

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO NO ISOLAMENTO SONORO ENTRE ESPAÇOS

SILVÂNA PATRÍCIA FERNANDES DA ROCHA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues

JANEIRO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A minha mãe

As palavras são a configuração acústica das ideias

Novalis

AGRADECIMENTOS

Finalizado este trabalho quero manifestar o meu agradecimento às pessoas que deram o contributo para a sua realização.

Os meus primeiros agradecimentos vão para o Professor Doutor Rui Calejo Rodrigues, orientador deste trabalho, pelo apoio, incentivo, acompanhamento e disponibilidade prestados, pelo entusiasmo manifestado, pelas sugestões dadas e pela correção deste trabalho.

De igual modo quero deixar o meu agradecimento ao Engenheiro Pedro, colaborador do Núcleos de Investigação & Desenvolvimento em Engenharia Acústica – FEUP, pela paciência e pelo apoio e acompanhamento prestados durante a realização dos ensaios experimentais.

Um agradecimento especial à minha mãe e à minha irmã por todo o apoio, compreensão e incentivo não só na realização deste trabalho, como também ao longo de todo o percurso académico.

Por último quero agradecer aos meus amigos pelo incentivo e pelo apoio prestados durante a realização deste trabalho.

A todos o meu sincero obrigado.

RESUMO

O projeto de acústica para o interior dos edifícios tem como propósito conferir aos espaços interiores condições acústicas que não prejudiquem as atividades que neles se realizem. A transmissão sonora entre espaços adjacentes pressupõe por isso, a avaliação do isolamento sonoro conferido pelos elementos de separação.

Na análise da problemática deste trabalho pretende-se discutir a influência da variação do tempo de reverberação no isolamento sonoro entre espaços.

A partir de ensaios experimentais de medição do isolamento sonoro procurou-se avaliar neste estudo o comportamento acústico de uma parede de separação entre dois compartimentos adjacentes. Os ensaios realizaram-se para diferentes variações de absorção sonora de cada um dos compartimentos. Os valores do índice de isolamento sonoro obtidos permitiram verificar a influência da variação da absorção sonora, no compartimento emissor, no isolamento sonoro da parede de separação.

Com base nos resultados obtidos foi apresentada uma proposta de correção do índice de isolamento sonoro padronizado, em função da variação da absorção volumétrica no local emissor.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia Acústica, Isolamento Sonoro, Absorção Sonora, Tempo de Reverberação.

ABSTRACT

The project of acoustics to the interior of buildings aims to give indoor acoustic conditions that do not affect the activities that take place inside the building. The sound transmission between adjacent spaces presupposes therefore the evaluation of sound insulation given by the elements of separation.

In the investigation of the issue of this study it is intended to discuss the influence of the variation of reverberation time on sound insulation between spaces.

From experimental tests of measurement of sound insulation was evaluated in this study the acoustic behaviour of a wall between two adjacent compartments. The tests were carried out for different variations of sound absorption in each of the compartments. The values of sound reduction index show the influence of the variation of the sound absorption in the source room on the sound insulation between rooms.

Based on the results was presented a correction of the sound insulation index, depending on the variations of sound absorption in the source room.

KEYWORDS: Engineering Acoustics, Sound Isolation, Sound Absorption, Reverberation Time.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2. ÂMBITO E OBJETO	3
1.3. OBJETIVO E MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO	3
1.4. ENQUADRAMENTO SOCIAL, CULTURAL E ECONÓMICO	4
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
2. SÍNTESE DE CONHECIMENTOS	7
2.1. INTRODUÇÃO	7
2.2. ENQUADRAMENTO DA ACÚSTICA	8
2.2.1. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES	8
2.2.2. ACÚSTICA COMO MATÉRIA DE ESTUDO	12
2.2.3. ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS	13
2.3. CONCEITOS TEÓRICOS	13
2.3.1. NOÇÕES GERAIS	13
2.3.1.1. FUNDAMENTOS DO SOM	13
2.3.1.2. ANÁLISE DA PRESSÃO	14
2.3.1.2.1. PROPAGAÇÃO DO SOM	14
2.3.1.2.2. NÍVEIS	15
2.3.1.3. ANÁLISE EM FREQUÊNCIA	16
2.3.1.4. ANÁLISE NO TEMPO	17
2.3.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	17
2.3.2.1. DEFINIÇÃO	17
2.3.2.2. MEDIÇÃO	18
2.3.2.3. FÓRMULAS DE PREVISÃO	19
2.3.2.4. MODOS PRÓPRIOS	20
2.3.3. ISOLAMENTO SONORO	21
2.3.3.1. ISOLAMENTO SONORO A RÚIDOS AÉREOS	21

2.3.3.2. MODELO TEÓRICO DE COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE ELEMENTOS SIMPLES.....	22
2.3.3.3. MODELOS DE CÁLCULO EXPERIMENTAIS DA REDUÇÃO SONORA E ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA DE ELEMENTOS SIMPLES.....	24
2.3.3.4. ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA PONDERADO - R_w	26
2.3.3.5. TERMOS DE ADAPTAÇÃO C E CTR.....	27
3. ENSAIOS LABORATORIAIS.....	29
3.1. INTRODUÇÃO.....	29
3.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	29
3.2.1. NORMALIZAÇÃO APLICÁVEL.....	29
3.2.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	30
3.2.3. BANDAS DE FREQUÊNCIAS.....	31
3.2.4. DISPOSITIVOS DE ENSAIO.....	31
3.2.5. DETERMINAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS LABORATORIAIS.....	31
3.2.6. MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE.....	32
3.2.7. MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA PONDERADO.....	32
3.3. PREPARAÇÃO E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO.....	32
3.3.1. ENSAIOS DE MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	32
3.3.1.1. CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA RECETORA R1.....	32
3.3.1.2. DADOS DE REFERÊNCIA.....	33
3.3.1.2.1. COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA.....	33
3.3.1.2.2. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DO AR.....	34
3.3.2. ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO.....	35
3.4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS LABORATORIAIS.....	36
3.4.1. ENSAIOS DE MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	36
3.4.1.1. CONFIGURAÇÃO 1.....	36
3.4.1.2. CONFIGURAÇÃO 2.....	37
3.4.1.3. CONFIGURAÇÃO 3.....	39
3.4.1.4. CONFIGURAÇÃO 4.....	40
3.4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	43
3.4.2.1. CÁLCULO TEÓRICO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO PELA EXPRESSÃO DE SABINE.....	43
3.4.2.2. CÁLCULO TEÓRICO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO PELA EXPRESSÃO DE ARAU-PUCHADES.....	43
3.4.3. SÍNTESE E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	48
3.4.4. ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO.....	48

3.4.4.1. SÍNTESE E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	49
4. ENSAIOS <i>IN SITU</i>	51
4.1. INTRODUÇÃO	51
4.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	52
4.2.1. NORMALIZAÇÃO APLICÁVEL.....	52
4.2.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	52
4.2.3. BANDAS DE FREQUÊNCIAS.....	52
4.2.4. DISPOSITIVOS DE ENSAIO.....	52
4.2.5. DETERMINAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	53
4.2.6. MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE.....	53
4.2.7. MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO.....	53
4.3. PREPARAÇÃO E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS <i>IN SITU</i>	53
4.3.1. ENSAIOS DE MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	53
4.3.1.1. CARACTERÍSTICAS DA SALA B330.....	53
4.3.1.2. DADOS DE REFERÊNCIA.....	54
4.3.1.2.1. COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA.....	54
4.3.1.2.2. COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DO AR.....	55
4.3.2. ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO.....	56
4.4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS <i>IN SITU</i>	56
4.4.1. ENSAIOS DE MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	56
4.4.1.1. CONFIGURAÇÃO 1.....	56
4.4.1.2. CONFIGURAÇÃO 2.....	57
4.4.1.3. CONFIGURAÇÃO 3.....	59
4.4.1.4. CONFIGURAÇÃO 4.....	60
4.4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
4.4.2.1. CÁLCULO TEÓRICO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO PELA EXPRESSÃO DE SABINE.....	62
4.4.2.2. CÁLCULO TEÓRICO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO PELA EXPRESSÃO DE ARAU-PUCHADES.....	62
4.4.3. SÍNTESE E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	67
4.4.4. ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO.....	67
4.4.4.1. SÍNTESE E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	69
4.5. PROPOSTA DE CORREÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO	70
4.5.1. FATOR DE CORREÇÃO K	71

5.CONCLUSÃO	75
5.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES	75
5.2. PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO	76
5.2.1. PROBLEMÁTICA 1 – ANÁLISE POR FREQUÊNCIA.....	76
5.2.2. PROBLEMÁTICA 2 – CORREÇÃO NO COMPARTIMENTO EMISSOR.....	77
5.2.3. PROBLEMÁTICA 3 – COMPORTAMENTO DO FATOR DE CORREÇÃO K EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO VOLUMÉTRICA.....	78
5.2.4. PROBLEMÁTICA 4 – INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO SONORA NO CAMPO SONORO.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	1

ANEXOS

A1. RELATÓRIOS DE ENSAIO - ENSAIOS LABORATORIAIS

A2. RELATÓRIOS DE ENSAIO – ENSAIOS *IN SITU*

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1.1 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO MEDIDO E TEMPO DE REVERBERAÇÃO CALCULADO PELA EXPRESSÃO DE SABINE.....	2
FIG. 2.1 – ZONAS DE COMPRESSÃO E ZONAS DE RAREFAÇÃO DAS MOLÉCULAS DO AR.....	14
FIG. 2.2 – ONDAS DIRETAS E ONDAS REFLETIDAS.....	18
FIG. 2.3 – DEFINIÇÃO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO T (VALOR TEÓRICO À ESQUERDA E OBTIDO POR EXTRAPOLAÇÃO DO DECLIVE À DIREITA).....	18
FIG. 2.4 – TRANSMISSÕES POR VIA DIRETA E INDIRETA E POR VIA MARGINAL.....	22
FIG. 2.5 – COMPORTAMENTO DA REDUÇÃO SONORA COM A FREQUÊNCIA DE QUALQUER ELEMENTO CONSTRUTIVO SIMPLES.....	23
FIG. 3.1 – CORTE TRANSVERSAL DAS CÂMARAS REVERBERANTES.....	30
FIG. 3.2 – CÂMARA RECETORA R1.....	33
FIG. 3.3 – PAINEL PERFILADO EM BASOTECT G.....	36
FIG. 3.4 – PAINEL PERFILADO EM PUR 25FR.....	36
FIG. 3.5 – CONFIGURAÇÃO 2.....	38
FIG. 3.6 – CONFIGURAÇÃO 3.....	39
FIG. 3.7 – CONFIGURAÇÃO 4.....	40
FIG. 3.8 – CURVAS DE DECAIMENTO DO SOM PARA AS DIFERENTES CONFIGURAÇÕES.....	42
FIG. 3.9 – MODOS PRÓPRIOS DA CÂMARA REVERBERANTE R1.....	42
FIG. 3.10 – CURVAS DE REVERBERAÇÃO DO SOM PARA A CONFIGURAÇÃO 1.....	46
FIG. 3.11 – CURVAS DE REVERBERAÇÃO DO SOM PARA A CONFIGURAÇÃO 2.....	46
FIG. 3.12 – CURVAS DE REVERBERAÇÃO DO SOM PARA A CONFIGURAÇÃO 3.....	47
FIG. 3.13 – CURVAS DE REVERBERAÇÃO DO SOM PARA A CONFIGURAÇÃO 4.....	47
FIG. 3.14 – CURVAS DE REDUÇÃO SONORA ENTRE CÂMARAS.....	49
FIG. 4.1 – PLANTA DAS SALAS ENSAIADAS <i>IN SITU</i>	52
FIG. 4.2 – SALA DE ENSAIOS <i>IN SITU</i>	54
FIG. 4.3 – CONFIGURAÇÃO 2.....	58
FIG. 4.4 – CONFIGURAÇÃO 3.....	59
FIG. 4.5 – CONFIGURAÇÃO 4.....	60
FIG. 4.6 – CURVAS DE REVERBERAÇÃO DO SOM PARA AS DIFERENTES CONFIGURAÇÕES.....	62
FIG. 4.7 – CURVAS DE REVERBERAÇÃO DO SOM PARA A CONFIGURAÇÃO 1.....	65
FIG. 4.8 – CURVAS DE REVERBERAÇÃO DO SOM PARA A CONFIGURAÇÃO 2.....	65
FIG. 4.9 – CURVAS DE REVERBERAÇÃO DO SOM PARA A CONFIGURAÇÃO 3.....	66
FIG. 4.10 – CURVAS DE REVERBERAÇÃO DO SOM PARA A CONFIGURAÇÃO 4.....	66

FIG. 4.11 – CURVAS DE ISOLAMENTO SONORO ENTRE SALAS.....	69
FIG. 4.12 – ISOLAMENTO SONORO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO VOLUMÉTRICA.....	70
FIG. 4.13 – ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO PREVISTO.....	71
FIG. 4.14 – FATOR CORRETIVO K EM FUNÇÃO DA ABSORÇÃO VOLUMÉTRICA.....	72
FIG. 5.1 – ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO D_{NT} EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO SONORA VOLUMÉTRICA PARA A FREQUÊNCIA DOS 500 HZ.....	77
FIG. 5.2 – NÍVEL DE PRESSÃO SONORA L_1 EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO SONORA VOLUMÉTRICA PARA A FREQUÊNCIA DOS 500 HZ.....	77
FIG. 5.3 – COMPORTAMENTO DO FATOR CORRETIVO K	78

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 2.1 - REQUISITOS DE $D_{NT,w}$ EM EDIFÍCIOS HABITACIONAIS E MISTOS, E UNIDADES HOTELEIRAS.....	10
QUADRO 2.2 - REQUISITOS DE $D_{NT,w}$ EM EDIFÍCIOS ESCOLARES E SIMILARES, E DE INVESTIGAÇÃO.....	11
QUADRO 2.3 - REQUISITOS DE $D_{NT,w}$ EM EDIFÍCIOS HOSPITALARES E SIMILARES, E DE INVESTIGAÇÃO.....	11
QUADRO 2.4 – VALORES DE REFERÊNCIA PARA SONS DE CONDUÇÃO AÉREA.....	26
QUADRO 3.1 – FREQUÊNCIAS CENTRAIS, EM HZ.	31
QUADRO 3.2 – CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO UTILIZADO.....	31
QUADRO 3.3 – COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DOS ELEMENTOS.....	33
QUADRO 3.4 – COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DO AR.....	34
QUADRO 3.5 – MATRIZ DE POSSIBILIDADES DE VARIAÇÃO DE ABSORÇÃO SONORA PARA OS ENSAIOS EM LABORATÓRIO.....	35
QUADRO 3.6 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE PARA A CONFIGURAÇÃO 1.....	37
QUADRO 3.7 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE PARA A CONFIGURAÇÃO 2.....	38
QUADRO 3.8 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE PARA A CONFIGURAÇÃO 3.....	39
QUADRO 3.9 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE PARA A CONFIGURAÇÃO 4.....	41
QUADRO 3.10 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE CALCULADOS PELA EXPRESSÃO DE SABINE.....	44
QUADRO 3.11 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE CALCULADOS PELA EXPRESSÃO DE ARAU-PUCHADES.....	45
QUADRO 3.12 – ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA, R_w	48
QUADRO 4.1 – COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DOS ELEMENTOS.....	54
QUADRO 4.2 – COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DO AR.....	55
QUADRO 4.3 – MATRIZ DE POSSIBILIDADES DE VARIAÇÃO DE ABSORÇÃO SONORA PARA OS ENSAIOS <i>IN SITU</i> . 56	
QUADRO 4.4 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE PARA A CONFIGURAÇÃO 1.....	57
QUADRO 4.5 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE PARA A CONFIGURAÇÃO 2.....	58
QUADRO 4.6 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE PARA A CONFIGURAÇÃO 3.....	59
QUADRO 4.7 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE PARA A CONFIGURAÇÃO 4.....	61
QUADRO 4.8 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE CALCULADOS PELA EXPRESSÃO DE SABINE.....	63

QUADRO 4.9 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE CALCULADOS PELA EXPRESSÃO DE ARAU-PUCHADES.....	64
QUADRO 4.10 – CÁLCULO DA VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO VOLUMÉTRICA.....	68
QUADRO 4.11 – ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO $D_{NT,W}$	69
QUADRO 4.12 – FATOR DE CORREÇÃO K	72

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

RGR - Regulamento Geral sobre o Ruído

RLPS - Regime Legal sobre a Poluição Sonora

D.L. – Decreto de Lei

$D_{nT,w}$ - Isolamento sonoro a sons de condução aérea ponderado

dB – Decibel

ICA - International Congress on Acoustics

ICSV - International Congress on Sound and Vibration

Pa – Pascal

p – Pressão (Pa)

L_p – Nível de pressão sonora (dB)

p_0 – Pressão sonora de referencia (Pa)

L_I - Nível de intensidade sonora

L_W - Nível de potência sonora

Hz – Hertz

f - Frequência (Hz)

L_{eq} - Nível de pressão sonora equivalente (dB)

L_i - Nível de pressão sonora de um determinado som (dB)

T – Tempo de reverberação (s)

V – Volume do compartimento (m^3)

A - Área de absorção sonora equivalente (m^2)

α – Coeficiente de absorção sonora do material

S – Superfície real do material (m^2)

A_j – Absorções sonoras localizadas

m – Absorção sonora do ar (m^{-1})

RT – Reverberation Time (s)

L – Comprimento da sala (m)

W – Largura sala (m)

H – Altura sala (m)

R – Redução sonora

τ - Coeficiente de transmissão

L_1 - nível de pressão sonora médio no compartimento emissor (dB)

L_2 - nível de pressão sonora médio no compartimento recetor (dB)

A_{eq} - Área de absorção sonora equivalente do compartimento recetor (m^2)

D_{nT} - Isolamento sonoro padronizado (dB)

T_0 - Tempo de reverberação de referência (s)

M - massa do elemento (Kg/m^2)

m - massa do elemento (Kg/m^2)

f – frequência (Hz)

ρ_0 - Densidade do ar (Kg/m^3)

c – Celeridade (m/s)

η - Fator de perdas internas

f_c - Frequência crítica (Hz)

h - Espessura do elemento (m)

ρ - Densidade do material (Kg/m^3)

ν - Coeficiente de Poisson

E - Módulo de Young (Pa)

R_w - Índice de redução sonora ponderado (dB)

1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A Engenharia Acústica é um dos ramos do conhecimento que estuda os fenómenos sonoros, bem como as propriedades acústicas dos diferentes materiais, a propagação do som nos diversos meios e os seus efeitos.

Os efeitos dos estímulos sonoros podem ser considerados prejudiciais, neutros ou agradáveis consoante o seu significado para quem os recebe e interpreta. Interessa à Engenharia Acústica estudar formas de controlo daquilo a que se chama *ruído*, um estímulo sonoro desagradável e sem significado para o ouvinte. Neste sentido cabe aos projetistas, nos dias de hoje, a elaboração de projetos de acústica que visem a proteção contra o *ruído*, permitindo desta forma a conceção de edifícios que proporcionem condições satisfatórias de conforto acústico para os utilizadores.

A elaboração de um projeto de acústica pressupõe o conhecimento e identificação das fontes de ruído, de modo a que sejam incompatíveis com as características acústicas pretendidas para o edifício. A acústica de edifícios é um ramo da acústica que procura analisar fontes de ruído, e, de acordo com os estímulos sonoros provenientes dessas fontes, prevê o dimensionamento do isolamento sonoro das componentes estruturais constituintes do edifício, de modo a dotá-lo de condições de qualidade acústica adequadas à sua utilização.

A conceção dos edifícios deve ter em conta o conforto acústico, definido pelo projeto de acústica, e para isso deve respeitar os requisitos acústicos impostos pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1]. Este regulamento visa a melhoria das condições acústicas não só da envolvente do edifício, como também do seu interior.

A transmissão sonora no interior dos edifícios presume a existência de pelo menos dois espaços, um onde se produzem os estímulos sonoros e outro recetor desses estímulos, em geral delimitados por paredes nas quais se prevê a colocação de isolamento sonoro, com o objetivo de reduzir o nível sonoro entre a fonte sonora e o recetor. O isolamento sonoro dimensionado para os diferentes elementos de compartimentação de um edifício em serviço deve garantir que a transmissão do som entre espaços interiores, em condições normais de utilização, não perturbe as atividades que neles se realizem.

Como o objetivo de se obter um bom desempenho acústico entre dois compartimentos contíguos, as paredes divisórias são concebidas de modo a atenuar a transmissão de energia sonora entre esses compartimentos. Deste modo, o isolamento sonoro conferido pelas paredes de separação entre compartimentos tem como função reduzir de forma significativa a passagem do som de um ambiente para outro.

A avaliação do comportamento acústico de uma parede divisória, entre dois compartimentos, face à transmissão do som constitui a motivação para este trabalho. Pretende-se com isto analisar a propagação do som entre espaços interiores, e averiguar se a parede de separação apresenta sempre o mesmo comportamento, independentemente das condições dos campos sonoros emissor e recetor.

Neste contexto foram efetuadas umas primeiras medições em duas salas de aula da FEUP com as mesmas dimensões e características. Dado que se pretendia avaliar o isolamento sonoro entre as duas salas, e uma vez que estas apresentavam as mesmas características físicas, a única condição material, cuja alteração fosse praticável nesta situação, era a alteração das características de absorção sonora de cada um dos compartimentos. Antes de se avançar para ensaios de isolamento sonoro optou-se por efetuar as primeiras medições, referidas anteriormente, que consistiram na medição do tempo de reverberação de uma das salas. A partir dos valores medidos efetuou-se uma análise comparativa com os valores do tempo de reverberação calculados pela expressão teórica de Sabine, tendo em conta a absorção sonora conferida por cada elemento e superfície presentes na sala. A razão para esta avaliação teve em conta o facto de este parâmetro acústico estar presente na expressão do índice de isolamento sonoro apresentada nas normas referentes ao cálculo do isolamento sonoro entre espaços. A análise comparativa revelou diferenças significativas entre os valores de tempo de reverberação medidos e os calculados pela expressão de Sabine (figura 1.1).

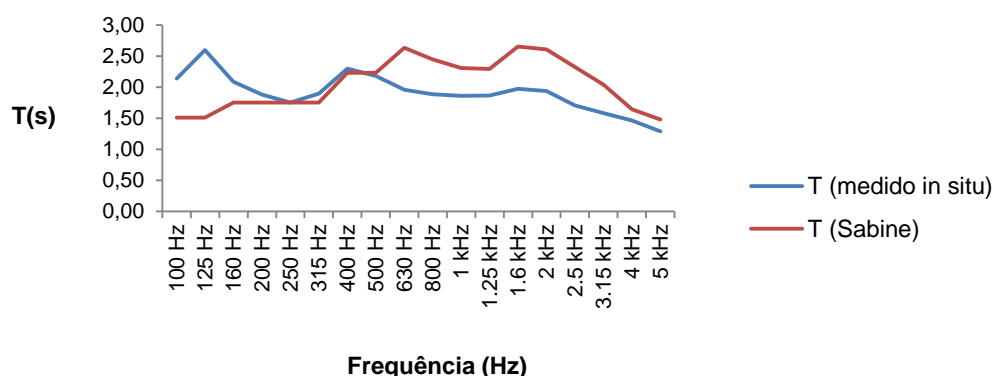


Fig. 1.1 – Tempo de reverberação medido e tempo de reverberação calculado pela expressão de Sabine.

Dado que as salas apresentam as mesmas características, verificam-se em ambas as diferenças analisadas.

Perante estas diferenças percebe-se que a determinação com precisão da absorção sonora presente nas salas é de difícil concretização. Além disso do cálculo da absorção sonora equivalente pela expressão de Sabine a partir dos valores de tempo de reverberação medidos podem resultar valores que diferem dos valores da absorção sonora efetivamente existente na sala.

Considerando os parâmetros acústicos que são parte integrante da expressão de cálculo do índice de isolamento sonoro apresentada nas normas, verifica-se que a absorção sonora nos compartimentos (recetor e emissor) tem uma contribuição no isolamento sonoro da parede, uma vez que tem influência no tempo de reverberação e no nível de pressão sonora de ambos os compartimentos.

Sob o ponto de vista acústico a redução sonora é uma característica intrínseca de um elemento, e por isso uma parede deve ter sempre o mesmo desempenho acústico. Contudo da primeira análise efetuada surgiu a questão que se enquadra na motivação para este trabalho: podem variações de absorção

sonora em compartimentos adjacentes ter influência no isolamento sonoro entre esses compartimentos?

Neste sentido, o desafio proposto passa por estudar a redução sonora entre dois espaços adjacentes, tendo em conta as características acústicas dos mesmos, de forma a avaliar a problemática apresentada.

1.2. ÂMBITO E OBJETO

A realização de diferentes atividades num mesmo edifício levou à necessidade de divisão entre compartimentos. A parede como elemento separador funciona ativamente na redução sonora dos estímulos sonoros que se propagam entre espaços. Neste contexto pretende-se com este trabalho a análise do desempenho da redução sonora entre dois espaços adjacentes.

Embora a parede seja o objeto de estudo, é necessário perceber que o desempenho acústico deste elemento está relacionado com as características acústicas dos próprios locais. Neste sentido, o campo de ação onde se envolve este trabalho está interligado com os aspetos considerados na acústica de salas.

As condições acústicas de uma sala dependem das suas propriedades físicas, nomeadamente as dimensões, bem como das características do campo sonoro gerado no seu interior [2]. Existem fenómenos que influenciam o campo sonoro, sendo o fenómeno de reverberação o que mais influencia a definição acústica de uma sala. Alterando as características acústicas da sala colocando, por exemplo materiais com maiores coeficientes de absorção sonora, o tempo de reverberação da sala altera-se e, consequentemente altera-se o campo sonoro estabelecido no interior da mesma.

A partir deste enquadramento o que se pretende é analisar a influência dos campos sonoros emissor e recetor no isolamento sonoro entre espaços, e testar a adequação do processo normativo, presente nas normas atuais, referente à medição do isolamento sonoro de elementos construtivos.

1.3. OBJETIVO E MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO

No presente trabalho pretende-se analisar, como já referido anteriormente, o isolamento sonoro entre dois espaços adjacentes, nos quais se introduzem variações nas características acústicas. Alterando a absorção sonora de ambos os espaços pretende-se dar resposta às seguintes questões:

- O aumento ou diminuição da absorção sonora nos compartimentos emissor e recetor tem influência no índice de redução sonora (R_w) da parede divisória?
- O índice de isolamento sonoro ($D_{nT,w}$) entre espaços é afetado pela alteração das características do campo sonoro?

Para a concretização deste objetivo optou-se pela utilização do seguinte método de investigação experimental:

- Série de ensaios em câmaras reverberantes (sem transmissões marginais) com o objetivo de averiguar a influência dos campos sonoros emissor e recetor no R_w da parede de separação.
- Idem em salas de aula com o objetivo de identificar a influência do campo sonoro no $D_{nT,w}$ da parede.

1.4. ENQUADRAMENTO SOCIAL, CULTURAL E ECONÓMICO

Vizinho barulhento condenado a pagar 24 mil euros de indemnização

Família teve vida infernal durante um ano e até foi obrigada a pernoitar em hotéis e pensões de Lisboa

Publicado em 2009-07-13

ANTÓNIO SOARES

“Uma família lisboeta que viu a sua vida transformada num inferno durante um ano, por causa do barulho feito por vizinhos, vai receber mais de 24 mil euros de indemnização por ordem do Supremo Tribunal de Justiça.

Desesperada, a família resolveu fazer obras de insonorização do andar, gastando pouco mais de dez mil euros. Numa primeira decisão do tribunal cível os vizinhos foram obrigados a pagar à família Ramos uma indemnização de cerca de 31 mil euros por danos patrimoniais e não patrimoniais. Num primeiro recurso, o Tribunal da Relação baixaria esta quantia para 20 mil euros. [...]”

In “Jornal de Notícias”, 13 de Julho de 2009.

Cada vez mais a Sociedade se preocupa com os riscos inerentes da exposição ao ruído. Na verdade o ruído é potenciador de problemas que comprometem muitas vezes a segurança e saúde pública. Perda auditiva, doenças cardiovasculares, *stress*, distúrbios psicológicos são algumas das doenças causadas pela exposição ao ruído, mesmo em níveis que não prejudiquem o sistema auditivo [3].

A consciencialização desta problemática do ruído motiva uma maior preocupação em relação ao conforto acústico e aos requisitos acústicos exigidos para os edifícios. No entanto, devido essencialmente a aspetos económicos, na maioria das edificações, sobretudo nos edifícios correntes de habitação, o projeto de acústica acaba por não ser considerado como peça integrante na qualidade de um edifício.

