



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

REABILITAÇÃO ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS RECENTES

Vera Luísa Moreira dos Santos Vara

Orientador: Prof.^a Maria de Fátima Silva Marques
Tavares Farinha

Co-orientador: Eng.^o António Carlos Guerreiro
Morgado André

Mestrado em Engenharia Civil

Área de especialização: *Construção*

Dissertação

Évora, 2014

Esta dissertação inclui as críticas e as sugestões feitas pelo júri

REABILITAÇÃO ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS RECENTES

RESUMO

Atualmente, a perspectiva da população sobre a importância do conforto acústico no interior dos edifícios está visivelmente a mudar, para além de que legalmente existem várias exigências que têm de ser cumpridas.

É nos edifícios que se passa a maior parte do tempo, seja em atividades de lazer, trabalho ou de simples repouso, e portanto a qualidade acústica destes é fundamental.

O conforto acústico de um edifício tem por base o estudo do seu desempenho acústico.

Esta dissertação incide sobre o estudo do desempenho acústico de edifícios recentes, em que se analisam diversos casos de estudo através de ensaios acústicos efetuados de acordo com a legislação em vigor.

Os edifícios selecionados para casos de estudo foram edifícios unifamiliares e multifamiliares habitacionais que confrontam com espaços de comércio, serviços ou diversão. Após a realização dos ensaios, os edifícios que não possuem um desempenho acústico dentro dos valores regulamentares são objeto de obras de reabilitação acústica, a fim de melhorar as condições de qualidade desses espaços e demonstrar a eficácia dessas medidas corretivas na acústica de edifícios.

ACOUSTIC REHABILITATION OF RECENT BUILDINGS

ABSTRACT

Nowadays, the perspective of the population about the importance of acoustic comfort inside buildings begins to change, besides that, legally, there are several requirements that have to be followed.

Nowadays people spend most of the time inside buildings, in leisure activities, working, or simply resting, therefore the acoustic quality is essential.

Acoustic comfort of a building is based on the study of its acoustic performance.

This dissertation focuses on the study of the acoustic performance of recent buildings.

Several case studies are analysed through acoustics tests, in accordance with portuguese legislation.

The buildings selected as case studies were single-family and multifamily residential that confront with shops, offices or entertainment. After testing, the buildings that do not have an adequate acoustic performance are subject to rehabilitation works, in order to improve the quality of these spaces and demonstrate the effectiveness of these corrective measures.

PALAVRAS-CHAVE

- Acústica de edifícios
- Projeto de condicionamento acústico
- Reabilitação acústica
- Ensaio acústicos

KEYWORDS

- Acoustics of buildings
- Design of acoustic conditioning
- Acoustic rehabilitation
- Acoustic tests

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui o meu reconhecimento a todos aqueles que me incentivaram, motivaram e acompanharam durante toda a elaboração deste trabalho e os quais queria destacar enumerando-os em seguida.

À Professora Fátima Farinha, orientadora desta dissertação, o meu obrigada por todo o apoio, incentivo, constante disponibilidade, otimismo, pela disponibilização de elementos bibliográficos e por todo o interesse demonstrado ao longo deste trabalho.

Ao Engenheiro António Morgado André, co-orientador desta dissertação pela disponibilização de elementos bibliográficos, pelo acompanhamento e apoio.

À empresa MPT, Lda, com a qual colaboro, por me ter fornecido elementos necessários à realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Vítor Rosão, por me ter fornecido alguns elementos fundamentais à realização deste trabalho.

À minha família e amigos.

ÍNDICE GERAL

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	II
PALAVRAS-CHAVE.....	III
KEYWORDS.....	III
AGRADECIMENTOS.....	IV
ÍNDICE GERAL.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABELAS.....	XV
SIMBOLOGIA.....	XIX
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Organização.....	3
2. DESEMPENHO ACÚSTICO DOS EDIFÍCIOS: ISOLAMENTO SONORO E TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	5
2.1. Regulamentação e normas.....	5
2.2. Equipamentos de medição.....	15
2.3. Parâmetros acústicos.....	17
2.3.1. Isolamento sonoro a sons aéreos.....	18
2.3.2. Isolamento sonoro a sons de percussão.....	20
2.3.3. Tempo de reverberação.....	22
2.4. Ensaios acústicos.....	23
2.4.1. Isolamento sonoro a sons aéreos.....	24

2.4.2.	Isolamento sonoro a sons de percussão	29
2.4.3.	Tempo de reverberação	32
2.5.	Reabilitação acústica	33
2.5.1.	Técnicas e materiais utilizados para o controlo de ruído aéreo e de percussão.....	38
3.	CASOS DE ESTUDO.....	45
3.1.	Caso de estudo 1.....	47
3.1.1.	Caracterização.....	47
3.1.2.	Ensaio acústico.....	47
3.1.3.	Resultados.....	49
3.2.	Caso de estudo 2.....	51
3.2.1.	Caracterização	51
3.2.2.	Ensaio acústico	51
3.2.3.	Resultados.....	54
3.3.	Caso de estudo 3.....	56
3.3.1.	Caracterização.....	56
3.3.2.	Ensaio acústico.....	57
3.3.3.	Resultados.....	59
3.4.	Caso de estudo 4.....	62
3.4.1.	Caracterização.....	62
3.4.2.	Ensaio acústico.....	62
3.4.3.	Resultados.....	64
3.5.	Caso de estudo 5.....	65
3.5.1.	Caracterização.....	65
3.5.2.	Ensaio acústico.....	65
3.5.3.	Resultados.....	67

3.6.	Caso de estudo 6.....	69
3.6.1.	Caracterização.....	69
3.6.2.	Ensaio acústico.....	69
3.6.3.	Resultados.....	70
3.7.	Caso de estudo 7.....	72
3.7.1.	Caracterização.....	72
3.7.2.	Ensaio acústico.....	72
3.7.3.	Resultados.....	75
3.8.	Caso de estudo 8.....	77
3.8.1.	Caracterização.....	77
3.8.2.	Ensaio acústico.....	78
3.8.3.	Resultados.....	80
3.9.	Caso de estudo 9.....	83
3.9.1.	Caracterização.....	83
3.9.2.	Ensaio acústico.....	83
3.9.3.	Resultados.....	85
3.10.	Caso de estudo 10.....	87
3.10.1.	Caracterização.....	87
3.10.2.	Ensaio acústico.....	88
3.10.3.	Resultados.....	93
3.11.	Caso de estudo 11.....	99
3.11.1.	Caracterização.....	99
3.11.2.	Ensaio acústico.....	100
3.11.3.	Resultados.....	103
3.12.	Caso de estudo 12.....	105

3.12.1. Caracterização.....	105
3.12.2. Ensaio acústico.....	106
3.12.3. Resultados.....	107
3.13. Análise de resultados.....	109
4. PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA.....	112
4.1. Caso de estudo 1.....	112
4.1.1. Solução de reabilitação.....	112
4.1.2. Ensaio acústico e resultados	112
4.2. Caso de estudo 2.....	114
4.2.1. Solução de reabilitação.....	114
4.2.2. Ensaio acústico e resultados	114
4.3. Caso de estudo 3.....	116
4.3.1. Solução de reabilitação.....	116
4.3.2. Ensaio acústico e resultados	116
4.4. Caso de estudo 4.....	123
4.4.1. Solução de reabilitação.....	123
4.4.2. Ensaio acústico e resultados	124
4.5. Caso de estudo 5.....	125
4.5.1. Solução de reabilitação.....	125
4.5.2. Ensaio acústico e resultados	125
4.6. Caso de estudo 6.....	127
4.6.1. Solução de reabilitação.....	127
4.6.2. Ensaio acústico e resultados	127
4.7. Análise de resultados.....	129
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	130

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
ANEXOS	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ilustração da definição do parâmetro $D_{2m,nT}$ em paredes exteriores de edifícios	9
Figura 2.2 – Sonómetro integrador (Solo 01dB).....	16
Figura 2.3 – Calibrador da classe 1 (Rion NC-74).....	16
Figura 2.4 – Fonte sonora omnidireccional (Omni-12).....	16
Figura 2.5 – Máquina de impactos ou de percussão normalizada (Retec Instruments RI069).....	17
Figura 2.6 – Ruído aéreo	19
Figura 2.7 – Ruído de impacto.....	20
Figura 2.8 – Transmissão de baixo para cima e transmissão lateral	21
Figura 2.9 – Ilustração esquemática dos fluxos de energia na incidência de uma onda sonora num elemento separador plano	22
Figura 2.10 – Tempo de reverberação aparente	23
Figura 2.11 – Posição da fonte sonora.....	25
Figura 2.12 – Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício	34
Figura 2.13 – Número de edifícios clássicos segundo o estado de conservação	34
Figura 2.14 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação do edifício, por tipo de estrutura de construção	35
Figura 2.15 – Pavimento flutuante em madeira	42
Figura 2.16 – Lajes flutuantes em betão armado	43
Figura 3.1 – Localização das posições de medição (Farmácia – Habitação)	48
Figura 3.2 – Farmácia – imagens do exterior e interior.....	49
Figura 3.3 – $D_{nT,w}$ (Farmácia – Habitação).....	49
Figura 3.4 – $L'_{nT,w}$ (Farmácia – Habitação).....	50
Figura 3.5 – Localização das posições de medição (Fachada escritório).....	52

Figura 3.6 – Localização das posições de medição (Escritório – Habitação).....	53
Figura 3.7 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 2.....	53
Figura 3.8 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada escritório).....	54
Figura 3.9 – $D_{nT,w}$ (Escritório – Habitação).....	54
Figura 3.10 – $L'_{nT,w}$ (Escritório – Habitação).....	55
Figura 3.11 – Localização das posições de medição (Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal).....	58
Figura 3.12 – Localização das posições de medição (Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior).....	58
Figura 3.13 – $D_{nT,w}$ (Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal).....	59
Figura 3.14 – $D_{nT,w}$ (Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior).....	59
Figura 3.15 – $L'_{nT,w}$ (Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal).....	60
Figura 3.16 – $L'_{nT,w}$ (Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior).....	60
Figura 3.17 – Esquema da posição relativa da moradia e da casa das bombas.....	62
Figura 3.18 – Localização das posições de medição (Casa das bombas – Moradia).....	63
Figura 3.19 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 4.....	64
Figura 3.20 – $D_{nT,w}$ (Casa das bombas – Moradia).....	64
Figura 3.21 – Localização das posições de medição (Clube de bilhar – Moradia).....	66
Figura 3.22 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 5.....	67
Figura 3.23 – $D_{nT,w}$ (Clube de bilhar – Moradia).....	67
Figura 3.24 – $L'_{nT,w}$ (Clube de bilhar – Moradia).....	68
Figura 3.25 – Localização das posições de medição (Fachada moradia).....	70
Figura 3.26 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 6.....	70
Figura 3.27 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada moradia).....	71
Figura 3.28 – Localização das posições de medição (Fachada restaurante).....	73
Figura 3.29 – Localização das posições de medição (Restaurante – Habitação).....	74

Figura 3.30 – Restaurante – imagens do exterior e interior.....	74
Figura 3.31 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada restaurante).....	75
Figura 3.32 – $D_{nT,w}$ (Restaurante – Habitação).....	75
Figura 3.33 – $L'_{nT,w}$ (Restaurante – Habitação).....	76
Figura 3.34 – Localização das posições de medição (Fachada oficina).....	79
Figura 3.35 – Localização das posições de medição (Oficina – Habitação).....	79
Figura 3.36 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 8.....	80
Figura 3.37 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada oficina).....	80
Figura 3.38 – $D_{nT,w}$ (Oficina – Habitação).....	81
Figura 3.39 – $L'_{nT,w}$ (Oficina – Habitação).....	81
Figura 3.40 – Localização das posições de medição (Clínica Médica – Habitação).....	84
Figura 3.41 – Clínica médica – imagens do exterior e interior.....	85
Figura 3.42 – $D_{nT,w}$ (Clínica médica – Habitação).....	85
Figura 3.43 – $L'_{nT,w}$ (Clínica médica – Habitação).....	86
Figura 3.44 – Localização das posições de medição (Fachada loja A).....	90
Figura 3.45 – Localização das posições de medição (Fachada apartamento C).....	90
Figura 3.46 – Localização das posições de medição (Loja A – Apartamento C/1ºandar).....	91
Figura 3.47 – Localização das posições de medição (Apartamento C/1ºandar – Apartamento E/2ºandar).....	91
Figura 3.48 – Localização das posições de medição (Apartamento C/1ºandar – Apartamento D/1ºandar).....	92
Figura 3.49 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 10.....	93
Figura 3.50 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada loja A).....	93
Figura 3.51 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada apartamento C).....	94
Figura 3.52 – $D_{nT,w}$ (Loja A – Apartamento C/1ºandar).....	94
Figura 3.53 – $L'_{nT,w}$ (Loja A – Apartamento C/1ºandar).....	95

Figura 3.54 – $D_{nT,w}$ (Apartamento C/1º andar – Apartamento E/2º andar)	95
Figura 3.55 – $L'_{nT,w}$ (Apartamento C/1º andar – Apartamento E/2º andar)	96
Figura 3.56 – $D_{nT,w}$ (Apartamento C/1º andar – Apartamento D/1º andar)	96
Figura 3.57 – $L'_{nT,w}$ (Apartamento C/1º andar – Apartamento D/1º andar)	97
Figura 3.58 – Localização das posições de medição (Fachada loja A)	101
Figura 3.59 – Localização das posições de medição (Loja A – Habitação)	102
Figura 3.60 – Apontamentos fotográficos do local – Caso de estudo 11	102
Figura 3.61 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada loja A)	103
Figura 3.62 – $D_{nT,w}$ (Loja A – Habitação)	103
Figura 3.63 – $L'_{nT,w}$ (Loja A – Habitação).....	104
Figura 3.64 – Localização das posições de medição (Fachada moradia)	107
Figura 3.65 – Apontamentos fotográficos do edifício – Caso de estudo 12.....	107
Figura 3.66 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada moradia)	108
Figura 3.67 – Gráfico do índice $D_{2m,nT,w}$ (dB).....	109
Figura 3.68 – Gráfico do índice $D_{nT,w}$ (dB).....	110
Figura 3.69 – Gráfico do índice $L'_{nT,w}$ (dB).....	110
Figura 4.1 – $D_{nT,w}$ (Farmácia – Habitação 1º andar)	113
Figura 4.2 – Gráfico de resultados D_{nT} – Caso de estudo 1.....	114
Figura 4.3 – $D_{nT,w}$ (Escritório – Habitação 1º andar)	115
Figura 4.4 – Gráfico de resultados D_{nT} – Caso de estudo 2.....	116
Figura 4.5 – $D_{nT,w}$ (Café – Habitação 1º andar/fachada principal) – A	117
Figura 4.6 – $D_{nT,w}$ (Café – Habitação 1º andar/fachada posterior) – A	117
Figura 4.7 – $L'_{nT,w}$ (Café – Habitação 1º andar/ fachada posterior) – A	118
Figura 4.8 – $D_{nT,w}$ (Café – Habitação 1º andar/fachada principal) – B.....	119
Figura 4.9 – $D_{nT,w}$ (Café – Habitação 1º andar/ fachada posterior) – B.....	120

Figura 4.10 – $L'_{nT,w}$ (Café – Habitação 1º andar/ fachada posterior) – B.....	120
Figura 4.11 – Gráfico de resultados D_{nT} – Caso de estudo 3.....	122
Figura 4.12 – Gráfico de resultados L'_{nT} – Caso de estudo 3.....	123
Figura 4.13 – Esquema da composição das paredes e teto falso a instalar.....	123
Figura 4.14 – $D_{nT,w}$ (Casa das bombas – Moradia)	124
Figura 4.15 – Gráfico de resultados D_{nT} – Caso de estudo 4.....	125
Figura 4.16 – $L'_{nT,w}$ (Clube de bilhar – Moradia)	126
Figura 4.17 – Gráfico de resultados L'_{nT} – Caso de estudo 5.....	127
Figura 4.18 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada moradia)	128
Figura 4.19 – Gráfico de resultados $D_{2m,nT}$ – Caso de estudo 6.....	129

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Requisitos acústicos exigidos em edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (nestas cada quarto equivale a um fogo) (Artigo 5º do RRAE).....	11
Tabela 2.2 – Requisitos acústicos exigidos em edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (Artigo 6º do RRAE)	12
Tabela 2.3 – Ensaios acústicos.....	18
Tabela 2.4 – Número de posições e medições (fachada).....	27
Tabela 2.5 – Número de posições e medições (entre compartimentos)	29
Tabela 2.6 – Número de posições e medições (percussão).....	32
Tabela 2.7 – Quadro-exemplo de resumo de intervenções.....	44
Tabela 3.1 – Casos de estudo	45
Tabela 3.2 – Casos de estudo - características	46
Tabela 3.3 – Equipamentos utilizados	46
Tabela 3.4 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 1	48
Tabela 3.5 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 1 – Farmácia – Habitação	50
Tabela 3.6 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 1 – Farmácia – Habitação	50
Tabela 3.7 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 2.....	52
Tabela 3.8 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 2 – Fachada escritório	55
Tabela 3.9 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 2 – Escritório – Habitação	55
Tabela 3.10 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 2 – Escritório - Habitação	56
Tabela 3.11 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 3.....	57

Tabela 3.12 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 3	61
Tabela 3.13 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 3.....	61
Tabela 3.14 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 4.....	63
Tabela 3.15 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 4 – Casa de bombas - Moradia	65
Tabela 3.16 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 5.....	66
Tabela 3.17 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 5 – Clube de bilhar - Moradia.....	68
Tabela 3.18 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 5 – Clube de bilhar – Moradia	68
Tabela 3.19 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 6.....	69
Tabela 3.20 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 6 – Fachada moradia	71
Tabela 3.21 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 7.....	73
Tabela 3.22 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 7 – Fachada restaurante	76
Tabela 3.23 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 7 – Restaurante – Habitação	76
Tabela 3.24 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 7 – Restaurante – Habitação	77
Tabela 3.25 – Comparação de resultados – Caso de estudo 7	77
Tabela 3.26 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 8.....	78
Tabela 3.27 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 8 – Fachada oficina	82
Tabela 3.28 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 8 – Oficina – Habitação	82

Tabela 3.29 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 8 – Oficina – Habitação	82
Tabela 3.30 – Comparação de resultados – Caso de estudo 8	82
Tabela 3.31 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 9	84
Tabela 3.32 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 9 – Clínica médica – Habitação	86
Tabela 3.33 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 9 – Clínica médica – Habitação	86
Tabela 3.34 – Comparação de resultados – Caso de estudo 9	87
Tabela 3.35 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 10	89
Tabela 3.36 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 10	97
Tabela 3.37 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 10	98
Tabela 3.38 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 10	98
Tabela 3.39 – Comparação de resultados – Caso de estudo 10	99
Tabela 3.40 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 11	101
Tabela 3.41 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 11 – Fachada loja A	104
Tabela 3.42 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 11 – Loja A – Habitação	104
Tabela 3.43 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 11 – Loja A – Habitação	105
Tabela 3.44 – Comparação de resultados – Caso de estudo 11	105
Tabela 3.45 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 12	106
Tabela 3.46 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 12 – Fachada moradia	108
Tabela 3.47 – Comparação de resultados – Caso de estudo 12	108

Tabela 4.1 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 1 – Farmácia - Habitação	113
Tabela 4.2 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 2 – Escritório - Habitação	115
Tabela 4.3 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 3–A .	118
Tabela 4.4 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 3–A.....	118
Tabela 4.5 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 3–B..	121
Tabela 4.6 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 3–B	121
Tabela 4.7 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 4 – Casa das bombas – Moradia	124
Tabela 4.8 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 5 – Clube de bilhar – Moradia.....	126
Tabela 4.9 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 6 – Fachada moradia	128

SIMBOLOGIA

C ou Ctr – termo de adaptação espectral, correção definida na NP EN ISO 717 -1;

dB – Decibel;

Ci – Termo de adaptação espectral, correção definida na NP EN ISO 717 -2;

D_{nT} – Isolamento sonoro de sons de condução aérea padronizado (dB);

$D_{nT,w}$ – Valor único da diferença de níveis sonoros de elementos de separação de compartimentos padronizado (dB);

$D_{2m,nT}$ – Isolamento sonoro de sons de condução aérea padronizado (dB);

$D_{2m,nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução área padronizado, com o exterior (dB);

f – Frequência da onda sonora (Hz);

L_i – Nível de pressão sonora em cada banda de frequência (dB);

$L_{n,w}$ – Índice de isolamento sonoro normalizado (dB);

L'_{nT} – Nível sonoro de percussão padronizado (dB);

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

L_1 – Nível de pressão sonora, em dB, no compartimento emissor;

L_2 – Nível de pressão sonora, em dB, no compartimento recetor;

$L_{1,2m}$ – Nível de pressão sonora médio, medido a 2 m da fachada do edifício;

s – Unidade de medida de tempo, segundos;

T – Tempo de reverberação;

T_0 – Tempo de reverberação de referência ($T_0 = 0,5$ s – compartimentos de habitação);

T_{20} – Tempo de reverberação, em segundos, baseado num decaimento de 20 dB;

T_{30} – Tempo de reverberação, em segundos, baseado num decaimento de 30 dB;

T_{60} – Tempo de reverberação, em segundos, baseado num decaimento de 60 dB;

V – Volume do compartimento (m^3);

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O conforto dos edifícios é hoje em dia muito importante e são cada vez maiores as exigências dos utilizadores.

O progresso industrial, tecnológico e económico, tem tido consequências negativas no ruído ambiente e, conseqüentemente, no conforto acústico dos edifícios. As exigências humanas relativas ao conforto acústico têm colocado alguma pressão sobre a indústria acústica, constituída por grupos especializados de empresas de investigação e desenvolvimento de produtos e sistemas de controlo acústico, que podem ser ou não fabricantes e fornecedores desses mesmos produtos. Estes produtos e sistemas vêm dar resposta às exigências da legislação. Estão portanto disponíveis no mercado diversas soluções construtivas que permitem melhorias do conforto acústico.

Nestes últimos anos, têm surgido várias exigências no sentido de aumentar a qualidade dos edifícios, quer através de regulamentação, com a entrada em vigor de vários regulamentos relacionados com o licenciamento dos edifícios, quer da criação de métodos de avaliação da qualidade de edifícios, para verificar *in situ* essas exigências. Para que um sistema construtivo possa satisfazer exigências de conforto acústico, torna-se necessário o estudo do seu desempenho acústico.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação centra-se no estudo do desempenho acústico de edifícios recentes. Para o efeito, seleccionaram-se doze casos de estudo que se apresentam no Capítulo 3, e que foram submetidos a ensaios acústicos de acordo com a legislação em vigor.

Dos casos de estudo escolhidos seis correspondem a edifícios recentes, licenciados depois da entrada em vigor do DL 129/2002, de 11 de maio que aprova o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1], e os outros seis correspondem também a edifícios recentes, mas licenciados poucos anos antes da entrada em vigor do DL 129/2002. Todos estes edifícios são constituídos por estrutura resistente em betão armado. O DL 129/2002 foi revisto em 9 de Junho de 2008 e foram introduzidos novos parâmetros a avaliar.

A grande diferença que existe entre estes dois grupos de casos de estudo é que os edifícios que foram licenciados depois da entrada em vigor do DL 129/2002 já foram licenciados com projeto de condicionamento acústico que não necessita de parecer por parte dos serviços municipais (como refere o n.º 6 do artigo 5º do DL 292/2000), revertendo a responsabilidade pela sua boa realização ao autor do projeto. Na elaboração dos projetos de condicionamento acústico dos edifícios abrangidos pelo DL 129/2002, para os efeitos previstos no DL 292/2000 são aplicáveis as normas sobre requisitos acústicos dos edifícios constantes dos artigos 5º a 10º do DL 129/2002.

O projeto de condicionamento acústico integra as peças escritas com o cálculo acústico e as peças desenhadas respeitantes ao edifício.

As peças escritas e desenhadas descrevem inteiramente as soluções propostas, e o cálculo acústico é o resultado da análise prospetiva que as sustenta. No projeto de condicionamento acústico os espaços têm de estar em conformidade com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) e com o Regulamento Geral do Ruído (RGR) [2].

A escolha do tema da presente dissertação passa pela importância que o mesmo tem na atualidade, por estar relacionado com a atividade profissional que exerço desde 2008 e pelo interesse que tenho em aprofundar o conhecimento neste domínio. Os casos de estudo correspondem a solicitações de mercado à empresa MPT, Lda, empresa com a qual colaboro, e outros, designadamente algumas das situações não conformes que foram gentilmente fornecidas pelo Engenheiro Vítor Rosão.

Os edifícios selecionados para este estudo são edifícios correntes destinados a habitação, a comércio, a serviços e também a alterações de uso. Os edifícios foram sujeitos a ensaios acústicos, analisaram-se os resultados obtidos e verificou-se o cumprimento dos valores limites estabelecidos na regulamentação aplicável.

Os edifícios que não cumprem os valores regulamentares foram objeto de obras de reabilitação acústica seguindo as medidas corretivas propostas de acordo com os problemas detetados. Pretende-se melhorar as condições acústicas desses edifícios bem como demonstrar a eficácia dessas medidas corretivas após a sua implementação.

1.2. Objetivos

Os principais objetivos do presente estudo são os seguintes:

- verificar a qualidade acústica de vários edifícios recentes, através da realização de ensaios acústicos;
- nos casos de estudo que não cumprem os valores limites estabelecidos na regulamentação aplicável, identificar quais os principais problemas existentes e implementar medidas corretivas a aplicar para melhorar o seu desempenho acústico;
- verificar a qualidade acústica do edifício reabilitado;
- tecer considerações sobre medidas/princípios a adotar em projetos novos e de reabilitação acústica de edifícios.

A principal dificuldade teve a ver com a escolha dos casos de estudo, o tempo que medeia entre a identificação de situações não conforme, a correção acústica do espaço e a realização de novos ensaios.

1.3. Organização

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos:

- Capítulo 1 – **Introdução**, onde se salienta a relevância do tema selecionado, assim como os objetivos que se pretendem alcançar com este estudo.
- Capítulo 2 – **Desempenho acústico dos edifícios: isolamento sonoro e tempo de reverberação**, que apresenta os conceitos fundamentais, a regulamentação e normas, os equipamentos de medição, os principais procedimentos de execução dos ensaios acústicos de edifícios, bem como onde se caracteriza a reabilitação acústica e se estabelecem técnicas e materiais mais utilizados para o controlo do ruído aéreo e de percussão.
- Capítulo 3 – **Casos de estudo**, onde se caracterizam os casos de estudo, se apresentam os ensaios acústicos, são descritos os critérios para análise dos resultados bem como são apresentados e analisados os resultados.
- Capítulo 4 – **Propostas de reabilitação acústica**, onde se propõe a solução de reabilitação e se apresentam os resultados obtidos com a realização dos novos ensaios acústicos.

- Capítulo 5 – **Conclusões e Trabalhos Futuros**, onde se reúnem as principais conclusões obtidas no estudo, bem como propostas de trabalhos futuros.

2. DESEMPENHO ACÚSTICO DOS EDIFÍCIOS: ISOLAMENTO SONORO E TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O conforto acústico é um estado de espírito que traduz satisfação com o ambiente sonoro que envolve a pessoa, dependendo da idade, estado físico e emocional do indivíduo. No âmbito deste capítulo é analisado o desempenho acústico dos edifícios tendo por base as grandezas referidas na legislação: isolamento sonoro e tempo de reverberação.

O conforto acústico pode ser um conceito subjetivo ou uma exigência objetiva, de uma forma ou de outra, esse conceito tem sido cada vez mais exigido pelos utilizadores de edifícios. O conceito formal pode não ser entendido pela maioria das pessoas, mas a ausência do conforto acústico é cada vez mais perceptível e, por isso, a exigência objetiva de habitar ou trabalhar em ambientes acusticamente confortáveis está a tornar-se cada vez mais frequente sendo desde 2002 uma exigência regulamentar.

Embora o incómodo causado pelo ruído não seja um problema recente, a preocupação com o bom isolamento acústico de edifícios é relativamente recente em termos de exigências regulamentares. De acordo com a legislação atual, para além da obrigatoriedade da apresentação do projeto de condicionamento acústico juntamente com os restantes projetos de especialidades, é obrigatório verificar o conforto acústico dos edifícios através de ensaios acústicos para a obtenção da licença ou autorização de utilização de edifícios bem como aquando da alteração de uso.

2.1. Regulamentação e normas

A prevenção e combate ao ruído estão regulamentados no nosso país desde 1987 pelo DL 251/87, de 24 de Junho [3], que aprovou o Regulamento Geral sobre o Ruído (RGR), que foi posteriormente alterado pelo DL 292/89, de 2 de Setembro [4] e revogado pelo DL 292/2000, de 14 de novembro [5] que aprovou o novo regime legal da poluição sonora, determinando apenas a sua manutenção em vigor até à aprovação de novos requisitos acústicos. A aprovação destes novos requisitos acústicos dos edifícios vai ao encontro de harmonizar a aplicação de conceitos e metodologias já em uso ao nível comunitário e internacional, uma vez que as anteriores se encontravam totalmente desfasadas. Novamente foi alterado pelo DL 76/2002, de 26 de Março

[6] (Regulamento das Emissões Sonoras para o Ambiente do Equipamento para Utilização no Exterior) e pelo DL 259/2002, de 23 de Novembro [7], que teve como objetivo esclarecer e definir competências na área do ruído.

Na sequência das orientações preconizadas no DL 292/2000 surge, em 2002, o DL 129/2002, de 11 de maio que aprova o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) que conforme refere no preâmbulo visa regular a vertente do conforto acústico no âmbito do regime da edificação, e, em consequência, contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações e tem como princípios orientadores a harmonização, à luz da normalização europeia, das grandezas características do desempenho acústico dos edifícios e respectivos índices e a quantificação dos requisitos, atendendo, simultaneamente, quer à satisfação das exigências funcionais de qualidade dos edifícios quer à contenção de custos inerentes à execução das soluções necessárias à sua verificação.

No ano de 2007 foi aprovado o DL 9/2007, de 17 de janeiro que aprovou o novo Regulamento Geral do Ruído (RGR) e revogou o regime legal da poluição sonora, aprovado pelo DL 292/2000. Pois houve necessidade de clarificar a articulação do novo RGR com outros regimes jurídicos (o da urbanização e da edificação e o de autorização e licenciamento de atividades). Pouco depois surgiu uma Declaração de Retificação n.º 18/2007, de 16 de março, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e seguidamente uma alteração pelo DL 278/2007, de 1 de Agosto [8].

Em 2008, o DL 96/2008, de 9 de junho, procede à revisão do DL 129/2002, que aprova o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), de modo a compatibilizá-lo com o DL 9/2007 (RGR) e com outros regimes jurídicos. Apresenta os critérios em termos de exigências mínimas para os edifícios, de modo a permitir o estabelecimento de condições de qualidade acústica adequadas no seu interior.

É de referir também a Portaria 232/2008, de 11 de março, que alterou o regime jurídico da urbanização e da edificação. Neste diploma regulamentar consta a enunciação de todos os elementos que devem instruir os pedidos de realização de operações urbanísticas. Dos elementos solicitados, consta a avaliação acústica que é obrigatória nas várias fases e tipos de operações urbanísticas.

O RGR visa a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações, destinando-se a prevenir e controlar o ruído nos locais onde existam ou estejam previstos recetores sensíveis. Este regulamento aplica-se às atividades ruidosas permanentes e temporárias e a outras fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade, designadamente:

- construção, reconstrução, ampliação, alteração ou conservação de edificações;
- obras de construção civil;
- laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços;
- equipamentos para utilização no exterior;
- infra-estruturas de transporte, veículos e tráfegos;
- espetáculos, diversões, manifestações desportivas, feiras e mercados;
- sistemas sonoros de alarme.

Neste regulamento, e no que aos edifícios diz respeito, é de destacar o seguinte:

- No n.º 5 do artigo 12º, “a utilização ou alteração da utilização de edifícios e suas frações está sujeita à verificação do cumprimento do projeto acústico, no âmbito do respetivo procedimento de licença ou autorização de utilização, podendo a câmara municipal, para o efeito, exigir a realização de ensaios acústicos.”

- No n.º 1 do artigo 34º, “os ensaios e medições acústicas necessárias à verificação do cumprimento do disposto no Regulamento são realizados por entidades acreditadas.”

Para a verificação do cumprimento da exigência citada no parágrafo anterior, existe a possibilidade após a construção dos edifícios, da realização de ensaios acústicos de edifícios, que permitam aferir o cumprimento do projeto de condicionamento acústico.

O RRAE, visa regular a vertente do conforto acústico no âmbito do regime da edificação, e naturalmente, contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações. Este Regulamento tem como princípios orientadores a harmonização, à luz da normalização europeia, das grandezas características do desempenho acústico dos edifícios e respectivos índices e a quantificação dos requisitos, atendendo, simultaneamente, quer à satisfação das exigências funcionais de qualidade dos edifícios quer à contenção de custos inerentes à execução das soluções necessárias à sua verificação [1].

Em função dos usos a que os edifícios se destinam o RRAE aplica-se a:

- edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
- edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;
- edifícios escolares e similares, e de investigação;
- edifícios hospitalares e similares;
- recintos desportivos;
- estações de transporte de passageiros;
- auditórios e salas;

A verificação regulamentar consiste no cumprimento de requisitos para um conjunto de parâmetros, em função do tipo de edifício em análise. No âmbito desta dissertação interessa definir os parâmetros relacionados com os edifícios habitacionais e mistos (artigo 5.º), edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (artigo 6.º). Assim sendo são três parâmetros caracterizadores:

- Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas padronizado, $D_{2m,nT,w}$;
- Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos padronizado, $D_{nT,w}$;
- Índice de nível sonoro de percussão padronizado, $L'_{nT,w}$;
- Tempo de reverberação, T .

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas padronizado, $D_{2m,nT,w}$, caracteriza sob a forma de valor único, a perda de energia sonora entre o exterior e os espaços interiores do edifício, no domínio da frequência, padronizada ($D_{2m,nT}$), em que experimentalmente a diferença entre o nível de pressão sonora médio, medido a 2 m da fachada do edifício ($L_{1,2m}$), e o nível de pressão sonora médio medido no compartimento recetor (L_2), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, é descrito pela Equação (2.1).

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

em que T é o tempo de reverberação do compartimento recetor, em segundos e T_0 é o tempo de reverberação de referência, em segundos. Para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis considera-se $T_0=0,5$ s; para compartimentos em que haja tempo de reverberação

atribuível em projeto, o valor de referência a considerar será o do respetivo tempo de dimensionamento. A Figura 2.1 ilustra as posições da fonte sonora e do sonómetro relativamente ao edifício.

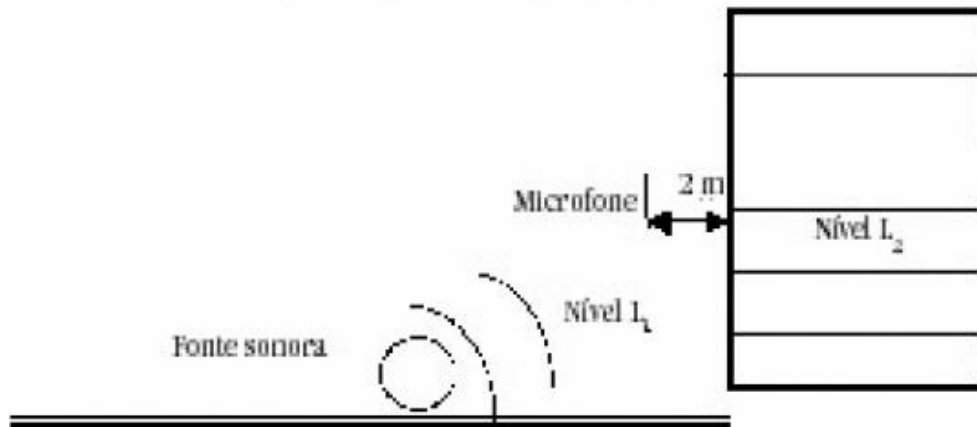


Figura 2.1 – Ilustração da definição do parâmetro $D_{2m,nT}$ em paredes exteriores de edifícios [9]

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos padronizado, $D_{nT,w}$ que deve ser assegurado pelos elementos de compartimentação horizontal (pavimentos) e vertical (paredes) do interior do edifício, pretende traduzir a perda de energia sonora, no domínio da frequência, padronizada, D_{nT} e é dado pela diferença entre o nível de pressão sonora médio medido no compartimento emissor (onde está situada a fonte que emite o ruído, L_1) produzido por uma fonte sonora, e o nível de pressão sonora médio medido no compartimento recetor (onde o ruído tem de ser avaliado, por exemplo um andar por cima, por baixo ou ao lado do compartimento emissor, L_2), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, é descrito pela Equação (2.2).

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) [dB] \quad (2.2)$$

D_{nT} é medido entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (recepção), ou entre locais de circulação comum do edifício (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (recepção), ou entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (recepção).

O índice de nível sonoro de percussão padronizado, $L'_{nT,w}$, caracteriza o campo sonoro normalizado, no domínio da frequência, L'_{nT} , estabelecido num determinado compartimento

fechado, que é o nível sonoro médio (L_i) medido no compartimento recetor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, é descrito pela Equação (2.3).

$$L'_{nT} = L_i - 10 \text{Log} \left(\frac{T}{T_0} \right) [dB] \quad (2.3)$$

L'_{nT} é medido no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de outros fogos ou de locais de circulação comum do edifício (emissão), ou no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão).

Nas Tabelas 2.1 e 2.2 são apresentados de forma resumida os principais requisitos acústicos exigidos em edifícios habitacionais e mistos e em edifícios comerciais e de serviço, de acordo com o RRAE (Artigos 5º e 6º).

Tabela 2.1 – Requisitos acústicos exigidos em edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (nestas cada quarto equivale a um fogo) (Artigo 5º do RRAE) [10]

Alínea	Elemento/local	Mínimo Regulamentar
1 a)	Entre o exterior e quartos ou zonas de estar (fachadas com envidraçados)	$D_{2m,nT,w} + (C,Ctr) \geq 28$ dB – em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do art. 11 do RGR $D_{2m,nT,w} + (C,Ctr) \geq 33$ dB – em zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c) d) e e) do n.º 1 do art. 11 do RGR $D_{2m,nT,w} + (C,Ctr) \geq 36$ dB – quando se verifique o disposto no n.º 7 do art. 12 do RGR (zonas urbanas consolidadas com violação até 5 db(A) dos valores limite de exposição) C ou Ctr, somados a $D_{2m,nT,w}$, quando a área translúcida é superior a 60% do elemento de fachada (função do tipo de ruído dominante na emissão) – é a correção definida na EN ISO 717-1, função das características espectrais do ruído na emissão, a anexar ao índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea.
1b) e 1e)	Entre compartimentos de um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo	$D_{nT,w} \geq 50$ dB $L'_{nT,w} \leq 60$ dB
1c), 1e) e 1f)	Entre locais de circulação comum e quartos ou zonas de estar dos fogos	$D_{nT,w} \geq 48$ dB $D_{nT,w} \geq 40$ dB se a circulação comum for caminho vertical e existir elevador $D_{nT,w} \geq 50$ dB se a circulação comum for garagem de parqueamento automóvel $L'_{nT,w} \leq 60$ dB ou não se aplica se a circulação comum for caminho vertical e existir elevador
1d) e 1g)	Entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar dos fogos	$D_{nT,w} \geq 58$ dB $L'_{nT,w} \leq 50$ dB
5 e 6	Nas avaliações <i>in situ</i> destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos deve considerar-se:	+ 3 dB para $D_{2m,nT,w}$ e para $D_{nT,w}$ - 3 dB para $L'_{nT,w}$

Tabela 2.2 – Requisitos acústicos exigidos em edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (Artigo 6º do RRAE) [10]

Alínea	Elemento/local	Mínimo Regulamentar
1 a)	Entre o exterior e escritórios com $V \geq 100\text{m}^3$, refeitórios ou recintos públicos de restauração	$D_{2m,nT,w} + (C, C_{tr}) \geq 30 \text{ dB}$ – em zonas sensíveis em escritórios $D_{2m,nT,w} + (C, C_{tr}) \geq 25 \text{ dB}$ – em refeitórios ou recintos públicos de restauração C ou C_{tr} , somados a $D_{2m,nT,w}$, quando a área translúcida é superior a 60% do elemento de fachada (função do tipo de ruído dominante na emissão) – é a correção definida na EN ISO 717-1, função das características espectrais do ruído na emissão, a anexar ao índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea.
1b)	Entre quaisquer locais do edifício e escritórios ou recintos com vocação similar	$L'_{nT,w} \leq 60 \text{ dB}$
1c)	Tempo de reverberação médio (entre 500, 1000 e 2000 Hz), T, com mobiliário e sem ocupação	$T \leq 0,15xV^{1/3} \text{ [s]}$ em refeitórios ou recintos públicos de restauração $T \leq 0,15xV^{1/3} \text{ [s]}$ em escritórios com $V \geq 100\text{m}^3$
1d) e 1g)	Entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar dos fogos	$D_{nT,w} \geq 58 \text{ dB}$ $L'_{nT,w} \leq 50 \text{ dB}$
4 e 5	Nas avaliações <i>in situ</i> destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos deve considerar-se:	+ 3 dB para $D_{2m,nT,w}$ e para $D_{nT,w}$ - 3 dB para $L'_{nT,w}$ - 25% para T

A realização dos ensaios é efetuada conforme prescrito em diversas normas destacando-se:

NP EN ISO 140-4:2009 – Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição, *in situ*, do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos [11] – esta parte da norma NP EN ISO 140 estabelece os métodos para a medição, *in situ*, do isolamento sonoro de paredes interiores, pavimentos e portas, entre dois compartimentos, em condições de campo sonoro difuso, possibilitando, assim determinar as proteções adequadas para os ocupantes dos edifícios. Estes métodos permitem determinar os valores de isolamento sonoro a sons aéreos, que são dependentes da frequência. Estes valores de

isolamento podem ser traduzidos por um valor único (índice), que caracteriza o correspondente comportamento acústico, por aplicação da norma NP EN ISO 717-1.

