

António Francisco Nunes Gomes

ISOLAMENTO ACÚSTICO DE FACHADAS PELA NP EN ISO 16283-3:2017: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DESVIOS À NORMA

FAÇADE SOUND INSULATION ACCORDING TO NP EN ISO 16283-3:2017
: ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DEVIATIONS TO THE STANDARD

Dissertação de Mestrado em Eficiência Acústica e Energética para uma Construção Sustentável, no Ramo de Acústica e Vibrações em Ambiente Urbano orientada pela Professora Doutora Andreia Sofia Carvalho Pereira e pelo Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus

Coimbra, 05 de Março de 2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

António Francisco Nunes Gomes

ISOLAMENTO ACÚSTICO DE FACHADAS PELA NP EN ISO 16283-3:2017 : ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DESVIOS À NORMA

FAÇADE SOUND INSULATION ACCORDING TO NP EN ISO 16283-3:2017 : ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DEVIATIONS TO THE STANDARD

Dissertação de Mestrado em Eficiência Acústica e Energética para uma Construção Sustentável, no Ramo de Acústica e Vibrações em Ambiente Urbano orientada pela Professora Doutora Andreia Sofia Carvalho Pereira e pelo Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 05 de Março de 2018

AGRADECIMENTOS

Obrigado...

...uma única palavra que não é única, destinada a todos os familiares, amigos, colegas, professores, orientadores, superiores, a todos os que me acompanharam, de perto ou de longe ao longo desta longa vida, neste meu percurso pessoal, familiar, escolar, académico, profissional e especialmente nos últimos dois meses da elaboração desta dissertação...

obrigado a todos...

P.S:

*Não sendo mal-agradecido nestes agradecimentos deixo aqui o agradecimento mais especial à **Sónia**...*

RESUMO

O crescimento nas zonas urbanas tem conduzido a níveis sonoros cada vez mais elevados e à consequente degradação da qualidade de vida. Recorre-se por isto a soluções construtivas com maior desempenho acústico nas fachadas para garantir um adequado conforto acústico. A legislação portuguesa impõe a verificação do isolamento a sons aéreos de fachada após a construção do edifício através de ensaios *in situ* conforme as normas em vigor.

Recentemente estas normas foram revistas a nível europeu, com a publicação das três partes da norma ISO 16283 que estabelecem os procedimentos para as medições *in situ* de isolamento sonoro em edifícios. A norma NP EN ISO 16283-3:2017: “Medição *in situ* do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção Parte 3: Isolamento sonoro de fachadas”, a última parte a ser publicada em Portugal substituindo a norma NP EN ISO 140-5, define a metodologia experimental para determinar, por ensaios no local, o isolamento a sons aéreos de fachadas.

Nesta dissertação pretende-se referir sucintamente as diferenças introduzidas pela nova norma. A metodologia global com altifalante da NP EN ISO 16283-3:2017 prevê vários procedimentos como orientação e distâncias de afastamento à fachada da instrumentação, que nem sempre se podem cumprir no local por falta de espaço. Foram efetuados ensaios experimentais em casos de estudo para comparar os resultados obtidos segundo a norma e com ligeiros desvios à mesma, para diferentes posições dos equipamentos no exterior. Pretende-se assim, apenas nos ensaios efetuados, avaliar as diferenças de resultados obtidos cumprindo a norma e com pequenos desvios à mesma. Com base na análise realizada, foi sugerida e aplicada uma metodologia alternativa, nos nossos casos de estudo, para se poder comparar os resultados assim obtidos aos determinados pela NP EN ISO 16283-3:2017.

Palavras-chave: conforto acústico, ensaios *in situ*, isolamento fachadas, desvios à norma, metodologia alternativa sugerida.

ABSTRACT

The growth of urban areas has led to increasingly high noise levels and consequent degradation of quality of life. The use of constructive solutions with increased acoustic performance are, therefore, used in façades to ensure proper acoustic comfort. The Portuguese legislation imposes that, once the construction of the building is finished, the verification of the façade sound insulation should be checked by performing field measurements, in accordance with the ruling standards.

Recently these standards have been reviewed in Europe with the publication of the three parts of ISO 16283 which establish the procedures for field measurements of sound insulation in buildings. The standard NP EN ISO 16283-3: 2017: “Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 3: Façade sound insulation”, is the last part to be published in Portugal and will replace the NP EN ISO 140 -5, which specifies procedures to determine the airborne sound insulation of façades, by field measurement.

In this thesis it is intended to briefly approach the differences introduced by the new standard. The global loudspeaker method of NP EN ISO 16283-3: 2017 provides a series of procedures such as orientation and distances of the equipment from the façade, which cannot always be fulfilled due to limitations of space. Field measurements were, therefore, carried out to compare results obtained in compliance to the new standard and the ones resulting from small deviations with relation to the standard procedure, for various positions of the equipment in the field. From tests carried out it is intended, , to evaluate the differences in results obtained by applying the standard with those where slight deviations from it were adopted. Based on the analysis carried out, an alternative methodology was suggested, from the analyzed case studies, to compare these results to those obtained fulfilling the standard NP EN ISO 16283-3: 2017.

Key words: acoustic comfort, field measurement, façade sound insulation, standards small deviations, suggestion of alternative methodology.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE QUADROS	vii
SIMBOLOGIA	viii
ABREVIATURA	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Estrutura da dissertação	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Considerações iniciais.....	6
2.2 Evolução da legislação nacional	6
2.3 Desenvolvimento normativo da NP EN ISO 16283-3:2017.....	7
2.4 Isolamento sonoro a sons de condução aérea	9
2.4.1 Norma NP EN ISO 16283-3:2017	11
2.4.2 Norma NP EN ISO 16283-1	13
2.5 Isolamento sonoro a sons de percussão NP EN ISO 16283-2	14
2.6 Avaliação do ruído de fundo.....	16
2.7 Avaliação do tempo de reverberação.....	16
2.7.1 Método do ruído interrompido	17
2.7.2 Método da resposta impulsiva integrada	17
2.8 Comparação NP EN ISO 16283 e NP EN ISO 140.....	18
2.8.1 NP EN ISO 16283-3:2017 vs. NP EN ISO 140-5:2015	18
2.8.2 NP EN ISO 16283-1:2014 vs. NP EN ISO 140-4:2009	19
2.8.3 NP EN ISO 16283-2:2015 vs. NP EN ISO 140-7:2015	20
2.9 A acreditação nos laboratórios.....	21
2.9.1 Requisitos de gestão	22
2.9.2 Requisitos técnicos	22
2.10 Estudos de alternativas à norma.....	24

3	CASOS DE ESTUDO E METODOLOGIA	28
3.1	Descrição dos casos de estudo	28
3.2	Processo de cálculo	30
3.3	Metodologia normalizada	30
3.3.1	Condições gerais.....	30
3.3.2	Posicionamento e preparação da fonte sonora.....	31
3.3.3	Determinação de $L2$ – Leituras no compartimento recetor	31
3.3.4	Determinação de $L1$ – Leituras no exterior	32
3.3.5	Medição do Tempo de Reverberação no compartimento recetor.....	32
3.3.6	Tratamento dos dados	32
3.4	Metodologia com desvios à norma	33
3.4.1	Escolha dos desvios	33
3.4.2	Descrição da metodologia com os desvios adotados.....	34
4	RESULTADOS	37
4.1	Resultados caso de estudo 1	38
4.2	Resultados caso de estudo 2.....	40
4.3	Resultados caso de estudo 3.....	42
4.4	Comparação dos resultados dos casos de estudo	44
5	METODOLOGIA ALTERNATIVA À NP EN ISO 16283-3	47
5.1	Descrição sucinta da metodologia alternativa.....	47
5.2	Escolha das posições pré-definidas da metodologia alternativa.....	48
5.3	Calculo do índice $D_{ls,desv,nT}$	51
5.4	Resultados da aplicação da metodologia alternativa	51
5.5	Comparação dos resultados casos de estudo com os da metodologia alternativa.....	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
6.1	Conclusões	55
6.2	Trabalhos futuros	57
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	ANEXO	A1
	Quadro A.1 - quadro comparativo NP EN ISO 16283-3 e NP EN ISO 140-5.....	A1
	Quadro A.2 - quadro comparativo NP EN ISO 16283-1 e NP EN ISO 140-4.....	A4
	Quadro A.3 - quadro comparativo NP EN ISO 16283-2 e NP EN ISO 140-7.....	A7
	Quadro A.4 - quadro resultado método alternativo A1	A9
	Quadro A.5 - quadro resultado método alternativo A2	A10

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 - exemplo determinação do índice iso. sonoro através do ajuste da curva de referência ..	10
Figura 2-2 - axonometria do método global com altifalante (NP EN ISO16283-3)	12
Figura 2-3 - determinação do índice de trans. de percussão através do ajuste da curva de referência..	15
Figura 3-1 – equipamentos utilizados	29
Figura 3-2 -resultados índices isolamento sonoro com desvios no ensaio teste.....	34
Figura 3-3 -planta com definição dos desvios a ensaiar na fonte: ângulo e distância à fachada.....	35
Figura 3-4 -planta desvios no microfone: localização das 5 posições consoante a distância à fachada	35
Figura 3-5 - axonometria desvios caso de estudo 1.....	35
Figura 3-6 - axonometria desvios caso de estudo 2 e 3.....	35
Figura 4-1 - resultados de índices de isolamento sonoros com desvios no caso de estudo 1	39
Figura 4-2 - resultados índices de isolamento sonoro caso estudo 1 (diagrama de kiviati)	40
Figura 4-3 - gráficos lineares índices isolamento sonoro caso estudo 2	41
Figura 4-4 - resultados índices de isolamentos sonoros caso estudo 2 (diagrama de kiviati)	42
Figura 4-5 - gráfico linear índice de isolamento sonoro caso estudo 3	43
Figura 4-6 - resultados índices de isolamentos sonoros caso estudo 3 (diagrama de kiviati)	43
Figura 4-7 - resultados dos desvios em db do índice de iso. sonoro em relação ao $D2m,nt,w$ no CE1.	44
Figura 4-8 - resultados dos desvios em db do índice de iso. sonoro em relação ao $D2m,nt,w$ no CE2.	45
Figura 4-9 - resultados dos desvios em db do índice de iso. sonoro em relação ao $D2m,nt,w$ no CE3.	45
Figura 4-10 - resultados da média dos 3 casos de estudo do índice iso. sonoro ao $D2m,nt,w$.	46
Figura 5-1 - escolha gráfica dos desvios mais próximos do valor da norma, $D2m,nt,w$	49
Figura 5-2 -localização em planta dos desvios mais próximos do $D2m,nt,w$	50
Figura 5-3 - planta e regras da metodologia alternativa	50

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3-1 - quadro resumo tipologia dos casos de estudo	29
Quadro 3-2 - índices de isolamento sonoros - 12 desvios no ensaio teste	33
Quadro 4-1 - índices de isolamento sonoros - 72 ensaios no caso estudo 1	38
Quadro 4-2 - índices de isolamento sonoro - 27 ensaios no caso estudo 2	40
Quadro 4-3 - índices de isolamento sonoros - 27 ensaios no caso de estudo 3	42
Quadro 5-1 - quadro resumo valores índices isolamento sonoro pela met. alternativa 1 e 2..	52
Quadro 5-2 - quadro resumo resultados casos de estudo e met. alternativa D_{ls,dev,nt,0.1w} .	53
Quadro A.1 - quadro comparativo NP EN ISO 16283-3 e NP EN ISO 140-5.....	A1
Quadro A.2 - quadro comparativo NP EN ISO 16283-1 e NP EN ISO 140-4.....	A4
Quadro A.3 - quadro comparativo NP EN ISO 16283-2 e NP EN ISO 140-7.....	A7
Quadro A.4 - quadro resultado método alternativo a1	A9
Quadro A.5 - quadro resultado método alternativo a2	A10

SIMBOLOGIA

C/Ctr – termos de adaptação espectral

D – isolamento sonoro bruto

D_{2m,nT} – isolamento sonoro a sons aéreos padronizado determinado a 2m da fachada

D_{ls,2m,nT,w} – índice de isolamento sonoro a sons aéreos padronizado, 2m fachada, com altifalante

D_{ls,2m,nT,0.1w} – índice proposto semelhante a *D_{ls,2m,nT,w}*, mas arredondado à décima de dB

D_{ls,xm,nT,0.1w} – índice proposto isolamento sonoro a sons aéreos, padronizado, a xm da fachada (x=0.5,1 ou 2) com altifalante e arredondado à décima de dB

D_{li} – índice de diretividade

D_{nT,w} – índice de isolamento sonoro a sons de condução aéreos padronizado

f – frequência hertziana

F30F565L1: exemplo de referência usada: fonte sonora colocada a 30° e a 5.65m de distância da fachada com valores de nível médio de pressão sonora no exterior obtidos a 1m da fachada

L – nível do sinal corrigido

L_{nT} – nível de pressão sonora padronizado

L_{'nTw} – índice de transmissão sonora a ruídos de percussão

L_{l,2m} – nível médio de pressão sonora no exterior do edifício, medido a 2m da fachada

L05 – nível médio de pressão sonora no exterior medido a 0.5m da fachada (com 3 medições conforme a norma)

L'1 – nível médio de pressão sonora no exterior a uma posição média de 1m da fachada usando uma média de 5 posições diferentes

L_l – nível de pressão sonora no exterior ou no compartimento emissor

L₂ – nível médio de pressão sonora no compartimento recetor

L_{sb} – nível do sinal e do ruído de fundo associados, em decibéis

L_b – nível do ruído de fundo em decibéis

L_{2,LF} – nível de pressão sonora média energética de baixa frequência

T – tempo de reverberação do compartimento recetor

T₀ – tempo de reverberação de referência, em segundos

vs – versus

Nota: Nesta dissertação os índices normalizados são redigidos em itálico e os índices propostos apenas para efeito deste trabalho estão indicados com caracteres em **bold**.

ABREVIATURA

- AFNOR – *Association Française de Normalisation*
ASTM – *American Society for Testing and Materials*
CEN – Comité Europeu de Normalização
CEi – Caso de Estudo i (i= 1 a 3)
CT – Comissão Técnica (ou *TC Technical Committee*)
EN – Norma Europeia (*Norme européenne / European Standard*)
ETICS – *External Thermal Insulation Composite Systems*
ILAC– *International Laboratory Accreditation Cooperation*
IPAC – Instituto Português da Acreditação
IPQ – Instituto Português da Qualidade
ISO – *International Organization for Standardization*
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LSF – Light Steel Framing
NP – Norma Portuguesa
ONM – Organismo Nacional de Normalização
ONS – Organismos de Normalização Setorial
OSB – *Oriented Strand Board*
RELACRE – Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal,
RGR – Regulamento Geral de Ruído - Decreto-Lei 9/2007 de 17 de janeiro
RJUE – Regime Jurídico Urbanização e Edificação - Lei 60/2007, de 4 de setembro
RLPS – Regime Legal Poluição Sonora - Decreto-Lei 292/2000 de 14 de novembro
RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios - Decreto-Lei 96/2008 de 09/06
SC – Subcomissões
SPA – Sociedade Portuguesa da Acústica
SPQ – Sistema Português de Qualidade
WG – *Working Groups* (Grupos de Trabalho)

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Nas últimas décadas, o crescimento das cidades tem conduzido a níveis sonoros cada vez mais elevados e a uma conseqüente degradação da qualidade de vida nestes ambientes. Com o objetivo de responder a estas exigências surgiram várias novas normas de construção para a edificação. Uma das formas de garantir um adequado conforto acústico nos edifícios, localizados próximos de fontes sonoras ruidosas, consiste na adoção de soluções construtivas com adequado desempenho acústico e em particular nas suas fachadas. Em Portugal tem de se aplicar o previsto no Regulamento Geral do Ruído (RGR)-Dec. Lei nº 9/2007 de 17 de janeiro e no Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (RRAE), Dec. Lei Nº 96/2008 de 9 de junho, sendo que é este regulamento que estabelece os requisitos acústicos mínimos a respeitar no âmbito da qualidade acústica de edifícios.

O aumento de conforto acústico, nos edifícios de habitação e serviços, tem vindo a ser um dos requisitos cada vez mais exigido pelos seus utilizadores e em particular nos compartimentos onde se requer um ambiente calmo e silencioso. As falhas recorrentes nos sistemas construtivos e do isolamento sonoro à condução de sons aéreos de fachadas têm vindo a ser uma das queixas mais comuns, sobretudo nas zonas urbanas onde, como se sabe, o ruído ambiente tem vindo cada vez mais a aumentar, até se chegar a uma poluição sonora generalizada nas urbes pelo mundo fora. No decorrer da conceção ou reabilitação do edifício o isolamento a sons aéreos é por isto um dos parâmetros que deve ser bem estudado e definido por parte da equipa de projetistas, de modo a que na fase final da construção, no decorrer dos ensaios acústicos acreditados obrigatórios para verificação dos índices regulamentares e em particular no das fachadas, se garante o cumprimento dos valores definidos pela legislação nacional ou até valores superiores de modo a assegurar mais conforto acústico aos utilizadores.

O estudo do condicionamento acústico de um edifício visa a limitação da propagação de sons, que provêm do exterior e do interior para os vários espaços que se encontram delimitados por elementos de separação, de acordo com os requisitos definidos na regulamentação em vigor, ou até preferencialmente outros mais elevados, para obter um melhor conforto acústico, conferindo assim ao edifício um determinado isolamento acústico. Este estudo é então o resultado do cálculo das possíveis combinações mais desfavoráveis de pares de emissores/recetores sonoros, nos compartimentos do edifício estudado, de modo a cumprir com os requisitos legais da regulamentação vigente já mencionada. A transmissão aérea de energia sonora num elemento

de separação simples processa-se por vibração do elemento, sendo a massa do elemento, em termos de isolamento acústico, o fator mais relevante, para o elemento pesado. Com o aumento da massa do elemento, o isolamento aumenta, como consequência do aumento das forças de inércia. Uma vez identificado o elemento divisório mais desfavorável, define-se as massas e áreas dos seus elementos constituintes e estimam-se os correspondentes valores do isolamento sonoro através de fórmulas simplificadas como a lei da massa ou alternativamente poderá ser determinado através de catálogos técnicos ou tabelas de autores reconhecidos e especialistas na área da acústica. Recorre-se depois aos métodos de cálculo previstos nas normas NP EN 12354-1,2,3 para a estimativa de isolamento sonoro a sons de condução aérea proveniente do exterior, do interior e de percussão entre compartimentos. No caso das fachadas, que é focado neste trabalho, o cálculo da estimativa de isolamento sonoro a sons de condução aérea provenientes do exterior é geralmente executado segundo o modelo simplificado para a transmissão estrutural descrito na NP EN 12354-3, que utiliza para a previsão do índice ponderado de redução sonora aparente global, os índices ponderados dos elementos envolvidos, segundo os procedimentos de ponderação descritos na norma EN ISO 717-1. Conforme a sugestão da norma, as transmissões marginais nas fachadas são geralmente desprezadas no cálculo efetuado. Além da previsão de cálculo o projeto deverá ser devidamente pormenorizado através da descrição e representação das soluções construtivas.

No decorrer da construção dos edifícios deve recorrer-se a técnicas de construção e aplicar-se materiais de construção que pelas suas características permitam dotar os edifícios de uma envolvente que funcione como barreira acústica, proporcionando ao seu interior um ambiente que salvguarde a saúde e o bem-estar dos seus ocupantes. Deve-se obviamente igualmente seguir e aplicar os projetos, e inclusivamente o projeto de condicionamento acústico, sendo que para tal é importante a construção ser devidamente seguida pelos técnicos de direção e fiscalização de obra que deverão contactar os projetistas sempre que necessário. Como se sabe a mais ligeira falha na execução do sistema construtivo e na aplicação de isolamento acústico tem consequências graves e pode comprometer o resultado global de isolamento do elemento. Resumindo os requisitos acústicos, previstos por cálculos, definidos e pormenorizados no projeto deverão ser verificados, uma vez concluída a construção, *in situ* por laboratórios acreditados conforme previsto na legislação e nas normas em vigor.

Recentemente a nível europeu foram publicadas as três partes da norma NP EN ISO 16283 que estabelecem os procedimentos para as medições *in situ* de isolamento sonoro em edifícios. Em Portugal, foi recentemente publicada a norma NP EN ISO 16283-3:2017: “Acústica Medição *in situ* do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção Parte 3: Isolamento sonoro de fachadas “que veio substituir a norma NP EN ISO 140-5 (inicialmente datada de 1998 e revista pela última vez em 2015) e que define a metodologia experimental para determinar através de ensaios acústicos *in situ* o isolamento à transmissão de sons aéreos de fachadas. São estas normas que os laboratórios de ensaios acústicos acreditados devem usar para determinar os índices de isolamento sonoro *in situ* e assim comprovar e relatar se se cumprem os valores mínimos regulamentares ou expressos no projeto. O relatório do

laboratório acreditado e o parecer de técnico habilitado, onde se deve mencionar que se cumpriram os critérios de amostragem e os requisitos mínimos exigíveis, são elementos indispensáveis para se poder solicitar a licença de utilização de edifícios novos ou reabilitados.

Na norma NP EN ISO 16283-3:2017, na qual se foca este trabalho, de modo geral são definidos dois procedimentos diferentes para o ensaio *in situ*, um procedimento geral e um procedimento para baixas frequências. A legislação atual não impõe ainda requisitos no caso de isolamento de fachadas, quanto às baixas frequências, nem obrigação de efetuar o ensaio segundo este procedimento. A norma impõe que o procedimento deverá ser seguido no caso de compartimentos com menos de 25m³ sem especificar o uso destes compartimentos. Se se considerar o pé direito médio em edifícios de habitação ou serviços a norma refere-se, portanto a compartimentos de pequenas dimensões, de cerca de 9m². Intuitivamente chega-se à conclusão que a ocupação, de compartimentos com esta dimensão ou volumetria, será sempre pontual e residual face ao uso geral do edifício pelo utilizador e que os seus requisitos de conforto acústico para estes espaços não serão elevados exceto em alguns casos muito específicos. A legislação atual nem sequer prevê requisitos para este tipo de compartimentos a nível de isolamento a sons aéreos em fachada, pois de modo genérico apenas impõe requisitos para quartos, zonas de estar, escritórios, zonas que requerem concentração, ou seja, quase sempre divisões com usos não compatíveis com a volumetria referida na norma. Mas uma vez que a legislação atual nem refere as divisões, nem prevê requisitos para baixas frequências ou que seja expectável que uma grande percentagem de utilizadores destes espaços solicite grande conforto acústico para os mesmos, optou-se por não estudar com mais pormenor este procedimento.

Esta norma veio clarificar alguns pontos em relação à anterior, como a aplicação em campo não difuso, a presença do operador no decorrer da medição e o modo de manuseamento do microfone. Mas por outro lado, a norma continua a deixar em aberto outras situações, como os procedimentos que podem ser seguidos no caso de não se poder cumprir exatamente a norma nos seus requisitos, para orientação e distância mínima da fonte até à fachada, ou da posição do microfone. Resumindo, este trabalho pretende então fazer um breve enquadramento, apresentação da norma NP EN ISO 16283-3 e estudar alguns casos práticos em que se tentou determinar o isolamento sonoro de fachadas, usando o procedimento normalizado e usando igualmente procedimentos alternativos, com pequenos desvios à norma, simulando assim as situações reais frequentes, em que não se consegue cumprir todos os requisitos da norma.

1.2 Objetivos

Entre 2014 e 2016 foram publicadas a nível europeu as três partes da norma ISO 16283 que estabelecem os procedimentos para as medições *in situ* de isolamento sonoro em edifícios. Neste trabalho pretende-se referir de forma sucinta algumas das principais diferenças introduzidas com estas novas normas, face às normas anteriores em vigor, da série de normas NP EN ISO 140.

Em Julho de 2017 foi publicada em Portugal a versão portuguesa da última norma da série de normas da ISO 16283: a NP EN ISO 16283-3:2017 “Medição *in situ* do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção Parte 3: Isolamento sonoro de fachadas “ que veio substituir a norma NP EN ISO 140-5 e que define a metodologia experimental para determinar *in situ* o isolamento a sons aéreos de fachadas, conforme é solicitado pela legislação para licenciamento de edifícios novos ou reabilitados. Nesta dissertação pretende-se igualmente referir de modo mais específico as diferenças introduzidas pela nova norma relativamente à NP EN ISO 140-5. Numa primeira análise da nova norma comprova-se que é muito semelhante à anterior, sendo a diferença de maior relevo a introdução de uma nova metodologia para baixas frequências. Optou-se como já se referiu não estudar esta metodologia uma vez que terá, em nosso entender, pouca aplicação prática.

A metodologia da NP EN ISO 16283-3:2017 prevê no seu método global com altifalante uma série de requisitos como distância de afastamento mínima de 7m da fonte à fachada, um ângulo de incidência das ondas sonoras igual a $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ou colocar o microfone no exterior, no centro da superfície da fachada a uma distância de $(2 \pm 0,2)$ m do plano da fachada, que nem sempre se podem cumprir no local por falta de espaço ou outras condicionantes, como já acontecia com a NP EN ISO 140-5. A maior parte das construções são feitas em espaço urbano e como se sabe acabam por ser muito condicionadas pelo falta de espaço. É por isso cada vez mais comum pretender efetuar um ensaio acreditado pela norma e não se conseguir por não cumprir um destes requisitos. Uma das situações mais comum é por exemplo não conseguir garantir a distância mínima de 7m por falta de espaço. Se não se cumprir estes requisitos geométricos atualmente não se pode efetuar um ensaio devidamente acreditado pela norma, como é exigido para efeito de licenciamento da construção pela legislação atual. Este trabalho de dissertação tem por isso igualmente como objetivo tentar avaliar medições efetuadas com pequenos desvios à norma e determinar se é possível sugerir uma metodologia alternativa à da norma nas situações em que não se pode efetuar o ensaio *in situ* por condicionantes geométricas ou outras. Para tal foram efetuados ensaios experimentais de modo a comparar os resultados obtidos por ligeiros desvios à norma, com diferentes posições de equipamentos no exterior das fachadas estudadas, com os resultados obtidos seguindo exatamente os procedimentos previsto na nova norma NP EN ISO 16283-3:2017, de modo a perceber se existe alguma semelhança ou relação entre estes resultados.

1.3 Estrutura da dissertação

Os assuntos abordados nesta dissertação irão desenvolver-se conforme a seguinte estrutura:

- Capítulo 1: Apresentação, descrição sucinta do conteúdo e da estrutura da dissertação com enquadramento e definição de objetivos.
- Capítulo 2: Composto por uma revisão bibliográfica sobre conceitos gerais ligados à norma NP EN ISO 16283-3:2017 e também a parte 1 e 2, o estudo *in situ* do isolamento acústico nos edifícios, a determinação do isolamento sonoro *in situ* nas fachadas; os métodos normalizados desta medição *in situ* e os respetivos parâmetros. Será igualmente referida a importância dos laboratórios acreditados na execução de medição do isolamento acústico através dos ensaios *in situ*. Serão referidos alguns resultados e conclusões de vários estudos e investigações sobre desvios à norma NP EN ISO 16283-3:2017.
- Capítulo 3: Definição dos casos de estudos e respetivos ensaios *in situ* para a definição do isolamento acústico da fachada estudada conforme a norma. Definição da metodologia e execução dos ensaios com pequenos desvios à norma, como variação e orientação de posicionamento da fonte sonora e do microfone.
- Capítulo 4: Apresentação de resultados obtidos e análise do efeito dos pequenos desvios à norma no valor determinado do isolamento sonoro das fachadas estudadas. Exposição e análise dos resultados obtidos à luz da legislação e normas atuais.
- Capítulo 5: Sugestão e estudo de metodologia alternativa ao procedimento geral com altifalante da NP EN ISO 16283-3:2017, com utilização de 3 posições de fonte sonora, a utilizar apenas no caso de condicionantes geométricas no local do ensaio que impeçam a realização do procedimento normalizado.
- Capítulo 6: Apresentação de conclusões e definição de trabalhos futuros possíveis a desenvolver no seguimento deste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais

Simplificando um processo muito complexo, o som irá transmitir-se de duas maneiras nos edifícios. A transmissão unicamente por vibração do ar que será então controlada através do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea. Este tipo de transmissão será aqui mais detalhado uma vez que se pretende aprofundar a determinação de isolamento sonoro *in situ* das fachadas. O outro modo de transmissão, será a transmissão sonora que deriva de ação mecânica nos elementos de construção e que irá ter grande propagação, sendo controlada através do isolamento sonoro a ruídos de percussão. Este modo de transmissão será brevemente referido.

