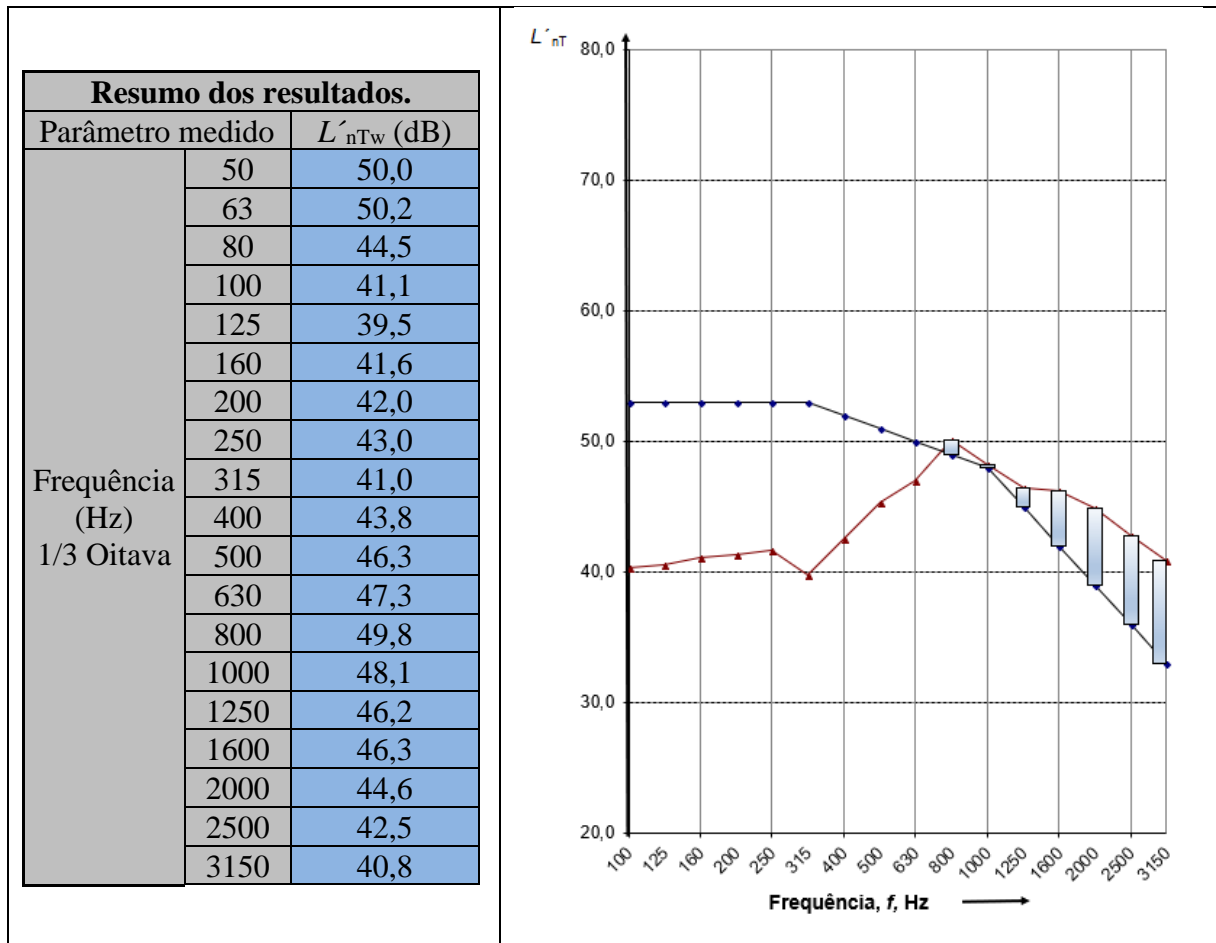
Posição de canto superior para procedimento de baixa frequência, distância ao teto e às paredes laterais entre 30 e 40 cm.

**Figura 29** – Posição do microfone para medição de  $B_2$  e  $L_2$ , posição superior.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

Seguidamente, da Tabela 12 à Tabela 23 são apresentados os valores globais obtidos por ensaio, as dimensões dos compartimentos e o gráfico de isolamento.

**Tabela 12** – Quadro resumo do ensaio 1.



**Nota:** Reduzido isolamento a sons de percussão nas baixas frequências provocado por possível influência do ruído aéreo produzido pelos impactos da máquina de percussão.

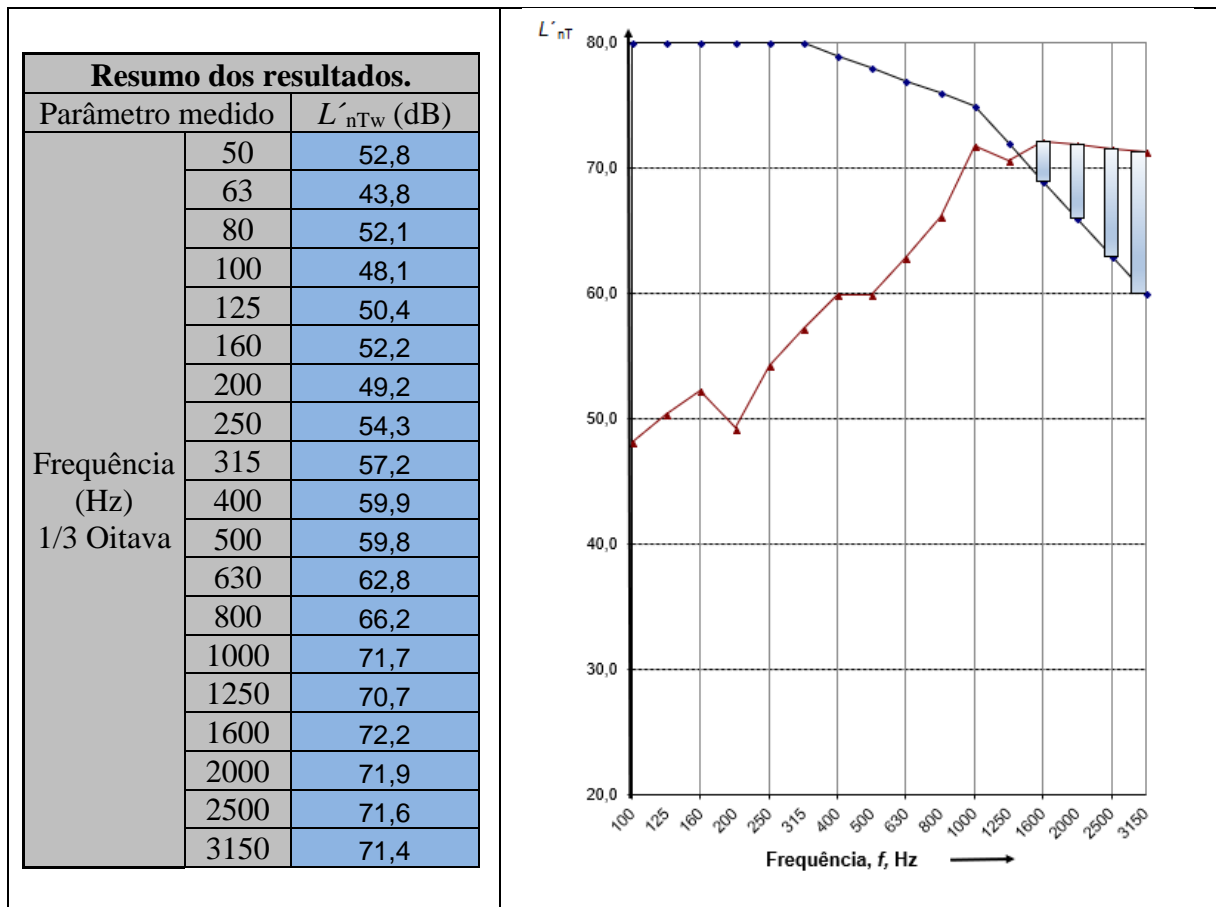
Valores de Isolamento	
$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{I,50-2500}$ (dB)
51	-7

Dimensões do compartimento emissor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.67	3.05	2.63	21.42

Dimensões do compartimento recetor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.95	3.09	2.60	23.70

## Ensaio 2

Tabela 13 – Quadro resumo do ensaio 2.



**Nota:** Reduzido isolamento a sons de percussão nas baixas frequências provocado por possível influência do ruído aéreo produzido pelos impactos da máquina de percussão.

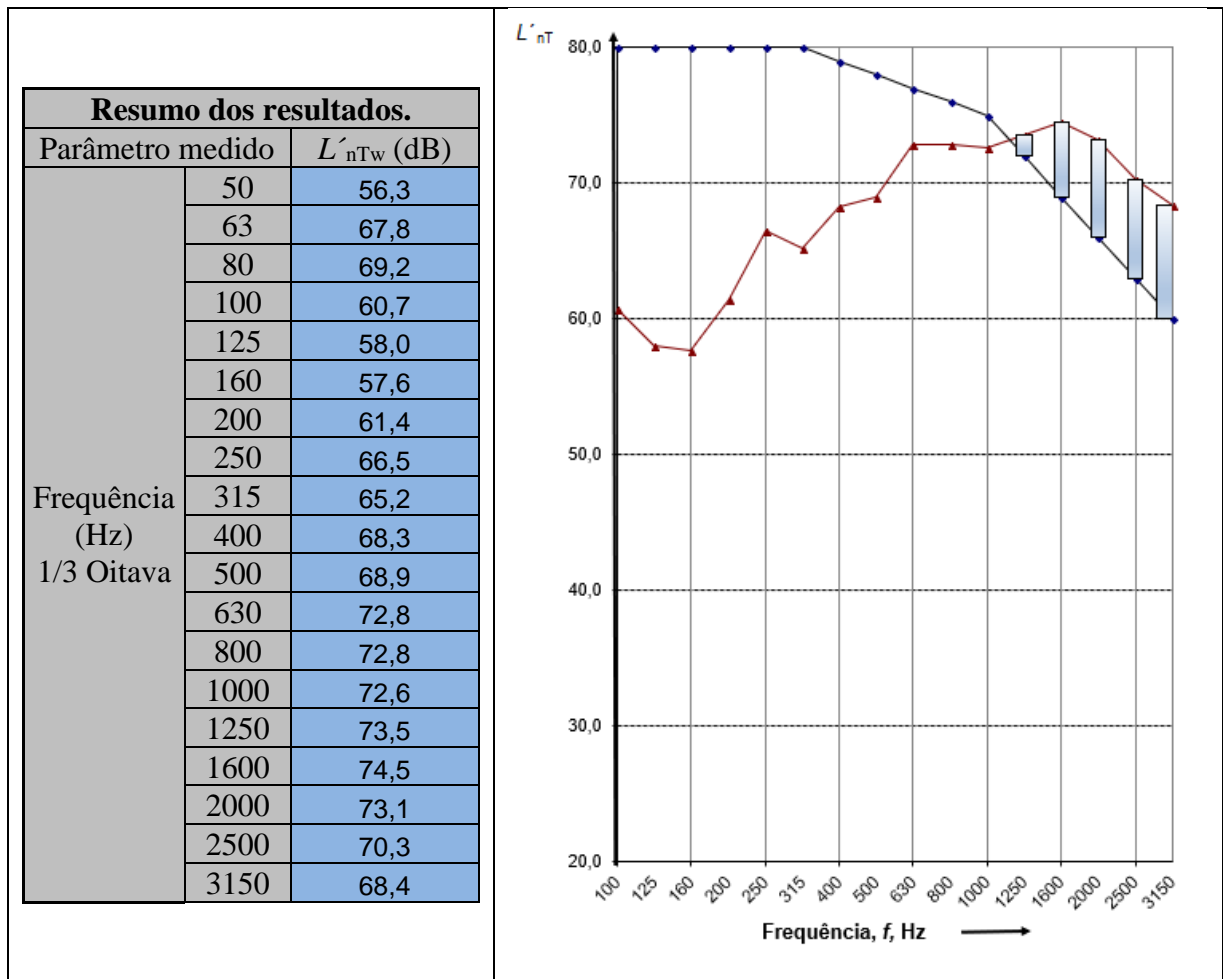
Valores de Isolamento	
$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{I,50-2500}$ (dB)
78	-13

Dimensões do compartimento emissor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
3.68	2.02	2.50	18.58

Dimensões do compartimento recetor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.68	3.25	2.62	22.82

### Ensaio 3

Tabela 14 – Quadro resumo do ensaio 3.



**Nota:** Reduzido isolamento a sons de percussão nas baixas frequências provocado por possível influência do ruído aéreo produzido pelos impactos da máquina de percussão.