Uma das preocupações principais dos arquitetos são as fachadas do edifício, por constituírem a envolvente exterior que confere isolamento acústico a ruídos exteriores [4]. No entanto o ruído proveniente do interior, e que se propaga entre os diferentes compartimentos, constitui motivo de preocupação quando afeta as diferentes atividades realizadas num mesmo edifício. Hospitais, escolas e edifícios ligados ao lazer e à cultura, são as edificações onde mais se exige preocupações complementares com o isolamento interior, onde requisitos como bem-estar, capacidade de concentração e inteligibilidade da palavra devem ser garantidos. No caso de edifícios de habitação, estes devem garantir condições de conforto para repouso e descanso dos seus utilizadores, e na verdade as pessoas são mais sensíveis ao ruído gerado por vizinhos do que ao ruído ambiente de nível sonoro fraco, e por este motivo, o ruído que se propaga entre habitações fomenta muitas vezes conflitos sociais.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos com a seguinte designação:

- Capítulo 1: neste capítulo, com o título “Introdução” apresenta-se o tema em estudo e o seu enquadramento, sendo descritos também os objetivos, motivação, âmbito e estrutura organizativa;
- Capítulo 2: este capítulo, com o título “Síntese de Conhecimentos” aborda o estado do conhecimento, proporcionando um apoio técnico-científico dos conceitos teóricos necessários à investigação.
- Capítulo 3: neste capítulo, com o título “Ensaio Laboratoriais” são apresentados e analisados os ensaios experimentais realizados em laboratório.
- Capítulo 4: neste capítulo, com o título “Ensaio *in situ*” são apresentados e analisados os ensaios experimentais realizados para um caso real.
- Capítulo 5: neste capítulo, com o título “Conclusão” são expostas as principais conclusões deste trabalho e são apresentadas propostas de desenvolvimento futuro.

2

SÍNTESE DE CONHECIMENTOS

2.1. INTRODUÇÃO

A acústica de edifícios, bem como a acústica de salas têm vindo a ser áreas de interesse desde que o homem se começou a reunir em auditórios, salas de espetáculos e igrejas. Até início do século XX era pouco o conhecimento sobre o *design* técnico de espaços interiores para um comportamento acústico eficiente, quando Wallace Clement Sabine (Sabine, 1922) começou a fazer extensos estudos experimentais das propriedades acústicas de salas, tais como *The Boston Symphony Hall*. Sabine desenvolveu relações empíricas a partir das quais os projetistas puderam quantificar o tratamento acústico necessário para alcançar o comportamento acústico pretendido para uma dada sala. [5].

O comportamento acústico de uma sala depende, por um lado das suas características físicas, e por outro lado, das características acústicas dos espaços adjacentes, bem como dos níveis sonoros aí produzidos. No fenómeno de transmissão sonora entre salas adjacentes o problema surge quando o som produzido numa das salas compromete o desempenho acústico da outra. Neste caso as propriedades acústicas da sala recetora influenciam o campo sonoro gerado, como também o nível de pressão sonora instalado. O objetivo de um projeto de controlo de ruído é reduzir o nível sonoro no recetor, efetuando alterações na fonte sonora, nos elementos de separação entre espaços, ou no recetor, ou então uma combinação destas três soluções [5].

Controlar o ruído aéreo consiste em posicionar uma barreira, com o intuito de interromper o caminho de transmissão, entre o emissor e o recetor [6] e para isso a Engenharia Acústica deve identificar todos os caminhos de propagação do som, quando procura uma solução para controlo de um problema de ruído. Neste contexto a definição de uma solução engloba o estudo do comportamento dos diferentes elementos construtivos utilizados para impedir esse caminho, que no presente trabalho trata-se de uma parede divisória.

Tendo em conta que a análise do fenómeno de transmissão sonora e das suas componentes contém uma elevada complexidade, neste capítulo, que tem como objetivo sintetizar o estado do conhecimento, apenas serão expostos os principais conceitos teóricos que permitam a estruturação de uma base de conteúdo de carácter técnico necessária para uma melhor compreensão do tema proposto. Dado que a componente experimental de medição e caracterização do ruído obedece a um conjunto de procedimentos padronizados e normalizados, ainda neste capítulo será feito o enquadramento da acústica na atual legislação, sendo referenciadas as exigências relativas ao isolamento sonoro de sons de transmissão aérea.

2.2. ENQUADRAMENTO DA ACÚSTICA

2.2.1. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

Todos os dias a sociedade está exposta a sons que muitas vezes ultrapassam o limite de comodidade, tendo repercussões na concentração, comunicação e na saúde humana. Tráfego, indústria, atividades ruidosas, ruído provocado pelas pessoas e animais em zonas residenciais, e causas naturais constituem as principais fontes de ruído.

Apesar da facilidade em identificar fontes de ruído, os efeitos a elas associados variam consoante o tipo de ruído produzido e da sensibilidade auditiva da pessoa a ele exposta. Desta forma a determinação de relações entre ruído e incomodidade torna-se impraticável, dado que o ruído é uma percepção subjetiva, e o que para uns pode ser ruído para outros pode não ser.

Neste sentido surgiu a necessidade de se desenvolver exigências regulamentares com os seguintes objetivos [7]:

- Definir limites sonoros, que possibilitem a classificação do som como ruído de forma imparcial;
- Garantir a qualidade mínima de conforto acústico das construções de modo a satisfazer as necessidades dos ocupantes dos edifícios em serviço.

O Estado tem assim um papel fundamental na formulação de legislação que vise o controlo da poluição sonora e a minimização dos efeitos negativos provocados pelo ruído, salvaguardando a saúde humana e o bem-estar das populações.

A legislação sobre acústica, que define de forma objetiva e concreta as limitações dos índices acústicos, é relativamente recente. No entanto a primeira referência sobre conforto acústico surge na Constituição da República Portuguesa, no capítulo sobre Direitos e Deveres Sociais relacionados com o Ambiente e Qualidade de Vida, artigo 66º [8]:

“1. Todos têm direito a um ambiente de vida humano, sadio e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender.

2. Para assegurar o direito ao ambiente, no quadro de um desenvolvimento sustentável, incumbe ao Estado, por meio de organismos próprios e com o envolvimento e a participação dos cidadãos:

(...)

e) Promover, em colaboração com as autarquias locais, a qualidade ambiental das povoações e da vida urbana, designadamente no plano arquitetónico e da proteção das zonas históricas;

(...)”

A 7 de Abril de 1987 no documento intitulado “Lei de Bases do Ambiente” [9], mais especificamente no artigo 22º, é descrita de forma mais concreta uma abordagem sobre o ruído:

“1- A luta contra o ruído visa a salvaguarda da saúde e bem-estar das populações e faz-se através, designadamente:

a) Da normalização dos métodos de medida do ruído;

b) Do estabelecimento de níveis sonoros máximos, tendo em conta os avanços científicos e tecnológicos nesta matéria;

c) Da redução do nível sonoro na origem, através da fixação de normas de emissão aplicáveis às diferentes fontes;

d) *Dos incentivos à utilização de equipamentos cuja produção de ruídos esteja contida dentro dos níveis máximos admitidos para cada caso;*

e) *Da obrigação dos fabricantes de máquinas e eletrodomésticos apresentarem informações detalhadas, homologadas, sobre o nível sonoro dos mesmos nas instruções de uso e facilitarem a execução das inspeções oficiais;*

f) *Da introdução nas autorizações de construção de edifícios, utilização de equipamento ou exercício de atividades da obrigatoriedade de adotar medidas preventivas para eliminação da propagação do ruído exterior e interior, bem como das trepidações;*

g) *Da sensibilização da opinião pública para os problemas do ruído;*

h) *Da localização adequada no território das atividades causadoras de ruído.”*

A 24 de Junho de 1987 é publicado no Diário da República (Decreto-Lei n.º 251/87) o primeiro documento Legal sobre o ruído, denominado Regulamento Geral sobre o Ruído (RGR), com o objetivo de enquadrar e dar resposta ao problema da poluição sonora já enunciado na Lei de Bases do Ambiente, Lei n.º 11/87 de 11 de Abril. Este documento RGR determinou estratégias e prevenções com intuito de salvaguardar a saúde e qualidade de vida das pessoas [10].

A 2 de Setembro de 1989, com o intuito de fazer uma revisão e atualização dos pressupostos do RGR e “ (...) esclarecer alguns aspetos sobre os quais foram suscitadas questões e tornar mais exequíveis algumas das suas disposições (...) ” [9] é publicado o D.L. 292/89. Este regulamento manteve-se em vigor durante aproximadamente doze anos.

A 14 de Maio de 2001, cerca de doze anos mais tarde, surgiu uma nova revisão com o D.L. 292/00 de 14 de Novembro [11], onde consta que o RGR em vigor na altura mostrava-se “claramente insuficiente para a salvaguarda da saúde e do bem-estar das pessoas, sendo certo que a poluição sonora constitui um dos principais fatores de degradação da qualidade de vida das populações (...) ” e começava a existir uma “ (...) conflitualidade social gerada por situações ligadas ao ruído (...) ” [12]. Com esta publicação preconizou-se uma nova designação para o RGR “ (...) com o intuito de salientar a força jurídica do normativo (...) ” [12]: Regime Legal sobre a Poluição Sonora, RLPS.

Passado dois anos, e na sequência da aprovação da lei n.º 159/99 de 14 de Setembro, que estabelece o quadro de transferências de atribuições e competências para as autarquias locais aprova-se o D.L. 259/2002 de 23 de Novembro propondo conferir aos municípios “ (...) um papel mais relevante, nomeadamente em matéria de ruído de vizinhança (...) ” [10].

A 31 de Julho de 2006, na sequência da “ (...) transposição da diretiva n.º 2002/497CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, tornou-se premente proceder a ajustamentos ao regime legal sobre poluição sonora (...) de modo a compatibilizá-lo com as normas ora aprovadas, em especial a adoção de indicadores de ruído ambiente harmonizados. (...) ” [13]. Face a esta situação surge o D.L. 9/2007 de 17 de Janeiro [10] que aprova o novo regulamento ao qual se conferiu novamente e exclusivamente a primeira designação de Regulamento Geral do Ruído, dada em 1987, abandonando assim a designação de RLPS. Esta é a legislação atualmente em vigor em Portugal.

O RGR remete ainda para outros regulamentos complementares, mais específicos: Ruído nos Aeroportos, Avaliação e Gestão do Ruído, Requisitos Acústicos dos Edifícios.

Dos regulamentos complementares o RRAE, Regulamento de Requisitos Acústicos de Edifícios, é aquele que está enquadrado no tema do presente trabalho. Este documento, aprovado pelo D.L. n.º

129/02 de 1 de Maio [14], enuncia os requisitos para todo o tipo de edifícios. Este documento foi recentemente atualizado em 2008 com a aprovação do D.L. n.º 96/2008 de 9 de Junho [15].

No contexto do presente trabalho e para efeitos de aplicação das exigências regulamentares em vigor, o requisito acústico que importa analisar é o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea para elementos interiores incluindo o efeito das transmissões marginais, designado por $D_{nT,w}$.

Nos quadros 2.1, 2.2 e 2.3 são apresentados os requisitos estabelecidos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) para o parâmetro $D_{nT,w}$.

Quadro 2.1 - Requisitos de $D_{nT,w}$ em edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras [15].

Locais	Mínimo regulamentar (dB) *
Entre compartimentos de um fogo, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais recetores	50
Entre locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais recetores	48 40 (com ascensores) 50 (com garagem)
Entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais recetores	58

*Tolerância de 3 dB para edifícios situados em zonas históricas que sejam objeto de reabilitação mantendo uso e identidade patrimonial.

Quadro 2.2 - Requisitos de $D_{nT,w}$ em edifícios escolares e similares, e de investigação [15].

Locais		Mínimo regulamentar (dB)		
Emissão		Recepção		
		Salas de aula, de música, de professores, administrativas	Bibliotecas e gabinetes médicos	Salas polivalente, berçários
Salas de aula, de música, de professores, administrativas		45	45	45
Salas de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas		55	58	50
Berçários		53	55	48
Corredores de grande dimensão		30	35	30
		45*	50*	45*

*Se não houver porta

Quadro 2.3 - Requisitos de $D_{nT,w}$ em edifícios hospitalares e similares, e de investigação [15].

Locais		Mínimo regulamentar (dB)	
Emissão		Recepção	
		A	B, C
A - Blocos operatórios, gabinetes médicos, salas de trabalho, salas de consulta ou exame		48	40
B - Enfermarias, salas de tratamento		55	45
C - Salas administrativas e de convívio		55	48
Circulações internas		35	30
		50*	45*
Refeitórios e cozinhas		52	45
Oficinas		55	48

*Se não houver porta

2.2.2. ACÚSTICA COMO MATÉRIA DE ESTUDO

Os mais antigos ramos da Acústica estão relacionados com a construção de instrumentos musicais ou com a análise filosófica da origem e propagação do som [16]. Apesar de a música ter impulsionado os primeiros estudos acústicos, a verdade é que em dezanove séculos não se obtiveram grandes desenvolvimentos na área da acústica. A definição do som como um fenómeno de onda e a sua posterior definição numa equação matemática constituíram os primeiros obstáculos, já superados, na análise, de difícil compreensão, da temática do som. Estes acontecimentos marcaram o avanço no desenvolvimento da acústica, mas apenas neste último século ocorreram desenvolvimentos notórios nesta área [7].

Hoje a acústica é objeto de estudo em diversas áreas como a bioacústica, psicoacústica, acústica musical, acústica de edifícios, acústica subaquática, eletroacústica, entre outras [16].

Os constantes avanços e progressos nas áreas nas quais a acústica se subdivide motivam a realização de encontros nacionais e internacionais periódicos, cujo objetivo se sintetiza na troca de informações, discussões sobre determinadas questões e sobretudo na apresentação de estudos realizados [7].

Existem inúmeros centros de estudo, universidades, laboratórios e núcleos de investigação na área da acústica, cuja listagem seria extensa e certamente incompleta, pelo que se optou por apresentar os principais congressos a nível mundial onde são anunciadas as descobertas e estudos desenvolvidos pela comunidade científica, nomeadamente [8]:

- International Congress on Acoustics (ICA);
- International Congress on Sound and Vibration (ICSV);
- Internacional Congress and Exhibition on Control Engineering (Inter-Noise);
- Noise-Con;
- Euronoise;
- Meeting Acoustic Soc. America;
- Congresso ibero-americano de acústica;
- Tecniacústica.

Os principais avanços no sector da investigação e as mais recentes descobertas na área da acústica são registados e publicados em diversas revistas científicas, destacando-se as seguintes publicações [8]:

- The Journal of the Acoustical Society of America
- Applied Acoustics;
- Journal of Sound and Vibration;
- Acta Acústica;
- Building Acoustics;
- The Journal of European Acoustics;
- International Journal on Acoustics;
- Journal of Computational Acoustics;
- Technical Acoustics.

2.2.3. ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

No âmbito da Engenharia Civil, a Acústica Ambiental e a Acústica de Edifícios, são os temas de interesse da área da acústica. O contexto do presente trabalho insere-se na Acústica de Edifícios.

A Acústica de Edifícios é um ramo da acústica, cuja área de estudo se centraliza no conforto acústico dos edifícios. Importa referir que a intervenção acústica nos edifícios engloba duas perspetivas distintas de análise [16]:

- Correção acústica que se refere a corrigir um compartimento para o som aí emitido;
- Isolamento sonoro que se refere a tratar um compartimento para a transmissão de/para locais contíguos.

A necessidade de correção acústica ocorre quando se pretende que o som seja perceptível em todo o compartimento e sem qualquer distorção. Normalmente refere-se a situações como salas de aula, auditórios, salas de espetáculos, etc.

O tratamento dos compartimentos relativamente à transmissão do som entre espaços contíguos, ou seja o dimensionamento do isolamento sonoro dos elementos de compartimentação (lajes, paredes e tetos), refere-se a situações como por exemplo, ruído entre fogos contíguos, sons das discotecas que incomodam os vizinhos, etc.

O campo de ação do tema do presente trabalho insere-se na temática da transmissão sonora entre espaços contíguos. Importa salientar que na teoria de isolamento sonoro dos elementos de divisão entre espaços torna-se necessário distinguir dois casos: isolamento sonoro a ruídos de percussão e isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, sendo este último caso aquele com interesse na análise do tema em estudo.

2.3. CONCEITOS TEÓRICOS

Nesta secção é apresentada uma explicação sintetizada do fenómeno físico de propagação da onda sonora. Serão também apresentados os conceitos teóricos básicos associados ao referido fenómeno. A exposição destes conceitos tem como objetivo facultar uma base introdutória dos principais parâmetros acústicos relativamente ao fenómeno de propagação do som, de forma a familiarizar o leitor com as noções elementares da acústica. Posteriormente, ainda neste capítulo serão expostos parâmetros acústicos essenciais à compreensão em concreto do tema em estudo.

2.3.1. NOÇÕES GERAIS

2.3.1.1. FUNDAMENTOS DO SOM

O som pode ser interpretado como o movimento de uma onda sonora no ar ou noutro meio elástico. Neste caso o som constitui um estímulo. Por outro lado, o som pode também ser interpretado como uma excitação do sistema auditivo, dando resultado à perceção do som. Neste caso o som constitui uma sensação. Estas duas abordagens do som determinam a formulação de diferentes problemas. Quando se analisa a perturbação no ar criada pela emissão de som de um altifalante por exemplo, trata-se de um problema da física. Quando se pretende analisar a perturbação no sistema auditivo de uma pessoa que se encontra próxima do altifalante, neste caso são adotados métodos da psicoacústica [17].

No contexto do presente trabalho o estudo do som ou ruído, dependendo da abordagem psicológica do ouvinte, é feito numa perspectiva da acústica, ou seja tem apenas abordagens do teor matemático ou físico, existindo três domínios de análise: Pressão, Frequência e Tempo [16].

2.3.1.2. ANÁLISE DA PRESSÃO

2.3.1.2.1. PROPAGAÇÃO DO SOM

O som pode ser definido como uma perturbação da pressão, que se propaga através de um material, a uma velocidade que depende das características físicas desse mesmo material (Beranek and Vér, 1992) [5].

Dado que o som não se propaga no vácuo, a ocorrência do fenómeno físico de propagação do som obriga à existência de um meio material e elástico. O som propaga-se através de meios gasosos, sólidos ou líquidos, sendo a velocidade de propagação do som o parâmetro que varia em cada um destes meios. Por norma os meios líquidos e sólidos apresentam velocidades de propagação das ondas sonoras superiores às dos meios gasosos. No âmbito do presente trabalho a análise de propagação do som será limitada apenas ao ar (meio gasoso).

Basicamente a descrição física de um estímulo sonoro resume-se à vibração de um meio elástico, que no caso do ar manifesta-se devido a uma variação de pressão molecular. Quando estimulado o meio, a variação de pressão é propagada pela colisão das partículas constituintes desse meio, umas contra as outras, sucessivamente, sem nunca ocorrer deslocamentos permanentes das mesmas [16], uma vez que quando uma partícula do ar é deslocada da sua posição inicial, as forças elásticas do ar tendem a restabelecer essa posição inicial [17].

A energia associada ao movimento oscilatório das moléculas em torno da respetiva posição de repouso vai sendo transmitida às moléculas vizinhas, que por sua vez entram em movimento oscilatório e assim sucessivamente, dando-se a propagação da onda sonora. Desse movimento criam-se regiões onde um conjunto de partículas está comprimido e com uma pressão do ar superior à atmosférica, denominadas zonas de compressão, e outras regiões onde há um espalhamento das partículas, denominadas zonas de rarefação, com uma pressão do ar inferior à pressão atmosférica [17], como ilustra a figura 2.1.

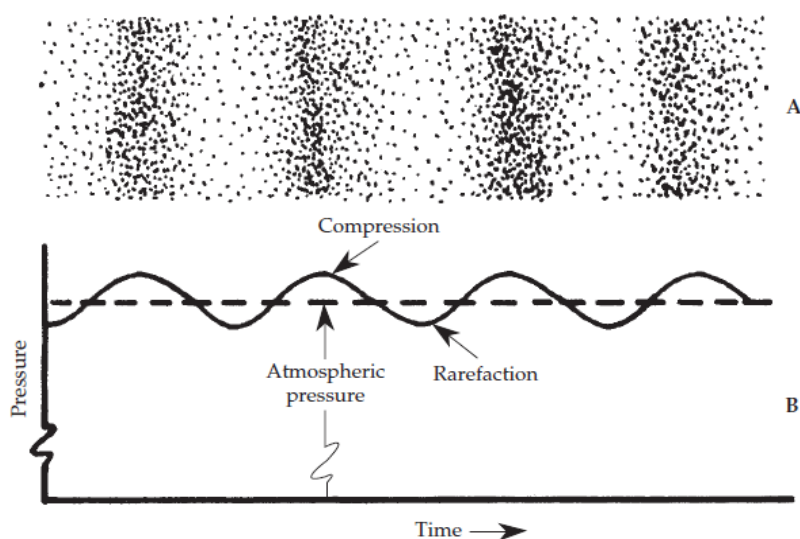


Fig. 2.1– Zonas de Compressão e Zonas de Rarefação das moléculas do ar [17].

Desta forma, no fenómeno de propagação do som o parâmetro mais importante a ser medido é a variação de pressão provocada pelas ondas sonoras, tomando como referência o valor da pressão atmosférica normal que, no planeta Terra, adquire o valor de 101.400 Pa (aproximadamente 10^5 Pa). O ouvido humano é sensível a estímulos sonoros que provocam pequenas variações em torno da pressão atmosférica [16].

2.3.1.2.2. NÍVEIS

O sistema auditivo humano deteta variações de pressão numa gama de valores entre 10^{-5} Pa até 100 Pa, denominado limiar da audição e limiar da dor, respetivamente. Sendo a grandeza de audibilidade humana no domínio da pressão 10^7 , os níveis sonoros expressos em decibéis demonstram a vasta gama de sensibilidade da audição humana [17]. Além disso, a aplicação de escala linear em *pascal* na medição de pressões sonoras conduz a valores muito díspares e de uso pouco prático [16]. Dado também que o ouvido humano não se comporta de uma forma linear aos estímulos, mas de modo quase logarítmico, utiliza-se uma escala logarítmica. Desta forma a unidade *decibel* (dB) é uma forma conveniente de avaliar a variação da pressão sonora.

A conversão de pressões (p) para níveis de pressão sonora (L_p) é efetuada a partir da seguinte fórmula:

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (2.1)$$

Ou de forma matematicamente análoga:

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) \quad (2.2)$$

Em que,

L_p – Nível de pressão sonora (dB);

p – Pressão (Pa);

p_0 – Pressão sonora de referência, 2×10^{-5} Pa.

Para além da pressão existem ainda outras grandezas medidas em dB que caracterizam o fenómeno sonoro. É o caso dos níveis de intensidade sonora (L_I) ou dos níveis de potência sonora (L_W):

$$L_I = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2.3)$$

Sendo,

I_0 – valor de referência, 10^{-12} W/m².

$$L_w = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad (2.4)$$

Sendo,

W_0 - valor de referência, 10^{-12} W.

2.3.1.3. ANÁLISE EM FREQUÊNCIA

A caracterização adequada de qualquer ruído ou som deve ser feita aplicando os dois domínios de análise: pressão e frequência. A frequência é a segunda característica mais importante na caracterização de um estímulo sonoro.

A frequência é uma grandeza medida em hertz (Hz) e representa a taxa de ocorrência das flutuações completas de pressão por segundo [16].

Em Acústica de Edifícios distinguem-se três zonas de frequências [16]:

- Frequências graves: 20 a 355 Hz;
- Frequências médias: 355 a 1410 Hz;
- Frequências agudas: 1410 a 20000 Hz.

O ouvido humano é sensível a sons numa gama extensa de frequências, dos 20 Hz aos 20000 Hz, e por essa razão não seria prático medir o nível sonoro para cada uma das centenas ou milhares de frequências desse intervalo [5]. Desta forma a análise do som em frequência é feita em agrupamentos de frequências denominados bandas de frequências, com dimensão normalizada [16].

Cada banda de frequências apresenta um limite inferior (f_1) e um limite superior (f_2), sendo o valor médio (f_0) denominado frequência central.

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \quad (2.5)$$

A largura de banda (B) é a diferença entre os valores numéricos dos limites superior e inferior, existindo bandas de frequências de diversas larguras, sendo 1/1 oitava e 1/3 de oitava as usadas na acústica de edifícios.

Os limites inferior (f_1) e superior (f_2) de cada banda podem ser obtidos de forma exata pelas seguintes expressões [16]:

$$f_1 = f_0 \cdot 2^{-K/2} \quad (2.6)$$

$$f_2 = f_0 \cdot 2^{K/2} \quad (2.7)$$

Sendo $K = 1$ ou $1/3$ se for banda de 1/1 oitava ou de 1/3 de oitava, respetivamente.

2.3.1.4. ANÁLISE NO TEMPO

A inconstância temporal dos níveis de pressão sonora na maioria dos ruídos obriga a recorrer ao fator tempo para descrever alguns fenómenos sonoros. Para isso são utilizados descritores estatísticos e/ou energéticos que permitem avaliar num único valor um acontecimento acústico ocorrido num dado intervalo de tempo.

O parâmetro descritor energético denominado nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}) define um valor equivalente ao valor que seria necessário ocorrer durante um intervalo de tempo para produzir a mesma energia que o som que se pretende avaliar [16].

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{1}{T} \right) \sum_{i=1}^N t_i \cdot 10^{L_i/10} \right] \quad (2.8)$$

Sendo,

L_{eq} - Nível de pressão sonora equivalente (dB);

t_i - Tempo de ocorrência de um determinado som (minutos);

$T = \sum t_i$ - Corresponde à duração total de ocorrência do ruído a caracterizar, no período de referência em análise;

L_i - Nível de pressão sonora de um determinado som (dB).

2.3.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

2.3.2.1. DEFINIÇÃO

Uma fonte sonora em funcionamento, emitindo ondas sonoras que se propagam num compartimento, quando subitamente é desligada, decorre um determinado período de tempo antes que a energia sonora seja praticamente absorvida na sua totalidade pelas superfícies desse compartimento. Para muitas aplicações, a duração deste período de tempo é importante para uma utilização eficaz do espaço. [5].

De facto o tempo de reverberação é considerado um dos vários parâmetros acústicos mais importante e mensurável na caracterização e avaliação da qualidade acústica de uma sala [17]. Embora, atualmente sejam utilizadas outras grandezas igualmente importantes na determinação da qualidade acústica de salas, a medição do tempo de reverberação é uma tarefa fundamental, pois este, num espaço real, pode estar fortemente relacionado com as restantes características e influenciar como um todo as condições acústicas da sala [2].

A figura 2.2 mostra que as ondas sonoras geradas num compartimento e que atingem o recetor podem ser de origem direta ou refletida. O percurso das ondas diretas desde a fonte sonora ao recetor processa-se em linha reta, já as ondas refletidas atingem o ouvinte após reflexões nas várias superfícies existentes no compartimento. É possível também depreender pela figura que as ondas diretas são acompanhadas por uma sequência de ondas refletidas que atingem sucessivamente o recetor. Essas ondas vão-se tornando cada vez mais fracas devido às consecutivas absorções quando refletidas nas superfícies e pelo próprio efeito de absorção do ar [16].

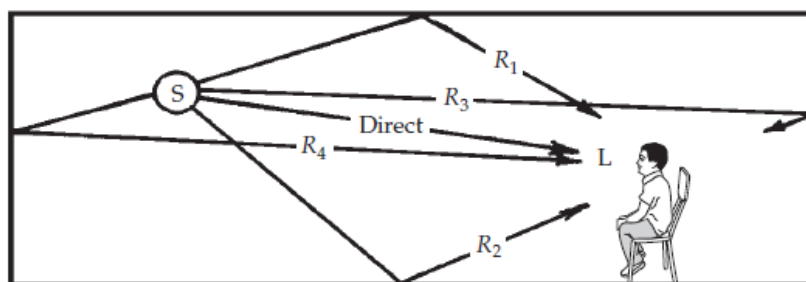


Fig. 2.2 – Ondas diretas e ondas refletidas [17].

O tempo de reverberação corresponde ao intervalo de tempo, medido em segundos, durante o qual determinado som demora a extinguir-se após múltiplas reflexões. É definido como o tempo necessário após o instante em que cessa o funcionamento da fonte sonora para que o nível de pressão sonora decresça 60 dB [16], conforme ilustra a figura 2.3.

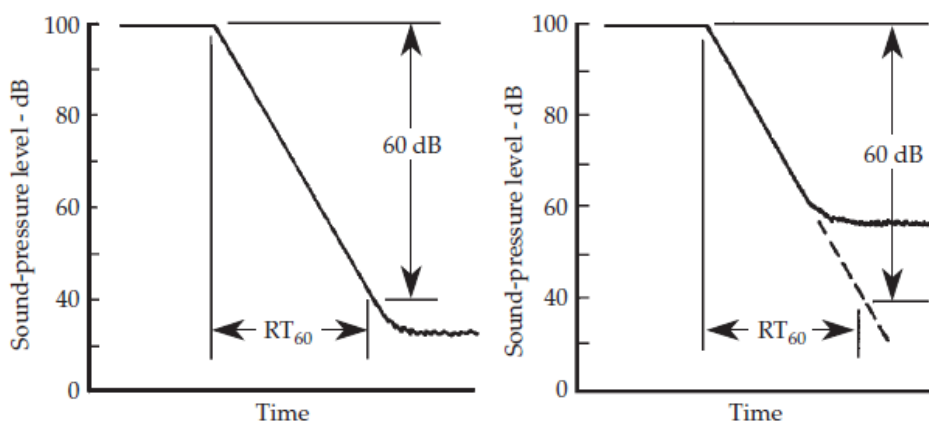


Fig. 2.3 – Definição de Tempo de Reverberação T (valor teórico à esquerda e obtido por extrapolação do declive à direita) [17].