Como já se referiu os requisitos acústicos em projeto são verificados *in situ* através da medição dos diversos índices de isolamento sonoro nos edifícios. Serão descritos, neste capítulo os métodos experimentais de medição que permitem então determinar estes diversos índices. Conforme a legislação em vigor, para efeito de licenciamento os índices de isolamento devem ser determinados, para verificar se se cumprem os requisitos mínimos previstos no RRAE, através de métodos normalizados por laboratórios que deverão ser acreditados pelo Instituto Português da Acreditação (IPAC), como será igualmente referido neste capítulo.

2.2 Evolução da legislação nacional

“Em Portugal, as preocupações referentes ao ruído e aos seus efeitos sobre pessoas, e até animais, têm uma história já relativamente longa. De facto, desde o ano de 1987 que existe no País um quadro legal relacionado com a proteção contra o ruído.” (Patrício, Cadiz 2009). Já passaram quase 10 anos após esta afirmação do atual presidente da Sociedade Portuguesa de Acústica (SPA) em terras dos nossos vizinhos, e de facto já vamos com mais de 30 anos de legislação específica sobre ruído e acústica em Portugal, sendo a primeira legislação pioneira sobre este assunto, publicada o Decreto-Lei 251/87, de 24 de junho que entrou em vigor em 1988. Este decreto lei designou-se como “Regulamento Geral Sobre o Ruído” sendo que já estabelecia os requisitos a serem cumpridos nos edifícios novos, em termos de isolamento sonoro a sons aéreos, de percussão, e que já definia três zonas acústicas (pouco ruidosa; ruidosa; muito ruidosa). Foram introduzidas alterações ligeiras a este documento com a publicação do Decreto-Lei 292/89 de 2 de setembro. O legislador optou depois em dividir a regulamentação

acústica portuguesa em dois ramos: acústica ambiental e acústica de edifícios. Surgiu então o Regime Legal da Poluição Sonora, Decreto-Lei 292/2000, de 14 de novembro (RLPS), dedicado à acústica ambiental, o Decreto-Lei nº 259/2002 sobre o papel dos municípios na polémica matéria do ruído de vizinhança e o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei 129/2002, de 11 de maio (RRAE), vocacionado para acústica de edifícios. Este regulamento impõe requisitos a serem definidos em projeto de condicionamento acústico. Especifica que a verificação do cumprimento destes requisitos seria feita através de vistorias ou de ensaios de avaliação acústica. Foi necessário transpor para Portugal a diretiva, nº 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho, sobre a avaliação e gestão do ruído ambiente com novos indicadores ambientais de ruídos, através do Decreto-Lei 146/2006, de 31 de julho. Consequentemente o RLPS foi então atualizado para incluir estes índices dando assim lugar a publicação do Regulamento Geral do Ruído Decreto-Lei 9/2007 de 17 de janeiro (RGR), ainda hoje em vigor. Seguindo a mesma lógica o RRAE foi igualmente atualizado com a publicação do novo RRAE, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei 96/2008, de 9 de junho, ainda atualmente em vigor. Esta republicação do RRAE altera alguns parâmetros, acrescenta tipologias aos edifícios abrangidos e introduz a figura do laboratório de acústica acreditado, incumbido de verificar o cumprimento dos requisitos legais através de ensaios, definidos através de critérios de amostragem, segundo normas específicas. Os critérios de amostragem referidos no RRAE foram publicados pelo LNEC em 2009, sendo posteriormente revistos em 2012 e 2015.

2.3 Desenvolvimento normativo da NP EN ISO 16283-3:2017

De modo simplificado pode-se definir uma "Norma" para um produto ou serviço como sendo um conjunto facultativo de regras, de características ou diretrizes, estabelecidas consensualmente e aprovadas por um reconhecido Organismo de Normalização.

“Com o progresso inerente à Revolução Industrial do século XIX surgiu a necessidade de criar procedimentos normativos de âmbito industrial. Neste mesmo sentido, foi criado, em 1961, o Comité Europeu de Normalização (CEN) com o objetivo de permitir a elaboração de normas europeias destinadas a promover a competitividade da indústria europeia no mundo e contribuir para a criação de um mercado interno europeu. Este Comité, que em 1975 estabeleceu a sua sede em Bruxelas, está estruturado em comités técnicos (TCs), de acordo com diferentes áreas temáticas específicas.” (Patrício *et al*, Évora 2012). Ainda atualmente o CEN é a entidade europeia responsável pela normalização, tendo depois cada país a incumbência de adotar estas normas europeias. O CEN é composto pelas mais diversas comissões técnicas, TC, que são órgãos técnicos que têm por objetivo a elaboração das normas e a emissão de pareceres normativos nos seus domínios específicos, que se dividem em grupos de trabalho, WG, consoante as áreas a que se destinam. O TC 126 é o grupo dedicado à área da acústica e é dividido em oito grupos de trabalho.

A transposição das normas em cada país passa pelo seu Organismo Nacional de Normalização, ONM, sendo o Instituto Português da Qualidade (IPQ) o ONM português que coordena os diversos Organismos de Normalização Setorial (ONS). Em Portugal o ONS dedicado à acústica é a CT-28, acústica vibrações e choques, presidida desde outubro 2017 pelo Eng.º Carlos Fafaiol segundo informação do boletim informativo da SPA N13, dividida em quatro subcomissões (SC). A SC2 é a subcomissão ligada à acústica de edifícios que tem como funções elaborar pareceres sobre as normas europeias para o IPQ e a tradução destes documentos. As Normas Europeias existem geralmente em três versões para os idiomas oficiais (alemão, francês e inglês) sendo que a tradução para a língua nacional por um dos membros do CEN, notificada ao Secretariado Central, tem o mesmo estatuto que as versões oficiais. Em Portugal a pesquisa e acesso a uma norma europeia e ao seu historial deve ser feita consultando o site do IPQ, através do seu "Catálogo Eletrónico de Normas Portuguesas", podendo assim obter o detalhe do documento normativo pretendido e adquiri-lo diretamente.

A NP EN ISO 16283-3:2017, a norma focada neste trabalho, seguiu então todo o processo atrás mencionado e que se vai aqui pormenorizar. Resumindo as siglas NP EN ISO referem-se então a uma norma portuguesa transposta de uma norma europeia que por sua vez deriva de uma norma internacional, neste caso da responsabilidade da *International Organization for Standardization* (ISO). A NP EN ISO 16283-3:2017 baseia-se então na terceira parte da ISO 16283 (*Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements: Part 3: Façade sound insulation*) adotada na EU como EN ISO 16283-3:2016 em fevereiro de 2016. A EN ISO 16283-3:2016 foi elaborada em colaboração entre o Comité Técnico ISO/TC 43, “Acoustics” e o Comité Técnico CEN/TC 126, “*Acoustic properties of building elements and of buildings*”, com secretariado da responsabilidade da *Association Française de Normalisation* (AFNOR). Foi dada à EN ISO 16283-3:2016 o estatuto de Norma Portuguesa em 2016-04-14, com o respetivo termo de adoção n.º 403/2016, de 2016-04-14. Concluídos os trabalhos de adaptação da CT 28, SPAcústica, e do IPQ a norma foi então homologada através do termo n.º 94/2017, de 2017-05-23 e publicada em 16 de junho de 2017 entrando imediatamente em vigor, com a designação NP EN ISO 16283-3:2017: “Acústica Medição *in situ* do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção Parte 3: Isolamento sonoro de fachadas “. A NP EN ISO 16283-3:2017 substitui então a EN ISO 140-5:1998 e EN ISO 140-14:2004 e respetivas atualizações e versões NP. A EN ISO 140-5:1998 foi transposta pela NP EN ISO 140-5:2009 e NP EN ISO 140-5:2009/Errata1:2011 e revista na sua última versão pela NP EN ISO 140-5:2015 que define as metodologias a aplicar conforme o seu título “acústica; Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção; Parte 5: Medição *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada”. A EN ISO 140-14:2004 foi transposta pela NP EN ISO 140-14:2012 e conforme o seu título “Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção; Parte 14 - Linhas de orientação para situações específicas de medições *in situ* com situações especiais para aplicação das metodologias prevista na EN ISO 140-5. Resumindo a NP EN ISO 16283-3:2017 atualiza as metodologias da NP EN ISO 140-5:2015 e inclui as situações previstas da NP EN ISO 140-14:2012. A NP EN ISO 16283-3:2017 é uma norma facultativa, mas conforme o RRAE se se pretender verificar o respetivo requisito regulamentar, terá de ser feito através de

um ensaio por um laboratório acreditado pelo IPAC, para execução do ensaio conforme esta norma.

2.4 Isolamento sonoro a sons de condução aérea

De modo geral pode-se afirmar que “os sons aéreos que interessam ao conforto nos edifícios podem enquadrar-se em dois grandes grupos: sons de proveniência exterior e sons interiores” (Patrício, Acústica de Edifícios, 2008) sendo assim o isolamento a sons aéreos deverá ser efetuado pelos elementos de compartimentação exteriores e interiores. Por isso a metodologia de medição *in situ* do isolamento sonoro a sons de condução aérea irá dividir-se, para estas duas situações, com a medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada, para sons exteriores e medição de do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos para sons interiores.

De modo simplificado, o procedimento das duas medições é semelhante sendo determinado um nível de pressão sonora L_1 gerado por uma fonte sonora no exterior ou num compartimento emissor e o avaliado o nível rececionado L_2 no compartimento recetor. A diferença entre estes dois níveis sonoros por banda de frequência hertziana f , irá determinar o isolamento sonoro bruto D . O isolamento sonoro bruto será apenas um valor de isolamento teórico e não tem em conta a importância da absorção sonora que ocorre nos compartimentos recetores. O RRAE, na sua versão inicial Dec. Lei 129/02 obrigou então à determinação do isolamento sonoro normalizado D_n , sendo então o valor de isolamento sonoro normalizado corrigido conforme a área de absorção sonora equivalente, para um valor de referência de área de absorção de 10 m^2 designado por A_0 . O RRAE atualmente em vigor, Dec. Lei 96/08, já obriga à determinação de um parâmetro diferente, o isolamento sonoro padronizado D_{nT} . Neste caso o isolamento sonoro bruto é corrigido tendo em conta o tempo de reverberação do compartimento recetor. O tempo de reverberação é medido *in situ* e comparado com um valor de referência T_0 que terá, por exemplo para divisões de habitação comuns, um valor de 0.5s. Esta dissertação conforme o seu título irá focar-se na determinação *in situ* do isolamento à condução de sons aéreos de fachada sendo que neste caso, conforme a NP EN ISO 16283-3:2017, o isolamento sonoro padronizado deverá ser determinado a 2m da fachada, sendo por isto o índice referido como $D_{2m,nT}$. Conforme o exposto a equação (2.1) para a determinação *in situ* dos valores padronizados terá então o seguinte formato:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (2.1)$$

$L_{1,2m}$ é o nível médio de pressão sonora no exterior do edifício, medido a 2m da fachada;

T é o tempo de reverberação do compartimento recetor;

L_2 é o nível médio de pressão sonora no compartimento recetor;

T_0 é o tempo de reverberação de referência, em segundos, para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis, $T_0 = 0,5 \text{ s}$; para compartimentos em que haja tempo de

reverberação atribuível em projeto, o valor de referência a considerar será o do respetivo tempo de dimensionamento;

O RRAE define, para os vários tipos de isolamento os limites, através de um valor único designado por índice de isolamento sonoro. O índice de isolamento sonoro de fachadas será designado por $D_{2m,nT,w}$. O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos será designado por $D_{nT,w}$. Os valores de $D_{2m,nT}$ e D_{nT} serão então medidos para cada banda de frequência obtendo-se assim a curva de perdas de transmissão de energia sonora do elemento de separação, ou seja, a curva de isolamento sonoro.

A norma NP EN ISO 717-1 define o procedimento para se obter o valor do índice de isolamento sonoro a partir dos resultados de uma medição. Deverá sobrepor-se a curva de isolamento sonora obtida através das medições *in situ* à curva de referência da NP EN ISO 717-1. Estas duas curvas serão ajustadas, por patamares de 1 dB (ou 0,1 dB se for para obter incerteza), relativamente à curva dos valores medidos, de modo a que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não superior a 32 dB, para bandas de um terço de oitava. O índice de isolamento sonoro será o valor da ordenada da curva de referência, no caso da banda de frequência de 500Hz.

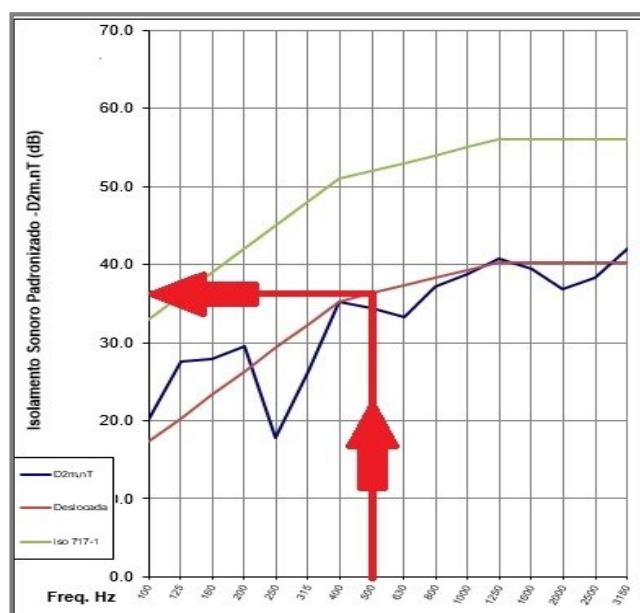


Figura 2-1 - exemplo determinação do índice isolamento sonoro através do ajuste da curva de referência da norma

No caso do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada, em que a sua área translúcida ultrapasse o valor de 60% do total da fachada, o RRAE impõe que seja somado o termo de adaptação C ou C_{tr} ao valor do índice de isolamento sonoro. O valor do índice é então representado na forma $D_{2m,nT,w(C;C_{tr})}$ ou $D_{nT,w(C;C_{tr})}$ para referir que incluem os dois parâmetros que são definidos na norma NP EN ISO 717-1. Pretende-se, com a inclusão destes dois parâmetros, corrigir o valor

final do índice de modo a ter em conta as características do espectro incidente nos elementos ensaiados. O parâmetro C_{tr} é usado quando as características espectrais do ruído de emissão envolvente dominante se assemelha ao espectro de “ruído de tráfego” (mais rico nas baixas e médias frequências, como por exemplo o tráfego urbano ou o tráfego ferroviário a baixa velocidade). O parâmetro C é usado quando as características espectrais do ruído dominante se assemelha ao ruído rosa (por exemplo atividades humanas, brincadeiras de crianças) (Patrício, Acústica de Edifícios, 2008).

As várias normas NP EN ISO 16283 descrevem os procedimentos para as medições *in situ* de isolamento sonoro em edifícios. O isolamento aos sons aéreos e aos sons aéreos de fachadas, são descritos nas normas NP EN ISO 16283-1 e NP EN ISO 16283-3, respetivamente. Os procedimentos de medição *in situ* referidos nestas normas são descritos de forma resumida nas subsecções seguintes.

2.4.1 Norma NP EN ISO 16283-3:2017 : Medição *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas

A norma NP EN ISO 16283-3 veio substituir em 2017 a norma anteriormente em vigor a NP EN ISO 140-5 parte da série de normas ISO 140. A nova norma é muito semelhante à norma substituída, sendo que as diferenças maiores são que é aplicável a compartimentos em que o campo sonoro pode ser ou não aproximado a um campo sonoro difuso, prevê a forma como os operadores podem medir o campo sonoro, utilizando um sonómetro ou microfone na mão além da posição fixa e inclui orientações adicionais que anteriormente constavam da ISO 140-14. A principal novidade é que inclui um novo procedimento adicional para o estudo de para baixa frequência. A NP EN ISO 16283-3 especifica os procedimentos para medição do isolamento sonoro de fachadas na sua totalidade, através do método global e para medição de elementos da fachada, por exemplo porta ou janela, através de métodos parciais. Estes procedimentos são destinados a compartimentos com volumes entre 10 m³ a 250 m³ e para a gama de frequências entre 50 Hz e 5000 Hz. O isolamento sonoro medido é dependente da frequência e pode ser traduzido por um índice numérico unitário, de forma a caracterizar o isolamento sonoro em causa, utilizando os procedimentos referidos na norma ISO 717-1. Nesta dissertação foca-se a metodologia global com altifalante, uma vez que foi o procedimento usado nas medições dos casos de estudo selecionados. O método global destina-se a avaliar a diferença de nível sonoro nas condições reais de tráfego entre o exterior e interior do edifício a 2 m de uma fachada. Este é o método aconselhado quando o objetivo da medição é avaliar o desempenho de toda a fachada, incluindo toda a transmissão marginal, numa determinada posição em relação às vias de tráfego próximas (NP EN ISO16283-3:2017). Em muitos casos as fontes sonoras reais, tráfego rodoviário ferroviário ou aéreo, não conseguem ser usadas, uma vez que o seu volume não permite obter ruídos de tráfego estacionário, recorrendo-se então a uma fonte alternativa para simular estas fontes reais. É o chamado método global com altifalante conforme NP EN ISO16283-3:2017, sendo então a fonte sonora obtida através de um altifalante normalizado, colocado numa posição normalizada em relação à fachada em estudo.

As medições necessárias incluem os níveis de pressão sonora próximo da fachada e no compartimento com a fonte em funcionamento, os níveis de ruído de fundo no compartimento recetor quando o altifalante se encontra desligado e os tempos de reverberação no compartimento recetor (NP EN ISO16283-3:2017). A medição pelo método global com altifalante, utilizada neste estudo, baseia-se então na medição do nível médio de pressão sonora a 2m da fachada ($L_{1,2m}$), produzido pelo altifalante normalizado colocado no exterior do edifício numa ou mais posições, consoante a dimensão da fachada analisada.

O ensaio para ser normalizado deverá ser executado por um laboratório acreditado para tal e deve seguir completamente o procedimento descrito na NP EN ISO16283-3:2017. A fonte sonora, um altifalante normalizado, deverá assim ser posicionada no exterior do edifício obedecendo exatamente aos requisitos da NP EN ISO16283-3:2017 ou seja ser colocada no solo ou à maior altura possível na prática acima do solo, a uma distância “r” mínima de 7 metros, entre a fonte sonora e o ponto central da fachada ($D > 5$ m) garantindo que o ângulo de incidência das ondas seja de 45° , com tolerância de $\pm 5^\circ$, conforme figura da norma abaixo reproduzida. O sinal da fonte sonora deverá ser ajustado para simular uma fonte de ruído branco.

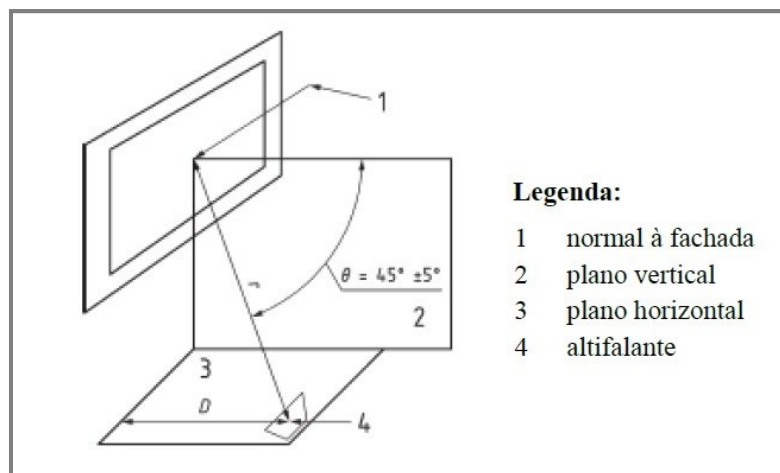


Figura 2-2 - Axonometria do método global com altifalante (NP EN ISO16283-3)

São medidos os níveis sonoros no interior do edifício, no compartimento recetor (L_2) conforme os requisitos da norma. É ajustado o nível de potência sonora da fonte, procurando que o nível de pressão sonora no compartimento recetor seja no mínimo 6dB mais elevado que o nível do ruído de fundo para todas as bandas de frequência. São efetuadas 5 leituras de L_2 , no compartimento recetor originadas pela mesma fonte sonora, nas mesmas condições em 5 posições de microfone independentes, com um tempo de medição fixo por leitura. A distribuição das posições de leitura no compartimento deverá ser uniforme e serem respeitadas as distâncias mínimas em relação ao solo, às paredes ou outras superfícies refletoras. Para poder efetuar a correção prevista na norma, efetuam-se igualmente medições de ruído de fundo no compartimento recetor, imediatamente antes de cada medição de L_2 e em cada uma das posições de sonómetro, para isso utilizadas, com a mesma duração.

Depois usando a mesma fonte sonora, nas mesmas condições e utilizando as mesmas posições empregues para as medições no interior, efetuam-se as medições no exterior. São feitas 3 leituras de L_I com um tempo de medição fixo com o microfone a 2m, com tolerância de $\pm 0,2m$, a partir do plano da fachada e no centro da largura da fachada (de frente à fonte sonora). O microfone deve estar posicionado a uma altura de 1,5m acima da laje do compartimento da fachada ensaiada. O microfone deve ficar a 1m a partir de uma balaustrada ou outra saliência idêntica (por exemplo varandas). Se o componente principal da fachada é um elemento inclinado, como um telhado, deve escolher-se uma posição de medição que fique mais afastada do telhado do que a parte projetada da componente vertical da fachada. O número de posições da fonte sonora ao longo da mesma fachada é determinado consoante o tipo de equipamento usado e da sua qualificação de diretividade que deve ser determinada, com base no índice diretividade, DI_i , consoante o anexo C da NP EN ISO 16283-3:2017. Se o local for muito amplo, ou tiver mais do que uma parede exterior deve ser adotada várias posições de fonte, cada uma em concordância com este procedimento.

2.4.2 Norma NP EN ISO 16283-1: Medição *in situ* do isolamento sonoro em edifícios: isolamento a sons de condução aérea entre compartimentos

A norma NP EN ISO 16283-1 veio substituir em 2014 a norma anteriormente em vigor a NP EN ISO 140-4 parte da série de normas ISO 140. Como já se viu a norma 16283-1 é muito semelhante à norma substituída. Os resultados dos ensaios podem ser utilizados para quantificar, avaliar e comparar o isolamento sonoro a sons aéreos em compartimentos, com ou sem mobiliário, onde o campo sonoro pode ou não ser considerado difuso. Os operadores podem medir o campo sonoro, utilizando um sonómetro ou microfone na mão além da posição fixa. Estes procedimentos são destinados a compartimentos com volumes entre 10 m³ a 250 m³ e para a gama de frequências entre 50 Hz e 5000 Hz. A nova norma atualizou o procedimento de medição quanto à localização do altifalante e sequência de medição.

A NP EN ISO 16283-1 especifica os procedimentos para medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre dois compartimentos utilizando medições de pressão sonora, com pelo menos duas posições da fonte sonora, escolhendo o compartimento com maior volume como emissor, posicionando a fonte de forma a criar um campo o mais difuso possível respeitando as distâncias entre posições de fonte superiores a 1,4m. O afastamento da fonte deverá ser superior a 0,5m dos limites do compartimento e 1,0m da divisória de separação (distância medida entre a superfície da divisória e o centro do altifalante mais próximo). As diferentes posições do altifalante não devem estar localizadas em planos paralelos às superfícies do compartimento emissor que não estejam separados de pelo menos 0,7m. A distância entre diferentes posições (paralelas ao compartimento) deve ser de pelo menos 0,7m. Quando se procede à medição do isolamento sonoro de um pavimento com a fonte sonora no compartimento sobrejacente a superfície inferior da fonte sonora deve estar a pelo menos 1,0m acima do pavimento. O Ajuste do sinal da fonte sonora deve ser feito para ruído branco. O espectro no compartimento emissor não deve apresentar diferenças de nível superiores a 8dB entre bandas de um terço de níveis

adjacentes. Será ajustado o nível de potência sonora da fonte, procurando que o nível de pressão sonora no compartimento recetor exceda o nível do ruído de fundo desejavelmente em 10dB e no mínimo em 6dB em todas as bandas de frequência.

As medições dos níveis sonoros devem ser feitas para pelo menos duas posições de fonte sonora e serem devidamente registadas e rastreáveis, em separado, relativamente a cada uma das posições de fonte sonora. Para a primeira posição do altifalante deve medir-se o nível de pressão sonora no compartimento emissor e depois no compartimento recetor. Deve medir-se o ruído de fundo no compartimento recetor. Após a avaliação dos níveis medidos repete-se o mesmo procedimento para as seguintes posições. Durante as medições, o operador deve assegurar uma distância de um comprimento de braço entre o seu tronco e o microfone fixo. No compartimento emissor deve efetuar-se 5 leituras de $L1$, para cada posição da fonte sonora em 5 posições de microfone fixo independentes com um tempo de medição mínimo. A distribuição das posições do microfone no compartimento deve ser uniforme. Deve verificar-se a distância mínima de 0,5 m entre o microfone e os limites do compartimento, a distância entre o microfone e a fonte sonora superior a 1m e a distância mínima de 0,7m entre posições de microfone. No compartimento recetor deve-se efetuar 5 leituras de $L2$, para cada posição da fonte sonora em 5 posições de microfone independentes com um tempo de medição mínimo de 6 segundos por leitura. A medição do ruído de fundo é efetuada através de medições no compartimento recetor, imediatamente antes de cada medição de $L2$ e em cada uma das posições de sonómetro para isso utilizadas. Quando o ruído de fundo detetado durante as medições for considerado inconstante e descontínuo devem ser utilizados tempos de integração superiores. O operador deve assegurar que o ruído por si gerado, devido ao seu movimento e atividade durante a medição do nível de pressão sonora do sinal, é semelhante ao que ocorre durante as medições do ruído de fundo. Deve ainda estar atento às diversas fontes de ruídos estranhos, das mais diversas proveniências, incluindo do seu próprio movimento, fazendo uma avaliação do ruído no compartimento recetor recorrendo à sua própria audição. A correção de ruído de fundo é semelhante à descrita na subsecção anterior.

Na determinação das posições de fonte e de microfone, devem ser tidas em conta as recomendações do Anexo E à norma NP EN ISO 16283-1, em particular para situações especiais, tais como as que se verificam entre corredores estreitos como espaço emissor e compartimentos regulares, compartimentos de muito diferente volumetria, compartimentos parcialmente divididos por paredes, etc. A qualificação da diretividade da fonte sonora omnidireccional deverá ser feita em intervalos de tempo até 2 anos. Esta verificação assenta sobre o procedimento estabelecido no Anexo A à norma NP EN ISO 16283-1.

2.5 Isolamento sonoro a sons de percussão NP EN ISO 16283-2

A norma NP EN ISO 16283-2 veio substituir em 2015 a norma anteriormente em vigor a NP EN ISO 140-7, atualizando assim os procedimentos para realização de ensaios *in situ* para determinação de isolamento a sons de percussão. Os sons de percussão resultam de uma ação

de choque exercida diretamente sobre um elemento de compartimentação. Quanto mais baixo for o valor do índice de isolamento a sons de percussão de um determinado elemento de compartimentação, melhor é o isolamento que confere (Patrício, 2008). As medições *in situ* têm como objetivo a medição dos níveis de pressão sonora médios do ruído, no compartimento recetor, provocado por uma máquina de percussão normalizada. Os níveis sonoros medidos, L_i , podem ser padronizados (L'_{nT}) se corrigidos com as características reverberantes do compartimento recetor com base no o tempo de reverberação T_0 , com ou normalizados (L'_n) se usarmos valores de referência para área de absorção sonora de referência A_0 . Conforme o RRAE, os requisitos de isolamento ao ruído de percussão serão índices obtidos a partir dos níveis sonoros padronizados, L'_{nT} , que poderão ser calculados, para medições *in situ*, através da expressão:

$$L'_{nT} = L - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (2.2)$$

onde:

L'_{nT} - nível de pressão sonora padronizado (dB/oit ou dB/terço de oitava preferivelmente);

L - nível de pressão sonora média no compartimento recetor (dB/oit ou dB/terço de oitava preferivelmente);

T - tempo de reverberação do compartimento recetor;

T_0 - tempo de reverberação de referência no compartimento recetor (em regra 0,5s);

O índice de transmissão sonora a ruídos de percussão, L'_{nTw} , obtém-se com base na norma NP EN ISO 717-2, de maneira similar aos ruídos aéreos como referido na secção anterior, mas com uma curva de referência apropriada para o isolamento a sons de percussão.