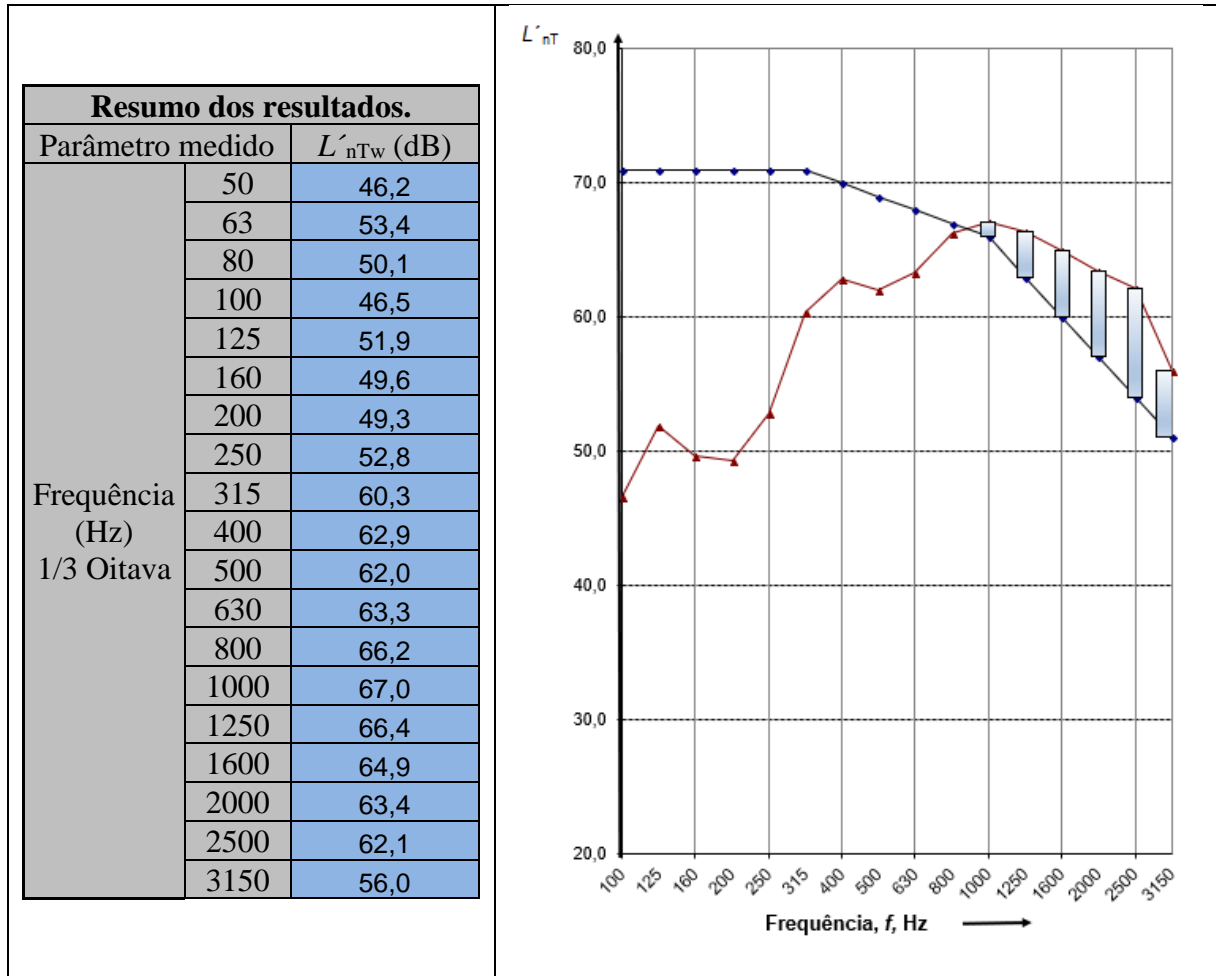
Valores de Isolamento	
$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{1,50-2500}$ (dB)
78	-10

Dimensões do compartimento emissor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
3.12	2.85	2.58	22.94

Dimensões do compartimento recetor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.68	3.24	2.67	23.18

#### Ensaio 4

Tabela 15 – Quadro resumo do ensaio 4.



**Nota:** Reduzido isolamento a sons de percussão nas baixas frequências provocado por possível influência do ruído aéreo produzido pelos impactos da máquina de percussão.

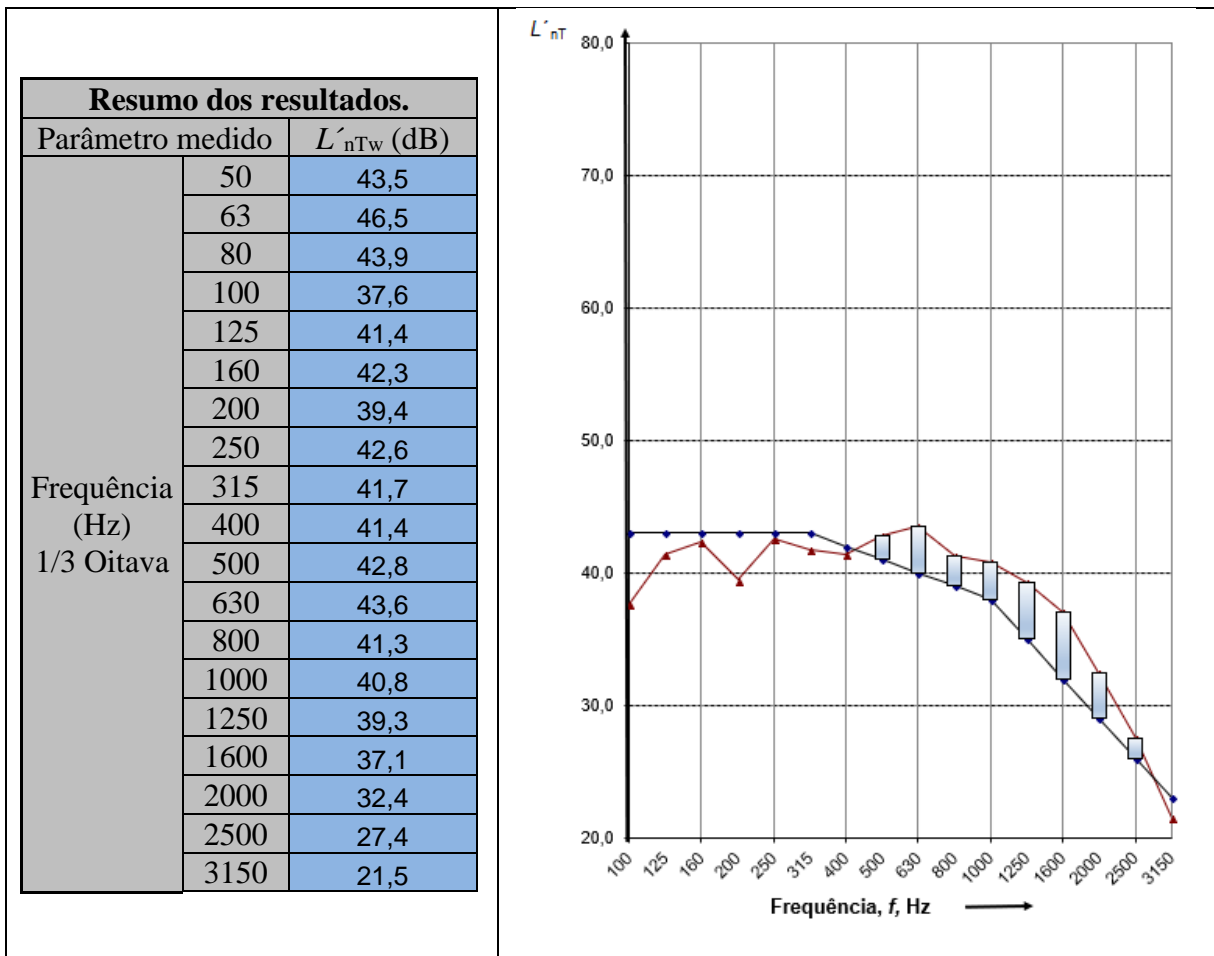
Valores de Isolamento	
$L'_{nT,w}$ (dB)	$C_{I,50-2500}$ (dB)
69	-9

Dimensões do compartimento emissor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.36	1.98	2.65	12.38

Dimensões do compartimento recetor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
3.75	2.56	2.53	24.29

## Ensaio 5

Tabela 16 – Quadro resumo do ensaio 5.



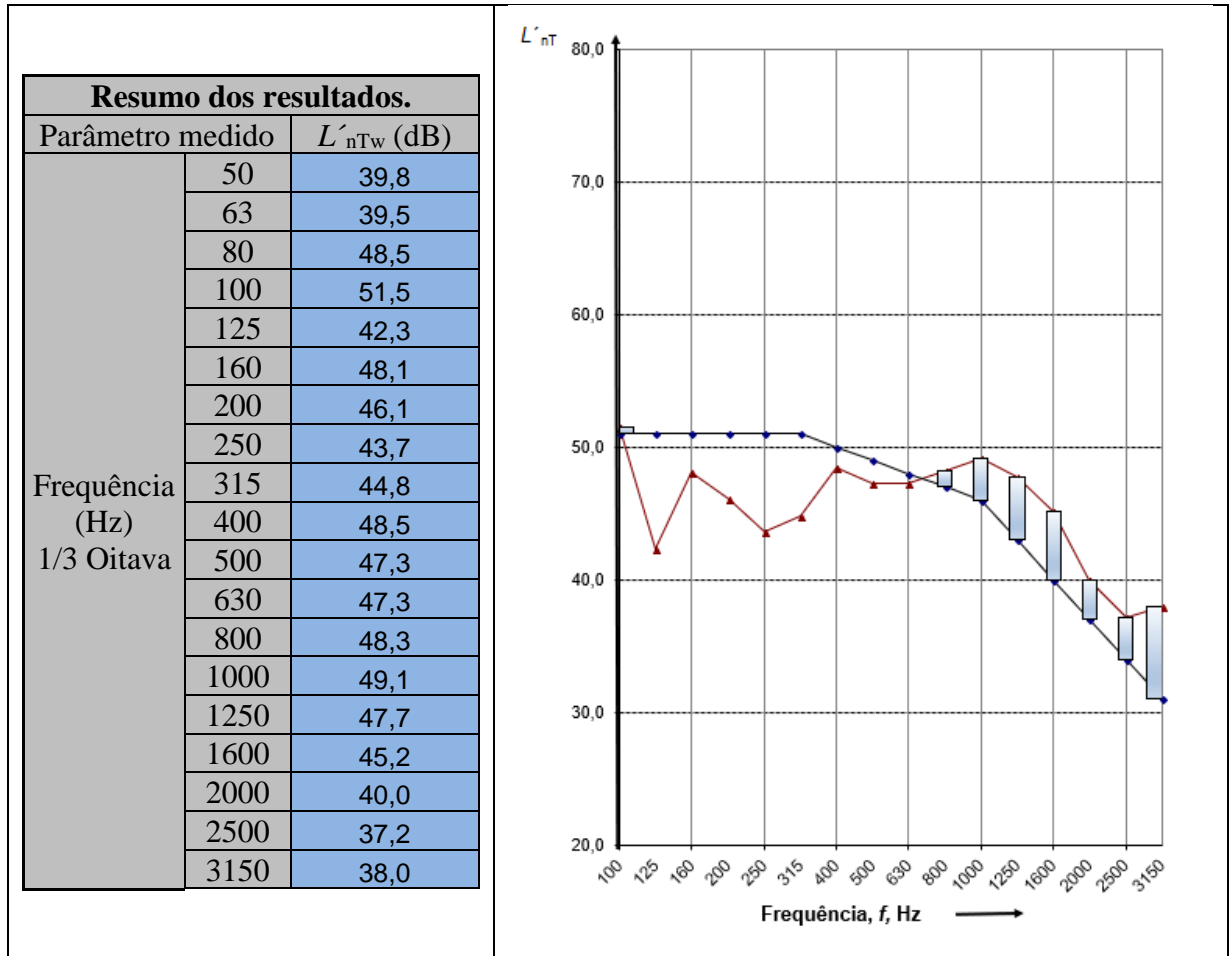
Valores de Isolamento	
$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{I,50-2500}$ (dB)
41	-2

Dimensões do compartimento emissor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.89	2.46	2.70	19.20

Dimensões do compartimento recetor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
3.05	2.95	2.60	23.39

## Ensaio 6

Tabela 17 – Quadro resumo do ensaio 6.



### Valores de Isolamento

$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{1,50-2500}$ (dB)
49	-5

### Dimensões do compartimento emissor

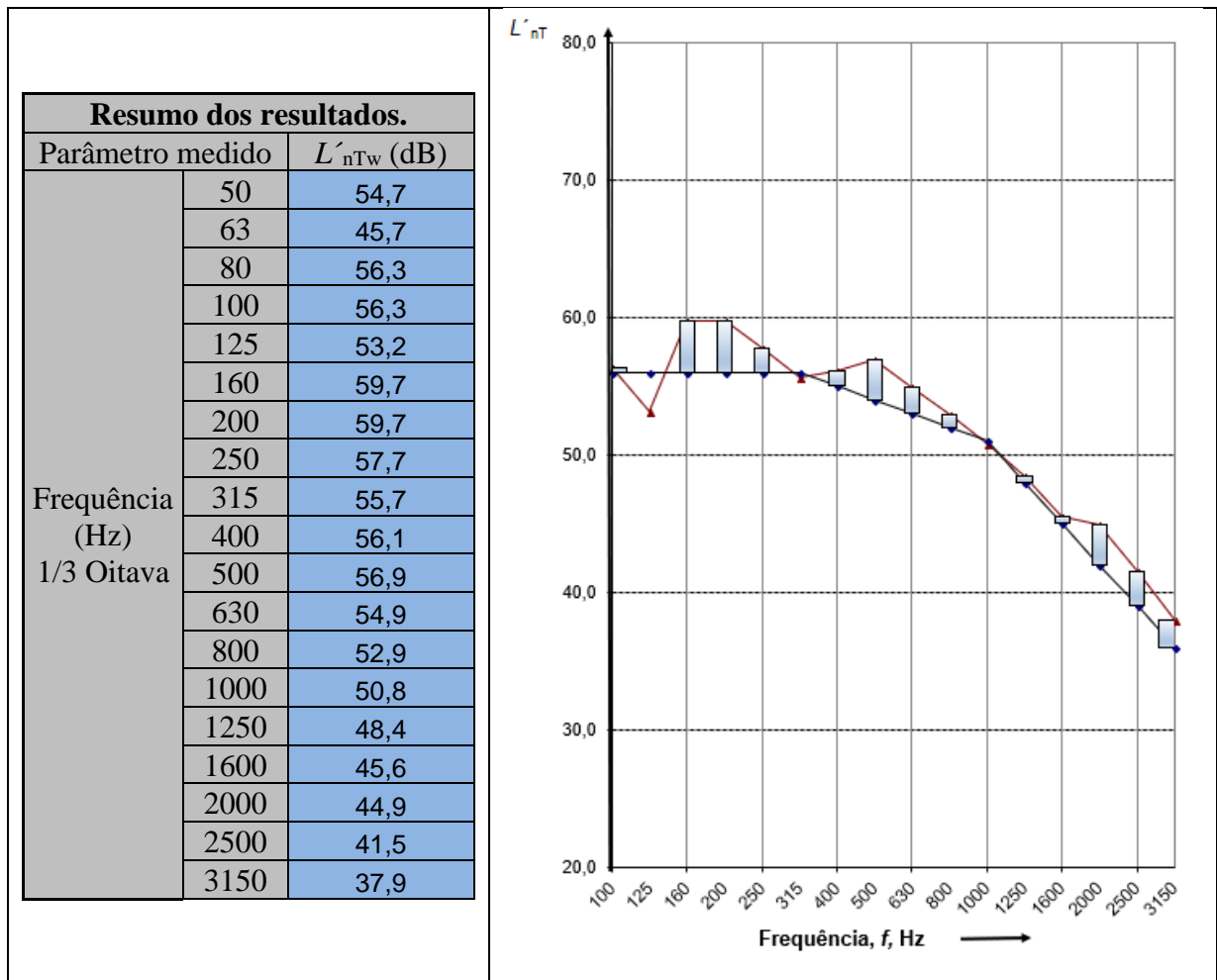
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.80	2.70	2.68	20.26

### Dimensões do compartimento recetor

Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
3.15	2.90	2.58	23.57

## Ensaio 7

Tabela 18 – Quadro resumo do ensaio 7.