NP EN ISO 140-5:2009 – Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição, *in situ*, do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada [12] – esta parte da norma NP EN ISO 140 prescreve dois grupos de métodos (métodos de elementos e métodos globais) para medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada. Os métodos de elementos destinam-se a avaliar a redução sonora de um elemento de fachada, por exemplo uma janela. Os métodos globais destinam-se a avaliar a diferença de nível sonoro exterior/interior nas condições reais de tráfego. Os métodos globais mais rigorosos utilizam o tráfego real como fonte sonora. Poderá também ser utilizado um altifalante como fonte sonora.

NP EN ISO 140-7:2008 – Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 7: Medição, *in situ*, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão [13] – esta parte da norma NP EN ISO 140 especifica um método para a medição, *in situ*, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão, utilizando uma máquina de percussão normalizada. O presente método aplica-se a pavimentos não revestidos ou com revestimentos de piso aplicados. Para a determinação do valor único (índice) deve ser aplicada a norma NP EN ISO 717-2.

NP EN ISO 140-14:2004 – Linhas de orientação para situações especiais *in situ* [14]. Esta norma contém linhas de orientação para a realização de medições do isolamento sonoro *in situ*, em situações especiais, não diretamente cobertas pelas normas NP EN ISO 140-4 e NP EN ISO 140-7. As linhas de orientação traduzem-se numa série de esquemas, com a localização das posições da fonte sonora e dos microfones de medição, para vários casos particulares.

NP EN ISO 3382-2:2011 – Acústica. Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes [15]. Esta parte da norma especifica métodos para a medição do tempo de reverberação de compartimentos usuais de modo a possibilitar: a correção

dos valores obtidos para níveis de pressão sonora relativos ao funcionamento de fontes sonoras; a correção das medições de isolamento sonoro e a comparação dos requisitos relativos ao tempo de reverberação em compartimentos. Neste contexto descreve o procedimento de medição, o equipamento necessário, o número de posições de medição e o método para avaliação dos dados e apresentação de resultados. Esta norma veio substituir a NP EN ISO 354.

Para a obtenção dos índices globais de isolamento (valor único), a partir das curvas em frequência, as normas aplicáveis são:

NP EN ISO 717-1:2009 – Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea [16]. Esta parte da norma define quantidades, o valor único (índice) de isolamento sonoro a sons de condução aérea em edifícios e de elementos de construção, como paredes, pisos, portas e janelas, leva em consideração o nível sonoro de diferente espectros de várias fontes de ruído, como fontes de ruído no interior do edifício e do tráfego no exterior do edifício, fornece regras para determinar estas quantidades a partir dos resultados de medições realizadas em bandas de terços de oitava ou oitava de acordo com a NP EN ISO 140-4 e NP EN ISO 140-5. Nesta norma constam dois termos de adaptação espectral, denominados por C e Ctr, que servem para ajustar o valor do índice em função do espectro em causa do ruído da emissão. A correção C aplica-se quando é emitido ruído rosa enquanto que a correção Ctr é aplicada quando é emitido ruído de tráfego rodoviário.

NP EN ISO 717-2:2009 – Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento sonoro a sons de percussão [17]. Esta parte da norma define quantidades, o valor único (índice) de isolamento sonoro a sons de percussão em edifícios e de pavimentos, fornece regras para determinar estas quantidades a partir dos resultados de medições realizadas em bandas de oitava, de acordo com a NP EN ISO 140-7. Nesta norma consta o termo de adaptação espectral, denominado por C_i , corresponde a “anexar” ao valor único do índice ($L_{n,w}$) uma correção que tenha em conta o nível de ruído de percussão, não ponderado, que representa o espectro característico provocado pela locomoção humana sobre qualquer tipo de pavimento.

Os ensaios acústicos de edifícios têm de ser realizados por entidades, que para além de terem de verificar o cumprimento do disposto nos regulamentos e nas normas, têm de estar acreditadas no âmbito do Sistema Português da Qualidade, nomeadamente pelo, Instituto Português de Acreditação (IPAC). A acreditação consiste na avaliação e reconhecimento da competência técnica de entidades para efetuar atividades técnicas específicas de avaliação da conformidade e serve para ganhar e transmitir confiança na execução dessas atividades, ao confirmar a existência de um nível de competência técnica mínimo, reconhecido internacionalmente.

Em 2009, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, ao abrigo das competências que lhe são atribuídas e no âmbito do disposto nos números 6 e 7 do artigo 3.º do DL 96/2008, de 9 de junho, publicou um documento técnico intitulado “Avaliação acústica/Critérios de Amostragem”, que foi atualizado em 2012, onde define os critérios gerais de amostragem para ensaios e medições acústicas, a utilizar na avaliação acústica dos edifícios, visando a verificação da sua conformidade com as disposições legais em vigor.

Neste documento são também definidos os conceitos de projetista e laboratório de ensaio, assim como é descrito o processo de avaliação acústica.

2.2. Equipamentos de medição

Para se efetuarem os ensaios acústicos referidos no ponto anterior são utilizados vários equipamentos de medição. De acordo com o DL 291/90 [18] e a portaria n.º 1069/89 os equipamentos a utilizar devem ser modelos homologados pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ). Os principais equipamentos são:

- sonómetro integrador (Figura 2.2), aparelho de medição sonora que mede pressões sonoras em tempo real por bandas de oitavas e terços de oitava com filtros. No caso da acústica de edifícios e de acordo com a norma NP EN ISO 1996 [19], o equipamento de medição deve ser da classe 1 (para utilização *in situ* quando o ambiente acústico se encontra controlado), conforme especificado nas BS EN 61672 -1 [20] e BS EN 61260 [21] ;



Figura 2.2 – Sonómetro integrador (Solo 01dB)

- calibrador da classe 1 (Figura 2.3) conforme especificado na EN 60942, este equipamento serve para verificação do equipamento de medição antes e depois da realização das medições;



Figura 2.3 – Calibrador da classe 1 (Rion NC-74)

- fonte sonora de emissão de ruído aéreo omnidireccional (Figura 2.4), este equipamento é composto pelo altifalante sonoro omnidireccional e pelo amplificador/gerador para fonte omnidireccional que assegura uma emissão omnidireccional do ruído reproduzido de 123 dB de potência acústica;



Figura 2.4 – Fonte sonora omnidireccional (Omni-12)

- máquina de impactos ou de percussão normalizada (Figura 2.5) consiste numa máquina que gera um ruído de impacto normalizado através de 5 martelos alinhados, cada um deles tem um peso de 500 gramas e caem livremente de uma altura de 40 mm, é apoiada em 3 pés de borracha ajustáveis.



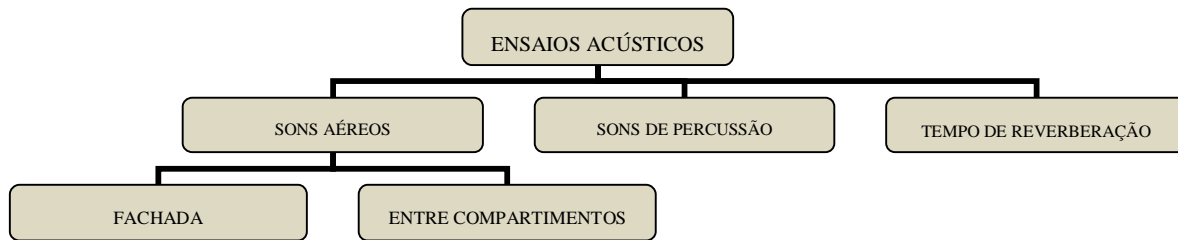
Figura 2.5 – Máquina de impactos ou de percussão normalizada (Retec Instruments RI069)

Estes equipamentos têm que ser sujeitos a controlo metrológico, que compreende três fases: 1ª - a aprovação do modelo por parte do IPQ, que normalmente fica a cargo dos fabricantes ou representantes da marca do equipamento; 2ª - a primeira verificação metrológica do equipamento de medição e do calibrador, antes de entrar ao serviço e 3ª - a verificação metrológica/calibração periódica. Estas duas últimas verificações ficam a cargo do proprietário do equipamento e são efetuadas em laboratório de calibração acreditado pelo IPAC (Instituto Português da Acreditação, pertencente ao IPQ).

2.3. Parâmetros acústicos

No âmbito deste trabalho, realizaram-se ensaios acústicos para a determinação de parâmetros acústicos. Os ensaios acústicos realizados aos edifícios dos casos de estudo são os seguintes: sons aéreos, sons de percussão e tempo de reverberação. Nos sons aéreos é efetuada a determinação do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas ($D_{2m,nT}$) e a determinação do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos (D_{nT}), nos sons de percussão é efetuada a determinação do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos (L'_{nT}) e tempo de reverberação (T) que determina o intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um compartimento fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial. A Tabela 2.3 sintetiza os ensaios acústicos efetuados.

Tabela 2.3 – Ensaio acústicos



2.3.1. Isolamento sonoro a sons aéreos

Um dos aspetos de maior importância no conforto acústico dos edifícios prende-se com o isolamento a sons aéreos, a atestar tanto pelos elementos constituintes das fachadas como pelo elemento de compartimentação interior. Os sons aéreos derivam da excitação direta do ar, por uma fonte sonora que, no caso dos edifícios, pode provir do exterior (ruído de tráfego, rodoviário ou aéreo) ou do interior (funcionamento de equipamentos coletivos ou individuais, conversação e atividade quotidiana). A fonte sonora possui características de emissão que podem variar no espaço e no tempo, consoante o tipo de fonte e a composição espectral. Os sons provenientes do exterior irão determinar o tipo de isolamento sonoro da envolvente do edifício e os sons interiores irão condicionar o isolamento que é necessário assegurar pelos elementos de compartimentação [22].

A composição espectral mais utilizada na experimentação acústica é o espectro de ruído rosa e o ruído branco. Um ruído branco é definido por um espectro com valor de nível de pressão sonora constante no domínio da frequência (com igual valor de densidade espectral), o ruído rosa é representado por um espectro em que o valor do nível de pressão sonora decresce de 3 dB para frequências que definam entre si um intervalo de uma oitava [22]. O ruído branco dá mais ênfase às frequências mais baixas, no ruído rosa os sons de baixa frequência são muito mais altos e a amplitude cai a um ritmo constante para cada oitava.

A determinação do isolamento sonoro a sons aéreos é efetuada *in situ*, através de medições acústicas, para verificar o isolamento entre fogos (tanto na horizontal como na vertical) e entre estes e o exterior. Se existirem unidades de comércio e serviços integradas no edifício, verifica-se o isolamento entre estes espaços e os fogos imediatamente adjacentes, seja na direção vertical (habitação subposta ou sobreposta) ou na horizontal (habitações contíguas).

A forma de determinação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos *in situ*, consiste na emissão de uma dada potência sonora num compartimento ou no exterior do edifício (fachada), utilizando para o efeito a fonte sonora omnidirecional e a medição dos níveis sonoros no compartimento emissor e recetor feitas através do sonómetro integrador, sendo o valor determinado através da Equação (2.1) ou (2.2), descritas anteriormente, consoante se trate de isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas ou de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos.

Os procedimentos, impostos pelas normas, para os ensaios de determinação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e entre compartimentos do edifício, são relativamente semelhantes. A principal diferença decorre do facto de, na análise de paredes interiores, se instalar nos compartimentos emissores fechados um campo sonoro difuso ou praticamente difuso, enquanto que no ensaio de determinação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas, a fonte sonora é colocada no exterior, não dando lugar a um campo sonoro difuso. Em ambos os ensaios, os níveis de pressão sonora no compartimento recetor são obtidos da mesma forma e são registados através de um sonómetro. Na Figura 2.6 está demonstrada a forma de transmissão do ruído aéreo através de uma estrutura rígida.

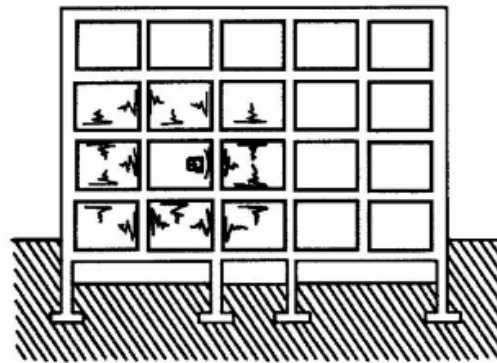


Figura 2.6 – Ruído aéreo [22]

Os ensaios são efetuados por bandas de terços de oitava entre as frequências centrais de 100 Hz e 3150 Hz. A quantificação do isolamento é efetuada a partir de um valor único, através dos índices $D_{2m,nT,w}$ ou $D_{nT,w}$, obtidos por ajustamento das curvas de isolamento $D_{2m,nT}$ ou D_{nT} de acordo com a técnica prescrita na norma NP EN ISO 717-1.

Os valores de $D_{2m,nT}$ e D_{nT} dependem dos níveis de pressão sonora médios medidos no compartimento recetor, corrigidos do ruído de fundo e do tempo de reverberação, do compartimento recetor.

Resumindo as medições *in situ* a efetuar são:

- nível de pressão sonora do ruído aéreo no exterior (fachada);
- nível de pressão sonora do ruído aéreo no compartimento emissor;
- nível de pressão sonora do ruído aéreo no compartimento recetor;
- nível de pressão sonora do ruído de fundo no compartimento recetor (é o ruído que se regista com a fonte sonora desligada, são ruídos existentes no local, impossíveis de eliminar, exteriores ao ensaio);
- tempo de reverberação, T_{20} , T_{30} ou T_{60} no compartimento recetor.

2.3.2. Isolamento sonoro a sons de percussão

Os sons de percussão resultam de uma ação de choque exercida diretamente sobre um elemento de compartimentação, que devido à rigidez das ligações existentes, se pode propagar com grande facilidade através de toda a malha estrutural do edifício estabelecendo campos sonoros intensos, em compartimentos muito distantes do compartimento de origem da excitação [22].

Os ruídos resultantes da percussão de pavimentos são os considerados como mais incomodativos. Na Figura 2.7 está demonstrada a forma de transmissão do ruído de impacto através de uma estrutura rígida.

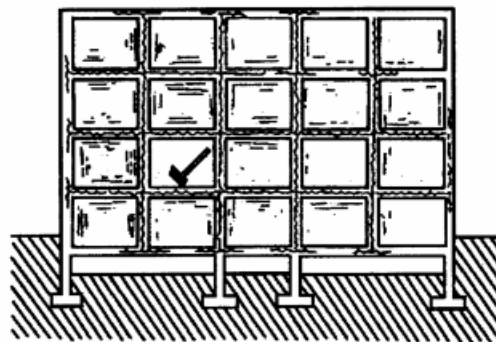


Figura 2.7 – Ruído de impacto [22]

A determinação *in situ* do índice de isolamento sonoro a sons de percussão consiste em percutir o pavimento num compartimento, através de um equipamento de geração de ruído de percussão (máquina de impactos ou de percussão normalizada), e a medição através de um sonómetro dos níveis sonoros no compartimento recetor, através da qual se determina o índice de isolamento sonoro. Se existirem unidades de comércio e serviços integradas no edifício, verifica-se o isolamento entre estes espaços e os fogos imediatamente adjacentes.

A metodologia a aplicar e a sua complexidade é praticamente a mesma, quer se trate de transmissão de cima para baixo, quando o pavimento percutido corresponde ao teto do compartimento recetor, quer se trate de transmissão lateral ou inversa, entre compartimentos do mesmo piso ou de baixo para cima (Figura 2.8).

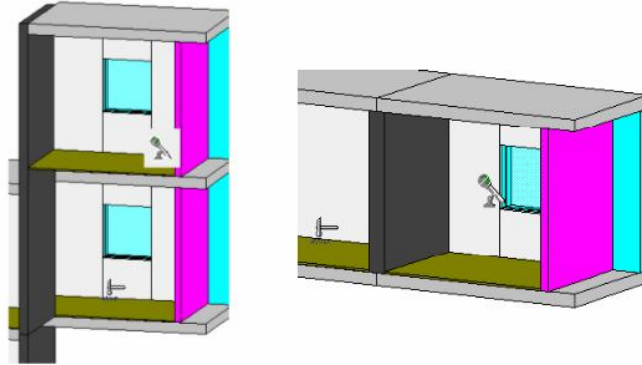


Figura 2.8 – Transmissão de baixo para cima e transmissão lateral [23]

Na perspetiva do cumprimento da legislação no que se refere a requisitos de isolamento em edifícios (RRAE), a transmissão por percussão de baixo para cima é sobretudo relevante quando o pavimento percutido não é térreo e quando o requisito de isolamento é elevado, como acontece por exemplo, em edifícios mistos com comércio, indústria, serviços ou diversão no r/c e habitação (quartos ou zonas de estar) no andar sobrejacente.

Com base na norma NP EN ISO 140-7, os ensaios são efetuados por bandas de terços de oitava entre as frequências centrais de 100 Hz e 3150 Hz. Posteriormente a partir deste conjunto de valores em frequência poderá ser obtido um valor único (índice $L'_{nT,w}$), através do ajustamento das curvas do nível sonoro padronizado L'_{nT} , a uma descrição convencional de referência, de acordo com a técnica prescrita na norma NP EN ISO 717-2.

Os valores de L'_{nT} dependem dos níveis de pressão sonora medidos no compartimento recetor, corrigidos do ruído de fundo e dos tempos de reverberação medidos no compartimento recetor.

Resumindo as medições *in situ* a efetuar são:

- nível de pressão sonora do ruído da máquina de percussão no compartimento recetor;
- nível de pressão sonora do ruído de fundo no compartimento recetor (é o ruído que se regista com a fonte sonora desligada, são ruídos existentes no local, impossíveis de eliminar, exteriores ao ensaio);
- tempo de reverberação, T_{30} , no compartimento recetor.

2.3.3. Tempo de reverberação

Sempre que uma onda sonora atinge qualquer elemento plano definidor dos espaços fechados (parede, pavimento ou envidraçado), uma parte da energia que lhe está associada é transmitida ao espaço adjacente, outra é refletida pelo elemento plano e outra é, ainda, dissipada nesse mesmo elemento, de acordo com o ilustrado na Figura 2.9.

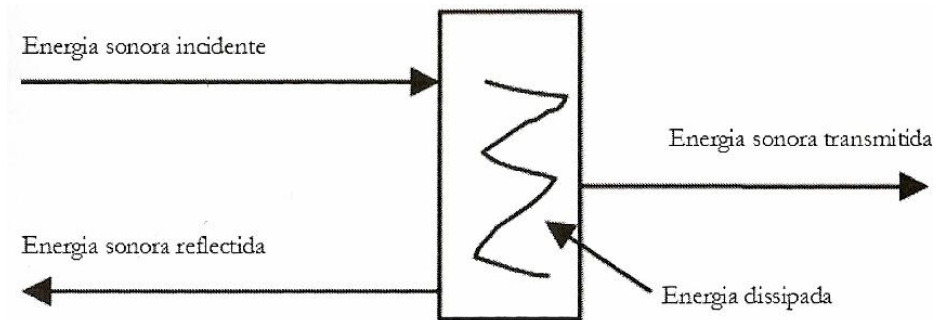


Figura 2.9 – Ilustração esquemática dos fluxos de energia na incidência de uma onda sonora num elemento separador plano [9]

O tempo de reverberação permite avaliar a qualidade acústica interior de espaços fechados. A obtenção de um ambiente sonoro agradável consegue-se através do seu ajustamento que depende da superfície e natureza das paredes, tipo de mobiliário e número de ocupantes, localização das fontes sonoras, espectro de frequência do som irradiado pela fonte sonora e volume do compartimento. Todos os materiais absorvem energia sonora, no entanto, há que saber escolher os materiais para dotar o espaço de uma boa qualidade acústica.

Existem dois métodos para o registo deste parâmetro: método da fonte interrompida e método da resposta impulsiva integrada. No âmbito deste trabalho o método usado nos ensaios realizados é o da fonte interrompida, que se resume à obtenção de curvas de decaimento (decréscimo do nível de pressão sonora em função do tempo, num determinado ponto do compartimento), após o sinal sonoro produzido pela fonte ter cessado. O tempo de reverberação é o tempo necessário para que a energia decaia 60 dB (T_{60}).

Em termos práticos como por vezes é difícil conseguir um decaimento de 60 dB, uma vez que seria necessário utilizar uma elevada potência sonora, é habitual determinar o tempo de reverberação com base num decaimento de 30 dB (multiplicando o respetivo tempo por 2, para cálculo do T_{60}) ou num decaimento de 20 dB (multiplicando o tempo por 3, para cálculo do T_{60}). Estes valores, já multiplicados pelas respetivas constantes para cálculo do T_{60} , passam a ser designados respetivamente por T_{30} e T_{20} , assumindo assim a linearidade do decaimento em

termos de pressão sonora. O fim do decaimento deve situar-se, no mínimo, 10 dB acima do nível do ruído de fundo. Assim sendo é possível determinar uma duração aparente de reverberação, inferior ao tempo de reverberação conforme a representação da Figura 2.10.

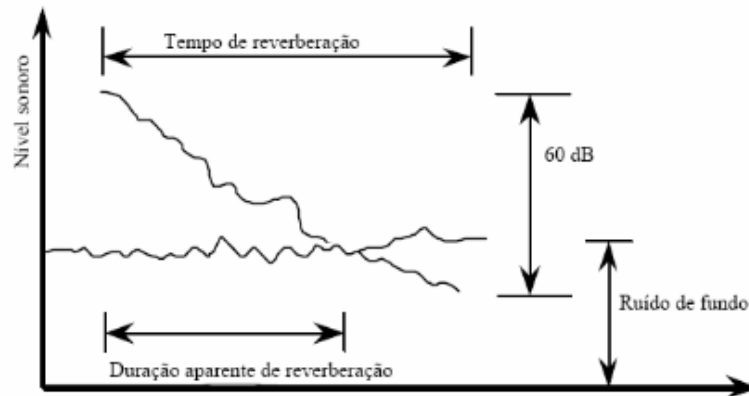


Figura 2.10 – Tempo de reverberação aparente [24]

Para que os valores do tempo de reverberação sejam fiáveis, as características da curva de decaimento do nível de pressão sonora devem ser tais que, depois desta queda de 20 ou 30 dB, o nível de pressão sonora seja ainda superior, em 10 dB, ao nível de ruído de fundo. Isto significa que a fonte sonora deverá produzir um nível sonoro no compartimento, no mínimo, superior em 30 dB ao nível de ruído de fundo, nas bandas de frequência correspondentes, conforme está definido na norma NP EN ISO 3382-2.

2.4. Ensaios acústicos

Para a realização dos ensaios acústicos é necessário obedecer a um conjunto de procedimentos, que têm como objectivo definir de forma clara, simples e inequívoca todos os passos e registos necessários para a correta realização do trabalho.

Antes de se iniciar um ensaio acústico deve-se recolher informações e elementos referentes ao edifício em análise, nomeadamente, os dados do proprietário, localização, plantas de arquitetura do edifício, projeto de condicionamento acústico (se houver), pois é fundamental definir quais os ensaios acústicos a que o edifício tem de ser submetido, escolher os compartimentos que vão ser utilizados como compartimento recetor e compartimento emissor, e as posições em que se vai colocar o equipamento.

Após o ensaio há que fazer a transferência das medições recolhidas para o software de análise acústica e elaborar o respetivo relatório.

2.4.1. Isolamento sonoro a sons aéreos

Detalham-se, em seguida, os primeiros procedimentos para a realização do ensaio acústico *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos.

O equipamento necessário para a realização deste ensaio é o sonómetro, o calibrador e a fonte sonora.

No local começa-se por verificar se o ensaio pode ser realizado nos compartimentos e nas posições do equipamento previstas.

Posteriormente deve garantir-se que o compartimento recetor se encontra isolado do exterior, devendo-se para o efeito fechar portas, janelas ou quaisquer orifícios para o exterior;

No início e no final de cada série de medições é necessário proceder ao ajuste do sonómetro. O valor obtido no final do conjunto de medições não pode diferir do inicial mais do que 0,5 dB. Quando esta diferença é excedida o conjunto de medições não é considerado válido e é repetido.

Para configurar o sonómetro tem que se efetuar o seguinte procedimento:

- definir a medição utilizando o filtro de terços de oitava;
- definir o tempo de medição por banda de 10 segundos;
- escolher a opção medição sem ponderação em frequência;
- selecionar a geração de ruído branco;
- colocar a constante de tempo de ataque e decaimento iguais a 125 ms, com bandas de terços de oitava entre 100 Hz e 3150 Hz;

A partir daqui os passos são diferentes para a realização do ensaio acústico *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada e do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos devendo seguir os procedimentos que em seguida se apresentam.

Ensaio acústico *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada (NP EN ISO 140-5:2009)

Medição do nível de ruído aéreo presente no exterior (fachada)

Para a medição do nível de ruído aéreo presente no exterior é necessário realizar os seguintes 5 procedimentos:

1 - Colocar a fonte sonora no solo no exterior do edifício frente à fachada objeto de análise. É definida uma posição para esta, tendo o cuidado de garantir que o ângulo entre a normal à fachada, definida no centro geométrico desta e a fonte sonora esteja compreendido entre 40° e 50° (Figura 2.11);

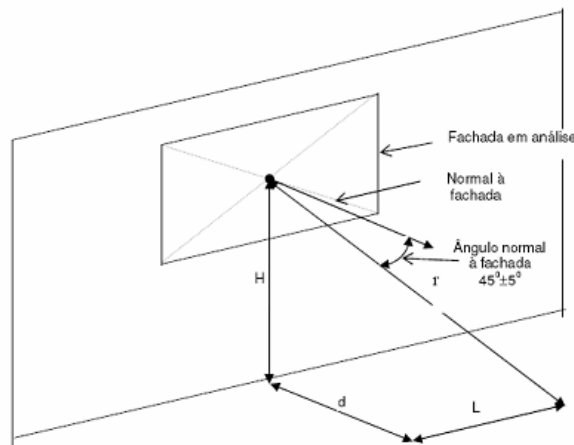


Figura 2.11 – Posição da fonte sonora [25]

$$0,63 < \frac{d}{\sqrt{d^2 + L^2 + H^2}} = \frac{d}{r} < 0,75 \quad (2.4)$$

ou, no caso de $L=0$;

$$0,84 \times H < d < H \times 1,91 \quad (2.5)$$

em que:

- r é a distância do centro da fachada até a fonte sonora, que deve ser ≥ 7 m;
- H é a cota a que se encontra o centro da fachada em relação à cota da fonte sonora;
- d é a distância medida, na perpendicular à fachada, entre a fonte sonora e a fachada, que deve ser ≥ 5 m;
- L é a distância, medida paralelamente à fachada e ao solo, entre a fonte sonora e o centro da fachada.

Sempre que possível, orientar a fonte na direção da fachada, e posicioná-la para que o campo sonoro na fachada seja o mais uniforme possível. Para este efeito minimiza-se a distância L e maximiza-se d e H definidas na alínea anterior. Há que ter o cuidado para que não se obtenha um valor de r demasiadamente elevado ao ponto de os níveis na fachada se aproximarem dos níveis do ruído de fundo (o “nível médio no compartimento recetor” - “ruído de fundo” > 6 dB). Caso a fachada tenha grandes dimensões ou estiver virada para mais que uma direção, deverão ser definidas mais posições de medição, de forma a cobrir esta uniformemente, tendo sempre o cuidado de garantir os pressupostos anteriores.

2 - Colocar o sonómetro no tripé e definir a sua posição no centro da face exterior da fachada, tendo o cuidado de garantir que:

- o sonómetro fique a uma distância de $2 \pm 0,20$ m do plano da fachada;
- a distância do sonómetro à fonte sonora seja de pelo menos 5m;
- a altura do sonómetro seja de 1,50 m do pavimento;
- o sonómetro esteja a 1 m de qualquer saliência na fachada, tal como varandas ou balcões, caso existam;
- respeitar a distância mínima de 0,70 m entre o corpo do técnico e o sonómetro.

3 - Ligar a fonte sonora na posição definida e deixar o campo sonoro estabilizar durante pelo menos 15 segundos;

4 - Efetuar 5 medições de 10 segundos cada;

5 - Desligar a fonte sonora.

Medição do nível de ruído aéreo presente no interior do compartimento recetor

Para a medição do nível de ruído aéreo presente no interior do compartimento recetor é necessário efetuar os seguintes passos:

1 - Colocar o sonómetro no interior do edifício, no compartimento recetor escolhido, tendo o cuidado de garantir que:

- o sonómetro esteja afastado das paredes, teto, pavimento e mobiliário de pelo menos 0,50 m;
- entre duas posições diferentes do sonómetro, haja pelo menos uma distância de 0,70 m.

- 2 - Ligar a fonte sonora na posição definida no exterior, e deixar o campo sonoro estabilizar durante pelo menos 15 segundos;
- 3 - Efetuar 5 medições de 10 segundos cada, para 5 posições do sonómetro;
- 4 - Desligar a fonte sonora.

Medição do nível de ruído de fundo presente no compartimento recetor

Para a medição do nível de ruído de fundo presente no compartimento recetor é necessário efetuar cinco medições, com a fonte sonora desligada, nas mesmas posições onde foram executadas as medições anteriores.

A Tabela 2.4 apresenta uma síntese das posições e medições para efetuar o ensaio acústico *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada.

Tabela 2.4 – Número de posições e medições (fachada)

Medições	Nº de posições da fonte sonora omnidirecional	Nº de posições do sonómetro	Nº total de medições
Ruído aéreo no compartimento emissor	1	1 (× 5 repetições)	5
Ruído aéreo no compartimento recetor	1 (no exterior)	5	5
Ruído de fundo	-	5	5
Tempo de reverberação	1	3 (× 2 decaimentos por posição de sonómetro)	6

Ensaio acústico *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos (NP EN ISO 140-4:2009)

Medição do nível de ruído aéreo presente no compartimento emissor

Para a medição do nível de ruído aéreo presente no compartimento emissor é necessário efetuar os seguintes cinco procedimentos:

- 1 - Colocar a fonte sonora dentro do edifício no compartimento emissor, garantindo que:

- a fonte sonora esteja afastada das paredes pelo menos 0,50 m;
- entre duas posições diferentes da fonte, tem de haver pelo menos uma distância de 0,70 m;
- não deve haver posições da fonte no mesmo plano paralelo a elementos da envolvente do compartimento.

2 - Colocar o sonómetro no interior do edifício, no compartimento emissor escolhido, tendo o cuidado de garantir que:

- o sonómetro esteja afastado das paredes, teto, pavimento e mobiliário de pelo menos 0,50 m;
- entre duas posições diferentes do sonómetro, haja pelo menos uma distância de 0,70 m;
- entre o sonómetro e a fonte sonora tem de haver uma distância mínima de 1 m.

3 - Ligar a fonte sonora e deixar o campo sonoro estabilizar durante pelo menos 15 segundos;

4 - Efetuar 10 medições de 10 segundos cada, para 5 posições do sonómetro;

5 - Desligar a fonte sonora.

Medição do nível de ruído aéreo presente no compartimento recetor

Para a medição do nível de ruído aéreo presente no compartimento recetor é necessário realizar as seguintes quatro etapas:

1 - Colocar o sonómetro no compartimento recetor escolhido, tendo o cuidado de garantir que:

- o sonómetro esteja afastado das paredes, teto, pavimento e mobiliário de pelo menos 0,50 m;
- entre duas posições diferentes do sonómetro, haja pelo menos uma distância de 0,70 m.

2 - Ligar a fonte sonora, que está no compartimento emissor, e deixar o campo sonoro estabilizar durante pelo menos 15 segundos;

3 - Efetuar 10 medições de 10 segundos cada, para 5 posições do sonómetro;

4 - Desligar a fonte sonora.

Medição do nível de ruído de fundo presente no compartimento recetor

Para a medição do nível de fundo presente no compartimento recetor é necessário efetuar 5 medições, com a fonte sonora desligada, nas mesmas posições onde foram realizadas as medições anteriores.

A Tabela 2.5 apresenta uma síntese do ensaio acústico *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos.

Tabela 2.5 – Número de posições e medições (entre compartimentos)

Medições	Nº de posições da fonte sonora omnidirecional	Nº de posições do sonómetro	Nº total de medições
Ruído aéreo no compartimento emissor	2	5	10
Ruído aéreo no compartimento recetor	2 (no emissor)	5	10
Ruído de fundo	0	5	5
Tempo de reverberação	1	3 (× 2 decaimentos por posição de sonómetro)	6

2.4.2. Isolamento sonoro a sons de percussão

O procedimento para a realização do ensaio acústico *in situ* do isolamento sonoro a sons de percussão, baseia-se na NP EN ISO 140-7:2008.

O equipamento necessário para a realização deste ensaio é o sonómetro, o calibrador, a fonte sonora e a máquina de percussão.

No local deve começar-se por verificar se o ensaio pode ser realizado nos compartimentos e nas posições do equipamento previstas.

No início e no final de cada série de medições deve proceder-se ao ajuste do sonómetro. O valor obtido no final do conjunto de medições não pode diferir do inicial mais do que 0,5 dB. Quando esta diferença é excedida o conjunto de medições não é considerado válido e é repetido;

Efetuar a configuração do sonómetro da seguinte forma:

- colocar a medição utilizando o filtro de terços de oitava;
- definir o tempo de medição por banda de 10 segundos;
- escolher a medição sem ponderação em frequência;
- ajustar a constante de tempo de ataque e decaimento iguais a 125 ms, com bandas de terços de oitava entre 100Hz e 3150 Hz.

Medição do nível de ruído aéreo da máquina de percussão presente no compartimento emissor

Para a medição do nível de ruído aéreo da máquina de percussão presente no compartimento emissor é necessário proceder ao seguinte:

1 - Colocar a máquina de percussão dentro do edifício no compartimento emissor, garantindo que:

- a máquina de percussão deve estar afastada das paredes pelo menos 0,50 m;
- a máquina de percussão deve ser posicionada num ângulo de 45° relativamente às vigas principais da laje;
- nenhum dos martelos deve bater em cima de qualquer tipo de junta existente no pavimento;
- se o pavimento a analisar for composto por revestimentos moles deve-se garantir que os martelos caem 4 mm abaixo do plano que os suportam quando estes estão em repouso;
- se o pavimento em análise for muito irregular não garantido os 40 mm de queda livre dever-se-á elevar a máquina de percussão até que este requisito seja cumprido.

2 - Ligar a máquina de percussão e esperar que estabilize;

3 - Numa posição da máquina de percussão efetuar 5 medições para 5 posições do sonómetro;

4 – Desligar a máquina de percussão.

Medição do nível de ruído de percussão presente no compartimento recetor

Para a medição do nível de ruído de percussão presente no compartimento recetor é necessário efetuar os seguintes quatro procedimentos:

- 1 - Colocar o sonómetro no compartimento recetor, tendo o cuidado de garantir que:
 - o sonómetro esteja afastado das paredes, teto, pavimento e mobiliário pelo menos 0,50 m;
 - entre duas posições diferentes do sonómetro, haja pelo menos uma distância de 0,70 m.
- 2 - Ligar a máquina de percussão, que está posicionada no compartimento emissor, e esperar que estabilize;
- 3 - Em quatro posições da máquina de percussão efetuar 8 medições para 4 posições do sonómetro;
- 4 - Desligar a máquina de percussão.

Medição do nível de ruído de fundo presente no compartimento recetor

Para a medição do nível de ruído de fundo presente no compartimento recetor é necessário executar os seguintes procedimentos:

- 1 - Colocar o sonómetro no compartimento recetor, tendo o cuidado de garantir que:
 - o sonómetro esteja afastado das paredes, teto, pavimento e mobiliário pelo menos 0,50 m;
 - entre duas posições diferentes do sonómetro, haja pelo menos uma distância de 0,70 m.
- 2 - Com a máquina de percussão desligada efetuar 5 medições de 10 segundos cada, para 5 posições do sonómetro.

A Tabela 2.6 apresenta uma síntese do ensaio acústico *in situ* do isolamento sonoro a sons de percussão, terminando assim o procedimento.

Tabela 2.6 – Número de posições e medições (percussão)

Medições	Nº de posições da máquina de percussão/fonte sonora	Nº de posições do sonómetro	Nº total de medições
Ruído aéreo da máquina de percussão no compartimento emissor	1	5	5
Ruído de percussão no compartimento recetor	4	4	8
Ruído de fundo	-	5	5
Tempo de reverberação	1	3(× 2 decaimentos por posição de sonómetro)	6

2.4.3. Tempo de reverberação

O tempo de reverberação é necessário para a determinação do ensaio do isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão, descritos anteriormente.

O procedimento para a medição *in situ* do tempo de reverberação, baseia-se na EN 3382-2.

Medição do tempo de reverberação do compartimento recetor

Para a medição do tempo de reverberação do compartimento recetor é necessário proceder às seguintes etapas:

1 - Colocar a fonte sonora dentro do edifício no compartimento recetor, garantindo que:

- a fonte sonora esteja afastada das paredes pelo menos 0,50 m;
- entre duas posições diferentes da fonte, tem de haver pelo menos uma distância de 0,70 m;
- entre a posição do microfone e a fonte sonora, tem de haver pelo menos uma distância de 1 m.

2 - Colocar o sonómetro no compartimento recetor, tendo o cuidado de garantir que:

- o sonómetro esteja afastado das paredes, teto, pavimento e mobiliário pelo menos 1 m;
- entre duas posições diferentes do sonómetro, haja pelo menos uma distância de 2 m.

3 - Ligar a fonte sonora na posição definida, e deixar o campo sonoro estabilizar durante pelo menos 15 segundos;

4 - Em duas posições da fonte sonora efetuar 6 medições para 3 posições do sonómetro (a medição do tempo de reverberação deve ser iniciada depois da fonte sonora ser desligada).

2.5. Reabilitação acústica de edifícios

O Regime Jurídico da Reabilitação Urbana (RJRU), aprovado pelo DL 307/2009, de 23 de outubro e alterado pela Lei n.º 32/2012, de 14 de agosto, define reabilitação de edifícios como «a forma de intervenção destinada a conferir adequadas características de desempenho e de segurança funcional, estrutural e construtiva a um ou a vários edifícios, às construções funcionalmente adjacentes incorporadas no seu logradouro, bem como às fracções eventualmente integradas nesse edifício, ou a conceder-lhes novas aptidões funcionais, determinadas em função das opções de reabilitação urbana prosseguidas, com vista a permitir novos usos ou o mesmo uso com padrões de desempenho mais elevados, podendo compreender uma ou mais operações urbanísticas» (alínea (i), do art.º 2.º).

O Instituto Nacional de Estatística (INE) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) promoveram a realização de um estudo sobre o parque habitacional português na perspetiva da sua reabilitação [26], a partir dos resultados definitivos do XV Recenseamento Geral da População e V Recenseamento Geral da Habitação (Censos 2011) que constitui uma oportunidade relevante para avaliar as transformações ocorridas nas últimas décadas no património edificado em Portugal.

Esse estudo revela que:

- as elevadas taxas de crescimento do parque habitacional português durante as últimas décadas fizeram com que, em 2011, uma parte significativa dos edifícios existentes fosse relativamente recente. Do total de edifícios clássicos (edifícios cuja estrutura e materiais empregues tem um carácter não precário e duração esperada de 10 anos pelo menos) existentes em 2011 (3.544.389), os construídos a partir de 1971 constituíam 63,1% deste parque habitacional. Estes edifícios distribuíram-se de forma aproximadamente uniforme por cada uma das décadas, sendo contudo de assinalar uma tendência de ligeira redução do número de edifícios nas últimas décadas. Os edifícios construídos entre 1946 e 1970 representavam 22,5% do parque

habitacional português e os edifícios anteriores a 1946 representavam os restantes 14,4% (Figura 2.12).