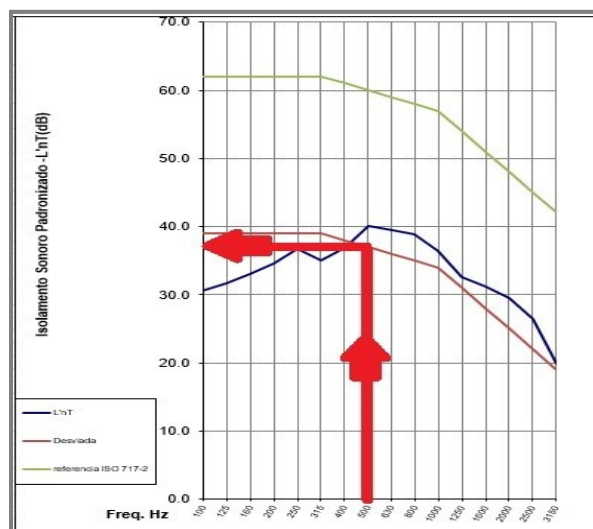


Figura 2-3 - determinação do índice de transmissão percussão através do ajuste da curva de referência da norma

O valor médio do desvio no sentido desfavorável, agora acima da curva de frequência será o mais alto possível sem ir além de 32dB, para bandas de um terço de oitava. O índice de transmissão sonora para sons de percussão L'_{nTW} corresponde ao valor da ordenada da descrição convencional de referência para a banda de frequência de 500Hz.

2.6 Avaliação do ruído de fundo

A avaliação do ruído de fundo deverá ser feita no compartimento recetor para assegurar que os resultados não são afetados por ruídos estranhos ao ensaio. Para se poder efetuar a correção prevista na norma, efetuam-se então medições de ruído de fundo no compartimento recetor, imediatamente antes de cada medição de L_2 e em cada uma das posições de sonómetro para isso utilizadas, com a mesma duração.

O nível de ruído de fundo deve estar, no mínimo, 6dB (de preferência 10dB) abaixo do nível do sinal, combinado com o ruído de fundo. Se a diferença de nível for inferior a 10dB, mas superior a 6dB, devem calcular-se as correções do nível de sinal de acordo com a seguinte equação:

$$L = 10 \lg(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \text{ dB} \quad (2.3)$$

Onde

L é o nível do sinal corrigido, dB;

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

L_b é o nível do ruído de fundo dB.

Se a diferença entre os níveis for menor ou igual a 6dB, em qualquer banda de frequências, deve usar-se a correção de 1,3dB. Deverá ser referido no relatório de ensaio que os valores dos níveis sonoros, em que tal situação aconteça, constituem o limite da medição.

2.7 Avaliação do tempo de reverberação

A medição do tempo de reverberação em salas correntes, para efeitos da padronização dos níveis de medição, terá de ser feita com base na norma NP EN ISO 3382-2. A norma descreve dois procedimentos de medição: o método do ruído interrompido, em que é usado um altifalante criando um campo sonoro que, uma vez atingido um regime estacionário, é desativado abruptamente e o método da resposta impulsiva integrada, usado neste estudo, em que se usa uma fonte impulsiva para excitação da sala, como um balão ou um disparo de uma pistola.

Esta norma preconiza três métodos, método de controlo, método de engenharia e método de precisão, que correspondem a três níveis crescentes de exatidão. No âmbito das normas NP EN

ISO 16283, para todas as suas partes, o método mais apropriado para ensaio *in situ* é o método de engenharia. Neste método para assegurar este nível de exatidão, deve ser garantido um determinado número de pontos de medições. Quando os resultados são utilizados como termo de correção, apenas é requerida uma posição da fonte e três posições de microfone distintas, devendo ser realizados dois decaimentos em cada posição do microfone. (NP EN ISO 3382-2, 2011). Durante as medições do tempo de reverberação, devem permanecer na sala o mesmo número de operadores que estiveram presentes durante as medições dos níveis sonoros no compartimento recetor. O operador deve assegurar, durante as medições, uma distância de um comprimento de braço entre o seu tronco e o microfone fixo.

2.7.1 Método do ruído interrompido

Para se obter a medição do tempo de reverberação do espaço recetor, utilizando o método de “ruído interrompido” com precisão de “Engenharia” nos termos da norma NP EN ISO 3382-2, deverá ser colocada a fonte sonora numa posição, preferencialmente num dos cantos do compartimento, selecionar o tipo de ruído branco e ajustar fonte sonora de modo a garantir um nível de pressão sonora pelo menos 35dB acima do ruído de fundo, em cada banda de frequência. Quanto ao posicionamento do microfone deve-se utilizar três posições de microfone independentes. Em cada posição de microfone deve-se efetuar duas leituras de tempo de reverberação. Deverá respeitar-se a distância mínima do microfone de 1 m das paredes, acima do piso ou de outras superfícies refletoras e uma distância à fonte sonora preferencialmente superior a 2m para compartimentos normais, sendo que se deve igualmente evitar posições demasiado próximas (inferiores a 2m. e não independentes) e posições simétricas.

2.7.2 Método da resposta impulsiva integrada

O procedimento mais comum consiste em efetuar a medição do tempo de reverberação do espaço recetor, utilizando o método da “Resposta impulsiva integrada” com precisão de “Engenharia”, nos termos da norma NP EN ISO 3382-2, sendo a determinação do tempo de reverberação efetuado para o T20, ou em alternativa T30, pela integração inversa de Schröder. Pode usar-se como fonte impulsiva o estouro de um balão de dimensão média regular, ou seja, de dimensão nominal mínima de 20cm. Usa-se uma posição da fonte impulsiva preferencialmente num dos cantos do compartimento. Utiliza-se seis posições de microfone independentes sendo que em cada posição de microfone efetuar-se pelo menos uma leitura de tempo de reverberação. Deverá respeitar-se a distância mínima do microfone de 1 m das paredes, acima do piso ou de outras superfícies refletoras e uma distância à fonte sonora preferencialmente superior a 2m para compartimentos normais sendo que se deve igualmente evitar posições demasiado próximas (inferiores a 2m. e não independentes) e posições simétricas. Durante as medições *in situ*, deve-se verificar, para cada uma das bandas de frequência, se foi obtida uma reta com um bom ajuste visual à curva de decaimento (a qual deverá seguir aproximadamente uma linha reta). Se as curvas de decaimento não forem lineares, tal poderá indicar uma mistura de modos com diferentes tempos de reverberação. Deverá procurar-se solucionar estes casos mediante a realização de medições suplementares, recorrendo a novas posições do sonómetro e/ou da fonte sonora. Havendo casos em que ainda

assim não sendo possível cumprir este requisito, mesmo após o recurso a novas medições, por exemplo devido a dificuldades impostas pelas características inerentes à geometria do compartimento, esta ocorrência deverá ser relatada no relatório de ensaio.

2.8 Comparação NP EN ISO 16283 e NP EN ISO 140

A série de normas NP EN ISO 16283, com as suas partes 1 2 e 3, (normas publicadas em 2014, 2016 e 2017 respetivamente) veio substituir a série de normas anteriormente em vigor a ISO 140, com as suas partes 4, 5, 7 e 14 (normas publicadas em 1998 e 2004 no caso da parte 14). Com a aplicação prática da série de normas NP EN ISO140 chegou-se à conclusão que existiam muitos pontos que estavam omissos ou sujeito a dúvidas. Era necessário substituir esta série de normas e clarificar as dúvidas e limitações relativas às suas aplicações. A série de normas 16283 é semelhante à série de normas substituída, alterando a disposição dos seus capítulos, efetuando a atualização legislativa e introduzindo novos termos (Rosão *et al* 2016). Globalmente, as diferenças maiores são comuns às três partes das normas ISO 16283 sendo que agora são aplicáveis a compartimentos em que o campo sonoro pode ser aproximado, ou não, a um campo sonoro difuso, preveem a forma como os operadores podem medir o campo sonoro, utilizando um sonómetro ou microfone na mão além da posição fixa, acrescentando ainda o procedimento adicional de baixas frequências. As novas normas incluem e atualizam nas suas partes as orientações adicionais que anteriormente constavam da NP EN ISO 140-14. Estes procedimentos são destinados a compartimentos com volumes entre 10 m³ a 250 m³ e para a gama de frequências entre 50 Hz e 5000 Hz (Hopkins, 2015). De seguida vai efetuar-se uma comparação entre cada parte das normas de modo a avaliar com algum pormenor as maiores atualizações e alterações previstas na nova série de normas NP EN ISO16283. Esta análise é feita por comparação entre as versões portuguesas destas normas.

2.8.1 NP EN ISO 16283-3:2017 vs. NP EN ISO 140-5:2015

Como já foi referido, foi recentemente publicado pelo IPQ a norma NP EN ISO 16283-3:2017, sendo que entrou em vigor no nosso país em 15/06/2017, “Acústica - Medição *in situ* do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 3: Isolamento sonoro de fachadas”. Esta norma difere da norma anterior NP EN ISO 140-5, uma vez que é aplicável a compartimentos em que o campo sonoro pode ser aproximado, ou não, a um campo difuso, clarifica a forma como os operadores podem medir o campo sonoro utilizando um sonómetro ou microfone na mão, introduz um novo procedimento adicional para baixas frequências e inclui agora as orientações adicionais que antes faziam parte da norma ISO 140 14. A terceira parte da norma ISO 16283 especifica os procedimentos para determinar o isolamento a sons aéreos de fachadas pelo método global de elementos de fachada pelo método parcial, sempre a partir de medições do nível de pressão sonora. A norma atualizou os procedimentos que se podem agora aplicar a compartimentos com volumes entre os 10 m³ e os 250 m³, para uma gama de frequências entre 50 Hz e 5000 Hz. Com base nos resultados obtidos nos ensaios pode-se quantificar, avaliar e comparar o isolamento a sons aéreos tanto em compartimentos

mobilados como não mobilados. Sendo que o campo sonoro pode ou não ser considerado como um campo difuso. O isolamento a sons aéreos medido, conforme a norma, depende da frequência, sendo que recorrendo à norma ISO 717-1 é convertido num valor único, que caracteriza então o desempenho acústico e que pode ser comparado aos requisitos mínimos da legislação nacional em vigor ou especificados no projeto de condicionamento acústico. Das três normas revistas pertencentes à série da NP EN ISO 16283 foi a única em que não foi revista quanto aos procedimentos de implantação e utilização do equipamento. A NP EN ISO 16283-3:2017 é muito semelhante, à anterior a nível de procedimentos de ensaios, excetuando o novo *Procedimento de Baixas Frequências*, poder-se-á considerar que a atual norma na sua generalidade mantém a mesma filosofia da norma substituída. O procedimento para a baixa frequência deve ser utilizado para as bandas de terço-de-oitava de 50 Hz, 63 Hz e 80 Hz, no compartimento emissor e/ou no compartimento recetor, quando o seu volume for inferior a 25 m³. As medições do nível de pressão sonora são efetuadas próximo dos cantos do compartimento, de modo a ser possível identificar o canto no qual o nível de pressão sonora seja o mais elevado em cada uma daquelas bandas. Este procedimento deve ser realizado: no compartimento recetor com o altifalante em funcionamento, para calcular o nível de pressão sonora em cada canto e no compartimento recetor com o altifalante desligado, para determinar o respetivo nível do ruído de fundo. O ruído deve ser gerado no exterior pelo equipamento normalizado. O nível de pressão sonora de baixa frequência média-energética, nas bandas de 50 Hz, 63 Hz e 80 Hz, $L_{2,LF}$, é calculado através da combinação de L_2 a partir do procedimento geral e $L_{2,Canto}$ obtido a partir do procedimento para baixa frequência. A potência sonora da fonte deverá ser suficientemente elevada de modo a que o nível de pressão sonora no compartimento recetor seja significativamente superior ao respetivo nível do ruído de fundo, (NP EN ISO16283-3).

Uma vez que o objetivo atual apenas é de informar sucintamente sobre algumas diferenças ou até as semelhanças entre as normas apresenta-se no quadro localizado no quadro A.1 do anexo desta dissertação, onde se compara alguns dos aspetos mais relevantes da atual NP EN ISO 16283-3:2017 e da norma que veio substituir a NP EN ISO 140-5, com base na análise direta destas normas e na consulta de artigos técnicos sobre o assunto (Hopkins 2015 e Rosão *et al* 2016).

2.8.2 NP EN ISO 16283-1:2014 vs. NP EN ISO 140-4:2009

As medições de isolamento sonoro *in situ* descritas previamente na norma NP EN ISO 140-4 eram destinadas às situações em que o campo sonoro podia ser considerado difuso. A nova norma NP EN ISO 16283-3:2017 vem ampliar o seu campo de aplicação a compartimentos que possam não ser considerados difusos introduzindo um procedimento para baixas frequências. Esta norma introduz ainda a possibilidade de realizar medições utilizando o microfone ou sonómetro na mão, com varrimento manual ou mecânico contínuo, para além do uso de posições fixas, bem como diversas considerações com respeito à permanência de técnicos na sala durante os períodos de medição. São ainda introduzidas, em anexo à norma, orientações adicionais anteriormente constantes da ISO 140-14. Poder-se-á considerar que a atual norma na

sua generalidade segue a lógica da norma substituída, excetuando um novo *Procedimento de Baixas Frequências*, introduzindo no entanto algumas alterações, nomeadamente na metodologia das medições *in situ* e conseqüentemente no resultado final obtido de isolamento sonoro padronizado. Foi alterado o procedimento com recurso a apenas um altifalante sendo que agora deve-se medir o nível de pressão sonora tanto no compartimento emissor como no compartimento recetor, para a primeira posição do altifalante. Tem de se calcular o nível de pressão sonora média-energética tanto no compartimento emissor como no compartimento recetor e depois proceder-se a eventuais correções para o ruído de fundo. Para esta posição do altifalante, deve-se calcular o isolamento sonoro padronizado. Todo o processo deve ser repetido para a outra posição do altifalante. Deve-se determinar no final o isolamento sonoro padronizado para o conjunto das posições de altifalante. O novo procedimento para a baixa frequência é semelhante ao descrito na subsecção anterior.

Pretende-se apenas informar sucintamente sobre algumas diferenças entre as normas apresentando-se no quadro A.2 no anexo desta dissertação uma tabela que compara alguns dos aspetos mais relevantes da norma NP EN ISO 140-4 e da atual NP EN ISO 16283-1 com base na análise direta destas normas e na consulta de artigos técnicos sobre este assunto (Hopkins 2015 e Rosão *et al* 2016).

2.8.3 NP EN ISO 16283-2:2015 vs. NP EN ISO 140-7:2015

No seguimento das outras normas da série 16283 a norma NP EN ISO 16283-2 mantém na generalidade a lógica da norma substituída, introduzindo, no entanto, algumas alterações, nomeadamente com a possibilidade de usar uma nova fonte sonora. Amplia o seu campo de aplicação a compartimentos que possam não ser considerados difusos introduzindo um procedimento para baixas frequências. Mantém-se as alterações já referidas relativas ao campo difuso e uso do microfone. Além da máquina de percussão já prevista na norma anterior a 16283-2 prevê o uso de outra fonte: uma bola de borracha normalizada. Mantém-se o procedimento geral previsto para a máquina de percussão, mas com alteração no número de posições e de medições a efetuar o que implica um valor final de transmissão sonoro determinado diferente do determinado pela norma NP EN ISO 140-7. A máquina de percussão serve para simular pequenos impactos como queda de objetos e passos com sapatos de salto. O índice único é determinado conforme a NP EN ISO 717-2. A bola de borracha por sua vez destina-se a avaliar impactos mais suaves e pesados, como pessoas a caminhar descalças ou crianças a saltar. Ainda não existe norma ISO para cálculo este novo índice único.

O procedimento para a baixa frequência é semelhante ao já descrito nas outras normas da série. No anexo desta dissertação apresenta-se no quadro A-3 um resumo da comparação dos aspetos mais relevantes da norma ISO 140-7 e da ISO 16283-2 com base na análise direta destas normas e na consulta dos artigos já referidos (Hopkins 2015 e Rosão *et al* 2016).

2.9 A acreditação nos laboratórios

A figura do laboratório de ensaios acústicos acreditado é referida no artigo 34º do Regulamento Geral do Ruído (RGR – Dec. Lei nº9, 2007), que impõe que todos os ensaios e medições acústicas sejam efetuados por laboratórios devidamente acreditados. Todos os laboratórios que pretenderem realizar medições acústicas, com reconhecimento legal, terão de ser acreditados pelo IPAC, organismo nacional de acreditação cuja finalidade é avaliar a avaliação da conformidade e o reconhecimento da competência técnica de entidades para efetuar atividades específicas. O IPAC depende do Sistema Português de Qualidade SPQ (IPAC@, 2018). A acreditação é o procedimento pelo qual um organismo autorizado avalia e reconhece formalmente que um organismo ou pessoa é competente para realizar atividades específicas ou seja corresponde a um reconhecimento técnico.

Os laboratórios de ensaios acústicos deverão cumprir com a norma portuguesa NP EN ISO/IEC 17025-2005, Requisitos Gerais de Competência para Laboratórios de Ensaio e Calibração para poderem ser acreditados pelo IPAC. Esta norma foi revista recentemente estando em vigor desde 15/02/2018 a norma NP EN ISO/IEC 17025-2017-en. A ISO e a *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC) informaram em novembro 2017 num comunicado conjunto que a versão de 2005 da norma continuava válida tendo os laboratórios acreditados um período de 3 anos para adotar a versão da norma de 2017. Neste trabalho a norma descrita será a NP EN ISO/IEC 17025-2005. Esta norma impõe requisitos de gestão, ou seja, todos os procedimentos da qualidade de gestão interna, e requisitos técnicos, ou seja, a capacidade técnica dos funcionários, equipamento, metodologias *etc.* O laboratório com acreditação em vigor tem assim o reconhecimento simultâneo e direto pelo IPAC do seu sistema de gestão da qualidade e da sua competência técnica para a realização dos ensaios. A norma portuguesa NP EN ISO/IEC 17025-2005 impõe de modo geral 15 requisitos de gestão e 9 requisitos técnicos. O laboratório de ensaios terá assim implementado um sistema de gestão que lhe permite controlar a rotina de trabalho e proporcionar aos seus clientes a assistência permanente devida, com o tratamento efetivo de possíveis reclamações. A acreditação e o uso obrigatório do selo de acreditação nos documentos emitidos pelo laboratório são a garantia para todos os intervenientes da identidade legal, do respeito pela confidencialidade dos resultados, da certeza da segurança das práticas e de uma atuação imparcial. São ainda as vantagens da acreditação (Almeida e Pires, 2006) as vantagens organizacionais através do sistema de gestão da qualidade que sofre uma constante revisão e existe assim uma maior disciplina no trabalho de gestão. Estas vantagens também passam por mais valia técnica, pois a acreditação obriga que um laboratório possua pessoal técnico com a competência devida com formação atualizada, as instalações e os equipamentos adequados, os métodos de ensaios devidamente validados e constantes revisões dos procedimentos. Assegura-se assim uma maior garantia na qualidade dos resultados efetuados. Também existem óbvias vantagens éticas pois existe imparcialidade no processo de obtenção dos resultados, uma vez que, o modo de trabalho proporciona critérios

de decisão como também existe a garantia de confidencialidade dos resultados. Decorrem assim vantagens de mercado pois o laboratório acreditado transmite assim a imagem de qualidade como a sua capacidade garantida de resposta num mercado cada vez mais exigente.

2.9.1 Requisitos de gestão

Já se referiu as vantagens óbvias da acreditação que decorrem da obrigação por parte do laboratório acreditado em cumprir com os requisitos de gestão. Pretende-se agora apenas informar quais os 15 requisitos de gestão que a norma portuguesa NP EN ISO/ IEC 17025-2005 impõe de modo geral e que são seguidamente enunciados: Organização; Sistema de gestão; Controlo dos documentos; Análise de consultas; propostas e contratos; Subcontratação de ensaios e calibrações; Aquisição de produtos e serviços; Serviço ao cliente; Reclamações; Controlo de trabalho de ensaios e /ou calibração não conforme; Melhoria; Ações corretivas; Ações preventivas; Controlo de registos; Auditorias internas; Revisões pela gestão.

2.9.2 Requisitos técnicos

A norma portuguesa NP EN ISO/ IEC 17025-2005 impõe os 9 requisitos técnicos que são seguidamente enunciados; Pessoal; Instalações; Condições ambientais ; Métodos de ensaio e calibração e validação dos métodos ; Equipamento ; Rastreabilidade das medições ; Amostragem ; Manuseamento dos Itens a ensaiar ou calibrar ; Garantir a qualidade dos resultados de ensaios e de calibrações; Apresentação dos resultados .Segue um breve apanhado dos requisitos técnicos de maior importância, no âmbito de atuação dos laboratórios de ensaios acústicos em edifícios.

➤ Equipamento

O laboratório deve cumprir as especificações estabelecidas na documentação legal e normativa de referência para todos os seus equipamentos. Terá de apresentar as respetivas evidências de cumprimento e manter registos dos requisitos específicos para cada equipamento.

No laboratório de ensaios de acústica como é sabido o equipamento de medição de maior sensibilidade usado é o sonómetro. O sonómetro deve seguir o previsto no Anexo I à Portaria nº 977/2009 de 1 de setembro, Regulamento do Controlo Metrológico dos Sonómetros e ser submetido a controlo metrológico que obriga à verificação metrológica com periodicidade mínima anual. A norma NP EN ISO/IEC 17025-2005 obriga à calibração do equipamento. Esta verificação e calibração periódica dos sonómetros, é feita por uma entidade de calibração devidamente acreditada para tal pelo IPAC. A obrigação de verificação periódica, no mínimo de dois anos, também se aplica à fonte sonora e máquina de percussão. A máquina de percussão normalizada, deve ser sujeita a verificação de 2 em 2 anos através da mesma entidade. Uma vez que se trata de um equipamento com algum desgaste mecânico deve ser verificado em especial a direção e altura de queda, a cadência de movimentos e análise de desgaste da superfície dos martelos, conforme os requisitos definidos no Anexo A da norma NP EN ISO 16283-2. No caso da fonte sonora, a verificação pode ser feita por procedimento interno efetuando o

procedimento de qualificação da diretividade com base no disposto na norma NP EN ISO 16283-1 e NP EN ISO 16283-3 em particular no seu Anexo A e C, respetivamente.

➤ Métodos de Ensaio e Calibração e Validação dos métodos

O laboratório tem por obrigação garantir e provar, conforme o requisito da norma, que os métodos de ensaio são tecnicamente corretos. O mesmo se aplica à metodologia para tratamento de dados. Segue alguns dos procedimentos que deverão ser seguidos;

- Os laboratórios de ensaios acústico devem participar ciclicamente em ensaios de comparação inter-laboratorial para poder assim avaliar, por comparação com outras entidades acreditadas semelhantes, a qualidade dos procedimentos e os seus resultados finais. A Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal, RELACRE, é a entidade que foi aprovada pelo IPAC para a realização destes ensaios. A RELACRE e faz a representação exclusiva da comunidade de ensaios a nível nacional e internacional, desenvolvendo um papel intermediador nas relações entre os laboratórios e as entidades acreditadoras e prestando serviços de apoio através do estudo, coordenação, dinamização e desenvolvimento de atividades e técnicas de interesse geral dos laboratórios (RELACRE@, 2018). Num laboratório de ensaios todos os seus ensaios acreditados deverão ser alvo de comparação inter-laboratorial uma vez em cada dois anos ou pelo menos em cada ciclo de auditoria, 4 anos.
- Internamente os laboratórios de ensaios acústicos deverão regularmente validar os seus resultados internamente pela comparação dos seus resultados obtidos através do equipamento ou de software específico com comparação de resultados com valores conhecidos ou até verificação recorrendo a cálculo manual.
- Deve ainda ser seguida a norma NP EN ISO 12999-1 e ser feita uma estimativa de incerteza de medição dos ensaios realizados. Tem-se assim em conta as incertezas associadas à realização das medições. A RELACRE está a preparar um guia para cálculo de incertezas para laboratórios de ensaios acústicos atualizados para a série de normas NP EN ISO 16283 (RELACRE @, 2018) com os métodos de cálculo de incertezas para os valores de isolamento a sons de condução aérea padronizados e para os valores do nível sonoro de percussão padronizado.

➤ Apresentação de resultados

A norma define requisitos, quanto ao formato e conteúdo, da apresentação dos resultados que estabelecem os itens a constar obrigatoriamente nestes relatórios de ensaios, garantindo assim que seja transmitida ao cliente toda devida informação com simplicidade e clareza.

➤ Garantia da qualidade e imparcialidade dos resultados de ensaio

O processo de acreditação obriga a requisitos que assegurem a fiabilidade e qualidade dos resultados apresentados, designadamente:

- Comparação de métodos e replicação de ensaios entre técnicos do laboratório
- Plano de ações de treino para os técnicos do laboratório
- Execução dos ensaios de comparação inter-laboratorial

O laboratório deve possuir mecanismos de proteção contra pressões externas ou até conflito de interesse. Por isso os técnicos do laboratório, colaboradores e até auditores deverão assinar uma declaração de imparcialidade.

2.10 Estudos de alternativas à norma

O procedimento normalizado da NP EN 16283-3 para a medição do isolamento acústico das fachadas dos edifícios tem limitações que muitas vezes torna difícil a sua aplicação em casos reais. Neste trabalho de dissertação vai-se focar o ensaio de fachada para o método global com altifalante da NP EN 16283-3. Muitas vezes existem obstáculos ou barreiras físicas no local que impossibilitam colocar a fonte sonora à distância e ângulo de incidência impostos pela norma. Conforme especificado na norma a fonte sonora tem de ter um ângulo de incidência de 45° com uma margem de $\pm 5^\circ$ na fachada e deve estar afastada da mesma pelo menos 7m. O microfone deve ficar a meio da fachada em estudo, afastado de 2m com uma margem de ± 20 cm. Face à pouca margem que prevê a norma na sua execução, pode-se afirmar que a medição dos níveis de pressão externa apresenta vários desafios que são menosprezados nesta norma. De fato, a colocação de uma fonte externa e microfone conforme a norma não tem muita margem de manobra para os casos em que não se consegue cumprir as orientações e distâncias referidas na norma devido a limitações geométricas ou outras condicionantes. Pretende-se saber qual seria o resultado de um ensaio se fosse efetuado com desvios relativos aos requisitos geométricos impostos pela NP EN 16283-3. Qual seria a validade do resultado final assim obtido e será que tem uma grandeza comparável ao valor do isolamento sonoro determinado cumprindo a NP EN 16283-3? Pesquisou-se e consultou-se as publicações técnicas disponíveis sobre este assunto de modo a ver se se consegue deste modo obter uma resposta a estas perguntas.

Dos estudos consultados existem vários que referem que a influência da posição da fonte em relação ao solo e à fachada pode determinar padrões específicos de interferência com a posição do microfone, que podem influenciar o resultado final do ensaio. Num estudo os autores realizaram ensaios, pelo método global do altifalante, em que colocaram a fonte sonora segundo a orientação prevista na norma e segundo a margem mínima e máxima admissível (ou seja 45° , 40° e 50°) e a posição do microfone seguindo a mesma lógica (ou seja, a 2m norma e 1.8m e 2.2m). Obtiveram os vários resultados pelo método global para as várias combinações possíveis e apesar de numas combinações existirem diferenças grandes nalgumas bandas de frequência (até 4 e 6 dB) o valor final do índice global de isolamento acabou por ser pouco influenciado tendo diferenças de 1 ou 2dB em alguns dos casos (Berardi e Martellotta, 2011). Poderia com base neste estudo confirmar-se o previsto na norma, ou seja, as margens aceites atualmente para a execução do ensaio não têm grande influência no resultado final do índice global de isolamento. Em 2015 Olafsen *et al* chegaram a conclusões similares num estudo parecido.

Outras normas internacionais dão mais importância à orientação a impor à fonte sonora como exemplo a norma americana ASTM E966. A filosofia da ASTM E966 é diferente da NP EN 16283-3. Atribui mais importância aos ângulos de incidência na fachada considerando que se se usar apenas um ângulo, o valor obtido seria apenas válido neste caso. Sugere escolher ângulos representativos que poderiam formar um hemisfério. No caso de pretender usar apenas 3 ângulos sugere recorrer a 34° , 60° e 80° . Para obter resultados mais exatos e por ser igualmente mais prático a marcação dos ângulos, a ASTM recomenda como alternativa colocar o altifalante

nos ângulos de a 15°, 30°, 45°, 60° e 75° usando um fator de correção para a medição média na emissão. Yoshimura *et al* (2004) estudaram e comparam várias normas de ensaios, na ótica de fachada com grande percentagem de envidraçados, e chegaram à conclusão que seria preferível a ISO 140-5 propor ensaios com vários ângulos cuja incidência até poderia ser aleatória conforme o local de ensaio. Brutel-vuilmet (2005) estudou, através de ensaios em laboratório, ensaios *in situ* e simulações por software, a influência do ângulo de incidência na determinação do isolamento sonoro. Efetuou vários ensaios com vários ângulos de incidência 0°, 30°, 50°, 70° e 80° e chegou à conclusão a escolha de um ou mais ângulos tinha influência e seria tanto maior quanto mais fraco seria o desempenho acústico da fachada, por exemplo paredes simples, janela de vidros simples etc. Berardi (2013) fez um estudo em que comparou resultados pela NP EN 140-5 e com os obtidos usando as orientações sugerida pela ASTM e conclui que existiam valores discordantes entre ângulos de incidência, concordando por isso que as indicações do ASTM permitem mais flexibilidade na determinação do valor final.