2.3.2.2. MEDIÇÃO

A medição do tempo de reverberação, normalizada pela EN ISO 3382 [18], compreende a utilização de uma fonte sonora potente a qual emite um som com um considerável nível de pressão sonora, e consiste em medir o decaimento desse som após cessamento da fonte.

As fontes sonoras utilizadas neste processo devem emitir uma energia suficientemente potente para excitar o campo sonoro em todo o espectro de frequências, no qual se pretende efetuar a análise, de modo a garantir um decaimento do som suficientemente forte acima do ruído de fundo. As fontes mais correntemente utilizadas são altifalantes e pistolas de pólvora seca. No entanto, em casos particulares podem ser utilizados pequenos canhões, faíscas elétricas e balões [16]. No caso do presente trabalho na medição dos tempos de reverberação utilizaram-se balões.

2.3.2.3. FÓRMULAS DE PREVISÃO

Existem diversas expressões simplificadas de previsão do tempo de reverberação, nomeadamente as de Sabine, Eyring, Millington-Sette e Arau-Puchades.

De entre estas três fórmulas, sobretudo pela sua simplicidade, a de Sabine é a mais utilizada, apesar de teoricamente esta ser válida apenas para situações com baixa absorção sonora e para locais com campos sonoros difusos. As fórmulas de Eyring e Millington-Sette, teoricamente, são adequadas para espaços de maior absorção, mas também podem conduzir a desvios significativos quando a distribuição da absorção sonora não é uniforme ou quando o campo sonoro deixa de ser difuso [19]. A expressão de Arau-Puchades é adequada a espaços com uma distribuição assimétrica da absorção sonora.

Neste trabalho o cálculo do tempo de reverberação será efetuado pelas equações de Sabine e Arau-Puchades e, por isso neste ponto apenas são apresentadas estas duas expressões.

- Fórmula de Sabine

A expressão deduzida empiricamente por Sabine em 1898 relaciona o tempo de reverberação com a absorção sonora e o volume:

$$T = \frac{0,16 V}{A} \quad (2.9)$$

Onde,

T – Tempo de reverberação (s);

V – Volume do compartimento (m³);

A – Absorção sonora equivalente (m²),

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i \quad (2.10)$$

α – Coeficiente de absorção sonora do material (adimensional);

S – Superfície real do material (m²).

Esta expressão tem ainda a seguinte formulação genérica:

$$T = \frac{0,16 V}{\sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^M A_j + mV} \quad (2.11)$$

Em que,

A_j – Absorções sonoras localizadas;

m – Absorção sonora do ar (m⁻¹) em função da humidade relativa.

- Fórmula de Arau-Puchades [20]

Em 1988, num artigo publicado no *Journal Acustica*, Arau Puchades apud Neubauer e Kostec propuseram uma fórmula para calcular o tempo de reverberação em salas com uma distribuição assimétrica da absorção. Arau-Puchades assume que o decaimento da reverberação é um processo com uma lei hiperbólica, resultado da sobreposição de três contribuições: decaimento instantâneo, primeira e segunda porção linear do decaimento e terceira porção linear do decaimento [21]. Para salas retangulares, Arau-Puchades define um coeficiente de absorção, baseado no modelo de Eyring, para cada superfície paralela e para cada direção do espaço [22].

A fórmula proposta concretiza-se na seguinte expressão:

$$RT = \left[\frac{0,16.V}{-S \cdot \ln(1-\alpha_x) + 4mV} \right]^{\frac{S_x}{S}} \cdot \left[\frac{0,16.V}{-S \cdot \ln(1-\alpha_y) + 4mV} \right]^{\frac{S_y}{S}} \cdot \left[\frac{0,16.V}{-S \cdot \ln(1-\alpha_z) + 4mV} \right]^{\frac{S_z}{S}} \quad (2.12)$$

Onde,

- A primeira parcela corresponde à absorção dos materiais colocados paralelamente ao eixo x, a segunda parcela paralelamente ao eixo y, e a terceira parcela paralelamente ao eixo z;
- $4mV$ corresponde à absorção Sonora do ar, em que V (m^3) é o volume da sala e m (m^{-1}) é o coeficiente de absorção do ar;
- V é o volume da sala (m^3);
- \ln é o logaritmo neperiano;
- α_x é a media aritmética dos coeficientes de absorção das superfícies do chão (S_{x1}) e do teto (S_{x2}), $\alpha_x = \left(\frac{\alpha_{x1}S_{x1} + \alpha_{x2}S_{x2}}{S_x} \right)$; α_y e α_z correspondem à média aritmética dos coeficientes de absorção das superfícies das paredes laterais, frente e verso, respetivamente;
- S (m^2) é o somatório das áreas de todos os materiais;
- S_x , S_y and S_z correspondem ao somatório das áreas de todos os materiais colocados paralelamente ao eixo x, y e z, respetivamente.

2.3.2.4. MODOS PRÓPRIOS

A propagação do som em espaços fechados apresenta um comportamento diferente do som que se propaga num campo livre, dado que na maioria dos casos o som proveniente de uma fonte sonora sofre inúmeras reflexões nas diferentes superfícies delimitadoras do espaço fechado. Desta forma o nível de pressão sonora estabelecido em qualquer ponto de uma sala fechada corresponde à combinação do som propagado por via direta e do som refletido nas superfícies. Em particular são ainda estabelecidos modos próprios de vibração, resultando por isso níveis de pressão sonora diferentes para salas diferentes e que variam consoante a frequência. As diferentes frequências correspondentes aos modos de vibração e as variações por elas criadas são função das dimensões do espaço fechado [17]. Cada modo próprio está associado a percursos de propagação do som que se repetem no tempo e que

chegam em fase a determinados pontos da sala. Deste modo existirão zonas da sala com pequenas ampliações e atenuações face ao valor médio do nível sonoro, sendo denominado este efeito por ressonância. O fenómeno de ressonância torna-se mais evidente em salas com dimensões próximas da cúbica e com pouca ou nenhuma difusão [16].

As frequências dos modos próprios de uma sala paralelepipedica podem ser determinadas pela seguinte expressão [17]:

$$\text{Frequência} = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{p^2}{L^2} + \frac{q^2}{W^2} + \frac{r^2}{H^2}} \quad (2.13)$$

Onde,

L, W, H – comprimento, largura e altura da sala, respetivamente (m);

p, q, r – números inteiros (0, 1, 2, 3, . . .);

c – velocidade do som (340 m/s).

2.3.3. ISOLAMENTO SONORO

O tratamento acústico dos elementos da envolvente de um compartimento visa a análise do isolamento sonoro a dois tipos de ruídos distintos: ruídos de percussão (em que há solicitação direta da fonte de irradiação sobre os elementos de construção) e ruídos de condução aérea (em que a transmissão é feita unicamente por vibração do ar) [16]. De acordo com o âmbito deste trabalho a apresentação do conceito de isolamento sonoro será aferida apenas ao isolamento sonoro a ruídos de condução aérea.

2.3.3.1. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS AÉREOS

A transmissão de ruído num edifício através dos elementos estruturais pode ser feita por via direta ou por via marginal (secundária ou indireta) [16], ou seja o estudo do isolamento sonoro engloba duas análises distintas: análise da transmissão direta do ruído através de um único elemento (parede, teto ou laje) desligado do restante conjunto estrutural, e a análise da transmissão global entre dois espaços incluindo os caminhos pelos perímetros dos compartimentos. Desta forma a transmissão sonora entre espaços inclui a transmissão direta através de uma estrutura de interligação vibrante, transmissão através dos flancos do compartimento (*flanking transmission*) ou através de aberturas (*open-air paths*) [23] como ilustra a figura 2.4.

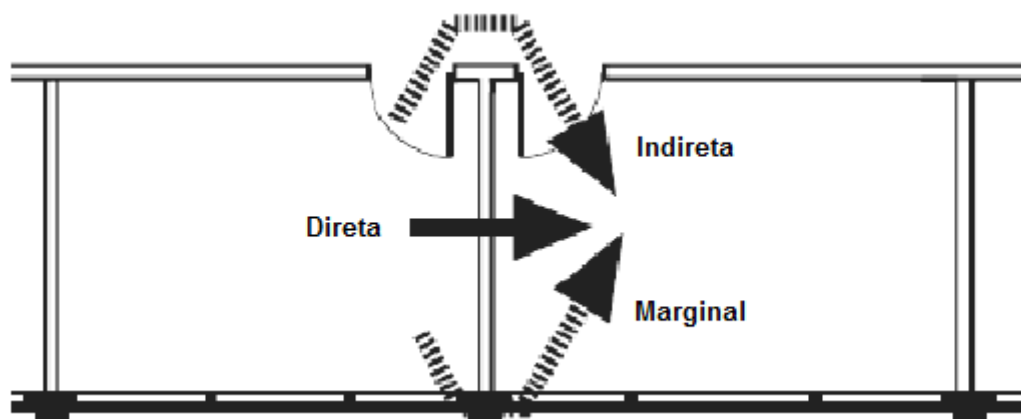


Fig. 2.4 – Transmissões por via direta e indireta e por via marginal [23].

Neste estudo a análise do comportamento de uma parede no domínio do isolamento sonoro será efetuada para a situação mais simples, tal como a que se processa em laboratório (câmaras reverberantes) e para um estudo de caso real considerando os caminhos marginais.

2.3.3.2. MODELO TEÓRICO DE COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE ELEMENTOS SIMPLES

A redução sonora constitui o parâmetro caracterizador do isolamento sonoro a ruídos aéreos de um elemento e define-se segundo a seguinte expressão [16]:

$$R = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad (2.14)$$

Sendo τ o coeficiente de transmissão definido como a razão da energia sonora transmitida face à energia sonora incidente.

O comportamento acústico ditado pela redução sonora conferida por um elemento construtivo plano e homogêneo face a ruídos de condução aérea depende da sua massa, da sua inércia e das suas características elásticas, nomeadamente rigidez, permeabilidade e amortecimento interno, apresentando um comportamento variável em frequência, conforme se ilustra na figura 2.5 [24].

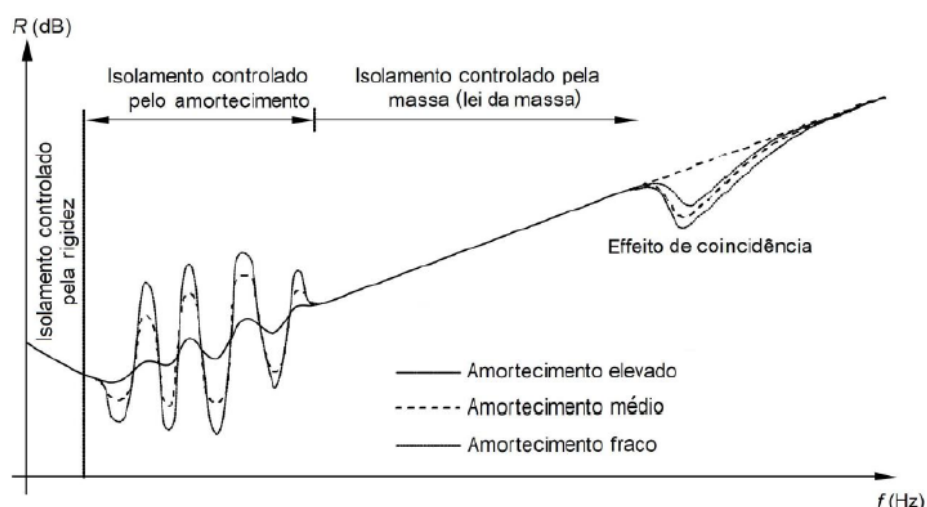


Fig. 2.5 – Comportamento da redução sonora com a frequência de qualquer elemento construtivo simples [25].

Para qualquer elemento construtivo simples esta é a curva típica teórica dos valores de R , variando a gama de frequências envolvidas de acordo com as características físicas do elemento.

O efeito de coincidência ilustrado na figura 2.5 corresponde à ocorrência da frequência crítica, cujo valor é tanto mais baixo quanto mais elevada a massa superficial do elemento [16]. Este fenómeno ocorre quando o comprimento de onda das frequências incidentes tem uma projeção no plano do elemento que coincide com o comprimento de onda da frequência longitudinal das ondas de flexão do próprio elemento. Desta forma o comprimento de onda do som incidente coincide com o modo de vibração do elemento de separação, fazendo com que as oscilações do elemento sejam amplificadas, diminuindo significativamente a redução sonora [26].

Na definição do isolamento sonoro em projeto o objetivo é assegurar que a frequência crítica se situe sempre nas zonas de muito baixas frequências, de preferência fora da gama de frequências do audível, para que não comprometa o isolamento sonoro na maioria das frequências de interesse [16].

Na transmissão sonora entre dois compartimentos, não incluindo os caminhos marginais, as grandezas definidoras do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de um elemento são o índice de redução sonora e o índice de isolamento sonoro, sendo o primeiro mais usado para efeitos de cálculo e comparação entre elementos e o segundo para verificação dos critérios normativos.

Em laboratório a simulação da transmissão sonora entre dois compartimentos separados por um elemento de compartimentação com uma superfície S , em m^2 , permite a determinação do índice de redução sonora a partir da aplicação da seguinte expressão:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A_{eq}} \right) \text{ (dB)} \quad (2.15)$$

Em que,

L_1 - nível de pressão sonora médio no compartimento emissor (dB);

L_2 - nível de pressão sonora médio no compartimento recetor (dB);

S - Área do elemento separador (m^2);

A_{eq} - Área de absorção sonora equivalente do compartimento recetor (m^2).

A expressão do índice de isolamento sonoro sob ponto de vista de projeto e legislação relaciona o valor da redução sonora com o isolamento sonoro padronizado D_{nT} , corrigido com o tempo de reverberação do compartimento recetor face a um valor de referência T_0 :

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \text{ (dB)} \quad (2.16)$$

Em que,

T – Tempo de reverberação no compartimento recetor (s);

T_0 - Tempo de reverberação de referência (em geral toma o valor 0,5 s).

A definição destas duas grandezas permite aferir que quanto maior for a diferença entre os níveis de pressão sonora nos compartimentos emissor e recetor, maiores serão os índices de redução sonora e de isolamento sonoro, e consequentemente melhor será o isolamento oferecido pelo elemento de separação.

2.3.3.3. MODELOS DE CÁLCULO EXPERIMENTAIS DA REDUÇÃO SONORA E ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA DE ELEMENTOS SIMPLES

- Método de Tadeu e Mateus [4]

Neste método a definição da curva dos índices de redução sonora é obtida pela aplicação de duas expressões. Para valores de frequências inferiores ao valor da frequência crítica, f_c , aplica-se a expressão 2.17. Para valores superiores aplica-se a expressão 2.18.

$$R = 20 \log (M \cdot f) - 47 \text{ (dB)} \quad (2.17)$$

$$R = 20 \log \left(\frac{\pi \cdot f \cdot M}{\rho_0 \cdot c} \right) + 10 \log \left(\frac{2 \cdot \eta \cdot f}{\pi \cdot f_c} \right) \quad (2.18)$$

Onde:

M - massa do elemento (Kg/m^2);

f – frequência (Hz);

ρ_0 - Densidade do ar (Kg/m^3);

c – Velocidade do som (m/s);

η - Fator de perdas internas;

f_c - Frequência crítica.

A frequência crítica e as frequências de ressonância são calculadas pelas seguintes expressões:

$$f_c = \frac{c^2}{1,81h} \sqrt{\frac{\rho(1-\nu^2)}{E}} \quad (2.19)$$

$$f_{nm}(\text{Hz}) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{n^2}{a^2} + \frac{m^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \quad (2.20)$$

Onde:

c – Celeridade (m/s);

h - Espessura do elemento (m);

ρ - Densidade do material (Kg/m³);

ν - Coeficiente de Poisson;

E - módulo de Young (Pa);

a, b - dimensões do elemento, em x e y ;

$$D = \frac{h^3 E}{12(1-\nu^2)}$$

- Método Sharp [16]

O modelo proposto por Sharp em 1973 tem como base a metodologia de cálculo apresentada em *Engineering Noise Control* de Bies e Hansen (2003). A aplicação deste método gráfico permite determinar de forma aproximada os valores de R com a frequência para paredes simples, consistindo na prática na obtenção dos pontos A e B e na delimitação clara pela zona condicionada pela massa (curva crescendo à razão de 6 dB/oitava até ao ponto A) e pela zona condicionada pela coincidência (curva com um incremento de 9 dB/oitava a partir do Ponto B).

$$\text{Ponto A: } R = 20 \log (f_c \cdot m) - 54 \text{ (dB)} \quad (2.21)$$

$$\text{Ponto B: } R = 20 \log (f_c \cdot m) + 10 \log \eta - 45 \text{ (dB)} \quad (2.22)$$

A abcissa do ponto A corresponde a $0.5f_c$ e a do ponto B à f_c , sendo a frequência crítica, f_c , calculada pela expressão 2.19, m a massa do elemento e η o fator de perdas internas.

▪ Método empírico [16]

A previsão dos valores de R_w , não incluindo as transmissões marginais, pode ser efetuada a partir das expressões matemáticas 2.25 e 2.26 adaptadas de Silva (1978) e da norma EN – 12354, respetivamente.

$$R_w = 20,4 \log (m) - 1,5 (\pm 3 \text{ dB}) \quad \text{se } m \geq 25 \text{ kg/m}^2 \quad (2.23)$$

$$R_w = 37,5 \log (m) - 42 \quad \text{se } m > 150 \text{ kg/m}^2 \quad (2.24)$$

2.3.3.4. ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORO PONDERADO - R_w

O método de medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea de um determinado elemento construtivo encontra-se normalizado na norma NP EN 717-1. O método estipulado nesta norma tem como objetivo a obtenção de um valor único caracterizador do desempenho acústico de um determinado elemento construtivo. A determinação do índice de redução sonora (R_w) é feita a partir dos resultados das medições efetuadas por bandas de frequência, com largura de um terço de oitava ou de uma oitava. No caso de ensaios em laboratório os valores de R (dB) devem ser obtidos para bandas de frequência com largura de um terço de oitava. A norma NP EN 717-1 estipula um ajuste dos valores da curva de referência, por patamares de 1 dB, relativamente à curva dos valores de R (dB) medidos por frequência. A translação da curva de referência é efetuada até que o somatório das diferenças positivas (desvios desfavoráveis) entre os valores da curva de referência e os valores da curva de R seja igual ou inferior a 32,0 dB [27]. O valor de R (dB) correspondente à frequência 500 Hz na curva de referência ajustada é o valor que define o índice de isolamento sonoro (R_w) do elemento em estudo. O quadro 2.4 apresenta os valores da curva de referência por bandas de terços de oitava [27]:

Quadro 2.4 – Valores de referência para sons de condução aérea [27].

Bandas de frequência	Valores de referência (dB)
100 Hz	33
125 Hz	36
160 Hz	39
200 Hz	42
250 Hz	45
315 Hz	48
400 Hz	51
500 Hz	52
630 Hz	53
800 Hz	54
1 KHz	55
1.25 KHz	56

1.6 KHz	56
2 KHz	56
2.5 KHz	56
3.15 KHz	56

2.3.3.5. TERMOS DE ADAPTAÇÃO C E C_{tr}

As normas acústicas aplicáveis aos edifícios atualmente em vigor em Portugal preconizam a utilização de um designado termo de adaptação a um determinado espectro. Os termos de adaptação espectral, *C* e *C_{tr}*, foram introduzidos na segunda edição da norma ISO 717-1 para tomar em consideração os diferentes espectros de emissão de fontes sonoras (tais como o ruído rosa e o ruído de tráfego rodoviário) e para avaliar curvas de isolamento sonoro com valores significativamente baixos numa determinada banda de frequências [27]. O termo de adaptação equivale a anexar ao “valor único” uma correção que tenha em conta as características de espectros específicos incidentes [24]. No quadro 2.5 apresentam-se diferentes tipos de fontes sonoras para cada tipo de espectro.

Quadro 2.5 – Termo de adaptação em função do tipo de fonte sonora [27].

Tipo de Fonte Sonora	Espectro Indicado	Termo de Adaptação
Atividades quotidianas (conversação, música, rádio, TV)	Espectro de ruído rosa	C
Crianças a brincar		
Tráfego ferroviário de média e alta velocidade		
Tráfego rodoviário a velocidade > 80 km/h		
Aeronave a jato, a curta distância		
Ruído industrial de médias e altas frequências		
Tráfego rodoviário urbano	Espectro de ruído de tráfego urbano	C _{tr}
Tráfego ferroviário de baixa velocidade		
Aeronave propulsão a hélice		
Aeronave a jato, a longa distância		
Discotecas		
Ruído industrial de baixas e médias frequências		

3

ENSAIOS LABORATORIAIS

3.1. INTRODUÇÃO

No estudo da propagação do som aéreo entre dois compartimentos devem ser consideradas as características físicas e acústicas de ambos os espaços, bem como as características do elemento separador. A alteração das características acústicas dos espaços tem influência em parâmetros acústicos como nível de pressão sonora e tempo de reverberação. Este último identificado por Sabine constitui um parâmetro determinante na caracterização acústica de salas.

O tempo de reverberação pode ser calculado recorrendo a modelos físicos ou fórmulas empíricas, ou então por medição direta em laboratório ou *in situ* utilizando equipamento adequado. Como já referido no capítulo anterior este parâmetro acústico relaciona a geometria do compartimento com a área de absorção sonora, estando deste modo interligado com a arquitetura da sala e com os materiais e superfícies com capacidade de absorção sonora.

Neste capítulo apresenta-se os procedimentos experimentais efetuados em laboratório para obtenção de valores do tempo de reverberação de um compartimento e do índice de redução sonora entre dois compartimentos, a partir dos quais procura-se fundamentar e justificar a problemática preconizada inicialmente no presente trabalho.

3.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.2.1. NORMALIZAÇÃO APLICÁVEL

As medições do tempo de reverberação foram efetuadas de acordo com as normas ISO 354 [28], EN ISO 3388-2:2011 – Acústica – Medição de parâmetros de acústica de salas – Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes [18] e ISO 10140-5:2010 - Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 5: Requirements for test facilities and equipment [29].

Os ensaios laboratoriais de isolamento sonoro foram efetuados de acordo com as normas ISO 10140-1:2010 - Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 1: Application rules for specific products [30] e ISO 10140-2:2010 - Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 2: Measurement of airborne sound insulation [31] e ISO 10140-4:2010 - Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 4: Measurement procedures and requirements. [32]

3.2.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Perante a problemática apresentada, e sendo o intuito deste estudo a análise e compreensão da mesma, optou-se, numa fase inicial, pelo método de investigação experimental em laboratório, composto por ensaios de medição do tempo de reverberação e ensaios de isolamento sonoro. Posteriormente, para validação das conclusões obtidas em laboratório, foram efetuados os mesmos ensaios para um estudo de caso real.

Desta forma foram efetuados os ensaios em laboratório de acordo com a normalização aplicável. Estas experimentações laboratoriais realizaram-se no laboratório de acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Os ensaios de medição do tempo de reverberação foram efetuados na câmara recetora R1, para diferentes configurações de absorção sonora. Nestes ensaios, como referido no capítulo 2, a fonte sonora utilizada no processo de medição do tempo de reverberação foram balões, garantindo em cada medição a emissão de uma energia suficientemente potente para excitar o campo sonoro em todo o espectro de frequências, no qual se pretende efetuar a análise, de modo a garantir um decaimento do som suficientemente forte acima do ruído de fundo.

Os ensaios de isolamento sonoro efetuaram-se com a emissão, de uma câmara para a outra, de um som estável, e com um espectro contínuo na gama de frequências utilizadas (quadro 3.1). Neste caso a câmara E1 funcionou como compartimento emissor e a câmara R1 como compartimento recetor (figura 3.1). O sinal sonoro emitido a partir de um altifalante, colocado na câmara emissora E1, foi um ruído branco na ordem dos 80 a 85 dB. De acordo com os procedimentos normalizados em cada uma das câmaras mediui-se o nível de pressão sonora, a partir da utilização de um sonómetro. Na câmara recetora R1 mediui-se ainda o tempo de reverberação, para efeitos de cálculo da área de absorção sonora equivalente, com base na fórmula de Sabine (equação 2.9), e o ruído de fundo de modo a assegurar que as medições nesta câmara não eram afetadas por ruídos provenientes do exterior ou do próprio sistema elétrico de emissão e receção. Em cada ensaio efetuado registaram-se também os valores da temperatura e humidade relativa de ambas as câmaras.

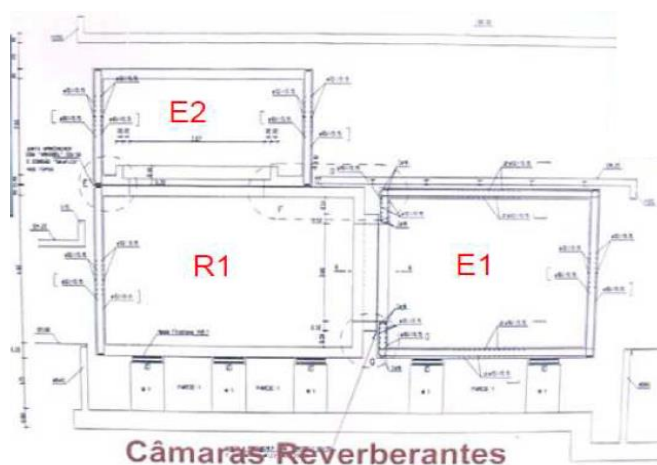


Fig. 3.1 – Corte transversal das câmaras reverberantes [4].

Numa segunda fase efetuaram-se de forma análoga os ensaios de isolamento sonoro e as medições do tempo de reverberação para um caso real. Estes ensaios *in situ* foram efetuados em duas salas de aula contíguas da FEUP. Esta parte do estudo será exposta posteriormente no capítulo quatro.

3.2.3. BANDAS DE FREQUÊNCIAS

A avaliação acústica foi efetuada para filtros de banda de terços de oitava para as seguintes frequências centrais, em hertz, apresentadas no quadro 3.1:

Quadro 3.1 – Frequências centrais, em Hz.

100	125	160	200	250	315
400	500	630	800	1000	1250
1600	2000	2500	3150	4000	5000

3.2.4. DISPOSITIVOS DE ENSAIO

O equipamento utilizado nos ensaios laboratoriais é apresentado no quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Características do equipamento utilizado.

Equipamento	Marca	Modelo
Sonómetro	01 dB - Metravib	BlueSolo1
Microfone	Gras	MCE 212
Pré-amplificador	01 dB - Metravib	PRE 21 S
Calibrador acústico	Rion	NC-74
Fonte sonora	JBL	EON15 G2
Termo-Higrómetro		Digital 4600

3.2.5. DETERMINAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS LABORATORIAIS

O tempo de reverberação medido na câmara recetora será expresso pelo valor de T (em segundos), para todas as bandas de frequências da medição, com aproximação às centésimas e será também apresentado na forma de tabela e representação gráfica.

O índice de redução sonora a sons aéreos entre as câmaras laboratoriais ensaiadas será expresso pelo valor de R (dB), para todas as bandas de frequências da medição, com aproximação às décimas. Os valores de R (dB) obtidos serão ainda apresentados na forma de tabela e representação gráfica. Conforme previsto na figura B.1 do anexo B da norma ISO 10140-2:2010 [31] para cada ensaio realizado foi elaborado o respetivo relatório de ensaio.

3.2.6. MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE

A determinação do valor da área de absorção sonora equivalente a partir do tempo de reverberação medido foi efetuada com base na fórmula de Sabine [32]:

$$A = \frac{0,16.V}{T} \text{ dB} \quad (3.1)$$

Onde,

A – Área de absorção sonora equivalente (m²);

V – Volume da câmara recetora (m³);

T – Tempo de reverberação da câmara recetora (s).

3.2.7. MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA PONDERADO

A medição do índice de redução sonora entre as duas câmaras de reverberação foi efetuada de acordo com o exposto 2.3.3.4. Os valores de R (dB) foram obtidos a partir da equação 2.15.

3.3. PREPARAÇÃO E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO

3.3.1. ENSAIOS DE MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Para o presente estudo foram efetuados ensaios de medição do tempo de reverberação da câmara recetora R1 para quatro configurações diferentes das superfícies de absorção sonora.

Para além das superfícies constituintes da sala, em três das configurações ensaiadas introduziram-se ainda doze painéis perfilados em PUR 25FR (figura 3.4), cada um com 1,235 metros de comprimento e 0,615 metros de largura. Este conjunto de superfícies (superfícies da sala e painéis) foi considerado no cálculo da absorção sonora equivalente, tendo em conta os respetivos coeficientes de absorção sonora.

As quatro configurações materializaram-se na seguinte disposição das superfícies:

- Configuração 1: câmara R1 vazia, sendo a absorção sonora conferida apenas pelas superfícies que a constituem;
- Configuração 2: doze painéis colocados no centro do chão da câmara R1;
- Configuração 3: doze painéis colocados em três paredes da câmara R1;
- Configuração 4: doze painéis colocados de forma distribuída e simétrica nas paredes e chão da câmara recetora.

3.3.1.1. CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA RECETORA R1

A câmara recetora R1, com um volume de 211 m³, é delimitada por quatro paredes, com uma altura de 4,65 metros, em betão estanhado, sendo uma dessas paredes uma divisória entre esta câmara e a câmara emissora E1. Esta parede divisória, com um comprimento de 5,545 metros, apresenta uma

abertura de 10 m² na qual está inserida uma amostra de parede de alvenaria rebocada, com uma espessura de 0,10 metros. Para além das superfícies em betão existe ainda numa outra parede uma porta acústica de acesso à câmara R1.