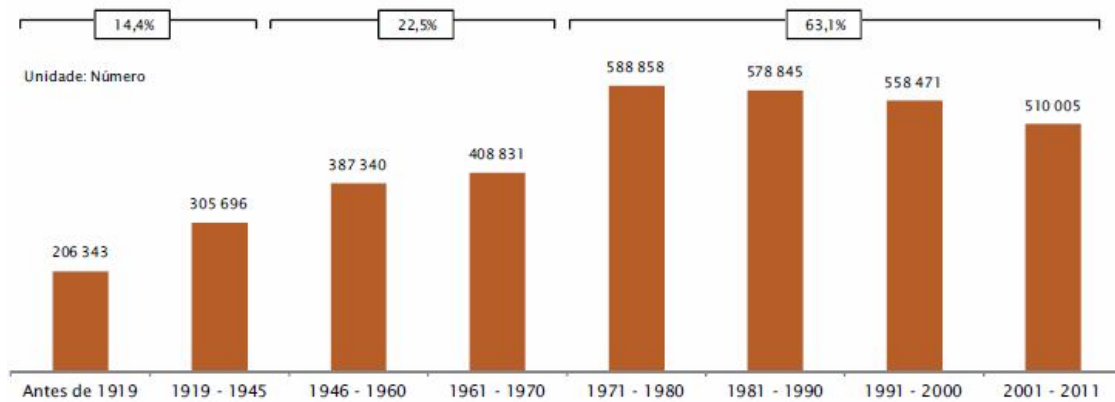


Figura 2.12 – Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício [26]

- relativamente ao estado de conservação dos edifícios, revela que dos 3.544.389 edifícios existentes no país, apenas 1,7% dos edifícios se encontravam muito degradados e 27,3% (dado atualizado em 03/04/2013) necessitavam de reparações. A maioria dos edifícios, 71% que correspondem a 2.519.452 encontravam-se em bom estado de conservação e não necessitavam de reparações. Estes resultados são consequência direta de um parque habitacional pouco envelhecido, reflexo da dinâmica construtiva das últimas décadas. (Figura 2.13).

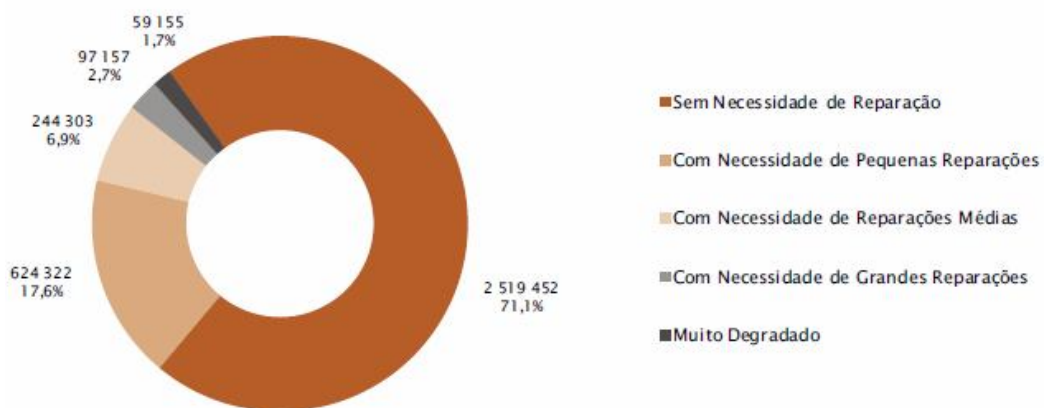


Figura 2.13 – Número de edifícios clássicos segundo o estado de conservação [26]

Nos últimos dez anos verificou-se uma melhoria muito significativa destes indicadores. Em 2001, 3% dos edifícios apresentavam-se muito degradados e 38% tinham necessidades de reparação. Apesar da melhoria do estado de conservação, em 2011 subsistiam cerca de 1 milhão

de edifícios do parque habitacional que necessitavam de intervenção. O estado de conservação dos edifícios era aproximadamente uniforme nas diferentes regiões do País, mas melhorava de forma gradual e acentuada nos edifícios cuja época de construção era mais recente.

- no que respeita aos materiais utilizados na construção, em 2011, 48,6% dos edifícios tinha estrutura de betão armado, 84% tinha revestimento exterior das paredes em reboco tradicional ou marmorite e 93,1% tinha cobertura inclinada revestida a telhas cerâmicas ou de betão. Entre 2001 e 2011 estas soluções construtivas reforçaram a sua prevalência no parque habitacional português.

- o estado de conservação dos edifícios com estrutura de betão armado ou em paredes de alvenaria com placa era substancialmente melhor que o dos edifícios com estrutura em paredes de alvenaria sem placa, de alvenaria de pedra solta ou de adobe. A proporção de edifícios sem necessidade de reparação foi 80,7% nos edifícios com estrutura de betão armado e 75,5% nos edifícios com estrutura em paredes de alvenaria com placa. Esta proporção diminuiu para 40,9% nos edifícios com estrutura em paredes de alvenaria sem placa e 38,5% nos edifícios com estrutura em paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe. Em contrapartida, a proporção de edifícios muito degradados ou que necessitava de grandes reparações foi 1,4% nos edifícios com estrutura de betão armado e 1,9% nos edifícios com estrutura em paredes de alvenaria com placa. Esta proporção aumentou para 14% nos edifícios com estrutura em paredes de alvenaria sem placa e 20,6% nos edifícios com estrutura em paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe (Figura 2.14).

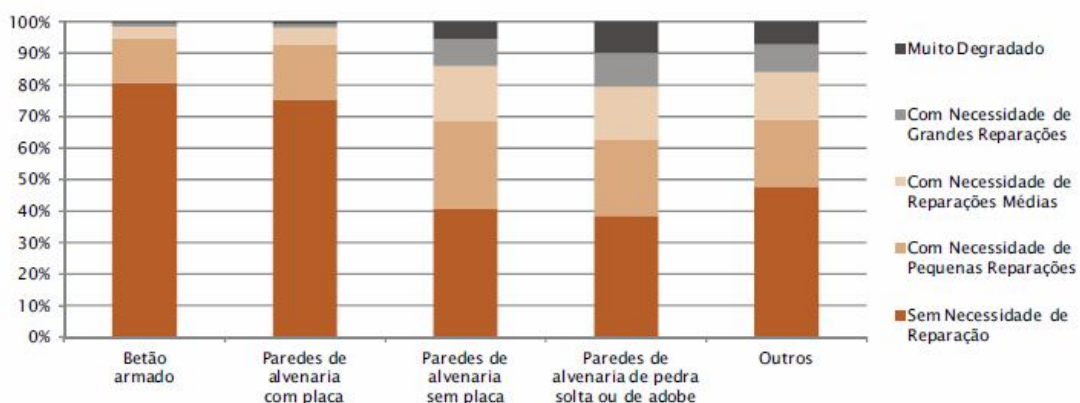


Figura 2.14 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação do edifício, por tipo de estrutura de construção [26]

A conservação, recuperação e readaptação das zonas urbanas históricas tem sido identificada como uma prioridade ao nível das políticas públicas de habitação, motivo pela qual, em 2004, foi criado um regime jurídico excecional de reabilitação dessas zonas, que possibilitou, entre outras medidas, a criação de Sociedades de Reabilitação Urbana (SRU). A possibilidade de criação de SRU foi assim concedida aos municípios, isoladamente ou de iniciativa intermunicipal, com o intuito de promover, mediante decisão dos órgãos do(s) município(s), o procedimento de reabilitação urbana. Em 2011, de acordo com os resultados do Inquérito à Caracterização da Habitação Social, existiam 13 Sociedades de Reabilitação Urbana (SRU) em Portugal, sendo uma delas intermunicipal. A SRU intermunicipal abrangia 9 municípios da região do Alentejo. Assim, apesar do maior número de SRU se ter registado na região Centro (6 SRU), do total de 21 municípios abrangidos por SRU, a região do Alentejo reunia o maior número de municípios (11). As regiões autónomas não tinham SRU.

Nos municípios com SRU e entre 2006 a 2011, verificou-se uma diminuição do número de edifícios e fogos licenciados em obras de reabilitação (i.e., ampliação, alteração e reconstrução). Em 2011 foram licenciados metade dos fogos de reabilitação face ao que havia sido licenciado em 2006, sendo a tendência de diminuição pontualmente contrariada nos anos de 2008 e 2011. A diminuição do número de edifícios licenciados em obras de reabilitação no período em análise foi mais reduzida, tendo sido em 2011 licenciados -11% face ao que havia sido licenciado em 2006. Também se verificou uma alteração da tendência de diminuição do número de edifícios licenciados nos anos de 2009 e 2011.

No mesmo período, para os restantes municípios do País onde não existiam SRU, verificou-se também um decréscimo tanto ao nível dos edifícios como dos fogos licenciados para reabilitação. Entre 2006 e 2011 registou-se uma diminuição de 29,8% do número de fogos e de 25,0% do número de edifícios licenciados em obras de reabilitação. Nos municípios sem SRU, o número de edifícios foi superior ao número dos fogos licenciados em obras de reabilitação, contrariamente ao que se verificou nos municípios com SRU.

Numa análise por tipo de obra de reabilitação, verifica-se que nos municípios com SRU predominavam as obras de ampliação e alteração (97,1% do total de edifícios licenciados em obras de reabilitação, no ano 2011).

Nos municípios sem SRU predominavam as obras de ampliação, que, em 2011, corresponderam a 76,7% dos edifícios licenciados em obras de reabilitação.

Adicionalmente importa referir que, do total de edifícios licenciados em obras de reabilitação no ano 2011, cerca de 67% destinavam-se a habitação, pelo que os restantes 33% respeitavam a obras com destinos diferentes, não sendo portanto exetável que contenham fogos associados.

A diferenciação do tipo de obras de reabilitação predominantes nos municípios com e sem SRU reflete-se ao nível dos fogos licenciados. Assim, e inerente à definição de obras de alteração, verifica-se que nos municípios com SRU (onde predominou este tipo de obras), o número total de fogos licenciados para reabilitação foi bastante superior ao número de edifícios, consistindo fundamentalmente em fogos licenciados para obras de alteração. Por outro lado, é importante referir que os municípios com maior construção em altura são detentores de SRU, sendo portanto exetável que as obras de reabilitação aí licenciadas incidam de forma significativa em edifícios com mais do que um fogo.

A reabilitação acústica é efetuada em edifícios, principalmente nos destinados a uso habitacional e misto, os quais integram espaços habitacionais e zonas de comércio e serviços, que sejam alvos de ações de recuperação, remodelação e/ou reconversão, enquadráveis no preconizado pela Portaria n.º 232/2008, de 11 de março, que consagra um conjunto de exigências processuais associadas aos atos de licenciamento. As obras com licenciamento têm uma reabilitação acústica obrigatória conforme o disposto no DL 9/2007, de 11 de março que estabelece disposições específicas para as operações urbanísticas, e nas obras sem licenciamento a reabilitação acústica é integrada em objetivo programático definido pelo promotor, utente, construtor, com declarada competência para o efeito, ou então por entidade licenciadora [9].

Atualmente a reabilitação de edifícios é reconhecida como uma necessidade nacional para a qual convergem oportunidades para o desenvolvimento económico, a defesa e salvaguarda de bens culturais e patrimoniais, a melhoria das condições de vida, a redução de consumos energéticos bem como a dinamização social [27].

A reabilitação acústica de edifícios permite o uso eficiente do edificado em termos de conforto acústico, com estas intervenções pretende-se dotar o edifício de exigências superiores àquelas que este possuía anteriormente. Se tivermos em conta que a maioria destes edifícios foram edificados antes da entrada em vigor de qualquer legislação nesta área a intervenção de reabilitação acústica melhora muito o seu desempenho. Na maioria dos países europeus os

investimentos globais nestas intervenções superam hoje os montantes gastos na construção de novas habitações [28].

O projeto de reabilitação acústica de edifícios deve ser efetuado por técnicos ou entidades competentes. Para se efetuar o projeto é necessário proceder-se a um diagnóstico acústico, que deve compreender os seguintes aspetos:

- análise cuidadosa do edifício, em particular para as características acústicas, incluindo, se necessário, um levantamento das soluções construtivas dos espaços e uma análise dos elementos estruturais;
- medições *in situ* dos espaços do edifício, no âmbito da acústica;
- comparação dos resultados das medições com os valores que se considera natural obter como resultados, eventualmente recorrendo a processos de modelação analítica (com a utilização de software fiável);
- listagem dos trabalhos de condicionamento acústico, com indicações dos resultados estimados e dos custos previsíveis. Deve ter-se em conta, como regra de apreciação geral, que não se deve efetuar qualquer ação de melhoramento cujo resultado se traduza numa atenuação inferior a 5 dB(A) relativamente à situação preexistente para ruído propagado no exterior, com origem em outros espaços do edifício [29].

Por outro lado, a reabilitação acústica de edifícios para que seja eficaz deve ter em consideração, para além do conforto acústico, a dimensão térmica e de ventilação, já que uma abordagem em torno unicamente do isolamento sonoro dos elementos pode ter consequências negativas ao nível da qualidade do ar interior e do aparecimento de patologias associadas à humidade [30].

2.5.1. Técnicas e materiais utilizados para o controlo de ruído aéreo e de percussão

A propagação do ruído exterior para o interior dos edifícios/frações põe em causa diversos elementos, nomeadamente, as paredes, as janelas e portas, a cobertura/tetos e as aberturas para admissão ou rejeição de ar de ventilação.

Neste ponto são apresentadas soluções de materiais isolantes e absorventes sonoros, para a reabilitação acústica de edifícios.

Os sistemas acústicos estão divididos em:

- materiais texturados (porosos ou fibrosos);
- membranas ressonantes;
- ressoadores de cavidade.

Designam-se por materiais texturados os que apresentam uma superfície cuja textura potencie a absorção de energia sonora. Exemplos destes materiais são as lãs minerais, os aglomerados de cortiça, as massas porosas, as alcatifas e os tecidos.

As membranas ressonantes funcionam como sistemas absorventes sonoros mediante mecanismos complexos em que intervêm a ressonância destes sistemas e, possivelmente, as características de porosidade do material. São constituídas por uma placa flexível separada de uma base de suporte, vertical ou horizontal, através de apoios.

Ressoador de cavidade é um sistema de absorção sonora cujos mecanismos de absorção são semelhantes aos das membranas ressonantes, sendo também gerados para que a sua absorção seja máxima numa determinada frequência. Os ressoadores consistem na colocação de um painel perfurado a alguma distância de um elemento de suporte, vertical ou horizontal, rígido.

De um modo geral, os materiais texturados absorvem energia sonora nas frequências altas, as membranas ressonantes nas frequências baixas e os ressoadores de cavidade nas frequências médias. Para cada caso concreto, há que estudar qual a solução mais adequada.

Relativamente ao isolamento a ruído aéreo é dada especial atenção às paredes dos edifícios e aos seus elementos heterogéneos, como portas, janelas e caixas de estore, e ao isolamento a ruído de percussão os pavimentos e teto.

Paredes

As paredes são na construção tradicional em alvenaria corrente de tijolo furado de barro vermelho. Estas alvenarias não apresentam boas propriedades acústicas.

A melhoria do isolamento sonoro destas paredes implica a sua duplicação seja por divisórias de massa por unidade de área elevada, como por exemplo alvenaria de tijolo ou por divisórias leves constituídos por painéis de gesso cartonado ou outros.

Os materiais mais utilizados para absorção acústica são os que se aplicam diretamente sobre estas, tais como:

- lãs (por exemplo: painéis rígidos ou semi-rígidos ou mantas de lã mineral de vidro, de lã sintética e de lã mineral de rocha);
- cortiça e derivados (por exemplo: aglomerado negro de cortiça);
- massas porosas com fibras minerais ou granulados minerais e aglutinantes apropriados.

Estes materiais podem ser aplicados sobre a parede, por colagem, por fixação metálica ou por projeção sobre a superfície. A absorção sonora é função da massa volúmica e da espessura do material absorvente sonoro. É importante ter em conta as vantagens e desvantagens de cada tipo de solução [29].

A correção acústica em termos das paredes exige normalmente níveis de intrusão e perda de espaço interior pela colocação de painéis de gesso cartonado ou soluções similares. Estes devem estar fixos aos pavimentos e tetos e não possuírem ligações às paredes existentes [31].

Teto

Nos tetos as características mais relevantes são a massa, o isolamento à passagem de ar, bem como a constituição e o modo de instalação de tetos falsos, se for o caso.

As lajes maciças cumprem normalmente os requisitos em termos de condicionamento acústico de ruídos aéreos, mas em zonas particularmente afetadas por ruído pode ocorrer a necessidade de escolher soluções para aumentar o isolamento, por exemplo com a instalação de tetos falsos, obviamente que a implementação deste implica a existência de um pé-direito suficientemente elevado, pois é necessária uma separação entre o teto falso e a face inferior do pavimento já existente no mínimo de 0,15 m.

Os tetos falsos são elementos utilizados para permitir a passagem de instalações técnicas, por questões de estética e também para melhorar o isolamento sonoro entre fogos do edifício. São frequentemente aplicados em suportes metálicos fixos ao pavimento de base e são constituídos normalmente por painéis perfurados (membrana ressonante) compostos de placas de gesso cartonado, por vezes são também introduzidos materiais absorventes sonoros no espaço de ar formado pelo teto falso. Os materiais absorventes sonoros utilizados com maior frequência são materiais porosos do tipo lãs minerais. No mercado existem também painéis compostos, em que, entre as placas de gesso cartonado, são aplicados elementos resilientes.

As massas porosas para além de se aplicarem por projeção em paredes também se aplicam em tetos, são uma boa solução para aplicar em locais sujeitos a grandes variações de humidade relativa do ar ou a condensações de vapor de água.

Heterogeneidades

As heterogeneidades, janelas, caixas de estore e portas introduzem debilidades acústicas nas paredes dos edifícios.

As janelas dos edifícios constituem heterogeneidades da fachada que diminuem o isolamento desta, o desempenho acústico das paredes exteriores depende sempre da área e tipo de envidraçados.

O isolamento conferido por uma janela vai depender do tipo de vidro e caixilho, em termos essencialmente de estanquidade ao ar, dos elementos de suporte dos vidros e das propriedades isolantes dos panos envidraçados utilizados, para se assegurar um isolamento elevado a vedação de frinchas deve estar corretamente efetuada.

Numa janela comum, ocorrem juntas entre elementos fixos entre si, ou seja, entre a alvenaria e o aro, e também entre elementos que devem mover-se um relativamente ao outro, por exemplo entre o aro e o caixilho bem como entre o aro e a parede e outros elementos singulares.

As frinchas entre elementos que não têm movimento relativo entre si deverão ser preenchidas por material elástico e absorvente sonoro e seladas, em ambas as faces, por material resiliente vedante. E as frinchas que ocorrem entre os vidros e a estrutura do caixilho que os suporta deverão ser seladas com uma banda de silicone, por exemplo [29].

Existem vários tipos de envidraçados, mas de um modo geral, é o vidro duplo, mas com panos de espessuras diferentes, que apresenta maiores índices de isolamento. A utilização de vidros laminados em envidraçados duplos com caixa de ar com profundidade adequada e provida de material absorvente sonoro é uma mais valia na melhoria do isolamento sonoro dos envidraçados.

Tal como sucede com as janelas, a colocação de uma porta pode afetar significativamente o isolamento sonoro de uma parede envolvente de um compartimento. Existem no mercado nacional portas com boas características acústicas que asseguram um bom desempenho acústico.

As caixas de estore interiores que equipam a maioria das janelas, constituem um fator de redução do isolamento sonoro. Para melhorar esse isolamento deve ser aplicado no interior da caixa do

estore um revestimento absorvente sonoro. Existem no mercado vários modelos de caixas de estore que já vêm com isolamento [29].

As portas devem possuir uma massa adequada, por vezes conseguida com recurso à incorporação de lâminas metálicas, um amortecimento interno apropriado com integração de elementos resilientes e também uma vedação eficaz das frinchas de todo o seu contorno. De acordo com QUIRT [32], juntas de borracha ou neoprene comprimido entre a porta e o quadro são bastante eficazes, mas pode aumentar o esforço necessário para fechar a porta. Existem no mercado nacional vários tipos de portas compostas por matérias absorventes acústicos.

Pavimentos

A melhoria do desempenho de pavimentos relativamente ao impacto é conseguida através da introdução de camadas flutuantes, que consistem na intercalação, entre o piso existente e o revestimento do piso, de uma camada de material resiliente com capacidade para amortecer as vibrações geradas pelo impacto resultante da queda de objetos ou da locomoção humana. Existem no mercado vários materiais resilientes tais como cortiças e derivado da cortiça, lãs minerais, borrachas e polietilenos.

Há ainda a solução de utilizar revestimentos resilientes como são: pavimentos flutuantes em madeira (Figura 2.15), revestimentos de piso flexíveis (vinílicos e linóleos de base flexível, revestimentos em aglomerado de cortiça) e lajes flutuantes em betão armado (Figura 2.16), por se tornarem mais leves e não sobrecarregarem os elementos estruturais.

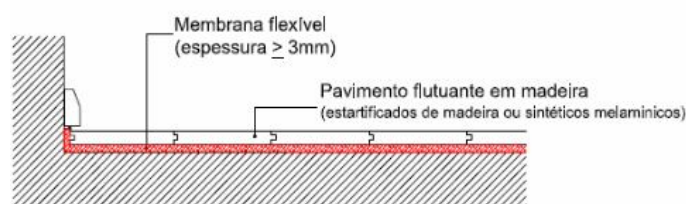


Figura 2.15 – Pavimentos flutuantes em madeira [10]

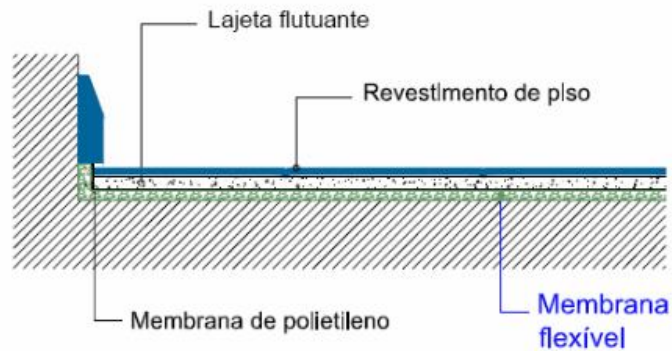


Figura 2.16 – Lajes flutuantes em betão armado [10]

Os critérios de seleção para além da consideração da componente acústica, devem ter também em consideração outros fatores como, o custo do material, da instalação, da manutenção, a resistência, auto-sustentação, a adaptação aos sistemas de energia elétrica, iluminação, aquecimento e refrigeração, a estética, entre outros.

Tendo em conta os casos de estudo deste trabalho, interessa referir no encadeamento do apresentado, e numa linha de inventariação de possíveis ações corretivas, na Tabela 2.7 apresenta-se uma possível e orientativa análise associada a um processo de reabilitação.

Tabela 2.7 – Quadro-exemplo de resumo de intervenções [9]

PROBLEMA	AÇÕES A IMPLEMENTAR
Isolamento sonoro de fachada	Substituição da janela simples por janela dupla, com calafetação de pontos de elevada permeabilidade ao ar (caixas de estore, etc.).
Isolamento a sons aéreos entre frações, na horizontal	Duplicação de parede com recurso a sistema aligeirado, apoiado em prumos metálicos, e como minimização de pontos rígidos
Isolamento a sons aéreos entre frações, na vertical	Aplicação de teto falso com material absorvente sonoro no tardo, apoiado em suspensores elásticos.
Isolamento a sons de percussão entre frações	Aplicação de solução de revestimento de piso resiliente ou sistema de pavimento flutuante.
Isolamento a sons aéreos entre espaços comerciais ou de serviços e frações	Aplicação de sistema de teto falso, se possível duplicado, com material absorvente no tardo e suspenso elasticamente.
Isolamento a sons de percussão entre espaços comerciais ou de serviços e frações	Aplicação de solução em revestimento de madeira, ou rígido sobreposto a sistema flutuante, desoladirizado do contorno.
Outros	A analisar caso a caso, atendendo ao contexto em apreciação e às condições de conforto exigíveis.

3. CASOS DE ESTUDO

Para a realização deste trabalho foram escolhidos doze casos de estudo (Tabela 3.1) correspondentes a edifícios que sofreram alterações de uso, edifícios onde houve reclamação de incómodo acústico e edifícios que necessitam de autorização de utilização.

Os seis primeiros casos de estudo correspondem a edifícios licenciados depois da entrada em vigor do DL 129/2002 e os últimos seis correspondem a edifícios licenciados poucos anos antes da entrada em vigor do DL 129/2002.

Tabela 3.1 – Casos de estudo

CASOS DE ESTUDO	DESCRIÇÃO	LOCAL
1	Alteração de uso de um estabelecimento de serviços para a instalação de uma farmácia.	Rua Miguel Bombarda, n.º 55, Paderne.
2	Alteração de uso de um estabelecimento de comércio para a instalação de um escritório.	Bairro da Barrada, Lt 18, RC Dto, São Bartolomeu de Messines.
3	Alteração de uso de um estabelecimento de comércio para a instalação de um café.	Av. Dr. Joaquim de Albuquerque, Lt 11, Bombarral.
4	Moradia unifamiliar/Reclamação.	Victoria Boulevard, Lote 6, Vilamoura.
5	Moradia unifamiliar/Reclamação.	Rua Francisco Horta, n.º 15, Faro.
6	Alterações de uma moradia unifamiliar.	Quintas do Sirol, Caixa Postal 288 T, Leiria.
7	Alterações de um restaurante.	Largo Infante D. Henrique, Armação de Pêra.
8	Alteração de uso de uma loja de comércio para uma oficina de reparação automóvel.	Tomilhal, Caixa Postal 454 Z, Ferreiras.
9	Alteração ao uso de um estabelecimento de comércio para uma clínica médica.	Rua da Liberdade, 55, São Bartolomeu de Messines.
10	Autorização de utilização de um edifício misto.	Rua Sacadura Cabral, 10 a 16, São Bartolomeu de Messines.
11	Autorização de utilização de um edifício misto.	Rua Heróis de Mucaba, São Bartolomeu de Messines.
12	Autorização de utilização de uma moradia unifamiliar.	Pedreiras, Caixa Postal 371 P, São Bartolomeu de Messines.

A Tabela 3.2 apresenta uma síntese das características de cada caso de estudo relativamente à data de licenciamento.

Tabela 3.2 – Casos de estudo – características

	CASOS DE ESTUDO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Edifício licenciado antes do DL129/2002	X	X	X	X	X	X						
Edifício licenciado depois do DL129/2002							X	X	X	X	X	X

A Tabela 3.3 apresenta os equipamentos utilizados na realização dos ensaios para cada caso de estudo.

Tabela 3.3 – Equipamentos utilizados

Equipamento	CASOS DE ESTUDO					
	1	2, 7, 8, 9, 10, 11 e 12	3	4	5	6
Sonómetro	SYMPHONIE n.º de série 1752	Solo 01dB n.º de série 61177	Solo 01dB n.º de série 60515	RION NA27	Solo 01dB	Brüel & Kjær, modelo 2260 n.º de série 2290695
Calibrador acústico	RION NC-74 n.º de série 00830755	RION NC-74, n.º de série 830755	RION NC-74 n.º de série 34773018	RION NC-74	RION NC-74	Brüel & Kjær, modelo 4231 n.º de série 2292188
Fonte sonora	AVM DO12	OMNI-12, n.º de série 02/10-8/F138-12	OMNI-12 n.º de série 2/10-8/F138-12	Cesva BP012	Cesva BP012	OMNI-12
Máquina de percussão	Retec Instruments RI 069 n.º de série 03112502	Retec Instruments RI 069 n.º de série 081106-05	LookLine EM50		Retec Instruments RI 069	

Nos pontos seguintes deste capítulo apresentam-se para cada caso de estudo a caracterização dos ensaios acústicos efetuados, apresentam-se os resultados obtidos e efetua-se a análise desses dados ao abrigo do RRAE.

3.1. Caso de estudo 1

3.1.1. Caracterização

O caso de estudo 1 refere-se a um estabelecimento de serviços que foi alvo de uma alteração ao uso para instalação de uma farmácia e encontra-se inserido no piso térreo de um edifício misto com dois pisos (r/c e 1º andar), o 1º andar é composto por uma habitação. As peças desenhadas do edifício encontram-se no Anexo I.

O edifício está implantado numa zona urbana consolidada de Paderne.

Ao observar as soluções construtivas do edifício, constata-se que as paredes exteriores e interiores são em alvenaria de tijolo, o pavimento é uma laje de betão armado revestido a mosaico cerâmico e que não existem tetos falsos no espaço da farmácia.

3.1.2. Ensaio acústicos

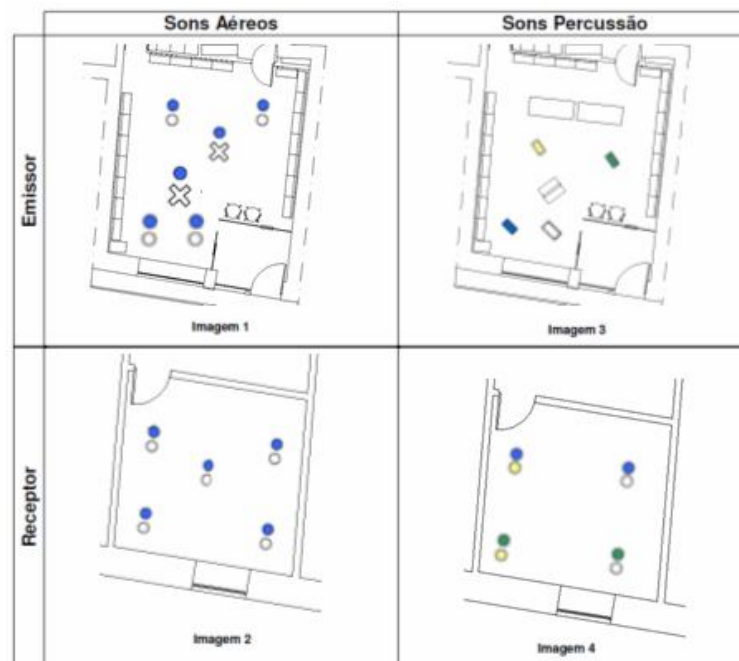
Pretende-se verificar se a atividade desenvolvida na farmácia não interfere com o conforto acústico do espaço habitação que lhe está sobrejacente devendo portanto verificar o cumprimento das alíneas d) e g) do nº 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

Os ensaios acústicos realizados foram ao isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos e ao isolamento sonoro a sons de percussão na vertical entre a farmácia (r/c) e a sala de estar da habitação do 1º andar.

Apresenta-se na Tabela 3.4 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e na Figura 3.1 as localizações das posições de medição.

Tabela 3.4 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 1

Ensaio	Tipo	Compartimento	Descrição	Imagem
Farmácia (r/c) – Habitação (1º andar)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Farmácia	1
		Recetor	Sala de estar	2
	Percussão	Emissor	Farmácia	3
		Recetor	Sala de estar	4



Legenda:

- ✕ ✕ Diferentes posições da fonte sonora
- ◆ ◆ Diferentes posições da máquina de percussão
- ○ ● Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.1 – Localização das posições de medição (Farmácia – Habitação)

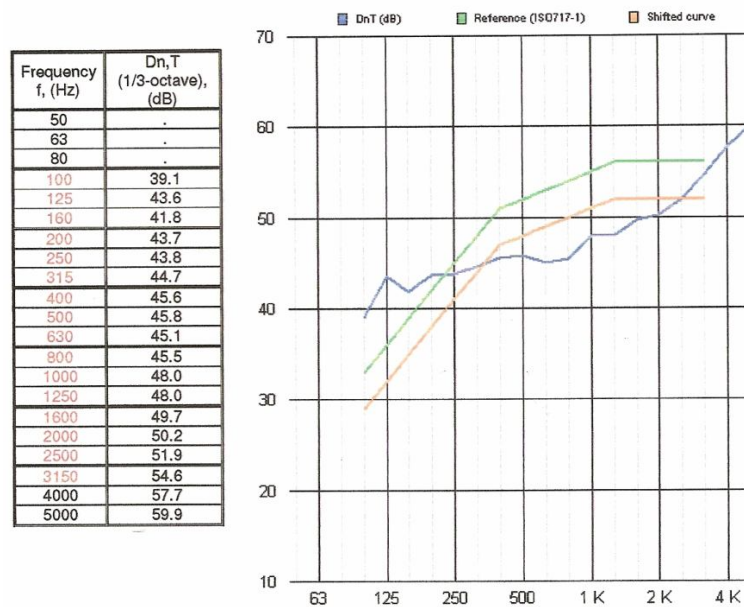
A Figura 3.2 apresenta os apontamentos fotográficos do edifício e do interior da farmácia.



Figura 3.2 – Farmácia – imagens do exterior e interior

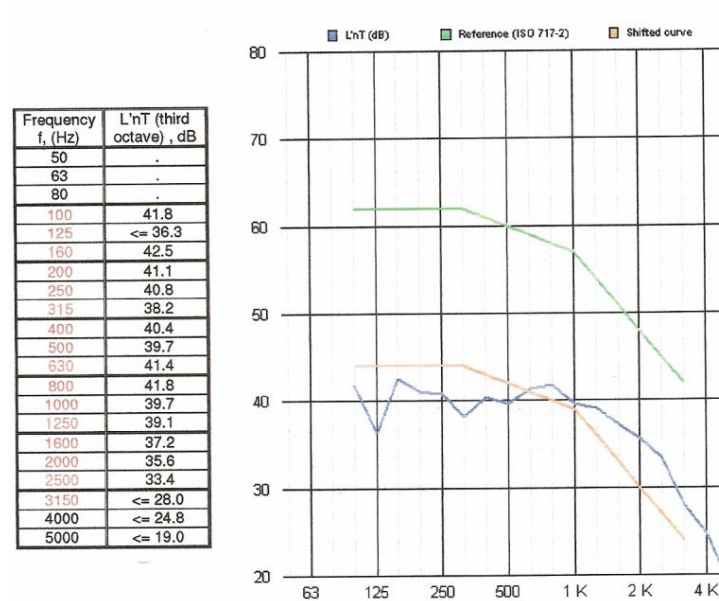
3.1.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, os resultados obtidos constam das Figuras 3.3 e 3.4.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 48$ dB

Figura 3.3 – $D_{nT,w}$ (Farmácia – Habitação)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 42$ dB

Figura 3.4 – $L'_{nT,w}$ (Farmácia – Habitação)

Nas Tabelas 3.5 e 3.6 apresentam-se os resultados dos ensaios acústicos efetuados na farmácia.

Tabela 3.5 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 1 – Farmácia – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{nT,w}$	48	3	51	≥ 58

Tabela 3.6 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 1 – Farmácia – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$L'_{nT,w}$	42	-3	39	≤ 50

De acordo com os resultados obtidos é cumprido o valor limite estabelecido no RRAE, para o isolamento a sons de percussão e não é cumprido para o isolamento a sons aéreos entre compartimentos.

Assim, é necessário proceder a medidas de reabilitação acústica na farmácia de forma a cumprir os índices para o isolamento a sons aéreos entre compartimentos, que deverão ser verificados por um novo ensaio acústico.

3.2. Caso de estudo 2

3.2.1. Caracterização

O caso de estudo 2 refere-se a um estabelecimento de comércio que foi alvo de uma alteração ao uso para a instalação de um escritório e encontra-se inserido no piso térreo de um edifício misto constituído por três pisos (r/c, 1º e 2º andar), os pisos superiores integram duas frações habitacionais. As peças desenhadas do edifício encontram-se no Anexo II.

O edifício está implantado numa zona urbana consolidada de São Bartolomeu de Messines e na sua periferia não se encontram fontes particulares geradoras de ruído, com exceção da via pública.

Ao observar as soluções construtivas do edifício, constata-se que as paredes exteriores e interiores são em alvenaria de tijolo, o pavimento é uma laje de betão armado revestido a mosaico cerâmico e que não existem tetos falsos no espaço escritório, é de salientar que a fachada do escritório possui uma área translúcida superior a 60%.

3.2.2. Ensaio acústicos

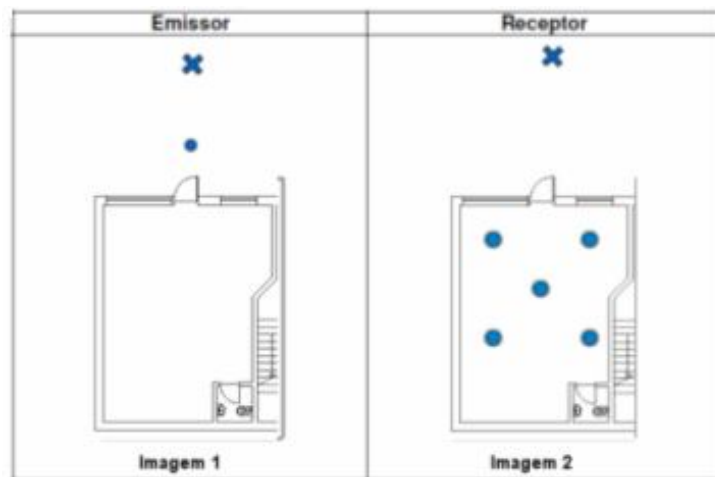
É essencial verificar se a atividade desenvolvida no escritório não interfere com o conforto acústico dos espaços envolventes, neste caso com a habitação do 1º andar, devendo portanto verifica-se o cumprimento das alínea a) e i) do nº 1 do artigo 6º e as alíneas d) e g) do nº 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

Os ensaios acústicos a que foi submetido foram ao isolamento sonoro a sons aéreos de fachada, isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão na vertical entre o escritório (r/c) e o quarto da habitação do 1º andar.

A Tabela 3.7 identifica os locais escolhidos para a realização das medições e a respectiva imagem que consta nas Figuras 3.5 e 3.6 que ilustra as localizações das posições de medição.

Tabela 3.7 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 2

Ensaio	Tipo	Compartimento	Descrição	Imagem
Fachada escritório (r/c)	Aéreos	Emissor	Exterior	1
		Recetor	Escritório	2
Escritório (r/c) – Habitação (1º andar)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Escritório	1
		Recetor	Quarto	2
	Percussão	Emissor	Escritório	3
		Recetor	Quarto	4



Legenda:

- ✕ Posições da fonte sonora
- Posições do sonómetro

Figura 3.5 – Localização das posições de medição (Fachada escritório)



Legenda:

- ✕ ✕ Diferentes posições da fonte sonora
- ◆ ◆ ◆ Diferentes posições da máquina de percussão
- ○ ● Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.6 – Localização das posições de medição (Escritório – Habitação)

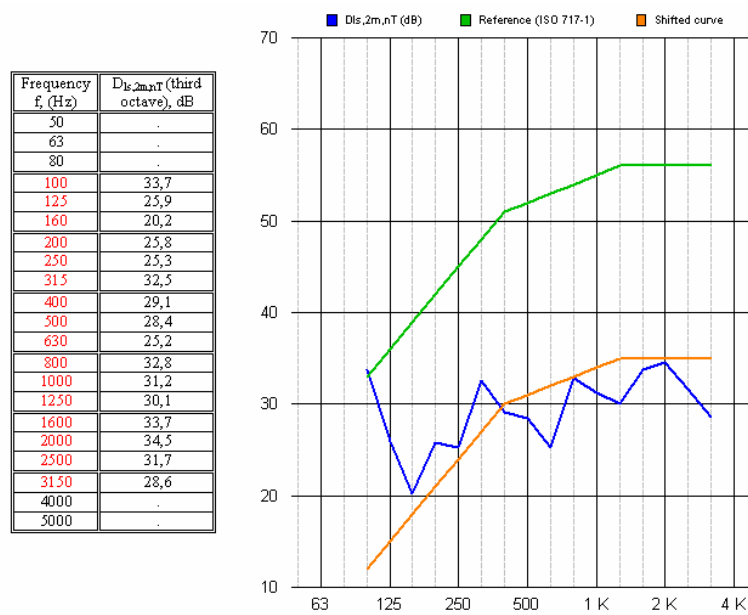
A Figura 3.7 dá alguns apontamentos fotográficos das medições realizadas no escritório.



Figura 3.7 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 2

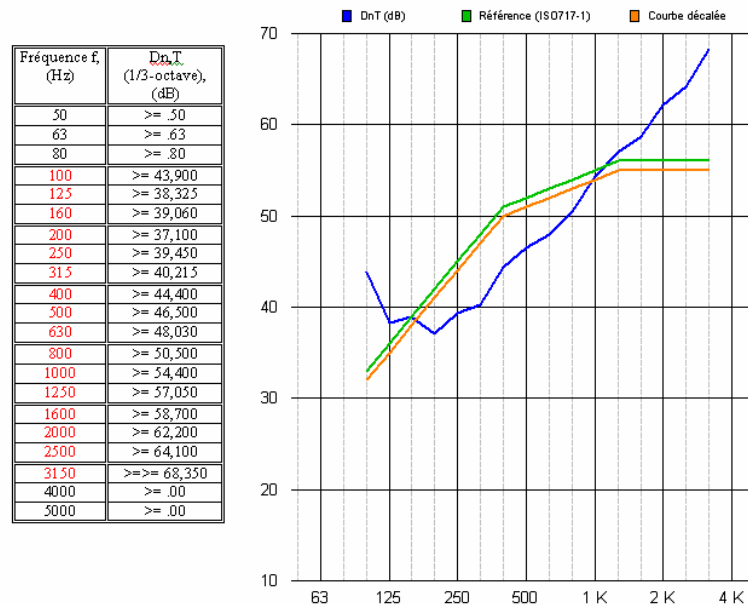
3.2.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, o resultado consta das Figuras 3.8, 3.9 e 3.10.