Bote *et al* (2012) estudaram por simulação a influência, no resultado final do ensaio, das características de diretividade da fonte sonora e a sua localização/orientação face à fachada estudada. Chegaram à conclusão que existiam grandes variações nas simulações, e que a fonte ideal teórica poderia ser muito pequena, em teoria poderia ser quase omnidirecional até 5 kHz, o limite da banda analisada pela norma. Concluíram igualmente que esta fonte teórica não teria tão bom desempenho em baixa frequência e que a orientação ótima à fachada seria de 90°. Assim além da implantação e do ângulo de incidência o equipamento usado como fonte sonora também tem grande influência. A NP EN ISO 16283 dá muito importância a este fato pois tem como requisito que a diretividade do altifalante em campo livre seja tal que as diferenças locais no nível de pressão sonora em cada banda de frequências de interesse sejam menos de 5 dB (ou para fachadas acima de 10dB) numa superfície imaginária da mesma dimensão e orientação que o elemento em ensaio. Também impõe que o campo sonoro gerado pelo altifalante deve ser permanente e ter um espectro contínuo no intervalo de frequências considerado. A norma obriga a um procedimento de qualificação dos altifalantes para verificar a diretividade do equipamento em ter uma radiação aproximadamente uniforme e omnidirecional. Já em 2018, Bote enuncia as dificuldades de alguns equipamentos em cumprir estes requisitos e estudou com mais pormenor o uso de altifalante dodecaédrico e o seu desempenho nos ensaios de fachadas. Efetuou ensaios onde colocava sucessivamente a fonte sonora em várias posições afastadas de 5, 7 e 9m e com 4 a 5 ângulos de incidência afastados de 15°. Com base nos resultados obtidos com a média das várias posições chega assim à conclusão que o altifalante melhora o desempenho de cobertura uniforme da fachada, requisito exigido pela NP EN ISO 16383-3, cerca de 5 vezes. Por isso se deduz que efetuando o ensaio com várias posições obteve então resultado mais fiáveis uma vez que melhorou a uniformidade do campo gerado pela fonte sonora. A NP EN ISO 16283-3 obriga a recorrer ao procedimento de qualificação da diretividade no máximo até de 2 em 2 anos. É um procedimento complexo e moroso que não é viável executar com frequência. Nada impede que a fonte perca características entre ensaios sem que o seu utilizador se aperceba, o que pode ser muito problemático porque pode falsear os resultados entretanto obtidos. Segundo Bote, o fato de recorrer a várias posições de fonte com ângulos de incidência diferentes poderia resolver esta situação.

No seu artigo Asensio *et al* (2018) reconhecem a importância da influência das diferentes posições e diretividade da fonte sonora e microfone na determinação do índice sonoro de isolamento. Mas chamam a atenção para a influência dos pontos singulares fracos das fachadas através de resultados obtidos por simulações. As grelhas de ventilação, caixilharias com deficiente vedação e outros pontos singulares são pontos fracos que em muito influenciam o resultado final do ensaio e a sua repetibilidade. Propõem uma nova metodologia que consta de desvio à NP EN ISO 16283-3, por acreditarem obter assim resultados mais estáveis e com maior repetibilidade. O método proposto passa por não respeitar as posições do equipamento imposta na NP EN ISO 16283-3 (orientação, afastamento, localização do microfone) e colocar a fonte a incidir para o ponto mais fraco da fachada e colocar aí também o microfone. O ponto singular mais fraco da fachada a ensaiar passaria assim a definir as posições do equipamento e não apenas o seu eixo como impõe a norma. Este estudo é recente e carece de ser aprofundado tendo os autores previsto mais simulações e ensaios de campo.

Outro assunto que parece relevante de analisar seria a influência da reflexão na fachada ao efetuarmos medições mais próximas ou mesmo no caso de aplicação do microfone diretamente na fachada como previsto no método parcial da norma NP EN 16283-3:2017. Esta norma continua vaga sobre este assunto, sendo que apenas é referido indiretamente, na formula matemática da determinação do índice de redução sonora, onde assume a subtração de um valor constante de 3dB. Tal não acontece com outras normas que aceitam como adquirido o efeito de reflexão na fachada e propõem valores de correção para comparar medições obtidas nas fachadas com as mesmas obtidas em campo livre próximo em condições semelhantes. No caso da avaliação do ruído ambiental, a norma NP ISO 1996-2: 2011 sugere a aplicação de uma correção para as situações em que o microfone se encontre instalado diretamente sobre uma fachada. Poderia assim obter-se o valor do nível de pressão sonora em campo livre ao subtrair o valor de 6dB ao valor obtido com o microfone na fachada. Noutras normas internacionais são referidos valores de correção diferente como no caso da norma Australiana que para medição a 1m da fachada sugere um fator de correção de 2.5 dB como foi verificado num estudo (Mortimer *et al* 2012). A norma Japonesa recomenda as medições do nível de pressão sonora exterior a 1 metro da fachada. A NP EN ISO 16283-3 impõe a medição a 2 metros com uma margem de 20cm impondo apenas as medições a 1 metro de elementos arquiteturais, como saliências ou balaustradas, que possam estar incorporados na fachada. A norma americana ASTM E966 é mais clara sobre este assunto e impõe a subtração de 3dB nas medições externas a 2 m (média de 5 medições em várias posições próximas a uma média de 2m da fachada) e de 6dB nas medições na fachada. Vários autores já estudaram o assunto do valor de correção por reflexão direta na fachada como por exemplo Mateus e Gameiro (2012) que chegaram a conclusão que “a diferença é da mesma ordem de grandeza que a sugerida na norma, estando compreendida num intervalo de confiança entre 4,9 dB e 6,5 dB, com um nível de confiança de 95%. Para a situação de montagem do microfone sobre uma janela, esta diferença situa-se fora desse intervalo de confiança, tendo-se obtido valores entre 3,7 dB e 4,5 dB.” Num estudo semelhante em 2007, Memoli *et al* chegaram a um valor de correção de 5.7 dB.

A norma ASTM E966 tem igualmente uma aproximação diferente na determinação do nível de pressão sonora no exterior, uma vez que assume as interferências de reflexão que podem ocorrer devido à presença da fachada e da localização da fonte sonora, e sugere que seja determinado através de uma média entre cinco ou mais posições que podem variar entre 1.2 a 2.5 m de afastamento da fachada. Um estudo de comparação entre esta metodologia de determinação de nível médio de pressão sonora no exterior para várias distâncias à fachada e a prevista na norma, a distância fixa de 2m, chegou à conclusão que realmente se deve usar uma média com várias posições de microfones por ser o melhor método para minimizar o efeito das interferências nas zonas próximas da fachada (Berardi, 2013).

Resumindo o ensaio pode ser influenciado pelas posições do equipamento no exterior. A NP EN ISO 16283-3:2017 apenas prevê uma posição específica para os equipamentos, com margem reduzida. Diversas normas estrangeiras recomendam usar várias posições de fonte sonora com vários ângulos de incidência à fachada e posição do microfone à fachada mais próximo do que o previsto na norma em vigor no nosso país. A NP EN ISO 16283-3:2017 tem previsto um procedimento com várias posições de fonte, mas apenas para os casos do compartimento ensaiado ter mais do que uma parede ou no caso de a parede ser muito grande. Neste caso o número de posições de fonte deve ser definido com base na diretividade do equipamento usado e na dimensão da parede. Apesar de prever, nestas condições de ensaios, várias posições para a fonte sonora estas deveriam na mesma cumprir os ângulos de incidência e distância definidos na NP EN ISO 16283-3.

Com base na pesquisa e nas leituras efetuadas não se obtém diretamente respostas às perguntas inicialmente formuladas nesta secção. Pretende-se então seguir um procedimento parecido com o previsto na NP EN ISO 16283-3 com a realização de ensaios com várias posições de fontes e outros desvios como diferentes posições do microfone e comparar os resultados assim obtidos com os obtidos através do ensaio normalizado. Os ensaios serão efetuados, em condições reais *in situ*, em casos de estudo uniformes selecionados para este trabalho de dissertação. Os tipos de desvios a estudar neste trabalho serão baseados nestas pesquisas bibliográficas e num primeiro ensaio que irá servir de teste para afinar a escolha final dos desvios a serem estudados com mais pormenor no decorrer desta dissertação.

3 CASOS DE ESTUDO E METODOLOGIA

Neste trabalho de dissertação, pretende-se então estudar com mais pormenor a medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e determinação, através do método global com altifalante, do índice de isolamento sonoro padronizado, exatamente conforme previsto no procedimento normativo descrito na NP EN 16283-3:2017 e também com base em procedimentos alternativos baseados em ligeiros desvios a esta norma.

Após um ensaio de teste, seleccionou-se então três casos de estudos similares aplicando-se o procedimento previsto na norma e repetindo-se este procedimento com uns ligeiros desvios, previamente seleccionados, de modo a poder analisar e comparar os resultados obtidos. Descreve-se nas secções seguintes o procedimento normalizado da NP EN ISO 16283-3:2017 e os procedimentos com desvios à norma, justificando-se igualmente a escolha destes mesmos desvios com uma primeira série de teste *in situ*.

3.1 Descrição dos casos de estudo

Os casos de estudos foram seleccionados de modo a serem minimamente uniformes e poder-se comparar assim os respetivos resultados obtidos. São todos edifícios unifamiliares isolados com sistema construtivo comum recente, com 15 anos no máximo, com parede dupla, caixilharia vidro duplo e sistema de caixa de estores tradicionais. As fachadas são lisas, sem elementos arquiteturais. Não há aberturas para ventilação ou outras. O caso de estudo 1 é ligeiramente diferente dos restantes uma vez que o edifício tinha parede dupla da fachada revestida pelo interior com isolamento do tipo lã mineral revestida a gesso cartonado. O caso de estudo 2 tinha duas janelas de pequenas dimensões, uma ao lado da outra. As condições climatéricas no decorrer dos ensaios foram semelhantes com tempo seco, sem vento e com ruído ambiente fraco. As fachadas ensaiadas situavam-se todas ao nível do rés-do-chão sendo que existia sempre o campo livre necessário para poder executar todos os ensaios sem interferências de obstáculos. O terreno exterior contíguo às fachadas era plano. As condições de absorção do chão eram mais ou menos semelhantes, mas uma vez que o altifalante foi colocado a 1,40m de altura em relação ao solo, este parâmetro não deverá ter muito influência. A altura do altifalante coincidia assim com metade do pé direito e conseqüentemente com o eixo da fachada em estudo otimizando o ângulo de incidência e facilitando a marcação da localização do equipamento no campo, evitando erros e imprecisões no decorrer dos ensaios. A fachada ensaiada pertencia sempre a um compartimento intermédio, com apenas uma parede em contacto com o exterior, tendo sempre uma dimensão inferior a 6 m, permitindo efetuar o ensaio apenas com uma única

posição da fonte sonora omnidirecional, conforme as características de diretividade da mesma. Segue o quadro com as características de cada ensaio.

Quadro 3-1 - quadro resumo tipologia dos casos de estudo

Caso de estudo	Local data	Descrição Fachada	Local recetor	Área fachada	Área envidraçado
CE1	Figueira Foz Outubro 2017	Parede de constituição desconhecida 40cm espessura revestida pelo interior com gesso cartonado- caixilharia alumínio vidro duplo com estores	Quarto 40m ³	12.5 m ²	1.5 m ²
CE2	Portela Gato Dezembro 2017	Parede dupla alvenaria tijolo com 35cm espessura - caixilharia alumínio de abrir - vidro duplo - 2 janelas - com estores	Quarto 50m ³	11 m ²	1.4 m ²
CE3	Antanhol Dezembro 2017	Parede dupla alvenaria tijolo com 37cm espessura - caixilharia alumínio de abrir - vidro duplo - com estores	Quarto 45m ³	15 m ²	2 m ²

As calibrações e verificações metrológicas dos equipamentos usados nos ensaios foram efetuadas no ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade, assegurando assim a fiabilidade dos dados obtidos. A diretividade da fonte sonora foi igualmente ensaiada garantido assim o cumprimento dos requisitos regulamentares para uma fachada até 6m a nível do rés-do-chão. Para a realização dos ensaios deste trabalho, foram então utilizados os seguintes equipamentos devidamente calibrados:

- Sonómetro 01dB Blue Solo
- Calibrador acústico RION NC-74
- Amplificador 01dB Ampli12
- Fonte sonora dodecaédrica 01dB Omni12



Figura 3-1 – Equipamentos utilizados (fonte01dB/Rion)

3.2 Processo de cálculo

Para poder efetuar o cálculo de modo sistematizado e efetuar o processamento dos resultados obtidos desenvolveu-se uma folha de cálculo em Excel. A introdução dos dados é faseada, o que permite apreender os vários passos necessários segundo a norma para atingir o resultado final, que é a obtenção do índice de isolamento sonoro padronizado e dos termos de adaptação espectral. A folha de cálculo efetuada foi devidamente protegida ao nível da alteração de dados e fórmulas de cálculo, ficando apenas acessíveis as células para introdução de dados. Conseguem-se assim evitar erros de preenchimento que podem sempre acontecer devido à repetição desta tarefa de introdução de dados. Os dados são obtidos do sonómetro através da exportação para formato Excel. Fez-se a validação da folha de cálculo através de vários testes e com a comparação direta de resultados com os valores obtidos diretamente no software de cálculo dBati32, do equipamento de medição usado, um sonómetro Solo 01dB.

Como se viu para determinar o índice de isolamento sonoro pela NP EN ISO 717-1 o ajuste da curva de referência é feito por patamares de 1 dB, o que dá lugar a arredondamento e a obtenção de um valor inteiro para este índice. De modo a este estudo não ser afetado por este arredondamento foi calculado, por ajuste à curva por patamares de 0.1dB para todos os casos de estudo, além do valor do índice regulamentar, um índice alternativo com valores à décima de dB para efeito de comparação de valores sem arredondamento. Este índice será designado apenas para efeito deste trabalho por $D_{2m,nT,0.1w}$.

3.3 Metodologia normalizada

Foi aplicada a metodologia prevista na norma NP EN ISO 16283-3:2017 para a medição *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e determinação do índice de isolamento sonoro através do método global com altifalante. Segue então a descrição dos vários pontos da metodologia normalizada a usar nos ensaios das fachadas dos casos de estudos

3.3.1 Condições gerais

A amostragem fica fora do âmbito da acreditação. Sendo que apenas para efeito deste trabalho de dissertação o critério de amostragem usado foi de selecionar compartimentos nos vários casos de estudo com composições e volumetria semelhantes de modo a sistematizar e simplificar as comparações dos vários resultados obtidos.

A realização do ensaio deverá ser acompanhada do preenchimento de folha de registo de campo. A envolvente do edifício deverá permanecer totalmente fechada e durante as medições, não deverá existir qualquer ruído perturbador para além do ruído de fundo em condições normais de utilização.

O comprimento máximo de fachada admissível para uma única posição da fonte sonora usada é de 6 metros para fachadas ao nível de rés-do-chão. Se o local for muito amplo, ou tiver mais do que uma parede exterior devem ser adotadas várias posições da fonte sonora, cada uma em concordância com este procedimento.

Deverá efetuar-se as medições, recorrendo a fita métrica ou medidor laser e guardar-se o respetivo registo, da área total da fachada, área total de vãos na fachada e volumetria da divisão.

Será feita a verificação da calibração, no início dos trabalhos do sonómetro, com auxílio do calibrador acústico

1. Inserir o calibrador cuidadosamente no microfone com o sonómetro desligado, e aguardar cerca de 30 segundos
2. Sustentar sonómetro na posição vertical e ativar sonómetro
3. Confirmar os parâmetros: Referência: 94dB;
4. O sonómetro considera-se calibrado se o valor de LC_{eq} se encontra estabilizado entre os seguintes valores: $93,4 < LC_{eq} < 94,4$ e diferença máxima de 0.5dB entre a calibração inicial e final
5. Desligar o calibrador

Voltar a verificar a calibração sonómetro uma vez finalizados todos os trabalhos de medição.

3.3.2 Posicionamento e preparação da fonte sonora.

- a) Fonte sonora posicionada no exterior do edifício obedecendo aos seguintes requisitos:
 - Fonte sonora colocada à maior altura acima do solo
 - Distância “r” mínima de 7 metros, entre a fonte sonora e o ponto central da fachada ($D > 5$ m). (Ver figura 2-2)
 - O ângulo de incidência das ondas deve ser de $(45^\circ \pm 5^\circ)$
- b) Ajuste do sinal da fonte sonora: Ruído Branco.

3.3.3 Determinação de L_2 – Leituras no compartimento recetor

- Ajustar o nível de potência sonora da fonte, procurando que o nível de pressão sonora no compartimento recetor seja no mínimo 6dB mais elevado que o nível do ruído de fundo, para todas as bandas de frequência
- Efetuar 5 leituras de L_2 , no compartimento recetor em 5 posições de microfone independentes com um tempo de medição mínimo de 6 segundos por leitura
- Distribuição das posições no compartimento de forma uniforme
- Distância mínima de 0,5 m das paredes ou outras superfícies refletoras e acima do piso
- Distância mínima de 0,7m entre posições

Efetuar medições de ruído de fundo no compartimento recetor, imediatamente antes de cada medição de L_2 e em cada uma das posições do sonómetro para isso utilizadas, por um período mínimo de 6 segundos.

3.3.4 Determinação de L_1 – Leituras no exterior

- Efetuar 3 leituras de L_1 com um tempo de medição mínimo de 6 segundos por leitura
- Microfone a $2\text{m} \pm 0,2\text{m}$ partir do plano da fachada e no centro da largura da fachada (de frente à fonte sonora)
- Microfone posicionado a uma altura de 1,5m acima da laje do compartimento em análise

3.3.5 Medição do Tempo de Reverberação no compartimento recetor

Medição do tempo de reverberação do espaço recetor, utilizando o método da “Resposta impulsiva integrada” com precisão de “Engenharia”, nos termos da norma NP EN ISO 3382-2:

- a) Preparação do sonómetro
 - Colocar sonómetro em medição de tempo de reverberação com resposta impulsiva
- b) Preparação da fonte.
 - Utilizar como fonte impulsiva o estouro de um balão de dimensão média regular
 - Posicionamento da fonte: Uma posição da fonte impulsiva (nota *a*) da *tabela 1* da norma NP EN ISO 3382-2) preferencialmente num dos cantos do compartimento
- c) Posicionamento do microfone
 - Utilizar três posições de microfone independentes. Em cada posição de microfone efetuar pelo menos uma leitura de tempo de reverberação
 - Distância à fonte sonora preferencialmente superior a 2m e nunca inferior a $d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{340\hat{T}}}$; em que V é o volume em metros cúbicos e \hat{T} o tempo de reverberação esperado em segundos
 - Distância mínima de 1 m das paredes, acima do piso ou outras superfícies refletoras
 - Evitar posições demasiado próximas (não independentes) e posições simétricas

3.3.6 Tratamento dos dados

Os dados obtidos no sonómetro são transmitidos para o computador. É efetuada a análise dos dados de medição com vista à determinação do respetivo índice de isolamento e emissão de resultados de ensaio. As incertezas de medição associadas a este ensaio são determinadas de acordo com a norma NP EN ISO 12999-1.

3.4 Metodologia com desvios à norma

3.4.1 Escolha dos desvios

Após estudo da norma e das pesquisas mencionadas na secção 2.10 resolveu-se efetuar um ensaio para servir de teste e para escolher os desvios a serem estudados neste trabalho. Efetuou-se um teste com vários ensaios em abril de 2017, na Marinha das Ondas, Figueira da Foz, num edifício unifamiliar isolado, de construção corrente e recente, numa divisão do rés do chão, com terreno plano em campo livre. Efetuou-se o ensaio normalizado, seguindo todo o procedimento descrito na secção anterior, com fonte sonora afastada a 7m, ângulo de incidência a 45° e o microfone a 2m da fachada. Conforme o quadro seguinte obteve-se um valor para o índice de isolamento sonoro da fachada $D_{2m,nT,w}$ de 32dB. Além deste ensaio efetuaram-se mais 11 ensaios com vários desvios à norma. A fonte sonora foi então deslocada para posições a 5.65m e 4.24m da fachada. Foi igualmente feita a leitura do nível de pressão sonora à distância de 1m e 0.5m da fachada. Apresentam-se no quadro seguinte os resultados obtidos. Foi com surpresa que se obteve resultados bastante próximos pois como se pode ver a média dos resultados obtidos apenas difere 0.1 dB do valor normalizado e em todos os ensaios o valor máximo de desvio era de 2 dB. Esperava-se uma alteração maior do índice $D_{2m,nT,w}$ sobretudo com aproximação da fonte e do microfone à fachada, mas mesmo na situação mais desfavorável, que seria a fonte colocada a 4.24m da fachada e o microfone a 0.5m, só se verificou 1 dB de diferença face ao valor do índice normalizado, $D_{2m,nT,w}$.

Quadro 3-2 - Índices de isolamento sonoros - 12 desvios no ensaio teste

$D_{2m,nT,w}$	ensaio teste: ângulo incidência 45°			
32 dB	L2	L1	L05	médias
F 7	32	32	32	32.0
F5,65	33	31	31	31.7
F4,24	33	32	33	32.7
médias	32.7	31.7	32.0	32.1 dB

Também não se verifica nenhuma tendência particular através do gráfico seguinte sem ser que a posição da fonte a 7m de distância da fachada é a única que não apresenta variação no valor do índice normalizado, $D_{2m,nT,w}$. Comprovou-se então que a fonte sonora usada consegue manter as características de diretividade e uniformidade mesmo quando se aproxima da fachada.

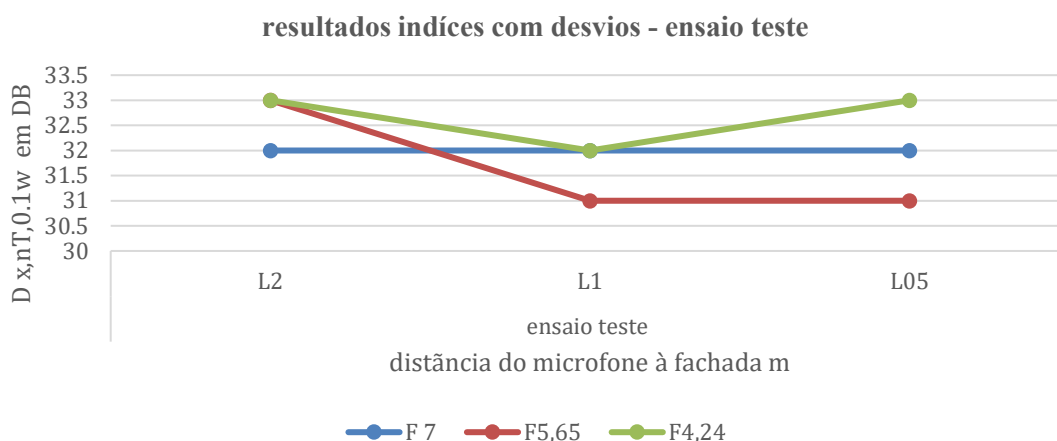


Figura 3-2 -Resultados índices isolamento sonoro com desvios no ensaio teste

Face à pesquisa anterior e aos resultados obtidos no ensaio de teste, optou-se por decidir analisar os seguintes desvios à norma, por os achar relevantes para os resultados finais expectáveis dos ensaios:

- Determinação do nível de pressão sonora $L1$ através da média de 5 posições em relação à fachada. Para posições com distância média à fachada de 2m, 1m, 0.5m e 0m.
- Variar o ângulo de incidência das ondas sonoras da fonte sonora, em relação à fachada, para ângulos de 30°, 45° e 60°. Variar a distância à fachada da fonte sonora para distâncias de 7, 5.65m e 4.24m.
- Efetuar o cálculo do índice com a precisão geralmente usada para o cálculo da incerteza, 0.1 dB, de modo a verificar se o arredondamento feito conforme a norma tem ou não influência na comparação de resultados

3.4.2 Descrição da metodologia com os desvios adotados

A metodologia geral é semelhante ao procedimento normalizado já descrito. Só serão efetuados desvios à norma nas orientações e posições da fonte sonora e/ou microfone no exterior das fachadas em estudo. De modo a poder ter casos de estudo similares, e uma vez que não se tinha informações sobre os coeficientes de absorção do revestimento dos solos, optou-se por usar um altifalante, omnidirecional dodecaédrico, colocado o mais alto possível conforme sugere a norma. Colocou-se então o altifalante a uma altura de 1,4m acima do solo que corresponde igualmente a cerca de metade do pé direito médio dos compartimentos dos casos de estudo. Este procedimento otimizou o ângulo de incidência e facilitou a definição geométrica, marcação de distâncias e orientação no local. A metodologia a usar no caso de estudo 1, **CE1**, será então semelhante à normalizada já descrita na secção 3.1 excetuando os desvios ao ponto 3.1.7 indicados de seguida:

➤ **Desvio CE1 passo 3.1.7: Determinação de L1 – Leituras no exterior**

- D1: Colocar a fonte segundo várias orientações 30° 45° 60°
- D2: Colocar a fonte a várias distâncias da fachada 4.24m, 5.65m e 7m

- D3: Microfone a diversas posições da fachada, 2m, 1m, 0,5m e 0m, a partir da fachada e no centro da largura da fachada (de frente à fonte sonora) conforme figura abaixo.
- D4: Efetuar 5 leituras de $L1$ em 5 posições diferentes com um tempo de medição mínimo de 6 segundos por leitura conforme figuras abaixo. Este tipo de medição será designado como $L'x$.

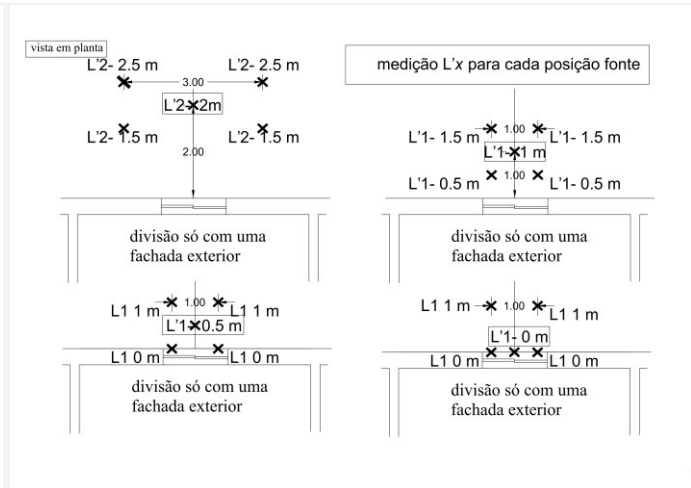
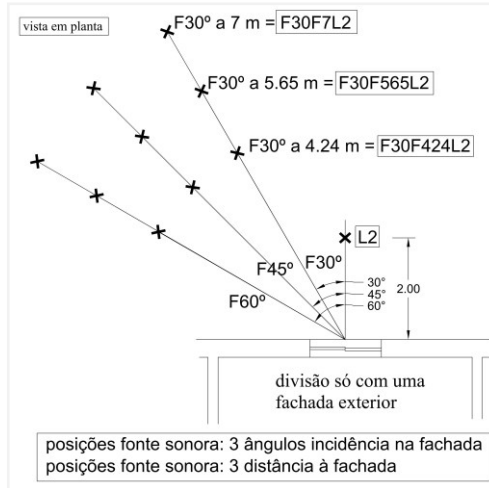


Figura 3-3 -planta com definição dos desvios a ensaiar na fonte: ângulo e distância à fachada

Figura 3-4 -planta com definição dos desvios a ensaiar no microfone: localização das 5 posições de leitura consoante a distância à fachada

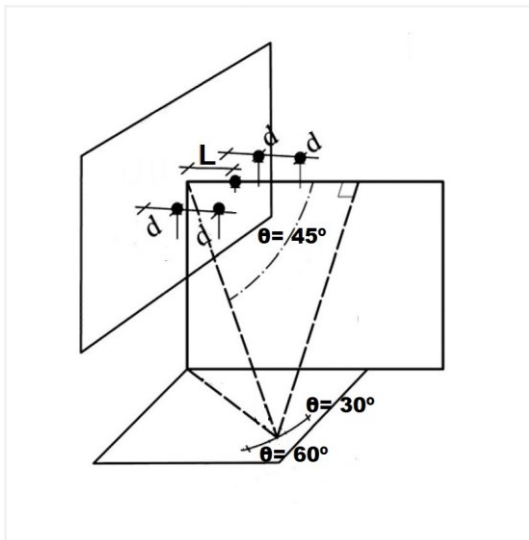


Figura 3-5 - axonometria desvios caso de estudo 1

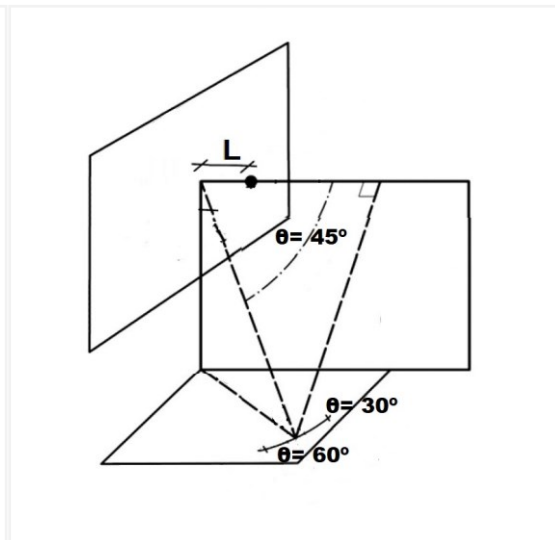


Figura 3-6 - axonometria desvios caso de estudo 2 e 3

No caso de estudo 1, **CE1**, foi necessário efetuar medições diretamente na fachada. Seguiu-se as recomendações da norma para o método parcial com altifalante para medições do nível de pressão sonora no exterior na superfície do elemento em ensaio. O microfone foi então colocado diretamente na fachada, com o seu eixo paralelo ao plano da fachada e dirigido para cima, fixo de forma segura com fita cola forte.