### Valores de Isolamento

$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{L,50-2500}$ (dB)
54	-1

### Dimensões do compartimento emissor

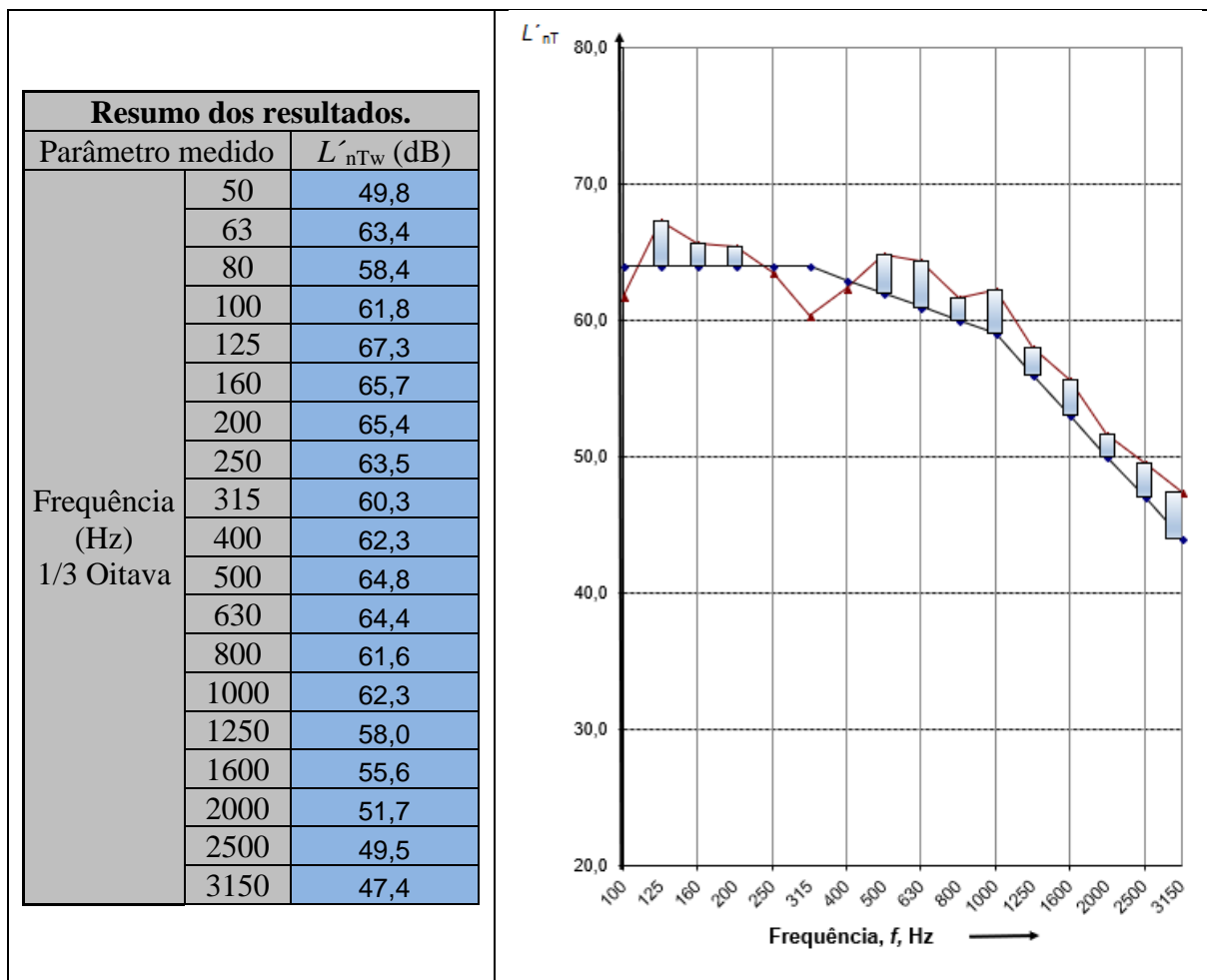
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.84	2.88	2.55	20.86

### Dimensões do compartimento recetor

Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.80	2.95	2.58	21.31

## Ensaio 8

Tabela 19 – Quadro resumo do ensaio 8.



### Valores de Isolamento

$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{1,50-2500}$ (dB)
62	-2

### Dimensões do compartimento emissor

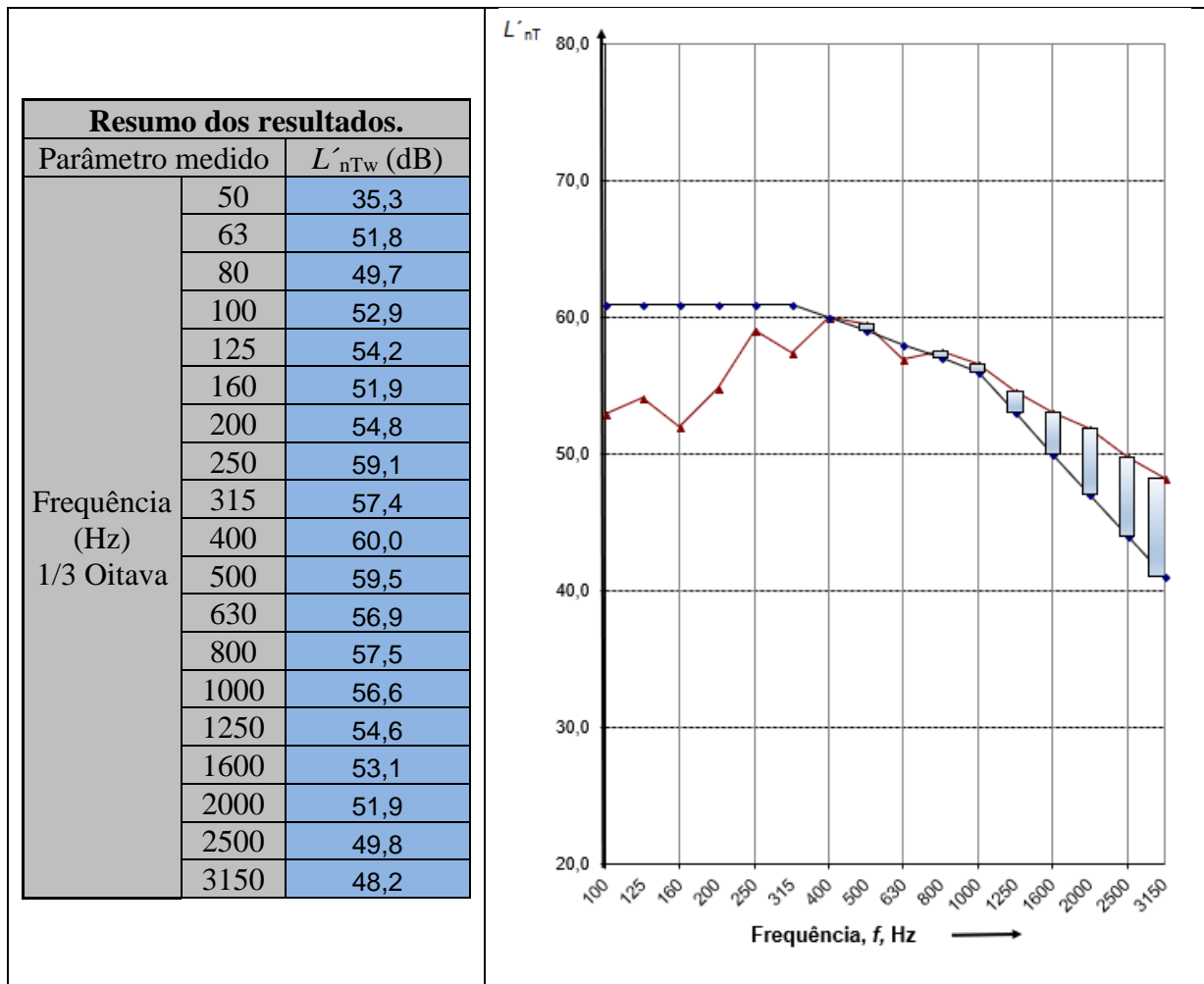
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
3.15	2.95	2.60	24.16

### Dimensões do compartimento recetor

Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
3.10	2.93	2.61	23.71

## Ensaio 9

Tabela 20 – Quadro resumo do ensaio 9.



**Nota:** Reduzido isolamento a sons de percussão nas baixas frequências provocado por possível influência do ruído aéreo produzido pelos impactos da máquina de percussão.

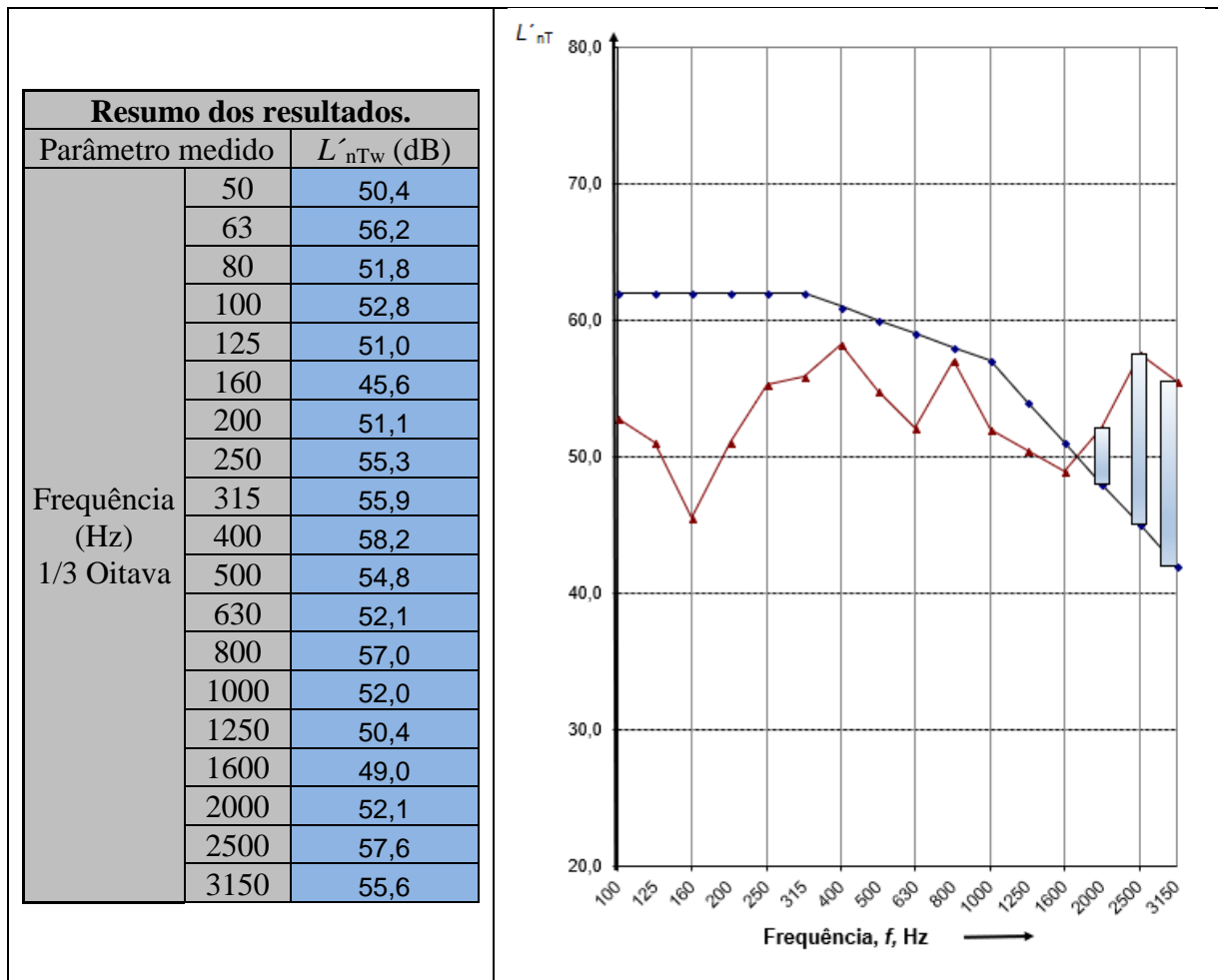
Valores de Isolamento	
$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{I,1,50-2,500}$ (dB)
59	-6

Dimensões do compartimento emissor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.25	1.89	2.65	11.27

Dimensões do compartimento recetor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.75	2.81	2.61	20.17

**Ensaio 10**

**Tabela 21** – Quadro resumo do ensaio 10.



**Nota:** Reduzido isolamento a sons de percussão nas baixas frequências provocado por possível influência do ruído aéreo produzido pelos impactos da máquina de percussão.