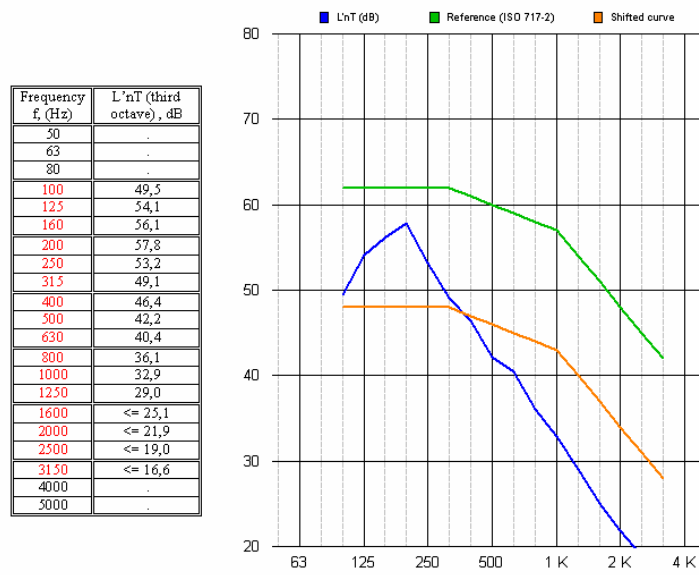
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{2m,nT,w} = 31$ dB

Figura 3.8 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada escritório)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 51$ dB

Figura 3.9 – $D_{nT,w}$ (Escritório – Habitação)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 42$ dB

Figura 3.10 – $L'_{nT,w}$ (Escritório – Habitação)

As Tabelas 3.8, 3.9 e 3.10 sintetizam os resultados dos ensaios acústicos efetuados.

Tabela 3.8 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 2 – Fachada escritório

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{2m,nT,w}$	31(-1)=30 ^(C_{tr})	3	33	≥ 30

^(C) Visto a fachada apresentar uma superfície translúcida superior a 60%, é necessário adicionar ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação C_{tr} previsto no DL 96/2008 (neste caso o valor de C_{tr} é - 1).

Tabela 3.9 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 2 – Escritório – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{nT,w}$	51	3	54	≥ 58

Tabela 3.10 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 2 – Escritório – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$L'_{nT,w}$	46	-3	43	≤ 50

De acordo com os resultados obtidos são cumpridos os valores limite estabelecidos no RRAE, para o isolamento a sons aéreos de fachada e a sons de percussão e não cumpre para o isolamento a sons aéreos entre compartimentos.

É necessário proceder a medidas de reabilitação acústica no escritório de forma a cumprir os índices para o isolamento a sons aéreos entre compartimentos e depois realizar um novo ensaio acústico.

3.3. Caso de estudo 3

3.3.1. Caracterização

O caso de estudo 3 refere-se a um estabelecimento de comércio que foi alvo de uma alteração ao uso para café e encontra-se inserido no piso térreo de um edifício misto com três pisos (r/c, 1º e 2º andar), sendo os pisos superiores duas habitações. O café mesmo sendo um espaço único é composto por dois níveis diferentes, isto é, da parte da fachada principal tem um pé direito muito alto e na parte da fachada posterior foi aproveitado o pé direito elevado para fazer um piso intermédio com escada de acesso destinado este espaço para arrumos. As peças desenhadas do edifício encontram-se no Anexo III.

O edifício está implantado numa zona urbana consolidada do Bombarral e na sua periferia não se encontram fontes particulares geradoras de ruído, com exceção da via pública.

Ao observar as soluções construtivas do edifício, constata-se que as paredes exteriores e interiores são em alvenaria, o pavimento é uma laje de betão armado revestido a mosaico cerâmico e que não existem tetos falsos no espaço.

3.3.2. Ensaio acústicos

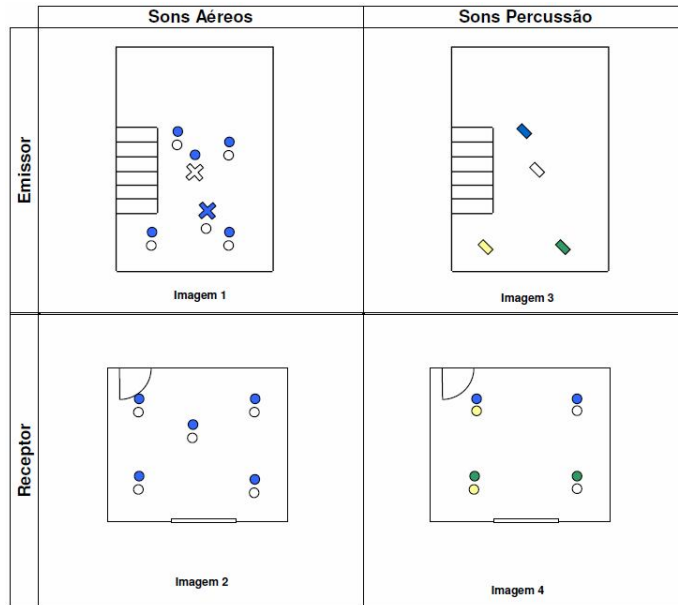
É fundamental verificar se a atividade desenvolvida no café não interfere com o conforto acústico da habitação, devendo, portanto, verificar o cumprimento das alíneas d) e g) do nº 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

Foram efetuados ensaios acústicos ao isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão na vertical entre o café (r/c) e o quarto da fachada principal da habitação do 1º andar Drtº, isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão na vertical entre o café (piso intermédio) e o quarto da fachada posterior da habitação do 1º andar Drtº.

Apresenta-se na Tabela 3.11 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e a respectiva imagem que consta nas Figuras 3.11 e 3.12 que ilustram as localizações das posições de medição.

Tabela 3.11 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 3

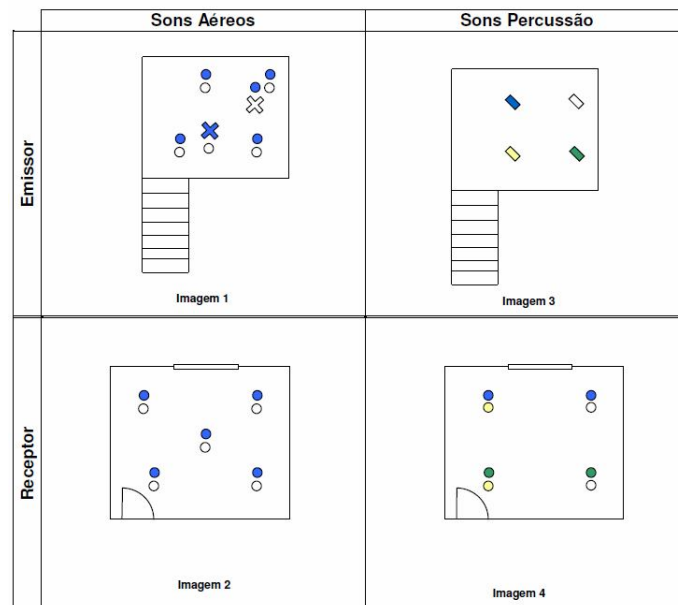
Ensaio	Tipo	Compartimento	Descrição	Imagem
Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal	Aéreos	Emissor	Café	1
		Recetor	Quarto A	2
	Percussão	Emissor	Café	3
		Recetor	Quarto A	4
Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior	Aéreos	Emissor	Café	1
		Recetor	Quarto B	2
	Percussão	Emissor	Café	3
		Recetor	Quarto B	4



Legenda:

- Diferentes posições da fonte sonora
- Diferentes posições da máquina de percussão
- Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.11 – Localização das posições de medição (Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal)



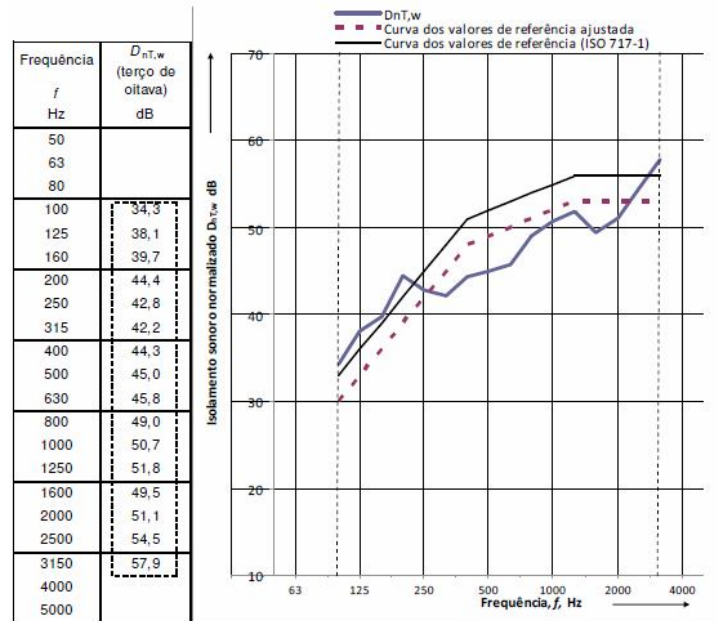
Legenda:

- Diferentes posições da fonte sonora
- Diferentes posições da máquina de percussão
- Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.12 – Localização das posições de medição (Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior)

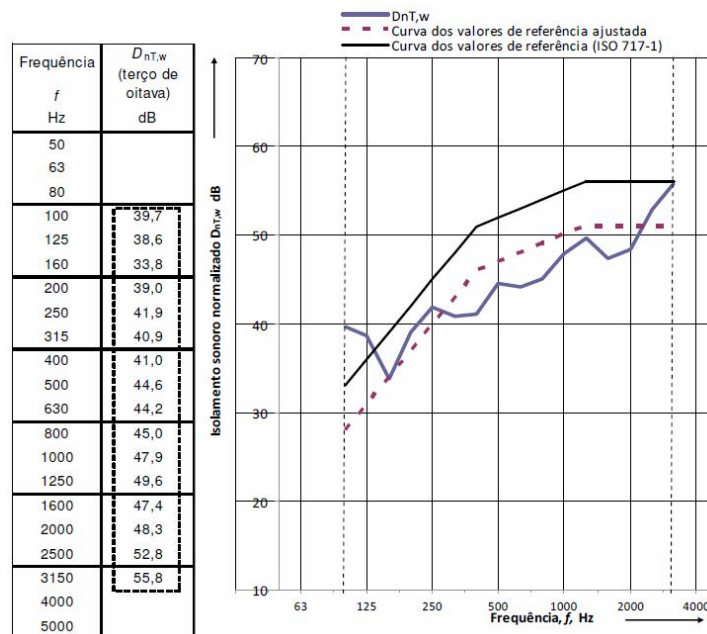
3.3.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, o resultado consta das Figuras 3.13 a 3.16.



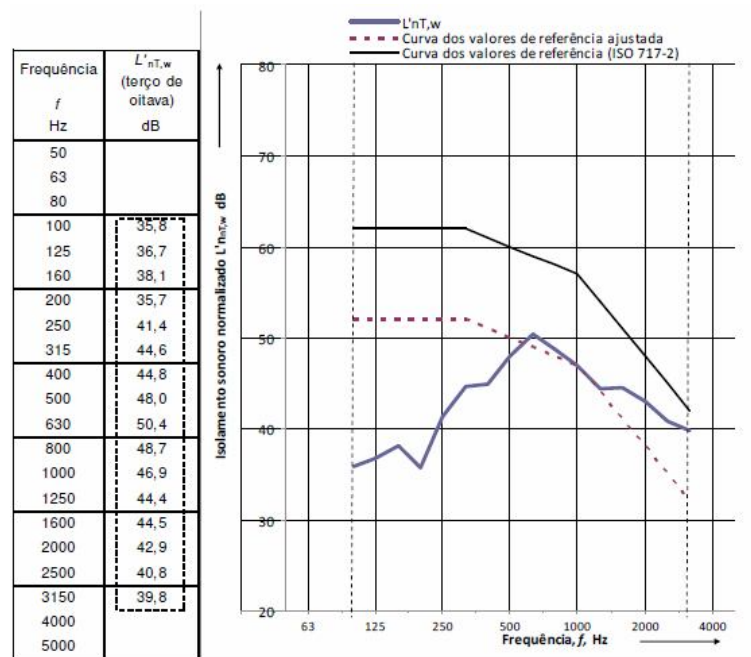
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 49$ dB

Figura 3.13 – $D_{nT,w}$ (Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal)



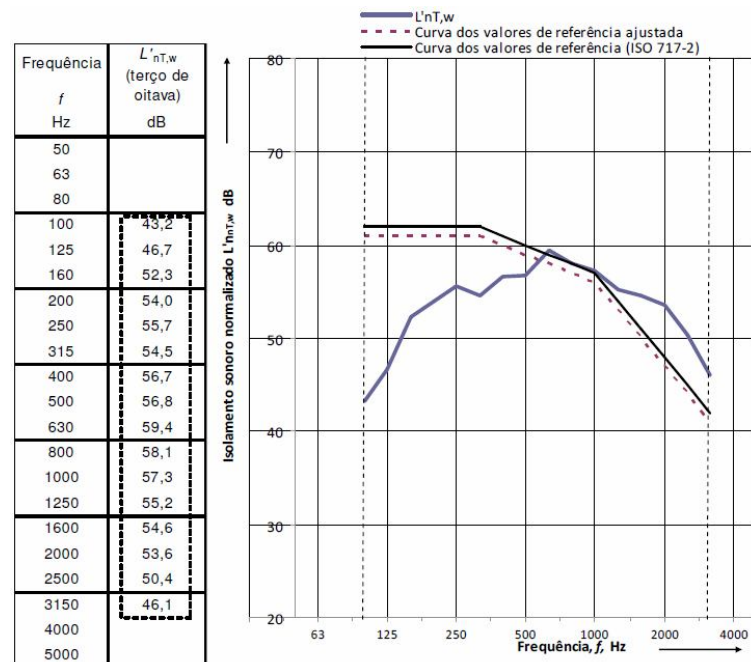
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 47$ dB

Figura 3.14 – $D_{nT,w}$ (Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 50$ dB

Figura 3.15 – $L'_{nT,w}$ (Café(r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 59$ dB

Figura 3.16 – $L'_{nT,w}$ (Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior)

Apresentam-se nas Tabelas 3.12 e 3.13 os resultados dos ensaios acústicos efetuados ao café.

Tabela 3.12 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 3

Ensaio	Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal	$D_{nT,w}$	49	3	52	≥ 58
Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior	$D_{nT,w}$	47	3	50	≥ 58

Tabela 3.13 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 3

Ensaio	Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal	$L'_{nT,w}$	50	-3	47	≤ 50
Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior	$L'_{nT,w}$	59	-3	56	≤ 50

De acordo com os resultados obtidos (Tabelas 3.12 e 3.13), é cumprido o valor limite estabelecido no RRAE, para o isolamento a sons de percussão no café (r/c) – habitação 1º andar/fachada principal e não é cumprido para o isolamento a sons aéreos no café (r/c) – habitação 1º andar/fachada principal e no café (piso intermédio) – habitação 1º andar/fachada posterior, e não é cumprido para os sons de percussão no café (piso intermédio) – habitação 1º andar/fachada posterior.

É necessário proceder a medidas de reabilitação no café de forma a cumprir os índices para o isolamento a sons aéreos e a sons de percussão e depois realizar novos ensaios acústicos.

3.4. Caso de estudo 4

3.4.1. Caracterização

O caso de estudo 4 refere-se a uma moradia unifamiliar onde existiam queixas de ruído aéreo devido ao funcionamento das bombas de água da piscina coletiva. A moradia em causa situa-se no piso imediatamente acima da casa das bombas, a casa das bombas situa-se na cave e a moradia no r/c, encontrando-se contudo imediatamente ao lado na vista em planta, conforme se ilustra na Figura 3.17.

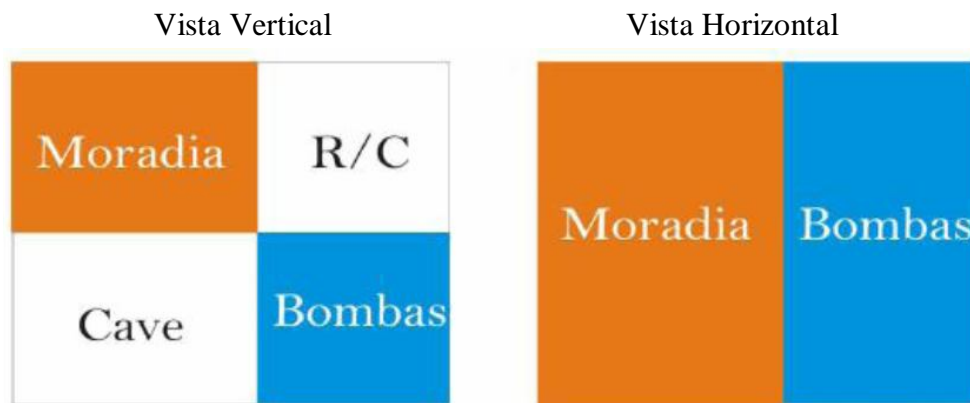


Figura 3.17 – Esquema da posição relativa da moradia e da casa das bombas

O edifício está implantado numa zona urbana consolidada de Vilamoura e na sua periferia não se encontram fontes particulares geradoras de ruído, com exceção da via pública.

Ao observar as soluções construtivas do edifício, constata-se que as paredes exteriores e interiores são em alvenaria de tijolo, o pavimento é uma laje de betão armado revestido a mosaico cerâmico e que não existem tetos falsos nos espaços da moradia nem da casa das bombas.

3.4.2. Ensaios acústicos

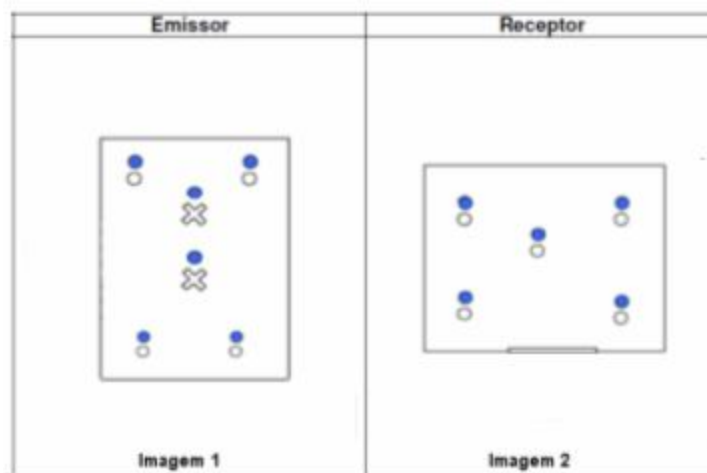
O cliente pretende verificar o ruído aéreo sentido no interior da moradia devido ao funcionamento de bombas das água da piscina coletiva, devendo portanto verificar o cumprimento da alínea d) do nº 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

O ensaio acústico efetuado foi ao isolamento sonoro a sons de condução aérea na vertical entre a casa das bombas e a sala de estar da moradia.

Apresenta-se na Tabela 3.14 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e a Figura 3.18 ilustra as posições de medição.

Tabela 3.14 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 4

Ensaio	Tipo	Compartimento	Descrição	Imagem
Casa das bombas (cave) – Moradia (r/c)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Casa das bombas	1
		Recetor	Sala de estar	2



Legenda:

- ✕ ✕ Diferentes posições da fonte sonora
- ○ Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.18 – Localização das posições de medição (Casa das bombas – Moradia)

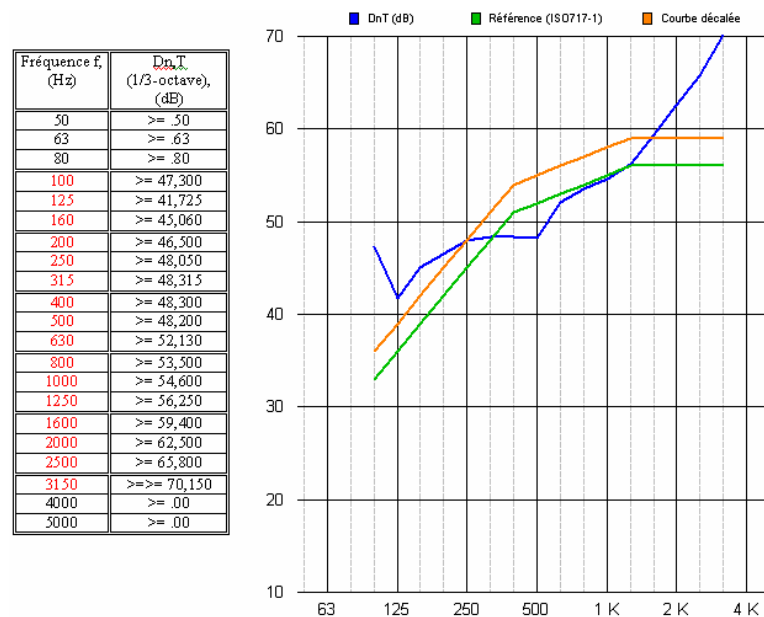
A Figura 3.19 regista um instante do ensaio, com os equipamentos montados na sala de estar da moradia e na casa das bombas.



Figura 3.19 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 4

3.4.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, o resultado obtido consta da Figura 3.20.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w}(C;Ctr) = 55$ dB

Figura 3.20 – $D_{nT,w}$ (Casa das bombas – Moradia)

Apresenta-se na Tabela 3.15 os resultados dos ensaios acústicos efetuados à moradia.

Tabela 3.15 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 4 – Casa de bombas – Moradia

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{nT,w}$	55	3	58	≥ 58

De acordo com o resultado obtido é cumprido o valor limite estabelecido no RRAE, para o isolamento a sons aéreos entre compartimentos, mas o cliente pretende melhorar este resultado.

A casa de bombas será sujeita a reabilitação acústica de forma a melhorar o índice de isolamento a sons aéreos e depois comprovar-se-á esta melhoria realizando-se um segundo ensaio acústico.

3.5. Caso de estudo 5

3.5.1. Caracterização

O caso de estudo 5 refere-se à análise do ruído apercibido no interior de uma moradia unifamiliar devido ao funcionamento de um clube de bilhar. Os proprietários da moradia efetuaram uma reclamação junto da Câmara Municipal de Faro, relativamente ao ruído produzido pelo clube de bilhar situado ao lado da moradia, em edifícios distintos.

O edifício está implantado na zona urbana consolidada de Faro e na sua periferia não se encontram fontes particulares geradoras de ruído, com exceção da via pública.

Ao observar as soluções construtivas dos edifícios, constata-se que as paredes exteriores e interiores são em alvenaria de tijolo, o pavimento é uma laje de betão armado revestido a mosaico cerâmico e que não existem tetos falsos no espaço da moradia nem no clube de bilhar.

3.5.2. Ensaio acústicos

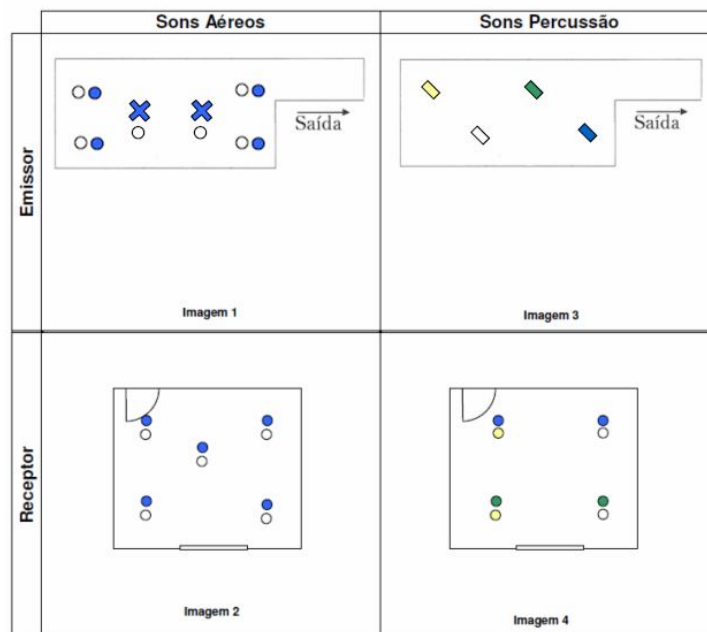
É necessário verificar se a atividade desenvolvida no clube de bilhar não interfere com o conforto acústico da habitação, devendo portanto verificar o cumprimento das alíneas d) e g) do nº 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

Os ensaios acústicos efectuados foram ao isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão na horizontal entre o clube de bilhar e a moradia.

Apresenta-se na Tabela 3.16 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e a Figura 3.21 ilustra as localizações das posições de medição.

Tabela 3.16 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 5

Ensaio	Tipo	Compartimento	Descrição	Imagem
Clube de bilhar (r/c) – Moradia (r/c)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Clube de bilhar	1
		Recetor	Quarto single	2
	Percussão	Emissor	Clube de bilhar	3
		Recetor	Quarto duplo	4



Legenda:

- Diferentes posições da fonte sonora
- Diferentes posições da máquina de percussão
- Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.21 – Localização das posições de medição (Clube de bilhar – Moradia)

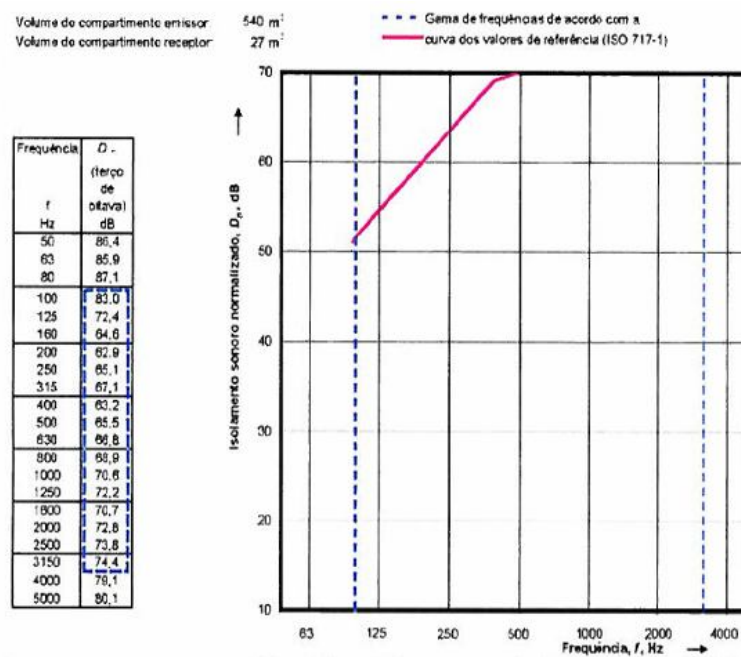
Apresenta-se na Figura 3.22 apontamentos fotográficos das medições realizadas no quarto da moradia e no clube de bilhar.



Figura 3.22 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 5

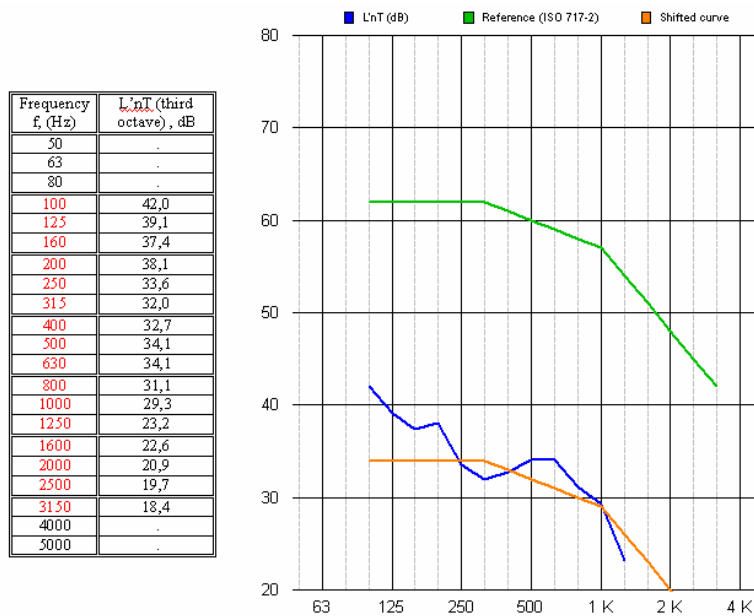
3.5.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, o resultado consta das Figuras 3.23 e 3.24.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 67$ dB

Figura 3.23 – $D_{nT,w}$ (Clube de bilhar – Moradia)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w}$ (CI) = 31 dB

Figura 3.24 – $L'_{nT,w}$ (Clube de bilhar – Moradia)

Apresentam-se nas Tabelas 3.17 e 3.18 os resultados dos ensaios acústicos efectuados.

Tabela 3.17 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 5 – Clube de bilhar – Moradia

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{nT,w}$	67	3	70	≥ 58

Tabela 3.18 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 5 – Clube de bilhar – Moradia

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$L'_{nT,w}$	31	-3	28	≤ 50

De acordo com os resultados obtidos são cumpridos os valores limite estabelecidos no RRAE, para o isolamento a sons aéreos e de percussão, mas pretende-se melhorar o resultado para o isolamento a sons de percussão, porque o proprietário queixa-se de incómodo proveniente da queda de bolas de bilhar ruído que descreve como um “arrastar” ou como “pancadas”. Para

atenuar este ruído é necessário recorrer a medidas de reabilitação e depois realizar um novo ensaio acústico.

3.6. Caso de estudo 6

3.6.1. Caracterização

O caso de estudo 6 refere-se a uma moradia unifamiliar que durante a sua execução sofreu alterações ao nível de arquitetura. Essas alterações tiveram que ser licenciadas como um projeto de alteração da moradia e consecutivamente foi necessário executar ensaios acústicos. A moradia é composta por um só piso e encontra-se isolada. As peças desenhadas do edifício encontram-se no Anexo IV.

O local de implantação da moradia é um local com pouco trânsito.

As soluções construtivas dos edifícios são paredes exteriores e interiores em alvenaria, e o pavimento é uma laje de betão armado revestida a mosaico cerâmico, não existindo tetos falsos no espaço da moradia.

3.6.2. Ensaio acústicos

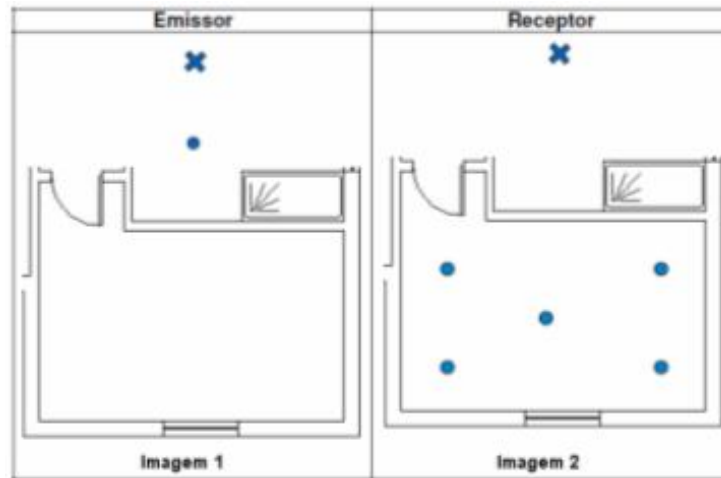
Pretende-se verificar o conforto acústico no interior da moradia, que deve cumprir as alíneas a) e i) do nº 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

O ensaio acústico a que foi submetida foi ao isolamento sonoro a sons aéreos de fachada.

Apresenta-se na Tabela 3.19 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e na Figura 3.25 as localizações das posições de medição.

Tabela 3.19 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 6

Ensaio	Tipo	Compartimento	Descrição	Imagem
Fachada moradia (r/c)	Aéreos	Emissor	Exterior	1
		Recetor	Quarto	2



Legenda:

- ✕ Posições da fonte sonora
- Posições do sonómetro

Figura 3.25 – Localização das posições de medição (Fachada moradia)

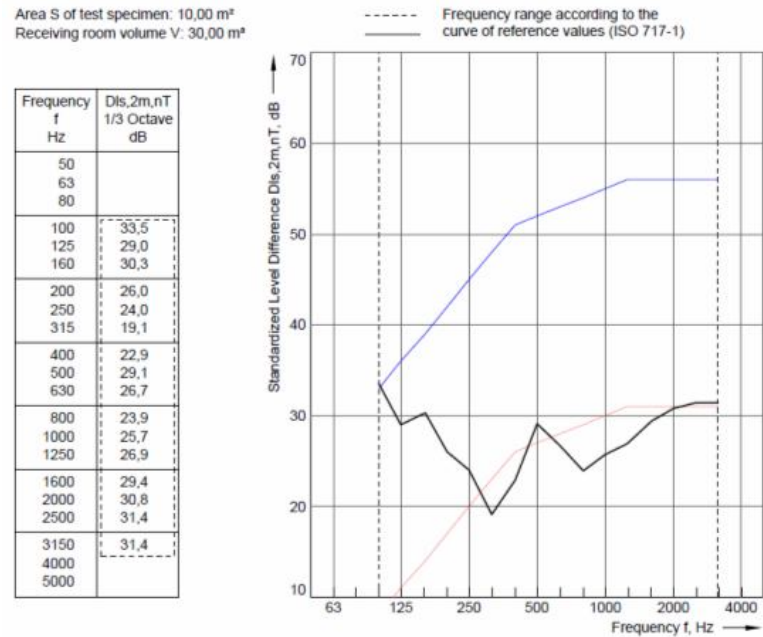
Apresenta-se na Figura 3.26 apontamentos fotográficos das medições realizadas na moradia.



Figura 3.26 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 6

3.6.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, o resultado é dado na Figura 3.27.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{2m,nT,w} = 27$ dB

Figura 3.27. – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada moradia)

A Tabela 3.20 sintetiza o resultado do ensaio acústico efetuado à moradia.

Tabela 3.20 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 6 – Fachada moradia

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{2m,nT,w}$	27	3	30	≥ 33

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 3.20), não é cumprido o valor limite estabelecido no RRAE, para o isolamento a sons aéreos de fachada.

É necessário proceder a medidas de reabilitação acústica do edifício de forma a cumprir os índices para o isolamento a sons aéreos de fachada e depois realizar um novo ensaio acústico.

3.7. Caso de estudo 7

3.7.1. Caracterização

O caso de estudo 7 refere-se a um restaurante que sofreu algumas alterações e conseqüentemente no decorrer do processo de licenciamento a Câmara Municipal de Silves solicitou a realização de ensaios acústicos. O restaurante encontra-se inserido no piso térreo de um edifício misto com três pisos, sendo os pisos superiores habitações. As peças desenhadas do edifício encontram-se no Anexo V.

O edifício está implantado numa zona urbana consolidada de Armação de Pêra, as duas fontes de ruído exterior, mais significativas, são o tráfego rodoviário e atividades lúdicas e de lazer no exterior.

De acordo com o projeto acústico do edifício as paredes exteriores são em alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado (30x20x11 + 30x20x15), com caixa de ar de 6 cm parcialmente preenchida por placas rígidas de poliestireno extrudido de 4 cm de espessura, revestida a reboco de argamassa de cimento em ambas as faces. O pavimento sobre o restaurante é constituído por laje maciça em betão armado de 20 cm com camada de enchimento em betonilha “Leca” com 8 cm, isolada na face superior por manta acústica de 1 cm e com revestimento cerâmico. As janelas do restaurante são em caixilharia de alumínio, com vidros duplos incolores de 8 e 5 mm de espessura afastados entre si de 10 mm, as janelas não possuem qualquer proteção solar. É de salientar que a fachada da sala de refeições possui uma área translúcida superior a 60%.

3.7.2. Ensaio acústicos

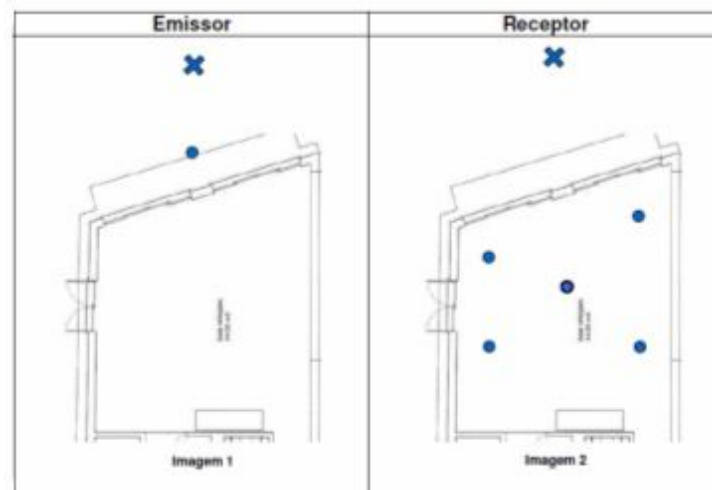
Pretende-se caracterizar o índice do isolamento sonoro do restaurante para a habitação superior, com o objetivo de verificar o cumprimento da alínea a) e ii) do n.º 1 do artigo 6º e das alíneas d) e g) do n.º 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

Os ensaios acústicos efetuados foram ao isolamento sonoro a sons aéreos da fachada, ao isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos e ao isolamento sonoro a sons de percussão na vertical entre a sala de refeições do restaurante e a sala da habitação do 1º andar.

Apresenta-se na Tabela 3.21 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e nas Figuras 3.28 e 3.29 as localizações das posições de medição.

Tabela 3.21 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 7

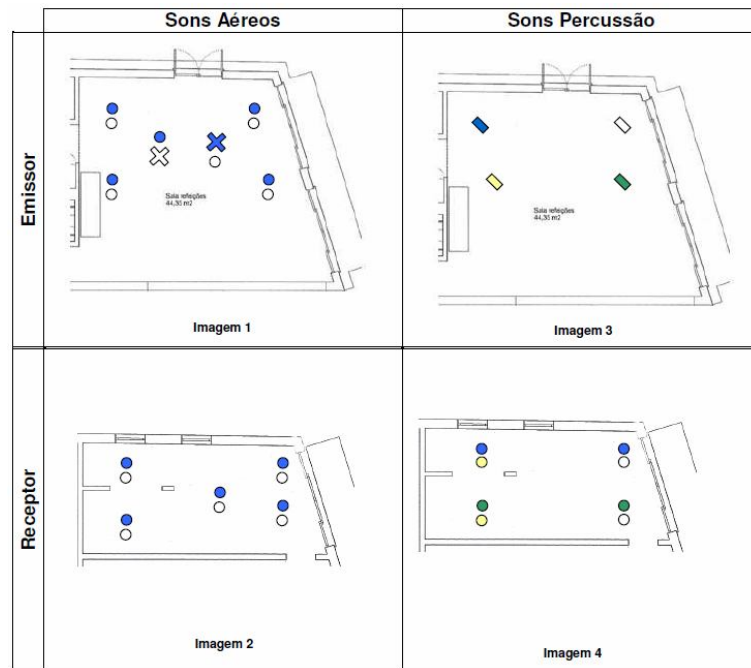
Ensaio	Tipo	Compartmento	Descrição	Imagem
Fachada restaurante (r/c)	Aéreos	Emissor	Exterior	1
		Recetor	Sala de refeições	2
Restaurante (r/c) – Habitação (1º andar)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Sala de refeições	1
		Recetor	Sala de estar	2
	Percussão	Emissor	Sala de refeições	3
		Recetor	Sala de estar	4



Legenda:

- ✕ Posições da fonte sonora
- Posições do sonómetro

Figura 3.28 – Localização das posições de medição (Fachada restaurante)



Legenda:









-   Diferentes posições da fonte sonora
-    Diferentes posições da máquina de percussão
-    Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.29 – Localização das posições de medição (Restaurante – Habitação)

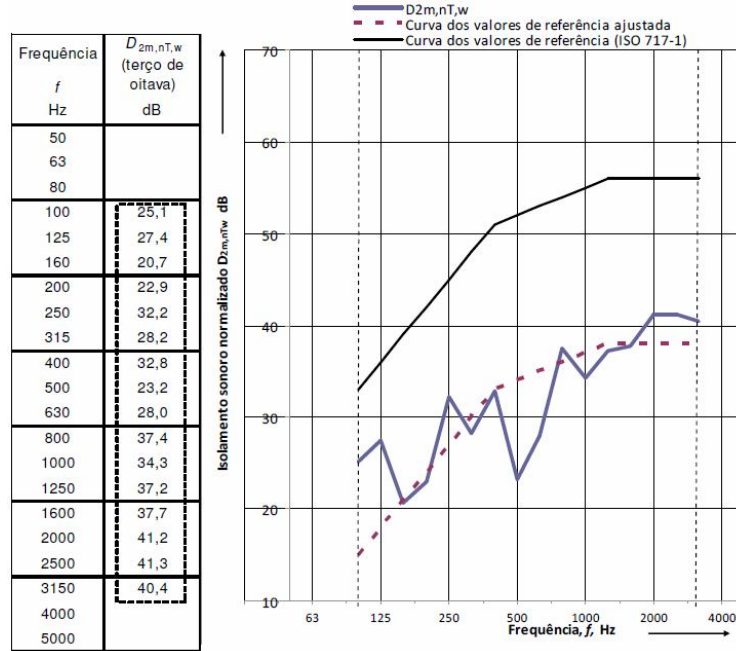
Apresenta-se na Figura 3.30 apontamentos fotográficos dos locais onde foram realizadas as medições.