O desvio à metodologia normalizada a usar nos casos de estudo 2 e 3, **CE2** e **CE3**, será então semelhante à usada no **CE1**, mas com menos desvios em relação à norma:

- **Desvio CE2 e CE3 passo 3.1.7: Determinação de L1 – Leituras no exterior**
 - D1: Colocar a fonte segundo várias orientações 30° 45° e 60°
 - D2: Colocar a fonte a várias distâncias da fachada 4.24m, 5.65m e 7m
 - D3: Microfone a diversas posições da fachada, 2m, 1m. e 0.5m, a partir do plano da fachada e no centro da largura da fachada (de frente à fonte sonora). Este tipo de medição será designado como **L_x** (x=distância em m.).

4 RESULTADOS

Face ao número reduzido de casos de estudo, optou-se por não fazer um tratamento estatístico dos dados obtidos. Também se optou, pelo mesmo motivo, por não analisar os resultados por bandas de frequências, mas sim pelo valor do índice de isolamento sonoro, e sem considerar os termos de adaptação espectral C ou C_{tr} . Como se viu, além deste índice recorreu-se a um índice alternativo para efeito de comparação, com valor dado à décima de dB, para evitar erros de análise devido ao arredondamento regulamentar, à unidade de dB. Os casos de estudo têm pelo menos em comum o ensaio relativo ao cálculo do índice regulamentar, $D_{ls,2m,nT,w}$, conforme a NP EN ISO 16283-3:2017 e NP EN ISO 717-1 e mais 26 ensaios com desvios relativamente à norma. Face ao número de ensaios por cada caso de estudo, além de tabelas resumo dos valores calculados optou-se por efetuar de modo expedito uma análise gráfica dos dados obtidos.

Segue um índice resumido com exemplos das designações usadas nas tabelas e gráficos para facilitar a leitura dos dados apresentados:

- **CE1**: caso de estudo 1
- L_I : nível médio de pressão sonora no exterior do edifício
- **L1**: desvio à norma nível médio de pressão sonora no exterior do edifício obtido à distância de 1 m da fachada (com 3 medições conforme a norma)
- **F45F7L2**: fonte sonora colocada a 45°, a 7m de distância da fachada sendo os valores de nível médio de pressão sonora obtidos a 2m da fachada (com 3 medições como previsto na norma). Esta situação corresponde ao procedimento do ensaio normalizado da NP EN 16283-3:2017
- **F30F56L1**: fonte sonora colocada a 30° a 5,65m de distância da fachada sendo os valores de nível médio de pressão sonora no exterior obtidos a 1m da fachada (com 3 medições como previsto na norma). Esta situação é por isto um exemplo dos ensaios com desvios à norma efetuados
- **F45F7L'2**: fonte sonora colocada a 45° a 7m de distância da fachada sendo os valores de nível médio de pressão sonora no exterior obtidos com desvio à norma com posição média a 2m da fachada, mas usando uma média de 5 posições diferentes
- **L05**: nível médio de pressão sonora no exterior medido a 0.5m da fachada (com 3 medições conforme a norma)
- **L'1**: desvio à norma na medição do nível médio de pressão sonora no exterior a uma posição média de 1m da fachada usando uma média de 5 posições diferentes

4.1 Resultados caso de estudo 1

Além do ensaio normalizado, no caso de estudo 1, foram realizados mais 71 ensaios com os ligeiros desvios à norma já referidos. Os 72 resultados, no quadro seguinte, têm um valor médio do $D_{Is,xm,nT,0.1w}$ de 42dB o que daria em média uma diferença de 1.2dB para o valor da norma por arredondar $D_{Is,2m,nT,0.1w}$ de 40.8dB. Se compararmos os resultados obtidos entre a medição de nível médio de pressão sonora no exterior baseado na NP EN ISO 16283-3:2017 com a medição alternativa L' (com média de 5 leituras em posições diferentes) temos uma diferença média de 0.2 dB. Se não se considerar as medições $L0$ e $L'0$ que são complicadas de se efetuarem e que têm por isso mais incerteza associada ao resultado obtido, obteríamos exatamente o mesmo valor médio de 42.1dB, nas duas situações. Conclui-se que a medição alternativa designada por L' , do nível médio de pressão sonora no exterior com base em média de 5 leituras em 5 posições diferentes, não tem neste caso grande influência chegando até a valores médios totais iguais. Se não considerarmos as leituras L' na fachada e a 0,5m, devido a maior incerteza nos resultados obtidos, chega-se à conclusão que os valores obtidos são em média de cerca de 1dB superiores aos obtidos pela medição do nível médio de pressão sonora no exterior segundo a norma. A diferença entre o valor obtido segundo a norma e a medição alternativa L' de nível médio de pressão sonora no exterior é igualmente de 1dB. Os valores de leitura na fachada e a 0.5m da mesma não são fáceis de obter e comprova-se que sobretudo a 0.5m obteve-se valores fora da média, o que confirma que além da dificuldade da leitura o efeito de interferência no campo sonoro e reflexão na fachada pode contaminar os resultados obtidos. O valor, segundo a norma, do índice de isolamento sonoro seria então de 40 dB sendo que a média das medições daria 42dB, ou seja, 2dB de diferença em média. A diferença mais elevada entre os resultados obtidos e o valor da NP EN ISO 16283-3:2017 é de 5dB.

Quadro 4-1 - Índices de isolamento sonoros - 72 ensaios no Caso Estudo 1

$D_{2m,nT,0.1w}$	L2			L1			L0.5			L0		
40.8	F30°	F45°	F60°	F30°	F45°	F60°	F30°	F45°	F60°	F30°	F45°	F60°
F 7	40.8	40.8	43.5	39.3	40.7	41.6	40.8	40.8	43.5	39.3	40.7	41.6
F5,65	41.5	45.1	44.6	40.6	42.8	42.7	41.5	45.1	44.6	40.6	42.8	42.7
F4,24	43.8	41.9	40.1	41.9	42.4	40.9	43.8	41.9	40.1	41.9	42.4	40.9
med. geral	41.9	média	42.5		média	41.4		média	42.5		média	41.4

$D_{xm,nT,0.1w}$	L'2			L'1			L'0.5			L'0		
41.8	F30°	F45°	F60°	F30°	F45°	F60°	F30°	F45°	F60°	F30°	F45°	F60°
F 7	43.1	41.8	43	41.2	41.5	42.2	38.8	42	39.9	40.6	41.7	42.8
F5,65	43.6	45.1	43.7	41.6	43.7	42.6	39.8	42.8	41.6	40.8	44.1	43.1
F4,24	45.2	43.5	42.2	43.5	42.6	42	38.8	40.3	40.7	42	42.2	41.4
med. geral	42.1	média	43.5		média	42.3		média	40.5		média	42.1
dif. Geral	0.2	Dif.	1.0		Dif.	0.9		Dif.	-1.9		Dif.	0.6

As próximas análises do caso de estudo 1 foram feitas apenas para o caso dos 26 desvios ensaiados com determinação do nível médio de pressão sonora no exterior, feito apenas com base no procedimento da NP EN ISO 16283-3:2017, e não se analisou o valor de L_0 de modo a poder comparar estas análises com as do casos de estudo 2 e 3. O gráfico de linhas seguinte representa no eixo das ordenadas os vários valores de isolamento obtidos, consoante a orientação do ângulo de incidência à fachada e distância da leitura dos níveis de pressão sonora à fachada indicados nos eixo das abcissas. As linhas coloridas, como indicado no gráfico, representam a distância da fonte à fachada ensaiada, sendo a linha a tracejado referente ao valor do índice de isolamento obtido conforme a NP EN ISO 16283-3:2017. Como era de esperar ao colocar a fonte sonora à distância especificada na norma, 7m, obtém-se valores mais próximos do resultado normalizado. Estranha-se o fato, por não ser o expectável, que a fonte na posição mais próxima da fachada, 4,24m, obteve melhor desempenho em relação ao valor da NP EN ISO 16283-3:2017 do que na posição intermédia, 5,65m. Como se observa, obtém-se sobretudo valores acima do resultado normalizado conforme a NP EN ISO 16283-3:2017.

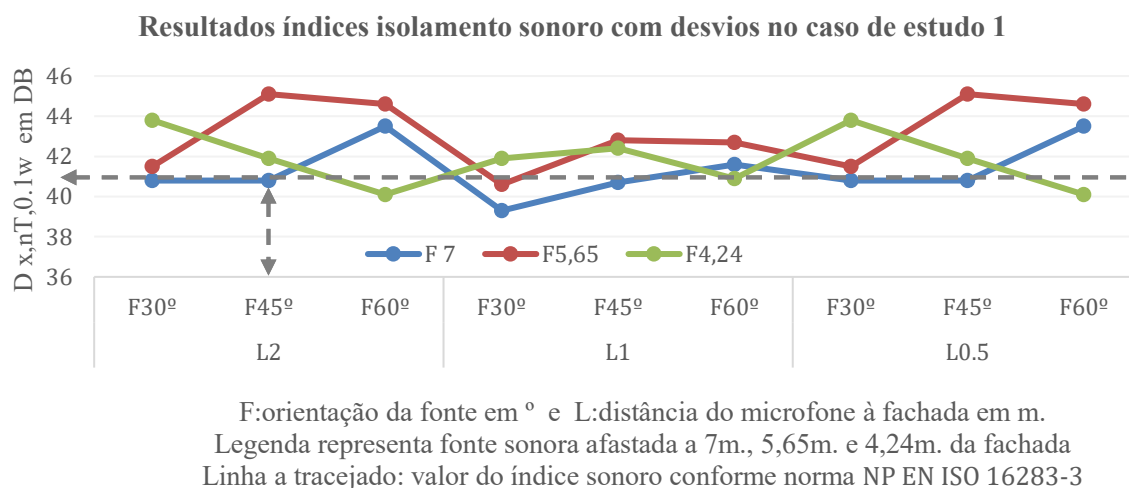


Figura 4-1 - Resultados de índices de isolamento sonoros com desvios no caso de estudo 1

Uma vez que nestes casos de estudo temos de comparar diversas variáveis recorreu-se igualmente ao diagrama de Kiviat seguinte, sendo que estes diagramas facilitam a análise gráfica expedita neste tipo de situações. O círculo a tracejado representa o valor do índice de isolamento obtido conforme a norma. Nota-se aqui novamente um pior desempenho, quando se coloca a fonte à distância de 5,65, o que não era expectável, e estranha-se de novo o menor desempenho em vários desvios à norma no ângulo de incidência à fachada de 45°.

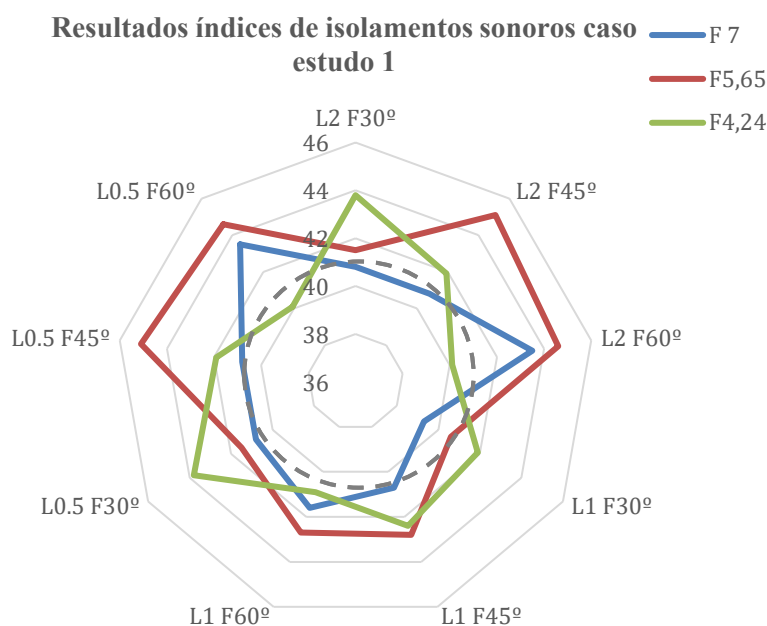


Figura 4-2 - Resultados índices de isolamento sonoro caso estudo 1 (diagrama de Kiviat)

4.2 Resultados caso de estudo 2

Além do ensaio normalizado, no caso de estudo 2, foram realizados mais 26 ensaios com os ligeiros desvios à NP EN ISO 16283-3:2017 já referidos. Os 26 resultados obtidos têm um valor médio de 32.8dB o que daria em média uma diferença de 0.7dB para o valor da NP EN ISO 16283-3:2017 por arredondar de 33.5dB assinalado a verde no quadro seguinte. O valor segundo a NP EN ISO 16283-3:2017 do índice de isolamento sonoro padronizado seria então de 33 dB sendo que a média das medições daria 32dB, ou seja, 1dB de diferença em média. A diferença mais elevada entre os resultados obtidos e o valor da norma é de cerca de 3dB.

Quadro 4-2 - Índices de isolamento sonoro - 27 ensaios no caso estudo 2

D2m,nT,0.1w	L2			L1			L0.5		
	F30°	F45°	F60°	F30°	F45°	F60°	F30°	F45°	F60°
33.5									
F 7	33.1	33.5	32.8	31.7	31	32.1	30.1	30.3	31.7
F5,65	35	32.9	33.7	33.5	31.7	34	31.8	29.6	33.5
F4,24	34.9	34	34.3	33.9	33.9	34.2	32	34.3	31.6
m. geral	32.8	média	33.8		média	32.9		média	31.7

O gráfico de linhas seguinte representa no eixo das ordenadas os vários valores de isolamento obtidos consoante a orientação do ângulo de incidência à fachada e a distância da leitura dos níveis de pressão sonora à fachada, como especificados nos eixos das abcissas. As linhas coloridas, como indicado, representam a distância da fonte à fachada ensaiada, sendo que a linha a tracejado é referente ao valor do índice de isolamento sonoro padronizado a 2m da fachada com altifalante, $D_{Is,2m,nT,w}$, obtido conforme a NP EN ISO 16283-3:2017. Como se observa, ao contrário do que aconteceu com o caso de estudo 1, obtém-se muitos valores abaixo do $D_{Is,2m,nT,w}$ conforme a NP EN ISO 16283-3:2017. Nota-se que, desta vez a fonte na posição mais próxima da fachada, 4.24m, obteve o melhor desempenho em comparação com valor da norma. Mas a posição intermédia, 5.65m não ficou muito atrás com valores relativamente próximos. Estranha-se que neste caso de estudo o pior resultado foi obtido com a fonte posicionada a 7m.

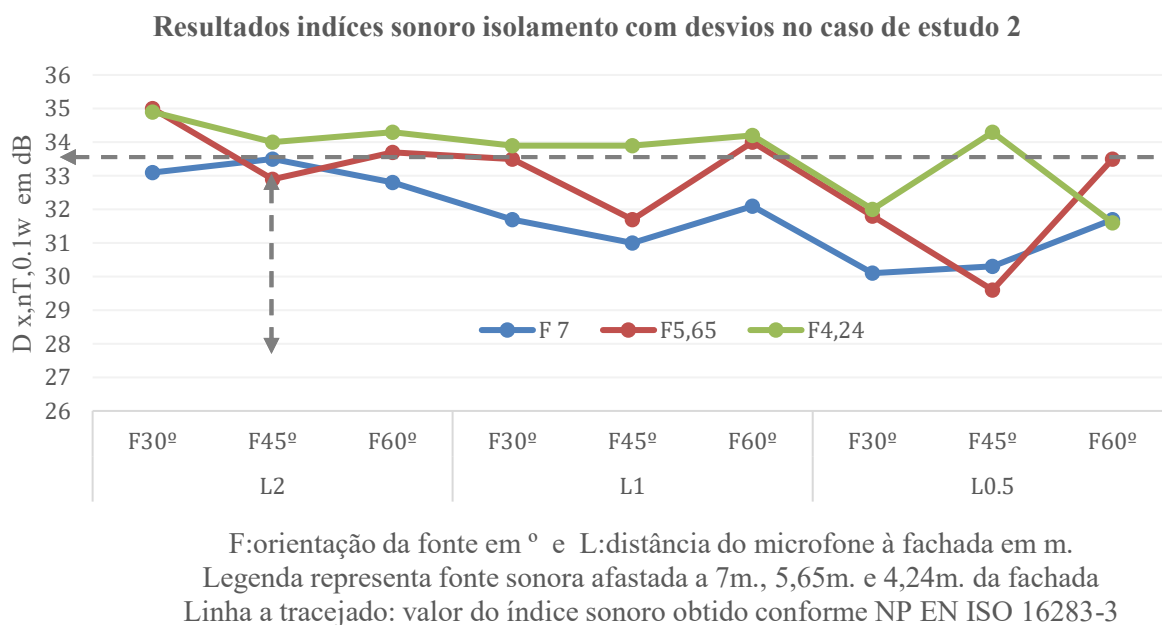


Figura 4-3 - gráficos lineares índices isolamento sonoro caso estudo 2

Segue o diagrama de Kiviat obtido com os dados do caso de estudo 2. O círculo a tracejado representa o valor do índice de isolamento obtido conforme a NP EN ISO 16283-3:2017. Nota-se aqui mais claramente que os resultados obtidos para a fonte a 7m e 5,65m são compatíveis e seguem a mesma lógica. Nota-se novamente como no caso estudo 1 um menor desempenho em vários ensaios de desvios à norma no ângulo de incidência à fachada de 45°.

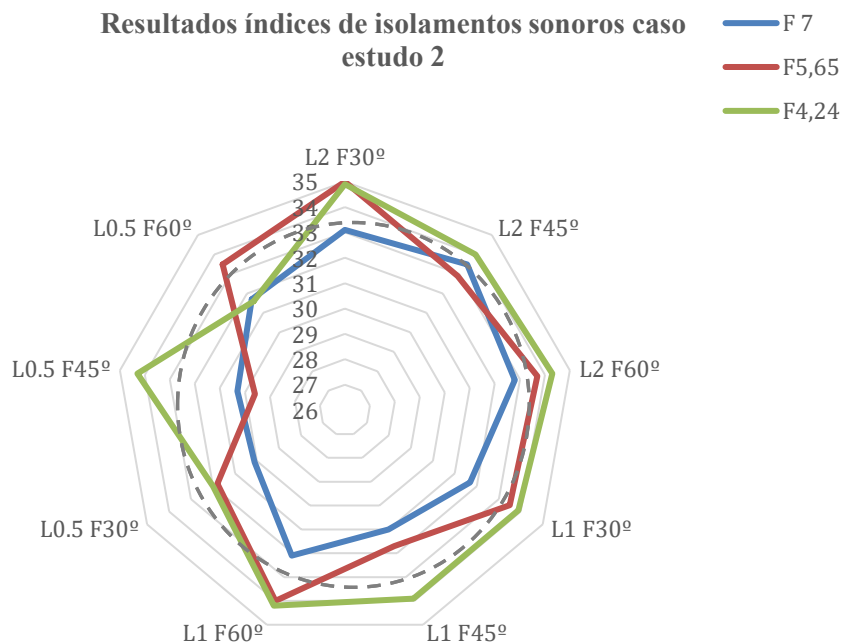


Figura 4-4 - Resultados índices de isolamentos sonoros caso estudo 2 (diagrama de Kiviat)

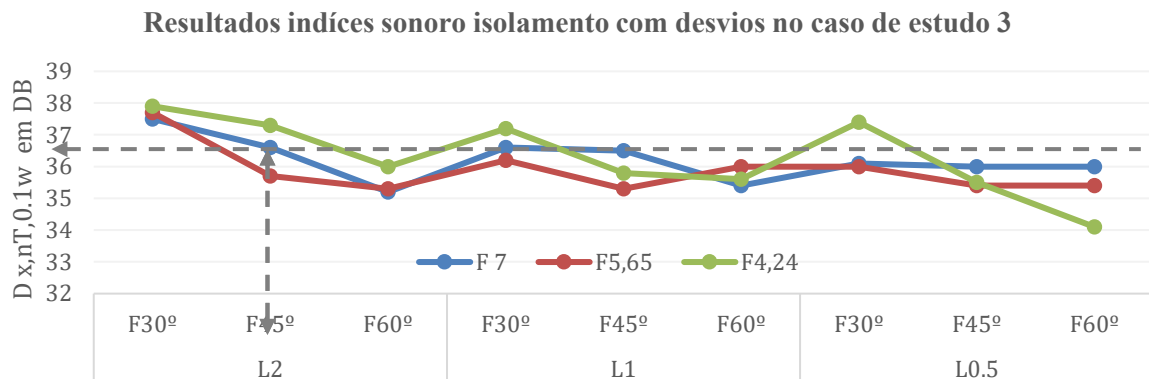
4.3 Resultados caso de estudo 3

No caso de estudo 3, seguiu-se o mesmo procedimento do caso de estudo 2, sendo que foram então realizados 25 ensaios com os ligeiros desvios à norma já referidos e o ensaio normalizado conforme a NP EN ISO 16283-3:2017. Os 26 resultados obtidos têm um valor médio de 36.1dB o que daria em média uma diferença de 0.5dB para o valor do índice pela norma por arredondar de 36.6 dB assinalado a verde no quadro seguinte. O valor segundo a NP EN ISO 16283-3:2017 do índice de isolamento sonoro seria então de 36 dB sendo então igual à média arredondada das medições efetuadas. A diferença mais elevada entre os resultados obtidos e o valor da norma é de 2.5dB. Na análise média dos casos de estudo é o caso de estudo 3 que mais se aproximada então do valor da NP EN ISO 16283-3:2017.

Quadro 4-3 - Índices de isolamento sonoros - 27 ensaios no caso de estudo 3

D2m,nT,0.1w	L2			L1			L0.5		
	F30°	F45°	F60°	F30°	F45°	F60°	F30°	F45°	F60°
36.6									
F 7	37.5	36.6	35.2	36.6	36.5	35.4	36.1	36	36
F5,65	37.7	35.7	35.3	36.2	35.3	36	36	35.4	35.4
F4,24	37.9	37.3	36	37.2	35.8	35.6	37.4	35.5	34.1
m. geral	36.1	média	36.6		média	36.1		média	35.8

Segue o gráfico de linhas e o de Kiviat do caso de estudo 3. As linhas coloridas, como indicado, representam a distância da fonte à fachada ensaiada, sendo a linha a tracejado referente ao valor do índice de isolamento obtido conforme a norma. Verifica-se de novo muitos valores abaixo do valor da NP EN ISO 16283-3:2017. Nota-se desta vez que a fonte na posição mais próxima da fachada, 4,24m, obteve o melhor desempenho em comparação com valor do índice da norma NP EN ISO 16283-3:2017. Confirma-se o estudo feito no quadro sendo que pela análise gráfica se comprova um comportamento semelhante nas 3 distâncias da fonte sonora à fachada.



F: orientação da fonte em ° e L: distância do microfone à fachada em m.
Legenda representa fonte sonora afastada a 7m., 5,65m. e 4,24m. da fachada
Linha a tracejado: valor do índice sonoro obtido conforme NP EN ISO 16283-3

Figura 4-5 - gráfico linear índice de isolamento sonoro caso estudo 3

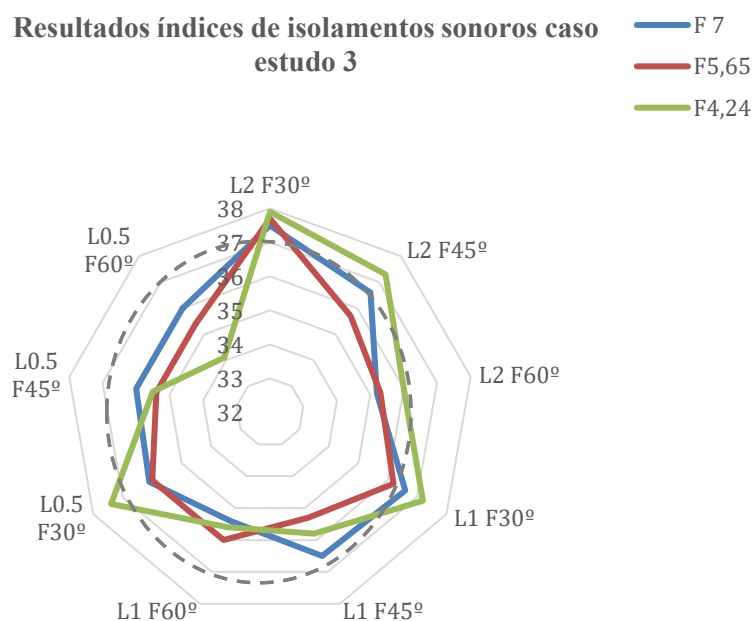


Figura 4-6 - Resultados índices de isolamentos sonoros caso estudo 3 (diagrama de Kiviat)

4.4 Comparação dos resultados dos casos de estudo

Pretendeu-se efetuar ensaios com pequenos desvios à norma, simulando assim aquelas situações que acontecem muitas vezes na prática, por limitações físicas no campo onde deveria decorrer o ensaio. Pretende-se agora, comparar os resultados obtidos apenas nos ensaios comuns aos 3 casos de estudo. Face à dimensão da amostra optou-se por efetuar apenas uma análise gráfica expedita de modo a tentar detetar a existência de tendência ou semelhança nos ensaios efetuados. O objetivo desta comparação é tentar determinar quais dos vários desvios ensaiados se aproximam mais dos valores obtidos, segundo o procedimento normalizado. Nas ordenadas dos gráficos seguintes apresenta-se em dB a diferença em relação ao valor da NP EN ISO 16283-3:2017, tendo por isso no valor de 0dB, assinalado a tracejado, as situações onde se chega a um valor igual à norma. Apesar das diferenças de resultados obtidos já referidas verifica-se de modo expedito que existem semelhanças e tendências para alguns dos desvios ensaiados. Como era expectável, as medições feitas com o microfone a 0,5m da parede apresentam valores mais afastados do valor da norma provavelmente devido ao efeito de interferência direta de reflexão na fachada. Da análise efetuada obtiveram-se situações que não eram expectáveis como o caso de estudo 1 onde se colocou a fonte a 60° na posição mais próxima da fachada e com o microfone a 0.5m da fachada e mesmo assim se obteve um valor próximo ao da norma. Provavelmente as interferências causadas pela reflexão da parede e a proximidade da fonte anularam-se, provocando um valor próximo da norma por acaso. Por outro lado, verifica-se que não há grande diferença de tendência entre resultados obtidos com o microfone a 2m e a 1 m da fachada. Verifica-se igualmente que esta diferença aumenta nos desvios onde a fonte sonora está mais próxima do microfone. Seguem então os gráficos lineares obtidos com os resultados dos 27 ensaios para os três casos de estudo.