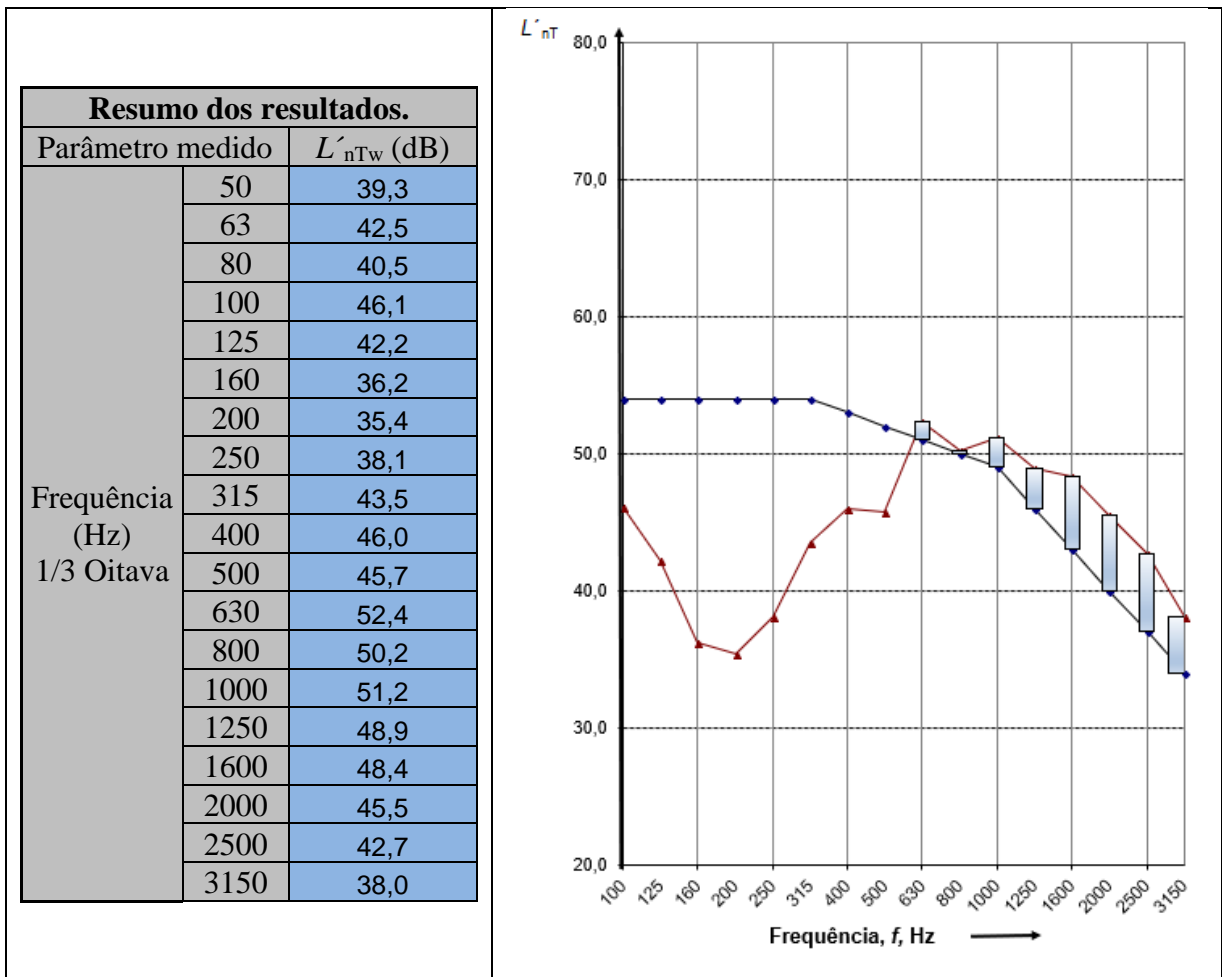
Valores de Isolamento	
$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{1,50-2500}$ (dB)
60	-8

Dimensões do compartimento emissor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
3.20	2.65	2.65	22.47

Dimensões do compartimento recetor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
3.15	2.72	2.67	22.88

## Ensaio 11

Tabela 22 – Quadro resumo do ensaio 11.



**Nota:** Reduzido isolamento a sons de percussão nas baixas frequências provocado por possível influência do ruído aéreo produzido pelos impactos da máquina de percussão.

### Valores de Isolamento

$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{1,50-2500}$ (dB)
52	-2

### Dimensões do compartimento emissor

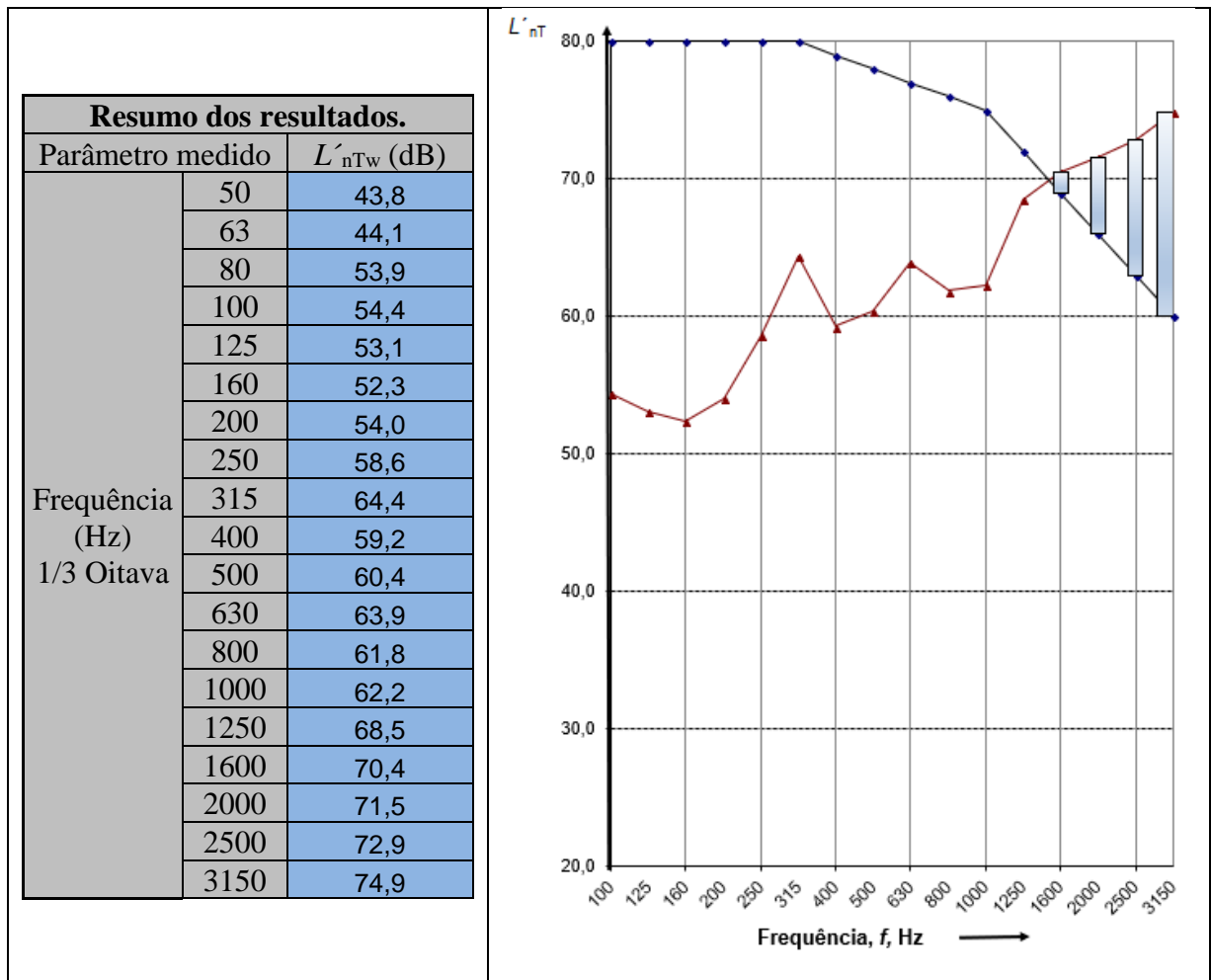
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.48	2.00	2.62	13.00

### Dimensões do compartimento recetor

Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
3.01	3.02	2.66	24.18

## Ensaio 12

**Tabela 23** – Quadro resumo do ensaio 12.



**Nota:** Reduzido isolamento a sons de percussão nas baixas frequências provocado por possível influência do ruído aéreo produzido pelos impactos da máquina de percussão.

Valores de Isolamento	
$L'_{nTw}$ (dB)	$C_{1,50-2500}$ (dB)
78	-13

Dimensões do compartimento emissor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.75	2.25	2.63	16.27

Dimensões do compartimento recetor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
2.65	3.02	2.70	21.61

#### 4.5 Resumo dos resultados

Na Tabela 24 é apresentado um resumo dos valores obtidos e do valor regulamentar aplicável, tendo em conta o enquadramento consoante a utilização dos compartimentos emissor e recetor.

A legislação nacional prevê que entre compartimentos de comércio ou serviços e locais sensíveis das habitações o valor máximo admissível de  $L'_{nT,w}$  é 50 dB. Quando os ensaios efetuados em que os compartimentos emissor e recetor são ambos de habitações, o valor máximo admissível de  $L'_{nT,w}$  é 60 dB.

Para enquadramento com os valores limites subtrai-se ao índice de isolamento sonoro a sons de percussão, o valor de  $I=3$  que corresponde ao valor da incerteza previsto no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Este valor de incerteza corresponde a uma estimativa do erro máximo que pode ocorrer devido aos equipamentos de medição e à aplicação das metodologias de ensaio (Decreto-Lei n.º 96/2008, 2008).

**Tabela 24** – Quadro do resumo dos vários ensaios realizados.

Nº do ensaio	$L'_{nT,w}$ (dB)	$L'_{nT,w} - I$ (dB)	$C_{1,50-2500}$ (dB)	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ (dB)	$L'_{nT,w} - I + C_{1,50-2500}$ (dB)	Valor regulamentar $L'_{nT,w}$ (dB)
1	51	48	-7	44	41	50
2	78	75	-13	65	62	60
3	78	75	-10	68	65	60
4	69	66	-9	60	57	60
5	41	38	-2	39	36	60
6	49	46	-5	44	41	60
7	54	51	-1	53	50	60
8	62	59	-2	60	57	60
9	59	56	-6	53	50	60
10	60	57	-8	52	49	60
11	52	49	-8	44	41	60
12	78	75	-13	65	62	60

Com a realização deste trabalho foi possível verificar que, embora mais de metade dos pavimentos testados cumpra com os requisitos regulamentares em vigor, estabelecidos pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios, ou seja, considerando o valor

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

de  $L'_{nT,w} - I$ , muitos dos pavimentos estão próximos do limite, o que traduz uma qualidade de isolamento acústico baixa.

Como o valor de  $C_{1,50-2500}$  é negativo, caso seja considerado o valor do termo de adaptação espectral, neste caso,  $L'_{nT,w} - I + C_{1,50-2500}$ , a maioria dos compartimentos estaria a cumprir. Apenas os compartimentos dos ensaios 2, 3 e 12 não cumprem, e por uma margem reduzida, quando estamos perante pavimentos de fraca qualidade acústica ao isolamento a sons de percussão, o que leva a equacionar a aplicação de limites mais exigentes, no que diz respeito ao isolamento a sons de percussão de pavimentos entre compartimentos.

Através da consulta da Tabela 2, constata-se que uma grande parte dos países adota valores regulamentares mais restritos, o que acaba por dar significado ao anteriormente descrito. Vários países também utilizam critérios diferentes consoante o edifício seja de tipologia multifamiliar ou em banda, o que faz sentido dada a complexidade das soluções construtivas a implementar.

O mau isolamento a sons de percussão obtido nos ensaios 2, 3 e 12 já era previsível, uma vez que a propagação é vertical, de cima para baixo, com soluções construtivas sem elementos resilientes de corte à propagação dos impactos da máquina de percussão.

Os melhores resultados foram obtidos nos ensaios 5 e 6, não devido a uma solução construtiva devidamente dimensionada e estudada, mas porque o pavimento do compartimento emissor está sobre terra, o que acaba por funcionar como um elemento de absorção de vibração, logo baixa propagação dos sons de percussão.

## Capítulo 5 Conclusões e propostas de trabalho futuro

### 5.1 Conclusões

A realização deste trabalho de dissertação, pela análise dos resultados dos doze ensaios realizados, permitiu concluir que para este tipo de solução construtiva e revestimento dos pavimentos regista-se um melhoramento no valor de isolamento se for tido em consideração o procedimento de baixa frequência e respetivo termo de adaptação espectral. Desta forma, tal implica a necessidade de limites mais exigentes, como acontece em diversos países.

A publicação da norma NP EN ISO 16283:2 estabelece requisitos que requerem uma análise cuidada por parte das entidades envolvidas na elaboração dos regulamentos nacionais. Esta norma é clara quanto à aplicação do procedimento geral e do procedimento de baixa frequência. Abaixo de 25 m<sup>3</sup> deve ser sempre aplicado o procedimento de baixa frequência. No entanto, o Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios, não contempla a aplicação do termo de adaptação espectral  $C_{L,50-2500}$ . Tal como referido anteriormente, este termo não pode ser considerado diretamente, requerendo uma revisão dos limites regulamentares. Caso contrário, as exigências para este tipo de pavimentos não revestidos ou cujos revestimentos são pouco eficazes para sons de percussão serão menores e a qualidade acústica dos edifícios diminuirá significativamente.