Figura 3.30 – Restaurante – imagens do exterior e interior

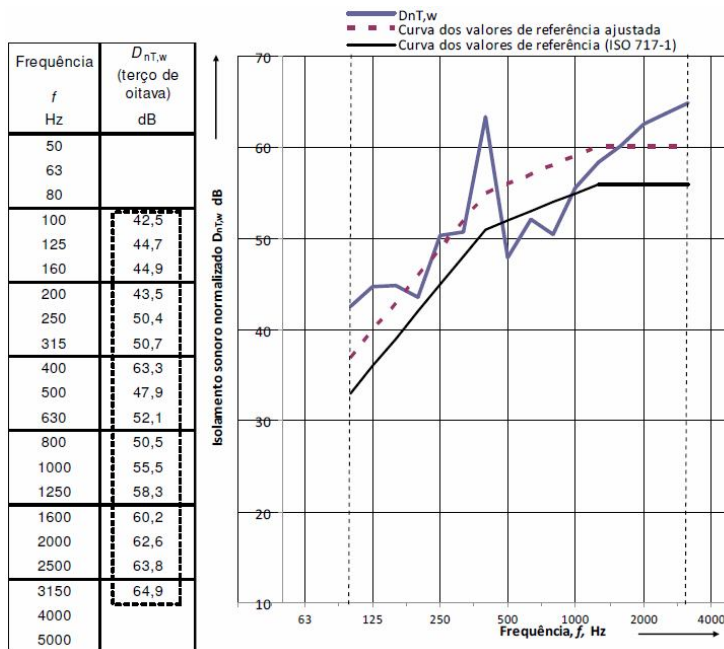
3.7.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, o resultado consta das Figuras 3.31, 3.32 e 3.33.



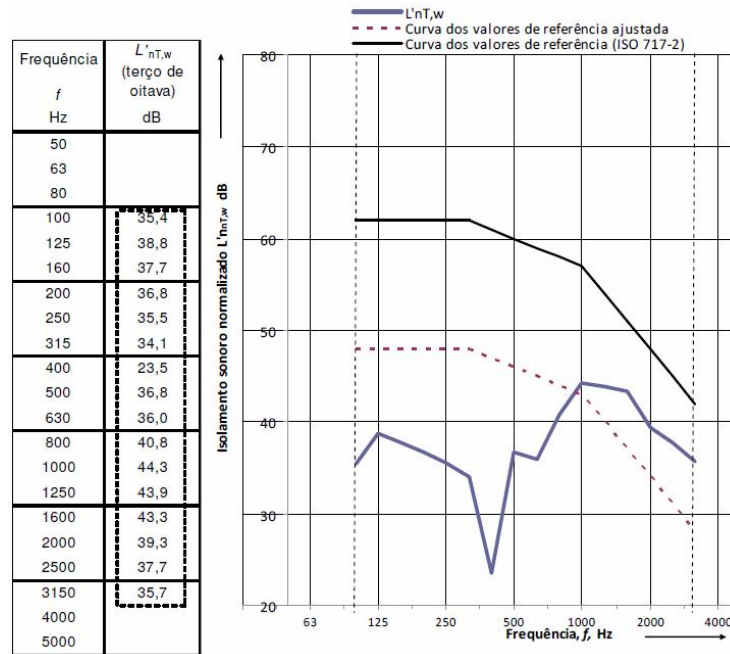
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{2m,nT,w} = 34$ dB

Figura 3.31 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada restaurante)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 56$ dB

Figura 3.32 – $D_{nT,w}$ (Restaurante – Habitação)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 46$ dB

Figura 3.33 – $L'_{nT,w}$ (Restaurante – Habitação)

As Tabelas 3.22, 3.23 e 3.24 sintetizam os resultados dos ensaios acústicos efetuados.

Tabela 3.22 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 7 – Fachada restaurante

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{2m,nT,w}$	34(-1)=3 ^(C_{tr})	3	36	≥ 25

^(C) Visto a fachada apresentar uma superfície translúcida superior a 60%, é necessário adicionar ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação C_{tr} previsto no DL 96/2008 (neste caso o valor de C_{tr} é -1).

Tabela 3.23 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 7 – Restaurante – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{nT,w}$	56	3	59	≥ 58

Tabela 3.24 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 7 – Restaurante – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$L'_{nT,w}$	46	-3	43	≤ 50

De acordo com os resultados obtidos (Tabelas 3.22, 3.23 e 3.24), são cumpridos os valores limite estabelecidos no RRAE, para o isolamento a sons aéreos de fachada, para o isolamento a sons aéreos entre compartimentos e para o isolamento a sons de percussão.

A Tabela 3.25 apresenta a comparação dos resultados dos ensaios acústicos com os do projeto acústico.

Tabela 3.25 – Comparação de resultados – Caso de estudo 7

Parâmetros	Projeto acústico Valores (dB)	Ensaio acústicos Valores (dB)
$D_{2m,nT,w}$	35	36
$D_{nT,w}$	59	59
$L'_{nT,w}$	46	43

Ao comparar-se os resultados verifica-se não existir uma grande disparidade entre os valores de projeto e os obtidos in situ.

3.8. Caso de estudo 8

3.8.1. Caracterização

O caso de estudo 8 refere-se à alteração de uso de uma loja de comércio para uma oficina de reparação automóvel. A oficina encontra-se inserida no piso térreo de um edifício misto com dois pisos sendo o piso superior composto por uma habitação. As peças desenhadas do edifício encontram-se no Anexo VI.

O edifício está implantado na periferia de uma zona urbana e não se encontram fontes particulares geradoras de ruído.

De acordo com o projeto acústico do edifício as paredes exteriores são em alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado (30x20x11 + 30x20x15), com caixa de ar de 4 cm preenchida por placas rígidas de poliestireno extrudido de 4 cm de espessura, revestida a reboco de argamassa de

cimento em ambas as faces. O pavimento sobre a oficina é constituído por laje maciça em betão armado de 18 cm com camada de enchimento em betonilha de “Leca” com 8 cm, isolada na face superior por manta acústica com 1 cm e com revestimento cerâmico. As janelas da oficina são em caixilharia de alumínio lacado, com vidros duplos incolores de 6 e 5 mm de espessura afastados entre si de 12 mm protegidos exteriormente por venezianas de alumínio lacado.

3.8.2. Ensaio acústicos

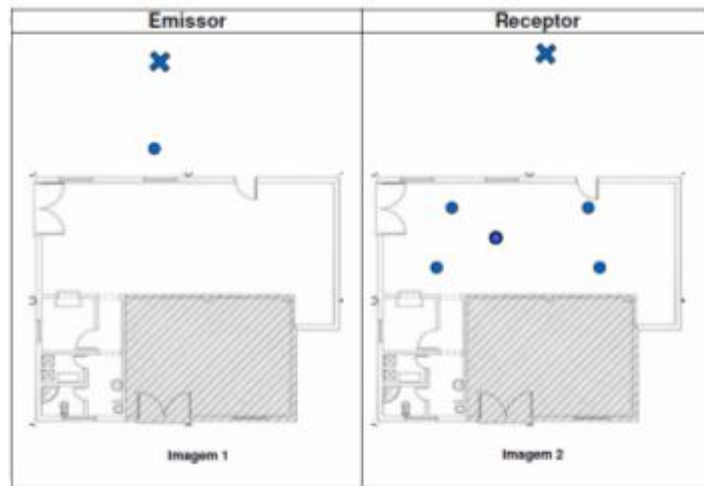
Pretende-se verificar se a atividade desenvolvida na oficina não interfere com o conforto acústico do espaço habitação devendo portanto verificar o cumprimento da alínea a) ii) do n.º 1 do artigo 6º e das alíneas d) e g) do n.º 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

Os ensaios acústicos a que foi submetida foram ao isolamento sonoro a sons aéreos de fachada, ao isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos e ao isolamento sonoro a sons de percussão na vertical entre a oficina e a sala de estar da habitação do 1º andar.

Apresenta-se na Tabela 3.26 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e as Figuras 3.34 e 3.35 ilustram as localizações das posições de medição.

Tabela 3.26 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 8

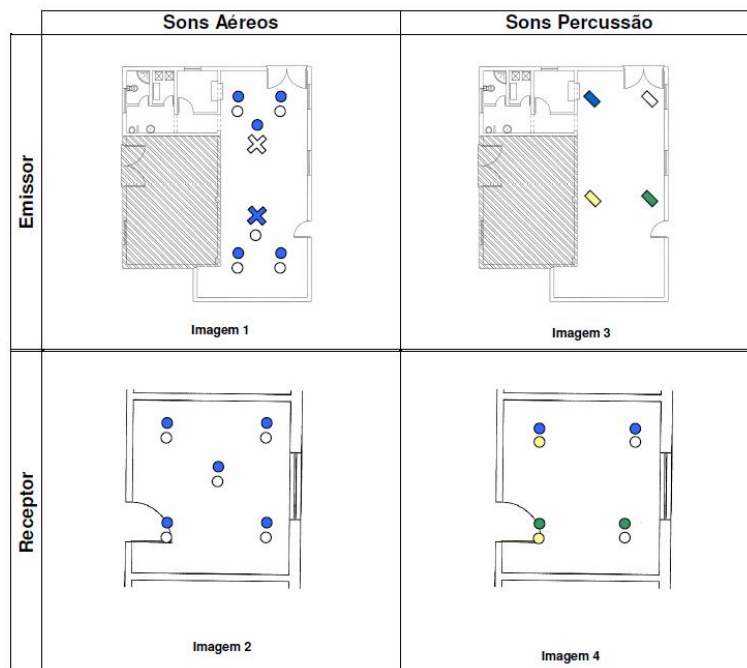
Ensaio	Tipo	Compartimento	Descrição	Imagem
Fachada oficina (r/c)	Aéreos	Emissor	Exterior	1
		Recetor	Oficina	2
Oficina (r/c) – Habitação (1º andar)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Oficina	1
		Recetor	Sala de estar	2
	Percussão	Emissor	Oficina	3
		Recetor	Sala de estar	4



Legenda:

- ✕ Posições da fonte sonora
- Posições do sonómetro

Figura 3.34 – Localização das posições de medição (Fachada oficina)



Legenda:

- ✕ ✕ Diferentes posições da fonte sonora
- ◆ ◆ ◆ Diferentes posições da máquina de percussão
- ○ ● Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.35 – Localização das posições de medição (Oficina – Habitação)

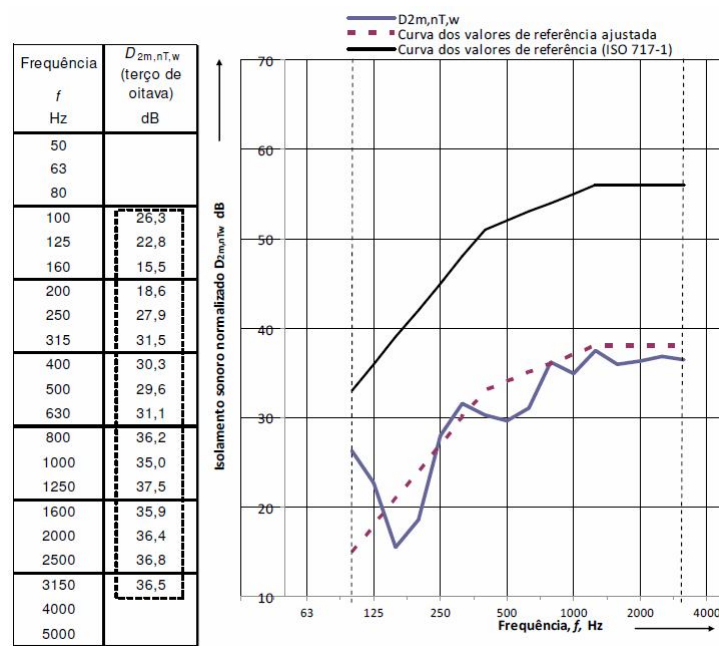
Apresenta-se na Figura 3.36 apontamentos fotográficos das medições realizadas na oficina.



Figura 3.36 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 8

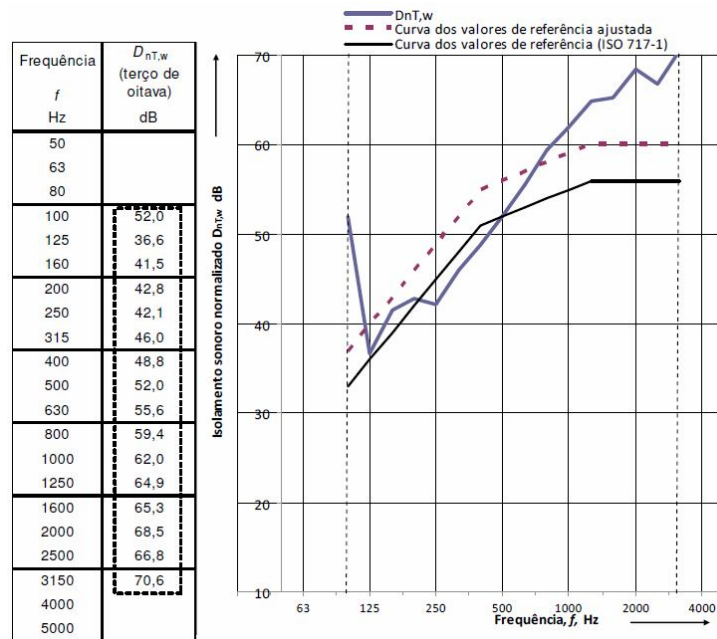
3.8.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, o resultado consta das Figuras 3.37, 3.38 e 3.39.



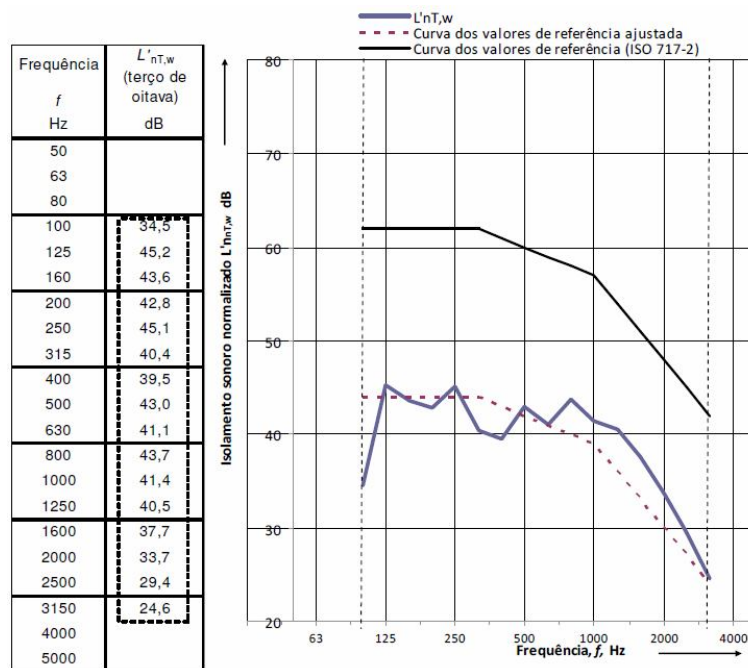
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{2m,nT,w} = 34$ dB

Figura 3.37 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada oficina)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 56$ dB

Figura 3.38 – $D_{nT,w}$ (Oficina – Habitação)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 42$ dB

Figura 3.39 – $L'_{nT,w}$ (Oficina – Habitação)

Apresentam-se nas Tabelas 3.27, 3.28 e 3.29 os resultados dos ensaios acústicos efetuados à oficina.

Tabela 3.27 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 8 – Fachada oficina

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{2m,nT,w}$	34	3	37	≥ 25

Tabela 3.28 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 8 – Oficina – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{nT,w}$	56	3	59	≥ 58

Tabela 3.29 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 8 – Oficina – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$L'_{nT,w}$	42	-3	39	≤ 50

De acordo com os resultados obtidos (Tabelas 3.27, 3.28 e 3.29), são cumpridos os valores limite estabelecidos no RRAE, para o isolamento a sons aéreos de fachada, para o isolamento a sons aéreos entre compartimentos e para o isolamento a sons de percussão.

A Tabela 3.30 apresenta a comparação dos resultados dos ensaios acústicos com os do projeto acústico.

Tabela 3.30 – Comparação de resultados – Caso de estudo 8

Parâmetros	Projeto acústico Valores (dB)	Ensaio acústicos Valores (dB)
$D_{2m,nT,w}$	38	37
$D_{nT,w}$	59	59
$L'_{nT,w}$	47	39

Ao comparar-se os resultados pode-se concluir que os valores obtidos em projeto são aproximados aos valores obtidos pelos ensaios para o isolamento a sons aéreos verificando-se uma diferença de 8 dB para o isolamento a sons de percussão.

3.9. Caso de estudo 9

3.9.1. Caracterização

O caso de estudo 9 refere-se a um estabelecimento de comércio que foi alvo de uma alteração ao uso para clínica médica e encontra-se inserido no piso térreo de um edifício misto com quatro pisos, os pisos superiores são compostos por habitações. As peças desenhadas do edifício encontram-se no Anexo VII.

O edifício está implantado no interior de uma zona urbana consolidada e na sua periferia não se encontram fontes particulares geradoras de ruído, com exceção da via pública.

De acordo com o projeto acústico do edifício as paredes exteriores são em alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado (30x20x15 + 30x20x15), com caixa de ar de 6 cm parcialmente preenchida por placas rígidas de poliestireno extrudido de 4 cm de espessura, revestida a reboco de argamassa de cimento em ambas as faces. O pavimento sobre a clínica médica é constituído por laje maciça em betão armado de 22 cm com camada de enchimento em betonilha “Leca” de 10 cm, isolada na face superior por manta acústica de 2 cm e com revestimento flutuante em madeira. As janelas da clínica médica são em caixilharia de alumínio, com vidros duplos incolores de 8 e 5 mm de espessura afastados entre si de 12 mm, as janelas não possuem qualquer proteção.

3.9.2. Ensaio acústicos

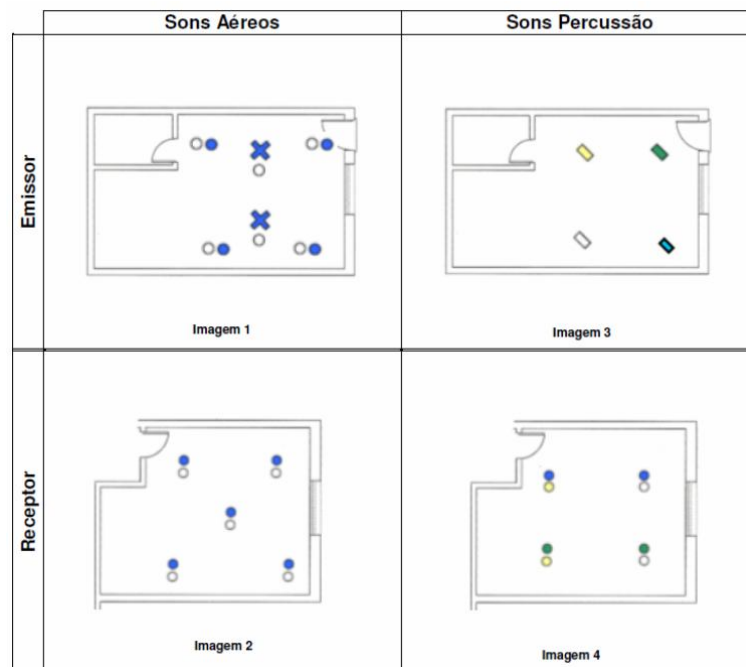
Pretende-se averiguar se a atividade desenvolvida na clínica médica não interfere com o conforto acústico do espaço habitação devendo portanto verificar o cumprimento das alíneas d) e g) do n.º 1 do artigo 5.º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

Os ensaios acústicos efetuados foram o isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão na vertical entre a clínica médica e a habitação do 1.º andar.

Apresenta-se na Tabela 3.31 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e a Figura 3.40 ilustra as localizações das posições de medição.

Tabela 3.31 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 9

Ensaio	Tipo	Compartimento	Descrição	Imagem
Clínica médica (r/c) – Habitação (1º andar)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Consultório	1
		Recetor	Quarto	2
	Percussão	Emissor	Consultório	3
		Recetor	Quarto	4



Legenda:

- ✕ ✕ Diferentes posições da fonte sonora
- ◆ ◆ ◆ Diferentes posições da máquina de percussão
- ○ ● Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.40 – Localização das posições de medição (Clínica médica – Habitação)

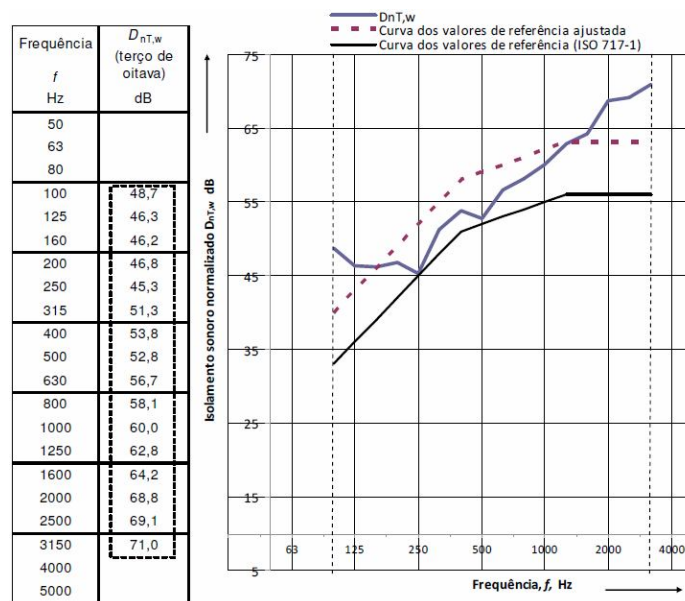
Apresenta-se na Figura 3.41 apontamentos fotográficos dos locais onde as medições foram realizadas.



Figura 3.41 – Clínica médica – imagens do exterior e interior

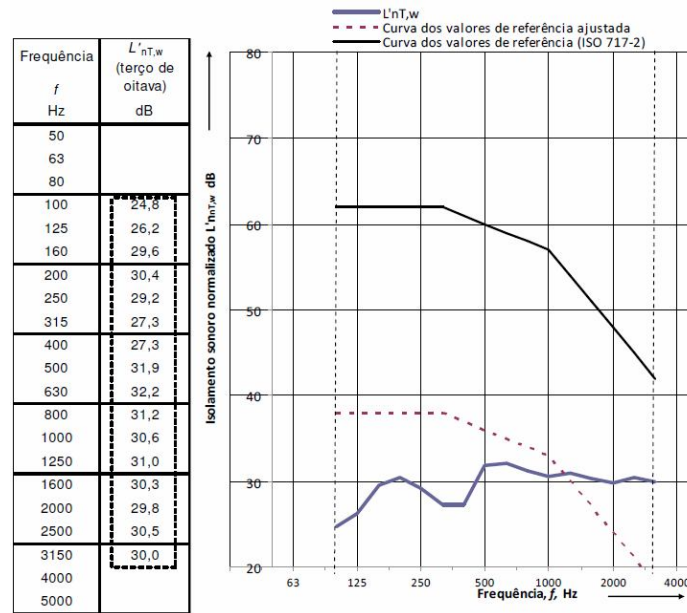
3.9.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, o resultado consta das Figuras 3.42 e 3.43.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 59$ dB

Figura 3.42 – $D_{nT,w}$ (Clínica médica – Habitação)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 36$ dB

Figura 3.43 – $L'_{nT,w}$ (Clínica médica – Habitação)

Apresentam-se nas Tabelas 3.32 e 3.33 os resultados dos ensaios acústicos.

Tabela 3.32 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 9 – Clínica médica – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{nT,w}$	59	3	62	≥ 58

Tabela 3.33 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 9 – Clínica médica – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$L'_{nT,w}$	36	-3	33	≤ 50

De acordo com os resultados obtidos (Tabelas 3.32 e 3.33), são cumpridos os valores limite estabelecidos no RRAE, para o isolamento a sons aéreos e de percussão.

A Tabela 3.34 apresenta a comparação dos resultados dos ensaios acústicos com os do projeto acústico.

Tabela 3.34 – Comparação de resultados – Caso de estudo 9

Parâmetros	Projeto acústico Valores (dB)	Ensaio acústico Valores (dB)
$D_{nT,w}$	59	62
$L'_{nT,w}$	50	33

Ao comparar-se os resultados pode-se concluir que os valores obtidos em projeto são aproximados aos valores obtidos pelos ensaios para o isolamento a sons aéreos entre compartimentos, mas para o isolamento a sons de percussão entre compartimentos, existe uma grande diferença, porque a solução de revestimento prevista no projeto foi melhorada em obra.

3.10. Caso de estudo 10

3.10.1. Caracterização

O caso de estudo 10 refere-se a um edifício misto novo que no decorrer do processo de licenciamento, na altura do pedido de autorização de utilização, a Câmara Municipal solicitou a entrega de ensaios acústicos. O edifício é composto por três pisos. O piso térreo é composto por duas lojas (A e B), o 1º andar por dois apartamentos T2 e o 2º andar por um apartamento T3. As peças desenhadas do edifício encontram-se no Anexo VIII.

Muito embora o edifício esteja implantado numa zona urbana consolidada de São Bartolomeu de Messines e na envolvente exterior não existem instalações fabris ou outras fontes exteriores pontuais emissoras de ruído intenso.

De acordo com o projeto acústico do edifício as paredes exteriores são em alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado (30x20x11 + 30x20x11), com caixa de ar de 5 cm parcialmente preenchida por placas rígidas de poliestireno extrudido de 3 cm de espessura, revestida a reboco de argamassa de cimento pelo exterior e a estuque projetado pelo interior. As paredes interiores confinantes com as zonas comuns (escada e zona de acesso aos fogos) e entre habitações são em alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado (30x20x9 + 30x20x9), com caixa de ar preenchida com placas de lã de rocha com 4 cm de espessura e densidade de 70 kg/m³ com barreira pára-vapor pelo interior, rebocada em ambas as faces por estuque projetado. O pavimento sobre as lojas e entre os pisos de habitação é constituído por laje maciça em betão armado de 20 cm com camada de enchimento em betonilha “Leca” de 10 cm, isolada na face superior por manta acústica de 2

cm e com revestimento cerâmico. As janelas da loja são em caixilharia de alumínio, com vidros incolores de 6 e 5 mm de espessura afastados entre si de 10 mm e não têm qualquer proteção. As janelas das habitações são em caixilharia de alumínio, com vidros duplos incolores de 5 e 4 mm de espessura afastados entre si de 8 mm com proteção por estore exterior. A cobertura do edifício é inclinada executada em laje maciça de betão armado com isolamento aplicado sobre o sistema de impermeabilização da laje, constituído por placas rígidas de poliestireno extrudido com 6 cm de espessura. É de salientar que a fachada da loja A possui uma área translúcida superior a 60%.

3.10.2. Ensaios acústicos

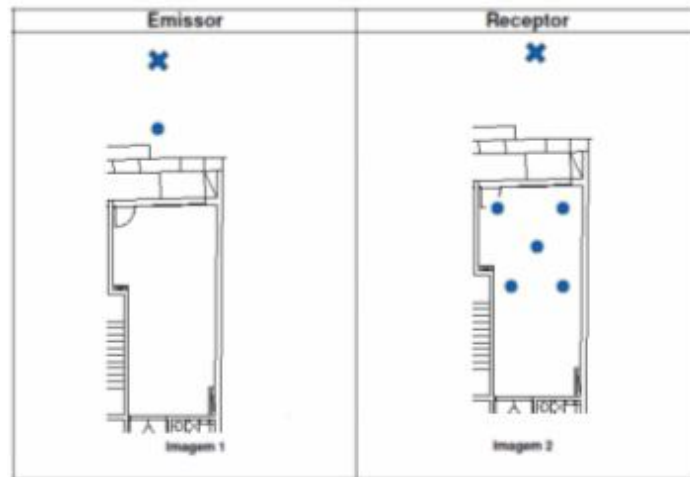
Este edifício enquadra-se nos artigos 5º e 6º do RRAE, pretende-se caracterizar o índice do isolamento sonoro com o objetivo de verificar o cumprimento da alínea a) ii) do n.º 1 do artigo 6º e das alíneas d) e g) do n.º 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

Os ensaios acústicos a que foi submetido foram ao isolamento sonoro a sons aéreos de fachada da loja A destinada a comércio e da sala do apartamento C (1º andar), ao isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos e ao isolamento sonoro a sons de percussão na vertical entre a loja A e a sala do apartamento C (1º andar), entre o quarto do apartamento C (1º andar) e o quarto do apartamento E (2º andar) e entre o quarto do apartamento C (1º andar) e o quarto do apartamento D (1º andar).

Apresenta-se na Tabela 3.35 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e nas Figuras 3.44 a 3.48 constam as localizações das posições de medição.

Tabela 3.35 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 10

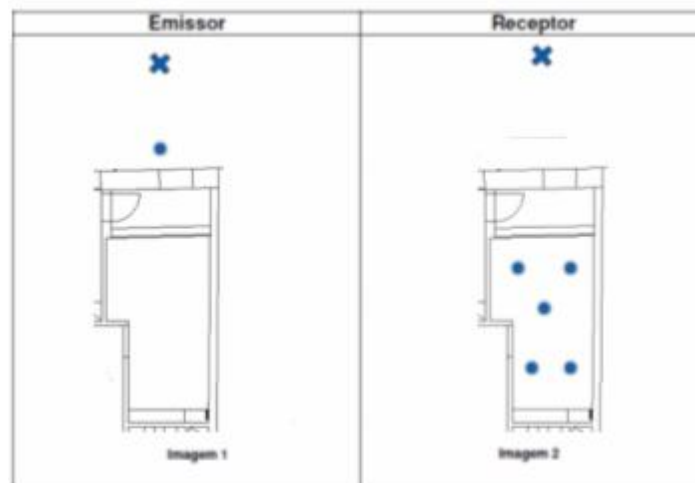
Ensaio	Tipo	Compartmento	Descrição	Imagem
Fachada Loja A (r/c)	Aéreos	Emissor	Exterior	1
		Recetor	Loja A	2
Fachada Apartamento C (1º andar)	Aéreos	Emissor	Exterior	1
		Recetor	Sala	2
Loja A (r/c) – Apartamento C (1º andar)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Loja A	1
		Recetor	Sala	2
	Percussão	Emissor	Loja A	3
		Recetor	Sala	4
Apartamento C (1º andar) – Apartamento E (2º andar)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Quarto Ap. C	1
		Recetor	Quarto Ap. E	2
	Percussão	Emissor	Quarto Ap. C	3
		Recetor	Quarto Ap. E	4
Apartamento C (1º andar) – Apartamento D (1º andar)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Quarto Ap. C	1
		Recetor	Quarto Ap. E	2
	Percussão	Emissor	Quarto Ap. C	3
		Recetor	Quarto Ap. E	4



Legenda:

- ✕ Posições da fonte sonora
- Posições do sonómetro

Figura 3.44 – Localização das posições de medição (Fachada loja A)



Legenda:

- ✕ Posições da fonte sonora
- Posições do sonómetro

Figura 3.45 – Localização das posições de medição (Fachada apartamento C)



Legenda:

- ✕ ✕ Diferentes posições da fonte sonora
- ◆ ◆ ◆ Diferentes posições da máquina de percussão
- ○ ● Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

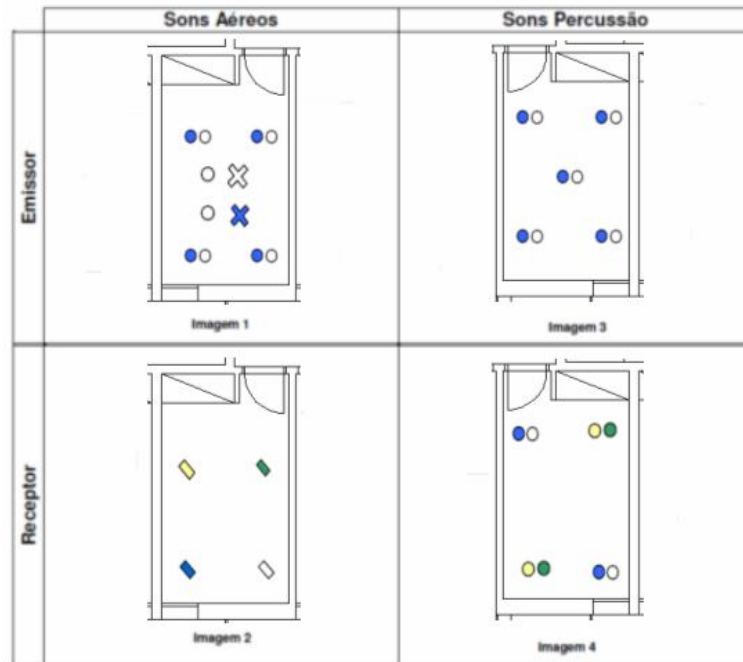
Figura 3.46 – Localização das posições de medição (Loja A – Apartamento C/1ºandar)



Legenda:

- ✕ ✕ Diferentes posições da fonte sonora
- ◆ ◆ ◆ Diferentes posições da máquina de percussão
- ○ ● Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.47 – Localização das posições de medição (Apartamento C/1ºandar – Apartamento E/2ºandar)



Legenda:

- Diferentes posições da fonte sonora
- Diferentes posições da máquina de percussão
- Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.48 – Localização das posições de medição (Apartamento C/1ºandar – Apartamento D/1ºandar)

Apresenta-se na Figura 3.49 apontamentos fotográficos das medições realizadas ao edifício.

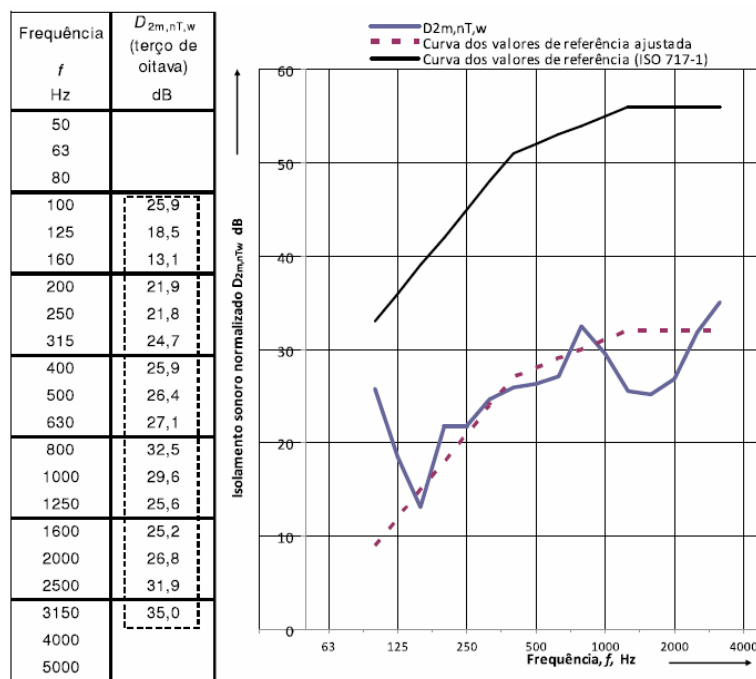




Figura 3.49 – Apontamentos fotográficos das medições – Caso de estudo 10

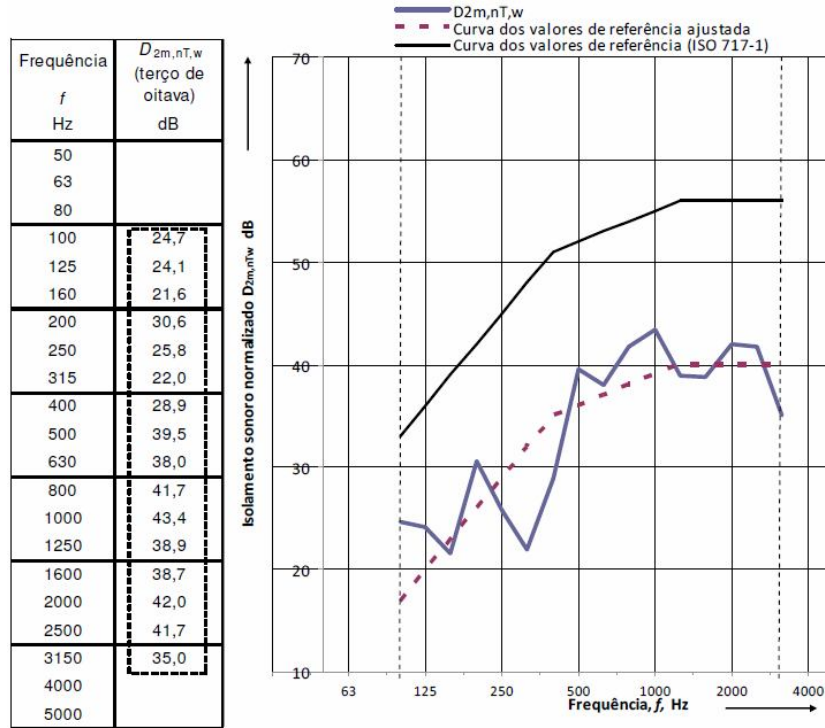
3.10.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, os resultados obtidos constam das Figuras 3.50 a 3.57.