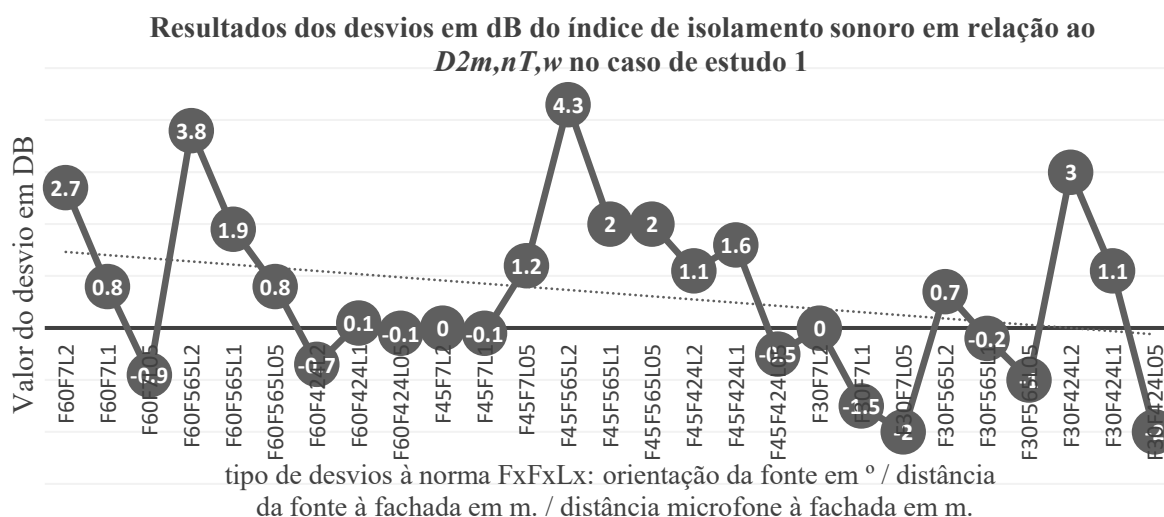


Figura 4-7 - Resultados dos desvios em dB do índice de isolamento sonoro em relação ao $D2m,nT,w$ no caso de estudo 1

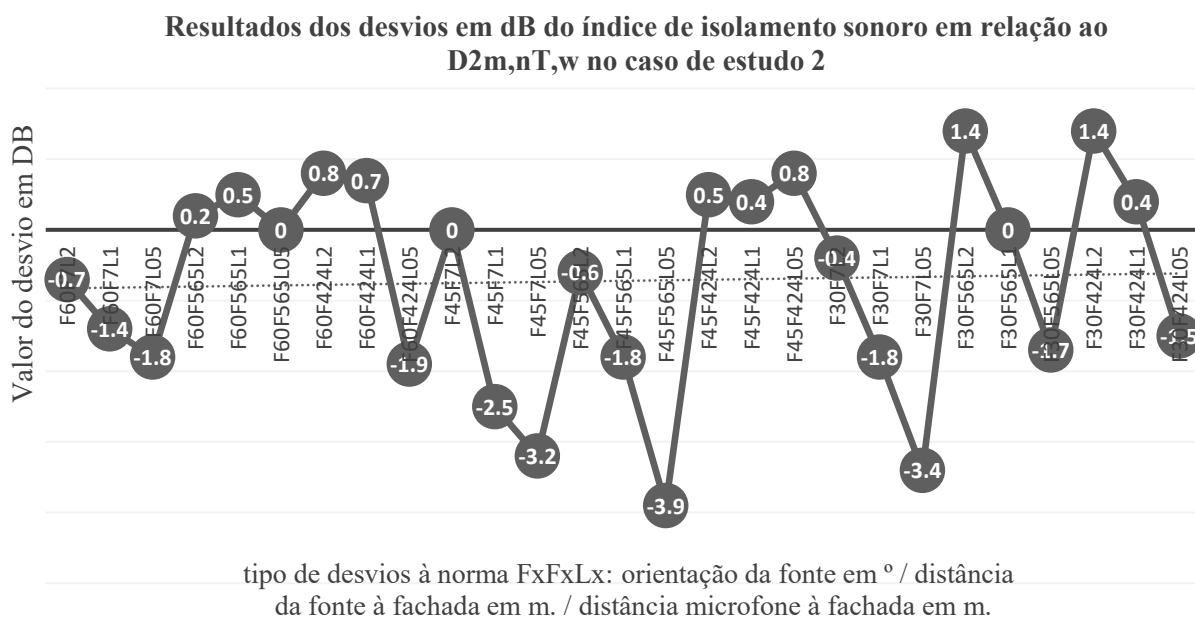


Figura 4-8 - Resultados dos desvios em dB do índice de isolamento sonoro em relação ao $D_{2m,nT,w}$ no caso de estudo 2

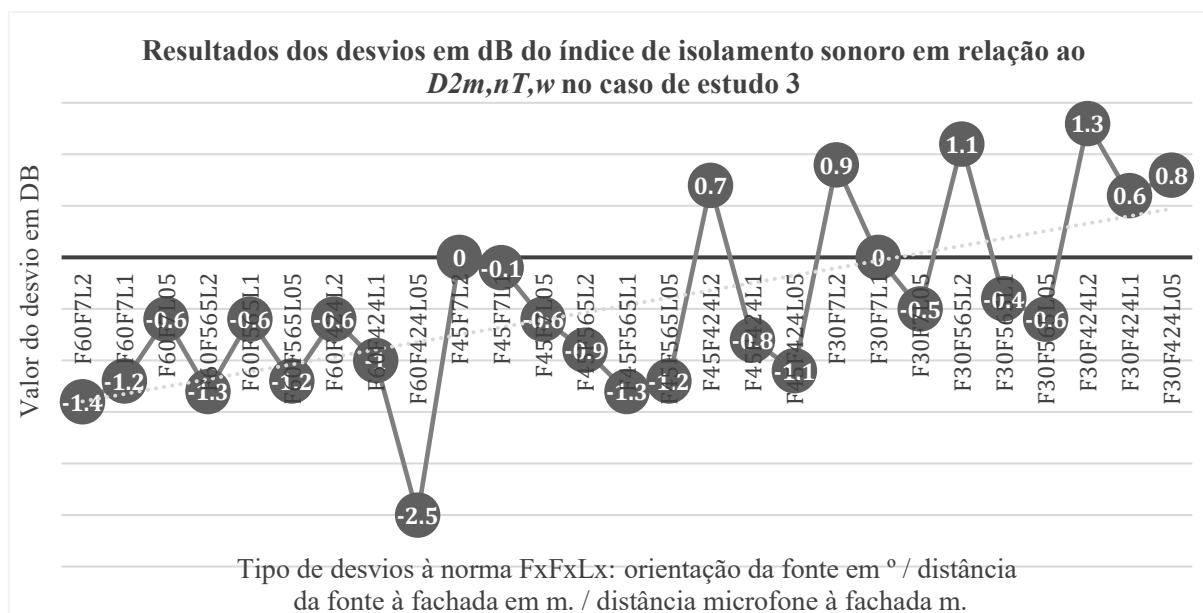


Figura 4-9 - Resultados dos desvios em dB do índice de isolamento sonoro em relação ao $D_{2m,nT,w}$ no caso de estudo 3

O gráfico representado na figura seguinte foi obtido com base numa média aritmética dos resultados nos três casos de estudo dos desvios obtidos face à NP EN ISO 162383-:2017. Mantém-se o aspeto gráfico e as conclusões de tendências verificadas individualmente em cada caso de estudo. Verifica-se que em média os valores obtidos a 30° e 60° são semelhantes e até mais próximos da norma do que os obtidos para 45°. Verifica-se visualmente, através do traçado da linha de tendência, a ponto tracejado no gráfico, que a média dos resultados obtidos dos gráficos têm uma tendência estável e muito próxima do valor obtido pela norma. Os valores obtidos no ângulo de incidência de 30° tem o aspeto gráfico mais próximo do que seria expetável, ou seja, valores mais afastados do valor da norma nas situações de medições com o microfone a 0.5 da fachada e nas situações onde o par fonte sonora/microfone estão mais próximos.

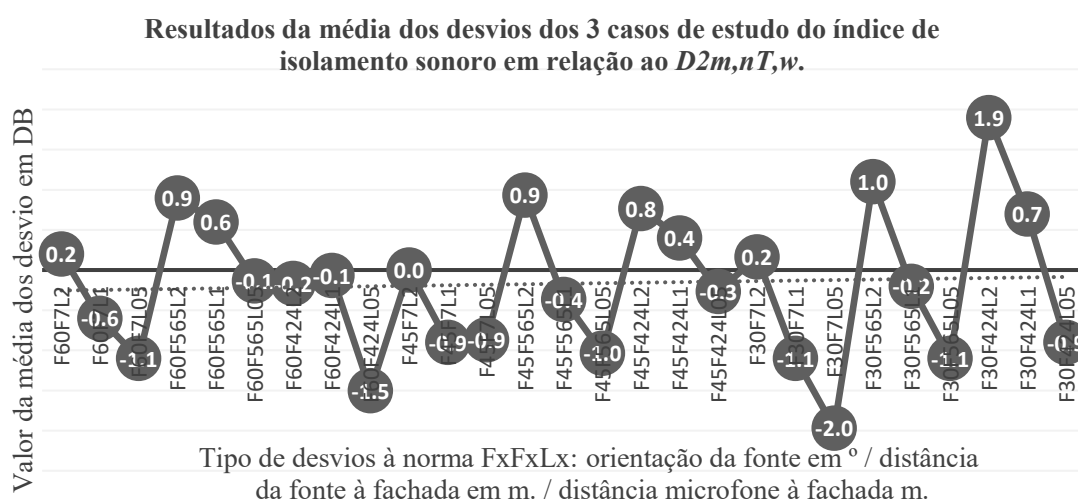


Figura 4-10 - Resultados da média dos desvios dos 3 casos de estudo do índice isolamento sonoro em relação ao $D2m,nT,w$.

Conclui-se com análise expedita dos gráficos, que numa situação real onde não se conseguiria aplicar o ângulo de incidência da norma, se poderia então optar em alternativa por um ângulo alternativo de 30° (ou mais próximo da perpendicular à fachada) e se pode aproximar a fonte da fachada, desde que também se aproxime o microfone (nunca a menos de 1 m da fachada). Conforme o gráfico, estamos perante valores de ordem de grandeza muito inferior ao de 3db para a incerteza global dos ensaios ou até sugerido na norma, devido ao efeito de reflexão nas fachadas. Com base nos resultados dos casos de estudo, chega-se à conclusão que alguns dos desvios à norma ensaiados poderiam ter uma grandeza de incerteza aceitável e que seria viável desenvolver uma metodologia alternativa para determinação de um índice de isolamento sonoro, com base em desvios a norma, que se apresenta no capítulo seguinte.

5 METODOLOGIA ALTERNATIVA À NP EN ISO 16283-3

A NP EN ISO 16283-3 não deixa alternativa para desvios à norma, no caso de não se conseguir aplicá-la no local, por falta de espaço ou outras condicionantes, como é comum acontecer. Para efeito deste trabalho de dissertação decidiu-se tentar, com base na análise dos resultados dos casos de estudo, determinar uma metodologia alternativa baseada num desvio ao procedimento global com altifalante da NP EN ISO 16283-3, para obter assim um isolamento sonoro padronizado de fachada com base nesta alternativa e compará-lo ao valor obtido pela aplicação da NP EN ISO 16283-3:2017.

5.1 Descrição sucinta da metodologia alternativa

Atualmente quando não se pode cumprir o previsto na norma, nomeadamente quanto à posição da fonte sonora ou sonómetro, por limitações geométricas ou outras condicionantes no local, não existe alternativa e não se pode efetuar o ensaio normalizado. A metodologia alternativa sugerida nesta dissertação, passa por efetuar o ensaio com desvio à norma, quando não se consegue garantir a distância mínima de 5 metros da fonte sonora à fachada ensaiada conforme solicitado pela NP EN ISO 16283-3:2017. O ensaio seria efetuado com recurso a três posições diferentes do par altifalante/microfone em relação à fachada a ensaiar, a escolher entre várias posições pré-definidas mais próximas da fachada do que o previsto na NP EN ISO 16283-3:2017. As posições pré-definidas para escolher na aplicação desta metodologia alternativa seriam de 9 a 12 conforme o definido na secção seguinte. O cálculo do isolamento sonoro padronizado é efetuado conforme o previsto na norma NP EN ISO 16283-3:2017, no caso de várias posições de fonte sonora ou microfone. O índice de isolamento sonoro padronizado de fachada é obtido conforme o previsto na NP EN ISO 717-1. O índice final obtido é baseado em desvio à norma mas continua realista, por ser ponderado com uso de várias posições fonte/microfone, e pode ser comparável ao valor do índice normalizado obtido conforme a NP EN ISO 16283-3:2017 e NP EN ISO 717-1.

5.2 Escolha das posições pré-definidas da metodologia alternativa

Pretende-se agora determinar os desvios, à NP EN ISO 16283-3:2017 estudados nos casos de estudo, cujos resultados mais se aproximam do valor normalizado, de modo a serem as posições pré-definidas da metodologia alternativa.

Optou-se por recorrer à análise da média dos resultados obtidos em todos os casos de estudo através de um gráfico, com base na adaptação do princípio de Pareto, sendo que neste caso o raciocínio acaba por ser o contrario, pois o que interessa é obter um gráfico de colunas no qual se consegue ordenar pelo menor valor o desempenho dos ensaios face ao seu desvio em relação ao valor obtido pela aplicação da norma. Apresenta-se então este gráfico na figura seguinte sob a forma de um gráfico de cascata para melhor visualização. Temos então no eixo das ordenadas o valor em dB da diferença entre o valor obtido no ensaio normalizado e o obtido no desvio ao ensaio mencionado na coluna do gráfico. A vermelho representa-se os valores obtidos que são inferiores comparando com o valor da norma e a azul os valores superiores. Nas abcissas temos então a referência dos 26 desvios ensaiados além do ensaio normalizado.

Relembra-se que conforme o previsto na legislação nacional nas avaliações *in situ* destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios deve ser tido em conta um fator de incerteza, I com valor de 3 dB, associado à determinação das grandezas em causa. Para seleccionar os desvios que mais se podem aproximar do valor da NP EN ISO 16283-3:2017, arbitrou-se como intervalo de escolha um valor de metade deste fator de incerteza ou seja 1,5dB. Como se percebe seria mais gravoso efetuar um ensaio com desvio e obter um valor inferior ao da NP EN ISO 16283-3:2017, representado a vermelho no gráfico, do que um resultado com valor superior pois estamos assim do lado da segurança, face à comparação com os requisitos regulamentares. Sendo assim, optou-se por definir o intervalo de escolha com 1,5dB da seguinte forma de -0,5dB de valor inferior até 1,0dB de valor superior ao obtido pela NP EN ISO 16283-3:2017, representando-se com setas pretas na figura seguinte esta seleção.

Verifica-se então, as conclusões anteriores, sendo que de fora desta seleção ficam sobretudo os desvios com posições de leitura próxima da fachada (com parte da designação **L0,5**). Fica-se então com uma seleção de 15 desvios dos 26 ensaiados. Para afinar esta seleção retiramos então os desvios com as posições de leitura próxima da fachada (com parte da designação **L0,5**) e partindo do princípio que nos interessa aprofundar este estudo com posições de fonte sonora mais próximas das fachadas, retira-se igualmente os desvios com posição da fonte sonora a 7m (com parte da designação **F7**). Fica-se com uma seleção de 11 desvios, dos 26 ensaiados, conforme representado através de seleção com retângulo azul da figura seguinte, com valores próximos do valor da NP EN ISO 16283-3:2017 num intervalo de 1.4dB e com média de 0,4dB.

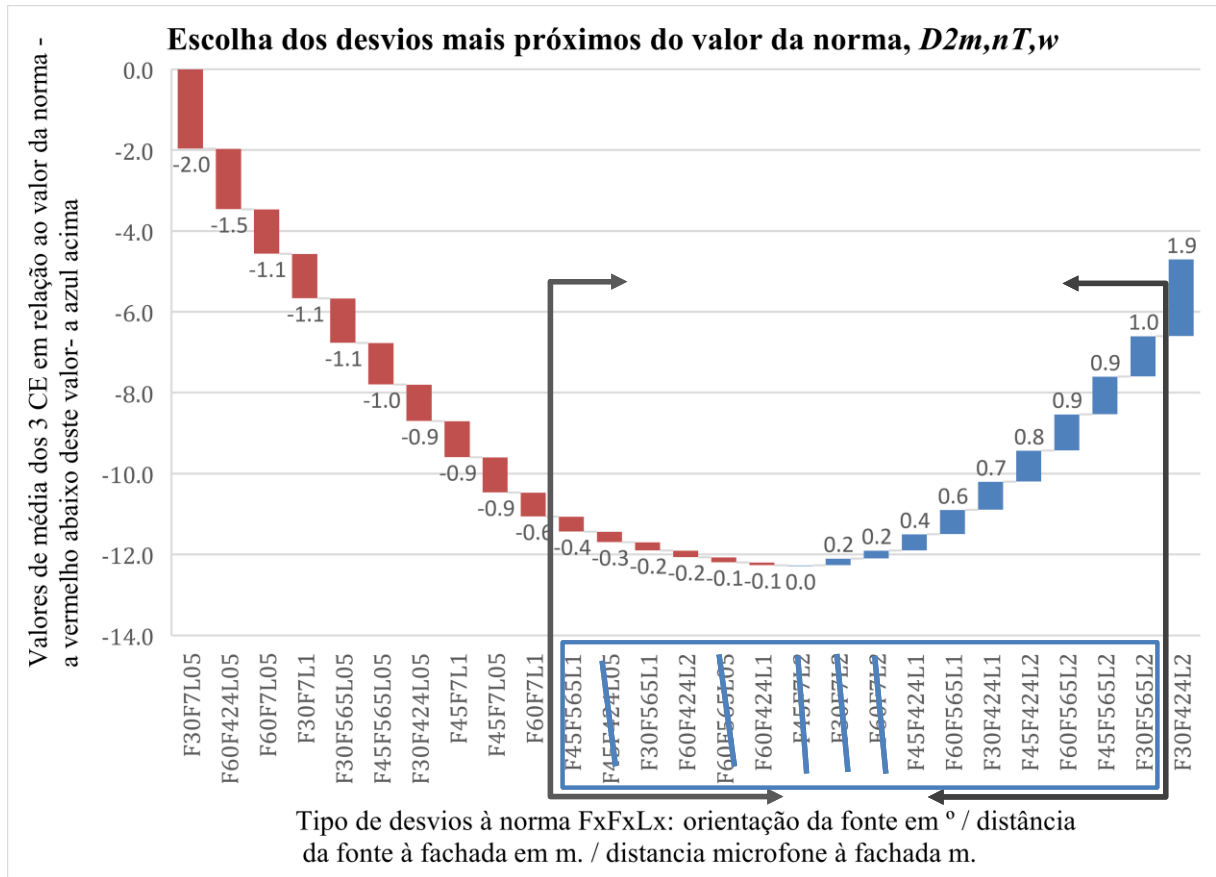


Figura 5-1 - Escolha gráfica dos desvios mais próximos do valor da norma, $D2m,nT,w$

Para definir as posições possíveis da fonte sonora /sonómetro/fachada seguiu-se as conclusões dos resultados obtidos nos ensaios onde se selecionou 11 desvios que se representam agora na figura seguinte de localização esquemática dos 26 desvios ensaiados. A vermelho temos a localização da situação normalizada ou seja a fonte sonora a 45° afastada 5m da fachada (7m na diagonal) para leituras com o sonómetro afastado a 2m da fachada. Escolheu-se para base da metodologia os 9 desvios assinalados a azul. Sobram 2 dos 11 selecionados aqui assinalados a verde sendo que se optou para selecionar igualmente o outro desvio realçado em cor de laranja. O desvio assinalado a cor de laranja tem um valor bastante afastado, do valor obtido pela NP EN ISO 16283-3:2017. Supõe-se que seja devido ao fato de neste desvio a posição da fonte sonora a 4.24m da fachada se aproximar mais da posição do microfone a 2m e gerar assim interferências no campo sonoro que podem influenciarem o resultado obtido. Pensa-se que tal aconteceu no caso de estudo 1 devido à diferença do valor obtido face aos casos de estudo 2 e 3. Uma vez que este desvio se enquadra na lógica dos 11 desvios selecionados resolveu-se acrescentá-lo nesta escolha passando então a seleção de desvios, a usar na metodologia alternativa, para 12.

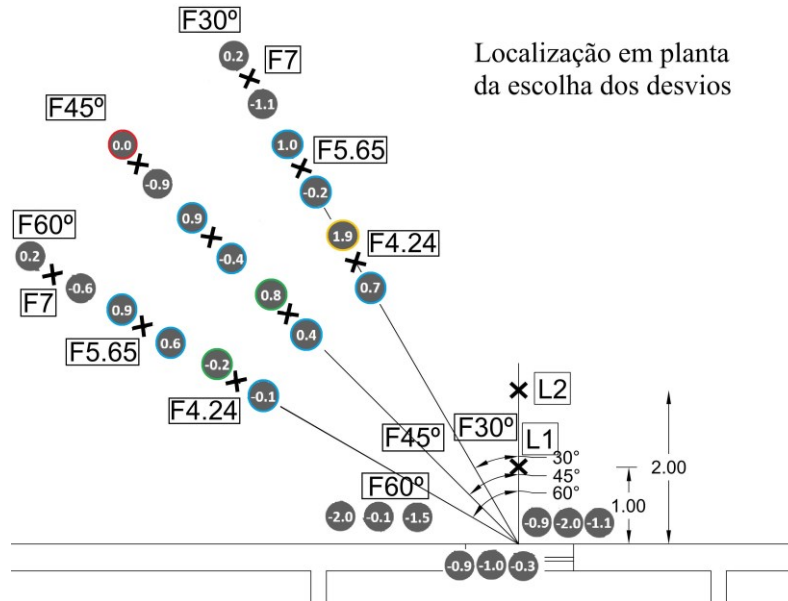


Figura 5-2 -localização em planta dos desvios mais próximos do $D2m,nT,w$

Conforme a figura seguinte, a metodologia alternativa 1, **MA1**, que se propõe então usar é de escolher 3 desvios nos 9 assinalados a azul (com referência de A até I) sendo que no ensaio efetuado a fonte deve ser instalada nos 3 ângulos de incidência em relação à fachada (60°,45° e 30°). Em alternativa no caso de existir limitações nestas posições de desvios poderia recorrer-se a uma metodologia alternativa 2, **MA2**, com escolha de 9 desvios alternativos (A, B,C,D',E',F',G,H,I) conforme representado na figura seguinte. No caso de não se poder colocar a fonte num dos ângulos definidos poder-se-ia usar apenas dois, como última alternativa 3, escolhendo as posições conforme a metodologia alternativa 1 ou metodologia alternativa 2.

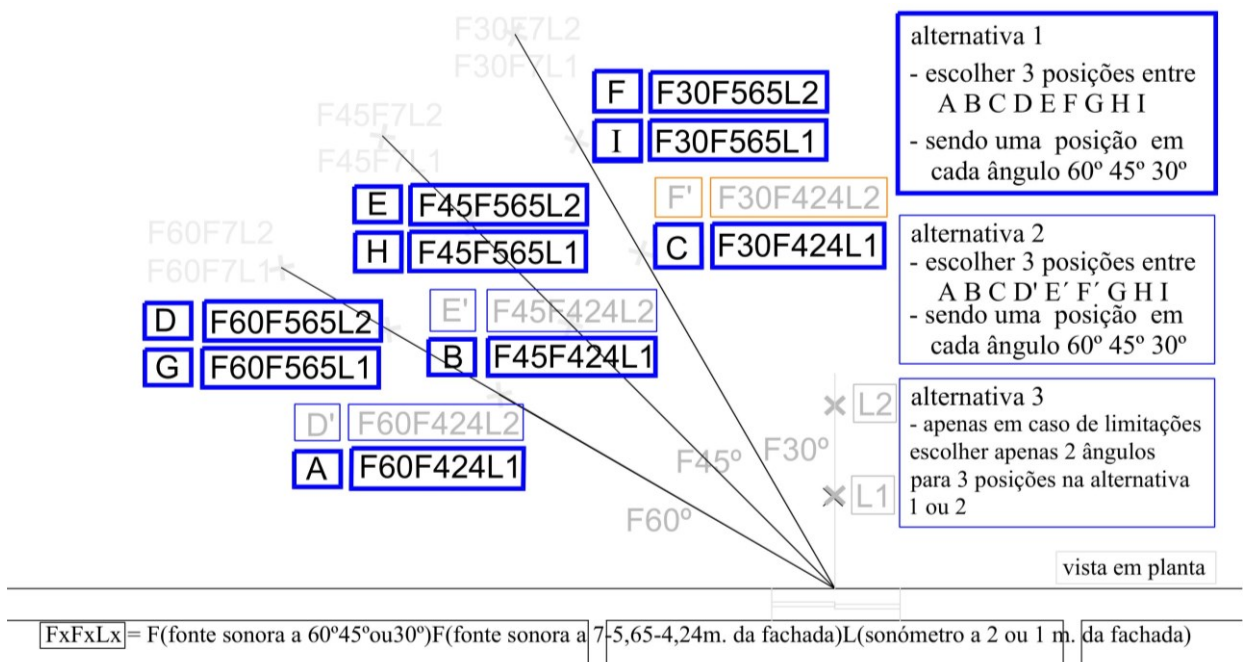


Figura 5-3 - planta e regras da metodologia alternativa

Na implantação no local dos desvios escolhidos, pode-se recorrer às margens previstas na norma, se necessário, ou seja ou seja $\pm 5^\circ$ no ângulo de incidência da fonte sonora e $\pm 20\text{cm}$ no posicionamento do microfone.

5.3 Cálculo do índice $D_{\text{Is,desv,nT}}$

Pretende-se calcular um novo índice proposto para esta metodologia, que é designado por índice de isolamento sonoro padronizado com correção de tempo de reverberação obtido com altifalante, com desvios à norma por condicionalismos geométricos no local e representado aqui pela sigla proposta de $D_{\text{Is,desv,nT,w}}$. O índice será calculado, com base no desvio à NP EN ISO 16283-3:2017 proposto, usando três posições diferentes do par altifalante/microfone em relação à fachada ensaiada. A NP EN ISO 16283-3:2017 já prevê usar várias posições de fonte sonora se o compartimento a ensaiar for muito grande ou se tiver mais do que uma parede exterior e também prevê poder usar várias posições de microfone. Para os cálculos do isolamento sonoro padronizado seguiu-se então o previsto na NP EN ISO 16283-3:2017 para mais do que uma posição de fonte sonora e de microfone, ou seja, calcular a diferença de níveis, aqui com a designação proposta, $D_{\text{Is,xm}}$ ($i=2$ ou 1 m consoante a posição do microfone em relação à fachada) para cada posição do par altifalante/microfone e fazer a respetiva média segundo a expressão seguinte que consta da norma:

$$D_{\text{Is, xm}} = -10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{-\frac{D_i}{10}} \right) \quad (5.1)$$

onde:

n é o número de posições da fonte ou do microfone (adaptação)

D_i é a diferença de níveis para cada combinação fonte-recetor

O cálculo do índice único é feito depois conforme previsto na NP EN ISO 717-1.

5.4 Resultados da aplicação da metodologia alternativa

Pretende-se então efetuar, para os três casos de estudo, o cálculo do novo índice sonoro proposto, apenas para efeito deste trabalho de dissertação, e que se designou então por índice de isolamento sonoro padronizado com correção de tempo de reverberação obtido com fonte sonora com desvios à norma por condicionalismos geométricos no local, $D_{\text{Is,desv,nT,w}}$. Como se viu este índice deve ser calculado com base em 3 posições de fonte sonora e/ou microfone.

Vamos agora rever os casos de estudo aplicando a metodologia alternativa proposta. Parte-se agora da situação hipotética de termos limitações geométricas nos casos de estudo deste

trabalho. Não se poderia aplicar a fonte sonora no ângulo de incidência na fachada de 45° e/ou cumprir a distância mínima de 7m prevista na NP EN ISO 16283-3:2017 . Deve-se então efetuar o cálculo do índice de isolamento sonoro com base em três situações de desvio à norma, a serem escolhidas entre as 9 pré-definidas conforme as regras estabelecidas para a metodologia alternativa. Neste trabalho e para efeito de comparação de resultados, com os obtidos até agora, efetuou-se o cálculo do índice proposto, $D_{ls,dev,nT,w}$, para todas as combinações possíveis, que são 27 ao total, para cada um dos três casos de estudo para as duas hipóteses de metodologia alternativa, MA1 e MA2. Foram feitos os cálculos dos índices com e sem arredondamento. Os 162 índices assim obtidos apresentam-se em dois quadros (quadro A-4 e A-5) que se optou por colocar no anexo desta dissertação, por serem bastante compridos. O objetivo destes quadros não é obter valores exatos, mas perceber qual poderia ser a tendência e a ordem de grandeza dos desvios em relação à norma, resultando da aplicação desta metodologia nestes três casos de estudo. Conforme a análise destes dois quadros pode-se verificar que os resultados quer para as duas alternativas propostas quer para a metodologia sugerida são muito semelhantes. O resultado do caso de estudo 1 sai um pouco da média, pensa-se que será pelo sistema construtivo diferente dos outros dois casos de estudo. A principal conclusão é que, para o conjunto de 162 índices de isolamento sonoro para fachada, obteve-se em média um desvio de cerca de 1dB, antes do arredondamento, e de 0.7 dB, depois do arredondamento, em relação ao índice obtido pela NP EN ISO 16283-3:2017. Obviamente que se trata apenas de uma amostra de 3 casos de estudo, mas o facto de se chegar por diversas vezes a um valor de desvio do valor da norma de 1dB é encorajante. Este valor é por exemplo três vezes inferior ao fator de incerteza considerado no RRAE de 3 dB. Em percentagem o desvio obtido é de cerca de 3% sendo que é assim pouco superior ao desvio resultante do arredondamento previsto na NP EN ISO 16283-3:2017 que é de 1.2%. Segue um quadro resumo com os resultados globais dos dois quadros já referidos (localizados no anexo da dissertação).