Atualmente existem duas realidades incompatíveis, por um lado a norma não permite aplicar apenas o procedimento geral a compartimentos abaixo de 25 m<sup>3</sup>, por outro, a legislação não prevê enquadramento regulamentar para o termo de adaptação espectral. Neste contexto normativo/legislativo, compartimentos abaixo dos 25 m<sup>3</sup>, simplesmente não podem ser avaliados. Este é um dos aspetos que reforça uma necessidade de alteração da legislação, a curto prazo.

Outro dos aspetos importantes da aplicação do método de baixa frequência é que torna a realização do ensaio de isolamento a sons de percussão de pavimentos entre compartimentos mais complexa e morosa, dado que implica sempre a execução do procedimento geral. Desta forma, a duração de execução do ensaio completo demora mais do dobro do tempo, porque além de ser necessário aplicar os dois procedimentos, o procedimento de baixa frequência requer mais tempo que o procedimento geral. Caso a

legislação venha a ser alterada e passe a contemplar o procedimento de baixa frequência para compartimentos de volume abaixo dos 25 m<sup>3</sup> implica que os laboratórios de ensaios acreditem este método, acarretando os encargos inerentes à acreditação. Este aspeto não pode ser esquecido, uma vez que, atualmente, muitos laboratórios atravessam sérias dificuldades económicas, tendo vários cessado a sua atividade devido à grande instabilidade que a área da acústica atravessa. Esta instabilidade deve-se ao facto de várias entidades licenciadoras apenas solicitarem a apresentação de um termo de responsabilidade e não de um termo baseado num ensaio acústico.

## **5.2 Propostas de trabalho futuro**

Como trabalho futuro a esta dissertação pode ser identificada a realização de ensaios em pavimentos com soluções construtivas diversas e com revestimentos acústicos mais eficazes, nomeadamente alcatifas, flutuantes ou soluções construtivas com um elemento resiliente na sua constituição, para verificar o comportamento do valor do termo de adaptação espectral, de forma a analisar se o mesmo continua com valores negativos ou se assume nestes casos valores positivos.

Como segunda sugestão de trabalho futuro pode ser identificada a elaboração de um estudo mais exaustivo, que possibilite tirar conclusões que fundamentem a necessidade de revisão dos índices regulamentares para valores mais exigentes com vista a uma melhor qualidade na construção.

Como terceira e última proposta de trabalho futuro indica-se a otimização da folha de cálculo, uma vez que na atual é necessário efetuar o ajuste manual da curva de referência. Através de programação é possível que o referido ajuste seja automático. Esta sugestão faz sentido se esta folha tiver um uso intensivo, uma vez que estando automatizada elimina a possibilidade de erro operatório, além de reduzir os tempos de processamento de relatórios.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

### Referências Bibliográficas

Decreto-Lei n.º 53/2014, 2014. *Promoção da reabilitação urbana*. Lisboa, Diário da República, 1.ª série — N.º 69 — 8 de abril de 2014, pp. 2337 - 2340.

Decreto-Lei n.º 96/2008, 2008. *Altera o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*. Lisboa: Diário da República, 1.ª série - N.º 110 - 9 de Junho de 2008.

HAGBERG, K. & BARD, D., 2014. *Low frequency sound transmission in multifamily wooden houses*. Melbourne, Inter noise 2014.

IPAC, 2014. *OEC013*. Caparica(Lisboa): IPAC.

Kjaer, 2018. *Bruel & kjaer*. [Online] Available at: <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp1689.ashx> [Acedido em 13 04 2018].

Kjaer, 2018. *Bruel & Kjaer*. [Online] Available at: <https://www.bksv.com/en/products/transducers/acoustic/sound-sources/tapping-machine-3207> [Acedido em 13 04 2018].

Kjaer, B. &., 2015. *Building Acoustics Software BZ-7228*, Dinamarca: Bruel & Kjaer.

Kylliäinen, M., 2004. *Standard deviations in field measurements of impact sound insulation*. Mariehamn, Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2004.

LoVerde, J. & Dong, W., 2017. *Development of a rating for evaluating the improvement in high-frequency impact isolation*. California, 24th International congress on sound and vibration.

Michael Hayne, L. B. a. A. M., 2016. *A comparison of acoustic criteria within green building rating tools, schemes and standards*. Brisbane, Proceedings of ACOUSTICS 2016.

MOJOLLA, R., 2015. *Fonte geradora de impacto padronizado*, Campinas: Universidade Estadual de Campinas.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

NP EN ISO 16283-2, 2016. *Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção – Parte 2 : Isolamento a sons de percussão*. 2016-12-15 ed. Caparica: Instituto Português da Qualidade.

NP EN ISO 3382-2, 2015. *Medição de parâmetros de acústica de salas - Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes*. s.l.:Instituto Português da Qualidade.

NP EN ISO 717-1, 2013. *Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção - Parte 1 : Isolamento sonoro a sons de condução aérea*. s.l.:Instituto Português da Qualidade.

NP EN ISO 717-2, 2013. *Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção - Parte 2 : Isolamento sonoro a sons de percussão*. s.l.:Instituto Português da Qualidade.

Patrício, 2010. *Acústica de Edifícios*. 6.<sup>a</sup> edição ed. Lisboa: Verlag Dashofer.

Patricio, J., 2014. *A classificação acústica como instrumento de validação dos processos de reabilitação acústica de edifícios habitacionais*. Valdivia, IX congresso Iberoamericano de Acústica.

Pedersen, Dan B.; Roland, Jacques; Raabe, Götz; Maysenhölder, Waldemar, 2000. Measurement of the Low-Frequency Sound Insulation of Building Components. *Acta Acustica united with Acustica*, 86(3), pp. 495-505.

Portaria n°232/2008, 2008. *Elementos instrutores dos pedidos de realização de operações urbanísticas*.. Lisboa: Diário da República, 1.<sup>a</sup> série — N.º 50 — 11 de Março de 2008.

Rasmussen, Machimbarrena, 2014. *Building acoustics throughout Europe Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe*. s.l.:COST - European Cooperation in Science And Technology.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

## **Anexos**

### **Anexo 1 – Certificado de verificação metrológica do sonómetro e do calibrador**

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.



Assinatura válida

Digitally signed by  
LABMETRO ONLINE  
Date: 2017.03.14  
16:13:44 +0100  
Reason: Documento  
aprovado  
electronicamente

## CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO

NÚMERO 245.70 / 17.55615

PÁGINA 1 de 2

### ENTIDADE:

Nome	Versegura - Unipessoal, Lda.
Endereço	Av. Santa Maria de Vermoim, 645 - Vermoim - 4770-763 Vermoim

### INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO:

Desp. Aprov. Modelo n.º	245.70.11.3.12	
Sonómetro	Marca / Modelo / N.º de série / Selo N.º	Brüel & Kjær / 2250 / 3011172 / 55615
Microfone	Marca / Modelo / N.º de série	Brüel & Kjær / 4189 / 3086795
Pré-amplificador	Marca / Modelo / N.º de série	Brüel & Kjær / ZC 0032 / 25429
Calibrador	Marca / Modelo / N.º de série / Selo N.º	Brüel & Kjær / 4231 / 2619587 / 55616

### CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS:

Classe	1
--------	---

### OPERAÇÃO EFECTUADA:

Tipo / Data	Primeira Verificação / 13/03/2017
Rastreabilidade	Tensão contínua e alternada - Lab. Metrol. Eléct. ISQ (Portugal) Frequência - IPQ (Portugal) Nível de pressão sonora - Danak (Dinamarca)
Documentos de referência	Portaria 977/09 de 1 de Setembro de 2009 Proc. Interno PO.M-DM/ACUS 02 (Ed. C - Rev. 00) tendo por base os documentos de referência Norma IEC 61672-3: 2006-10
Condições ambientais	Temp.: 22,3 °C Hum. Rel.: 54,0 % Pressão atmosf.: 100,7 kPa
RESULTADO	<b>Em conformidade com os valores regulamentares</b> <b>O Valor do erro de cada uma das medições efectuadas são inferiores aos valores dos erros máximos admissíveis para a classe do equipamento de medição</b>

Local / Data

Oeiras, 13 de março de 2017

Verificado por

Filipe Silva

Responsável pela Validação

Luís Ferreira (Responsável Técnico)

DM/065.2/07

O presente Boletim de Verificação só pode ser reproduzido no seu todo e apenas se refere ao(s) item(s) ensaiado(s).  
O equipamento é selado como consta no Despacho de aprovação de modelo respectivo.  
A operação de controlo metrológico efectuada é evidenciada apenas pela aposição no instrumento do símbolo respectivo como consta dos anexos da Portaria n.º 962/90 de 9 de Setembro

instituto de soldadura e qualidade

labmetro@isq.pt

http://metrologia.isq.pt

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 80 84/81 86/80 20 • Fax: +351 21 422 81 02

Ponte de Lima: Rua do Mirante, 258 • 4415-481 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78



**CERTIFICADO DE  
VERIFICAÇÃO - cont.**

**NÚMERO 245.70 / 17.55615**

PÁGINA 2 de 2

**Características Acústicas**

Calibrador acústico	CONFORME
Condições de referência	CONFORME
Ponderação em frequência	CONFORME
Ruído inerente	CONFORME

**Características Eléctricas**

Ponderação em frequência	CONFORME
Ponderação no tempo	CONFORME
Linearidade escala de referência/escalas	CONFORME
Resposta a sinais de curta duração	CONFORME
Indicação de sinais de pico em ponderação C	CONFORME
Indicação de sobrecarga	CONFORME

Este documento não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

DM/065.2/07



## CARTA DE CONTROLO METROLÓGICO

Data de emissão: 13 / 03 / 2017

Página 1 de 2

### EQUIPAMENTO

Tipo: Sonómetro Integrador  
Marca: Brüel & Kjær  
Modelo: 2250  
Nº Série: 3011172  
Despacho de aprovação de modelo nº: 245.70.11.3.12  
Classe de exactidão atribuída: 1

### ENTIDADE UTILIZADORA

Versegura - Unipessoal, Lda.  
Av. Santa Maria de Vermoim, 645  
Vermoim  
4770-763 Vermoim

### FABRICANTE / IMPORTADOR

Brüel & Kjær Ibérica - Sucursal em Portugal, Lda.

### OPERAÇÃO EFECTUADA

Data	ANO: 2017	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
13 / 03 / 2017	<input checked="" type="checkbox"/> 1ª Verificação <input type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária	IEC 61672-3: 2006-10	Boletim nº 245.70 / 17.55615	CONFORME
10 / 03 / 2017	<input checked="" type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação	IEC 61260: 1995-07 - Classe 0	Certificado nº CACV272/17	CONFORME
Data	ANO:	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação <input type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação			
Data	ANO:	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação <input type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação			

### OBSERVAÇÕES

Responsável pela Validação

  
Luís Ferreira (Responsável Técnico)

DM/065.2/07

Este documento não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.



## CARTA DE CONTROLO METROLÓGICO ( CONTINUAÇÃO )

Página 2 de 2

### OPERAÇÃO EFECTUADA

Data	ANO:	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação			
	<input type="checkbox"/> Verificação Periódica			
	<input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária			
	<input type="checkbox"/> Banco de filtros			
	<input type="checkbox"/> Tempo de reverberação			

Data	ANO:	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação			
	<input type="checkbox"/> Verificação Periódica			
	<input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária			
	<input type="checkbox"/> Banco de filtros			
	<input type="checkbox"/> Tempo de reverberação			

Data	ANO:	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação			
	<input type="checkbox"/> Verificação Periódica			
	<input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária			
	<input type="checkbox"/> Banco de filtros			
	<input type="checkbox"/> Tempo de reverberação			

Data	ANO:	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação			
	<input type="checkbox"/> Verificação Periódica			
	<input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária			
	<input type="checkbox"/> Banco de filtros			
	<input type="checkbox"/> Tempo de reverberação			

Data	ANO:	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação			
	<input type="checkbox"/> Verificação Periódica			
	<input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária			
	<input type="checkbox"/> Banco de filtros			
	<input type="checkbox"/> Tempo de reverberação			

Data	ANO:	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação			
	<input type="checkbox"/> Verificação Periódica			
	<input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária			
	<input type="checkbox"/> Banco de filtros			
	<input type="checkbox"/> Tempo de reverberação			

Este documento não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

DM/065.2/07

**instituto de soldadura e qualidade**

[labmetro@isq.pt](mailto:labmetro@isq.pt)

<http://metrologia.isq.pt>

lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 50 54/51 66/30 20 • Fax: +351 21 422 61 02

Porto: Rua do Mirante, 256 • 4415-431 Oporto • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

## **Anexo 2 – Certificado de calibração do sonómetro**



Instalações de  
Deiras

Assinatura válida

Digitally signed by  
LABMETRO ONLINE  
Date: 2017.03.14  
16:13:44 +0000  
Reason: Documento  
aprovado  
electronicamente



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

## Certificado de calibração

Data de Emissão 2017-03-13 Serviço nº. CACV2711/17 Página 1 de 2

Equipamento	<b>SONÓMETRO IEC 61672-3: 2006-10</b>		
	Marca: Brüel & Kjær	Classe: 1	
	Modelo: 2250	Nº série: 3011172	
		Nº ident: SON24	
	<b>MICROFONE</b>		
	Marca: Brüel & Kjær	Nº série: 3086795	
	Modelo: 4189		
	<b>PRÉ-AMPLIFICADOR</b>		
	Marca: Brüel & Kjær	Nº série: 25429	
	Modelo: ZC 0032		

Cliente **Versegura - Unipessoal, Lda.**  
Av. Santa Maria de Vermoim, 645  
Vermoim  
4770-763 Vermoim

Data de Calibração **2017-03-13**

Condições Ambientais Temperatura: 22,3 °C Humidade rel.: 54,0 % Pressão atmosf.: 100,7 kPa

Procedimento PO.M-DM/ACUS 01(Ed. D - Rev. 01).

Rastreabilidade Nível de pressão sonora, Brüel & Kjær, Nærum - Denmark  
Tensão alternada, Fluke 5790A, Fluke A40 / A40A, rastreado à Fluke, Kassel - Deutschland

Estado do Equipamento Não foram identificados aspectos relevantes que afectassem os resultados.