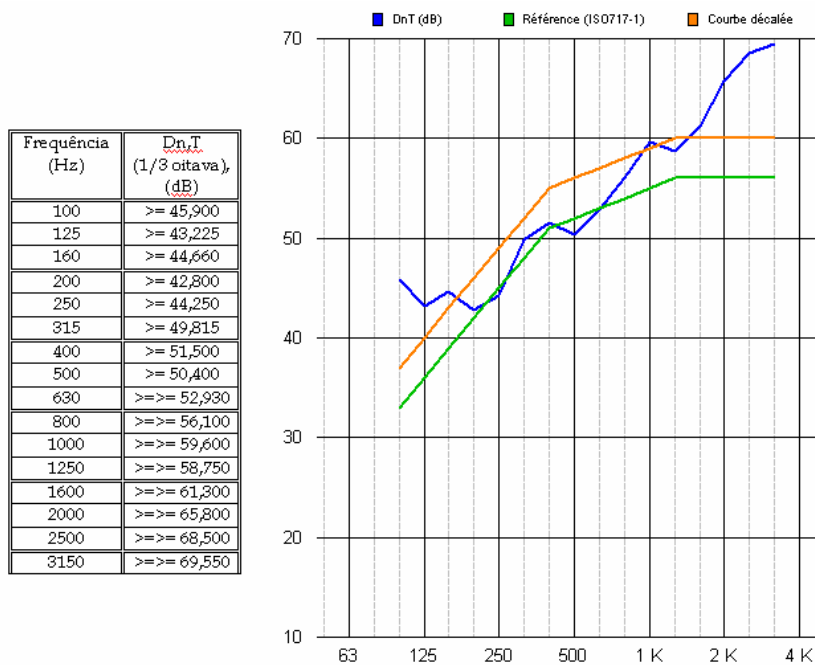
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{2m,nT,w} = 28$ dB

Figura 3.50 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada loja A)



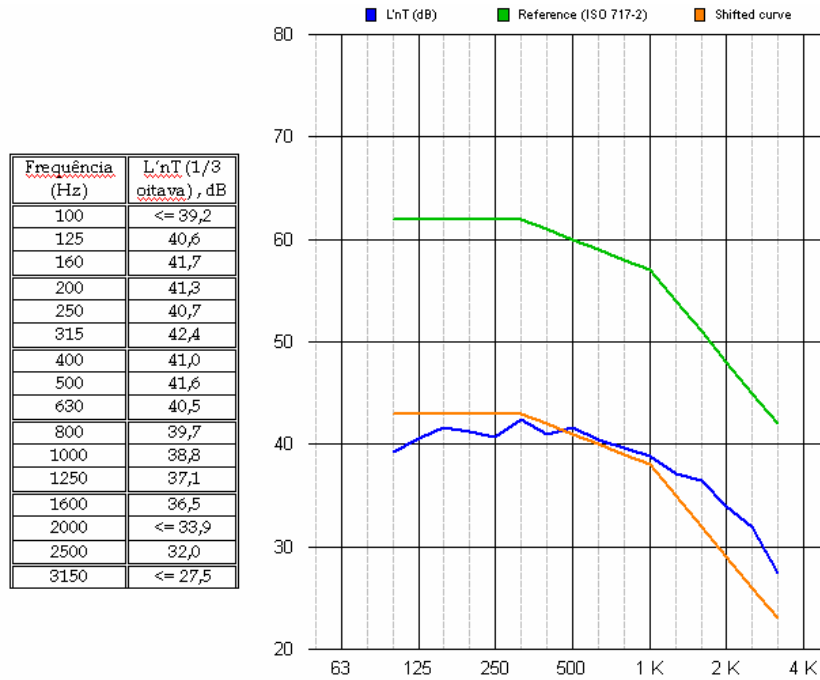
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{2m,nT,w} = 36$ dB

Figura 3.51 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada apartamento C)



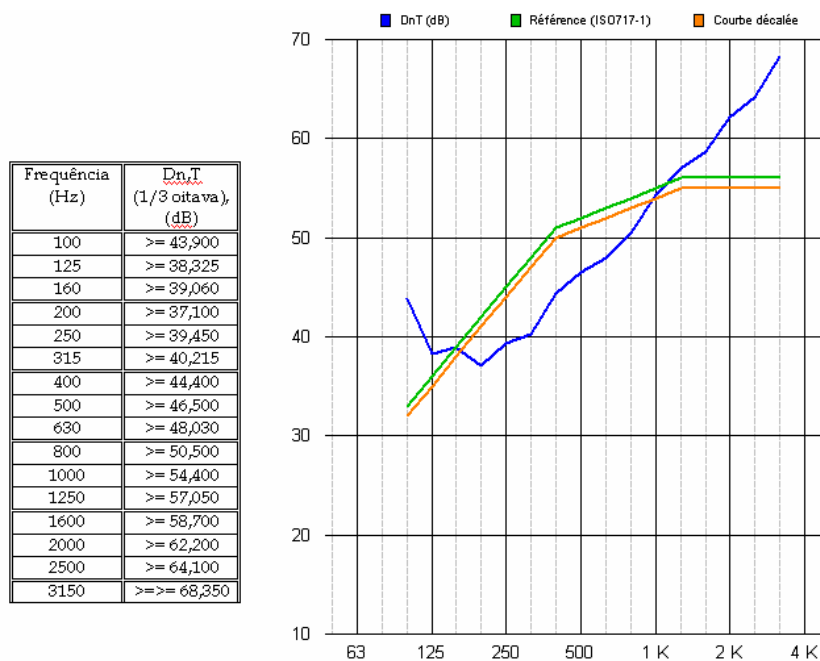
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 56$ dB

Figura 3.52 – $D_{nT,w}$ (Loja A – Apartamento C/1º andar)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 41$ dB

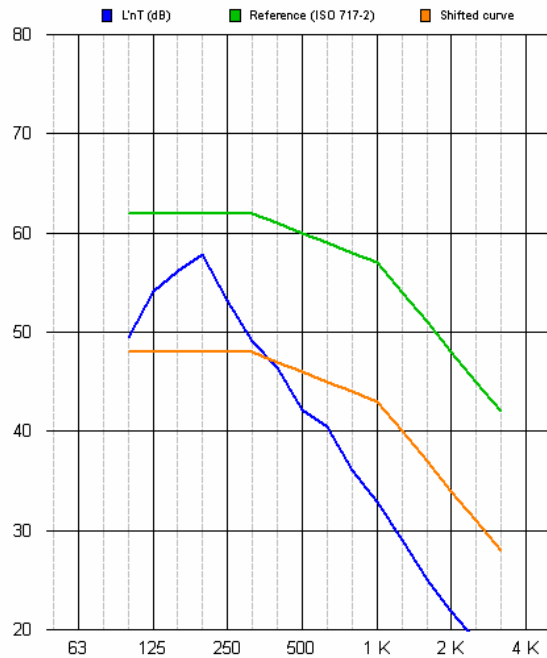
Figura 3.53 – $L'_{nT,w}$ (Loja A – Apartamento C/1º andar)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 51$ dB

Figura 3.54 – $D_{nT,w}$ (Apartamento C/1º andar – Apartamento E/2º andar)

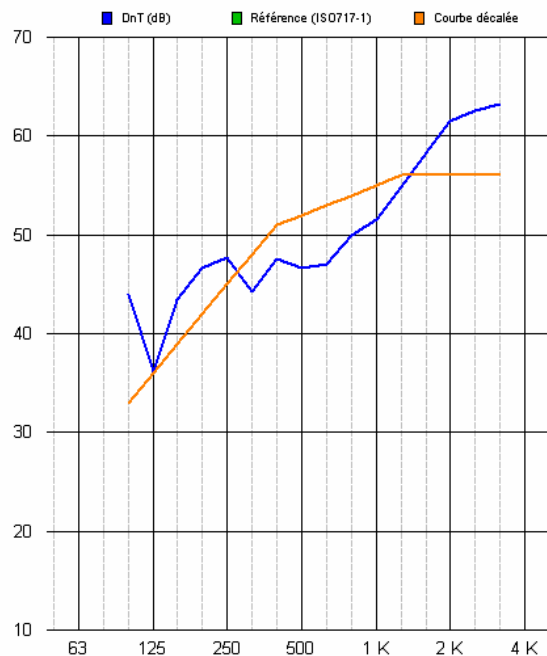
Frequência (Hz)	L'nT (1/3 oitava), dB
100	49,5
125	54,1
160	56,1
200	57,8
250	53,2
315	49,1
400	46,4
500	42,2
630	40,4
800	36,1
1000	32,9
1250	29,0
1600	<= 25,1
2000	<= 21,9
2500	<= 19,0
3150	<= 16,6



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 46$ dB

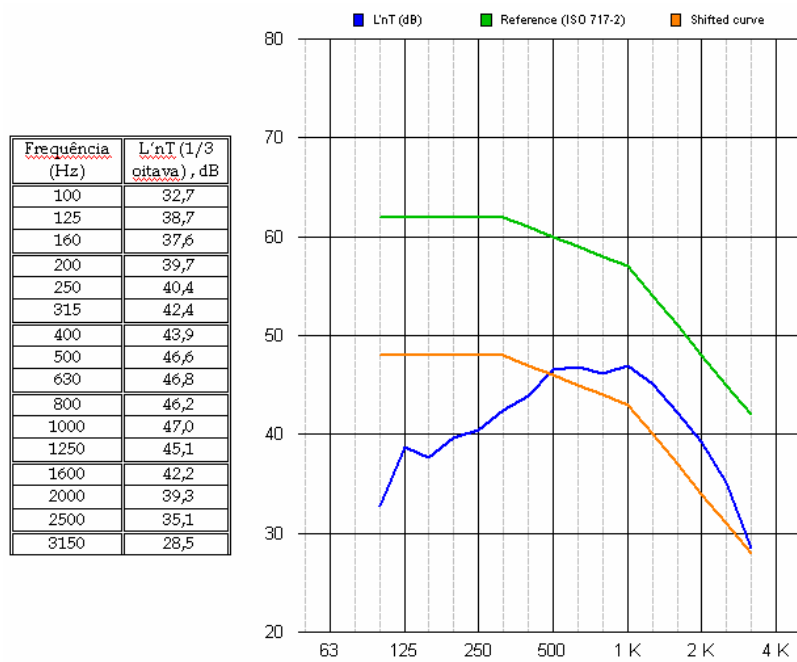
Figura 3.55 – $L'_{nT,w}$ (Apartamento C/1ºandar – Apartamento E/2ºandar)

Frequência (Hz)	Dn,T (1/3 oitava), (dB)
100	>= 44,000
125	>= 36,225
160	>= 43,460
200	>= 46,600
250	>= 47,750
315	>= 44,215
400	>= 47,600
500	>= 46,700
630	>= 47,030
800	>= 50,000
1000	>= 51,600
1250	>= 54,950
1600	>= 58,300
2000	>= 61,500
2500	>= 62,500
3150	>= 63,250



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 52$ dB

Figura 3.56 – $D_{nT,w}$ (Apartamento C/1ºandar – Apartamento D/1ºandar)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 46$ dB

Figura 3.57 – $L'_{nT,w}$ (Apartamento C/1º andar – Apartamento D/1º andar)

Os resultados dos ensaios acústicos efetuados ao edifício apresentam-se nas Tabelas 3.36, 3.37 e 3.38.

Tabela 3.36 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 10

Ensaio	Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
Fachada Loja A	$D_{2m,nT,w}$	28(-1)=27 ^(C_{tr})	3	30	≥ 25
Fachada Apartamento C		36	3	39	≥ 33

(C) Visto a fachada apresentar uma superfície translúcida superior a 60%, é necessário adicionar ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação C_{tr} previsto no DL 96/2008 (neste caso o valor de C_{tr} é -1).

Tabela 3.37 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 10

Ensaio	Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
Loja A – Apartamento C (1º andar)	$D_{nT,w}$	56	3	59	≥ 58
Apartamento C (1º andar) – Apartamento E (2º andar)		51	3	54	≥ 50
Apartamento C (1º andar) – Apartamento D (1º andar)		51	3	54	≥ 50

Tabela 3.38 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 10

Ensaio	Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
Loja A – Apartamento C (1º andar)	$L'_{nT,w}$	41	-3	38	≤ 50
Apartamento C (1º andar) – Apartamento E (2º andar)		46	-3	43	≤ 60
Apartamento C (1º andar) – Apartamento D (1º andar)		46	-3	43	≤ 60

De acordo com os resultados obtidos (Tabelas 3.36, 3.37 e 3.38), são cumpridos os valores limite estabelecidos no RRAE, para o isolamento a sons aéreos de fachada, para o isolamento a sons aéreos entre compartimentos e de percussão.

A Tabela 3.39 apresenta a comparação dos resultados dos ensaios acústicos com os do projeto acústico.

Tabela 3.39 – Comparação de resultados – Caso de estudo 10

	Parâmetros	Projeto acústico Valores (dB)	Ensaio acústico Valores (dB)
Fachada Loja A	$D_{2m,nT,w}$	28	30
Fachada Apartamento C		39	39
Loja A – Apartamento C (1º andar)	$D_{nT,w}$	59	59
	$L'_{nT,w}$	40	38
Apartamento C (1º andar) – Apartamento E (2º andar)	$D_{nT,w}$	51	54
	$L'_{nT,w}$	40	43
Apartamento C (1º andar) – Apartamento D (1º andar)	$D_{nT,w}$	51	54
	$L'_{nT,w}$	40	43

Ao comparar-se os resultados pode-se concluir que os valores obtidos em projeto são aproximados aos valores obtidos pelos ensaios.

3.11. Caso de estudo 11

3.11.1. Caracterização

O caso de estudo 11 refere-se a um edifício misto novo que no decorrer do processo de licenciamento, na altura do pedido de autorização de utilização, a Câmara Municipal solicitou a entrega de ensaios acústicos. O edifício é constituído por três pisos, o piso térreo é composto por duas lojas (A e B), o 1º e 2º andar por uma habitação duplex. As peças desenhadas do edifício encontram-se no Anexo IX.

O edifício localiza-se numa zona urbana consolidada de São Bartolomeu de Messines e na sua periferia não se encontram fontes particulares geradoras de ruído, com exceção da via pública.

De acordo com o projeto acústico do edifício as paredes exteriores são em alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado (30x20x15 + 30x20x15), com caixa de ar de 6 cm parcialmente preenchida por placas rígidas de poliestireno extrudido de 4 cm de espessura, revestida a reboco de argamassa de cimento pelo exterior e a estuque projetado pelo interior. O pavimento sobre as lojas é constituído por laje maciça em betão armado de 25 cm com uma camada de regularização de 10 cm de betão leve, isolada na face superior por manta acústica de 2 cm e com revestimento cerâmico. As janelas das lojas são em caixilharia de alumínio, com vidros duplos incolores de 6 e 5 mm de espessura afastados entre si de 12 mm e não têm proteção nem exterior nem interior. As janelas das habitações têm a mesma solução construtiva tendo proteção por estore exterior. A cobertura do edifício é inclinada executada em laje maciça de betão armado com isolamento aplicado sobre o sistema de impermeabilização da laje. É de salientar que a fachada da loja A possui uma área translúcida superior a 60%. A loja A apresenta um teto falso, que não foi considerado no projeto acústico.

3.11.2. Ensaios acústicos

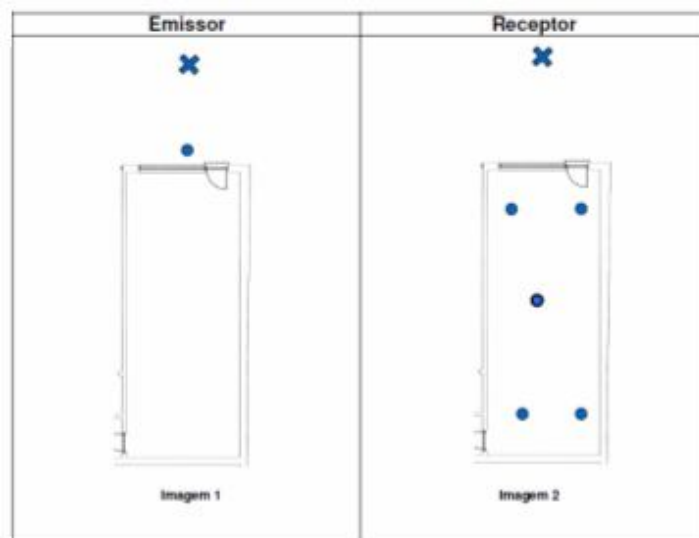
O edifício enquadra-se nos artigos 5º e 6º do RRAE, pretende-se caracterizar o índice do isolamento sonoro com o objetivo de verificar o cumprimento da alínea a) ii) do n.º 1 do artigo 6º e das alíneas d) e g) do n.º 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

Os ensaios acústicos a que foi submetido foram ao isolamento sonoro a sons aéreos de fachada, ao isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos e ao isolamento sonoro a sons de percussão na vertical entre a loja e o quarto da habitação.

Apresenta-se na Tabela 3.40 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e nas Figuras 3.58 e 3.59 as localizações das posições de medição.

Tabela 3.40 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 11

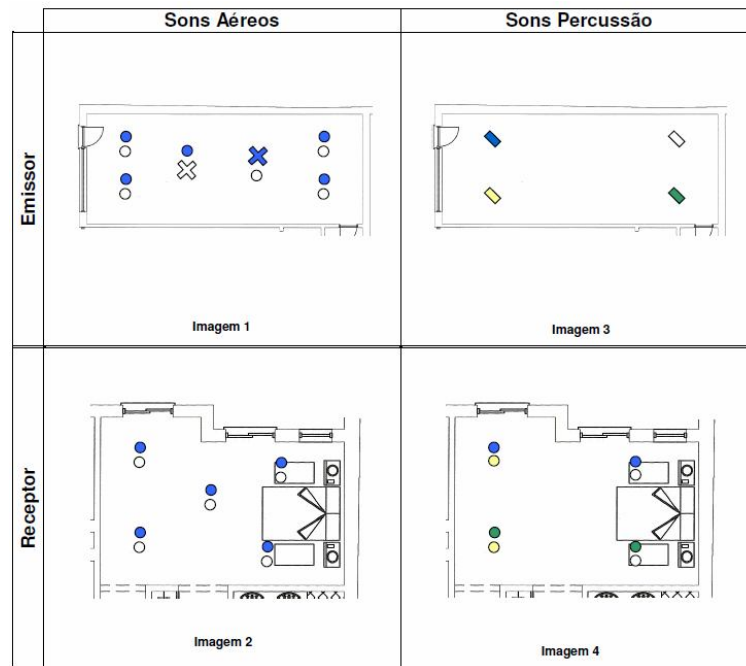
Ensaio	Tipo	Compartmento	Descrição	Imagem
Fachada Loja A (r/c)	Aéreos	Emissor	Exterior	1
		Receptor	Loja	2
Loja A (r/c) – Habitação (1º andar)	Aéreos entre compartimentos	Emissor	Loja	1
		Receptor	Quarto	2
	Percussão	Emissor	Loja	3
		Receptor	Quarto	4



Legenda:

- ✕ Posições da fonte sonora
- Posições do sonómetro

Figura 3.58 – Localização das posições de medição (Fachada loja A)



Legenda:

- Diferentes posições da fonte sonora
- Diferentes posições da máquina de percussão
- Posições do sonómetro consoante as posições da fonte sonora

Figura 3.59 – Localização das posições de medição (Loja A – Habitação)

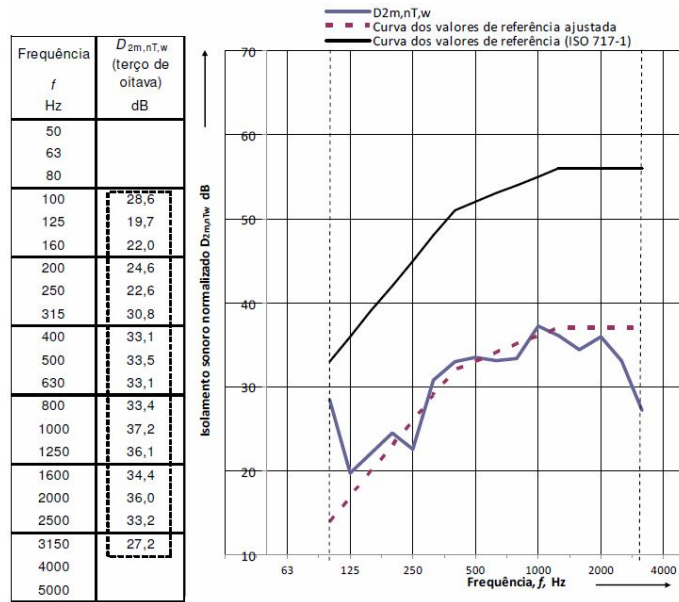
Na Figura 3.60 apresentam-se dois apontamentos fotográficos do edifício.



Figura 3.60 – Apontamentos fotográficos do local – Caso de estudo 11

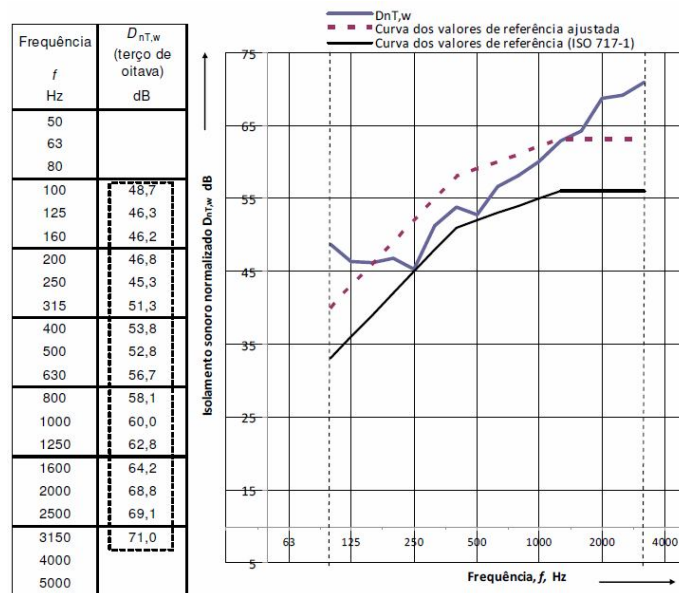
3.11.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, os resultados obtidos apresentam-se nas Figuras 3.61, 3.62 e 3.63.



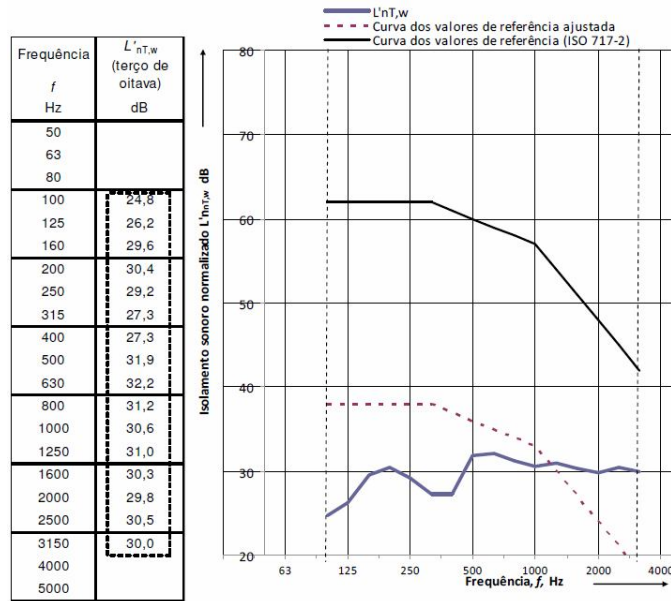
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{2m,nT,w} = 33$ dB

Figura 3.61 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada loja A)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 59$ dB

Figura 3.62 – $D_{nT,w}$ (Loja A – Habitação)



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 36$ dB

Figura 3.63 – $L'_{nT,w}$ (Loja A – Habitação)

As Tabelas 3.41, 3.42 e 3.43 sintetizam os resultados dos ensaios acústicos efetuados ao edifício.

Tabela 3.41 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 11 – Fachada loja A

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{2m,nT,w}$	33(-1)=32 ^(Ctr)	3	35	≥ 25

^(C) Visto a fachada apresentar uma superfície translúcida superior a 60%, é necessário subtrair o termo de adaptação C_{tr} previsto no DL 96/2008 para o parâmetro $D_{2m,nT,w}$.

Tabela 3.42 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 11 – Loja A – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{nT,w}$	59	3	62	≥ 58

Tabela 3.43 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 11 – Loja A
– Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$L'_{nT,w}$	36	-3	33	≤ 50

De acordo com os resultados obtidos (Tabelas 3.41, 3.42 e 3.43), são cumpridos os valores limite estabelecidos no RRAE, para o isolamento a sons aéreos de fachada, para o isolamento a sons aéreos entre compartimentos e para o isolamento a sons de percussão.

A Tabela 3.44 apresenta a comparação dos resultados dos ensaios acústicos com os do projeto acústico.

Tabela 3.44 – Comparação de resultados – Caso de estudo 11

Parâmetros	Projeto acústico Valores (dB)	Ensaio acústicos Valores (dB)
$D_{2m,nT,w}$	34	35
$D_{nT,w}$	58	62
$L'_{nT,w}$	41	33

Ao comparar-se os resultados pode-se concluir que para os isolamentos a sons aéreos de fachada e isolamentos a sons aéreos entre compartimentos, os valores obtidos em projeto são aproximados aos valores obtidos pelos ensaios, mas para o isolamento a sons de percussão os valores divergem em -8 dB.

3.12. Caso de estudo 12

3.12.1. Caracterização

O caso de estudo 12 refere-se a uma moradia unifamiliar nova que no decorrer do processo de licenciamento, na altura do pedido de autorização de utilização, a Câmara Municipal de Silves solicitou a entrega de ensaios acústicos.

A moradia é composta por cave, r/c e 1º andar e encontra-se isolada. As peças desenhadas do edifício encontram-se no Anexo X.

A moradia localiza-se na periferia de uma zona urbana num local que se pode considerar bastante calmo.

De acordo com o projeto acústico da moradia as paredes exteriores são em alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado (30x20x11 + 30x20x15), com caixa de ar de 8 cm parcialmente preenchida por placas rígidas de poliestireno extrudido de 6 cm de espessura, revestida a reboco de argamassa de cimento pelo exterior e a estuque projetado pelo interior. O pavimento sobre a cave é constituído por laje maciça em betão armado com uma camada de regularização de 5 cm de betão leve, isolada na face superior por espuma de polietileno expandido de 3 mm e com revestimento cerâmico. As janelas são em caixilharia de alumínio, com vidros duplos incolores de 8 e 5 mm de espessura afastados entre si de 12 mm com proteção por estore exterior. A cobertura da moradia é plana composta por laje maciça em betão armado, camada de forma em betão de inertes de argila expandida com 10 cm de espessura, tela impermeabilizante, isolamento térmico por placas rígidas de poliestireno extrudido com 6 cm de espessura, proteção exterior por betonilha armada.

3.12.2. Ensaio acústicos

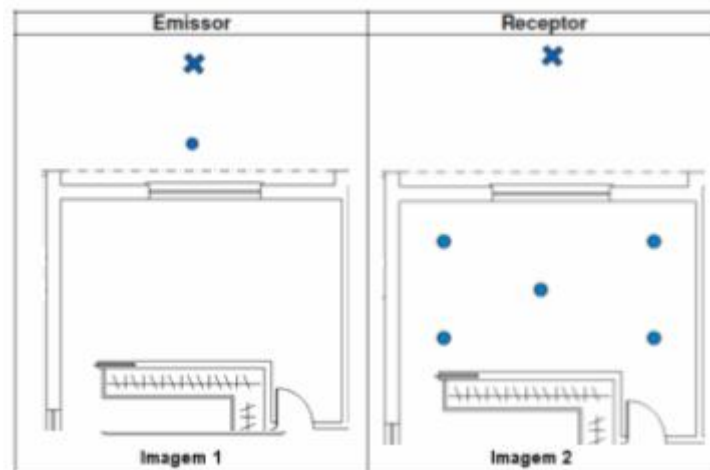
A moradia enquadra-se no artigo 5º do RRAE, pretende-se caracterizar o índice do isolamento sonoro com o objetivo de verificar o cumprimento das alíneas a) i) do nº 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

O ensaio acústico a que foi submetida foi ao isolamento sonoro a sons aéreos de fachada.

Apresenta-se na Tabela 3.45 a identificação dos locais escolhidos para a realização das medições e na Figura 3.64 a localização das posições de medição.

Tabela 3.45 – Identificação dos locais escolhidos para o ensaio – Caso de estudo 12

Ensaio	Tipo	Compartimento	Descrição	Imagem
Fachada moradia (1º andar)	Aéreos	Emissor	Exterior	1
		Recetor	Quarto	2



Legenda:

- ✕ Posições da fonte sonora
- Posições do sonómetro

Figura 3.64 – Localização das posições de medição (Fachada moradia)

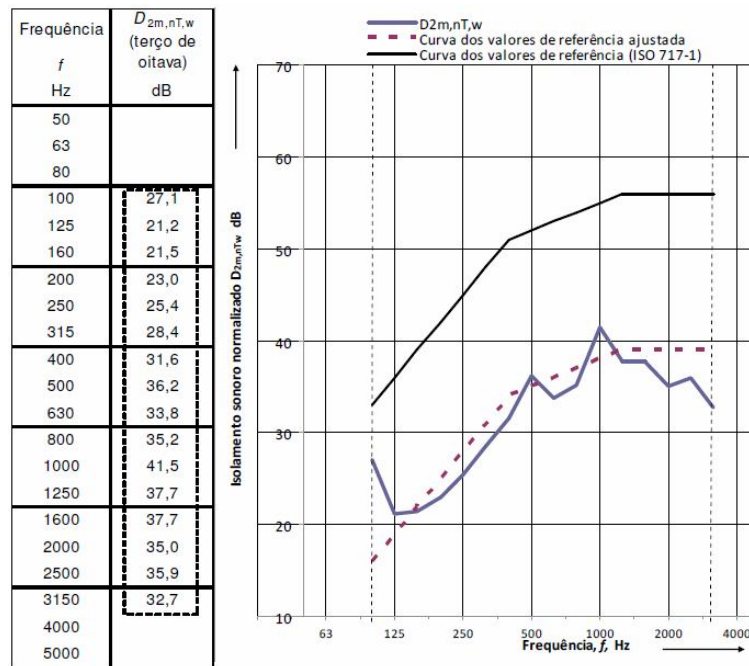
Apresenta-se na Figura 3.65 apontamentos fotográficos do edifício.



Figura 3.65 – Apontamentos fotográficos do edifício – Caso de estudo 12

3.12.3. Resultados

Depois de transferir os dados do sonómetro para o programa de cálculo, o resultado é dado na forma da Figura 3.66.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{2m,nT,w} = 35$ dB

Figura 3.66 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada moradia)

Apresenta-se na Tabela 3.46 o resultado do ensaio acústico efetuado à moradia.

Tabela 3.46 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 12 – Fachada moradia

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{2m,nT,w}$	35	3	38	≥ 33

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 3.46), é cumprido o valor limite estabelecido no RRAE, para o isolamento a sons aéreos de fachada.

A Tabela 3.47 apresenta a comparação dos resultados dos ensaios acústicos com os do projeto acústico.

Tabela 3.47 – Comparação de resultados – Caso de estudo 12

Parâmetros	Projeto acústico Valores (dB)	Ensaio acústico Valor (dB)
$D_{2m,nT,w}$	40	38

Ao comparar-se os resultados pode-se concluir que o valor obtido em projeto é mais elevado que o valor obtido pelo ensaio em 2 dB.

3.13. Análise de resultados

Após a realização dos ensaios acústicos aos edifícios dos casos de estudo e de se obterem todos os resultados é importante analisar a percentagem de cumprimento e de não cumprimento dos índices de isolamento sonoro referentes aos primeiros seis casos de estudo referentes aos edifícios licenciados antes (pré 2002) e dos últimos seis casos de estudo referentes aos edifícios licenciados depois (pós 2002) da entrada em vigor do DL 129/2002.

As Figuras 3.67, 3.68 e 3.69 apresentam gráficos com a comparação dos resultados em percentagem dos índices de isolamento a sons aéreos de fachada, de isolamento a sons aéreos entre compartimentos e de isolamento a sons de percussão que cumprem a exigência regulamentar.

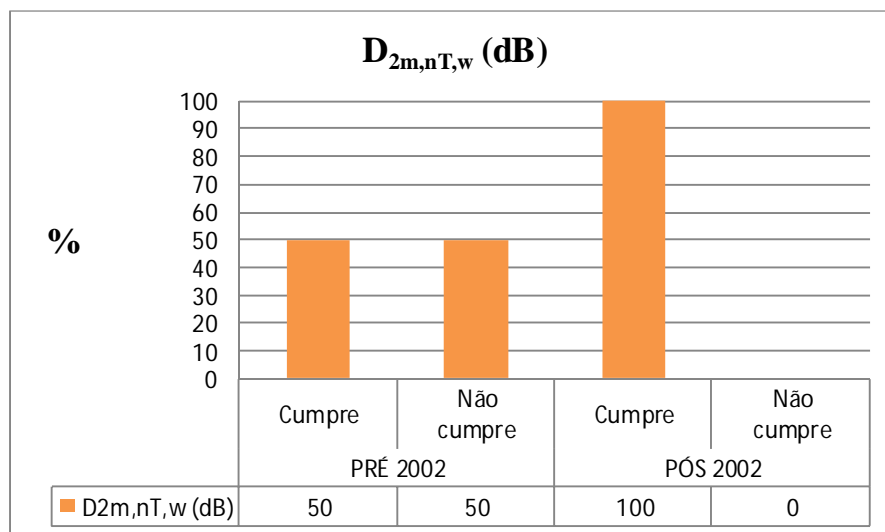


Figura 3.67 – Gráfico do índice $D_{2m,nT,w}$ (dB)

Analisando a Figura 3.67 verifica-se que apenas 50% dos casos de estudo dos edifícios licenciados antes de 2002, cumprem os valores limites do índice de isolamento a sons aéreos de fachada e que a totalidade dos edifícios dos casos de estudo licenciados após 2002 cumpre os valores limites estabelecidos no RRAE.

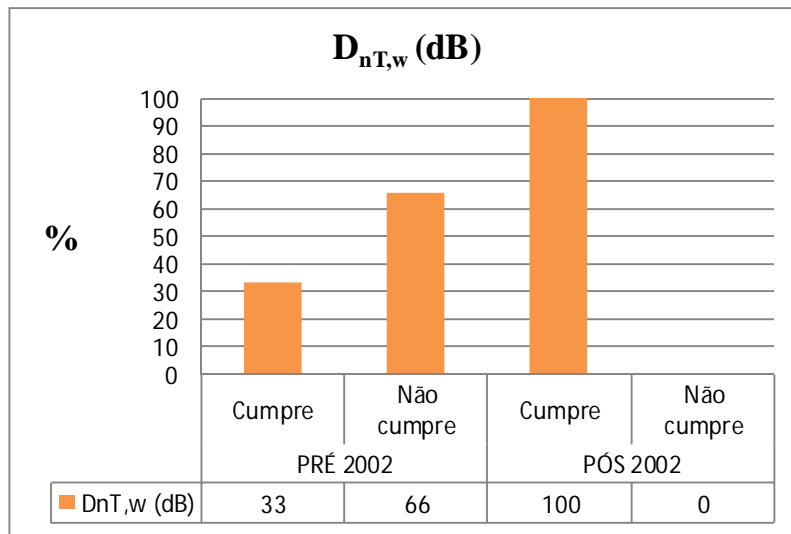


Figura 3.68 – Gráfico do índice $D_{nT,w}$ (dB)

O gráfico da Figura 3.68 indica que nos edifícios licenciados antes de 2002, a percentagem de incumprimento dos valores limites do índice de isolamento a sons aéreos entre compartimentos é superior à percentagem de cumprimento e que todos os edifícios analisados licenciados após 2002 cumprem os valores limites estabelecidos no RRAE.

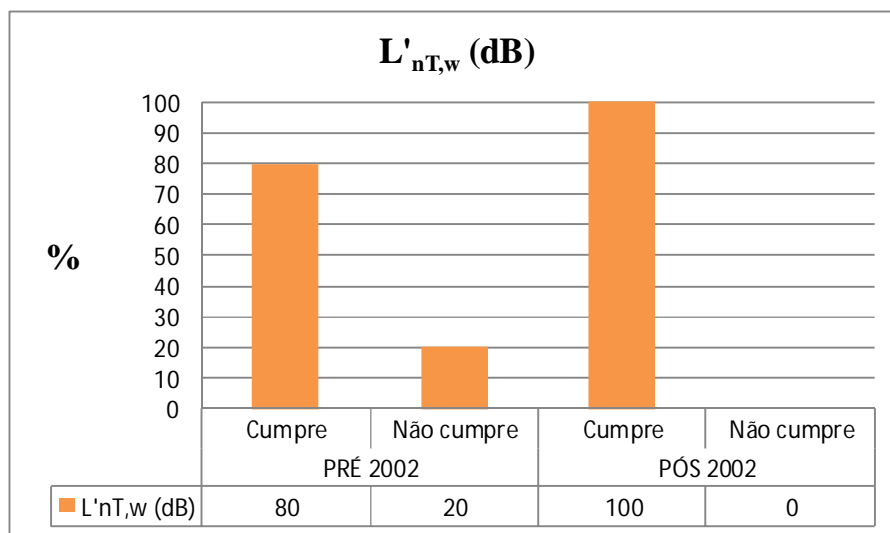


Figura 3.69 – Gráfico do índice $L'_{nT,w}$ (dB)

De acordo com a Figura 3.69 conclui-se que no caso dos edifícios licenciados antes de 2002, a percentagem de cumprimento dos valores limites do índice de isolamento a sons de percussão é

superior à percentagem de incumprimento e que todos os edifícios estudados licenciados após 2002 cumprem os valores limites estabelecidos no RRAE.

Realça-se que os edifícios analisados licenciados depois da entrada em vigor do DL 129/2002 cumprem a 100% os valores limites estabelecidos no RRAE dos índices de isolamento a sons aéreos de fachada, de isolamento a sons aéreos entre compartimentos e de isolamento a sons de percussão. Também é de salientar que nem sempre o resultado do ensaio acústico é pior do que o previsto em projeto havendo dois casos em que apresentam valores melhores.

4. PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA

Os casos de estudo analisados reportam a edifícios correntes de pequena área, localizados fora dos grandes centros e cujos proprietários procuravam soluções de reabilitação acústica pouco dispendiosas. As soluções aqui propostas estão em consonância com essa preocupação correspondendo a soluções de reabilitação corrente e anteriormente aplicadas e testadas noutros casos de estudo.

4.1. Caso de estudo 1

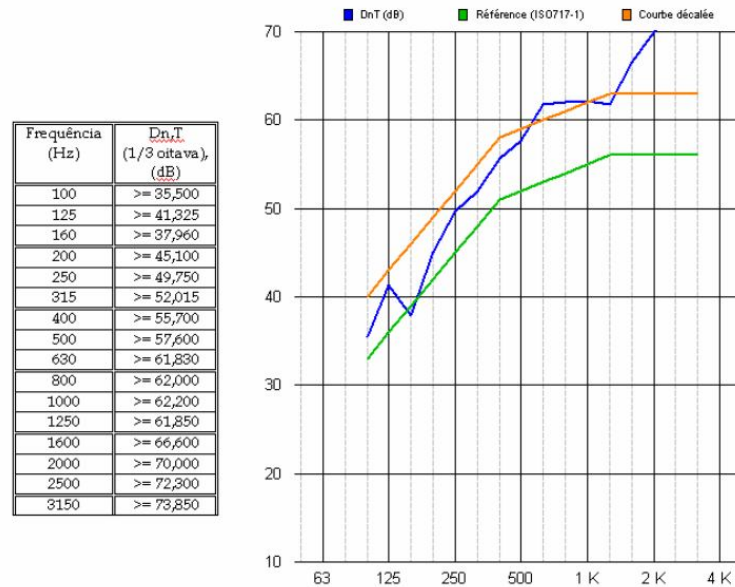
4.1.1. Solução de reabilitação

Para tratar o deficiente isolamento a sons aéreos entre a farmácia e a habitação foram efetuados os seguintes melhoramentos na farmácia:

- colocação de teto falso com isolamento em lã de rocha com 40 mm de espessura e 70 kg/m³ de densidade;
- colocação de placas de gesso cartonado com espessura de 13 mm em todo o perímetro das paredes limite;
- colocação de vinílico de base flexível, com camada de desgaste rígida sobre base flexível, com espessura de 2 mm sobre o mosaico cerâmico do pavimento.

4.1.2. Ensaios acústicos e resultados

Os resultados dos ensaios acústicos efetuados depois da obra de reabilitação estar concluída encontram-se na Figura 4.1 e Tabela 4.1.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 59$ dB

Figura 4.1. – $D_{nT,w}$ (Farmácia – Habitação)

Tabela 4.1 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 1 – Farmácia – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{nT,w}$	59	3	62	≥ 58

Como se pode verificar o local ensaiado cumpre o valor limite estabelecido no RRAE, para o isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos. Ocorreu um melhoramento de 51 dB para 62 dB, conforme se pode também observar na Figura 4.2 que mostra os resultados anteriores e posteriores à reabilitação acústica.

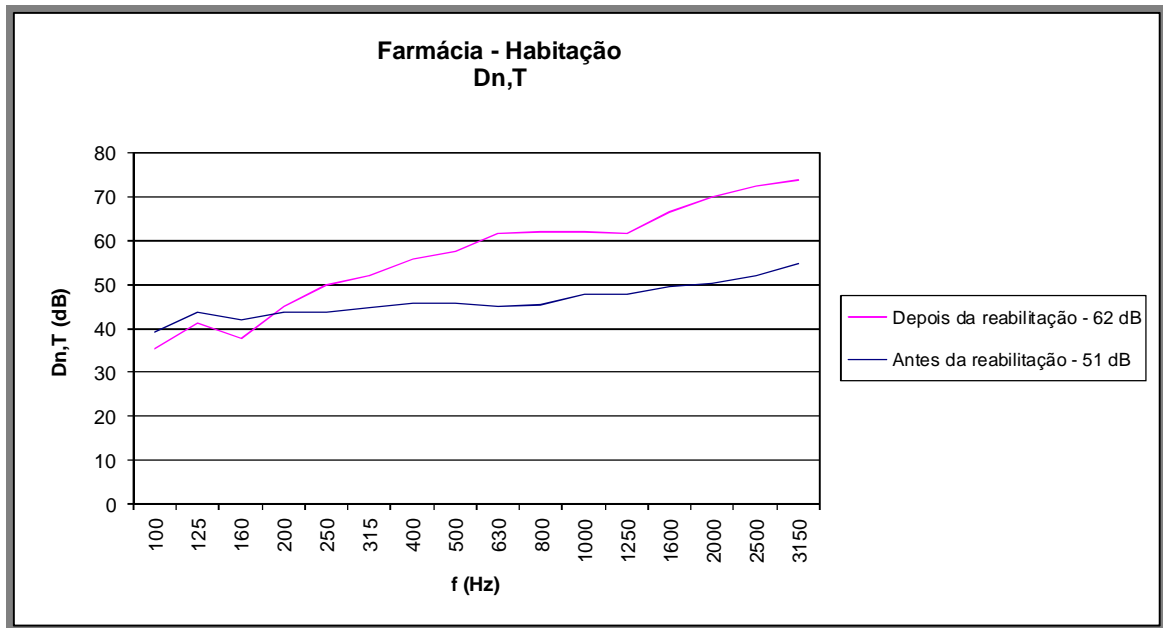


Figura 4.2 – Gráfico de resultados D_{n,T} – Caso de estudo 1

4.2. Caso de estudo 2

4.2.1. Solução de reabilitação

Para a resolução do problema acústico do isolamento a sons aéreos entre o escritório e a habitação do 1º andar, procedeu-se à colocação de um teto falso com isolamento em lã de rocha com 40 mm de espessura e 70 kg/m³ de densidade no escritório.

4.2.2. Ensaio acústicos e resultados

Os resultados dos ensaios acústicos efetuados depois da reabilitação encontram-se na Figura 4.3 e Tabela 4.2.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 58$ dB

Figura 4.3 – $D_{nT,w}$ (Escritório – Habitação)

Tabela 4.2 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 2 – Escritório – Habitação

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{nT,w}$	58	3	61	≥ 58

Como se pode verificar o local ensaiado já cumpre o valor limite estabelecido no RRAE, para o isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos. Ocorreu um melhoramento de 54 dB para 61 dB, a solução aplicada revelou-se assim eficaz. Na Figura 4.4 observa-se a comparação dos resultados anteriores e posteriores às obras de reabilitação acústica.