Quadro 5-1 -quadro resumo valores índices isolamento sonoro obtido pela metodologia alternativa 1 e 2

quadro resumo metodologia alternativa	índice proposto $D_{ls,dev,nT,0.1w}$						
	dB (s.arredondar)			desvio %			Global
	CE1	CE2	CE3	CE1	CE2	CE3	
médias MA1	43.0	34.2	37.4	5.1%	2.1%	2.0%	2.9%
médias MA2	42.5	34.3	37.3	4.0%	2.3%	1.8%	2.6%
NP 16283-3	40.8	33.5	36.6	dif média CE%.			2.8%
desvios dB.	1.9	0.7	0.7	dif média desvio dB.			1.1 dB
médias	42.7	34.2	37.3	4.6%	2.2%	1.9%	2.9%

Conclui-se com testes feitos na 3ª alternativa da metodologia proposta que, no caso de não se conseguir colocar a fonte num dos ângulos, os valores obtidos são semelhantes o que valida assim esta alternativa, nos desvios com ângulos de incidência, posição de fonte e de microfone diferentes.

5.5 Comparação dos resultados iniciais dos casos de estudo com resultados da metodologia alternativa

Pretende-se agora apresentar um quadro resumo com os valores médios globais de índice de isolamento sonoros obtidos através das medições nos casos de estudo, ou seja, através de uma posição única para cada cálculo do índice, e através da aplicação da metodologia alternativa, MA1 e MA2, calculando o índice com três posições de fonte sonora. A conclusão a que se chega é que em média o valor do índice obtido pelas duas versões da metodologia alternativa é sempre superior ao índice normalizado e ao índice inicialmente calculado apenas com uma posição de fonte. Obtemos por isso um valor de índice, com base num cálculo previsto na legislação, que é mais trabalhoso de obter devido às 3 posições de fonte, mas que como se vê está do lado da segurança.

Quadro 5-2 -quadro resumo resultados casos de estudo e metodologia alternativa / índice proposto Dls,dev,nT,0.1w

	Resumo resultados CE e metodologia alternativa / índice proposto Dls,dev,nT,0.1w						
	dB (s.arredondar)			desvio %			Global
	CE1	CE2	CE3	CE1	CE2	CE3	
médias CE	42.1	32.8	36.1	3.1%	-2.1%	-1.4%	2.9%
médias A1	43.0	34.2	37.4	5.1%	2.1%	2.0%	2.9%
médias A2	42.5	34.3	37.3	4.0%	2.3%	1.8%	2.6%
NP 16283-3	40.8	33.5	36.6	dif média CE%			2.8%
desvios dB.	1.7	0.3	0.3	dif média desvio dB.			0.8dB
médias	42.5	33.8	36.9	4.1%	0.8%	0.8%	1.9%

Estamos a comparar um índice obtido por um método que usa 3 ângulos de incidência na fachada com o índice da NP EN ISO 16283-3:2017 calculado com base em apenas um ângulo. Tudo leva a crer que o índice determinado pela metodologia alternativa, mais trabalhosa e exaustiva, possa até estar mais próximo do isolamento real do que o índice normalizado. Mas o que é importante é que em média nestes três casos de estudo estamos perante valores médios de afastamento do valor normalizado da ordem de 1dB. Para efeito de comparação a margem de incerteza aceite no RRAE para ensaios acústicos *in situ* é de 3 dB, a incerteza padrão para valores únicos D_{ntw}/C_{tr} 100-3150Hz seria de 1.1dB segundo a NP EN ISO 717-1 e na NP EN ISO 12999 a incerteza padrão para mensuradas tipo, obtida por dados de ensaios interlaboratoriais, associadas a determinação de isolamento a sons aéreos *in situ* é dada por cada banda de 3 oitavas e varia de 4 a 1 dB, sendo em média de cerca de 1.8dB. A diferença de valor médio de afastamento obtido pela metodologia alternativa (cerca de 1dB ao valor da norma NP EN ISO 16283-3:2017) enquadra-se então nos valores de incerteza previstas na legislação e normas, para ensaios *in situ*.

Conclui-se por isto que existe margem para desenvolver um estudo mais aprofundado desta metodologia alternativa de modo a desenvolver uma metodologia que possa vir a ser normalizada para se aplicar em situações em que não se consegue cumprir o previsto por defeito no método global com altifalante da NP EN ISO 16283-3.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Da análise executada na comparação das normas NP EN ISO140 e as novas normas NP EN ISO16283, ressalta o facto da NP EN ISO16283-3:2017 ter sido a única que não foi atualizada a nível dos procedimentos de execução do ensaio, por exemplo quanto às posições da fonte sonora e do microfone. A NP EN ISO 16283-1 alterou a sequência de medição dos níveis de pressão sonora obtendo-se agora valores de índice diferentes que se pensam estar mais próximos da realidade. A NP EN ISO16283-2 introduziu uma nova fonte sonora e alterou o número de medições a efetuar dependendo agora do tipo de pavimento e volumetria das divisões ensaiadas. Estas duas normas foram atualizadas para responderem a problemas que surgiram ao longo dos anos em que foram aplicadas.

A NP EN ISO16283-3:2017 não sofreu alterações nos seus procedimentos quando logicamente o facto de impor a realização do ensaio numa única localização específica para o equipamento pode torná-lo impraticável por falta de espaço ou outras condicionantes no local. A NP EN ISO16283-3:2017 poderia ter sido revista com um procedimento adicional para resolver este tipo de problema, que é bastante comum na execução dos ensaios *in situ*, sobretudo em zonas urbanas onde as construções tendem a ter cada vez menos espaço livre, sendo por isso o campo livre insuficiente para efetuar o ensaio normalizado conforme todos os requisitos da norma.

Realizaram-se ensaios *in situ* em três casos de estudo, recorrendo à metodologia global com altifalante da NP EN ISO16283-3:2017 e a ligeiros desvios ao seu procedimento normalizado. No primeiro caso de estudo efetuou-se os ensaios recorrendo a um procedimento de medição alternativa do nível de pressão sonora no exterior com base numa média de 5 posições diferentes, em vez do previsto pela norma, que seriam pelo menos duas medições na mesma posição. Os índices de isolamento sonoro padronizado da fachada, obtidos com esta medição alternativa do nível médio de pressão sonora no exterior, são em norma superiores ao obtido através do procedimento normalizado, o $D_{ls,2m,nT,w}$. Conclui-se, que ao utilizar este procedimento alternativo se pode chegar a resultados mais fiáveis, mas apenas para uma distância média de 2m do microfone à fachada. No caso deste estudo, como se variou a posição média do microfone para distâncias próximas da fachada (a 1 m e 0,5m) e também se alterou a posição da fonte para posições demasiadamente próximas de algumas das posições do microfone, existiram interferências que influenciaram a média de leituras e o respetivo nível de

pressão sonora exterior calculado, e conseqüentemente o resultado final do índice de isolamento.

Nos três casos de estudo onde se efetuou, no total, cerca de 126 ensaios com ligeiros desvios à norma, sempre apenas com uma posição de fonte, constatou-se que se obtinha um resultado, do índice de isolamento sonoro padronizado, em média global cerca de 1 dB superior ao valor do índice obtido conforme a NP EN ISO 16283-3:2017, o $D_{ls,2m,nT,w}$. Como termo de comparação este valor de diferença obtido é por exemplo cerca de três vezes inferior ao fator de incerteza de 3dB previsto na legislação nacional, relativamente à determinação das grandezas em causas em avaliações acústicas *in situ*.

Desenvolveu-se e aplicou-se uma metodologia alternativa à NP EN ISO 16283-3:2017 para determinação do índice de isolamento sonoro pelo método global com altifalante nos casos em que se tem limitações geométricas, ou outras condicionantes no local, que impeçam a aplicação desta norma. O método alternativo consiste na realização do ensaio, exatamente conforme a norma, exceto na localização do equipamento no exterior, com três posições do par fonte sonora/microfone a escolher entre nove a doze posições pré-definidas. Mantém-se as margens previstas na norma ou seja $\pm 5^\circ$ no ângulo de incidência da fonte sonora e $\pm 20\text{cm}$ no posicionamento do microfone. Nas posições pré-definidas são sempre usados três ângulos diferentes de incidências das ondas sonoras à fachada, ou apenas dois ângulos se existirem condicionantes geométricas no local.

Aplicou-se a metodologia alternativa sugerida neste trabalho e determinou-se assim os índices de isolamento sonoro padronizado com correção de tempo de reverberação obtido com fonte sonora, com desvios à norma por condicionalismos geométricos no local, propostos neste trabalho de dissertação, $D_{ls,desv,nT,w}$. O valor médio global dos resultados destes índices para os três casos de estudo é igualmente de cerca de 1dB superior ao valor do índice obtido conforme a NP EN ISO 16283-3:2017, o $D_{ls,2m,nT,w}$. Estes resultados são obviamente válidos para os casos de estudo efetuados e a sua respetiva tipologia, sendo que por exemplo só se efetuou ensaios ao nível de fachadas no rés-do-chão. São resultados que têm uma fiabilidade relativa uma vez que se baseiam apenas em três casos de estudo. Os resultados obtidos pelos desvios e metodologia alternativa ensaiados estão muito próximos do valor normalizado. Face à gravidade de não se poder efetuar um ensaio que pode ser obrigatório para o licenciamento de um edifício por falta de espaço e de alternativas na norma em vigor, parece claro que se consegue desenvolver facilmente uma metodologia de desvio à norma, com valores de incerteza aceitáveis face ao já legislado, nos casos em que não se pode aplicar a mesma por condicionalismos geométricos. Facilmente se poderia alterar o procedimento normalizado através de um aditamento à norma, como por exemplo a introdução de um novo anexo permitindo e especificando o procedimento e tipos desvios aceitáveis por condicionalismos geométricos *in situ*. O método alternativo sugerido é muito mais trabalhoso, devido ao recurso

a três posições de fonte, do que o método previsto na NP EN ISO 16283-3:2017 tendo-se por isso a certeza que só será mesmo realmente usado quando for necessário.

Resumindo a média dos resultados, de todos os ensaios *in situ* realizados para este trabalho de dissertação, de índice sonoro obtido por desvios é de cerca de 1 dB acima do valor do índice obtido por ensaio segundo a NP EN ISO 16283-3:2017, $D_{ls,2m,nT,w}$. Este resultado final apresenta um erro aceitável, por estar do lado da segurança face à comparação com os requisitos regulamentares e face às margens já aceites pelas normas e legislação nacional em vigor, para incerteza em ensaios acústicos *in situ* de 3 dB.

Chega-se à conclusão que é viável e necessário definir uma metodologia alternativa e complementar à NP EN ISO 16283-3:2017, que possa ser aplicada em caso de limitações geométricas no local de ensaio e que chegue a valores de isolamento sonoro compatíveis e próximos dos obtidos através do ensaio normalizado.

6.2 Trabalhos futuros

Apesar de ser uma situação que poderá não ser muito frequente, poderia ser estudado mais a fundo através de ensaios *in situ* o novo procedimento de baixas frequências em vários casos de estudo e comparar com o procedimento global de modo a termos a perceção da diferença de valores obtidos pelos dois métodos em frequências e no índice global, determinando assim a relevância de recorrer a este procedimento nas situações em que as baixas frequências da fonte emissora exterior possam ter influência no conforto acústico do utilizador do edifício.

O trabalho futuro mais evidente seria complementar o estudo efetuado nesta dissertação, com análise dos resultados obtidos por bandas de frequências, além do índice do isolamento sonoro padronizado a sons aéreos.

Poder-se-ia validar e desenvolver uma metodologia alternativa, semelhante à sugerida neste trabalho, à NP EN ISO 16283-3:2017 através de simulação por software próprio de modo a simular o ensaio normalizado, as fontes sonoras comerciais e sua incidência nas fachadas. Após o modelo matemático ser definido e estabilizado poderia ser validado por ensaios de campo.

Outro trabalho futuro que se poderia executar, seria recorrer a uma folha de cálculo melhorada, programando uma macro na folha, que faça a importação direta dos valores exportados do sonómetro e que faça igualmente de modo automático as iterações necessárias para os deslocamentos da curva de referência obtendo assim de modo automático o valor do índice isolamento sonoro a sons aéreos de fachada, $D_{2m,nT,w}$ e apoiar devidamente o cálculo de resultados de campanhas de ensaios mais extensas.

Em futuros trabalhos que pretendam continuar o estudo do campo da presente dissertação propõe-se, uma vez que foram apenas realizados ensaios em 3 casos de estudo, realizar mais ensaios em mais casos de estudo. Seria importante igualmente selecionar casos de estudo com diferentes sistemas construtivos próximos dos atuais na maior parte dos edifícios existentes, parede simples ou dupla sem isolamento, caixilharia de vidro simples, etc. Seria igualmente interessante efetuar ensaios em novos sistemas construtivos comuns em edifícios recentes como parede simples de tijolos térmico e acústicos e revestidas a ETICS ou paredes em LSF, com OSB e gesso cartonado, com várias camadas de isolamento térmico e acústico. Poder-se-ia igualmente repetir estes ensaios para situações de ensaio com fonte colocada próxima do solo, com fonte unidirecional e para o caso de fachadas no primeiro andar. Estes ensaios teriam igualmente a mais valia de fornecer dados para hipotéticas modelizações e simulações por software.

Por cada solução construtiva tipo, com um número de ensaios consequentes, ou simulações devidamente validadas, poderia tentar-se obter uma tendência de valor de divergência face ao valor da NP EN ISO 16283-3:2017. Poder-se-ia assim de modo empírico verificar e afinar o método alternativo, sugerido neste trabalho de dissertação, de modo a poder determinar um valor próximo do regulamentar, mesmo nas situações reais em que não se pode recorrer à norma NP EN ISO 16283-3:2017 por limitações geométricas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, J. A. S & Pires, A. C.** (2006). “Acreditação: Vantagens e dificuldades na implementação de um sistema da qualidade num laboratório de ensaio e/ou calibração. Química,”
- Asensio, C. ; Trujillo, J.A; Arcas., G.** (2018) “Analysis of the effects of uneven sound coverage over a facade during a sound insulation test according to the international standard ISO 16283-3” *Applied Acoustics* 130 (2018) 52–62
- Berardi, Umberto** (2013). “The position of the instruments for the sound insulation measurement of building facades: From ISO 140-5 to ISO 16283-3” *Noise Control Engineering Journal*
- Berardi, Umberto e Martellotta, Francesco** (2011). “Interference effects in field measurements of airborne sound insulation of building facades Article in *Noise Control Engineering Journal* · March 20112
- Bote, González e Alfageme** (2012) “Influence of loudspeaker directivity and measurement geometry on direct acoustic levels over façades for acoustic insulation tests with the International Standard ISO 140-5” *Applied Acoustics* April 2012, Pages 440-453
- Bote, José** (2018) “Procedures to smooth the coverage of dodecahedron loudspeakers on façades according to ISO 16283–3 Standard “ *Applied Acoustics* 131 (Feb 2018) 210–219
- Brutel-Vuilmet, Claire** (2005) “Prise en compte de l'angle d'incidence dans la caractérisation en laboratoire de la transmission acoustique des elements de facade” Tese Dout.no Centre Scientifique et Technique Du Batiment para L'institut National des Sciences Appliquees Lyon
- Decreto-Lei 251/1987.** (1987). Regulamento Geral Ruído. Lisboa, Portugal: DIÁRIO DA REPÚBLICA - 1.ª SÉRIE, Nº 142 de 24-06-1987.
- Decreto Lei nº 292/1989.** (1989). Alterou o Regulamento Geral Ruído - RGR. DIÁRIO DA REPÚBLICA - 1.ª SÉRIE, Nº202 de 02-09-1989.
- Decreto-Lei n.º 129/2002.** (2002). Aprova o Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios. Lisboa: DIÁRIO DA REPÚBLICA - I SÉRIE-A, N.º 109, de 11 de Maio de 2002.
- Decreto-Lei n.º 259/2002.** (2002). Altera o Decreto-Lei nº 292/2000 - Regime Legal de Poluição Sonora. Lisboa: DIÁRIO DA REPÚBLICA - 1.ª SÉRIE-A, Nº 271 de 23-11 2002.
- Decreto-Lei n.º 9/2007.** (2007). Aprovação do Regulamento Geral do Ruído. Lisboa: Diário da República, 1.ª série - N.º 12 - 17 de Janeiro de 2007.
- 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.
- Hopkins, Carl** (2015) “Revision of international standards on field measurements of airborne, impact and facade sound insulation to form the ISO 16283 séries” Elsevier
- Olafsen, Bard, Strand e Espejo** (2015) “Methods of field measurements of facade sound insulation” *Noise Control Engineering Journal*

- Mateus, Mário e Gameiro da Silva, Manuel C.** (2012) “Estudo sobre o factor de correcção acústica nas medições de ruído ambiental com microfone aplicado directamente em elementos de fachada” VIII congresso ibero americano de acústica, Évora
- Memoli, G., Paviotti, M., Kephelopoulos, S., Licitra, G.** (2007) “Testing the acoustical corrections for reflections on a façade.” *Applied Acoustics*, , pp. 479-495.
- Mortimer, Kean e White** “Is the 2.5 dB(A) Façade Correction for Road Traffic Noise Correct?” Proceedings of Acoustics 2012 – Fremantle
- NP EN ISO 140-4** (2009) “Acústica; Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção; Parte 4: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos (ISO 140-4:1998)” - Instituto Português da Qualidade (IPQ)
- NP EN ISO 140-5** (2015) “Acústica; Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção; Parte 5: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada” - Instituto Português da Qualidade (IPQ)
- NP EN ISO 140-7** (2008) “Medição, in-situ, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão. Norma Portuguesa” - Instituto Português da Qualidade (IPQ)
- 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. - Instituto Português da Qualidade (IPQ)”
- NP EN ISO 717-2**(2009) ”Acústica; Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção; Parte 2: Isolamento sonoro a sons de percussão (ISO 717 2:1996 + A1:2006” - Instituto Português da Qualidade (IPQ)
- NP EN ISO 17025** (2005) “Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração” Instituto Português da Qualidade (IPQ)
- NP EN ISO 3382-2** (2015) “Medição de parâmetros de acústica de salas - Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes” - Instituto Português da Qualidade (IPQ)
- NP EN ISO 12999-1** (2015) “Acústica; Determinação e aplicação das incertezas de medição em acústica de edifícios; Parte 1: Isolamento sonoro” - Instituto Português da Qualidade (IPQ)
- NP EN ISO 16283-1** (2014) “Acústica; Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção; Parte 1: Isolamento a sons de condução aérea” - (IPQ)
- NP EN ISO 16283-2** (2016) “Acústica; Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção; Parte 2: Isolamento a sons de percussão (ISO 16283-2:2015)” - Instituto Português da Qualidade (IPQ)
- NP EN ISO 16283-3** (2017) “Acústica; Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção; Parte 3: Isolamento sonoro de fachadas (ISO 16283-3:2016)” - Instituto Português da Qualidade (IPQ)
- Patrício, Jorge** (2008). “Acústica de Edifícios” Verlag Dashofer
- Patrício, Jorge** (2009) “Situação Actual da Acústica Ambiental e da Edificação Acusticamente Sustentável, em Portugal” Técnicaústica, Cádiz.
- Patrício, Jorge; Antunes, Sónia e Domingues, Odete** (2012) “Tendências e implicações do processo de harmonização dos descritores de proteção contra o ruído nos edifícios” VIII congresso ibero americano de acústica, Évora
- Rosão, Vitor; Silva, João Pedro e Gama Vasco** (2016) “ISO 16283 versus ISO 140” Eurorégio Porto
- Yoshimura, J. e Sugie, S.** (2004). “Measurement methods for sound insulation of windows.” In Inter-Noise2004, Prague, Czech Republic, 2004.

ANEXO

Quadro A.1 - quadro comparativo NP EN ISO 16283-3 e NP EN ISO 140-5

NP EN ISO 16283-3	NP EN ISO 140-5
<p>Âmbito e campo de aplicação: Compartimentos onde o campo sonoro possa ser considerado difuso ou não. De 10 a 250m³, com procedimento para baixas frequências.</p>	<p>Âmbito e campo de aplicação: Condições de campo sonoro difuso</p>
<p>4. Equipamento 4.1 Generalidades Instrumentos de medição devem satisfazer os requisitos para instrumentos de classe 0 ou 1; Os filtros devem verificar os requisitos para instrumentos de classe 0 ou 1; Equipamento para medição do tempo de reverberação deve verificar os requisitos definidos na ISO 3382.</p>	<p>4. Equipamento O equipamento para medição deve satisfazer os requisitos das classes de exatidão 0 ou 1 Os filtros utilizados devem obedecer aos requisitos definidos na IEC 61260. O equipamento para medição do tempo de reverberação deve obedecer aos requisitos definidos na norma ISO 354.</p>
<p>4.2. Calibração: No início e no fim de cada sessão de medições, através de calibrador que satisfaça os requisitos de um instrumento de classe 0 ou 1; A diferença entre as leituras de duas verificações consecutivas deve ser igual ou inferior a 0,5dB.</p>	<p>Deve ser ajustado antes de cada medição com o auxílio de um calibrador acústico, conforme as especificações definidas na IEC 60942 para os instrumentos de exatidão de classe 1.</p>
<p>4.3. Verificação Recomenda-se a calibração do calibrador em intervalos que não excedam 1 ano e a verificação do sistema de instrumentação e dos filtros com intervalos não superiores a 2 anos.</p>	<p>-</p>
<p>5- Frequências de medição Novo capítulo apenas com frequências de medição</p>	
<p>7. Medição do nível de pressão sonora num compartimento: Clarifica medição com sonómetro na mão do operador. 7.3 introduz procedimentos de baixa frequência</p>	<p>6. Generalidades: Medições efetuadas por bandas de um terço de oitava, a menos que tenha sido acordado previamente, a sua realização por bandas de oitava. O procedimento para realização de medições por bandas de oitava encontra-se especificado no Anexo E.</p>
<p>8. Produção do campo sonoro: Cada altifalante deve cumprir com os requisitos de diretividade do anexo A (Neste anexo, o Procedimento de Qualificação da Diretividade,</p>	<p>4.2 Altifalante: Direccionalidade do altifalante / superfície imaginária.</p>

NP EN ISO 16283-3	NP EN ISO 140-5
<p>propõe a utilização de medições discretas em intervalos de 5° ao invés de uma única medição por cada ângulo de 30 graus da ISO140-4) O nível de pressão sonora média no compartimento emissor não deve apresentar uma diferença em nível, superior a 8dB entre bandas de 1/3 de Oitava adjacentes. 8.4 introduz procedimentos de baixa frequência.</p>	<p>O espectro emissor não deve apresentar diferenças de nível superiores a 6dB.</p>
<p>9 Medições no exterior utilizando um altifalante como fonte sonora Não há alterações semelhante ao capítulo 5 da 140-5. Introduce procedimento baixas frequências.</p>	<p>5 medição com altifalante</p>
<p>7.2.4 Distâncias mínimas para posições do microfone As distâncias mínimas de separação entre posições dos microfones são as seguintes: ✓ 0,7 m entre posições fixas de microfones; ✓ 0,5 m entre qualquer posição do microfone e os limites do compartimento ; ✓ 1,0 m entre uma posição do microfone e o altifalante.</p>	<p>5.5.2. Posições de microfone As distâncias mínimas de separação entre posições dos microfones são as seguintes: ✓ 0,7 m entre posições de microfones; ✓ 0,5 m entre uma posição do microfone e os limites do compartimento ou de elementos difusores; ✓ 1,0 m entre uma posição do microfone e a fonte sonora.</p>
<p>7.7. Tempo de Medição 7.2.5.1. Microfone em posições fixas Para cada posição individual do microfone a duração da medição deve ser pelo menos 6s nas bandas de frequências entre 100Hz e 400Hz. Para as bandas de frequências entre os 500Hz e os 5000Hz é permissível reduzir o tempo de medição até um valor não inferior a 4 s.</p>	<p>Não definido</p>
<p>7.4. Ruído de Fundo Devem ser efetuadas medições dos níveis de ruído de fundo para assegurar que o nível do sinal no compartimento recetor não é por ele afetado e para permitir a aplicação de uma correção. O operador deve assegurar que o ruído por si gerado, devido ao seu movimento e atividade durante a medição do nível de pressão sonora do sinal é semelhante ao que ocorre durante as medições de ruído de fundo. Os tempos de integração mínimos para o ruído de fundo devem satisfazer os requisitos de 7.2.5.1 (6 segundos).</p>	<p>5.5.3. Correção do Ruído de Fundo Deve-se medir o nível do ruído de fundo a fim de assegurar que as medições realizadas no compartimento recetor não sejam afetadas por ruídos perturbadores.</p>
<p>7.4.2. Correção do nível de sinal em presença do ruído de fundo. O nível do ruído de fundo deve estar, no mínimo, 6 dB (de preferência 10 dB) abaixo do nível do sinal, combinado com o ruído de fundo. Se a diferença de nível for inferior a 10 dB, mas superior a 6 dB, devem calcular-se as correções correspondentes. Se a diferença entre os níveis for menor ou igual a 6dB, usa-se uma correção de 1,3dB. Para cada banda de frequências em que esta situação ocorra, deve ser claramente referido no relatório que se realizou uma correção de 1,3dB e que os valores estão no limite de medição.</p>	<p>O nível do ruído de fundo deve estar, no mínimo, 6 dB (de preferência 10 dB) abaixo do nível do sinal, combinado com o ruído de fundo. Se a diferença de nível for inferior a 10 dB, mas superior a 6 dB, devem calcular-se as correções correspondentes. Se a diferença entre os níveis for menor ou igual a 6 dB, em qualquer banda de frequências, deve usar-se a correção de 1,3 dB, correspondente a uma diferença de 6 dB. Neste caso, deve indicar-se, de forma que seja notório no relatório de medição que os valores consagrados constituem o limite da medição.</p>

NP EN ISO 16283-3	NP EN ISO 140-5
<p>8. Tempo de reverberação no compartimento recetor Método do Ruído interrompido ou método de integração da resposta impulsiva, conforme descrito nas normas ISO3382-2 e ISO 18233. Deve usar-se preferencialmente o método de Engenharia. Durante as medições do Tempo de Reverberação, devem permanecer na sala o mesmo número de operadores que estiveram presentes durante as medições dos níveis sonoros no compartimento recetor. O operador deve assegurar, durante as medições, uma distância de um comprimento de braço entre o seu tronco e o microfone fixo.</p> <p>8.5. Método do Ruído interrompido Número mínimo de medições é 6: uma posição de altifalante com três posições fixas de microfone; efetuam-se duas medições em cada posição ou 6 posições de microfone fixo com uma medição em cada posição.</p> <p>8.6. Método da resposta impulsiva integrada. TR calculado por integração inversa no tempo do quadrado da resposta impulsiva. Usando uma fonte impulsiva, o número mínimo de medições necessárias para cada banda de frequências é de seis; deve ser utilizada pelo menos uma posição de fonte e seis posições de microfone.</p>	<p>5.5.4 Medição do tempo de reverberação(...) Apesar de a norma preconizar o uso da ISO 354(...), por obediência à NOTA3 do documento do LNEC, o tempo de medição era já medido de acordo com a norma ISO 3382-2 e, portanto, utilizando um procedimento de medição sem diferenças substanciais relativamente ao proposto na nova norma.</p>
<p>13. Incerteza: A incerteza dos resultados das medições deve ser determinada de acordo com o método descrito na norma ISO 12999-1</p>	<p>7. Exatidão O método de medição deve ser satisfatório quanto à sua repetibilidade, a qual deve ser determinada de acordo com o indicado na norma ISO 140-2 (...)</p>
<p>14. Relatório de ensaio O relatório de ensaio deve incluir no mínimo a seguinte informação:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) referência a esta parte da norma e quaisquer emendas; b) o nome da organização que realizou as medições; c) o nome e o endereço do cliente; d) a data da realização do ensaio; e) descrição e identificação dos edifícios; f) volume dos compartimentos emissor e recetor e área de superfície de qualquer elemento separador S; g) isolamento sonoro padronizado em função da frequência; h) breve descrição dos procedimentos de ensaio e dos equipamentos de medição; i) indicação dos resultados que devem ser considerados como os limites de medição. <p>Para determinação do índice que classifica as curvas (...) ver ISO 717-1. Deve identificar-se claramente que a determinação desse valor foi baseada em resultados obtidos a partir de medições realizadas <i>in situ</i>. O relatório de ensaio deve ainda incluir a incerteza associada à avaliação através do índice.</p>	<p>9. Relatório de ensaio O relatório de ensaio deve compreender as informações seguintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) referência à presente parte da norma ISO 140; b) nome do organismo que realizou as medições; c) local ensaio; d) nome e morada da entidade ou da pessoa que encomendou o ensaio (cliente); e) data f) descrição e identificação do tipo de construção e da configuração do ensaio; g) volumes dos dois compartimentos; h) área i) o (...)isolamento sonoro bruto padronizado (...) j) informa ruído fundo k) uma breve descrição dos detalhes do procedimento e do equipamento de ensaio; l) a indicação dos resultados considerados como limites das medições; <p>Para determinação do índice de isolamento sonoro, a partir das curvas(...) deve utilizar-se a norma ISO 717-1. Deve mencionar-se, claramente, que esta determinação foi baseada em resultados obtidos <i>in situ</i>.</p>