Resultados Encontram-se apresentados na(s) folha(s) em anexo.  
A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão k=2, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.

**Nota: O sonómetro cumpre com os requisitos da sua classe segundo a norma IEC 61672-3: 2006-10.**

**Para a confirmação da classe foi verificado que a soma dos módulos do erro com a incerteza é menor ou igual que os requisitos da sua classe.**

Calibrado por

Filipe Silva

Responsável pela Validação

Luís Ferreira (Responsável Técnico)

DM/064.2/07

**instituto de soldadura  
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Deiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 31 / 81 86 / 90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

[labmetro@isq.pt](mailto:labmetro@isq.pt)

<http://metrologia.isq.pt>

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10 / 50 • Fax: +351 22 747 19 19 / 745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é a signatário to the EA MLA and ILAC MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

## Certificado de calibração

Serviço nº. CACV271/17

Página 2 de 2

### Características Acústicas

#### Ruído interno com o microfone instalado, malha de ponderação A (IEC61672 -3: Ponto 10.1)

	Valor do equipamento	Incerteza expandida
Ruído	16,9 dB SPL	± 0,8 dB

Condições de referência **CONFORME** (IEC61672 -3: Ponto 9)  
Ponderação em frequência **CONFORME** (IEC61672 -3: Ponto 11)

### Características Eléctricas

#### Ruído eléctrico, Leq (IEC61672 -3: Ponto 10.2)

Malha de ponderação	Valor do equipamento	Incerteza expandida
A	12,9 dB	± 1,0 dB
C	13,3 dB	± 1,0 dB
LINEAR	18,2 dB	± 1,0 dB

Ponderação em frequência **CONFORME** (IEC61672 -3: Ponto 12)  
Ponderação no tempo **CONFORME** (IEC61672 -3: Ponto 13)  
Linearidade escala de referência/escalas **CONFORME** (IEC61672 -3: Ponto 14 e 15)  
Resposta a sinais de curta duração **CONFORME** (IEC61672 -3: Ponto 16)  
Indicação de sinais de pico em ponderação C **CONFORME** (IEC61672 -3: Ponto 17)  
Indicação de sobrecarga **CONFORME** (IEC61672 -3: Ponto 18)

Calibrado por

Filipe Silva

Responsável pela validação

Luís Ferreira (Responsável Técnico)

DM/064-2/07

instituto de soldadura  
e qualidade

labmetro@isq.pt

http://metrologia.isq.pt

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 80 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

Ponte de Lima: Rua do Mirante, 256 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 13/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA/ILAC and ILAC/MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorizado por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

### **Anexo 3 – Certificado de calibração dos filtros do sonómetro**

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.



Instalações  
de Oeiras

Assinatura válida

Digitally signed by  
LABMETRO ONLINE  
Date: 2017.03.14  
16:13:44 +0000  
Reason: Documento  
aprovado  
electronicamente



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

## Certificado de calibração

Data de Emissão 2017-03-10

Serviço nº. CACV272/17

Página 1 de 2

Equipamento

**SONÓMETRO INTEGRADOR - Filtros de oitava e terço de oitava**

Marca: Brüel & Kjær  
Modelo: 2250

Nº série: 3011172  
Classe IEC 61260: 1995-07: 0

**PRÉ-AMPLIFICADOR**

Marca: Brüel & Kjær  
Modelo: ZC 0032

Nº série: 25429

Cliente

**Versegura - Unipessoal, Lda.**  
Av. Santa Maria de Vermoim, 645  
Vermoim  
4770-763 Vermoim

Data de  
Calibração

**2017-03-10**

Condições  
Ambientais

Temperatura: 22,6 °C Humidade relativa: 48,0 %hr

Procedimento

PO.M-DM/ACUS 05 (Ed. C - Rev. 01).

Rastreabilidade

Tensão alternada, Fluke 5790A, Fluke A40 / A40A, rastreado à Fluke, Kassel (Deutschland - DKD).  
Tempo e Frequência, Hewlett Packard 58503A, rastreado ao Instituto Português da Qualidade (IPQ), Portugal.

Estado do  
equipamento

Não foram identificados aspectos relevantes que afectassem os resultados.

Resultados

Encontram-se apresentados na(s) folha(s) em anexo.  
A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão  $k=2$ , o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.

**Nota: Os valores do erro estão em conformidade com a especificações prescritas na norma IEC 61260: 1995-07.**

Calibrado por

Filipe Silva

Responsável pela Validação

Luis Ferreira (Responsável Técnico)

DM/064.2/07

**instituto de soldadura  
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 31/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

[labmetro@isq.pt](mailto:labmetro@isq.pt)

<http://metrologia.isq.pt>

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-431 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA MILA and ILAC MIRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

## Certificado de calibração

Serviço nº. CACV272/17

Página 2 de 2

### Caracterização de filtros passa-banda - IEC 61260: 1995-07

Atenuação relativa Oitava	CONFORME	(IEC 61260: Ponto 4.4)
Atenuação relativa 1/3 Oitava	CONFORME	(IEC 61260: Ponto 4.4)
Gama linear de operação	CONFORME	(IEC 61260: Ponto 4.6)
Filtro "anti-alias"	CONFORME	(IEC 61260: Ponto 4.8)
Resposta em frequência	CONFORME	(IEC 61260: Ponto 4.10)



Calibrado por

Filipe Silva

Responsável pela Validação

Luís Ferreira (Responsável Técnico)

DM/064.2/07

**instituto de soldadura  
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 80 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

[labmetro@isq.pt](mailto:labmetro@isq.pt)

<http://metrologia.isq.pt>

Porto: Rue do Mirante, 25B • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA MILA and ILAC MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

## **Anexo 4 – Certificado de calibração do calibrador**



Instalações  
de Oeiras

Assinatura válida

Digitally signed by  
LABMETRO ONLINE  
Date: 2016.05.11  
10:35:08 +0100  
Reason: Documento  
aprovado  
electronicamente



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

## Certificado de calibração

Data de Emissão 2016-05-06 Serviço nº. CACV430/16 Página 1 de 2

Equipamento	<b>Calibrador Acústico</b> Marca: Brüel & Kjær Modelo: 4231 Indicação: ---	Nº ident.: <b>CSM011</b> Nº série: 2619587 Classe: 1
Cliente	<b>Versegura - Unipessoal, Lda.</b> Av. Santa Maria de Vermoim, 645 Vermoim 4770-763 Vermoim	
Data de Calibração	<b>2016-05-06</b>	
Condições Ambientais	Temperatura: 22,7 °C Humidade relativa: 52,0 % Pressão atmosférica: 99,1 kPa	
Procedimento	PO.M-DM/ACUS 03 (Ed. D - Rev. 01).	
Rastreabilidade	Tempo/Frequência, Hewlett Packard 58503A, rastreado ao Instituto Português da Qualidade (IPQ), Portugal. Nível de pressão sonora, Brüel & Kjær, Nærum - Denmark. Tensão alternada, Fluke 5790A, Fluke A40 / A40A, rastreado à Fluke, Kassel - Deutschland.	
Estado do Equipamento	Não foram identificados aspectos relevantes que afectassem os resultados.	
Resultados	Encontram-se apresentados na(s) folha(s) em anexo. A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão $k=2$ , o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.	

NOTA: O equipamento cumpre com as tolerâncias definidas pela norma IEC 60942: 2003-01 contemplando a incerteza e para os pontos 5.2.2 , 5.3.2 e 5.5.

Calibrado por

Filipe Silva

Responsável pela Validação

Luís Ferreira (Técnico)

DM/064.2/07

**instituto de soldadura  
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

[labmetro@isq.pt](mailto:labmetro@isq.pt)

<http://metrologia.isq.pt>

Porto: Rua do Mirente, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 18 10/50 • Fax: +351 22 747 18 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA MLA and ILAC MLA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física  
**Certificado de calibração**

Serviço nº. CACV430/16

Página 2 de 2

**RESULTADOS DO ENSAIO**

Nível de pressão sonora (dB re 20 µPa) para as seguintes condições de referência:

Pressão atmosférica 101,3 kPa  
Temperatura 23 °C  
Humidade relativa 55 %

Valor nominal	Valor de referência	Erro	Especificação de norma	Incerteza expandida
114 dB	113,97 dB	-0,03 dB	± 0,40 dB	± 0,12 dB
94 dB	93,96 dB	-0,04 dB	± 0,40 dB	± 0,12 dB

Frequência

Valor nominal	Valor de referência	Erro	Especificação de norma	Incerteza expandida
1000 Hz	1000,0 Hz	0,0 %	± 1 %	± 0,05 %

Distorção Harmónica Total

Nível calibração	Valor de referência	Especificação de norma	Incerteza expandida
114 dB	0,2 %	< 3 %	± 0,5 %
94 dB	0,9 %	< 3 %	± 0,5 %

Calibrado por

Filipe Silva

Responsável pela Validação

Luís Ferreira (Técnico)

DM/064.2/07

**instituto de soldadura  
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

[labmetro@isq.pt](mailto:labmetro@isq.pt)

<http://metrologia.isq.pt>

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4115-191 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA MLA and ILAC MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

## **Anexo 5 – Certificado de calibração da máquina de percussão**



Assinatura válida

Digitally signed by  
LABMETRO ONLINE  
Date: 2018.04.09  
17:48:05 +0100  
Reason: Documento  
aprovado  
electronicamente



Laboratório de Ensaios de  
Controlo Dimensional  
**Relatório de Ensaio**

Data 2018-04-09

Relatório nº. **EDIM507/18**

Página 1 de 5

Equipamento	<b>Máquina de Percussão</b>		
Marca:	Brüel & Kjær	Nº ident.:	V0010
Modelo:	3207	Nº série:	2604570
Cliente	<b>VERSEGURA EQUIPAMENTO DE COMBATE A POLUIÇÃO E DE SEGURANÇA UNIPESSOAL LDA</b> AVENIDA STA MARIA 645 4770-763 VERMOIM		
Data de Calibração	<b>2018-04-09</b>		
Condições Ambientais	Temperatura: 20,3 °C	Humidade relativa:	55,0 % hr
Procedimento	PO.M-DM/ECD 002 Ed.B Rev. 01		
Rastreabilidade	Máquina de medição tridimensional, com o nº ident. LD067, rastreada ao IPQ (Portugal), VSL (Holanda). Balança comparador, com o nº ident. LD523, rastreada ao ISQ (Portugal). Osciloscópio, com o nº ident. LD551, rastreado ao ISQ (Portugal).		
Estado do equipamento	Não foram identificadas condições relevantes que afectem os resultados.		
Resultados	Encontram-se apresentados nas páginas seguintes.		

*"A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão k=2, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA 4/16."*

Ensaiado por

  
José Godinho

Responsável pela Validação

  
Sara Leonardo  
Sara Leonardo (Responsável Técnico)

DM/064.2/07

**Instituto de soldadura e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Covas Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Olinhas • Portugal  
Tels: +351 21 422 80 31/31/31/31/31/31 • Fax: +351 21 422 81 02

[labmetro@isq.pt](mailto:labmetro@isq.pt)

<http://metrologia.isq.pt>

Porto: Rua do Minho, 258 • 4415-431 Grijó • Portugal  
Tels: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA MLA and ILAC-MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorizado por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Ensaios de  
Controlo Dimensional  
**Relatório de Ensaio**

Relatório nº. **EDIM507/18**

Página 2 de 5

**Massa**

	Valor nominal	Valor medido	Erro	Tolerância	Incerteza expandida
Martelo 1	500 g	502,3 g	2,3 g	± 12 g	± 1,2 g
Martelo 2	500 g	502,4 g	2,4 g	± 12 g	± 1,2 g
Martelo 3	500 g	501,9 g	1,9 g	± 12 g	± 1,2 g
Martelo 4	500 g	502,8 g	2,8 g	± 12 g	± 1,2 g
Martelo 5	500 g	502,7 g	2,6 g	± 12 g	± 1,2 g

**Direcção da queda**

	Valor nominal	Valor medido	Erro	Tolerância	Incerteza expandida
Martelo 1	0 °	0,12 °	0,12 °	± 0,50 °	± 0,06 °
Martelo 2	0 °	0,08 °	0,08 °	± 0,50 °	± 0,06 °
Martelo 3	0 °	0,10 °	0,10 °	± 0,50 °	± 0,06 °
Martelo 4	0 °	0,16 °	0,16 °	± 0,50 °	± 0,06 °
Martelo 5	0 °	0,10 °	0,10 °	± 0,50 °	± 0,06 °

Ensaiado por

José Godinho

Responsável pela Validação

Sara Leonardo (Responsável Técnico)

DM/064.2/07

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA MLA and ILAC MLA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorizado por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Ensaios de  
Controlo Dimensional  
**Relatório de Ensaio**

Relatório n.º EDIM507/18

Página 3 de 5

**Diâmetro**

	Valor nominal	Valor medido	Erro	Tolerância	Incerteza expandida
Martelo 1	30 mm	29,95 mm	-0,05 mm	± 0,20 mm	± 0,01 mm
Martelo 2	30 mm	29,97 mm	-0,03 mm	± 0,20 mm	± 0,01 mm
Martelo 3	30 mm	29,98 mm	-0,02 mm	± 0,20 mm	± 0,01 mm
Martelo 4	30 mm	29,97 mm	-0,03 mm	± 0,20 mm	± 0,01 mm
Martelo 5	30 mm	29,97 mm	-0,03 mm	± 0,20 mm	± 0,01 mm

**Curvatura da superfície de impacto**

	Valor nominal	Valor medido	Erro	Tolerância	Incerteza expandida
Martelo 1	500 mm	595,3 mm	95,3 mm	± 100 mm	± 1 mm
Martelo 2	500 mm	588,3 mm	88,3 mm	± 100 mm	± 1 mm
Martelo 3	500 mm	595,3 mm	95,3 mm	± 100 mm	± 1 mm
Martelo 4	500 mm	581,4 mm	81,4 mm	± 100 mm	± 1 mm
Martelo 5	500 mm	595,3 mm	95,3 mm	± 100 mm	± 1 mm