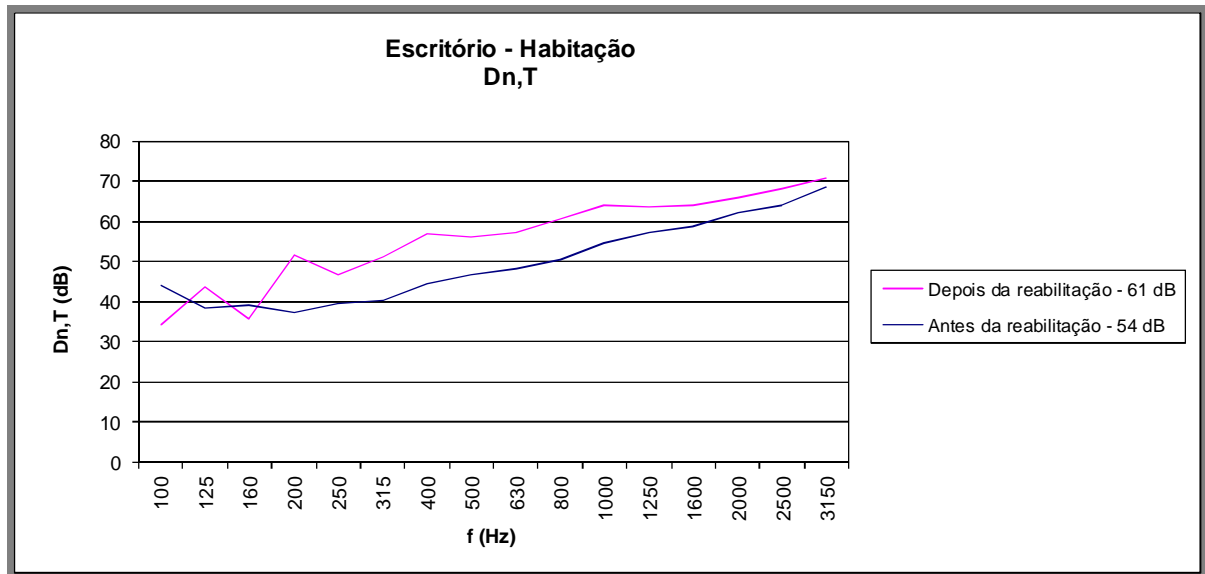


Figura 4.4 – Gráfico de resultados D_{nT} – Caso de estudo 2

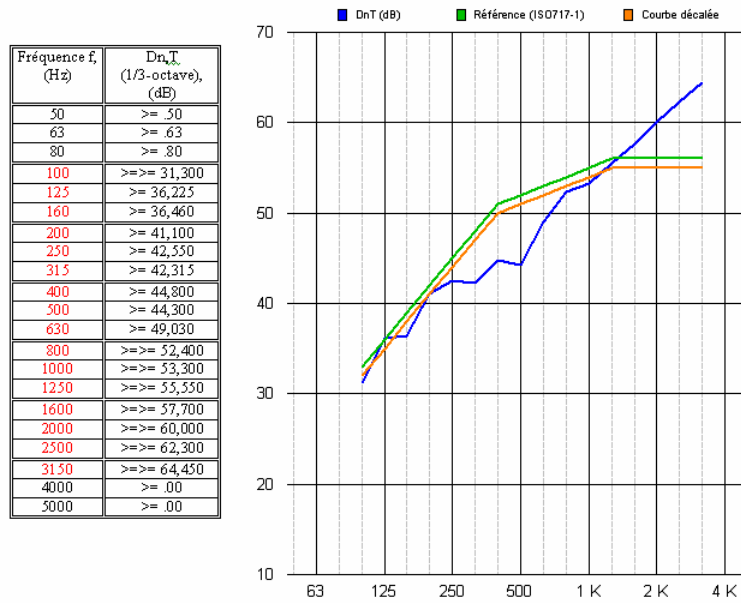
4.3. Caso de estudo 3

4.3.1. Solução de reabilitação

O problema acústico é referente ao isolamento a sons aéreos entre o café (r/c) e a habitação do 1º andar/fachada principal, ao isolamento a sons aéreos entre o café (piso intermédio) e a habitação do 1º andar/fachada posterior e ao isolamento a sons de percussão entre o café (piso intermédio) e a habitação do 1º andar/fachada posterior. Para o efeito foi feita a colocação de um teto falso em placas de gesso cartonado com espessura de 15 mm com isolamento em lã de rocha com 20 mm de espessura e 40 kg/m^3 de densidade no café.

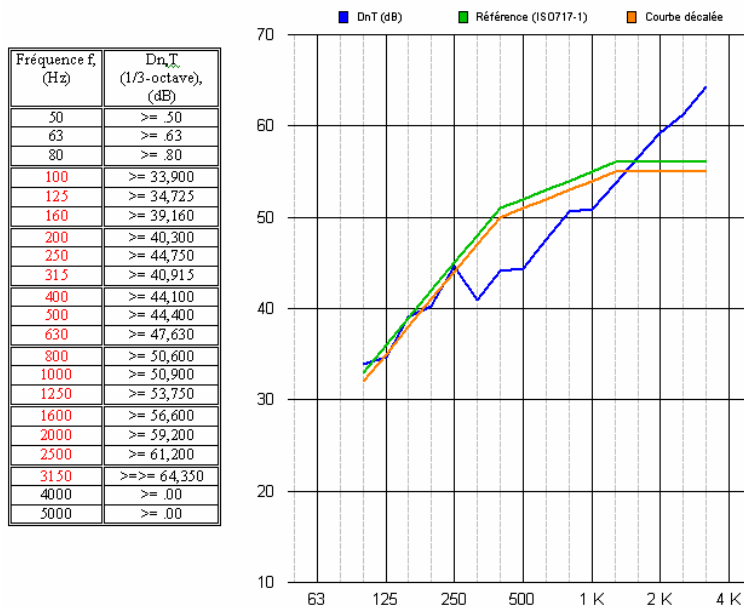
4.3.2. Ensaios acústicos e resultados

Os resultados dos ensaios acústicos efetuados depois de aplicadas as soluções de reabilitação encontram-se nas Figuras 4.5, 4.6, 4.7 e Tabelas 4.3 e 4.4.



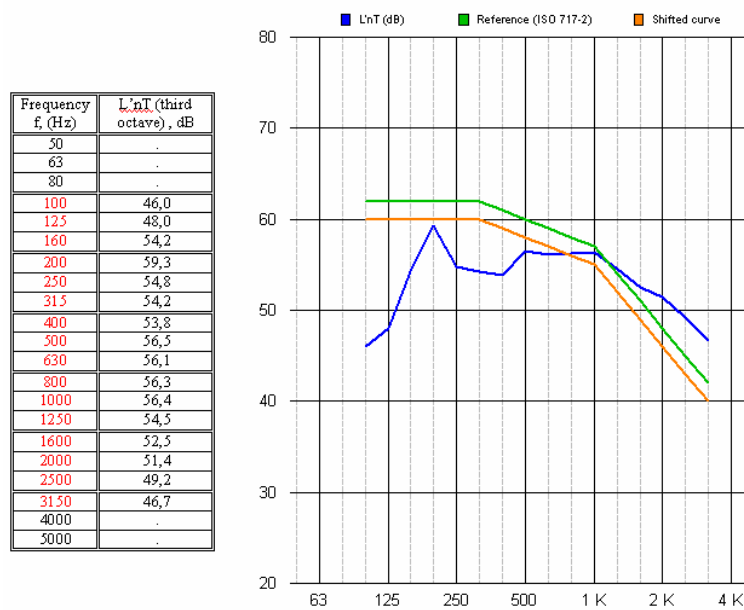
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – D_{nT,w} = 51 dB

Figura 4.5 – D_{nT,w} (Café(r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal) – A



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – D_{nT,w} = 51 dB

Figura 4.6 – D_{nT,w} (Café(piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior) – A



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 58$ dB

Figura 4.7 – $L'_{nT,w}$ (Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior) – A

Tabela 4.3 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 3 – A

Ensaio	Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal	$D_{nT,w}$	51	3	54	≥ 58
Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior	$D_{nT,w}$	51	3	54	≥ 58

Tabela 4.4 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 3 – A

Ensaio	Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior	$L'_{nT,w}$	58	-3	55	≤ 50

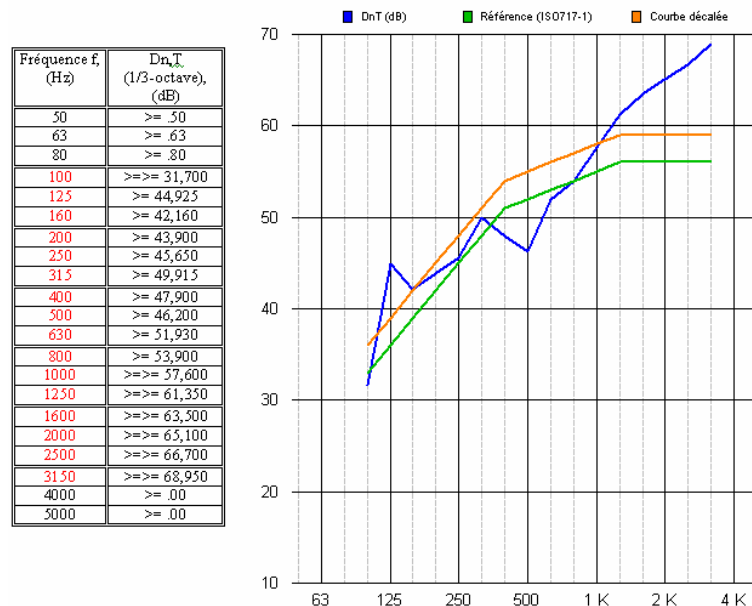
Como se pode verificar, continua o incumprimento dos valores limites estabelecidos no RRAE para todos os ensaios. A colocação de teto falso com isolamento não é suficiente.

Foram feitas mais obras de melhoramento, nomeadamente:

- colocação de mais 20 mm de lã de rocha, com densidade 40 kg/m^3 , no teto falso, perfazendo uma espessura total de 40 mm;
- colocação de placas de gesso cartonado com 13 mm de espessura em todas as paredes;
- colocação de pavimento flutuante em madeira por cima do pavimento cerâmico existente do piso intermédio.

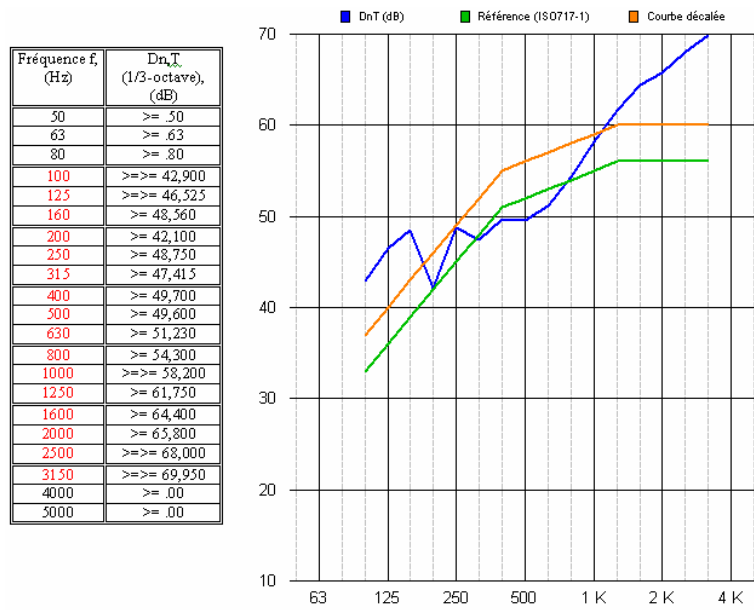
Depois da execução destas obras foram efetuados novos ensaios acústicos designados por B, que foram realizados nos mesmos locais dos ensaios realizados anteriormente.

Apresentam-se nas Figuras 4.8, 4.9, 4.10 e Tabelas 4.5 e 4.6 os resultados dos novos ensaios acústicos efetuados depois de aplicadas as soluções de reabilitação.



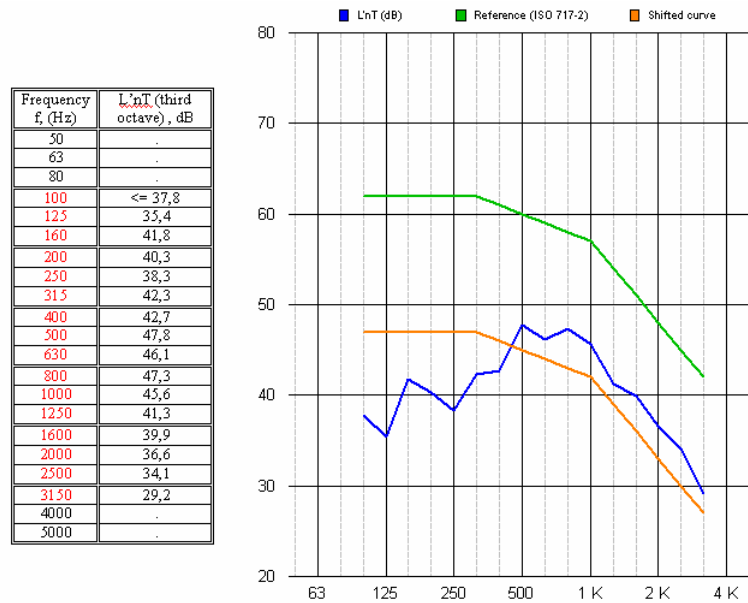
Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 55 \text{ dB}$

Figura 4.8 – $D_{nT,w}$ (Café(r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal) – B



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{nT,w} = 56$ dB

Figura 4.9 – $D_{nT,w}$ (Café(piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior) – B



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 45$ dB

Figura 4.10 – $L'_{nT,w}$ (Café(piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior) – B

Tabela 4.5 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 3 – B

Ensaio	Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal	$D_{nT,w}$	55	3	58	≥ 58
Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior	$D_{nT,w}$	56	3	59	≥ 58

Tabela 4.6 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 3 – B

Ensaio	Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
Café (piso intermédio) – Habitação 1º andar/fachada posterior	$L'_{nT,w}$	45	-3	42	≤ 50

Como se pode verificar os locais ensaiados já cumprem os valores limite estabelecidos no RRAE, quer para o isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos quer para a percussão. Para o Café (r/c) – Habitação 1º andar/fachada principal, o índice do isolamento sonoro a sons aéreos obteve um melhoramento de 6 dB (52 dB para 58 dB). Para o Café (piso intermédio) - Habitação 1º andar/fachada posterior, desde o primeiro ensaio, o índice do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos obteve um melhoramento de 9 dB (50 dB para 59 dB) e o índice do isolamento sonoro a sons de percussão obteve um melhoramento de -14 dB (de 56 dB para 42 dB). A Figura 4.11 e 4.12 apresenta um gráfico comparativo dos resultados anteriores e posteriores à reabilitação.

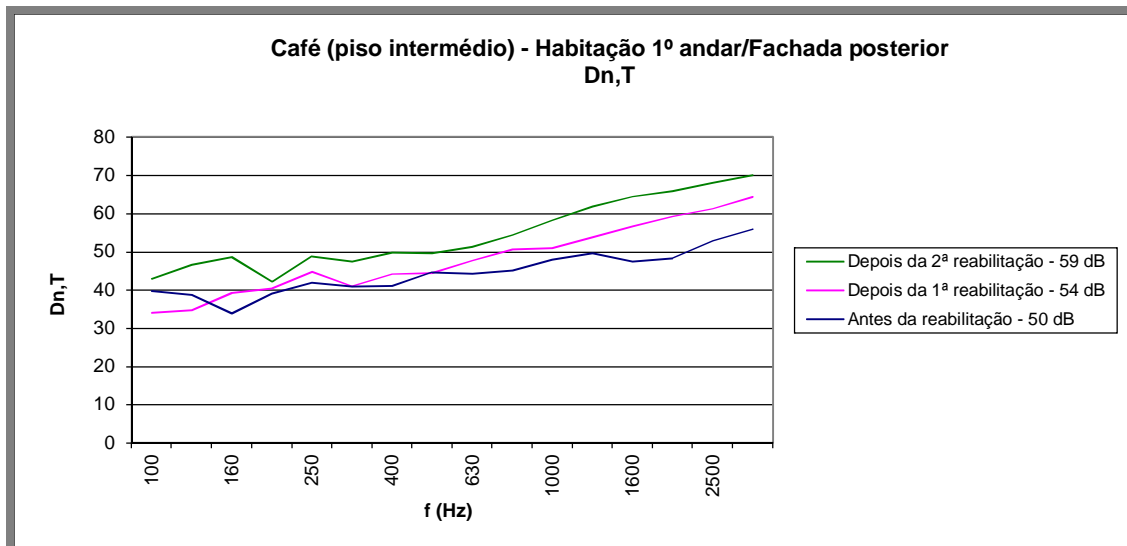
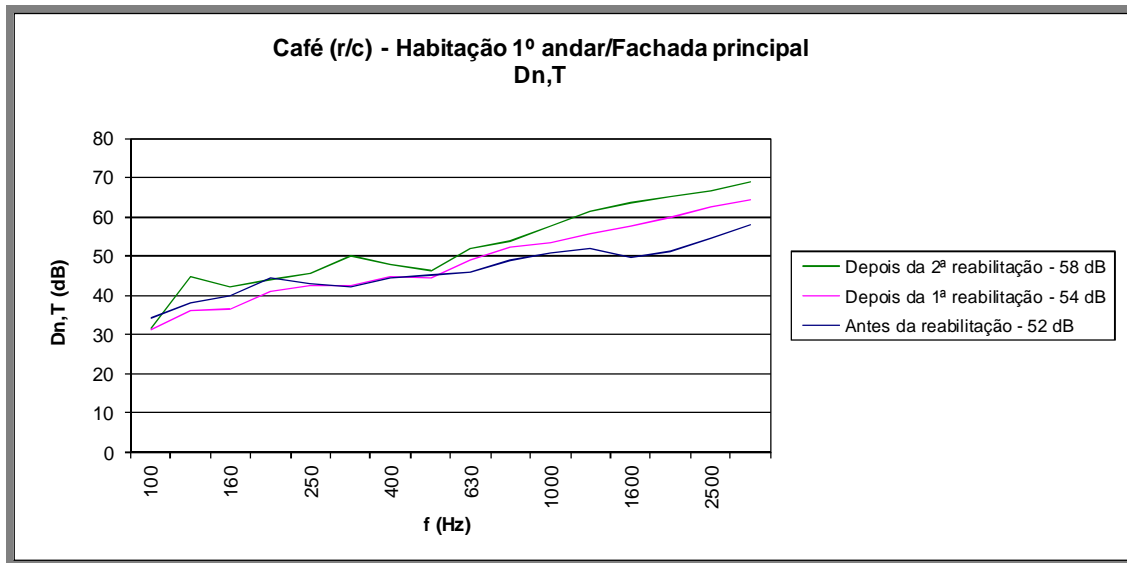


Figura 4.11 – Gráfico de resultados $D_{n,T}$ – Caso de estudo 3

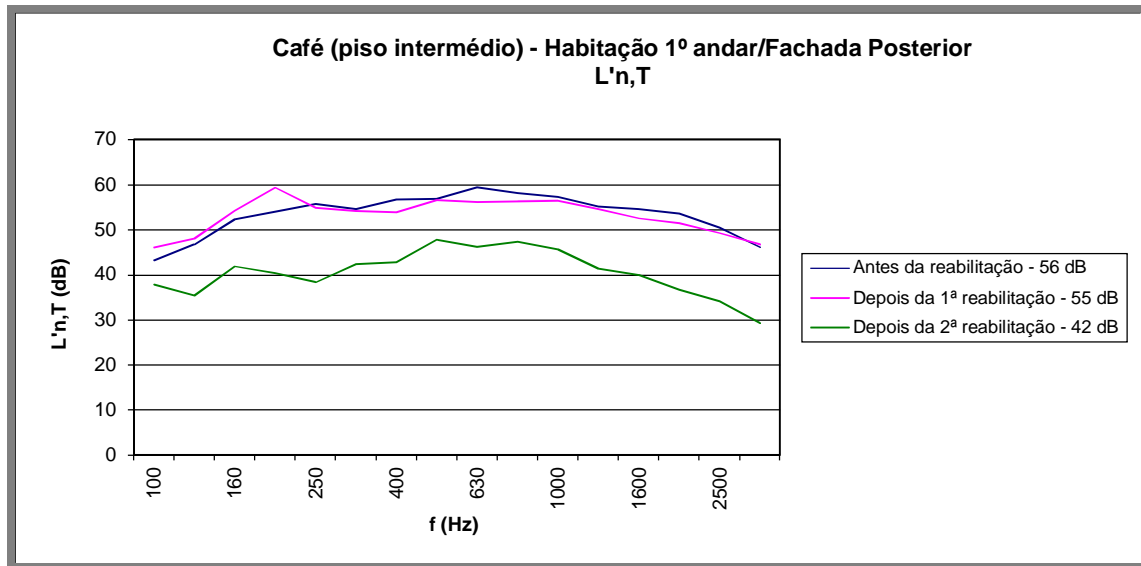


Figura 4.12 – Gráfico de resultados $L'_{n,T}$ – Caso de estudo 3

4.4. Caso de estudo 4

4.4.1. Solução de reabilitação

A solução de reabilitação acústica para melhorar o isolamento aos sons aéreos entre a casa das bombas e a moradia foi proposta no relatório do ensaio e foi aplicada:

- Colocação de duas placas de gesso cartonado sobrepostas com espessura de 13 mm cada sobre material absorvente (lã de rocha com 40 mm e 70 kg/m^3) na parede de fundo, nas duas paredes laterais e no teto da casa das bombas conforme pormenor da Figura 4.13. Na fixação da estrutura das paredes e teto falsos à estrutura do edifício devem ser colocados cortes elásticos e deve existir uma caixa de ar de pelo menos 10 mm entre a lã de rocha e as paredes e teto existentes.

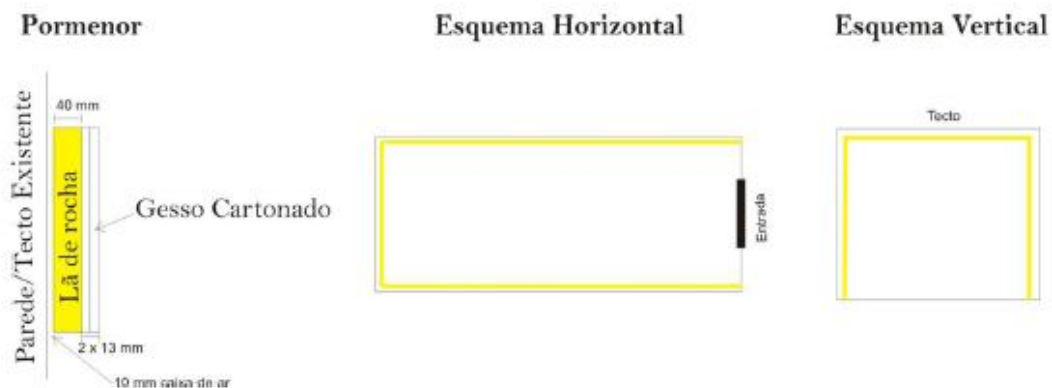
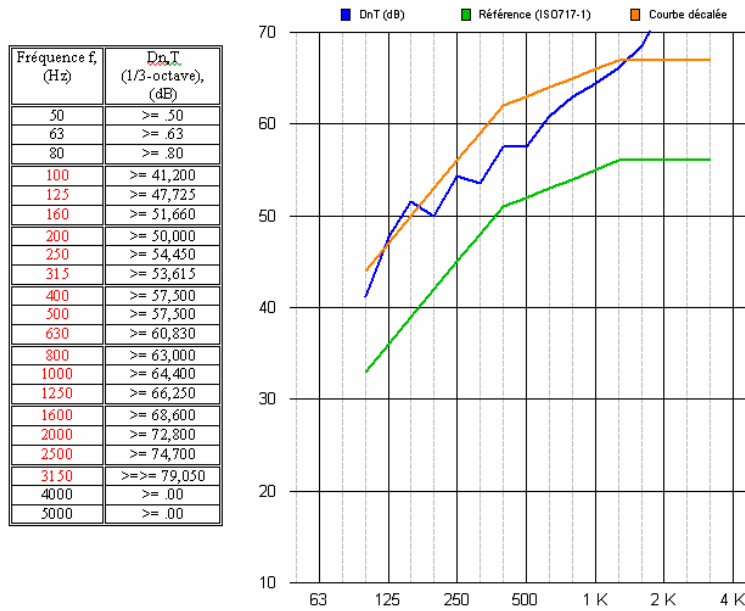


Figura 4.13 – Esquema da composição das paredes e teto falso a instalar

4.4.2. Ensaios acústicos e resultados

Os resultados dos ensaios acústicos efetuados depois da reabilitação acústica encontram-se na Figura 4.14 e Tabela 4.7 seguintes.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – D_{nT,w} = 63 dB

Figura 4.14 – D_{nT,w} (Casa das bombas – Moradia)

Tabela 4.7 – Resultados relativos a sons aéreos entre compartimentos – Caso de estudo 4 – Casa das bombas – Moradia

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
D _{nT,w}	63	3	66	≥ 58

Como se pode verificar a solução adotada permitiu aumentar o isolamento sonoro a sons aéreos de 58 dB para 66 dB. Na Figura 4.15 apresenta-se um gráfico comparativo entre os resultados anteriores e posteriores às obras de reabilitação acústica.

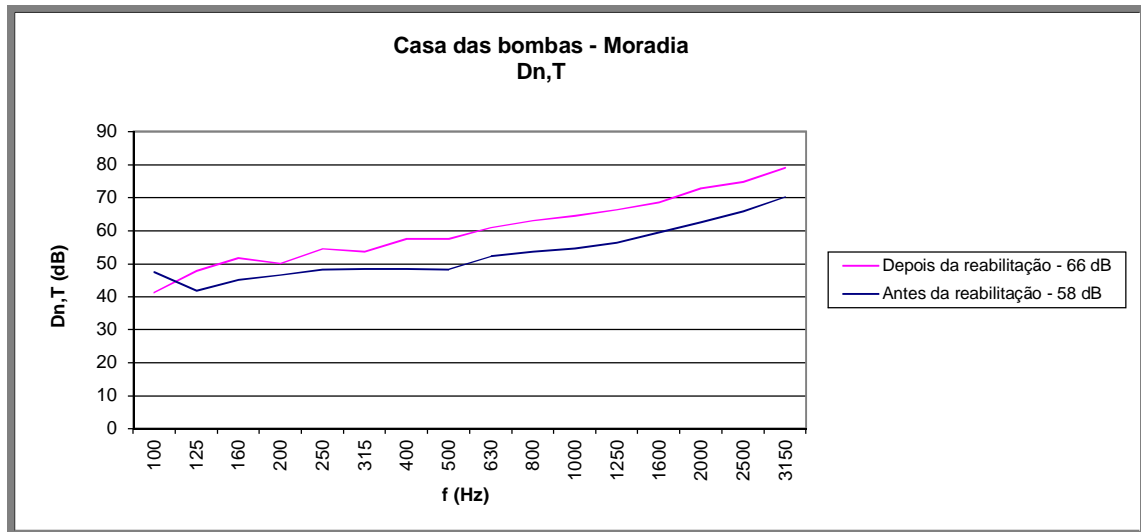


Figura 4.15 – Gráfico de resultados Dn,T – Caso de estudo 4

Foi ainda recomendada, a alteração do horário de funcionamento das bombas da piscina para um horário de funcionamento no período diurno, e que a porta da casa das bombas estivesse sempre fechada, devendo para isso ser colocada uma mola de fecho.

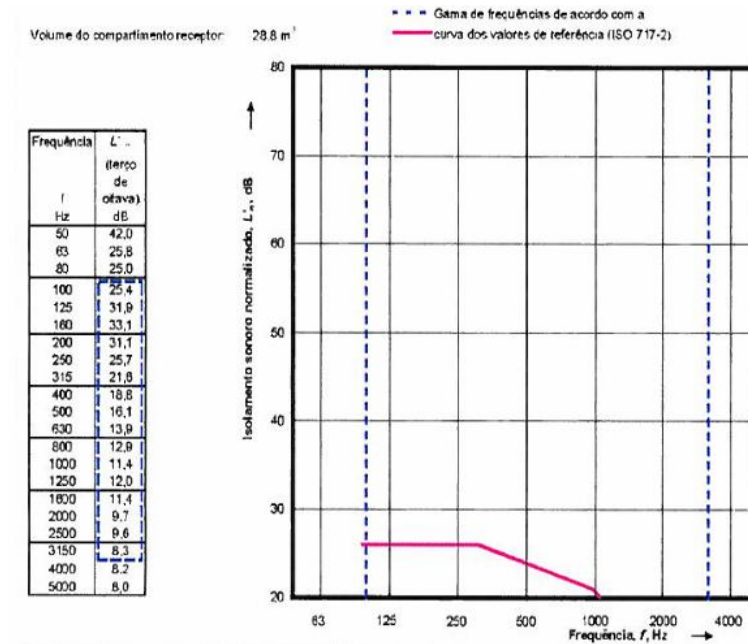
4.5. Caso de estudo 5

4.5.1. Solução de reabilitação

O objetivo da reabilitação é o de melhorar o isolamento aos sons de percussão entre o clube de bilhar e a moradia. Para o efeito procedeu-se à colocação de pavimento resiliente no piso do clube de bilhar, através de placas ClempolFlex LD15 da Croxon [33] com dimensões singulares de 100x100x1,5 cm sobre as quais se colocou um pavimento de parquet.

4.5.2. Ensaios acústicos e resultados

Os resultados dos ensaios acústicos efetuados depois de aplicadas as soluções de reabilitação encontram-se na Figura 4.16 e Tabela 4.8 seguintes.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-2 – $L'_{nT,w} = 24$ dB

Figura 4.16 – $L'_{nT,w}$ (Clube de bilhar – Moradia)

Tabela 4.8 – Resultados relativos a sons de percussão – Caso de estudo 5 – Clube de bilhar – Moradia

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$L'_{nT,w}$	24	-3	21	≤ 50

Verificou-se que, devido à eficácia do pavimento resiliente instalado ocorreu uma redução do ruído de percussão obteve-se um melhoramento de 28 dB para 21 dB, ficando cumpridos de forma segura na habitação os limites acústicos legais aplicáveis, conforme se pode observar no gráfico da Figura 4.17 que representa os resultados anteriores e posteriores à instalação do pavimento resiliente.

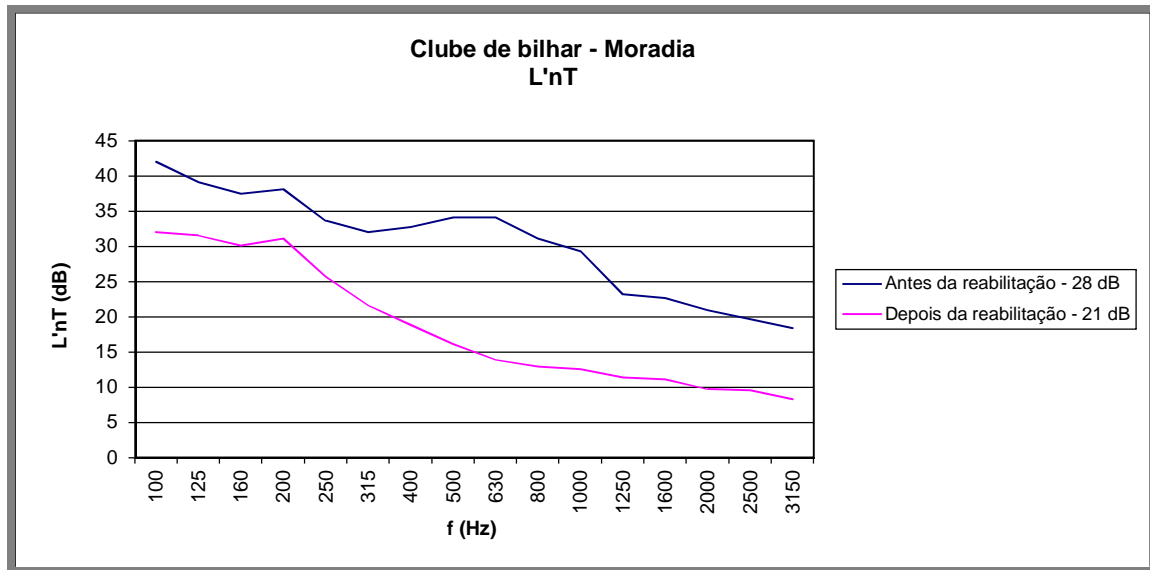


Figura 4.17 – Gráfico de resultados $L'_{n,T}$ – Caso de estudo 5

Considerou-se adequado efetuar algumas recomendações, pois verificou-se que o quarto duplo contém poucos materiais absorventes sonoros, o que faz com que haja uma menor degradação da energia sonora, pelo que se recomenda que o proprietário equacione uma decoração do quarto que contemple a existência de mais materiais absorventes sonoros, nomeadamente tapetes e cortinas, quadros sem vidro, apenas com a tela, e com moldura em madeira nervurada (evitar superfícies muito lisas, sobretudo superfícies metálicas), ocupando a maior área possível de parede.

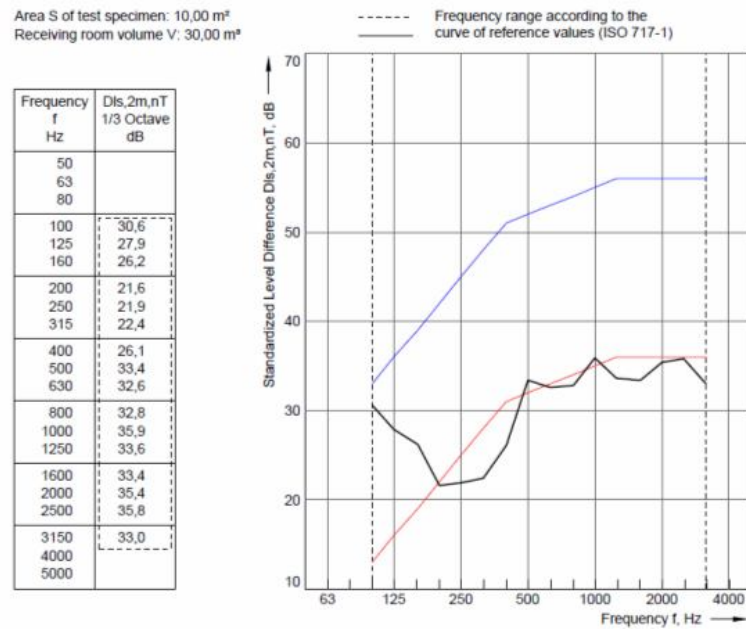
4.6. Caso de estudo 6

4.6.1. Solução de reabilitação

A solução de reabilitação efetuada foi a colocação de caixas de estore revestidas com 40mm de lã mineral e 70kg/m^3 de densidade em todas as janelas dos quartos e da sala da moradia.

4.6.2. Ensaio acústico e resultados

Os resultados dos ensaios acústicos efetuados depois de aplicada a solução de reabilitação encontram-se na Figura 4.18 e Tabela 4.9 seguintes.



Classificação de acordo com a NP EN ISO 717-1 – $D_{2m,nT,w} = 32$ dB

Figura 4.18 – $D_{2m,nT,w}$ (Fachada moradia)

Tabela 4.9 – Resultados relativos a sons aéreos de fachada – Caso de estudo 6 – Fachada moradia

Parâmetros	Valor medido (dB)	Fator de Correção (RRAE) (dB)	Valor corrigido (dB)	Valor limite (RRAE) (dB)
$D_{2m,nT,w}$	32	3	35	≥ 33

Como se pode verificar a solução adotada foi eficaz e permitiu aumentar o isolamento sonoro a sons aéreos de fachada de 30 dB para 35 dB. A Figura 4.19 apresenta um gráfico com os resultados anteriores e posteriores às obras de correção acústica.

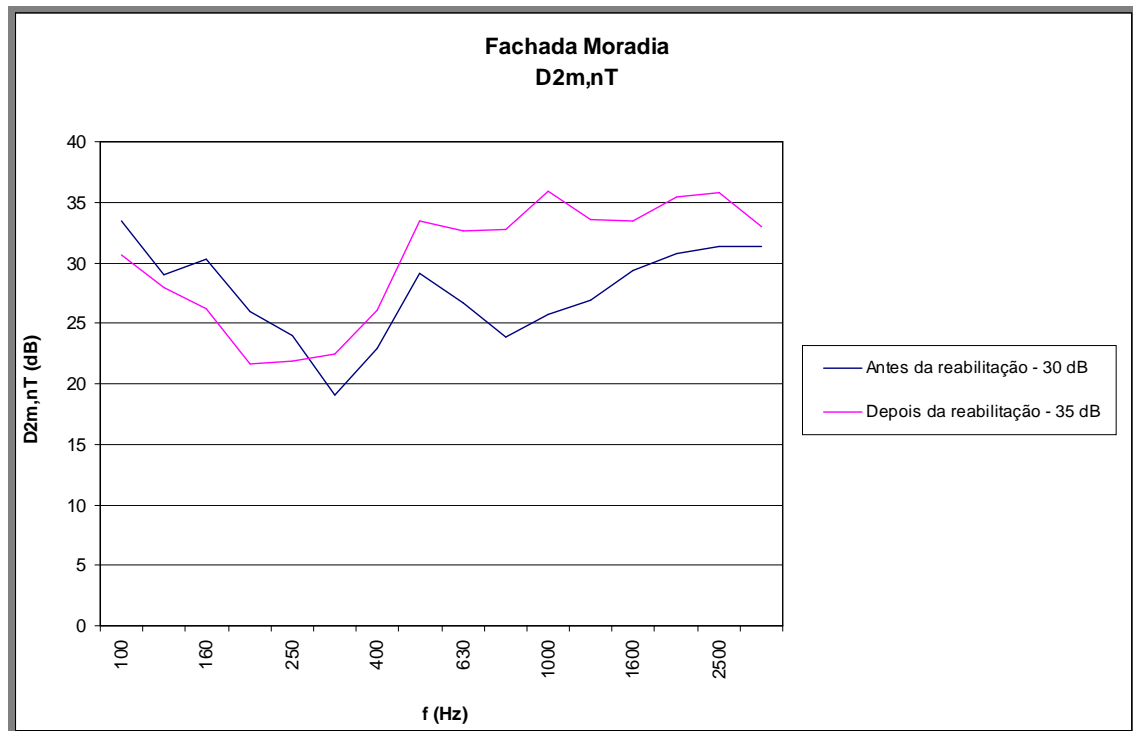


Figura 4.19 – Gráfico de resultados $D_{2m,n,T}$ – Caso de estudo 6

4.7. Análise de resultados

Dos seis casos de estudo reabilitados um reporta à reabilitação no sentido da melhoria do índice de isolamento a sons aéreos de fachada, quatro à melhoria do desempenho a sons aéreos entre compartimentos e dois à melhoria do isolamento a sons de percussão.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O conforto acústico dos edifícios tem que merecer grande atenção por parte dos projetistas e construtores pois é hoje uma exigência dos utilizadores.

No decorrer da construção dos edifícios, o projeto de condicionamento acústico tem que ser cumprido e particular atenção tem que ser dada aos detalhes, senão o desempenho esperado não é atingido. A obrigatoriedade da realização de ensaios para verificar *in situ* a conformidade com a regulamentação leva a que existindo não conformidade regulamentar tenha que ser efetuada reabilitação acústica com os custos inerentes e o tempo dispendido. Sem a conformidade regulamentar não há emissão da licença de utilização para espaços de habitação ou do licenciamento para espaços de serviços.

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado compreendeu três etapas principais:

- apresentação de conceitos gerais da regulamentação, dos equipamentos de medição, métodos e procedimentos de execução dos ensaios acústicos de edifícios;
- identificação, caracterização e apresentação dos resultados dos ensaios acústicos para doze casos de estudo;
- reabilitação acústica dos casos de estudo que não cumprem os valores regulamentados e apresentação dos resultados de novos ensaios acústicos.

Verificou-se que os casos de estudo dos edifícios licenciados antes da entrada em vigor do DL 129/2002 de 11 de maio, não cumprem alguns dos valores limites estabelecidos no RRAE pois ao não existir projeto de condicionamento acústico o conforto acústico dos edifícios fica ao desígnio de quem constrói, mas todos os edifícios licenciados depois da entrada em vigor do DL 129/2002 cumprem os valores limites estabelecidos no RRAE, como seria previsto, o que demonstra claramente que a execução e o cumprimento do projeto de condicionamento acústico veio melhorar e criar conforto acústico nos edifícios.

No processo de reabilitação acústica alguns proprietários, para diminuição de custos e por desconhecimento, não recorreram a nenhum projetista para proceder ao estudo de soluções acústicas de reabilitação, mas diretamente a empresas de construção. É de salientar que essa

opção não é correta, pois as empresas de construção não estão habilitadas a fazer um estudo acústico do edifício. No caso de estudo 3, em que o utilizador recorreu a uma empresa de construção teve de efetuar obras por duas vezes, resultando num gasto monetário desnecessário e acrescido, tanto na obra como na realização de novos ensaios acústicos.

Para uma eficaz reabilitação acústica de edifícios é necessário recorrer a técnicos ou entidades com capacidade para tal, pois é fundamental ter um bom estudo de soluções de reabilitação e um eficiente acompanhamento da aplicação dessas soluções, para que as medidas construtivas exigidas no estudo sejam bem aplicadas no local a reabilitar.

A reabilitação acústica não é uma tarefa simples. A escolha dos materiais e solução construtiva tem que ter em conta a construção existente. Há que optar por materiais/soluções construtivas leves para evitar sobrecargas na estrutura, e conseqüentemente, evitar a necessidade de reforços estruturais. Há que optar por soluções pouco espessas para não reduzir o espaço interior dos edifícios.

Considera-se que para a realização de projetos de condicionamento acústico novos e de reabilitação acústica é essencial recolher o máximo de dados que enquadrem devidamente o problema, tornando-se necessário analisar a arquitetura e projetos de especialidade. Esta etapa é pertinente, porque a qualidade acústica de um edifício depende de diversos fatores, essencialmente, da localização dos edifícios, da organização e do tipo de ocupação dos espaços, da natureza da construção, dos acabamentos e dos equipamentos. Particular atenção deve ser dada aos espaços de serviço em edifícios mistos.

Os projetos de condicionamento acústico devem ser apresentados de modo a constituir um conjunto coordenado da informação escrita e desenhada, que possibilite interpretação inequívoca por parte das entidades licenciadoras e das que executam a obra.

Analisando globalmente os resultados deste estudo é possível concluir que as soluções de reabilitação acústica foram na generalidade eficazes.

Conclui-se que um projeto de condicionamento acústico corretamente elaborado e uma correta execução deste em obra é fundamental para a obtenção do exigido conforto acústico nos edifícios.