A figura 3.2 apresenta as dimensões da câmara R1 em planta.

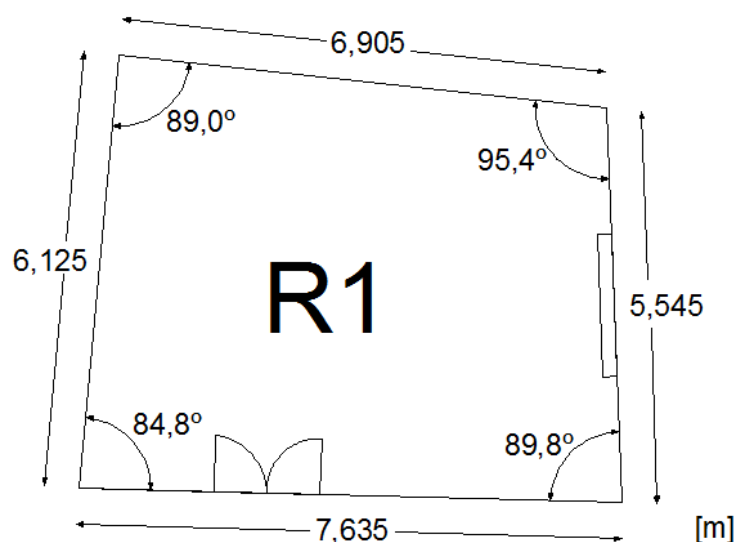


Fig. 3.2 – Câmara recetora R1.

3.3.1.2. DADOS DE REFERÊNCIA

3.3.1.2.1. COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA

No quadro 3.3 apresentam-se os coeficientes de absorção sonora (obtidos das referências assinaladas) dos diferentes elementos existentes na câmara recetora R1.

Quadro 3.3 – Coeficientes de absorção sonora dos elementos.

Coeficiente de absorção sonora (α)				
Frequência (Hz)	Elemento			
	Superfícies da câmara R1 (betão estanhado) [33]	Amostra de parede de 10 m ² (reboco cimento, cal) [34]	Porta	Painel perfilado PUR 25FR [35]
100	0,01	0,01	0,04	0,09
125	0,01	0,01	0,20	0,12
160	0,01	0,01	0,06	0,18
200	0,01	0,01	0,19	0,22
250	0,01	0,01	0,14	0,30
315	0,01	0,01	0,13	0,38

400	0,01	0,02	0,10	0,43
500	0,01	0,02	0,12	0,52
630	0,01	0,02	0,15	0,58
800	0,01	0,02	0,21	0,63
1000	0,01	0,02	0,25	0,65
1250	0,01	0,02	0,32	0,70
1600	0,02	0,02	0,16	0,75
2000	0,02	0,02	0,24	0,78
2500	0,02	0,02	0,35	0,85
3150	0,02	0,03	0,48	0,91
4000	0,02	0,03	0,67	1,00
5000	0,02	0,03	0,96	1,00

Dado que não é possível obter a partir de tabelas técnicas os valores dos coeficientes de absorção sonora por frequência da porta da câmara recetora R1, os mesmos foram obtidos a partir da equação 2.10, tendo em conta os valores do tempo de reverberação medidos para a configuração 1 (câmara R1 vazia) e os valores dos coeficientes de absorção sonora das restantes superfícies, presente no quadro 3.3.

3.3.1.2.2. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DO AR

O quadro 3.4 apresenta os valores do coeficiente de absorção sonora do ar por frequência (obtidos da referência assinalada) para as condições de humidade relativa e temperatura da câmara recetora R1.

Quadro 3.4 – Coeficiente de absorção sonora do ar.

Câmara recetora R1	Humidade do ar (%)	Temperatura do ar (°C)
	50	15
Frequência (Hz)	Absorção sonora do ar $m (m^{-1})$ [16]	
100	0,000	
125	0,000	
160	0,000	
200	0,000	
250	0,000	

315	0,000
400	0,000
500	0,000
630	0,000
800	0,000
1000	0,004
1250	0,005
1600	0,005
2000	0,006
2500	0,014
3150	0,023
4000	0,036
5000	0,047

3.3.2. ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO

De modo a analisar a influência da variação da absorção sonora em cada uma das câmaras de reverberação no índice de redução sonora do elemento separador (parede de alvenaria de tijolo 10 cm), elaborou-se uma matriz de possibilidades para diferentes combinações de variação da absorção sonora em ambas as câmaras de reverberação. O quadro 3.5 ilustra as nove combinações ensaiadas.

Quadro 3.5 – Matriz de possibilidades de variação de absorção sonora para os ensaios em laboratório.

	Emissor		
Recetor	0%	50%	100%
0%	Rw ₁	Rw ₂	Rw ₃
50%	Rw ₄	Rw ₅	Rw ₆
100%	Rw ₇	Rw ₈	Rw ₉

Para a materialização das diferentes configurações de absorção sonora foram utilizados painéis perfilados em Basotect G (figura 3.3) e painéis perfilados em PUR 25FR (figura 3.4). Os valores das percentagens do quadro 3.5 correspondem à percentagem de painéis colocados em cada uma das câmaras.



Fig. 3.3 – Painel perfilado em Basotect G [36].



Fig. 3.4 – Painel perfilado em PUR 25FR [36].

3.4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS LABORATORIAIS

3.4.1. ENSAIOS DE MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

A medição do tempo de reverberação foi efetuada de acordo com as normas ISO 354 [28], EN ISO 3388-2 [18] e ISO 10140-5 [29], em bandas de terço de oitava entre as frequências 100 Hz a 5000 Hz e os resultados, com aproximação às centésimas, serão apresentados na forma de tabela e representação gráfica.

De seguida apresentam-se os resultados obtidos para cada uma das configurações descritas no ponto 3.3.1.

3.4.1.1. CONFIGURAÇÃO 1

A configuração 1 corresponde à medição do tempo de reverberação para a câmara recetora vazia.

Os valores de T obtidos em laboratório apresentam-se no quadro 3.6. No mesmo quadro estão também determinados os valores da área de absorção sonora equivalente, calculados pela fórmula de Sabine (equação 3.1).

Quadro 3.6 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente para a configuração 1.

Configuração 1		
Frequência (Hz)	T (s)	A (m ²)
100	14,89	2,27
125	9,55	3,54
160	13,55	2,49
200	9,56	3,53
250	10,81	3,12
315	11,22	3,01
400	11,66	2,90
500	11,18	3,02
630	10,22	3,30
800	8,91	3,79
1000	8,26	4,09
1250	7,33	4,60
1600	6,44	5,24
2000	5,71	5,91
2500	5,03	6,71
3150	4,29	7,88
4000	3,59	9,40
5000	2,89	11,69

3.4.1.2. CONFIGURAÇÃO 2

Na configuração 2 colocaram-se na parte central do chão da câmara recetora R1 os doze painéis perfilados PUR 25FR, como ilustra a figura 3.5.



Fig. 3.5 – Configuração 2.

Os valores obtidos para o tempo de reverberação, a partir das medições em laboratório apresentam-se no quadro 3.7. No mesmo quadro apresentam-se os valores da área de absorção sonora equivalente.

Quadro 3.7 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente para a configuração 2.

Configuração 2		
Frequência (Hz)	T (s)	A (m ²)
100	8,69	3,89
125	6,41	5,27
160	6,54	5,16
200	5,71	5,91
250	5,68	5,94
315	4,88	6,92
400	4,30	7,86
500	4,14	8,16
630	3,64	9,27
800	3,36	10,06
1000	3,11	10,85
1250	2,99	11,28
1600	2,72	12,43
2000	2,60	12,99
2500	2,43	13,92
3150	2,20	15,32

4000	1,91	17,64
5000	1,63	20,70

3.4.1.3. CONFIGURAÇÃO 3

Nesta configuração os doze painéis perfilados foram colocados de forma distribuída nas paredes da câmara recetora (figura 3.6), exceto na parede divisória (parede com 5,545 metros da figura 3.2).



Fig. 3.6 – Configuração 3.

Os valores do tempo de reverberação medidos para a configuração 3 e a área de absorção sonora equivalente apresentam-se no quadro 3.8.

Quadro 3.8 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente para a configuração 3.

Configuração 3		
Frequência (Hz)	T (s)	A (m ²)
100	9,91	3,41
125	8,15	4,14
160	7,86	4,30
200	6,74	5,01
250	6,10	5,53
315	4,76	7,10
400	4,47	7,55
500	4,16	8,12

630	3,67	9,19
800	3,61	9,34
1000	3,23	10,46
1250	2,94	11,49
1600	2,74	12,33
2000	2,56	13,17
2500	2,42	13,93
3150	2,19	15,42
4000	1,91	17,69
5000	1,61	20,94

3.4.1.4. CONFIGURAÇÃO 4

Na configuração 4 os doze painéis foram colocados de forma distribuída e simétrica nas paredes e chão da câmara recetora, como ilustra a figura 3.7.



Fig. 3.7 – Configuração 4.

O quadro 3.9 apresenta os valores de T obtidos em laboratório, bem como os valores da área de absorção sonora equivalente.

Quadro 3.9 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente para a configuração 4.

Configuração 4		
Frequência (Hz)	T (s)	A (m ²)
100	9,18	3,68
125	7,90	4,27
160	7,69	4,39
200	6,64	5,08
250	6,15	5,49
315	5,30	6,37
400	5,08	6,65
500	4,49	7,52
630	4,19	8,06
800	3,87	8,73
1000	3,52	9,59
1250	3,24	10,43
1600	3,09	10,94
2000	2,85	11,83
2500	2,63	12,86
3150	2,36	14,29
4000	2,04	16,59
5000	1,68	20,14

Na figura 3.8 estão representadas as curvas de decaimento correspondentes aos valores do tempo de reverberação apresentados anteriormente, para as diferentes configurações.

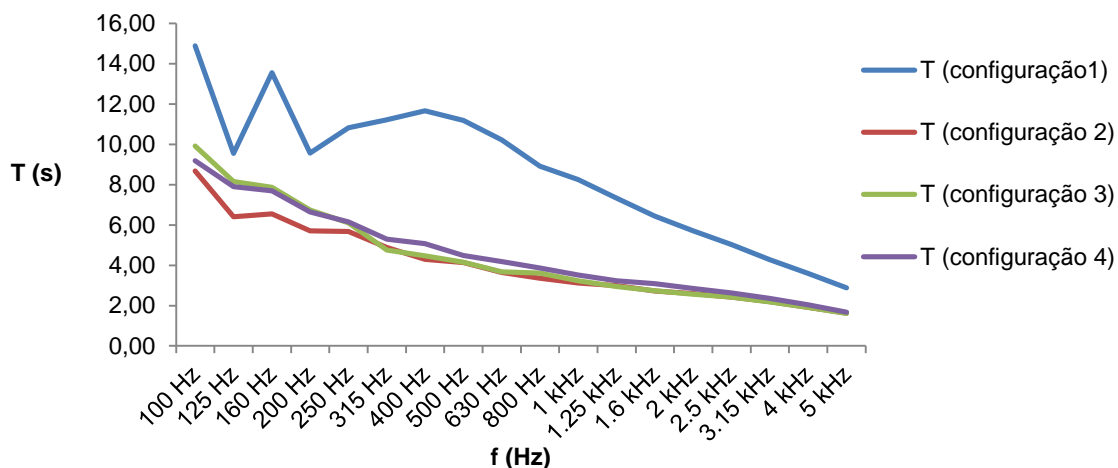


Fig. 3.8 – Curvas de decaimento do som para as diferentes configurações.

A diferença acentuada entre a curva da configuração 1, correspondente à câmara recetora vazia, e as restantes três curvas, que se mantêm relativamente próximas, pode ser explicada com base no fenómeno de ressonância exposto no capítulo 2, no ponto 2.3.2.4. Pelos valores dos coeficientes de absorção sonora das superfícies delimitadoras da câmara de reverberação, apresentados no quadro 3.3 percebe-se que são superfícies pouco absorventes e, por isso o som emitido impulsivo sofre inúmeras reflexões, estabelecendo-se níveis de pressão sonora diferentes em diferentes pontos da câmara. O decaimento sonoro pode desta forma ser amplificado em determinadas frequências, devido à coincidência das frequências dos modos próprios estabelecidos na câmara.

Neste sentido calcularam-se os modos próprios da câmara recetora R1, utilizando a equação 2.13, e tendo em conta as dimensões apresentadas na figura 3.2. Para os valores de p , q e r utilizaram-se números inteiros num intervalo [0;20], calculando a frequência correspondente a cada combinação matemática de três elementos do intervalo de valores considerado (0,0,0; 0,1,0; etc).

Da análise gráfica da distribuição dos modos próprios calculados (figura 3.9) verifica-se uma concentração de modos entre as frequências 200 Hz e 1000 Hz. Analisando a curva de reverberação do som para a configuração 1, neste intervalo de frequências, confirma-se uma amplificação da mesma, explicando desta forma a diferença significativa para as restantes curvas.

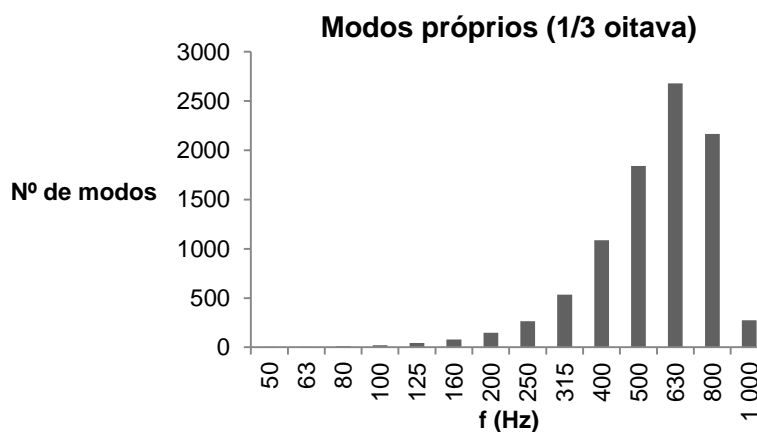


Fig. 3.9 – Modos próprios da câmara reverberante R1.

3.4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os valores do tempo de reverberação medidos em laboratório para as quatro configurações foram analisados com base numa avaliação comparativa face a valores de T (s) teóricos calculados por meio de equações de previsão do tempo de reverberação, tendo em conta as características físicas da câmara de ensaio e as propriedades acústicas das superfícies da mesma e dos materiais utilizados para a estruturação das diferentes configurações de absorção sonora.

Do conjunto de fórmulas simplificadas de previsão do tempo de reverberação apresentadas no capítulo 2, selecionou-se a equação deduzida empiricamente por Sabine e a fórmula proposta por Arau-Puchades para a determinação de valores teóricos de T (s), os quais por meio de uma análise comparativa serão confrontados com os valores de T (s) resultantes da experimentação laboratorial.

A fórmula de Sabine foi selecionada pela sua simplicidade de aplicação e por ser resultado dos primeiros estudos experimentais das propriedades acústicas de salas; relativamente à fórmula de Arau-Puchades esta foi selecionada uma vez que viabiliza a previsão do tempo de reverberação de forma satisfatória para salas com uma distribuição assimétrica da absorção.

Assim para cada uma das configurações ensaiadas efetuou-se o cálculo teórico do tempo de reverberação resultante destas duas expressões e comparou-se com os valores de T (s) efetivamente medidos, tirando-se as respetivas ilações.

De seguida apresentam-se os valores teóricos do tempo de reverberação calculados por frequência e para cada configuração de absorção sonora.

3.4.2.1. CÁLCULO TEÓRICO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO PELA EXPRESSÃO DE SABINE

Os valores do tempo de reverberação calculados de acordo com a expressão de Sabine foram obtidos pela equação 2.11. A área de absorção equivalente foi calculada pela expressão 2.10, com base nos coeficientes de absorção sonora dos diferentes elementos apresentados anteriormente no quadro 3.3.

No quadro 3.10 apresentam-se os valores do tempo de reverberação e da área de absorção sonora equivalente para cada configuração, calculados pela expressão de Sabine.

3.4.2.2. CÁLCULO TEÓRICO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO PELA EXPRESSÃO DE ARAU-PUCHADES

Os valores do tempo de reverberação calculados de acordo com Arau-Puchades foram obtidos pela expressão 2.12. Os parâmetros α_x , α_y e α_z foram obtidos conforme exposto em 2.3.2.3, tendo em conta os coeficientes de absorção sonora dos diferentes elementos apresentados no quadro 3.3.

No quadro 3.11 apresenta o cálculo teórico do tempo de reverberação pela equação de Arau-Puchades para cada uma das configurações.

Quadro 3.10 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente calculados pela expressão de Sabine.

Frequência (Hz)	Configuração 1		Configuração 2		Configuração 3		Configuração 4	
	$\Sigma ai.Si$	T (s)	$\Sigma ai.Si$	T (s)	$\Sigma ai.Si$	T (s)	$\Sigma ai.Si$	T (s)
100	2,27	14,89	0,82	11,26	0,82	11,26	0,82	12,42
125	3,54	9,55	1,09	7,44	1,09	7,44	1,09	7,93
160	2,49	13,55	1,64	8,35	1,64	8,35	1,64	8,97
200	3,53	9,56	2,01	6,2	2,01	6,2	2,01	6,53
250	3,12	10,81	2,73	5,86	2,73	5,86	2,73	6,15
315	3,01	11,22	3,46	5,29	3,46	5,29	3,46	5,53
400	2,9	11,66	3,92	5,02	3,92	5,02	3,92	5,24
500	3,02	11,18	4,74	4,4	4,74	4,4	4,74	4,57
630	3,3	10,22	5,29	3,97	5,29	3,97	5,29	4,11
800	3,79	8,91	5,74	3,58	5,74	3,58	5,74	3,69
1000	4,09	6,84	5,92	3,14	5,92	3,14	5,92	3,22
1250	4,6	6,08	6,38	2,85	6,38	2,85	6,38	2,92
1600	5,24	5,36	6,84	2,61	6,84	2,61	6,84	2,72
2000	5,91	4,71	7,11	2,39	7,11	2,39	7,11	2,49
2500	6,71	3,53	7,75	1,97	7,75	1,97	7,75	2,04
3150	7,88	2,65	8,29	1,62	8,29	1,62	8,29	1,66
4000	9,4	1,99	9,11	1,3	9,11	1,3	9,11	1,33
5000	11,69	1,56	9,11	1,11	9,11	1,11	9,11	1,13

Quadro 3.11 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente calculados pela expressão de Arau-Puchades.

Frequência (Hz)	Configuração 1				Configuração 2				Configuração 3				Configuração 4			
	α_x	α_y	α_z	TR (s)	α_x	α_y	α_z	TR (s)	α_x	α_y	α_z	TR (s)	α_x	α_y	α_z	TR (s)
100	0,01	0,02	0,02	10,27	0,01	0,02	0,02	10,77	0,01	0,03	0,02	8,96	0,01	0,02	0,02	10,05
125	0,01	0,04	0,02	8,31	0,01	0,04	0,02	8,71	0,01	0,05	0,02	7,47	0,01	0,04	0,02	8,24
160	0,01	0,02	0,02	9,79	0,01	0,02	0,02	10,26	0,01	0,05	0,02	7,85	0,01	0,03	0,02	9,22
200	0,01	0,04	0,02	8,32	0,01	0,04	0,02	8,72	0,01	0,07	0,02	6,94	0,01	0,05	0,02	7,99
250	0,01	0,03	0,02	8,79	0,01	0,03	0,02	9,21	0,01	0,07	0,02	6,78	0,01	0,05	0,02	8,12
315	0,01	0,03	0,02	8,94	0,01	0,03	0,02	9,37	0,01	0,08	0,02	6,52	0,01	0,05	0,02	8,01
400	0,01	0,03	0,02	9,10	0,01	0,03	0,02	9,54	0,01	0,09	0,02	6,38	0,01	0,05	0,02	7,98
500	0,01	0,03	0,02	8,93	0,01	0,03	0,02	9,35	0,01	0,10	0,02	6,07	0,01	0,06	0,02	7,69
630	0,01	0,04	0,02	8,57	0,01	0,04	0,02	8,98	0,01	0,11	0,02	5,83	0,01	0,06	0,02	7,39
800	0,01	0,04	0,02	8,07	0,01	0,04	0,02	8,45	0,01	0,13	0,02	5,60	0,01	0,07	0,02	7,04
1000	0,01	0,05	0,02	4,15	0,01	0,05	0,02	4,22	0,01	0,13	0,02	3,09	0,01	0,08	0,02	3,70
1250	0,01	0,06	0,02	3,79	0,01	0,06	0,02	3,85	0,01	0,15	0,02	2,86	0,01	0,09	0,02	3,40
1600	0,02	0,05	0,04	2,90	0,02	0,05	0,04	2,97	0,02	0,15	0,04	2,16	0,02	0,09	0,04	2,59
2000	0,02	0,06	0,04	2,59	0,02	0,06	0,04	2,64	0,02	0,16	0,04	1,97	0,02	0,10	0,04	2,34
2500	0,02	0,07	0,04	1,67	0,02	0,07	0,04	1,69	0,02	0,19	0,04	1,34	0,02	0,11	0,04	1,54
3150	0,02	0,09	0,04	1,15	0,02	0,09	0,04	1,16	0,02	0,21	0,04	0,96	0,02	0,13	0,04	1,08
4000	0,02	0,11	0,04	0,81	0,02	0,11	0,04	0,81	0,02	0,25	0,04	0,69	0,02	0,16	0,04	0,76
5000	0,02	0,15	0,04	0,63	0,02	0,15	0,04	0,64	0,02	0,28	0,04	0,56	0,02	0,19	0,04	0,61

De forma a facilitar a análise dos dados anteriormente apresentados, para cada configuração de absorção sonora determinaram-se as curvas de reverberação do som correspondentes aos valores do tempo de reverberação medidos em laboratório e aos valores de tempo de reverberação previstos pelas expressões de Sabine e Arau-Puchades.

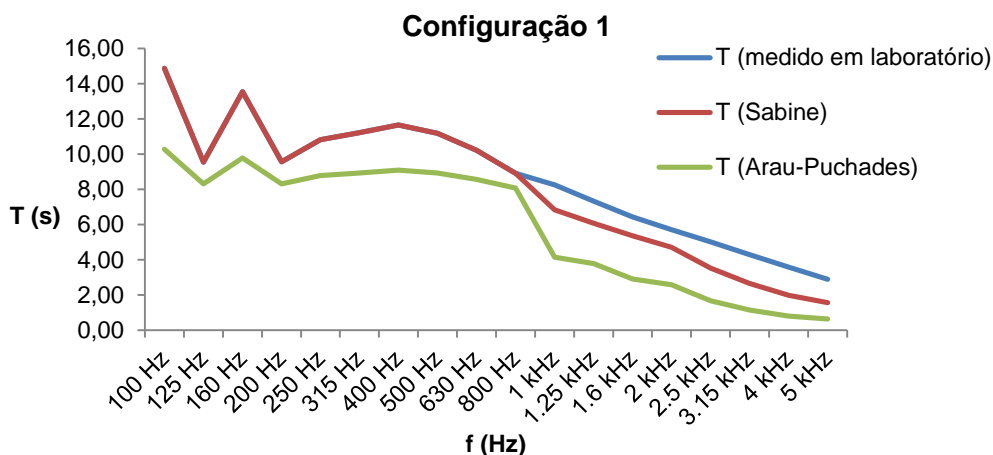


Fig. 3.10 – Curvas de reverberação do som para a configuração 1.

A figura 3.10 revela que, para a configuração 1, correspondente à câmara R1 vazia, da expressão de Arau-Puchades resultam valores significativamente diferentes aos valores medidos em laboratório. Da expressão de Sabine resulta uma curva de reverberação do som equivalente à curva obtida em laboratório até à frequência de 800 Hz, verificando-se uma diferença significativa para as restantes frequências.

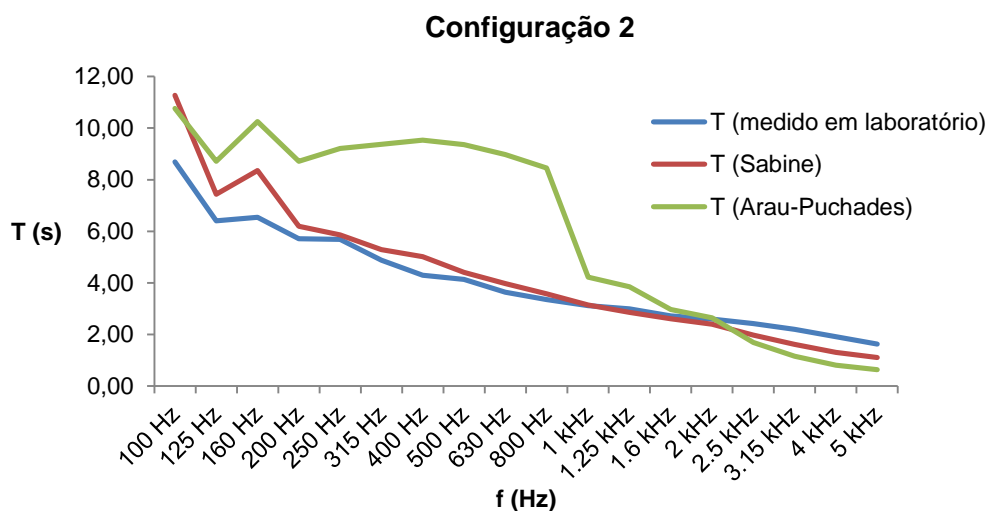


Fig. 3.11 – Curvas de reverberação do som para a configuração 2.

Para a configuração 2, pela figura 3.11, verifica-se que a curva obtida pela expressão de Arau-Puchades tem um desfasamento em relação à curva dos valores medidos, aproximando-se apenas nas

frequências dos 100 Hz e 2000 Hz. A curva de Sabine apresenta-se afastada da curva obtida em laboratório, aproximando-se apenas nas frequências entre os 1000 Hz e 1600 Hz.

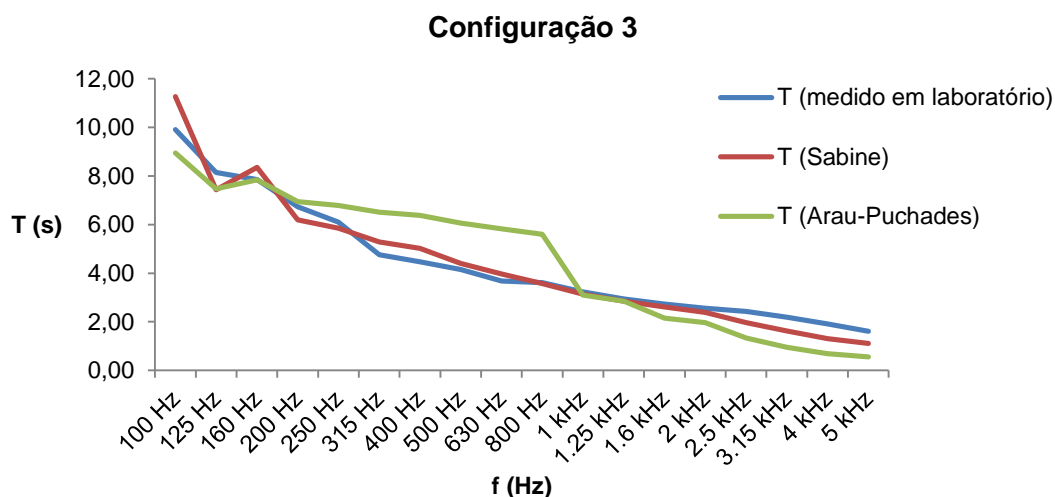


Fig. 3.12 – Curvas de reverberação do som para a configuração 3.

Na configuração 3, pela figura 3.12, verifica-se um afastamento da curva obtida pela expressão de Sabine em relação à curva obtida em laboratório, aproximando-se desta nas frequências entre os 800 Hz e os 1250 Hz. A curva de Arau-Puchades apresenta um afastamento significativo em quase todas as frequências, excetuando as frequências dos 125 Hz, 1000 Hz e 1250 Hz.

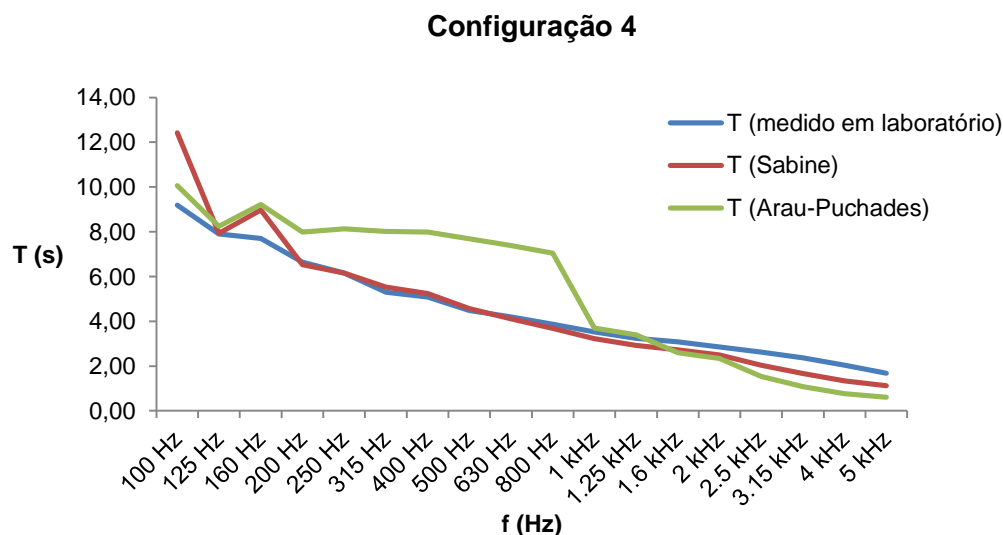


Fig. 3.13 – Curvas de reverberação do som para a configuração 4.