DM/064.2/07

Ensaiado por

José Godinho

Responsável pela Validação

Sara Leonardo (Responsável Técnico)



Laboratório de Ensaios de  
Controlo Dimensional  
**Relatório de Ensaio**

Relatório nº. **EDIM507/18**

Página 4 de 5

**Intervalo de tempo entre impactos**

Cadência	Valor nominal	Valor medido	Erro	Tolerância	Incerteza expandida
1-5	100 ms	95,0 ms	-5,0 ms	± 20 ms	± 1 ms
5-4	100 ms	99,0 ms	-1,0 ms	± 20 ms	± 1 ms
4-3	100 ms	99,0 ms	-1,0 ms	± 20 ms	± 1 ms
3-2	100 ms	104,0 ms	4,0 ms	± 20 ms	± 1 ms
2-1	100 ms	100,0 ms	0,0 ms	± 20 ms	± 1 ms

**Velocidade no momento de impacto**

	Valor nominal	Valor medido	Erro	Tolerância	Incerteza expandida
Martelo 1	886 mm/s	889,7 mm/s	3,7 mm/s	± 22 mm/s	± 7 mm/s
Martelo 2	886 mm/s	889,9 mm/s	3,9 mm/s	± 22 mm/s	± 7 mm/s
Martelo 3	886 mm/s	887,8 mm/s	1,8 mm/s	± 22 mm/s	± 7 mm/s
Martelo 4	886 mm/s	889,5 mm/s	3,5 mm/s	± 22 mm/s	± 7 mm/s
Martelo 5	886 mm/s	889,2 mm/s	3,2 mm/s	± 22 mm/s	± 7 mm/s

Ensaiado por

José Godinho

Responsável pela Validação

Sara Leonardo (Responsável Técnico)

DM/064.2/07

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é signatário da EA, MLA and ILAC-MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorizado por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Ensaios de  
Controlo Dimensional  
**Relatório de Ensaio**

Relatório nº. **EDIM507/18**

Página 5 de 5

**Distância entre o centro dos cilindros**

Martelos	Valor medido	Tolerância	Incerteza expandida
1 - 2	99,85 mm	± 3 mm	± 0,01 mm
2 - 3	100,03 mm	± 3 mm	± 0,01 mm
3 - 4	99,95 mm	± 3 mm	± 0,01 mm
4 - 5	99,67 mm	± 3 mm	± 0,01 mm

**Tempo médio entre impactos**

Valor nominal	Valor calculado	Erro	Tolerância	Incerteza expandida
100 ms	99,4 ms	-0,6 ms	± 5 ms	± 1 ms

DM/064.2/07

Ensaiado por

José Godinho

Responsável pela Validação

Sara Leonardo (Responsável Técnico)

Relevância da aplicação do método de baixa frequência nos ensaios de isolamento a sons de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 16283-2:2016.

## **Anexo 6 – Relatórios dos ensaios efetuados**

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2																																													
Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																																													
Cliente:	Tese 2017/2018																																												
Data do ensaio:	27/06/2018																																												
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																																													
Volume do compartimento recetor:	23,7 m <sup>3</sup>																																												
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Frequência <i>f</i> Hz</th> <th><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td> <td>50,0</td> </tr> <tr> <td>63</td> <td>50,2</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>47,8</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>41,1</td> </tr> <tr> <td>125</td> <td>39,5</td> </tr> <tr> <td>160</td> <td>41,6</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>42,0</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>43,0</td> </tr> <tr> <td>315</td> <td>41,0</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>43,8</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>46,3</td> </tr> <tr> <td>630</td> <td>47,3</td> </tr> <tr> <td>800</td> <td>49,8</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>48,1</td> </tr> <tr> <td>1250</td> <td>46,2</td> </tr> <tr> <td>1600</td> <td>46,3</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>44,6</td> </tr> <tr> <td>2500</td> <td>42,5</td> </tr> <tr> <td>3150</td> <td>40,8</td> </tr> <tr> <td>4000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5000</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50	50,0	63	50,2	80	47,8	100	41,1	125	39,5	160	41,6	200	42,0	250	43,0	315	41,0	400	43,8	500	46,3	630	47,3	800	49,8	1000	48,1	1250	46,2	1600	46,3	2000	44,6	2500	42,5	3150	40,8	4000		5000		<p>----- Gama de frequências de acordo com a          ——— curva dos valores de referência (ISO 717-2)</p>
Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																																												
50	50,0																																												
63	50,2																																												
80	47,8																																												
100	41,1																																												
125	39,5																																												
160	41,6																																												
200	42,0																																												
250	43,0																																												
315	41,0																																												
400	43,8																																												
500	46,3																																												
630	47,3																																												
800	49,8																																												
1000	48,1																																												
1250	46,2																																												
1600	46,3																																												
2000	44,6																																												
2500	42,5																																												
3150	40,8																																												
4000																																													
5000																																													
Índice segundo a ISO 717-2 $L'_{nT,W}(C_1) = 51$ (–) dB; $C_{1,50-2500} = (-7)$ dB Determinação baseada nas medições <i>in situ</i> , obtidas por meio do método de engenharia																																													
Nº do relatório de ensaio:	Tese001																																												
Data:	15/07/2018																																												
Nome do laboratório:	UFP																																												
Assinatura:																																													

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																	
Cliente:	Tese 2017/2018																
Data do ensaio:	09/07/2018																
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																	
Volume do compartimento recetor:	22,8 m <sup>3</sup>																
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Frequência <i>f</i> Hz</th> <th><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50 63 80</td> <td>52,8 43,8 52,1</td> </tr> <tr> <td>100 125 160</td> <td>48,1 50,4 52,2</td> </tr> <tr> <td>200 250 315</td> <td>49,2 54,3 57,2</td> </tr> <tr> <td>400 500 630</td> <td>59,9 59,8 62,8</td> </tr> <tr> <td>800 1000 1250</td> <td>66,2 71,7 70,7</td> </tr> <tr> <td>1600 2000 2500</td> <td>72,2 71,9 71,6</td> </tr> <tr> <td>3150 4000 5000</td> <td>71,4</td> </tr> </tbody> </table>	Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50 63 80	52,8 43,8 52,1	100 125 160	48,1 50,4 52,2	200 250 315	49,2 54,3 57,2	400 500 630	59,9 59,8 62,8	800 1000 1250	66,2 71,7 70,7	1600 2000 2500	72,2 71,9 71,6	3150 4000 5000	71,4	<p>----- Gama de frequências de acordo com a — curva dos valores de referência (ISO 717-2)</p>
Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																
50 63 80	52,8 43,8 52,1																
100 125 160	48,1 50,4 52,2																
200 250 315	49,2 54,3 57,2																
400 500 630	59,9 59,8 62,8																
800 1000 1250	66,2 71,7 70,7																
1600 2000 2500	72,2 71,9 71,6																
3150 4000 5000	71,4																
<p>Índice segundo a ISO 717-2</p> <p><math>L'_{nT,W}(C_1) = 78</math> (--) dB;      <math>C_{1,50-2500} = (-13)</math> dB</p> <p>Determinação baseada nas medições <i>in situ</i>, obtidas por meio do método de engenharia</p>																	
Nº do relatório de ensaio:	Tese002																
Data:	15/07/2018																
Nome do laboratório:	UFP																
Assinatura:																	

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																	
Cliente:	Tese 2017/2018																
Data do ensaio:	09/07/2018																
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																	
Volume do compartimento recetor:	23,2 m <sup>3</sup>																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Frequência <i>f</i> Hz</th> <th style="width: 70%;"><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50 63 80</td> <td>56,3 67,8 69,2</td> </tr> <tr> <td>100 125 160</td> <td>60,7 58,0 57,6</td> </tr> <tr> <td>200 250 315</td> <td>61,4 66,5 65,2</td> </tr> <tr> <td>400 500 630</td> <td>68,3 68,9 72,8</td> </tr> <tr> <td>800 1000 1250</td> <td>72,8 72,6 73,5</td> </tr> <tr> <td>1600 2000 2500</td> <td>74,5 73,1 70,3</td> </tr> <tr> <td>3150 4000 5000</td> <td>68,4</td> </tr> </tbody> </table>	Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50 63 80	56,3 67,8 69,2	100 125 160	60,7 58,0 57,6	200 250 315	61,4 66,5 65,2	400 500 630	68,3 68,9 72,8	800 1000 1250	72,8 72,6 73,5	1600 2000 2500	74,5 73,1 70,3	3150 4000 5000	68,4	<p style="text-align: center;">Frequência, <i>f</i>, Hz →</p> <p style="text-align: center;">- - - - Gama de frequências de acordo com a — curva dos valores de referência (ISO 717-2)</p>
Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																
50 63 80	56,3 67,8 69,2																
100 125 160	60,7 58,0 57,6																
200 250 315	61,4 66,5 65,2																
400 500 630	68,3 68,9 72,8																
800 1000 1250	72,8 72,6 73,5																
1600 2000 2500	74,5 73,1 70,3																
3150 4000 5000	68,4																
Índice segundo a ISO 717-2 $L'_{nT,W}(C_1) = 78 (-) \text{ dB};$ $C_{1,50-2500} = (-10) \text{ dB}$  Determinação baseada nas medições <i>in situ</i> , obtidas por meio do método de engenharia																	
Nº do relatório de ensaio:	Tese003																
Data:	14/07/2018																
Nome do laboratório:	UFP																
Assinatura:																	

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																	
Cliente:	Tese 2017/2018																
Data do ensaio:	09/07/2018																
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																	
Volume do compartimento recetor:	24,3 m <sup>3</sup>																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Frequência <i>f</i> Hz</th> <th style="text-align: center;"><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">50 63 80</td> <td style="text-align: center;">46,2 53,4 50,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">100 125 160</td> <td style="text-align: center;">46,5 51,9 49,6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">200 250 315</td> <td style="text-align: center;">49,3 52,8 60,3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">400 500 630</td> <td style="text-align: center;">62,9 62,0 63,3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">800 1000 1250</td> <td style="text-align: center;">66,2 67,0 66,4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1600 2000 2500</td> <td style="text-align: center;">64,9 63,4 62,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3150 4000 5000</td> <td style="text-align: center;">56,0</td> </tr> </tbody> </table>	Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50 63 80	46,2 53,4 50,1	100 125 160	46,5 51,9 49,6	200 250 315	49,3 52,8 60,3	400 500 630	62,9 62,0 63,3	800 1000 1250	66,2 67,0 66,4	1600 2000 2500	64,9 63,4 62,1	3150 4000 5000	56,0	<p>----- Gama de frequências de acordo com a</p> <p>———— curva dos valores de referência (ISO 717-2)</p>
Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																
50 63 80	46,2 53,4 50,1																
100 125 160	46,5 51,9 49,6																
200 250 315	49,3 52,8 60,3																
400 500 630	62,9 62,0 63,3																
800 1000 1250	66,2 67,0 66,4																
1600 2000 2500	64,9 63,4 62,1																
3150 4000 5000	56,0																
<p>Índice segundo a ISO 717-2</p> <p><math>L'_{nT,w}(C_1) = 69</math> (→) dB;                      <math>C_{1,50-2500} = (-9)</math> dB</p> <p>Determinação baseada nas medições <i>in situ</i>, obtidas por meio do método de engenharia</p>																	
Nº do relatório de ensaio:	Tese004																
Data:	14/07/2018																
Nome do laboratório:	UFP																
Assinatura:																	

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																																									
Cliente:	Tese 2017/2018																																								
Data do ensaio:	16/07/2018																																								
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																																									
Volume do compartimento recetor:	23,4 m <sup>3</sup>																																								
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Frequência <i>f</i> Hz</th> <th><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td> <td>43,5</td> </tr> <tr> <td>63</td> <td>46,5</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>43,9</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>37,6</td> </tr> <tr> <td>125</td> <td>41,4</td> </tr> <tr> <td>160</td> <td>42,3</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>39,4</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>42,6</td> </tr> <tr> <td>315</td> <td>41,7</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>41,4</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>42,8</td> </tr> <tr> <td>630</td> <td>43,6</td> </tr> <tr> <td>800</td> <td>41,3</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>40,8</td> </tr> <tr> <td>1250</td> <td>39,3</td> </tr> <tr> <td>1600</td> <td>37,1</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>32,4</td> </tr> <tr> <td>2500</td> <td>27,4</td> </tr> <tr> <td>3150</td> <td>21,5</td> </tr> </tbody> </table>	Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50	43,5	63	46,5	80	43,9	100	37,6	125	41,4	160	42,3	200	39,4	250	42,6	315	41,7	400	41,4	500	42,8	630	43,6	800	41,3	1000	40,8	1250	39,3	1600	37,1	2000	32,4	2500	27,4	3150	21,5	<p style="text-align: center;"> <span style="border-bottom: 1px dashed black; width: 50px; display: inline-block;"></span> Gama de frequências de acordo com a  <span style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px; display: inline-block;"></span> curva dos valores de referência (ISO 717-2)         </p>
Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																																								
50	43,5																																								
63	46,5																																								
80	43,9																																								
100	37,6																																								
125	41,4																																								
160	42,3																																								
200	39,4																																								
250	42,6																																								
315	41,7																																								
400	41,4																																								
500	42,8																																								
630	43,6																																								
800	41,3																																								
1000	40,8																																								
1250	39,3																																								
1600	37,1																																								
2000	32,4																																								
2500	27,4																																								
3150	21,5																																								
<p>Índice segundo a ISO 717-2</p> <p><math>L'_{nT,W}(C_1) = 41 (-) \text{ dB};</math>                      <math>C_{1,50-2500} = (-2) \text{ dB}</math></p> <p>Determinação baseada nas medições <i>in situ</i>, obtidas por meio do método de engenharia</p>																																									
Nº do relatório de ensaio:	Tese005																																								
Data:	19/07/2018																																								
Nome do laboratório:	UFP																																								
Assinatura:																																									