Quadro A.2 - quadro comparativo NP EN ISO 16283-1 e NP EN ISO 140-4

NP EN ISO 16283-1	NP EN ISO 140-4
<p>Âmbito e campo de aplicação: Compartimentos onde o campo sonoro possa ser considerado difuso ou não. Aplicável para os compartimentos com volume entre 10m³ e 250m³.</p>	<p>Âmbito e campo de aplicação: Apenas em condições de campo sonoro difuso.</p>
<p>4. Equipamento 4.1 Generalidades Instrumentos de medição devem satisfazer os requisitos para instrumentos de classe 0 ou 1; os filtros devem verificar os requisitos para instrumentos de classe 0 ou 1; Equipamento para medição do tempo de reverberação deve verificar os requisitos definidos na ISO 3382.</p>	<p>4. Equipamento O equipamento para medição deve satisfazer os requisitos das classes de exatidão 0 ou 1 Os filtros utilizados devem obedecer aos requisitos definidos na IEC 61260. O equipamento para medição do tempo de reverberação deve obedecer aos requisitos definidos na norma ISO 354.</p>
<p>4.2. Calibração: No início e no fim de cada sessão de medições, através de calibrador que satisfaça os requisitos de um instrumento de classe 0 ou 1. A diferença entre as leituras de duas verificações consecutivas deve ser igual ou inferior a 0,5dB.</p>	<p>Deve ser ajustado antes de cada medição com o auxílio de um calibrador acústico, conforme as especificações definidas na IEC 60942 para os instrumentos de exatidão de classe 1.</p>
<p>4.3. Verificação Recomenda-se a calibração do calibrador em intervalos que não excedam 1 ano e a verificação do sistema de instrumentação e dos até 2 anos.</p>	
<p>7. Procedimento geral para medições do nível de pressão sonora: Medições em bandas de terços de oitava entre 100Hz e 3150Hz. Clarifica a forma como os operadores podem medir o campo sonoro utilizando um sonómetro ou microfone na mão.</p>	<p>6. Generalidades: Medições efetuadas por bandas de um terço de oitava, a menos que tenha sido acordado previamente, a sua realização por bandas de oitava. O procedimento para realização de medições por bandas de oitava encontra-se especificado no Anexo B.</p>
<p>7.2. Produção do campo sonoro: Cada altifalante deve cumprir com os requisitos de diretividade do anexo (Qualificação da Diretividade, em intervalos de 5° ao invés de uma única medição por cada ângulo de 30 graus da ISO140-4). O nível de pressão sonora média não deve apresentar uma diferença em nível, superior a 8dB entre bandas de 1/3 de Oitava adjacentes.</p>	<p>6.2. Produção do Campo Sonoro: Cada altifalante deve cumprir com os requisitos de diretividade do anexo A. O espectro, no Compartimento emissor, não deve apresentar diferenças de nível superiores a 6dB.</p>
<p>7.2.2. Posições do altifalante Altifalante colocado em pelo menos duas posições Se os compartimentos tiverem volumes diferentes, deve-se escolher o maior, como emissor. ✓ Distância entre posições da fonte >1,4m ✓ Afastamento superior a 0,5m dos limites do compartimento e 1,0m da divisória ✓ (Diferentes posições do altifalante não devem estar localizadas em planos paralelos às superfícies do compartimento emissor que não estejam separados de pelo menos 0,7m. A</p>	<p>Altifalante colocado em pelo menos duas posições Se os compartimentos tiverem volumes diferentes, deve-se escolher o maior, como emissor ✓ Distância entre posições da fonte superior a 1,4m ✓ Afastamento superior a 0,5m dos limites do compartimento</p>

NP EN ISO 16283-1	NP EN ISO 140-4
<p>distância entre posições (paralelas ao compartimento) deve ser de pelo menos 0,7m.</p> <p>✓ Quando se procede à medição do isolamento sonoro de um pavimento com a fonte sonora no compartimento sobrejacente a superfície inferior da fonte sonora deve estar a pelo menos 1,0m acima do pavimento.</p>	<p>✓ Evitar posições paralelas às fronteiras do compartimento.</p>
<p>7.3 Microfone em posições fixas O operador pode estar ausente ou presente no compartimento, devendo neste caso assegurar uma distância de um braço do microfone.</p> <p>7.3.2 Número de medições Mínimo de 5 posições de microfone em cada compartimento para cada posição de altifalante, distribuídas dentro do maior espaço possível permitido. Nenhuma de duas posições de microfone se deve situar no mesmo plano relativamente às superfícies do compartimento e as posições não deverão estar segundo uma grelha regular.</p> <p>7.3.4. Um único altifalante funcionando em mais do que uma posição Medir o nível de pressão sonora tanto no compartimento emissor como no compartimento recetor, para a primeira posição do altifalante. Calcular o nível de pressão sonora média-energética tanto no compartimento emissor como no compartimento recetor depois proceder a eventuais correções para o ruído de fundo. Repetir o processo para as outras posições do altifalante. O isolamento sonoro padronizado obtém-se com expressão:</p> $D_{nT} = -10 \lg \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{-D_{nT,j}/10}$ <p><i>m</i> é o número de posições do altifalante <i>D_{nT,j}</i> é o isol. sonoro padronizado do altifalante <i>j</i></p>	<p>Devem ser utilizadas, no mínimo, 5 posições de medição para o microfone fixo; estas devem ser distribuídas no compartimento de forma uniforme.</p> <p>6.3.3 Medição a) Utilização de uma única fonte sonora O número mínimo de medições com a utilização de um microfone fixo é de dez (uma medição em cada posição do microfone correspondente a cada posição do altifalante).</p> <p>Os níveis de pressão sonora, para as diversas posições do microfone, devem ser calculados sobre uma base energética, para todas as posições da fonte sonora. O cálculo do isolamento sonoro padronizado faz-se utilizando a seguinte expressão:</p> $D_{nT} = D + 10 \lg \frac{T}{T_0} \text{ dB}$ <p>onde:</p> <p><i>D</i> é o isolamento sonoro bruto; <i>T</i> é o tempo de reverberação no compartimento recetor; <i>T₀</i> é o tempo de reverberação de referência; em edifícios destinados à habitação, <i>Z₀</i> = 0,5 s.</p>
<p>7.6 Distâncias mínimas para posições do microfone Mantem-se inalterado.</p>	<p>6.3.2. Posições de microfone</p>
<p>7.7. Tempo de Medição 7.7.1. Microfone em posições fixas Para cada posição individual do microfone a duração da medição deve ser pelo menos 6s nas bandas de frequências entre 100Hz e 400Hz. Para as bandas de frequências entre os 500Hz e os 5000Hz é permissível reduzir o tempo de medição até um valor não inferior a 4 s.</p>	<p>6.3.4. Tempo de Medição Para cada posição individual do microfone, o intervalo médio de tempo de medição deve ser, pelo menos, de 6 s para cada uma das bandas de frequências, cujas frequências centrais sejam inferiores a 400 Hz. Para bandas com frequências centrais superiores este intervalo pode ser reduzido até um valor não inferior a 4 s.</p>
<p>8 Procedimentos para baixa frequência para medições do nível de pressão Sonora Novo procedimento para a baixa frequência em bandas de terço-de-oitava de 50 Hz, 63 Hz e 80 Hz, no compartimento emissor e/ou no compartimento recetor, quando o seu volume for inferior a 25 m³.</p>	

NP EN ISO 16283-1	NP EN ISO 140-4
<p>9. Ruído Residual Procedimento igual ao descrito na tabela anterior.</p>	<p>6.6. Correção do Ruído de Fundo Deve-se medir o nível do ruído de fundo a fim de assegurar que as medições realizadas no compartimento recetor não sejam afetadas por ruídos perturbadores.</p>
<p>9.2. Correção do nível de sinal em presença do ruído de fundo. Procedimento igual ao descrito na tabela anterior.</p>	<p>O nível do ruído de fundo deve estar, no mínimo, 6 dB (de preferência 10 dB) abaixo do nível do sinal, combinado com o ruído de fundo.</p>
<p>10. Tempo de reverberação no compartimento recetor Procedimento igual ao descrito na tabela anterior.</p>	<p>6.5 Medição do tempo de reverberação(...) Apesar de a norma preconizar o uso da ISO 354(...), por obediência à NOTA3 do documento do LNEC, o tempo de medição era já medido de acordo com a norma ISO 3382-2 e, portanto, utilizando um procedimento de medição sem diferenças substanciais relativamente ao proposto na nova norma.</p>
<p>13. Incerteza: A incerteza dos resultados das medições deve ser determinada de acordo com o método descrito na norma ISO 12999-1.</p>	<p>7. Exatidão O método de medição deve ser satisfatório quanto à sua repetibilidade, a qual deve ser determinada de acordo com o indicado na norma ISO 140-2 (...).</p>
<p>14. Relatório de ensaio O relatório de ensaio deve incluir no mínimo a seguinte informação: j) referência a esta parte da norma e quaisquer emendas; k) o nome da organização que realizou as medições; l) o nome e o endereço do cliente; m) a data da realização do ensaio; n) descrição e identificação dos edifícios; o) volume dos compartimentos emissor e recetor e área de superfície de qualquer elemento separador S; p) isolamento sonoro padronizado DnT em função da frequência; q) breve descrição dos procedimentos de ensaio e dos equipamentos de medição; r) indicação dos resultados que devem ser considerados como os limites de medição. Para determinação do índice que classifica as curvas (...) ver ISO 717-1. Deve identificar-se claramente que a determinação desse valor foi baseada em resultados obtidos a partir de medições realizadas <i>in situ</i>. O relatório de ensaio deve ainda incluir a incerteza associada à avaliação através do índice.</p>	<p>9. Relatório de ensaio O relatório de ensaio deve compreender as informações seguintes: a) referência à presente parte da norma ISO 140; b) nome do organismo que realizou as medições; c) nome e morada da entidade ou da pessoa que encomendou o ensaio (cliente); d) data do ensaio; e) descrição e identificação do tipo de construção e da configuração do ensaio; f) volumes dos dois compartimentos; g) o (...)isolamento sonoro bruto padronizado DnT (...) h) (...) i) uma breve descrição dos detalhes do procedimento e do equipamento de ensaio; j) a indicação dos resultados considerados como limites das medições; k) as transmissões marginais, se medidas Para determinação do índice de isolamento sonoro, a partir das curvas(...) deve utilizar-se a norma ISO 717-1. Deve mencionar-se, claramente, que esta determinação foi baseada em resultados obtidos <i>in situ</i>.</p>

Quadro A.3 - quadro comparativo NP EN ISO 16283-2 e NP EN ISO 140-7

NP EN ISO 16283-2	NP EN ISO 140-7
<p>Âmbito e campo de aplicação: Compartimentos onde o campo sonoro possa ser considerado ou não difuso. Nova fonte sonora: Bola de borracha que deve cumprir com anexo A2</p>	<p>Âmbito e campo de aplicação: Condições de campo sonoro difuso. Não existe a fonte de bola de borracha.</p>
<p>7. Procedimento geral para medições do nível de pressão sonora: Medições em bandas de terços de oitava entre 100Hz e 3150Hz.</p>	<p>6. Generalidades: Medições efetuadas por bandas de um terço de oitava, a menos que tenha sido acordado previamente, a sua realização por bandas de oitava.</p>
<p>8. Produção do campo sonoro: O nível de pressão sonora média no compartimento emissor não deve apresentar uma diferença em nível, superior a 8dB entre bandas de 1/3 de Oitava adjacentes.</p>	<p>6.2. Produção do Campo Sonoro: O espectro, no Compartimento emissor, não deve apresentar diferenças de nível superiores a 6dB.</p>
<p>7.2.2. Posições O número de posições do microfone e da máquina de percussão em função da área de pavimento dos compartimentos emissor e recetor conforme o anexo D1 podendo ser de 4 a 8 para a máquina de percussão. Quando a bola de borracha é a fonte de impacto, o ruído de impacto deve resultar da queda livre da bola de borracha, na vertical, de uma altura de (100 ±1) cm medida entre a superfície inferior da bola de borracha e a superfície do revestimento objeto de ensaio. A queda da bola de borracha deve ser efetuada em pelo menos quatro locais diferentes do piso ou da escada objeto de ensaio. No caso de um pavimento leve com vigas, um dos locais deverá ser sobre as vigas e outro no centro do piso.</p>	
<p>7.3 Microfone em posições fixas O operador pode estar ausente ou presente no compartimento, devendo neste caso assegurar uma distância de um braço do microfone. 7.3.2 Número de medições O número de posições dos microfones deve ser igual ao número das posições da máquina de percussão ou múltiplos inteiros do número de posições da máquina de percussão. O mesmo número de posições do microfone deve ser utilizado para cada posição da máquina de percussão. Se quatro ou cinco posições da máquina de percussão são usadas, pelo menos duas medições do nível de pressão sonora do ruído de percussão devem ser efetuadas para cada posição da máquina de percussão. As medições devem ser efetuadas em pelo menos duas posições do microfone diferentes para cada posição da máquina de percussão.</p>	<p>5.3.2 Posições de microfone As distâncias mínimas de afastamento são as seguintes: 0,7 m entre posições de microfones; 0,5 m entre uma qualquer posição de microfone e as fronteiras do compartimento e elementos difusores; 1,0 m entre uma posição qualquer do microfone e o pavimento (superior) excitado pela máquina de percussão.</p>
<p>7.6 Distâncias mínimas para posições do microfone</p>	<p>No compartimento devem ser utilizadas pelo menos quatro posições do microfone devendo estas ser distribuídas uniformemente no espaço disponível para medição.</p>

NP EN ISO 16283-2	NP EN ISO 140-7
<p>As distâncias mínimas de separação entre posições dos microfones são as seguintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 0,7 m entre posições fixas de microfones; ✓ 0,5 m entre qualquer posição do microfone e os limites do compartimento ; ✓ 1,0 m entre uma posição do microfone e pavimento excitado pela fonte de impacto; 	<p>a) Posições de microfone fixo Quando são utilizadas posições de microfone fixo, o número de medições deve ser, no mínimo, de seis para uma combinação de, pelo menos, quatro posições de microfone para quatro posições da máquina de percussão.</p>
<p>7.7. Tempo de Medição Para cada posição individual do microfone, a duração da medição deve ser pelo menos 6 s nas bandas de frequências entre 100 Hz e 400 Hz. Para as bandas de frequências entre os 500 Hz e os 5000 Hz é permissível reduzir o tempo de medição até um valor não inferior a 4 s. Entre os 50 Hz e os 80 Hz a duração da medição em cada posição individual do microfone deve ser, pelo menos, de 15 s.</p>	<p>5.3.4 Tempo de medição O intervalo de tempo de medição para cada posição de microfone deve ser, pelo menos, de 6 s em cada uma das bandas de frequências cuja frequência central seja inferior a 400 Hz. Para as bandas de frequências superiores é possível reduzir esse tempo até a um valor não inferior a 4 s. Quando se utiliza um microfone móvel, o intervalo de tempo deve corresponder a um número inteiro de varrimentos e não ser inferior a 30 s.</p>
<p>9. Ruído Residual Procedimento igual ao já descrito no quadro anterior.</p>	<p>5.6. Correção do Ruído de Fundo Deve-se medir o nível do ruído de fundo a fim de assegurar que as medições realizadas no compartimento recetor não sejam afetadas por ruídos perturbadores.</p>
<p>9.2. Correção do nível de sinal em presença do ruído de fundo. Procedimento igual ao já descrito no quadro acima</p>	
<p>10. Tempo de reverberação no compartimento recetor Procedimento igual ao já descrito no quadro acima</p>	<p>5.5 Medição do tempo de reverberação(...) o tempo de medição era já medido de acordo com a norma ISO 3382-2 e, portanto, utilizando um procedimento de medição sem diferenças substanciais relativamente ao proposto na nova norma.</p>
<p>13. Incerteza: A incerteza dos resultados das medições deve ser determinada de acordo com o método descrito na norma ISO 12999-1</p>	<p>7. Exatidão O método de medição deve ser satisfatório quanto à sua repetibilidade, a qual deve ser determinada de acordo com o indicado na norma ISO 140-2 (...)</p>
<p>14. Relatório de ensaio O relatório de ensaio deve incluir no mínimo a seguinte informação:</p> <ul style="list-style-type: none"> s) referência a esta parte da norma e quaisquer emendas; t) o nome da organização que realizou os ensaios u) o nome e o endereço do cliente; v) a data da realização do ensaio; w) descrição e identificação dos edifícios; x) volume dos compartimentos emissor e recetor e área de superfície de qualquer elemento separador S; y) isolamento sonoro padronizado em função da f z) breve descrição dos procedimentos de ensaio e dos equipamentos de medição; aa) indicação dos resultados que devem ser considerados como os limites de medição. <p>Para determinação do índice que classifica as curvas (...) ver ISO 717-2. Deve identificar-se claramente que a determinação desse valor foi baseada em resultados obtidos a partir de medições realizadas <i>in situ</i>. O relatório de ensaio deve ainda incluir a incerteza associada à avaliação através do índice.</p>	<p>9. Relatório de ensaio O relatório de ensaio deve compreender as informações seguintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) referência à presente parte da norma ISO 140; b) nome do organismo que realizou as medições; c) nome e morada da entidade ou da pessoa que encomendou o ensaio (cliente); d) data do ensaio; e) descrição e identificação do tipo de construção e da configuração do ensaio; f) volumes dos dois compartimentos; g) o (...) isolamento sonoro bruto padronizado (...) h) (...) i) uma breve descrição dos detalhes do procedimento e do equipamento de ensaio; j) a indicação dos resultados considerados como limites das medições; k) as transmissões marginais, se medidas <p>Para determinação do índice de isolamento sonoro, a partir das curvas (...) deve utilizar-se a norma ISO 717-2. Deve mencionar-se, claramente, que esta determinação foi baseada em resultados obtidos <i>in situ</i>.</p>

Quadro A.4 - quadro resultado método alternativo A1

método A1		índice proposto Dls,dev,nT,0.1w							NP16283-3 D2m,nT,w dB						
		dB (s.arredondar)			desvio %			Global	40	33	36	desvio %			Global
desvios		CE1	CE2	CE3	CE1	CE2	CE3		CE1	CE2	CE3	CE1	CE2	CE3	
1	ABC	41.4	34	36.2	1.4%	1.5%	-1.1%	0.6%	41	34	36	2.4%	2.9%	0.0%	1.8%
2	ABF	41.3	34.4	36.4	1.2%	2.6%	-0.5%	1.1%	41	34	36	2.4%	2.9%	0.0%	1.8%
3	ABI	41	33.6	35.8	0.5%	0.3%	-2.2%	-0.5%	41	33	35	2.4%	0.0%	-2.9%	-0.1%
4	AEC	42	33.5	36.2	2.9%	0.0%	-1.1%	0.6%	42	33	36	4.8%	0.0%	0.0%	1.6%
5	AHC	41.4	31.9	36	1.4%	-5.0%	-1.7%	-1.7%	41	31	36	2.4%	-6.5%	0.0%	-1.3%
6	AEF	43.2	33.9	36.3	5.6%	1.2%	-0.8%	2.0%	43	33	36	7.0%	0.0%	0.0%	2.3%
7	AEI	42.1	33.4	35.9	3.1%	-0.3%	-1.9%	0.3%	42	33	35	4.8%	0.0%	-2.9%	0.6%
8	AFH	41.3	32.2	36.1	1.2%	-4.0%	-1.4%	-1.4%	41	32	36	2.4%	-3.1%	0.0%	-0.2%
9	AHI	41.1	31.9	35.7	0.7%	-5.0%	-2.5%	-2.3%	41	31	35	2.4%	-6.5%	-2.9%	-2.3%
10	BCD	43.6	32	35.8	6.4%	-4.7%	-2.2%	-0.2%	43	32	35	7.0%	-3.1%	-2.9%	0.3%
11	BCG	43.8	35.4	38.3	6.8%	5.4%	4.4%	5.6%	43	35	38	7.0%	5.7%	5.3%	6.0%
12	BDF	44.4	36.1	38	8.1%	7.2%	3.7%	6.3%	44	36	38	9.1%	8.3%	5.3%	7.6%
13	BDI	43.7	35.3	37.3	6.6%	5.1%	1.9%	4.5%	43	35	37	7.0%	5.7%	2.7%	5.1%
14	BFG	43.7	35.6	38.4	6.6%	5.9%	4.7%	5.7%	43	35	38	7.0%	5.7%	5.3%	6.0%
15	BGI	43.3	35.7	37.7	5.8%	6.2%	2.9%	5.0%	43	35	37	7.0%	5.7%	2.7%	5.1%
16	CDE	43.5	34.3	39.9	6.2%	2.3%	8.3%	5.6%	43	34	39	7.0%	2.9%	7.7%	5.9%
17	CDH	45.3	33.4	36.9	9.9%	-0.3%	0.8%	3.5%	45	33	36	11%	0.0%	0.0%	3.7%
18	CEG	45.5	34.8	37.6	10.0%	3.7%	2.7%	5.6%	45	34	37	11%	2.9%	2.7%	5.6%
19	CGH	44.4	33.3	37.4	8.1%	-0.6%	2.1%	3.2%	44	33	37	9.1%	0.0%	2.7%	3.9%
20	FDE	43.3	36.9	39.9	5.8%	9.2%	8.3%	7.8%	43	36	39	7.0%	8.3%	7.7%	7.7%
21	IDE	42.8	34.1	39.5	4.7%	1.8%	7.3%	4.6%	42	34	39	4.8%	2.9%	7.7%	5.1%
22	FDH	42.6	35.4	39.7	4.2%	5.4%	7.8%	5.8%	42	35	39	4.8%	5.7%	7.7%	6.1%
23	IDH	42.8	33.4	36.9	4.7%	-0.3%	0.8%	1.7%	42	33	36	4.8%	0.0%	0.0%	1.6%
24	FGE	42.8	37.1	39.5	4.7%	9.7%	7.3%	7.2%	42	37	39	4.8%	10.8%	7.7%	7.8%
25	IGE	42.5	36.7	37.6	4.0%	8.7%	2.7%	5.1%	42	36	37	4.8%	8.3%	2.7%	5.3%
26	FGH	43	32	36.1	5.1%	-4.7%	-1.4%	-0.3%	43	32	36	7.0%	-3.1%	0.0%	1.3%
27	IGH	44.4	33.3	37.4	8.1%	-0.6%	2.1%	3.2%	42	33	37	4.8%	0.0%	2.7%	2.5%
médias		42.97	34.2	37.35	5.0%	1.9%	1.9%	2.9%	42.5	33.8	36.9	5.8%	2.1%	2.2%	3.4%
NP 16283-3		40.8	33.5	36.6	sem arredondar				42.0	33.0	36.0	com arredondamento			
desvios dB.		2.2	0.7	0.8	dif média dB.			1.2	2.0	0.0	0.0	dif. Média dB.			0.7

Quadro A.5 - quadro resultado método alternativo A2

método A2		índice proposto $D_{ls,dev,nT,0.1w}$							NP16283-3 $D_{2m,nT,w}$ dB						
		dB (s.arredondar)			desvio %			Global	40	33	36	desvio %			Global
desvios		CE1	CE2	CE3	CE1	CE2	CE3		CE1	CE2	CE3	CE1	CE2	CE3	
1	ABC	41.4	34	36.2	1.4%	1.5%	-1.1%	0.6%	41	34	36	2.4%	2.9%	0.0%	1.8%
2	ABF'	41.9	34.2	36.2	2.6%	2.0%	-1.1%	1.2%	41	34	36	2.4%	2.9%	0.0%	1.8%
3	ABI	41	33.6	35.8	0.5%	0.3%	-2.2%	-0.5%	41	33	35	2.4%	0.0%	-2.9%	-0.1%
4	AE'C	41.3	34	36.7	1.2%	1.5%	0.3%	1.0%	41	34	36	2.4%	2.9%	0.0%	1.8%
5	AHC	41.4	31.9	36	1.4%	-5.0%	-1.7%	-1.7%	41	31	36	2.4%	-6.5%	0.0%	-1.3%
6	AE'F'	41.8	34.2	36.7	2.4%	2.0%	0.3%	1.6%	41	34	36	2.4%	2.9%	0.0%	1.8%
7	AE'I	40.9	33.6	36.3	0.2%	0.3%	-0.8%	-0.1%	40	33	36	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8	AF'H	42	32.2	36	2.9%	-4.0%	-1.7%	-0.9%	42	32	36	4.8%	-3.1%	0.0%	0.5%
9	AHI	41.1	31.9	35.7	0.7%	-5.0%	-2.5%	-2.3%	41	31	35	2.4%	-6.5%	-2.9%	-2.3%
10	BCD'	41.2	34	36.4	1.0%	1.5%	-0.5%	0.6%	41	34	36	2.4%	2.9%	0.0%	1.8%
11	BCG	43.8	35.4	38.3	6.8%	5.4%	4.4%	5.6%	43	35	38	7.0%	5.7%	5.3%	6.0%
12	BD'F'	43.2	36.3	38.5	5.6%	7.7%	4.9%	6.1%	43	36	38	7.0%	8.3%	5.3%	6.9%
13	BD'I	41.6	35.4	38	1.9%	5.4%	3.7%	3.7%	41	35	38	2.4%	5.7%	5.3%	4.5%
14	BF'G	44.8	36	38.5	8.9%	6.9%	4.9%	6.9%	44	36	38	9.1%	8.3%	5.3%	7.6%
15	BGI	43.3	35.7	37.7	5.8%	6.2%	2.9%	5.0%	43	35	37	7.0%	5.7%	2.7%	5.1%
16	CD'E'	42.7	36	38.4	4.4%	6.9%	4.7%	5.4%	42	36	38	4.8%	8.3%	5.3%	6.1%
17	CD'H	42.8	33.1	37.5	4.7%	-1.2%	2.4%	2.0%	42	33	37	4.8%	0.0%	2.7%	2.5%
18	CE'G	43.9	35.9	38.3	7.1%	6.7%	4.4%	6.1%	43	35	38	7.0%	5.7%	5.3%	6.0%
19	CGH	44.4	33.3	37.4	8.1%	-0.6%	2.1%	3.2%	44	33	37	9.1%	0.0%	2.7%	3.9%
20	FD'E'	42.7	36	38.4	4.4%	6.9%	4.7%	5.4%	42	36	38	4.8%	8.3%	5.3%	6.1%
21	ID'E'	41.6	35.4	38	1.9%	5.4%	3.7%	3.7%	41	35	38	2.4%	5.7%	5.3%	4.5%
22	F'D'H	42.8	33.1	37.5	4.7%	-1.2%	2.4%	2.0%	42	33	37	4.8%	0.0%	2.7%	2.5%
23	ID'H	41.2	33.1	37.5	1.0%	-1.2%	2.4%	0.7%	41	33	37	2.4%	0.0%	2.7%	1.7%
24	F'GE'	43.9	36.1	38.3	7.1%	7.2%	4.4%	6.2%	43	36	38	7.0%	8.3%	5.3%	6.9%
25	IGE'	43.9	36.1	38.2	7.1%	7.2%	4.2%	6.2%	43	36	38	7.0%	8.3%	5.3%	6.9%
26	F'GH	43	32	36.1	5.1%	-4.7%	-1.4%	-0.3%	43	32	36	7.0%	-3.1%	0.0%	1.3%
27	IGH	44.4	33.3	37.4	8.1%	-0.6%	2.1%	3.2%	42	33	37	4.8%	0.0%	2.7%	2.5%
médias		42.52	34.3	37.26	4.0%	2.1%	1.7%	2.6%	41.9	34.0	36.9	4.5%	2.7%	2.3%	3.2%
NP 16283-3		40.8	33.5	36.6	sem arredondar				41.0	34.0	36.0	com arredondamento			
desvios dB.		1.7	0.8	0.7	dif média dB.			1.1	1.0	1.0	0.0	dif. Média dB.			0.7