Por último na configuração 4, correspondente a uma distribuição simétrica da absorção sonora, pela figura 3.13, verifica-se que a curva obtida pela expressão de Sabine apresenta uma tendência semelhante à curva obtida em laboratório e com valores muito próximos desta, excetuando nas

frequências de 100 Hz, 160 Hz e 800 Hz e frequências seguintes. Por outro lado a curva obtida pela expressão de Arau-Puchades apresenta-se significativamente afastada da curva experimental, aproximando-se desta apenas nas frequências 125 Hz, 160 Hz, 1000 Hz e 1250 Hz.

3.4.3. SÍNTESE E ANÁLISE DOS RESULTADOS

De um modo geral verifica-se para todas as configurações ensaiadas diferenças significativas entre os valores do tempo de reverberação medidos em laboratório e os valores calculados por meio das equações teóricas de Sabine e Arau-Puchades. As curvas das configurações 1 e 4 são as que mais se aproximam da curva de reverberação obtida pela expressão de Sabine, para essas mesmas configurações. No caso da curva de reverberação obtida por Arau-Puchades verifica-se que esta se aproxima mais da curva obtida em laboratório para a configuração 3.

Analisando comparativamente o valor do tempo de reverberação calculado pelas duas expressões teóricas consideradas verifica-se que a expressão de Arau-Puchades não é adequada ao cálculo do tempo de reverberação das câmaras reverberantes. Por outro lado, os valores obtidos pela expressão de Sabine estão mais próximos dos valores de T medidos na câmara reverberante. Contudo as diferenças significativas verificadas para disposições da absorção sonora na câmara de forma assimétrica e não uniformemente distribuída revelam, mesmo em ambientes controlados, a dificuldade de precisão na determinação dos coeficientes de absorção sonora das diferentes superfícies.

Neste sentido o cálculo da absorção sonora equivalente pela expressão de Sabine, como previsto nas normas, para efeitos de cálculo do isolamento sonoro, podem resultar valores de A (absorção sonora equivalente) diferentes dos valores de A efetivamente existentes na câmara.

3.4.4. ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO

Como referido anteriormente no ponto 3.2.1. os ensaios de isolamento sonoro foram efetuados de acordo com os procedimentos estabelecidos nas normas ISO 10140-1:2010 [30], ISO 10140-2:2010 [31] e ISO 10140-4:2010 [32]. As medições foram efetuadas em bandas de terço de oitava entre as frequências 100 a 5000 Hz. De acordo com EN ISO 717-1 [27] os resultados do índice de redução sonora foram expressos por R_w (C; Ctr). Os relatórios de ensaio previstos na norma ISO 10140-2:2010 [31] constam no anexo A1.

No quadro 3.12 apresentam-se os valores do índice de redução sonora obtidos em cada ensaio.

Quadro 3.12 – Índice de redução sonora, R_w .

Recetor	Emissor		
	0%	50%	100%
0%	38	38	38
50%	39	38	38
100%	38	37	38

3.4.4.1. SÍNTESE E ANÁLISE DOS RESULTADOS

De um modo geral a parede de separação apresenta um valor de R_w de 38 dB, à exceção do ensaio 4 que apresenta uma diferença de 1 dB acima deste valor e o ensaio 8 que apresenta uma diferença de 1 dB abaixo desse mesmo valor. Apesar das diferenças obtidas nestes dois ensaios face aos restantes valores de R_w , pode-se concluir que a variação das condições de absorção sonora no campo emissor e no campo recetor não influencia o valor de R_w . Na análise dos resultados laboratoriais deve-se ter em conta que o valor R_w não inclui o efeito das transmissões marginais, e ainda o facto de os painéis utilizados absorverem essencialmente nas altas frequências, e como tal é desconhecido, no caso deste estudo, o comportamento da parede face à colocação nas câmaras de materiais mais absorventes nas baixas frequências.

Na figura 3.14 apresentam-se as curvas de redução sonora entre as câmaras, dos nove ensaios realizados.

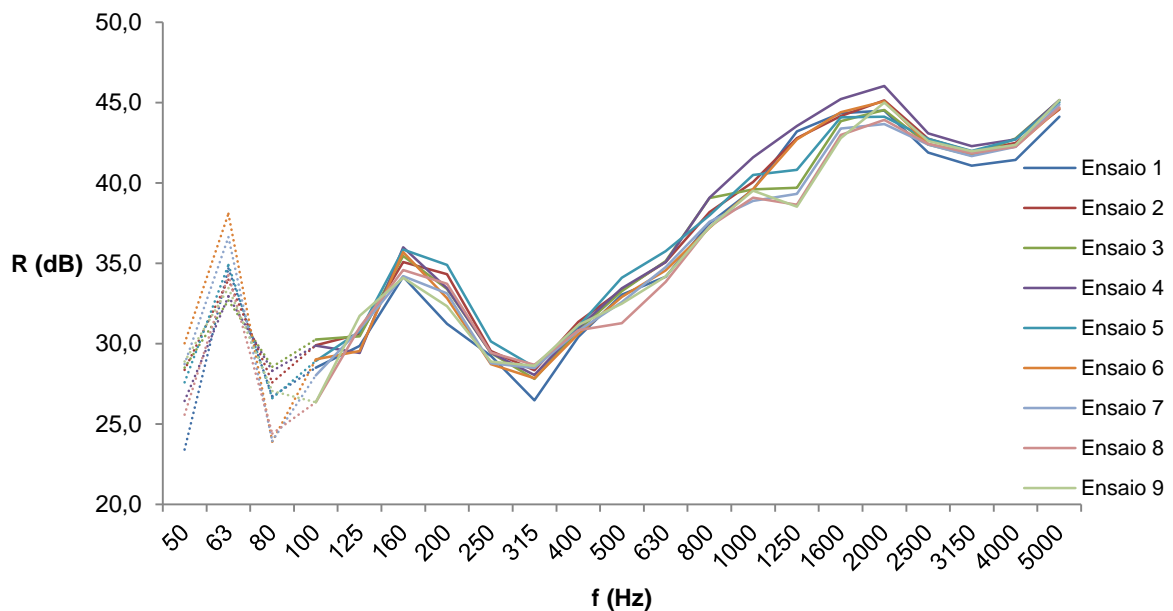


Fig. 3.14 – Curvas de redução sonora entre câmaras.

4

ENSAIOS *IN SITU*

4.1. INTRODUÇÃO

Os resultados dos ensaios de isolamento sonoro efetuados em laboratório, e apresentados no capítulo anterior, revelaram que variações de absorção sonora nas duas câmaras não têm influência significativa no índice de redução sonora, dado que se obteve o mesmo valor de R_w em sete dos nove ensaios realizados. No caso dos ensaios de medição do tempo de reverberação verificaram-se diferenças significativas entre os valores medidos e os valores de T (s) calculados por meio de equações teóricas.

Na análise dos resultados laboratoriais deve-se ter em consideração o facto de as câmaras reverberantes serem ambientes controlados relativamente à absorção sonora, uma vez que foram concebidas segundo padrões normalizados. O coeficiente de absorção sonora (α_i) das superfícies delimitadoras da câmara, bem como dos painéis utilizados nos ensaios é um parâmetro bem definido. Neste sentido, ambas as câmaras apresentam características de absorção semelhantes, uma vez que os painéis colocados em cada uma foram os mesmos e as superfícies de betão que as delimitam são iguais, à parte a secção. Deve-se ainda ter em conta que os valores de R_w obtidos não incluem transmissões marginais.

Na verdade os resultados dos ensaios de isolamento não suscitam questões face à problemática em estudo. Por outro lado, como analisado no capítulo anterior, as diferenças acentuadas entre o tempo de reverberação medido na câmara recetora, para diferentes configurações de absorção sonora, e o tempo de reverberação calculado com base nas expressões teóricas para essas mesmas configurações, levantam questões relacionadas com a problemática preconizada neste estudo, uma vez que o cálculo da área de absorção equivalente de acordo com a normalização em vigor, para efeitos de cálculo do isolamento sonoro de elementos, tem como base a expressão de Sabine.

Neste capítulo pretende-se analisar, com base nos resultados obtidos em laboratório, se em ambientes não controlados, com elementos, cujos coeficientes de absorção sonora não são facilmente definidos, como mobiliário por exemplo, o isolamento sonoro entre dois compartimentos (portanto incluindo transmissões marginais) apresenta sempre o mesmo comportamento para variações de absorção sonora desses compartimentos.

4.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.2.1. NORMALIZAÇÃO APLICÁVEL

Os ensaios de medição do tempo de reverberação foram efetuados de acordo com a normalização apresentada no ponto 3.2.1.

Os ensaios de isolamento *in situ* foram realizados de acordo com a normalização apresentada no ponto 3.2.1 do capítulo 3 e de acordo com a norma EN ISO 10140-14: 2012 – Acústica – Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção – Parte 14: Linhas de orientação para situações específicas de medições *in situ* [38].

4.2.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Para a realização dos ensaios de medição do tempo de reverberação *in situ* seguiu-se o mesmo princípio de funcionamento das medições em laboratório. Neste caso as medições efetuaram-se na sala B330 (figura 4.1).

Igualmente para os ensaios de isolamento sonoro *in situ* seguiu-se o mesmo princípio de funcionamento dos ensaios laboratoriais. Adaptando este princípio de funcionamento ao estudo de caso real, que no caso trata-se de duas salas de aulas contíguas da FEUP, nos ensaios de isolamento sonoro a sala B331 funcionou como compartimento emissor e a sala B330 como compartimento recetor (figura 4.1).

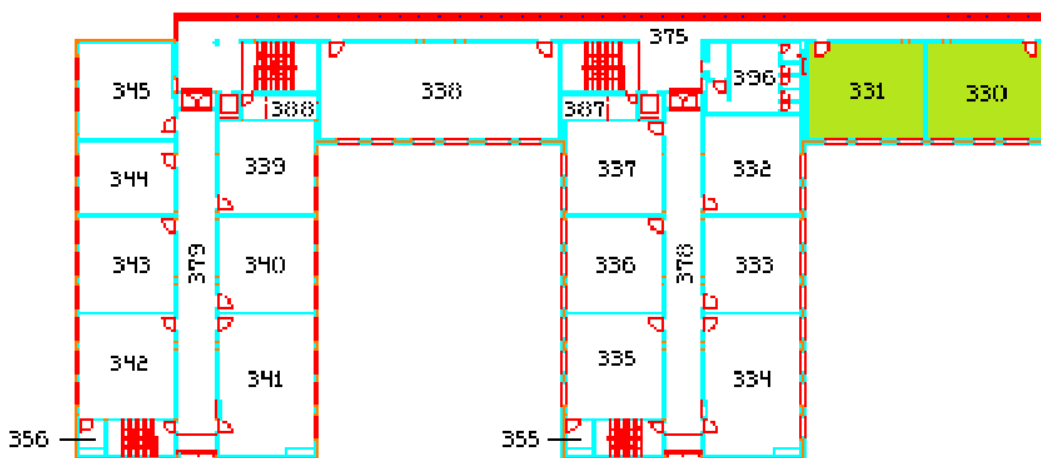


Fig. 4.1 – Planta das salas ensaiadas *in situ* [37].

4.2.3. BANDAS DE FREQUÊNCIAS

A avaliação acústica foi efetuada para a gama de frequências apresentadas no quadro 3.1.

4.2.4. DISPOSITIVOS DE ENSAIO

Os dispositivos de ensaio utilizados estão apresentados no quadro 3.2.

4.2.5. DETERMINAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O tempo de reverberação medido na sala B330 para diferentes configurações de absorção sonora será expresso pelo valor de T (s), com aproximação às centésimas. Os valores medidos serão ainda apresentados por frequência na forma de tabela e representação gráfica.

O índice de isolamento sonoro a sons aéreos entre as duas salas ensaiadas será expresso pelo valor de D_{nT} , para todas as bandas de frequências da medição, com aproximação às décimas. Os valores calculados serão ainda apresentados na forma de tabela e representação gráfica. Para cada ensaio realizado foi também elaborado o respectivo relatório de ensaio.

4.2.6. MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE

A determinação da área de absorção sonora equivalente a partir dos valores de T (s) medidos será efetuada de acordo com o apresentado em 3.2.6.

4.2.7. MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO

A medição do índice de isolamento sonoro da parede de separação entre as duas salas foi efetuada de acordo com o procedimento exposto na norma NP EN 717-1 [27]. Os valores de D_{nT} foram obtidos a partir da equação 2.16.

4.3. PREPARAÇÃO E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS *IN SITU*

4.3.1. ENSAIOS DE MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

As medições do tempo de reverberação na sala B330 foram efetuadas para quatro configurações semelhantes às ensaiadas em laboratório.

Neste caso as quatro configurações materializaram-se na seguinte disposição das superfícies:

- Configuração 1: sala apenas com mobiliário;
- Configuração 2: sala com mobiliário e doze painéis colocados no centro do chão;
- Configuração 3: sala com mobiliário e doze painéis colocados de forma distribuída nas paredes;
- Configuração 4: sala com mobiliário e doze painéis colocados de forma distribuída e simétrica nas paredes e chão da sala.

4.3.1.1. CARACTERÍSTICAS DA SALA B330

A sala ensaiada (figura 4.2) apresenta uma área em planta de $59,34 \text{ m}^2$ e um pé-direito de 2,73 metros, correspondendo a estas dimensões um volume de 162 m^3 . As quatro paredes em alvenaria que a delimitam são interiormente rebocadas e estucadas, sendo uma delas uma parede exterior com três janelas de caixilharia de alumínio, cada uma com uma área de $3,17 \text{ m}^2$. O teto da sala é um teto suspenso em gesso cartonado e o chão com revestimento em linóleo. A sala apresenta ainda uma porta de madeira pintada.



Fig.4.2 – Sala de ensaios *in situ*.

4.3.1.2. DADOS DE REFERÊNCIA

4.3.1.2.1. COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA

No quadro 4.1 apresentam-se os coeficientes de absorção sonora dos diferentes elementos existentes na sala de aula, obtidos das referências assinaladas.

Quadro 4.1 – Coeficientes de absorção sonora dos elementos.

Coeficiente de absorção sonora (α)									
Elemento									
Frequência (Hz)	Paredes [16]	Chão [34]	Teto [24]	Janela [24]	Porta [24]	Quadro de escrita (cerâmica) [34]	Cadeiras - 29 un (madeira) [16]	Mesas - 29 un (metal) [16]	Painel perfilado PUR 25FR [35]
100	0,01	0,02	0,20	0,25	0,10	0,01	0,01	0,01	0,09
125	0,01	0,02	0,20	0,25	0,10	0,01	0,01	0,01	0,12
160	0,01	0,03	0,15	0,25	0,10	0,01	0,01	0,01	0,18
200	0,01	0,03	0,15	0,25	0,10	0,01	0,01	0,01	0,22
250	0,01	0,03	0,15	0,25	0,10	0,01	0,01	0,01	0,30
315	0,01	0,03	0,15	0,25	0,10	0,01	0,01	0,01	0,38
400	0,02	0,03	0,10	0,18	0,05	0,01	0,01	0,01	0,43
500	0,02	0,03	0,10	0,18	0,05	0,01	0,01	0,01	0,52

630	0,02	0,03	0,07	0,18	0,05	0,01	0,01	0,01	0,58
800	0,03	0,03	0,07	0,12	0,05	0,02	0,02	0,02	0,63
1000	0,03	0,03	0,07	0,12	0,05	0,02	0,02	0,02	0,65
1250	0,03	0,03	0,07	0,12	0,05	0,02	0,02	0,02	0,70
1600	0,04	0,03	0,04	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,75
2000	0,04	0,03	0,04	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,78
2500	0,04	0,03	0,04	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,85
3150	0,04	0,03	0,04	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,91
4000	0,05	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	1,00
5000	0,05	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	1,00

4.3.1.2.2. COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DO AR

O quadro 4.2 apresenta os valores do coeficiente de absorção sonora do ar por frequência para as condições de humidade relativa e temperatura da sala B330.

Quadro 4.2 – Coeficiente de absorção sonora do ar.

Sala B330	Humidade do ar (%)	Temperatura do ar (°C)
	50	15
Frequência (Hz)	Absorção sonora do ar m (m^{-1}) [16]	
100	0,000	
125	0,000	
160	0,000	
200	0,000	
250	0,000	
315	0,000	
400	0,000	
500	0,000	
630	0,000	
800	0,000	
1000	0,004	
1250	0,005	

1600	0,005
2000	0,006
2500	0,014
3150	0,023
4000	0,036
5000	0,047

4.3.2. ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO

Nos ensaios de isolamento sonoro *in situ* elaborou-se, tal como nos ensaios em laboratório, uma matriz de possibilidades (quadro 4.3) de variação de absorção sonora nas duas salas. A absorção sonora introduzida na sala, para além das suas superfícies e do mobiliário, foram igualmente os painéis perfilados utilizados nos ensaios laboratoriais.

Quadro 4.3 – Matriz de possibilidades de variação de absorção sonora para os ensaios *in situ*.

Recetor	Emissor		
	-a% A/V	b% A/V	+c% A/V
-a% A/V	$D_{nT,w1}$	$D_{nT,w2}$	$D_{nT,w3}$
b% A/V	$D_{nT,w4}$	$D_{nT,w5}$	$D_{nT,w6}$
+c% A/V	$D_{nT,w7}$	$D_{nT,w8}$	$D_{nT,w9}$

As letras *a*, *b* e *c* e a razão *A/V* apresentados no quadro 4.3 serão definidos posteriormente neste capítulo.

4.4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS *IN SITU*

4.4.1. ENSAIOS DE MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

A medição do tempo de reverberação foi efetuada de acordo com as normas ISO 354, EN ISO 3388-2 e ISO 10140-5, em bandas de terço de oitava entre as frequências 100 Hz a 5000 Hz e os resultados, com aproximação às centésimas, serão apresentados na forma de tabela e representação gráfica.

De seguida apresentam-se os resultados obtidos para cada uma das configurações descritas no ponto 4.3.1.

4.4.1.1. CONFIGURAÇÃO 1

A configuração 1 corresponde à medição do tempo de reverberação para a sala apenas com mobiliário.

Os valores de T (s) medidos apresentam-se no quadro 4.4. No mesmo quadro estão também determinados os valores da área de absorção sonora equivalente, calculados pela fórmula de Sabine (equação 3.1).

Quadro 4.4 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente para a configuração 1.

Configuração 1		
Frequência (Hz)	T (s)	A (m ²)
100	2,14	12,12
125	2,60	9,98
160	2,09	12,41
200	1,88	13,76
250	1,75	14,79
315	1,90	13,66
400	2,30	11,28
500	2,18	11,88
630	1,96	13,21
800	1,89	13,74
1000	1,86	13,93
1250	1,87	13,89
1600	1,98	13,11
2000	1,94	13,38
2500	1,71	15,20
3150	1,58	16,37
4000	1,46	17,71
5000	1,29	20,08

4.4.1.2. CONFIGURAÇÃO 2

Na configuração 2 colocaram-se na parte central do chão da sala os doze painéis perfilados PUR 25FR, como ilustra a figura 4.3.



Fig. 4.3 – Configuração 2.

Os valores de tempo de reverberação medidos apresentam-se no quadro 4.5. No mesmo quadro apresentam-se os valores da área de absorção sonora equivalente.

Quadro 4.5 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente para a configuração 2.

Configuração 2		
Frequência (Hz)	T (s)	A (m ²)
100	2,02	12,84
125	1,89	13,73
160	1,86	13,95
200	1,86	13,96
250	1,59	16,33
315	1,56	16,58
400	1,74	14,92
500	1,45	17,86
630	1,36	19,04
800	1,24	20,97
1000	1,22	21,17
1250	1,21	21,42
1600	1,25	20,68
2000	1,26	20,50

2500	1,14	22,69
3150	1,12	23,14
4000	1,09	23,85
5000	1,01	25,77

4.4.1.3. CONFIGURAÇÃO 3

Nesta configuração os doze painéis perfilados foram colocados de forma distribuída nas paredes da sala como ilustra a figura 4.4.



Fig. 4.4 – Configuração 3.

Os valores do tempo de reverberação medidos para a configuração 3 e a área de absorção sonora equivalente apresentam-se no quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente para a configuração 3.

Configuração 3		
Frequência (Hz)	T (s)	A (m ²)
100	1,66	15,62
125	1,86	13,92
160	1,65	15,67
200	1,69	15,31
250	1,55	16,73
315	1,45	17,82
400	1,53	16,92

500	1,50	17,25
630	1,34	19,38
800	1,23	21,03
1000	1,22	21,22
1250	1,19	21,78
1600	1,21	21,42
2000	1,22	21,19
2500	1,12	23,25
3150	1,08	23,94
4000	1,01	25,66
5000	0,94	27,48

4.4.1.4. CONFIGURAÇÃO 4

Na configuração 4 os doze painéis foram colocados de forma distribuída e simétrica nas paredes e chão da sala, como ilustra a figura 4.5.



Fig. 4.5 – Configuração 4.

O quadro 4.7 apresenta os valores de T medidos, bem como os valores da área de absorção sonora equivalente.

Quadro 4.7 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente para a configuração 4.

Configuração 4		
Frequência (Hz)	T (s)	A (m ²)
100	1,47	17,65
125	1,93	13,45
160	1,62	16,02
200	1,72	15,08
250	1,35	19,14
315	1,28	20,20
400	1,55	16,70
500	1,42	18,25
630	1,35	19,24
800	1,26	20,57
1000	1,26	20,52
1250	1,25	20,82
1600	1,27	20,48
2000	1,25	20,68
2500	1,15	22,56
3150	1,10	23,51
4000	1,06	24,53
5000	0,97	26,74

Na figura 4.6 estão representadas as curvas de reverberação correspondentes aos valores do tempo de reverberação apresentados anteriormente, para as diferentes configurações.

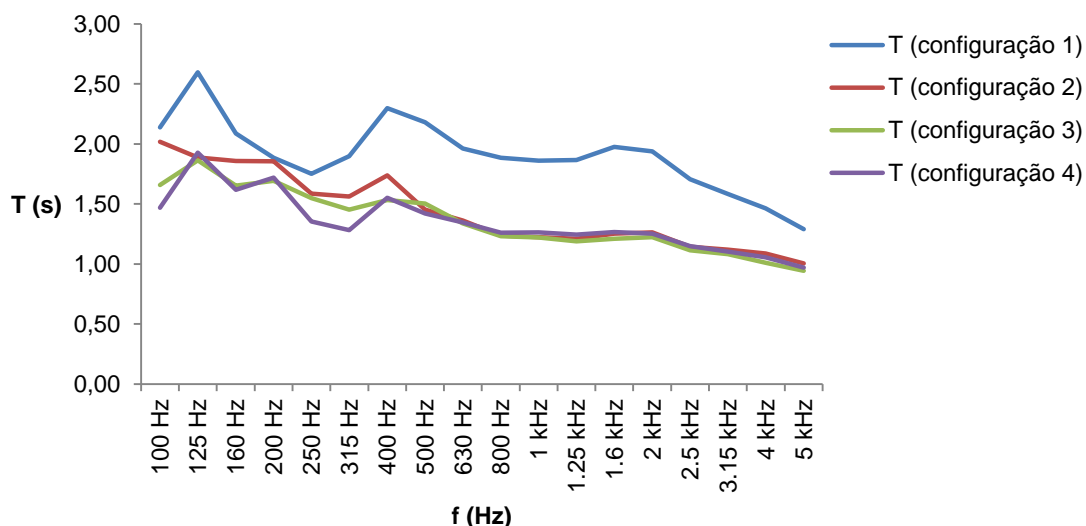


Fig. 4.6 – Curvas de reverberação do som para as diferentes configurações.

4.4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Seguindo a mesma metodologia de análise dos ensaios em laboratório, os valores do tempo de reverberação medidos na sala B330 para as quatro configurações foram analisados com base numa avaliação comparativa face a valores de T (s) teóricos calculados por meio das equações de previsão do tempo de reverberação de Sabine e Arau-Puchades, para as quatro configurações.

De seguida apresentam-se os valores teóricos do tempo de reverberação calculados por frequência e para cada configuração de absorção sonora.

4.4.2.1. CÁLCULO TEÓRICO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO PELA EXPRESSÃO DE SABINE

Os valores do tempo de reverberação apresentados no quadro 4.8 foram calculados pela expressão 2.11. A área de absorção equivalente, apresentada no mesmo quadro, foi calculada pela expressão 2.10, com base nos coeficientes de absorção sonora dos diferentes elementos apresentados anteriormente no quadro 4.1.

4.4.2.2. CÁLCULO TEÓRICO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO PELA EXPRESSÃO DE ARAU-PUCHADES

Os valores do tempo de reverberação apresentados no quadro 4.9 foram calculados pela expressão 2.12. Os parâmetros α_x , α_y e α_z , apresentados no mesmo quadro foram obtidos conforme exposto em 2.3.2.3, tendo em conta os coeficientes de absorção sonora dos diferentes elementos apresentados no quadro 4.1.

Quadro 4.8 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente calculados pela expressão de Sabine.

Frequência (Hz)	Configuração 1		Configuração 2		Configuração 3		Configuração 4	
	$\Sigma ai.Si$	T (s)	$\Sigma ai.Si$	T (s)	$\Sigma ai.Si$	T (s)	$\Sigma ai.Si$	T (s)
100	17,14	1,51	17,78	1,46	17,87	1,45	17,84	1,45
125	17,14	1,51	18,06	1,44	18,15	1,43	18,12	1,43
160	14,77	1,75	16,14	1,61	16,32	1,59	16,26	1,59
200	14,77	1,75	16,50	1,57	16,68	1,55	16,62	1,56
250	14,77	1,75	17,23	1,50	17,41	1,49	17,35	1,49
315	14,77	1,75	17,96	1,44	18,14	1,43	18,08	1,43
400	11,61	2,23	15,26	1,70	15,35	1,69	15,32	1,69
500	11,61	2,23	16,08	1,61	16,17	1,60	16,14	1,61
630	9,83	2,64	14,85	1,75	14,94	1,74	14,91	1,74
800	10,57	2,45	16,04	1,62	16,04	1,62	16,04	1,62
1000	10,57	2,31	16,23	1,54	16,23	1,54	16,23	1,54
1250	10,57	2,29	16,68	1,49	16,68	1,49	16,68	1,49
1600	8,96	2,65	15,52	1,59	15,43	1,60	15,46	1,59
2000	8,96	2,61	15,79	1,55	15,70	1,55	15,73	1,55
2500	8,96	2,33	16,43	1,39	16,34	1,40	16,37	1,40
3150	8,96	2,04	16,98	1,25	16,89	1,26	16,92	1,26
4000	9,91	1,65	18,85	1,05	18,57	1,06	18,66	1,06
5000	9,91	1,48	18,85	0,98	18,57	0,99	18,66	0,99

Quadro 4.9 – Tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente calculados pela expressão de Arau-Puchades.