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																	
Cliente:	Tese 2017/2018																
Data do ensaio:	16/07/2018																
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																	
Volume do compartimento recetor:	23,6 m <sup>3</sup>																
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Frequência <i>f</i> Hz</th> <th><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50 63 80</td> <td>39,8 39,5 48,5</td> </tr> <tr> <td>100 125 160</td> <td>51,5 42,3 48,1</td> </tr> <tr> <td>200 250 315</td> <td>46,1 43,7 44,8</td> </tr> <tr> <td>400 500 630</td> <td>48,5 47,3 47,3</td> </tr> <tr> <td>800 1000 1250</td> <td>48,3 49,1 47,7</td> </tr> <tr> <td>1600 2000 2500</td> <td>45,2 40,0 37,2</td> </tr> <tr> <td>3150 4000 5000</td> <td>38,0</td> </tr> </tbody> </table>	Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50 63 80	39,8 39,5 48,5	100 125 160	51,5 42,3 48,1	200 250 315	46,1 43,7 44,8	400 500 630	48,5 47,3 47,3	800 1000 1250	48,3 49,1 47,7	1600 2000 2500	45,2 40,0 37,2	3150 4000 5000	38,0	<p style="text-align: center;"> <span style="border-bottom: 1px dashed black; display: inline-block; width: 50px;"></span> Gama de frequências de acordo com a  <span style="border-bottom: 1px solid black; display: inline-block; width: 50px;"></span> curva dos valores de referência (ISO 717-2)         </p>
Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																
50 63 80	39,8 39,5 48,5																
100 125 160	51,5 42,3 48,1																
200 250 315	46,1 43,7 44,8																
400 500 630	48,5 47,3 47,3																
800 1000 1250	48,3 49,1 47,7																
1600 2000 2500	45,2 40,0 37,2																
3150 4000 5000	38,0																
<p>Índice segundo a ISO 717-2</p> <p><math>L'_{nT,W}(C_1) = 49 (-) \text{ dB};</math>                      <math>C_{1,50-2500} = (-5) \text{ dB}</math></p> <p>Determinação baseada nas medições <i>in situ</i>, obtidas por meio do método de engenharia</p>																	
Nº do relatório de ensaio:	Tese006																
Data:	19/07/2018																
Nome do laboratório:	UFP																
Assinatura:																	

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																	
Cliente:	Tese 2017/2018																
Data do ensaio:	18/07/2018																
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																	
Volume do compartimento recetor:	21,3 m <sup>3</sup>																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Frequência <i>f</i> Hz</th> <th style="text-align: center;"><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">50 63 80</td> <td style="text-align: center;">54,7 45,7 56,3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">100 125 160</td> <td style="text-align: center;">56,3 53,2 59,7</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">200 250 315</td> <td style="text-align: center;">59,7 57,7 55,7</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">400 500 630</td> <td style="text-align: center;">56,1 56,9 54,9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">800 1000 1250</td> <td style="text-align: center;">52,9 50,8 48,4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1600 2000 2500</td> <td style="text-align: center;">45,6 44,9 41,5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3150 4000 5000</td> <td style="text-align: center;">37,9</td> </tr> </tbody> </table>	Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50 63 80	54,7 45,7 56,3	100 125 160	56,3 53,2 59,7	200 250 315	59,7 57,7 55,7	400 500 630	56,1 56,9 54,9	800 1000 1250	52,9 50,8 48,4	1600 2000 2500	45,6 44,9 41,5	3150 4000 5000	37,9	
Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																
50 63 80	54,7 45,7 56,3																
100 125 160	56,3 53,2 59,7																
200 250 315	59,7 57,7 55,7																
400 500 630	56,1 56,9 54,9																
800 1000 1250	52,9 50,8 48,4																
1600 2000 2500	45,6 44,9 41,5																
3150 4000 5000	37,9																
<p>Índice segundo a ISO 717-2</p> <p><math>L'_{nT,w}(C_1) = 54 (-) \text{ dB};</math>      <math>C_{1,50-2500} = (-1) \text{ dB}</math></p> <p>Determinação baseada nas medições <i>in situ</i>, obtidas por meio do método de engenharia</p>																	
Nº do relatório de ensaio:	Tese007																
Data:	19/07/2018																
Nome do laboratório:	UFP																
Assinatura:																	

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																	
Cliente:	Tese 2017/2018																
Data do ensaio:	18/07/2018																
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																	
Volume do compartimento receptor:	23,7 m <sup>3</sup>																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Frequência <math>f</math> Hz</th> <th style="text-align: center;"><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">50 63 80</td> <td style="text-align: center;">49,8 63,4 58,4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">100 125 160</td> <td style="text-align: center;">61,8 67,3 65,7</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">200 250 315</td> <td style="text-align: center;">65,4 63,5 60,3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">400 500 630</td> <td style="text-align: center;">62,3 64,8 64,4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">800 1000 1250</td> <td style="text-align: center;">61,6 62,3 58,0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1600 2000 2500</td> <td style="text-align: center;">55,6 51,7 49,5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3150 4000 5000</td> <td style="text-align: center;">47,4</td> </tr> </tbody> </table>	Frequência $f$ Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50 63 80	49,8 63,4 58,4	100 125 160	61,8 67,3 65,7	200 250 315	65,4 63,5 60,3	400 500 630	62,3 64,8 64,4	800 1000 1250	61,6 62,3 58,0	1600 2000 2500	55,6 51,7 49,5	3150 4000 5000	47,4	<p style="text-align: center;"> <span style="border-bottom: 1px dashed black; width: 50px; display: inline-block;"></span> Gama de frequências de acordo com a  <span style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px; display: inline-block;"></span> curva dos valores de referência (ISO 717-2)         </p>
Frequência $f$ Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																
50 63 80	49,8 63,4 58,4																
100 125 160	61,8 67,3 65,7																
200 250 315	65,4 63,5 60,3																
400 500 630	62,3 64,8 64,4																
800 1000 1250	61,6 62,3 58,0																
1600 2000 2500	55,6 51,7 49,5																
3150 4000 5000	47,4																
<p>Índice segundo a ISO 717-2</p> <p><math>L'_{nT,W}(C_1) = 62 (-) \text{ dB};</math>      <math>C_{1,50-2500} = (-2) \text{ dB}</math></p> <p>Determinação baseada nas medições <i>in situ</i>, obtidas por meio do método de engenharia</p>																	
Nº do relatório de ensaio:	Tese008																
Data:	19/07/2018																
Nome do laboratório:	UFP																
Assinatura:																	

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																	
Cliente:	Tese 2017/2018																
Data do ensaio:	18/07/2018																
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																	
Volume do compartimento recetor:	20,2 m <sup>3</sup>																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Frequência <i>f</i> Hz</th> <th><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50 63 80</td> <td>35,3 51,8 49,7</td> </tr> <tr> <td>100 125 160</td> <td>52,9 54,2 51,9</td> </tr> <tr> <td>200 250 315</td> <td>54,8 59,1 57,4</td> </tr> <tr> <td>400 500 630</td> <td>60,0 59,5 56,9</td> </tr> <tr> <td>800 1000 1250</td> <td>57,5 56,6 54,6</td> </tr> <tr> <td>1600 2000 2500</td> <td>53,1 51,9 49,8</td> </tr> <tr> <td>3150 4000 5000</td> <td>48,2</td> </tr> </tbody> </table>	Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50 63 80	35,3 51,8 49,7	100 125 160	52,9 54,2 51,9	200 250 315	54,8 59,1 57,4	400 500 630	60,0 59,5 56,9	800 1000 1250	57,5 56,6 54,6	1600 2000 2500	53,1 51,9 49,8	3150 4000 5000	48,2	<p style="text-align: center;"> <span style="border-bottom: 1px dashed black; width: 50px; display: inline-block;"></span> Gama de frequências de acordo com a  <span style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px; display: inline-block;"></span> curva dos valores de referência (ISO 717-2)         </p>
Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																
50 63 80	35,3 51,8 49,7																
100 125 160	52,9 54,2 51,9																
200 250 315	54,8 59,1 57,4																
400 500 630	60,0 59,5 56,9																
800 1000 1250	57,5 56,6 54,6																
1600 2000 2500	53,1 51,9 49,8																
3150 4000 5000	48,2																
Índice segundo a ISO 717-2 $L'_{nT,w}(C_1) = 59 (-) \text{ dB};$ $C_{1,50-2500} = (-6) \text{ dB}$ Determinação baseada nas medições <i>in situ</i> , obtidas por meio do método de engenharia																	
Nº do relatório de ensaio:	Tese009																
Data:	19/07/2018																
Nome do laboratório:	UFP																
Assinatura:																	

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																	
Cliente:	Tese 2017/2018																
Data do ensaio:	18/07/2018																
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																	
Volume do compartimento recetor:	22,9 m <sup>3</sup>																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Frequência <i>f</i> Hz</th> <th style="text-align: center;"><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">50 63 80</td> <td style="text-align: center;">50,4 56,2 51,8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">100 125 160</td> <td style="text-align: center;">52,8 51,0 45,6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">200 250 315</td> <td style="text-align: center;">51,1 55,3 55,9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">400 500 630</td> <td style="text-align: center;">58,2 54,8 52,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">800 1000 1250</td> <td style="text-align: center;">57,0 52,0 50,4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1600 2000 2500</td> <td style="text-align: center;">49,0 52,1 57,6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3150 4000 5000</td> <td style="text-align: center;">55,6</td> </tr> </tbody> </table>	Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50 63 80	50,4 56,2 51,8	100 125 160	52,8 51,0 45,6	200 250 315	51,1 55,3 55,9	400 500 630	58,2 54,8 52,1	800 1000 1250	57,0 52,0 50,4	1600 2000 2500	49,0 52,1 57,6	3150 4000 5000	55,6	<p>----- Gama de frequências de acordo com a</p> <p>— curva dos valores de referência (ISO 717-2)</p>
Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																
50 63 80	50,4 56,2 51,8																
100 125 160	52,8 51,0 45,6																
200 250 315	51,1 55,3 55,9																
400 500 630	58,2 54,8 52,1																
800 1000 1250	57,0 52,0 50,4																
1600 2000 2500	49,0 52,1 57,6																
3150 4000 5000	55,6																
<p>Índice segundo a ISO 717-2</p> <p><math>L'_{nT,W}(C_1) = 60 (-) \text{ dB};</math>      <math>C_{1,50-2500} = (-8) \text{ dB}</math></p> <p>Determinação baseada nas medições <i>in situ</i>, obtidas por meio do método de engenharia</p>																	
Nº do relatório de ensaio:	Tese0010																
Data:	19/07/2018																
Nome do laboratório:	UFP																
Assinatura:																	

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão	
Cliente:	Tese 2017/2018
Data do ensaio:	18/07/2018
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:	
Volume do compartimento recetor:	24,2 m <sup>3</sup>
	<p>----- Gama de frequências de acordo com a</p> <p>— curva dos valores de referência (ISO 717-2)</p>
	<p>Índice segundo a ISO 717-2</p> <p><math>L'_{nT,W}(C_1) = 52 (-) \text{ dB};</math>      <math>C_{1,50-2500} = (-8) \text{ dB}</math></p> <p>Determinação baseada nas medições <i>in situ</i>, obtidas por meio do método de engenharia</p>
Nº do relatório de ensaio:	Tese0011
Data:	19/07/2018
Nome do laboratório:	UFP
Assinatura:	

Isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT}$ segundo a norma NP EN ISO 16283-2 Medições do isolamento sonoro <i>in situ</i> usando a máquina de percussão																	
Cliente:	Tese 2017/2018																
Data do ensaio:	18/07/2018																
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção da medição, etc.:																	
Volume do compartimento recetor:	21,6 m <sup>3</sup>																
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Frequência <i>f</i> Hz</th> <th><math>L'_{nT}</math> (terços de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50 63 80</td> <td>43,8 44,1 53,9</td> </tr> <tr> <td>100 125 160</td> <td>54,4 53,1 52,3</td> </tr> <tr> <td>200 250 315</td> <td>54,0 58,6 64,4</td> </tr> <tr> <td>400 500 630</td> <td>59,2 60,4 63,9</td> </tr> <tr> <td>800 1000 1250</td> <td>61,8 62,2 68,5</td> </tr> <tr> <td>1600 2000 2500</td> <td>70,4 71,5 72,9</td> </tr> <tr> <td>3150 4000 5000</td> <td>74,9</td> </tr> </tbody> </table>	Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB	50 63 80	43,8 44,1 53,9	100 125 160	54,4 53,1 52,3	200 250 315	54,0 58,6 64,4	400 500 630	59,2 60,4 63,9	800 1000 1250	61,8 62,2 68,5	1600 2000 2500	70,4 71,5 72,9	3150 4000 5000	74,9	<p style="text-align: center;">----- Gama de frequências de acordo com a — curva dos valores de referência (ISO 717-2)</p>
Frequência <i>f</i> Hz	$L'_{nT}$ (terços de oitava) dB																
50 63 80	43,8 44,1 53,9																
100 125 160	54,4 53,1 52,3																
200 250 315	54,0 58,6 64,4																
400 500 630	59,2 60,4 63,9																
800 1000 1250	61,8 62,2 68,5																
1600 2000 2500	70,4 71,5 72,9																
3150 4000 5000	74,9																
<p>Índice segundo a ISO 717-2</p> <p><math>L'_{nT,w}(C_1) = 78 (-) \text{ dB};</math>      <math>C_{1,50-2500} = (-13) \text{ dB}</math></p> <p>Determinação baseada nas medições <i>in situ</i>, obtidas por meio do método de engenharia</p>																	
Nº do relatório de ensaio:	Tese0012																
Data:	19/07/2018																
Nome do laboratório:	UFP																
Assinatura:																	