Frequência (Hz)	Configuração 1				Configuração 2				Configuração 3				Configuração 4			
	α_x	α_y	α_z	TR (s)	α_x	α_y	α_z	TR (s)	α_x	α_y	α_z	TR (s)	α_x	α_y	α_z	TR (s)
100	0,11	0,02	0,01	2,52	0,11	0,02	0,01	2,54	0,11	0,01	0,01	2,65	0,11	0,01	0,01	2,63
125	0,11	0,02	0,01	2,52	0,11	0,02	0,01	2,54	0,11	0,01	0,01	2,65	0,11	0,01	0,01	2,63
160	0,09	0,02	0,01	2,85	0,09	0,02	0,01	2,89	0,09	0,01	0,01	3,00	0,09	0,01	0,01	2,98
200	0,09	0,02	0,01	2,85	0,09	0,02	0,01	2,89	0,09	0,01	0,01	3,00	0,09	0,01	0,01	2,98
250	0,09	0,02	0,01	2,85	0,09	0,02	0,01	2,89	0,09	0,01	0,01	3,00	0,09	0,01	0,01	2,98
315	0,09	0,02	0,01	2,85	0,09	0,02	0,01	2,89	0,09	0,01	0,01	3,00	0,09	0,01	0,01	2,98
400	0,07	0,04	0,03	2,59	0,06	0,04	0,03	2,65	0,07	0,03	0,03	2,73	0,06	0,03	0,03	2,72
500	0,07	0,04	0,03	2,59	0,06	0,04	0,03	2,65	0,07	0,03	0,03	2,73	0,06	0,03	0,03	2,72
630	0,05	0,04	0,03	3,03	0,05	0,04	0,03	3,12	0,05	0,03	0,03	3,20	0,05	0,03	0,03	3,19
800	0,05	0,05	0,04	2,55	0,05	0,05	0,04	2,63	0,05	0,04	0,04	2,69	0,05	0,04	0,04	2,69
1000	0,05	0,05	0,04	2,03	0,05	0,05	0,04	2,08	0,05	0,04	0,04	2,12	0,05	0,04	0,04	2,12
1250	0,05	0,05	0,04	1,98	0,05	0,05	0,04	2,03	0,05	0,04	0,04	2,07	0,05	0,04	0,04	2,06
1600	0,04	0,07	0,06	2,05	0,03	0,07	0,06	2,11	0,04	0,05	0,06	2,14	0,03	0,06	0,06	2,14
2000	0,04	0,07	0,06	1,95	0,03	0,07	0,06	2,00	0,04	0,05	0,06	2,03	0,03	0,06	0,06	2,03
2500	0,04	0,07	0,06	1,42	0,03	0,07	0,06	1,45	0,04	0,05	0,06	1,47	0,03	0,06	0,06	1,47
3150	0,04	0,07	0,06	1,06	0,03	0,07	0,06	1,07	0,04	0,05	0,06	1,09	0,03	0,06	0,06	1,09
4000	0,03	0,09	0,07	0,77	0,03	0,09	0,07	0,78	0,03	0,07	0,07	0,79	0,03	0,07	0,07	0,79
5000	0,03	0,09	0,07	0,64	0,03	0,09	0,07	0,64	0,03	0,07	0,07	0,65	0,03	0,07	0,07	0,65

De forma a facilitar a análise dos dados anteriormente apresentados, para cada configuração de absorção sonora determinaram-se as curvas de reverberação do som correspondentes aos valores do tempo de reverberação medidos na sala e aos valores de tempo de reverberação previstos pelas expressões de Sabine e Arau-Puchades.

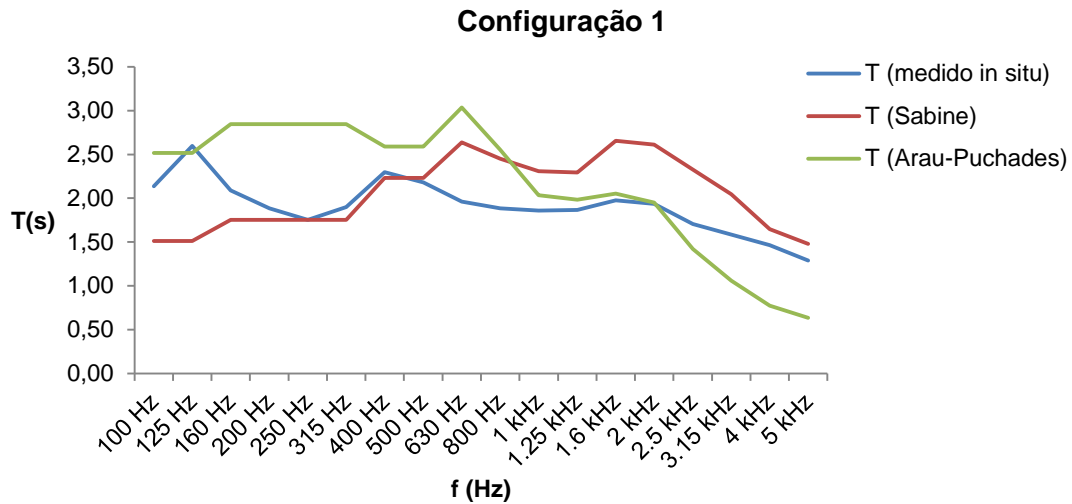


Fig. 4.7 – Curvas de reverberação do som para a configuração 1.

A figura 4.7 revela que, para a configuração 1, correspondente à sala apenas com mobiliário, da expressão de Arau-Puchades resultam valores significativamente diferentes aos valores medidos em laboratório. Da expressão de Sabine resulta uma curva de reverberação do som também com diferenças significativas face à curva obtida *in situ*, aproximando-se apenas nas frequências entre os 250 Hz e os 500 Hz.

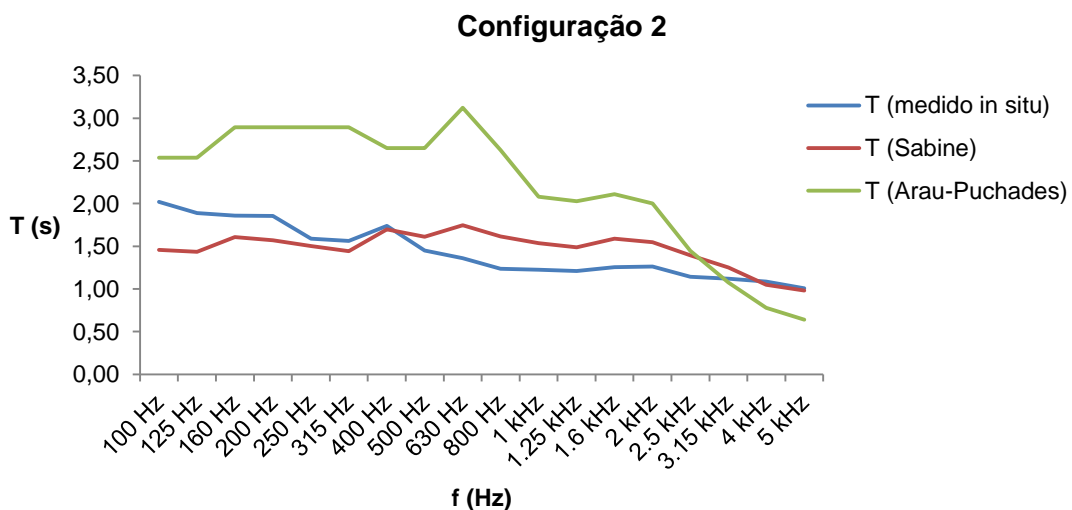


Fig. 4.8 – Curvas de reverberação do som para a configuração 2.

Para a configuração 2, pela figura 4.8, verifica-se que a curva obtida pela expressão de Arau-Puchades tem um desfasamento significativo em relação à curva dos valores medidos. A curva de Sabine apesar das diferenças significativas aproxima-se mais dos valores medidos, apresentando valores próximos nas frequências dos 400 Hz e entre os 4000 Hz e 5000 Hz.

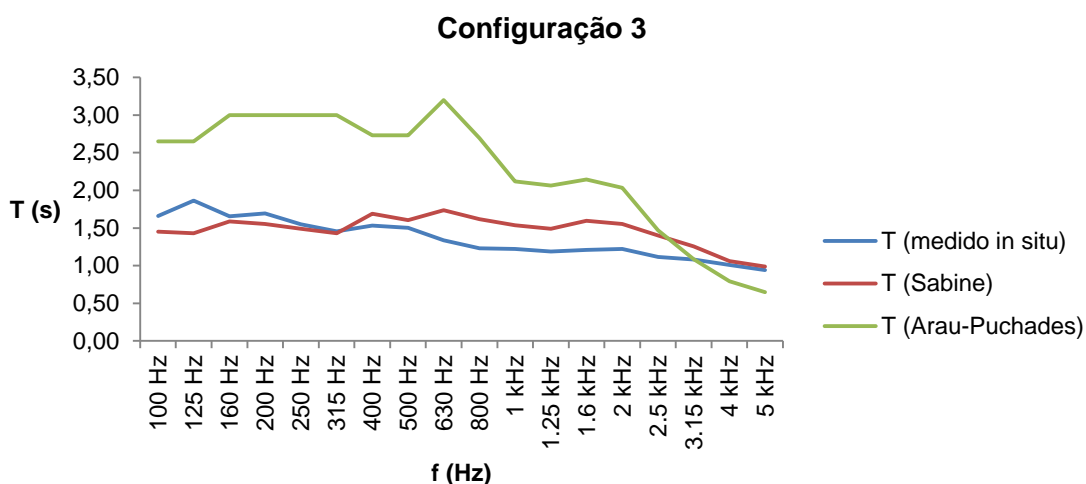


Fig. 4.9 – Curvas de reverberação do som para a configuração 3.

Na configuração 3, pela figura 4.9, verifica-se um afastamento da curva obtida pela expressão de Sabine em relação à curva obtida em laboratório, aproximando-se desta nas frequências entre os 160 Hz e os 315 Hz e a partir dos 4000 Hz. A curva de Arau-Puchades apresenta um afastamento significativo em quase todas as frequências, excetuando a frequência dos 2500 Hz.

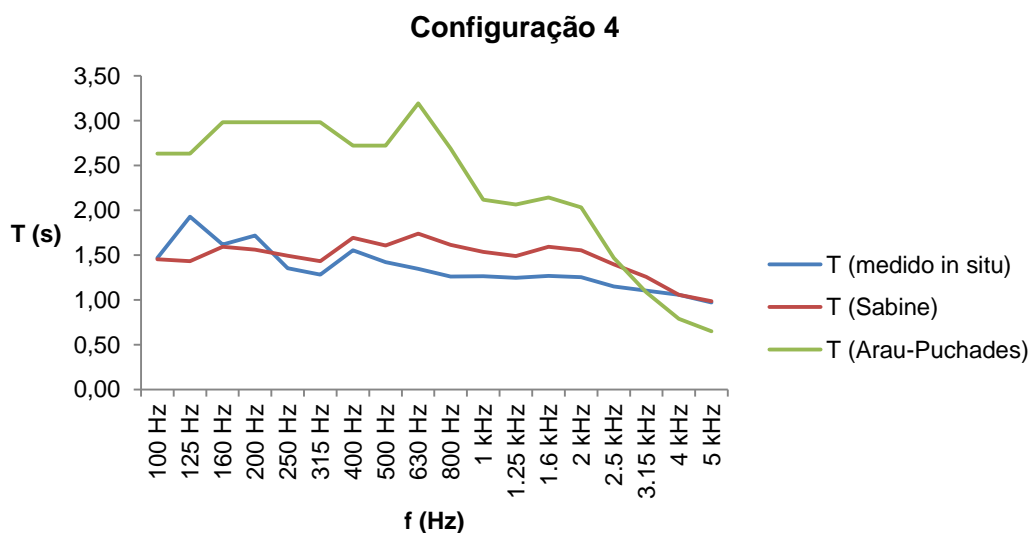


Fig. 4.10 – Curvas de reverberação do som para a configuração 4.

Por último na configuração 4, correspondente a uma distribuição simétrica da absorção sonora, pela figura 4.10, verifica-se que a curva obtida pela expressão de Sabine apresenta-se afastada da curva dos valores medidos aproximando-se desta nas frequências dos 4000 Hz e 5000Hz. A curva obtida pela expressão de Arau-Puchades apresenta-se significativamente afastada da curva obtida *in situ*.

4.4.3. SÍNTESE E ANÁLISE DOS RESULTADOS

De um modo geral verifica-se para todas as configurações ensaiadas diferenças significativas entre os valores do tempo de reverberação medidos *in situ* e os valores calculados por meio das equações teóricas de Sabine e Arau-Puchades.

Analisando comparativamente o valor do tempo de reverberação calculado pelas duas expressões teóricas consideradas verifica-se que a expressão de Arau-Puchades é desadequada ao cálculo do tempo de reverberação na sala, por apresentar-se significativamente afastada, em todas as configurações, da curva dos valores medidos. Por outro lado, apesar das diferenças os valores obtidos pela expressão de Sabine estão mais próximos dos valores de T (s) medidos. As diferenças verificadas já eram expectáveis, uma vez que já se observaram diferenças significativas em ambientes controlados.

Tendo em conta as características físicas da sala, o material das suas superfícies delimitadoras e os elementos nela presente, estes resultados revelam de facto a dificuldade em definir um valor de α_i ou um valor $\alpha_{\text{médio}}$ para as diferentes componentes, sobretudo para elementos como mobiliário e janelas.

Neste sentido do cálculo teórico da absorção sonora equivalente pela expressão de Sabine, como previsto nas normas, resultam valores diferentes da absorção sonora real existente na sala.

4.4.4. ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO

Retomando o quadro 4.3, neste ponto começa-se por definir os valores das letras *a*, *b* e *c* e da razão *A/V*.

Considerando que as salas ensaiadas apresentam as mesmas dimensões e características físicas (superfícies delimitadoras e mobiliário), tomou-se como referência o valor correspondente ao parâmetro $D_{nT,w5}$ do quadro 4.3, uma vez que nesta combinação ambas as salas apresentam, para além do mobiliário, o mesmo número de painéis perfilados utilizados para introduzir as variações da absorção sonora nas salas.

Dado que ambas as salas apresentam o mesmo volume optou-se por fazer uma avaliação do comportamento acústico da parede em função da variação da absorção sonora equivalente por unidade de volume (razão *A/V*). Por simplificação à razão *A/V* atribuiu-se a denominação absorção sonora volumétrica. Os valores *a*, *b* e *c*, correspondentes às percentagens de variação da absorção sonora volumétrica, foram calculados com base na absorção sonora equivalente calculada a partir dos valores de T (s) medidos nos ensaios 1 e 9, correspondentes a características acústicas iguais em ambas as salas.

O quadro 4.10 apresenta o cálculo dos valores de *a*, *b* e *c*.

Quadro 4.10 – Cálculo da variação da absorção volumétrica.

Absorção sonora								
Ensaio 1			Ensaio 5			Ensaio 9		
T (s)	A (m ²)	A/V (m ⁻¹)	T (s)	A (m ²)	A/V (m ⁻¹)	T (s)	A (m ²)	A/V (m ⁻¹)
2,00	12,93	0,08	1,91	13,56	0,08	1,63	15,92	0,10
2,64	9,82	0,06	2,16	12,02	0,07	1,42	18,20	0,11
2,30	11,27	0,07	2,30	11,28	0,07	2,32	11,18	0,07
1,99	13,06	0,08	1,88	13,76	0,08	1,84	14,06	0,09
3,10	8,36	0,05	2,69	9,64	0,06	2,44	10,61	0,07
2,65	9,77	0,06	2,29	11,34	0,07	2,15	12,08	0,07
2,21	11,74	0,07	1,95	13,29	0,08	1,92	13,49	0,08
1,97	13,14	0,08	1,69	15,38	0,09	1,47	17,69	0,11
2,12	12,20	0,08	1,66	15,58	0,10	1,53	16,91	0,10
2,58	10,04	0,06	1,89	13,70	0,08	1,65	15,72	0,10
2,22	11,68	0,07	1,68	15,44	0,10	1,49	17,42	0,11
2,16	12,03	0,07	1,60	16,23	0,10	1,28	20,28	0,13
2,08	12,44	0,08	1,55	16,71	0,10	1,17	22,22	0,14
1,94	13,35	0,08	1,47	17,58	0,11	1,16	22,31	0,14
1,94	13,38	0,08	1,48	17,46	0,11	1,16	22,26	0,14
2,01	12,92	0,08	1,53	16,95	0,10	1,17	22,22	0,14
1,98	13,12	0,08	1,47	17,62	0,11	1,14	22,69	0,14
1,65	15,68	0,10	1,29	20,17	0,12	1,03	25,25	0,16
1,51	17,15	0,11	1,21	21,51	0,13	1,00	25,92	0,16
1,37	18,86	0,12	1,12	23,25	0,14	0,94	27,65	0,17
1,21	21,45	0,13	0,99	26,23	0,16	0,85	30,64	0,19
Média		0,08	Média		0,10	Média		0,12
$\Delta A/V$ (%)	a = -20		b = 0			c = +20		

Definidos estes valores, no quadro 4.11 apresentam-se os valores de $D_{nt,w}$ obtidos para os nove ensaios de isolamento sonoro efetuados. No anexo A2 constam os respetivos relatórios de ensaio.

Quadro 4.11 – Índice de isolamento sonoro $D_{nT,w}$.

Recetor	Emissor		
	-20% A/V	0% A/V	+20% A/V
-20% A/V	41	40	39
0% A/V	41	40	38
+20% A/V	41	40	39

A figura 4.11 ilustra graficamente as curvas correspondentes aos valores D_{nT} calculados para cada ensaio, por frequência.

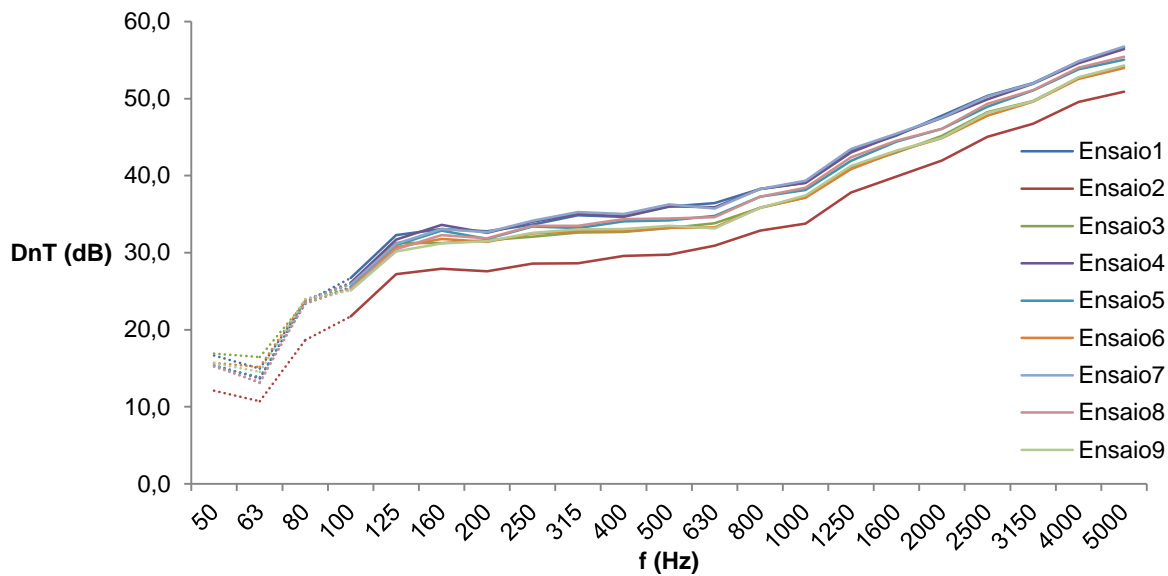


Fig. 4.11 – Curvas de isolamento sonoro entre salas.

4.4.4.1. SÍNTESE E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Efetuada uma análise global dos resultados presentes no quadro 4.11, e observando os valores em coluna verifica-se que para uma percentagem fixa da variação da absorção sonora volumétrica no compartimento emissor, à medida que aumenta a percentagem de absorção sonora volumétrica no compartimento recetor, o valor global do isolamento sonoro mantém-se constante. No entanto, observando os valores em linha verifica-se que para uma percentagem fixa de variação da absorção sonora volumétrica no compartimento recetor, à medida que aumenta a percentagem deste parâmetro no compartimento emissor, o valor global do isolamento sonoro diminui.

Para simplificar a análise dos resultados, representaram-se graficamente (figura 4.12) os valores do quadro 4.11.

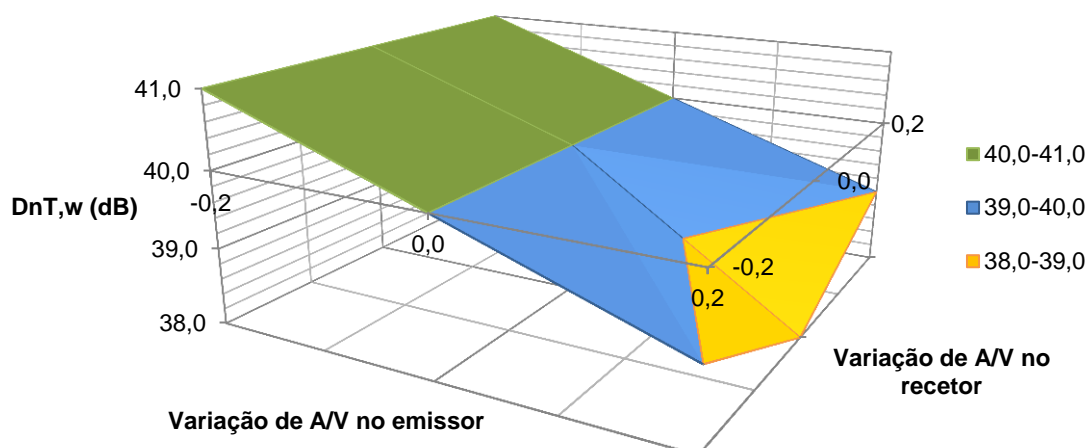


Fig. 4.12 – Isolamento sonoro em função da variação da absorção volumétrica.

Analisando o gráfico da figura 4.12 verifica-se que para uma variação de -20% da absorção volumétrica no compartimento emissor, e fazendo variar também este parâmetro num intervalo de [-20%, +20%] no compartimento receptor, o índice de isolamento sonoro da parede de separação dos dois compartimentos aumenta 1 dB face ao valor de referência. Por outro lado uma variação de +20% da absorção volumétrica no compartimento emissor provoca uma diminuição de 1 dB no compartimento receptor, quando neste ocorre uma variação de -20% e +20% da absorção volumétrica. Não fazendo variar a absorção volumétrica no compartimento receptor o índice de isolamento sonoro diminui 2 dB para uma variação de +20% no emissor.

Em termos globais, para uma variação da absorção volumétrica no emissor de -20% o índice de isolamento sonoro aumenta 1 dB e para uma variação de +20% o mesmo índice diminui em média 1 dB.

4.5. PROPOSTA DE CORREÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO

A avaliação do isolamento sonoro entre as duas salas em estudo indicou uma diferença nos valores de $D_{nT,w}$ medidos para uma variação da absorção sonora em cada um dos compartimentos. Esta análise remete para a questão apresentada no capítulo 1: podem variações de absorção sonora em compartimentos adjacentes ter influência no isolamento sonoro entre esses compartimentos?

Com base nos resultados obtidos para o caso em estudo, verifica-se que variações da absorção sonora equivalente de dois espaços contíguos têm influência no isolamento sonoro entre esses espaços. Esta afirmação constitui a resposta para a questão formulada.

De acordo com o modelo teórico de comportamento acústico de elementos simples apresentado no capítulo 2 no ponto 2.3.3.2, compreende-se que o isolamento sonoro da parede divisória em estudo é uma característica intrínseca desse elemento. Segundo o modelo teórico referido o comportamento acústico da parede depende da sua massa, da sua inércia e das suas características elásticas. Desta forma a redução sonora global conferida por este elemento de separação assume sempre o mesmo valor, desde que se mantenham as suas características físicas. No entanto pela figura 4.12 verifica-se que o índice de isolamento sonoro varia para uma variação das condições de absorção sonora dos compartimentos.

Neste sentido, o isolamento sonoro entre espaços, que além de ser condicionado pela parede de separação (constante), é também condicionado pela transmissão marginal pela parede e teto envolventes, é influenciado pelas condições de reverberação no local recetor e emissor.

As atuais normas já preveem a correção da influência do local recetor para um tempo de reverberação padronizado para $T_0 = 0,5s$, ou para uma absorção sonora equivalente, normalizada para 10 m^2 . Contudo, verifica-se pelos resultados obtidos que, quando há o envolvimento de transmissões marginais, a excitação do campo sonoro emissor influencia o isolamento entre espaços, e as equações normalizadas não preveem uma correção para as condições do local emissor.

Desta forma, e sabendo que o índice de isolamento sonoro no caso em estudo deveria assumir sempre o valor de 40 dB, apresenta-se uma proposta de correção para o valor de $D_{nT,w}$. Efetuando a correção proposta sobre os valores do quadro 4.11, o índice de isolamento sonoro em função da variação da absorção sonora volumétrica deve assumir uma tendência constante como representado na figura 4.13.

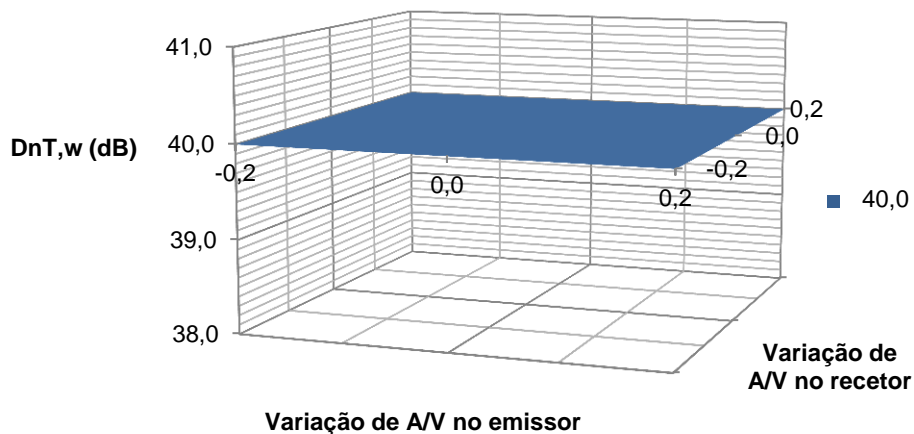


Fig. 4.13 – Índice de Isolamento sonoro previsto.

O gráfico da figura 4.13 mostra apenas, como se pretende, uma uniformidade dos resultados, e por isso não se obtém o mesmo no caso de se representar a correção das condições de reverberação do local emissor.

4.5.1. FATOR DE CORREÇÃO k

A determinação do fator corretivo k foi efetuada de modo a que os valores de $D_{nT,w}$ do quadro 4.11, correspondentes a uma variação da absorção sonora volumétrica no compartimento emissor de -20% e +20%, assumissem o valor de 40 dB (valor de referência considerado), e consequentemente o índice de isolamento sonoro em função da variação da absorção volumétrica assumisse a tendência do gráfico da figura 4.13.

Assim, conforme exposto no quadro 4.12, para uma variação da absorção volumétrica de -20% deve ser adicionado ao valor $D_{nT,w} = 41\text{dB}$ um valor de $k = -1$, e para uma variação de +20% deve ser adicionado ao valor médio $D_{nT,w} = 39 \text{ dB}$ um valor de $k = +1$. Ao valor $D_{nT,w} = 40 \text{ dB}$ corresponderá um valor de $k = 0$.

Quadro 4.12 – Fator de correção k .

Varição da absorção volumétrica (%)	Varição da absorção volumétrica (m^{-1})	Fator corretivo k
-20	0,08	-1
0	0,10	0
+20	0,12	+1

A representação gráfica dos valores do quadro anterior corresponde a uma reta (figura 4.14), cuja equação é facilmente determinada, uma vez que são conhecidos três dos seus pontos.

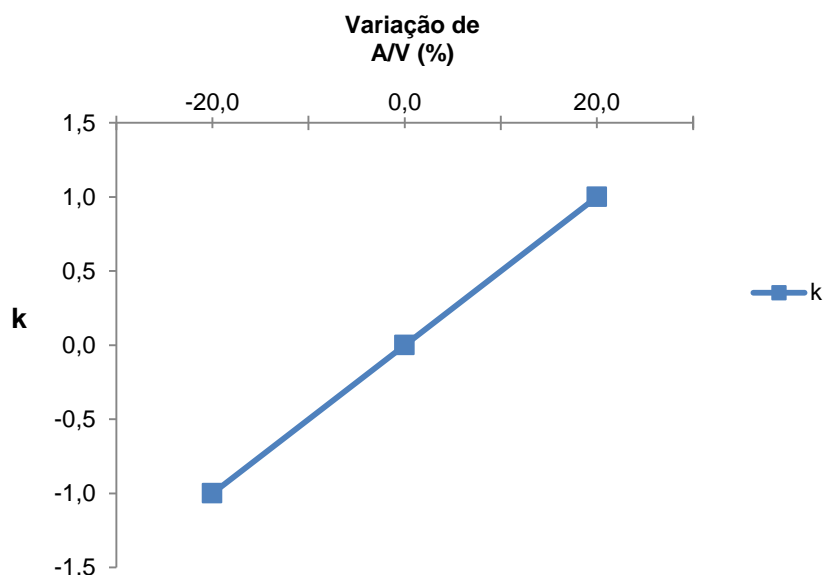


Fig. 4.14 – Fator corretivo k em função da absorção volumétrica.

A equação da reta pode então ser escrita pela seguinte expressão:

$$k = \frac{x}{20} \quad (4.1)$$

Onde,

k – Fator de correção;

x – Variação da absorção sonora volumétrica (%).

Segundo os valores do quadro 4.10 a variação da absorção sonora volumétrica pode ser definida pela seguinte expressão:

$$\left[\frac{\frac{A}{V}}{0,10} \right] \times 100 (\%) \quad (4.2)$$

Sendo,

A – Absorção sonora equivalente (m^2);

V – Volume do compartimento recetor (m^3).

Substituindo a expressão 4.2 na equação 4.1 fica:

$$k = 50 \frac{A}{V} \quad (4.3)$$

Considerando as seguintes condições do quadro 4.12:

$$A/V = 0,08 \Rightarrow k = -1;$$

$$A/V = 0,10 \Rightarrow k = 0;$$

$$A/V = 0,12 \Rightarrow k = 1.$$

O fator de correção k fica definido pela seguinte expressão:

$$k = 50 \frac{A}{V} - 5 \quad (4.4)$$

Com base no quadro 4.10 é ainda possível definir a percentagem de variação da absorção volumétrica em função da razão entre a área de absorção sonora equivalente e o volume do compartimento recetor, segundo a seguinte expressão:

$$\Delta A/V = \left[\frac{\frac{A}{V} - 0,10}{0,10} \right] \times 100 (\%) \quad (4.5)$$

Simplificando fica:

$$\Delta A/V = \frac{100A - 10V}{0,10V} (\%) \quad (4.6)$$

Assim para uma determinada percentagem de variação da absorção sonora volumétrica pela equação 4.5 ou 4.6 determina-se a razão A/V . Substituindo este valor na equação 4.4 determina-se o fator de correção k .

Dado que a excitação do campo sonoro emissor influencia o valor de $D_{nT,w}$, o fator de correção k deve ser aplicado sobre o valor global do índice de isolamento sonoro.

Assim, a expressão de correção proposta assume a seguinte expressão geral:

$$D_{nT,w,k} = D_{nT,w} + k \quad (4.7)$$

5

CONCLUSÃO

5.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Perante a problemática exposta neste trabalho efetuou-se uma análise de sensibilidade à influência da variação da absorção sonora no isolamento sonoro entre espaços. A partir desta análise pretendia-se dar resposta às questões formuladas inicialmente neste estudo:

- O aumento ou diminuição da absorção sonora nos compartimentos emissor e recetor tem influência no índice de redução sonora (R_w) da parede divisória?
- O índice de isolamento sonoro ($D_{nT,w}$) entre espaços é afetado pela alteração das características do campo sonoro?

A partir da análise dos resultados obtidos comprova-se que de facto variações nas características de absorção sonora de dois compartimentos contíguos influenciam o comportamento acústico da parede de separação entre esses compartimentos.

O estudo efetuado implicou a realização de ensaios experimentais em laboratório e *in situ*.

Dos resultados obtidos em laboratório, correspondentes aos ensaios de isolamento sonoro (sem transmissões marginais), não se comprovou uma influência significativa das variações das condições de absorção sonora das câmaras reverberantes sobre a parede de separação entre ambas, dado que, em sete dos nove ensaios realizados o valor do índice de redução sonora apresentou sempre o mesmo valor. No entanto, no que respeita aos ensaios de medição do tempo de reverberação da câmara recetora as diferenças significativas verificadas entre os valores de T (s) medidos e os valores de T (s) calculados por meio das equações teóricas de Sabine e Arau-Puchades levantaram questões sobre o cálculo da absorção sonora equivalente pelas referidas expressões. Segundo a normalização atualmente em vigor, para efeitos de cálculo do isolamento sonoro de elementos, a área de absorção sonora equivalente do compartimento recetor pode ser obtida pela expressão de Sabine, a partir dos valores de T (s) medidos. Contudo, dadas as diferenças verificadas e referidas anteriormente, do cálculo da absorção sonora equivalente pela expressão de Sabine provavelmente resultarão valores significativamente diferentes dos valores da absorção sonora equivalente efetivamente presente no compartimento recetor.

A partir da análise dos resultados laboratoriais efetuaram-se ensaios *in situ* com o propósito de averiguar se, para ambientes com elementos e superfícies heterogéneos sob o ponto de vista acústico, cuja determinação da área de absorção sonora equivalente não tem a mesma exatidão que a obtida em

laboratório, e considerando transmissões marginais o isolamento sonoro entre dois espaços é afetado pela variação das características de absorção sonora desses espaços.

Dos resultados obtidos para o estudo de caso real confirma-se a problemática preconizada neste trabalho. No fenômeno de transmissão sonora entre espaços incluindo transmissões marginais, as condições do campo sonoro do local emissor têm influência no isolamento sonoro entre espaços.

Pelos resultados obtidos, para o caso em estudo, verificou-se que variações de absorção sonora de -20% e +20% no compartimento emissor provocam um aumento e uma diminuição, respectivamente no índice de isolamento sonoro.

Sabendo que o isolamento sonoro é uma característica intrínseca de um elemento, o índice de isolamento sonoro deve assumir sempre o mesmo valor. Dado que as equações normalizadas para o cálculo do isolamento sonoro não têm em conta as condições do campo sonoro emissor, propõe-se a expressão 4.7 para a determinação do valor $D_{nT,w}$, em que o nível de pressão sonora estabelecido no local emissor é definido em função de um fator de correção k .

5.2. PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Após realização deste trabalho considera-se fundamental a realização de ensaios de isolamento sonoro, como forma de validar os resultados obtidos da análise da problemática em estudo. Para isso sugere-se a realização de um conjunto de medições de acordo com a normalização e o princípio de funcionamento das experimentações efetuadas no presente estudo, em compartimentos contínuos de diferentes utilizações (por exemplo quartos de habitação, quartos de hotel, escritórios, etc).

Seria ainda interessante efetuar as medições fazendo variar a absorção sonora equivalente através da utilização de materiais com diferentes coeficientes de absorção sonora, uns mais absorventes nas baixas frequências e outros nas altas. Considera-se ainda importante, para além de fazer variar a absorção sonora, fazer variar também o volume dos espaços e a espessura da parede divisória.

Ao longo do desenvolvimento deste estudo e da interpretação dos resultados entendeu-se relevante a análise de um conjunto de problemáticas expostas de seguida neste capítulo.

5.2.1. PROBLEMÁTICA 1 – ANÁLISE POR FREQUÊNCIA

Neste estudo efetuou-se a análise para valores globais de $D_{nT,w}$. Sugere-se para investigações futuras uma análise por frequência dos valores D_{nT} e dos valores de L_1 , de modo a perceber o comportamento da parede para baixas, médias e altas frequências.

Para isso a análise deve ser efetuada para valores de D_{nT} ou L_1 (nível de pressão sonora no compartimento emissor), por frequência, em função da variação da absorção sonora. Em cada ensaio realizado deve ser analisado, para cada frequência, um gráfico com valores de D_{nT} ou L_1 em função da variação da absorção sonora. Apresenta-se como exemplo os gráficos das figuras 5.1 e 5.2, correspondentes à frequência dos 500 Hz. Em cada um dos nove ensaios obteve-se o valor de D_{nT} e L_1 para a frequência dos 500Hz e apresentaram-se estes valores em função das variações de absorção sonora (figuras 5.1 e 5.2, respetivamente). A partir de cada um dos gráficos obtidos avalia-se a influência da variação da absorção sonora nos valores D_{nT} ou L_1 , ambos calculados igualmente por frequência.

Deve-se ter em conta que os valores de D_{nT} e L_1 se relacionam pela expressão 2.16 e por isso, analisando apenas os valores referentes a um destes parâmetros facilmente se obtêm os valores do outro.

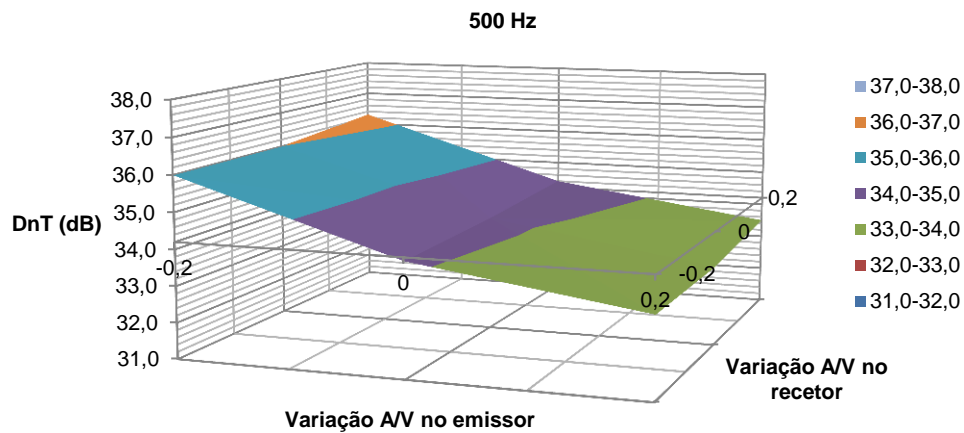


Fig. 5.1 – Índice de isolamento sonoro D_{nT} em função da variação da absorção sonora volumétrica para a frequência dos 500 Hz.

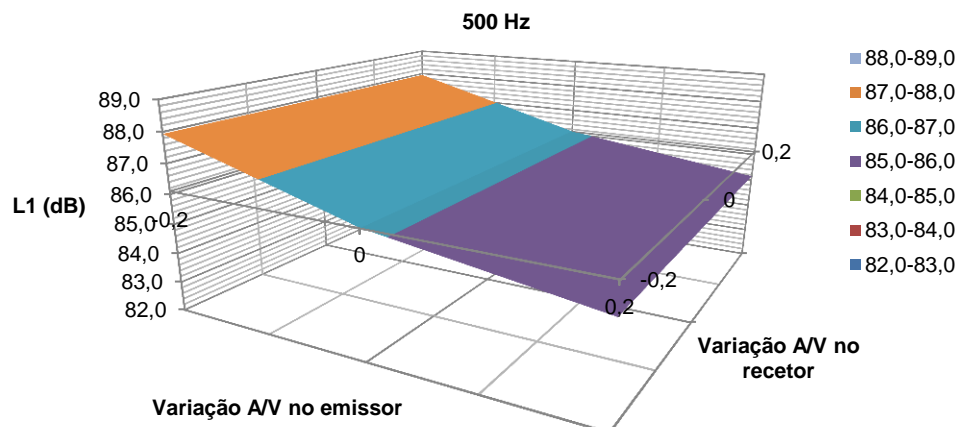


Fig. 5.2 – Nível de pressão sonora L_1 em função da variação da absorção sonora volumétrica para a frequência dos 500 Hz.

5.2.2. PROBLEMÁTICA 2 – CORREÇÃO NO COMPARTIMENTO EMISSOR

Neste trabalho foi proposta uma correção para valores globais de $D_{nT,w}$. No entanto pretendia-se a determinação de um fator corretivo a aplicar sobre o nível de pressão sonora medido no compartimento recetor, uma vez que, pelos resultados obtidos verificou-se que para uma dada percentagem de variação da absorção sonora volumétrica no compartimento recetor, variações deste parâmetro no compartimento emissor de -20% e +20% provocam o aumento e a diminuição, respetivamente do isolamento sonoro da parede. Percebe-se que as variações de absorção sonora no

compartimento emissor influenciam o comportamento acústico da parede e, por esta razão seria mais correto que a correção se efetuasse no compartimento emissor.

Tal como a normalização em vigor prevê a correção do isolamento sonoro para o tempo de reverberação no compartimento recetor, padronizado para $T_0 = 0,5s$, ou para a absorção sonora equivalente, normalizada para 10 m^2 , sugere-se também a determinação de uma correção para o compartimento emissor, considerando os mesmos parâmetros.

Por outro lado, tendo em conta a expressão do índice de isolamento sonoro (equação 2.16) propõe-se também o desenvolvimento de um fator de correção a ser aplicado sobre o valor do nível de pressão sonora medido no compartimento emissor.

A partir da análise por frequência, como proposto na problemática 1, fica facilitada a determinação de um fator de correção para os valores do nível de pressão sonora no compartimento emissor.

5.2.3. PROBLEMÁTICA 3 – COMPORTAMENTO DO FATOR DE CORREÇÃO k EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO VOLUMÉTRICA

O comportamento do fator corretivo k em função da variação da absorção sonora volumétrica não tem uma variação linear, como pode parecer a partir da interpretação da figura 4.14. Neste estudo a avaliação efetuou-se para uma variação da absorção sonora volumétrica no intervalo $[-20\%, +20\%]$. No entanto desconhece-se o comportamento acústico da parede para variações superiores. Pela expressão 2.16 verifica-se que o valor D_{nT} está relacionado com o tempo de reverberação a partir de uma função logarítmica, e por isso, sendo o parâmetro k o fator corretivo determinado para os valores de $D_{nT,w}$, que por sua vez resultam de um ajuste normalizado a partir dos valores de D_{nT} , percebe-se que o comportamento de k em função da variação da absorção volumétrica não se processa de forma linear, mas sim próximo da forma logarítmica.

Sugere-se assim em investigações futuras a determinação do desenvolvimento da curva correspondente ao comportamento do fator de correção k , em função da variação da absorção sonora, que provavelmente terá uma configuração semelhante ao gráfico da figura 5.3.

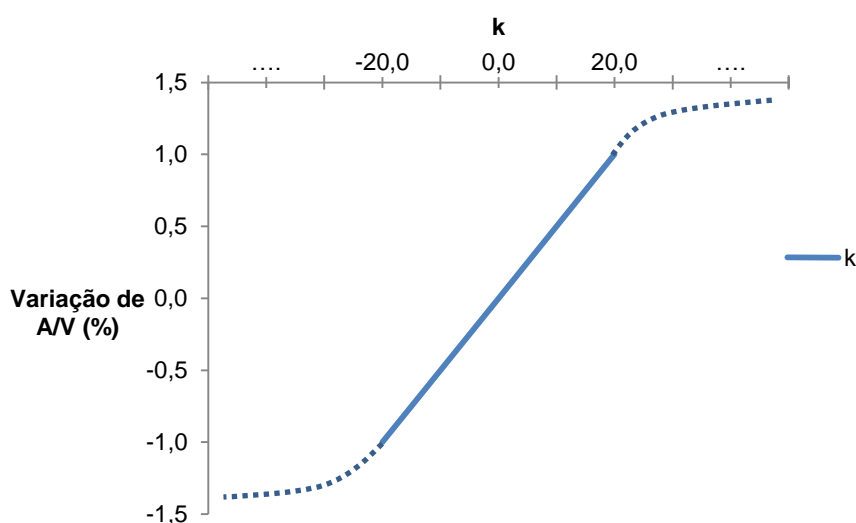


Fig. 5.3 – Comportamento do fator corretivo k .

5.2.4. PROBLEMÁTICA 4 – INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO SONORA NO CAMPO SONORO

Neste estudo considerou-se a análise do isolamento sonoro em função da variação da absorção sonora volumétrica (A/V). Como proposta de desenvolvimento futuro sugere-se a análise do isolamento sonoro em função de um parâmetro acústico R relacionado com o campo reverberado gerado num compartimento, quando excitado por uma fonte sonora, e que é função da absorção sonora existente nesse compartimento. Este parâmetro R define-se pelo quociente $A/(1 - \alpha_{\text{médio}})$ e o que se propõe é análise de um gráfico que relacione os valores de D_{nT} , $D_{nT,w}$ ou L_1 em função da variação de $A/(1 - \alpha_{\text{médio}})$.

Ainda no âmbito desta problemática propõe-se em investigações futuras a análise do comportamento acústico de paredes divisórias face à influência do campo direto gerado num compartimento, que por sua vez se relaciona com a posição da fonte sonora no compartimento emissor. Seria também interessante investigar a influência no isolamento sonoro da distância entre as posições dos pontos de medição do nível sonoro, em ambos os compartimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei nº 129/2002 de 11/05, com a nova redação dada pelo Decreto-Lei nº 96/2008 de 09/06.
- [2] Pereira, Ricardo N. (2010), *Caracterização Acústica de Salas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- [3] <https://osha.europa.eu/pt/>, Setembro de 2013.
- [4] Leite Andrade, Jacinta da Conceição (2012), *Caracterização Experimental da Influência de Caixilhos de Alumínio no Isolamento Sonoro de Janelas*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [5] Barron, F. Randall, *Industrial Noise Control and Acoustics*, Technical University of Louisiana, 2003.
- [6] Bies, David A.; Hansen, Colin H. - *Engineering noise control: theory and practice*. 3ª Edição. London: Spon Press, 2003.
- [7] Puga Martins, João T. (2008), *Acústica de Edifícios - Validação Experimental do Cálculo Experimental de Transmissões Marginais a Sons Aéreos em Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [8] Martins, G. (2008), *Caracterização Acústica de Materiais Fonoabsorventes á base de Filmes de Polímero Monocomponentes sobre Lã Mineral Fibrada*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [9] *Lei de Bases do Ambiente*, nº 11/87 de 7 de Abril. - 1987.
- [10] *Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro* – Diário da República, I Série-A Nº 12. 2007.
- [11] *Regulamento Geral sobre o Ruído, Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro*. - Diário da República – 1ª Série-A Nº263. 2000.
- [12] *Decreto-Lei n.º 259/2002 de 14 de Setembro* - Diário da República – I Série-A Nº 271. 2002.
- [13] *Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho* - Diário da República – 1ª Série Nº 146. 2006.
- [14] *Decreto-Lei n.º 128/2002 de 11 de Maio* – Diário da República – I Série-A Nº109.2002.
- [15] *Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho*. - Diário da República – 1ª Série Nº 110. 2008.
- [16] Carvalho, A. P. Oliveira, *Acústica Ambiental e de Edifícios*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Edição 8.3, Porto, 2012.
- [17] Everest, F. Alton - *The Master Handbook of Acoustics*. 5ª Edição. New York: McGraw-Hill, 2009.
- [18] EN ISO 3382-2: 2011 – *Acústica – Medição de parâmetros de acústica de salas – Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes*.
- [19] Diogo Mateus, André Marinho, Andreia Pereira – *Aplicabilidade da fórmula de Sabine a espaços com elevada absorção sonora: Proposta de prévia correção de coeficientes de absorção*. VIII Congresso Ibero-americano de Acústica, 1-3 Outubro, Évora, Portugal.

- [20] Carolina Reich Marcon Passero, Paulo Henrique Trombetta Zannin - *Statistical comparison of reverberation times measured by the integrated impulse response and interrupted noise methods, computationally simulated with ODEON software, and calculated by Sabine, Eyring and Arau-Puchades' formulas*. Laboratory of Environmental and Industrial Acoustics and Acoustic Comfort – LAAICA, Federal University of Paraná, Centro Politécnico s/n, 81540-420 Curitiba, PR, Brazil. Elsevier Ltd, 2010.
- [21] Neubauer R, Kostek B. - *Prediction of the reverberation time in rectangular rooms with non-uniformly distributed sound absorption*. *Archiv Acoust* 2001; 26:183–201.
- [22] Ducourneau J, Planeau V. - *The average absorption coefficient for enclosed spaces with non-uniformly distributed absorption*. *Appl Acoust* 2003; 64:845–62.
- [23] Kleiner, Mendel - *Worship Space Acoustics*. J. Ross Publishing Inc.: Ft. Lauderdale, FL, USA, 2010.
- [24] Patrício, J. *Acústica nos Edifícios*. Verlag Dashöfer, Lisboa, 2008, 5ª Edição.
- [25] Smith, B., Peters, R., & Owen, S. (1996) - *Acoustics and Noise Control*. England: Addison Wesley Longman.
- [26] Rocha Pinto, António Xavier Gonçalves Frazão (2011) - *Programa de cálculo automático para implementação das normas EN 12354 na verificação do RGR em edifícios*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- [27] EN 717-1:2009 – *Acústica – Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção – Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea*.
- [28] ISO 354:2003 - *Acoustics -- Measurement of sound absorption in a reverberation room*.
- [29] ISO 10140-5:2010 - *Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 5: Requirements for test facilities and equipment*.
- [30] ISO 10140-1:2010 - *Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 1: Application rules for specific products*.
- [31] ISO 10140-2:2010 - *Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 2: Measurement of airborne sound insulation*. [29] ISO 10140-4:2010 - *Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 4: Measurement procedures and requirements*.
- [32] ISO 10140-4:2010 - *Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 4: Measurement procedures and requirements*.
- [33] <http://sacura.chez.com>, Novembro de 2013.
- [34] <http://www.acousticalsurfaces.com>, Novembro de 2013.
- [35] Núcleos de Investigação & Desenvolvimento em Engenharia Acústica – FEUP, Janeiro de 2011.
- [36] <http://www.flex2000.pt/>, Novembro de 2013.
- [37] <http://sigarra.up.pt/feup/pt>, Dezembro de 2013.
- [38] EN ISO 10140-14: 2012 – *Acústica – Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção – Parte 14: Linhas de orientação para situações específicas de medições in situ*.

A1

RELATÓRIOS DE ENSAIO – ENSAIOS LABORATORIAIS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS AÉREOS - R_w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma amostra de parede de alvenaria rebocada com 10 cm de espessura.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 10 m²

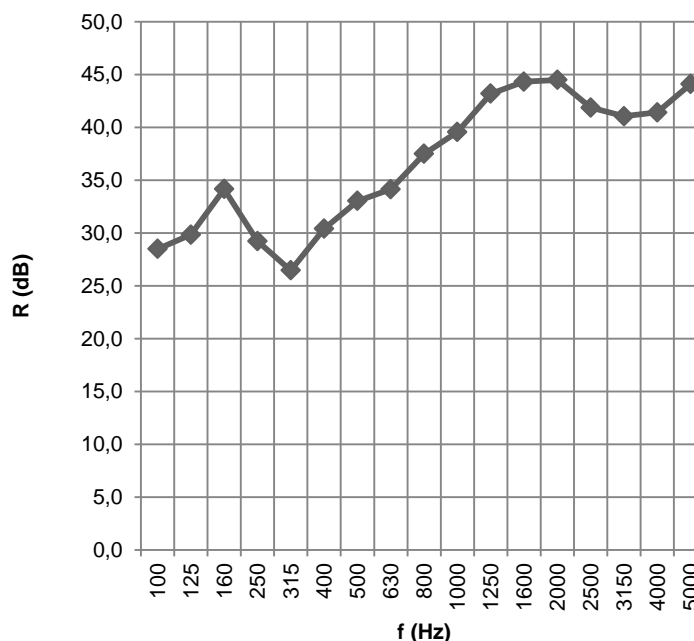
CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

Comprimento médio (m):	5,84	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	4,65	Humidade do ar (%):	50
Largura média (m):	7,27	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	211		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Hgrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA - R_w

f (Hz)	R (dB)
100	28,5
125	29,8
160	34,2
250	29,2
315	26,5
400	30,4
500	33,0
630	34,2
800	37,5
1000	39,6
1250	43,2
1600	44,3
2000	44,5
2500	41,9
3150	41,1
4000	41,4
5000	44,1



R_w (C; Ctr) = 38 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

01/09

DATA DE ENSAIO:

14-10-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS AÉREOS - R_w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma amostra de parede de alvenaria rebocada com 10 cm de espessura.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 10 m²

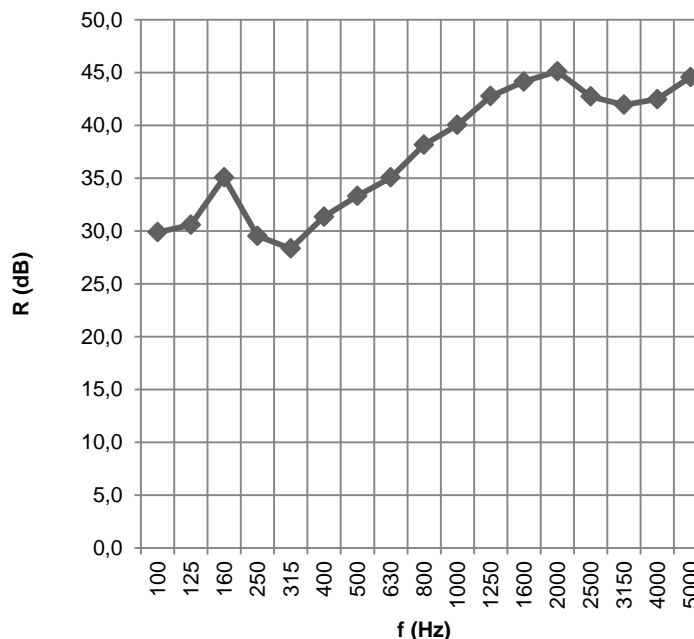
CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

Comprimento médio (m):	5,84	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	4,65	Humidade do ar (%):	50
Largura média (m):	7,27	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	211		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Higrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA - R_w

f (Hz)	R (dB)
100	29,9
125	30,6
160	35,1
250	29,5
315	28,3
400	31,4
500	33,3
630	35,1
800	38,2
1000	40,0
1250	42,8
1600	44,1
2000	45,1
2500	42,7
3150	41,9
4000	42,5
5000	44,6



R_w (C; Ctr) = 38 (0;-2)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

02/09

DATA DE ENSAIO:

14-10-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS AÉREOS - R_w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma amostra de parede de alvenaria rebocada com 10 cm de espessura.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 10 m²

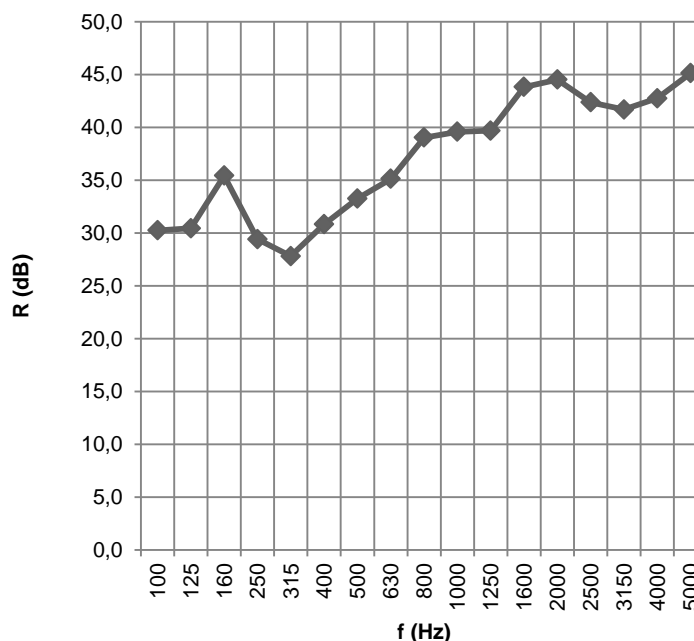
CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

Comprimento médio (m):	5,84	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	4,65	Humidade do ar (%):	50
Largura média (m):	7,27	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	211		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Hgrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA - R_w

f (Hz)	R (dB)
100	30,2
125	30,5
160	35,4
250	29,4
315	27,8
400	30,8
500	33,3
630	35,1
800	39,1
1000	39,6
1250	39,7
1600	43,8
2000	44,5
2500	42,4
3150	41,7
4000	42,8
5000	45,1



R_w (C; Ctr) = 38 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

03/09

DATA DE ENSAIO:

14-10-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS AÉREOS - R_w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma amostra de parede de alvenaria rebocada com 10 cm de espessura.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 10 m²

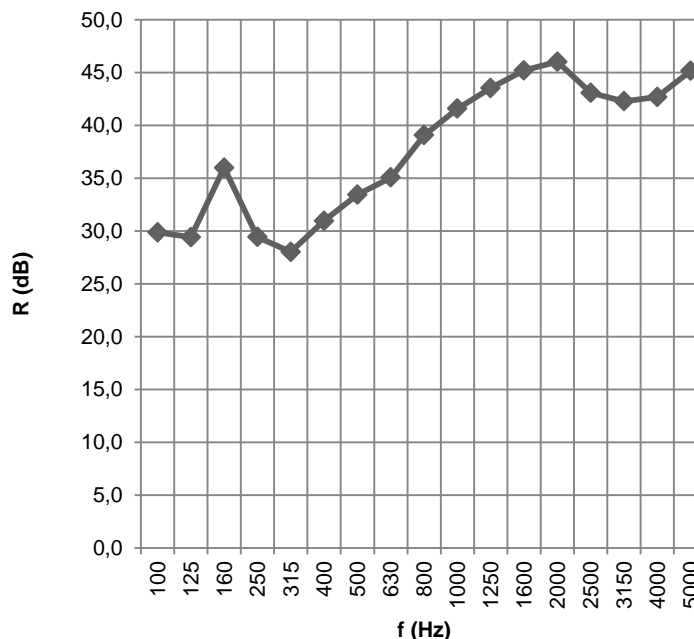
CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

Comprimento médio (m):	5,84	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	4,65	Humidade do ar (%):	50
Largura média (m):	7,27	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	211		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Hgrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA - R_w

f (Hz)	R (dB)
100	29,9
125	29,4
160	36,0
250	29,4
315	28,0
400	31,0
500	33,4
630	35,1
800	39,1
1000	41,6
1250	43,5
1600	45,2
2000	46,0
2500	43,1
3150	42,3
4000	42,7
5000	45,2



R_w (C; Ctr) = 39 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

04/09

DATA DE ENSAIO:

15-10-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS AÉREOS - R_w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma amostra de parede de alvenaria rebocada com 10 cm de espessura.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 10 m²

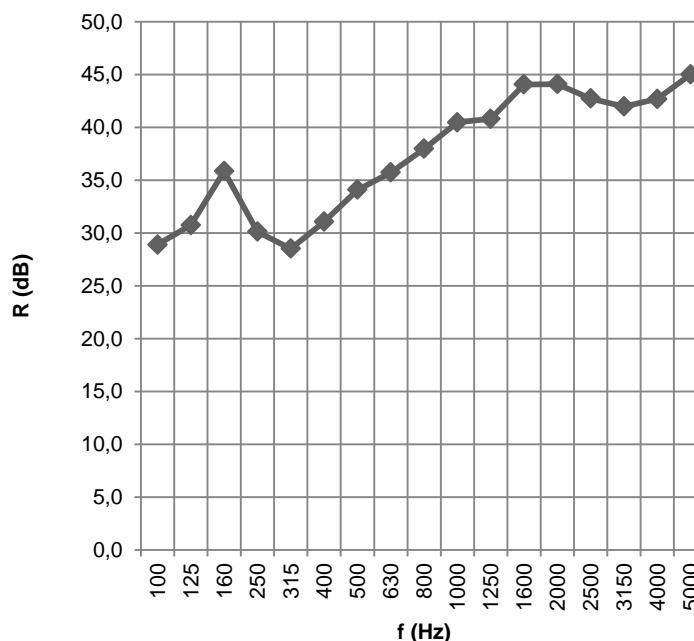
CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

Comprimento médio (m):	5,84	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	4,65	Humidade do ar (%):	50
Largura média (m):	7,27	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	211		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Hgrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA - R_w

f (Hz)	R (dB)
100	28,9
125	30,8
160	35,9
250	30,1
315	28,5
400	31,1
500	34,1
630	35,7
800	38,0
1000	40,5
1250	40,8
1600	44,1
2000	44,1
2500	42,7
3150	42,0
4000	42,7
5000	45,0



R_w (C; Ctr) = 38 (0;-2)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

05/06

DATA DE ENSAIO:

15-10-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS AÉREOS - R_w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma amostra de parede de alvenaria rebocada com 10 cm de espessura.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 10 m²

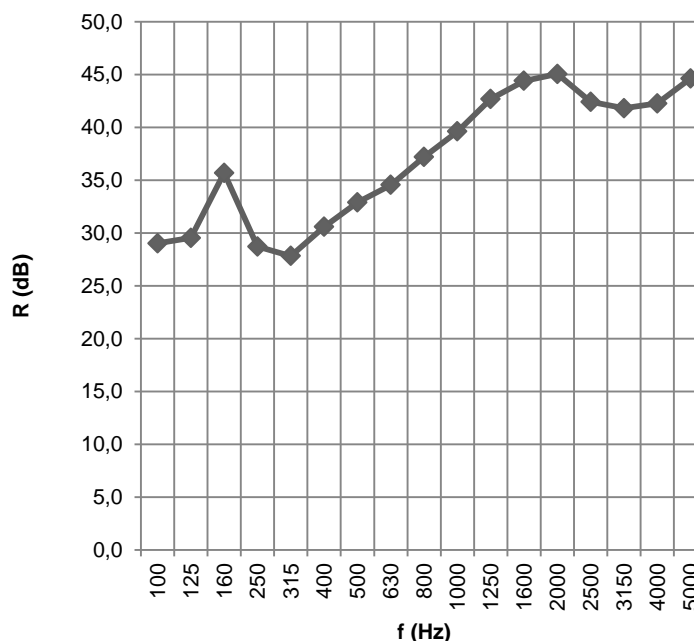
CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

Comprimento médio (m):	5,84	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	4,65	Humidade do ar (%):	50
Largura média (m):	7,27	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	211		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Higrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA - R_w

f (Hz)	R (dB)
100	29,0
125	29,5
160	35,7
250	28,7
315	27,8
400	30,6
500	32,9
630	34,6
800	37,2
1000	39,6
1250	42,7
1600	44,4
2000	45,1
2500	42,4
3150	41,8
4000	42,3
5000	44,6



R_w (C; Ctr) = 38 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

06/09

DATA DE ENSAIO:

15-10-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS AÉREOS - R_w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma amostra de parede de alvenaria rebocada com 10 cm de espessura.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 10 m²

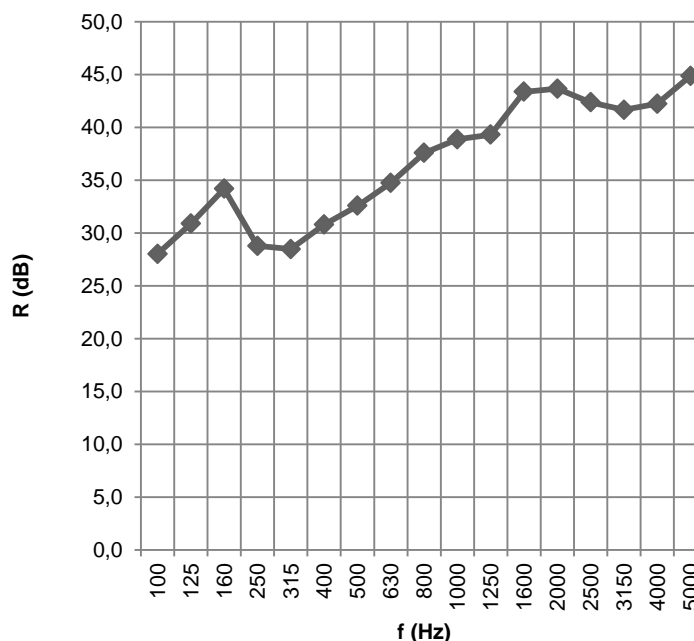
CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

Comprimento médio (m):	5,84	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	4,65	Humidade do ar (%):	50
Largura média (m):	7,27	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	211		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Hgrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA - R_w

f (Hz)	R (dB)
100	28,0
125	30,9
160	34,2
250	28,8
315	28,5
400	30,8
500	32,6
630	34,8
800	37,6
1000	38,9
1250	39,3
1600	43,4
2000	43,7
2500	42,4
3150	41,7
4000	42,2
5000	44,9



R_w (C; Ctr) = 38 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

07/09

DATA DE ENSAIO:

16-10-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS AÉREOS - R_w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma amostra de parede de alvenaria rebocada com 10 cm de espessura.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 10 m²

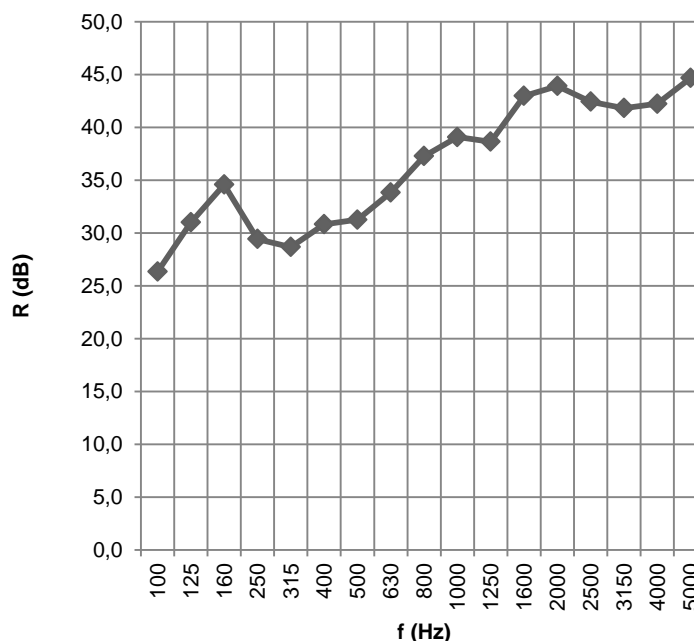
CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

Comprimento médio (m):	5,84	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	4,65	Humidade do ar (%):	50
Largura média (m):	7,27	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	211		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Hgrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA - R_w

f (Hz)	R (dB)
100	26,3
125	31,0
160	34,6
250	29,4
315	28,7
400	30,8
500	31,3
630	33,8
800	37,3
1000	39,1
1250	38,6
1600	43,0
2000	43,9
2500	42,4
3150	41,8
4000	42,2
5000	44,7



R_w (C; Ctr) = 37 (0;-2)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

08/09

DATA DE ENSAIO:

16-10-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS AÉREOS - R_w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma amostra de parede de alvenaria rebocada com 10 cm de espessura.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 10 m²

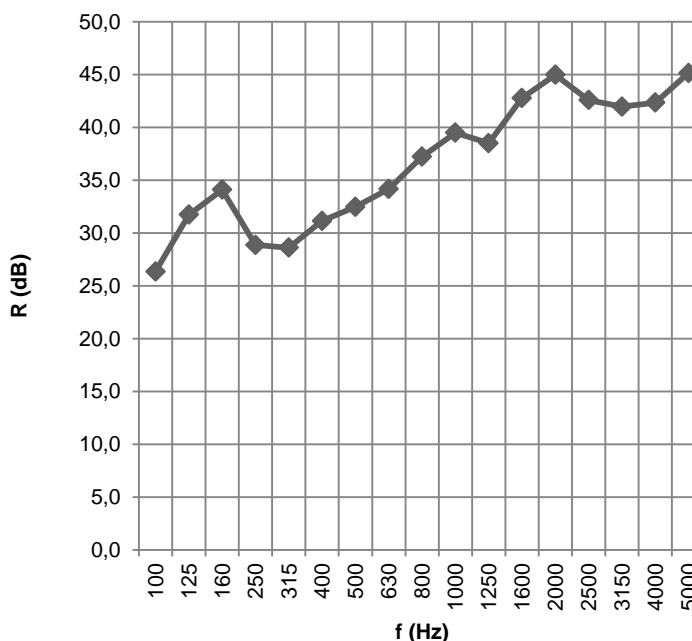
CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

Comprimento médio (m):	5,84	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	4,65	Humidade do ar (%):	50
Largura média (m):	7,27	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	211		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Hgrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA - R_w

f (Hz)	R (dB)
100	26,4
125	31,7
160	34,1
250	28,9
315	28,6
400	31,1
500	32,5
630	34,2
800	37,2
1000	39,5
1250	38,5
1600	42,8
2000	45,0
2500	42,6
3150	42,0
4000	42,4
5000	45,2



R_w (C; Ctr) = 38 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO: 09/09

DATA DE ENSAIO: 16-10-2013

A2

RELATÓRIOS DE ENSAIO – ENSAIOS *IN SITU*

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS - DnT,w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada e estucada.

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma parede de alvenaria rebocada e estanhada.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 18,84 m²

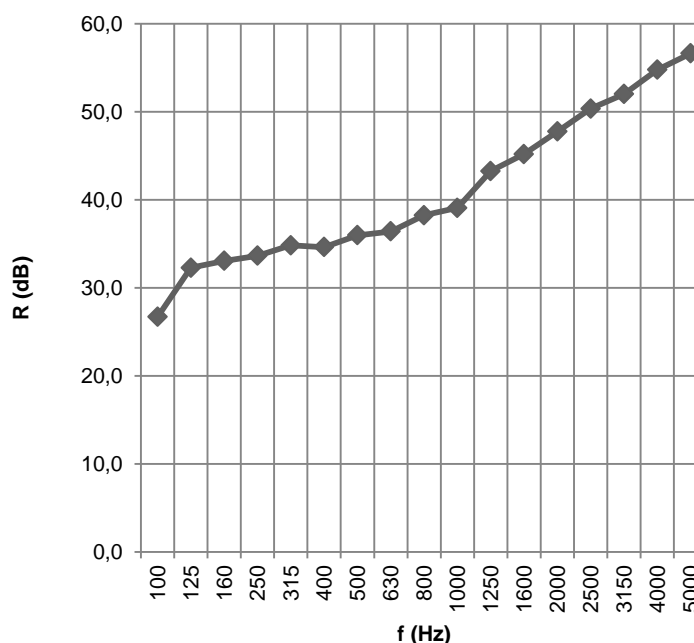
CARACTERÍSTICAS DA SALA DE ENSAIO

Comprimento (m):	8,6	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	2,73	Humidade do ar (%):	50
Largura (m):	6,9	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	162		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Hgrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO - DnT,w

f (Hz)	R (dB)
100	26,7
125	32,3
160	33,1
250	33,6
315	34,8
400	34,6
500	36,0
630	36,4
800	38,3
1000	39,1
1250	43,3
1600	45,2
2000	47,8
2500	50,4
3150	52,0
4000	54,8
5000	56,6



DnT,w (C; Ctr) = 41 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

1/9

DATA DE ENSAIO:

18-11-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS - DnT,w - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada e estucada.

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma parede de alvenaria rebocada e estanhada.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 18,84 m²

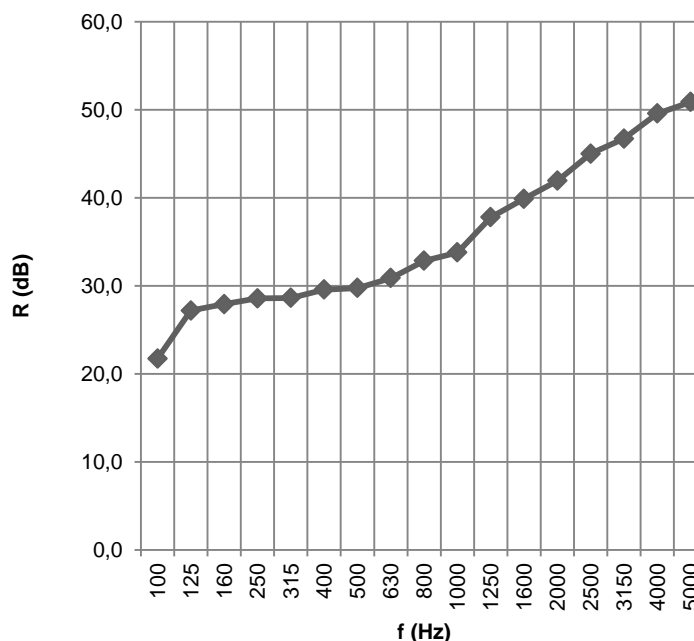
CARACTERÍSTICAS DA SALA DE ENSAIO

Comprimento (m):	8,6	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	2,73	Humidade do ar (%):	50
Largura (m):	6,9	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	162		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Hgrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO - DnT,w

f (Hz)	R (dB)
100	21,7
125	27,2
160	27,9
250	28,6
315	28,6
400	29,6
500	29,8
630	30,9
800	32,9
1000	33,8
1250	37,8
1600	39,9
2000	41,9
2500	45,0
3150	46,7
4000	49,6
5000	50,9



DnT,w (C; Ctr) = 40 (0;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

2/9

DATA DE ENSAIO:

18-11-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS - $D_{nT,w}$ - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada e estucada.

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma parede de alvenaria rebocada e estanhada.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 18,84 m²

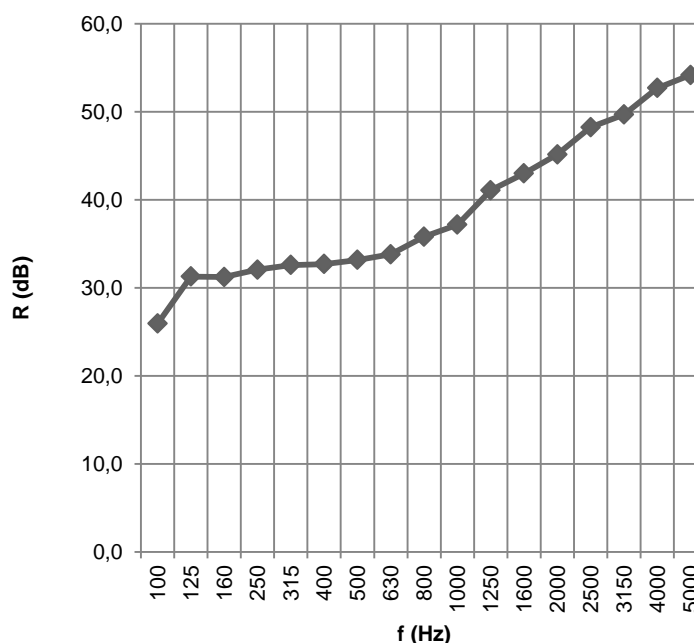
CARACTERÍSTICAS DA SALA DE ENSAIO

Comprimento (m):	8,6	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	2,73	Humidade do ar (%):	50
Largura (m):	6,9	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	162		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Higrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO - $D_{nT,w}$

f (Hz)	R (dB)
100	25,9
125	31,3
160	31,2
250	32,1
315	32,6
400	32,7
500	33,2
630	33,8
800	35,8
1000	37,2
1250	41,1
1600	43,0
2000	45,2
2500	48,2
3150	49,7
4000	52,7
5000	54,2



$D_{nT,w}$ (C; Ctr) = 39 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

3/9

DATA DE ENSAIO:

18-11-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS - $D_{nT,w}$ - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada e estucada.

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma parede de alvenaria rebocada e estanhada.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 18,84 m²

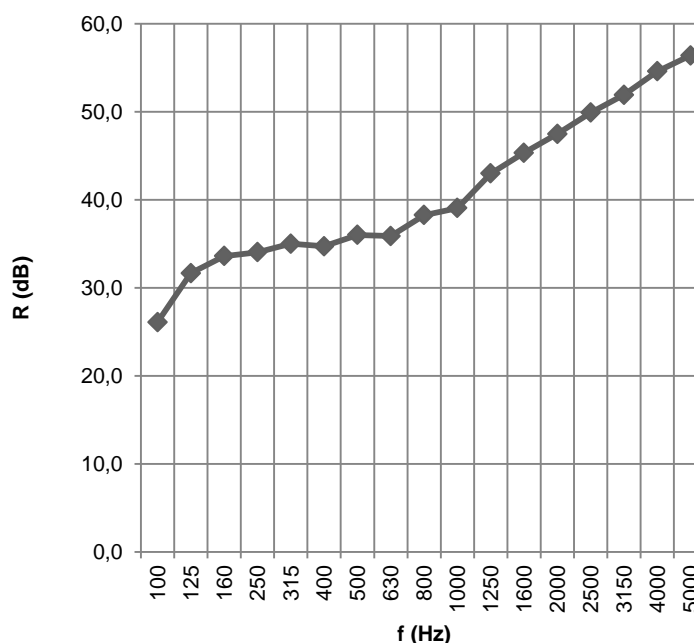
CARACTERÍSTICAS DA SALA DE ENSAIO

Comprimento (m):	8,6	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	2,73	Humidade do ar (%):	50
Largura (m):	6,9	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	162		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Higrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO - $D_{nT,w}$

f (Hz)	R (dB)
100	26,1
125	31,7
160	33,6
250	34,0
315	35,0
400	34,7
500	36,0
630	35,9
800	38,3
1000	39,1
1250	43,0
1600	45,3
2000	47,5
2500	49,9
3150	51,9
4000	54,6
5000	56,4



$D_{nT,w}$ (C; Ctr) = 41 (-1;-4)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

4/9

DATA DE ENSAIO:

19-11-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS - $D_{nT,w}$ - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada e estucada.

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma parede de alvenaria rebocada e estanhada.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 18,84 m²

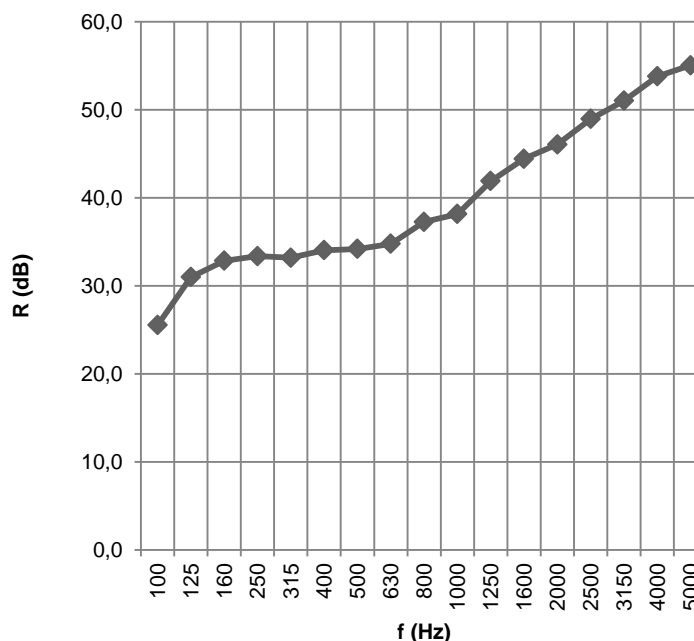
CARACTERÍSTICAS DA SALA DE ENSAIO

Comprimento (m):	8,6	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	2,73	Humidade do ar (%):	50
Largura (m):	6,9	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	162		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Higrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO - $D_{nT,w}$

f (Hz)	R (dB)
100	25,5
125	31,0
160	32,9
250	33,4
315	33,2
400	34,1
500	34,2
630	34,8
800	37,3
1000	38,2
1250	41,9
1600	44,4
2000	46,1
2500	49,0
3150	51,0
4000	53,8
5000	55,1



$D_{nT,w}$ (C; Ctr) = 40 (-1;-4)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

5/9

DATA DE ENSAIO:

19-11-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS - $D_{nT,w}$ - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada e estucada.

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma parede de alvenaria rebocada e estanhada.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 18,84 m²

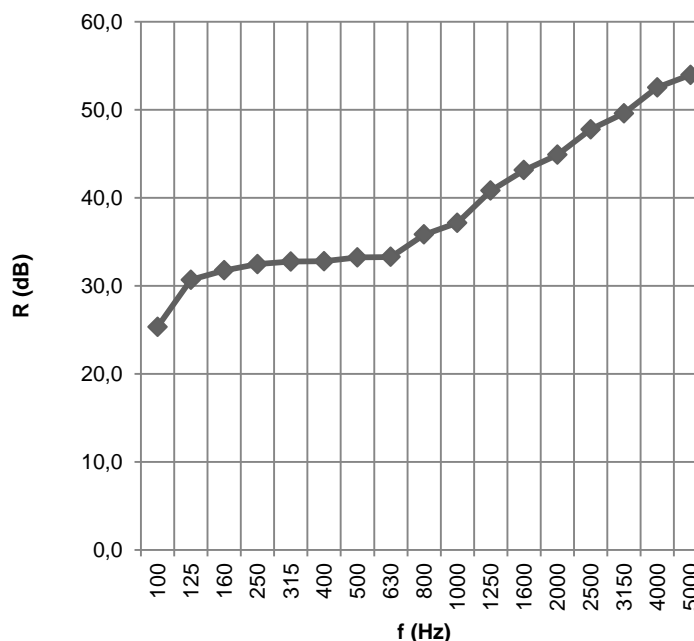
CARACTERÍSTICAS DA SALA DE ENSAIO

Comprimento (m):	8,6	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	2,73	Humidade do ar (%):	50
Largura (m):	6,9	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	162		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Higrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO - $D_{nT,w}$

f (Hz)	R (dB)
100	25,3
125	30,7
160	31,8
250	32,5
315	32,8
400	32,8
500	33,2
630	33,3
800	35,8
1000	37,2
1250	40,8
1600	43,1
2000	44,9
2500	47,8
3150	49,6
4000	52,5
5000	54,0



$D_{nT,w}$ (C; Ctr) = 38 (0;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

6/9

DATA DE ENSAIO:

19-11-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS - $D_{nT,w}$ - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada e estucada.

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma parede de alvenaria rebocada e estanhada.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 18,84 m²

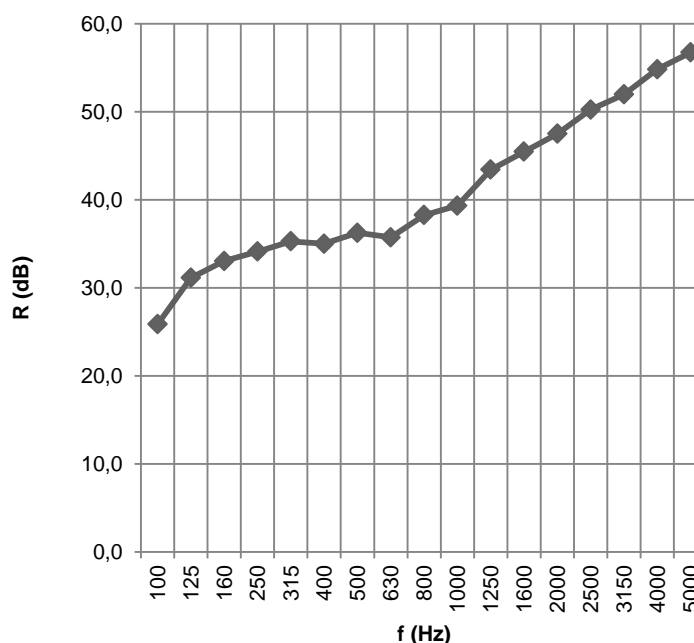
CARACTERÍSTICAS DA SALA DE ENSAIO

Comprimento (m):	8,6	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	2,73	Humidade do ar (%):	50
Largura (m):	6,9	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	162		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Higrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO - $D_{nT,w}$

f (Hz)	R (dB)
100	25,9
125	31,1
160	33,1
250	34,1
315	35,3
400	35,0
500	36,3
630	35,7
800	38,3
1000	39,3
1250	43,4
1600	45,5
2000	47,5
2500	50,3
3150	52,0
4000	54,8
5000	56,8



$D_{nT,w}$ (C; Ctr) = 41 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO: 7/9

DATA DE ENSAIO: 20-11-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS - $D_{nT,w}$ - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada e estucada.

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma parede de alvenaria rebocada e estanhada.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 18,84 m²

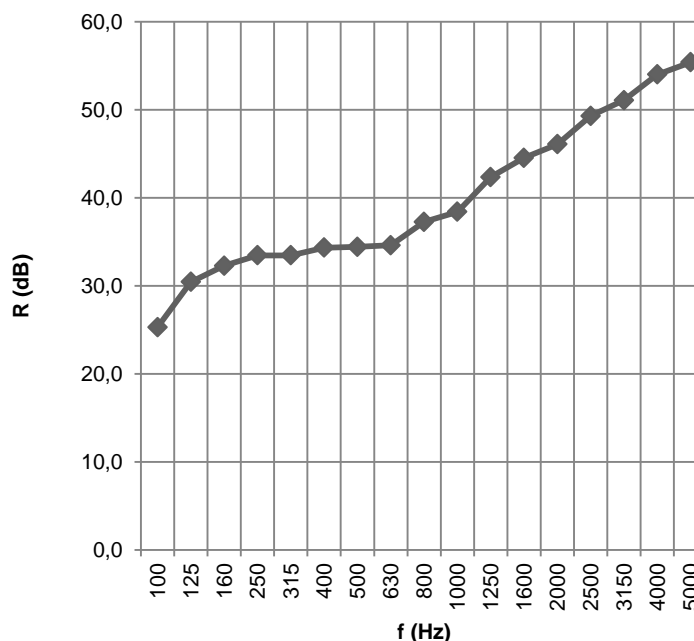
CARACTERÍSTICAS DA SALA DE ENSAIO

Comprimento (m):	8,6	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	2,73	Humidade do ar (%):	50
Largura (m):	6,9	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	162		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Higrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO - $D_{nT,w}$

f (Hz)	R (dB)
100	25,3
125	30,5
160	32,3
250	33,5
315	33,5
400	34,3
500	34,4
630	34,6
800	37,3
1000	38,4
1250	42,4
1600	44,5
2000	46,1
2500	49,3
3150	51,1
4000	54,0
5000	55,4



$D_{nT,w}$ (C; Ctr) = 40 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

8/9

DATA DE ENSAIO:

20-11-2013

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS - $D_{nT,w}$ - [dB]

NORMAS: ISO 10140-1; NP EN ISO 717-7

LABORATÓRIO DE ENSAIO: NI&DEA - FEUP

MORADA: Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200 - 465 Porto

TELEFONE: 220 413 799

FAX: 225 081 940

E-MAIL: nidea@fe.up.pt

WEB: www.fe.up.pt/nidea

REQUERENTE: Patrícia Rocha

ELEMENTO: Parede de alvenaria rebocada e estucada.

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma parede de alvenaria rebocada e estanhada.

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 18,84 m²

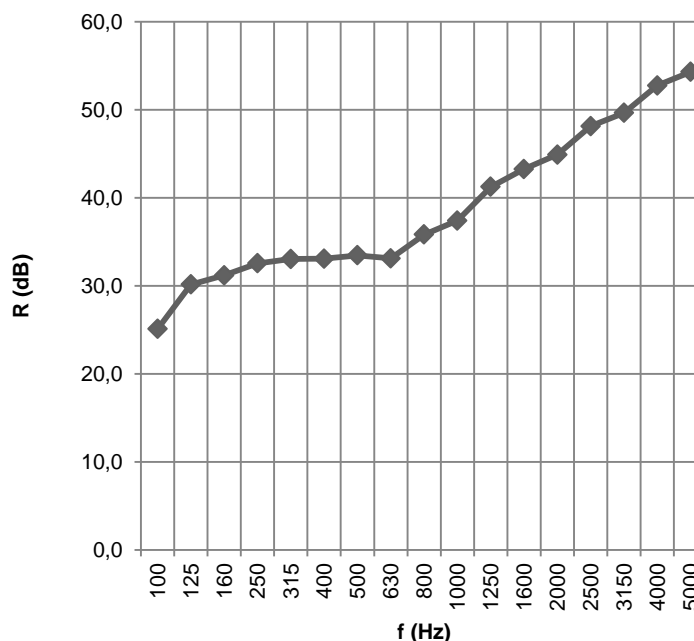
CARACTERÍSTICAS DA SALA DE ENSAIO

Comprimento (m):	8,6	Temperatura do ar (°C):	15
Altura (m):	2,73	Humidade do ar (%):	50
Largura (m):	6,9	Celeridade (m/s):	340
Volume (m³):	162		

EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro, marca 01 dB - Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01 dB - Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2; Termo-Higrómetro Digital 4600.

GRÁFICO - ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO - $D_{nT,w}$

f (Hz)	R (dB)
100	25,1
125	30,2
160	31,2
250	32,6
315	33,0
400	33,1
500	33,5
630	33,1
800	35,8
1000	37,4
1250	41,3
1600	43,3
2000	44,9
2500	48,1
3150	49,7
4000	52,8
5000	54,3



$D_{nT,w}$ (C; Ctr) = 39 (-1;-3)

Laboratório: NI&DEA - FEUP

Assinatura: _____

Nº BOLETIM DE ENSAIO:

9/9

DATA DE ENSAIO:

20-11-2013