Os custos das intervenções de reabilitação (diretos e indiretos), mesmo em espaços pequenos são significativos e tal como referido por Harold Werner [34] “O modo mais eficaz e económico de fazer qualquer coisa é fazê-la bem à primeira”.

A principal dificuldade deste trabalho foi efetivamente na disponibilidade de casos de estudo em que se efetuasse o ensaio e depois se acompanhasse a reabilitação e o ensaio final.

Como recomendação para trabalhos futuros sugere-se:

- pelo facto desta dissertação ter incidido apenas na realização de ensaios acústicos *in situ* para a verificação do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada, do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos, do isolamento sonoro a sons de percussão, é relevante a caracterização *in situ* do ruído particular de equipamentos do edifício (elevadores, instalações de escoamento de águas, ventilação mecânica, ar condicionado, condução de resíduos, caldeiras, ventilação central e bombas, automatismos de portas de garagem).
- elaboração de uma base de dados, de soluções utilizadas na reabilitação acústica de edifícios;
- analisar a aplicabilidade de novas tecnologias e de novos materiais para melhoria do condicionamento acústico de edifícios.
- análise e caracterização de outros edifícios como sejam unidades hoteleiras, edifícios escolares, edifícios hospitalares.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PORTUGAL. LEIS, DECRETOS. *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*, aprovado inicialmente pelo DL 129/2002 de 11 de Maio e alterado pelo DL 96/2008 de 9 de junho.
- [2] PORTUGAL. LEIS, DECRETOS. *Regulamento Geral do Ruído* – DL 9/2007 de 17 de janeiro.
- [3] PORTUGAL. LEIS, DECRETOS. *Regulamento Geral sobre o Ruído* – DL 251/1987 de 24 de junho.
- [4] PORTUGAL. LEIS, DECRETOS. *Regulamento Geral sobre o Ruído* – DL 292/1989 de 2 de setembro.
- [5] PORTUGAL. LEIS, DECRETOS. *Regulamento Geral do Ruído* – DL 292/2000 de 14 de novembro.
- [6] PORTUGAL. LEIS, DECRETOS. *Regulamento das Emissões Sonoras para o Ambiente de Equipamento para Utilização no Exterior* – DL 76/2002 de 26 de março.
- [7] PORTUGAL. LEIS, DECRETOS. *Regulamento Geral do Ruído* – DL 259/2002 de 23 de novembro.
- [8] PORTUGAL. LEIS, DECRETOS. *Regulamento Geral do Ruído* – DL 278/2007 de 1 de agosto.
- [9] PATRÍCIO, JORGE – *Reabilitação acústica – Linhas guia*, Verlag Dashöfer, Portugal, 2010
- [10] MATEUS, DIOGO – *Acústica de edifícios e controlo de ruído*, DEC-FCTUC, Coimbra, 2008.

- [11] IPQ: *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição, in situ, do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos.* NP EN ISO 140-4, 2009.
- [12] IPQ: *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição, in situ, do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada.* NP EN ISO 140-5, 2009.
- [13] IPQ: *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 7: Medição, in situ, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão.* NP EN ISO 140-7, 2008.
- [14] IPQ: *Linhas de orientação para situações especiais in situ.* NP EN ISO 140-14, 2004.
- [15] IPQ: *Acústica. Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes.* EN ISO 3382-2, 2011.
- [16] IPQ: *Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea.* NP EN ISO 717-1, 2009.
- [17] IPQ: *Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento sonoro a sons de percussão.* NP EN ISO 717-2, 2009.
- [18] PORTUGAL. LEIS, DECRETOS. DL 291/1990 de 20 de setembro.
- [19] IPQ: *Descrição, Medição e Avaliação do Ruído Ambiente.* NP EN ISO 1996, 2011.
- [20] *Electroacoustics - Sound level meters Part 1: Specifications.* BS EN 61672-1, 2013.
- [21] *Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters.* BS EN 61260, 1996.

- [22] PATRÍCIO, JORGE – *Acústica nos edifícios*, Verlag Dashöfer, Lisboa, 2008
- [23] MATEUS, DIOGO – *Curso de Formação Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído*, FARO, 2008.
- [24] TADEU, A.; MATEUS, D.; ANTÓNIO, J.; GODINHO, L. E MENDES, P. – *Acústica Aplicada*, DEC-FCTUC, COIMBRA, 2007.
- [25] MRA INSTRUMENTAÇÃO – *Curso Acústica de Edifícios – Ensaio Experimentais*, (30/04/2010).
- [26] INE, I.P. E LNEC, I.P. – *O parque habitacional e a sua reabilitação – Análise e Evolução 2001-2011*, Lisboa, Portugal, Edição 2013.
- [27] TAVARES, A.; COSTA, A. E VARUM, H. – *Manual de reabilitação e manutenção de edifícios – Guia de intervenção*, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVAERSIDADE DE AVEIRO, INOVADOMUS, Aveiro, 2011.
- [28] LANZINHA, J. C.; FREITAS, V. P. E CASTRO GOMES, J. P. – *Metodologia de diagnóstico exigencial aplicada à reabilitação de edifícios de habitação*, 1º Encontro Nacional Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, 2003.
- [29] MARTINS DA SILVA, P. – *A componente acústica na reabilitação de edifícios de habitação*, LNEC, Lisboa, 2001.
- [30] BRAGANÇA, L. – *Inter-relação entre a Acústica, Térmica e a ventilação in Acústica nos Edifícios*, Verlag Dashöfer, 2010.
- [31] APPLETON, J. – *Reabilitação de edifícios antigos*, Edições Orion, Amadora, 2003, ISBN 972-8620-03-09
- [32] QUIRT, J. D. – *Sound Transmission Through Building Components – Noise Control in Buildings*, Canadá, 1985.

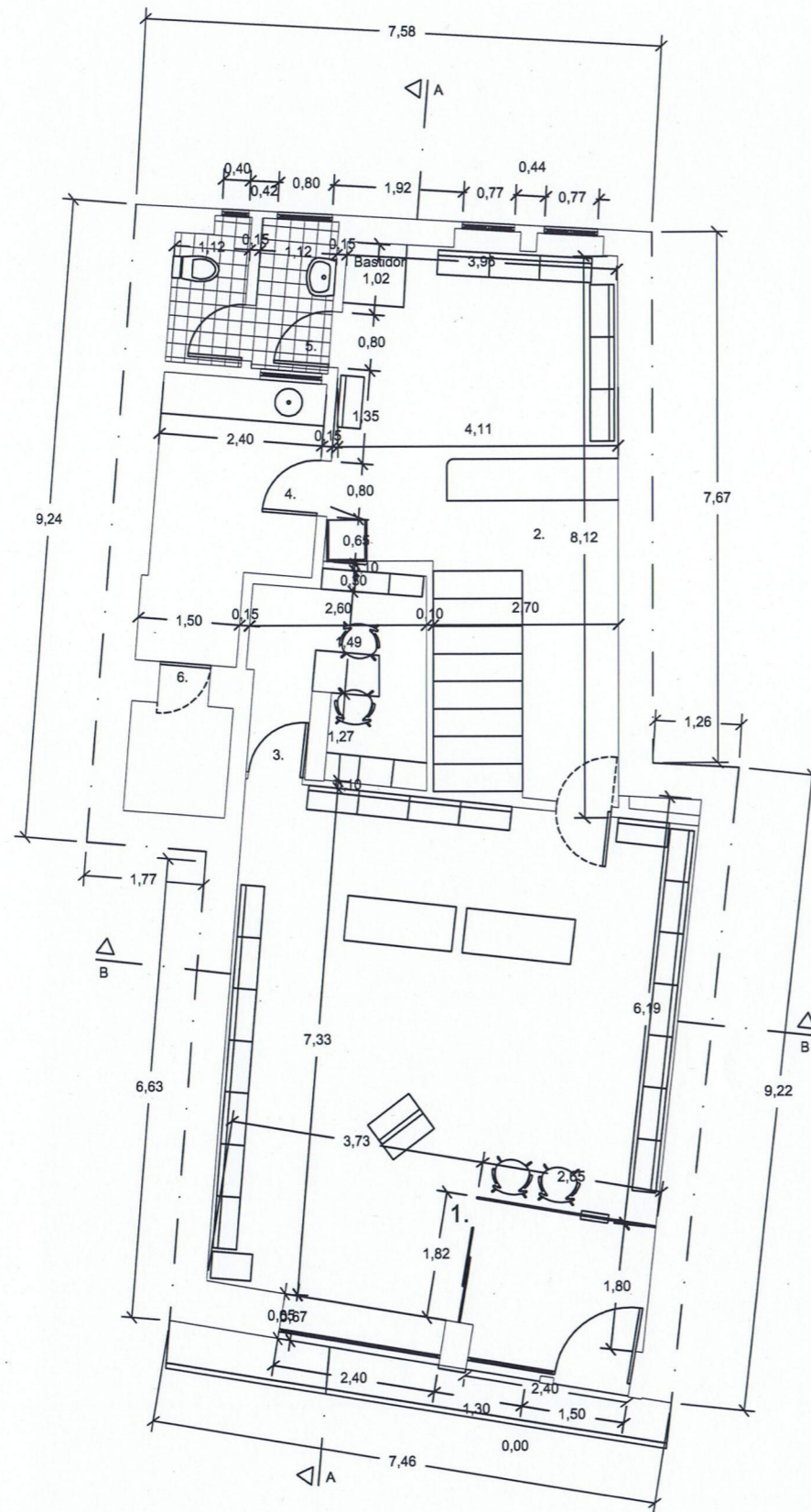
[33] CROXON *Catálogos* – www.croxon.es (05/06/2013)

[34] Escola Superior de Tecnologia de Tomar – www.estt.ipt.pt (27/08/2013)

ANEXOS

ANEXO I

Peças desenhadas à escala do caso de estudo 1

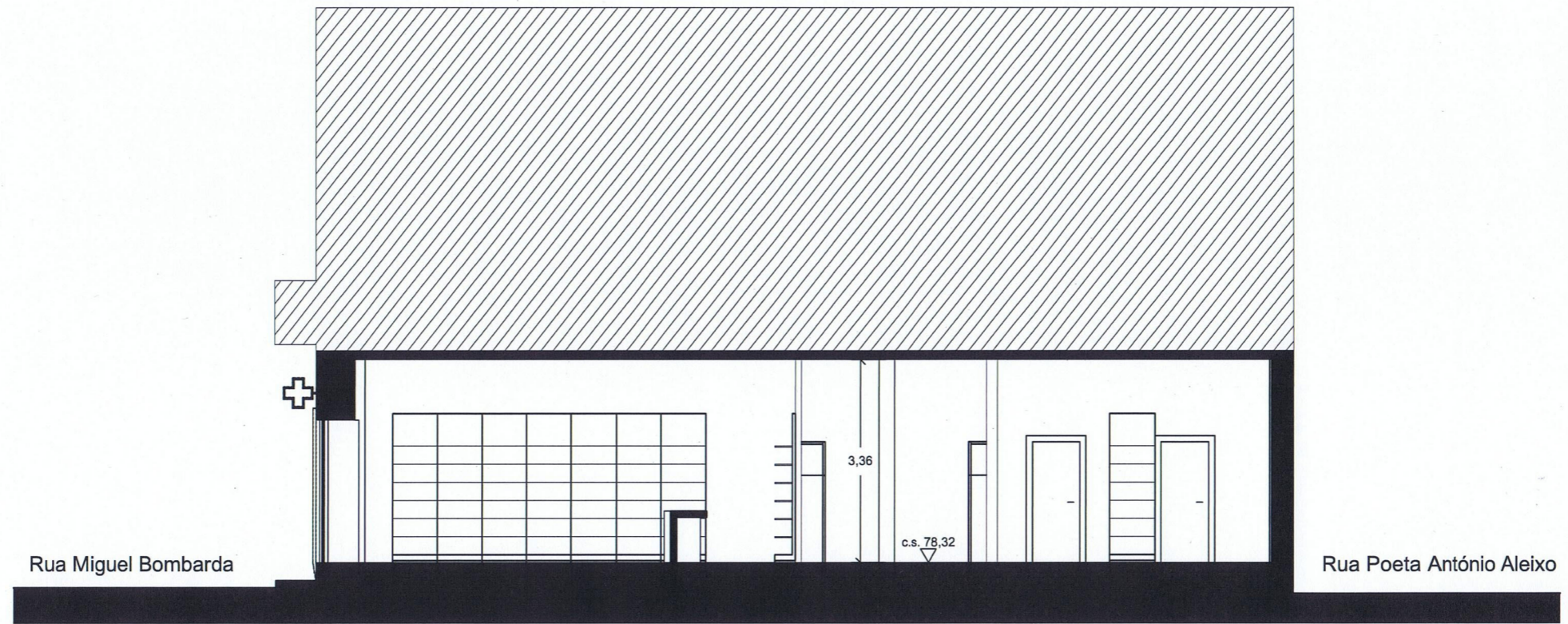


PLANTA COTADA R/C

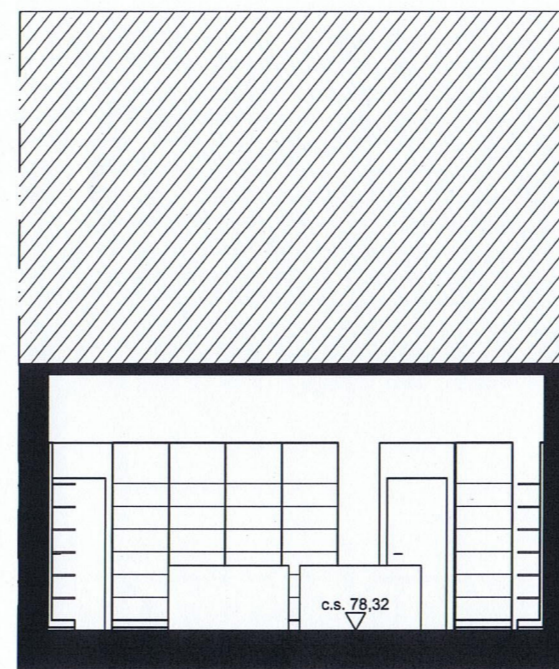
COMPARTIMENTOS E ÁREAS:

1.	Atendimento ao público	50,00 m ²
2.	Armazém	28,00 m ²
3.	Boas práticas	7,00 m ²
4.	Laboratório	8,80 m ²
5.	Instalação sanitária	5,00 m ²
6.	Arrecadação	2,80 m ²
	Área Útil	101,00 m ²
	Área Bruta	107,30 m ²

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA COTADA R/C		
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - FARMÁCIA		
LOCAL	RUA MIGUEL BOMBARDA, N.º 55 -PADERNE-		
	CASO ESTUDO I		
ESC.	1/100	DES.	I
O TÉCN.			



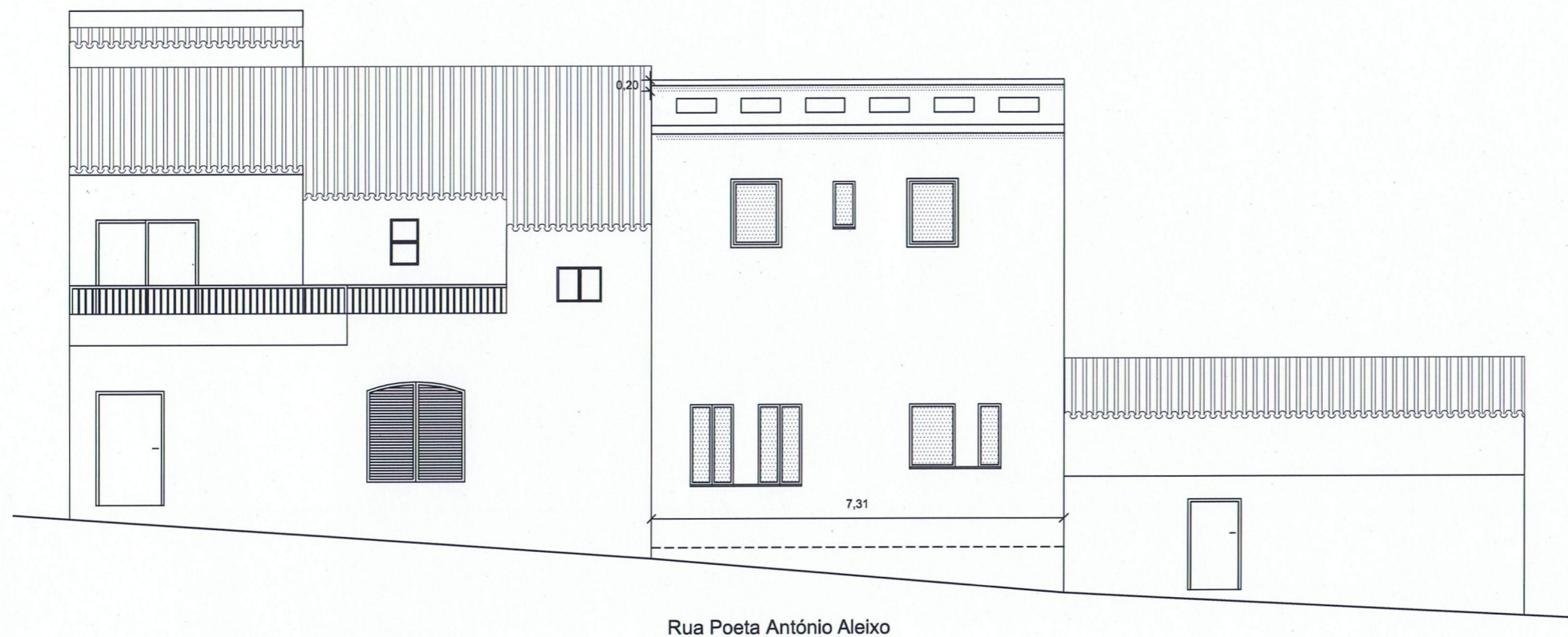
CORTE A



CORTE B

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	CORTES		
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - FARMÁCIA		
LOCAL	RUA MIGUEL BOMBARDA, N.º 55 -PADERNE-		
	CASO ESTUDO I		
ESC.	1/100	DES.	2
O TÉCN.			

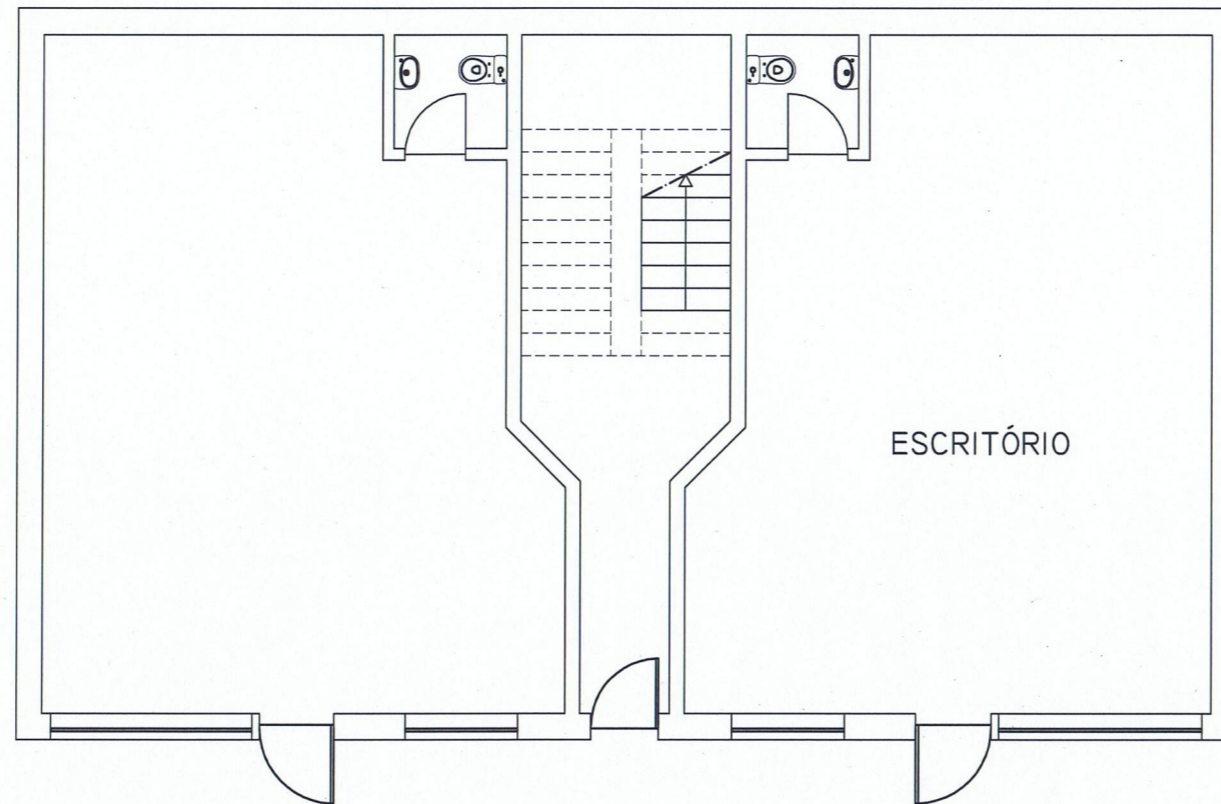
ALÇADOS



PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	ALÇADOS		
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - FARMÁCIA		
LOCAL	RUA MIGUEL BOMBARDA, N.º 55 -PADERNE-		
	CASO ESTUDO I		
ESC.	1/100	DES.	3
O TÉCN.			

ANEXO II

Peças desenhadas à escala do caso de estudo 2



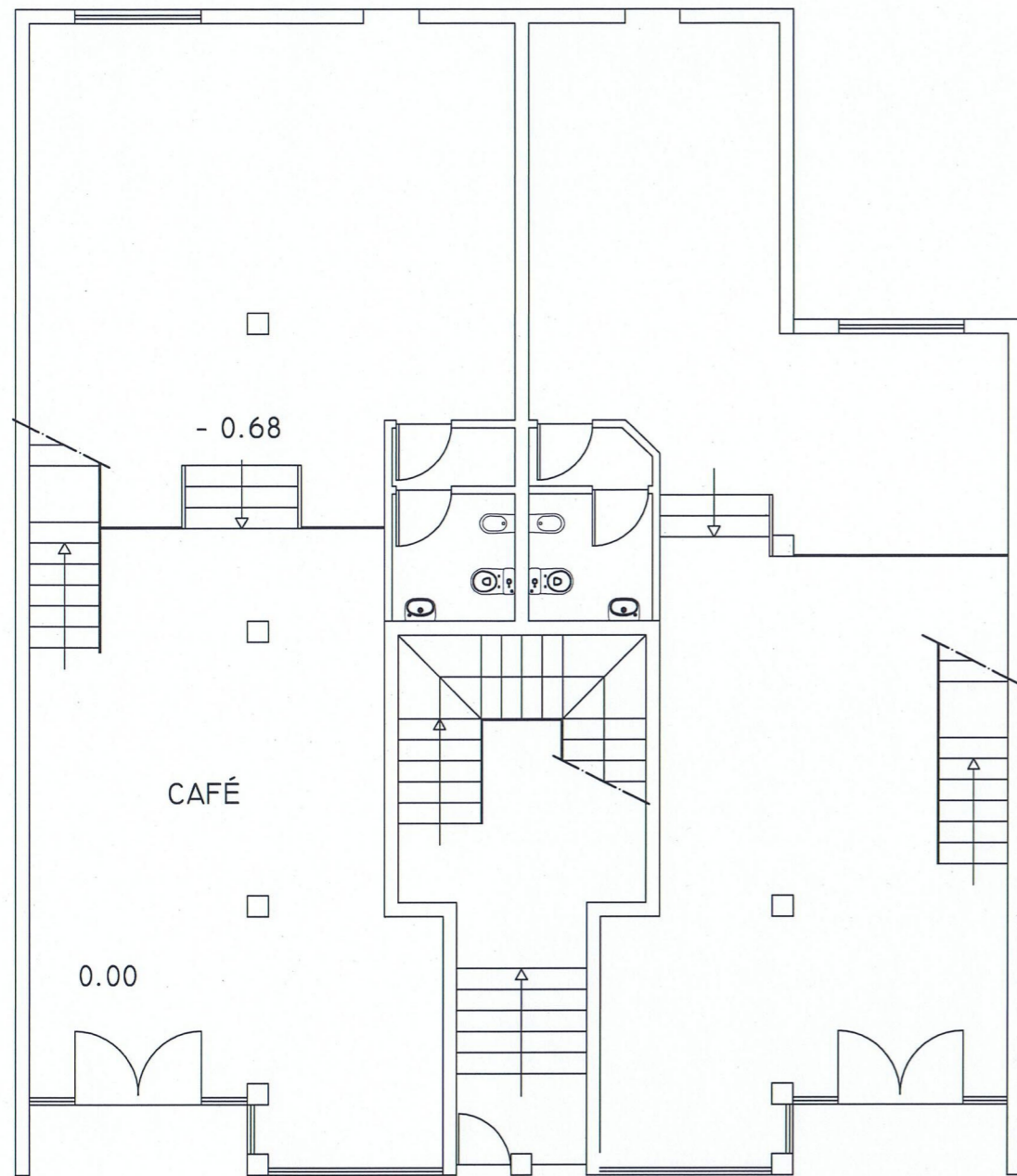
PLANTA R/C

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA R/C		
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - ESCRITÓRIO		
LOCAL	BAIRRO DA BARRADA, LT 18, R/C Dto SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES		
	CASO ESTUDO 2		
ESC.	1/100	DES.	I
O TÉCN.	_____		

ANEXO III

Peças desenhadas à escala do caso de estudo 3

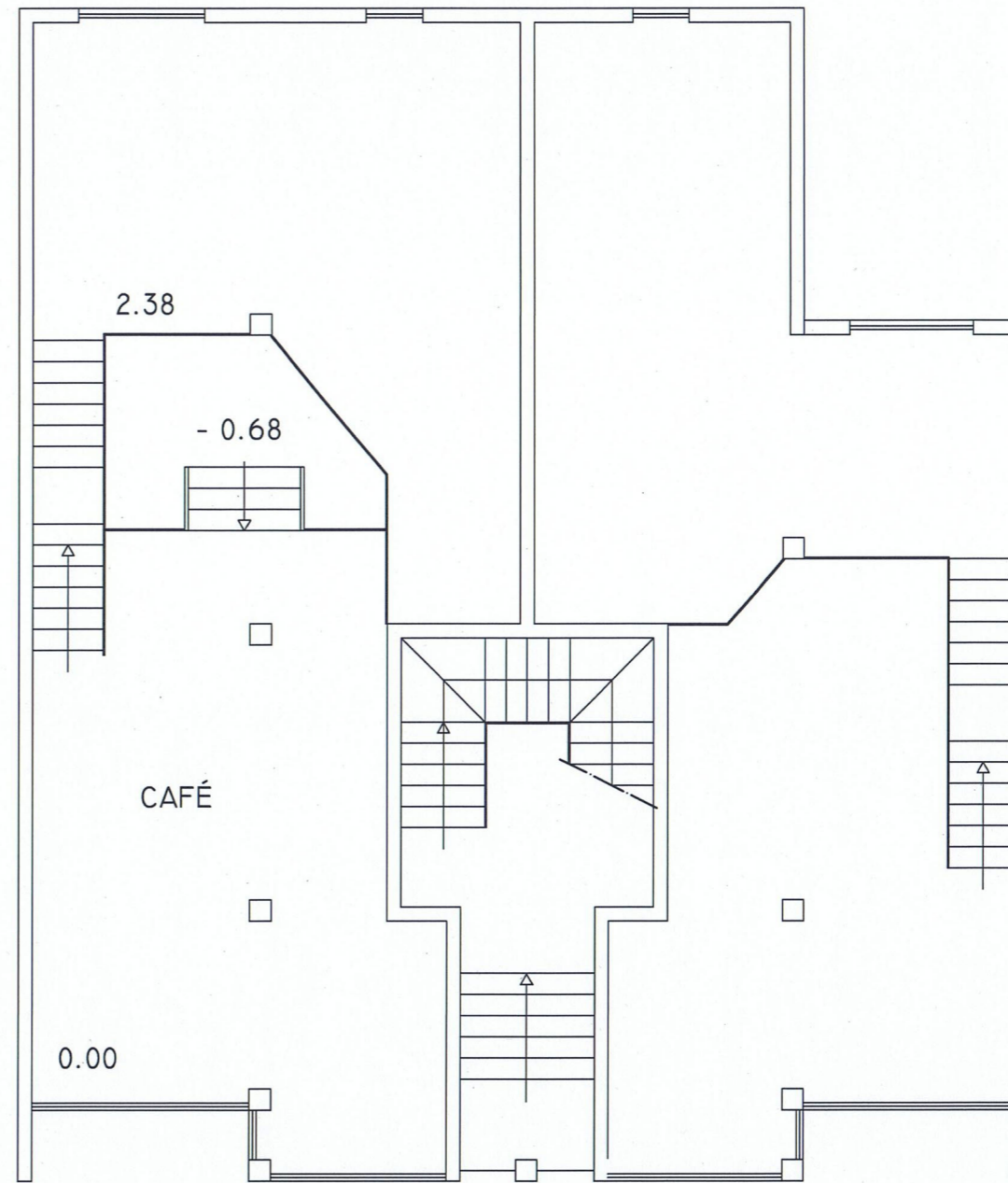
FACHADA POSTERIOR



FACHADA PRINCIPAL

R/C

FACHADA POSTERIOR

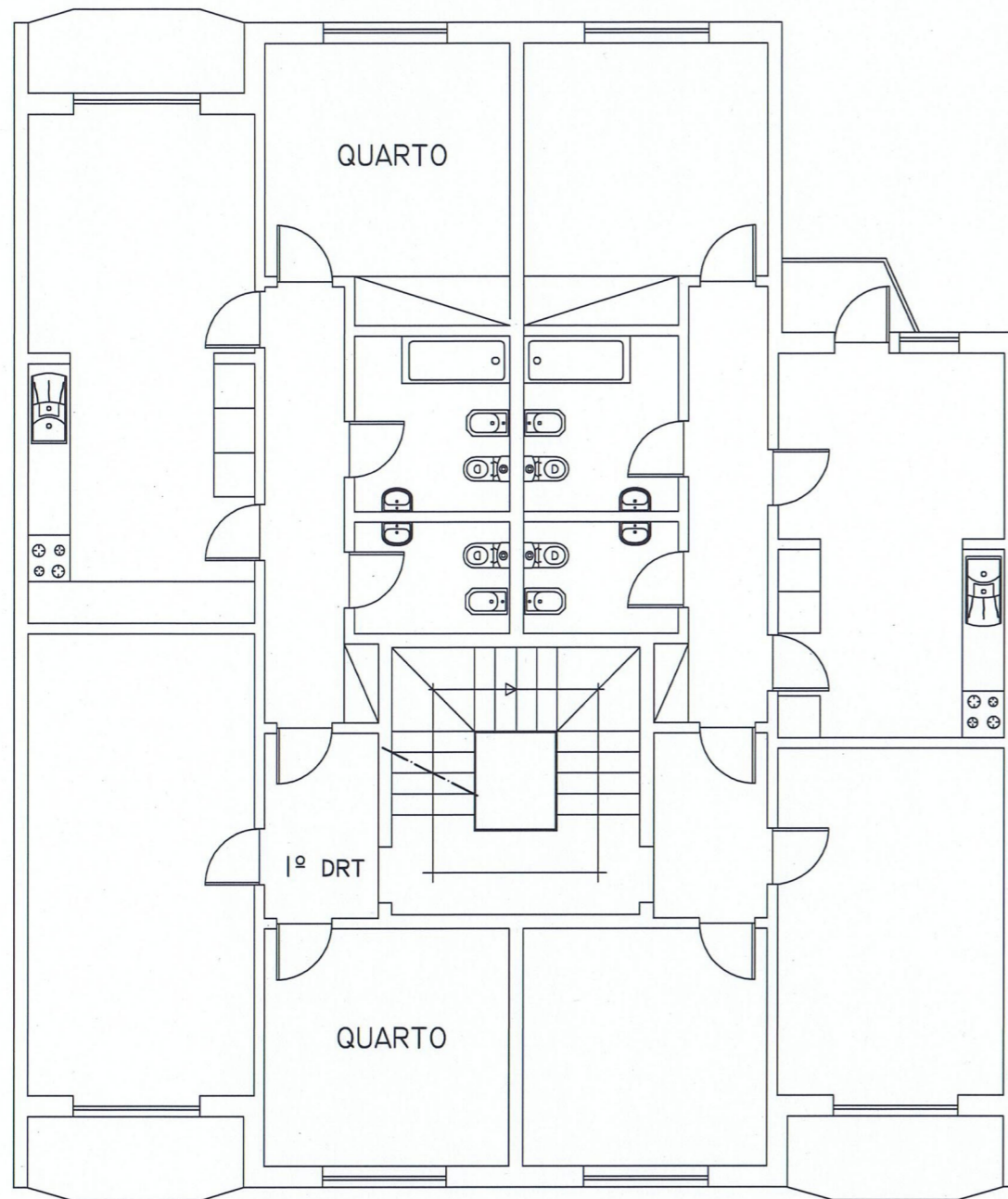


FACHADA PRINCIPAL

PISO INTERMÉDIO

PROJ.	ARQUITETURA	
PEÇA	PLANTAS R/C E PISO INTERMÉDIO	
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - CAFÉ	
LOCAL	AV. JOAQUIM DE ALBUQUERQUE, LT II -BOMBARRAL-	
	CASO ESTUDO 3	
ESC.	1/100	DES. I
O TÉCN.		

FACHADA POSTERIOR



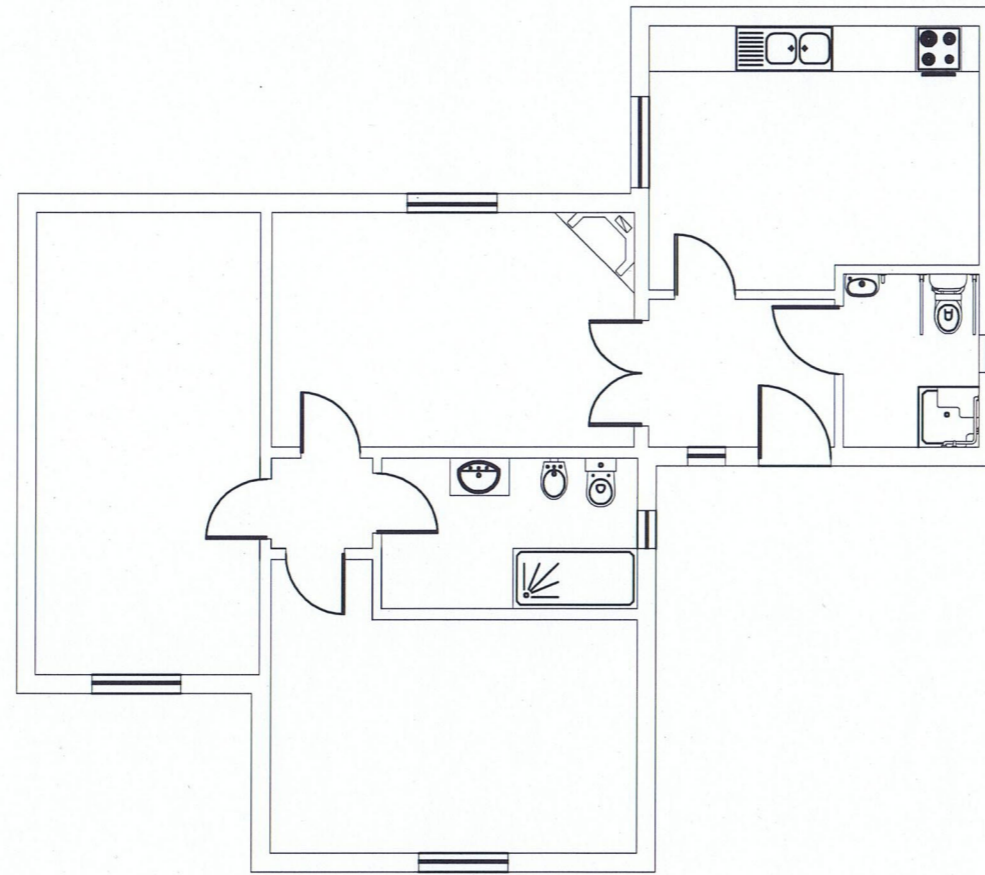
FACHADA PRINCIPAL

1º ANDAR

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA 1º ANDAR		
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - CAFÉ		
LOCAL	AV. JOAQUIM DE ALBUQUERQUE, LT II -BOMBARRAL-		
	CASO ESTUDO 3		
ESC.	1/100	DES.	2
O TÉCN.	_____		

ANEXO IV

Peças desenhadas à escala do caso de estudo 6

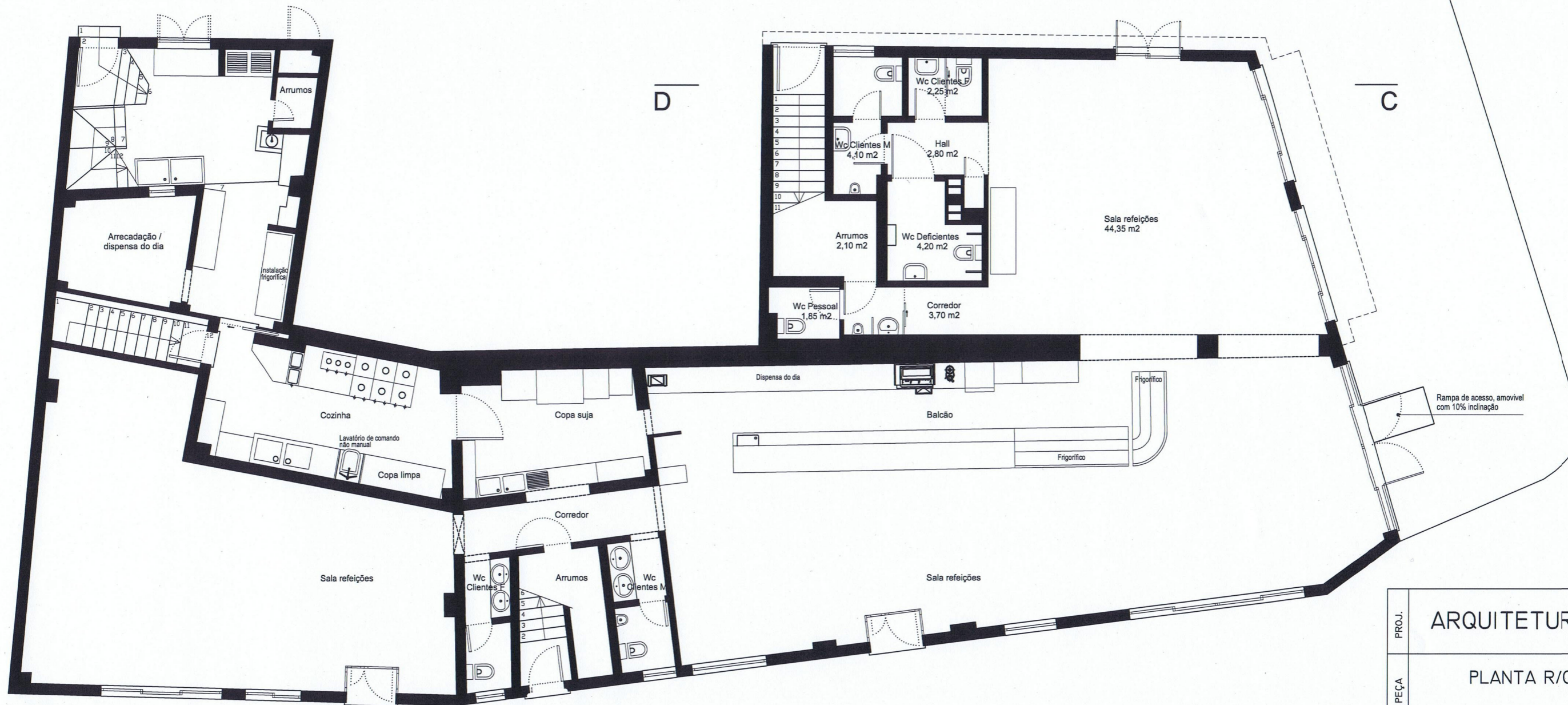


PLANTA R/C

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA R/C		
OBRA	ALTERAÇÃO DE MORADIA UNIFAMILIAR		
LOCAL	QUINTAS DO SIROL -LEIRIA-		
	CASO ESTUDO 6		
ESC.	1/100	DES.	I
O TÉCN.			

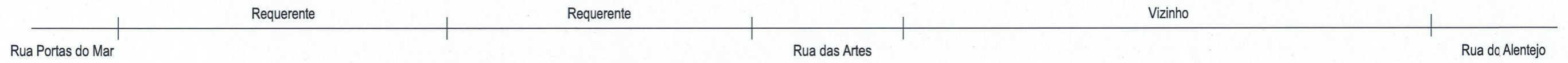
ANEXO V

Peças desenhadas à escala do caso de estudo 7



PLANTA R/C

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA R/C		
OBRA	ALTERAÇÃO DE RESTAURANTE		
LOCAL	LARGO INFANTE D. HENRIQUE -ARMAÇÃO DE PÊRA-		
	CASO ESTUDO 7		
ESC.	1/100	DES.	I
O TÉCN.			



Requerente

Requerente

Vizinho

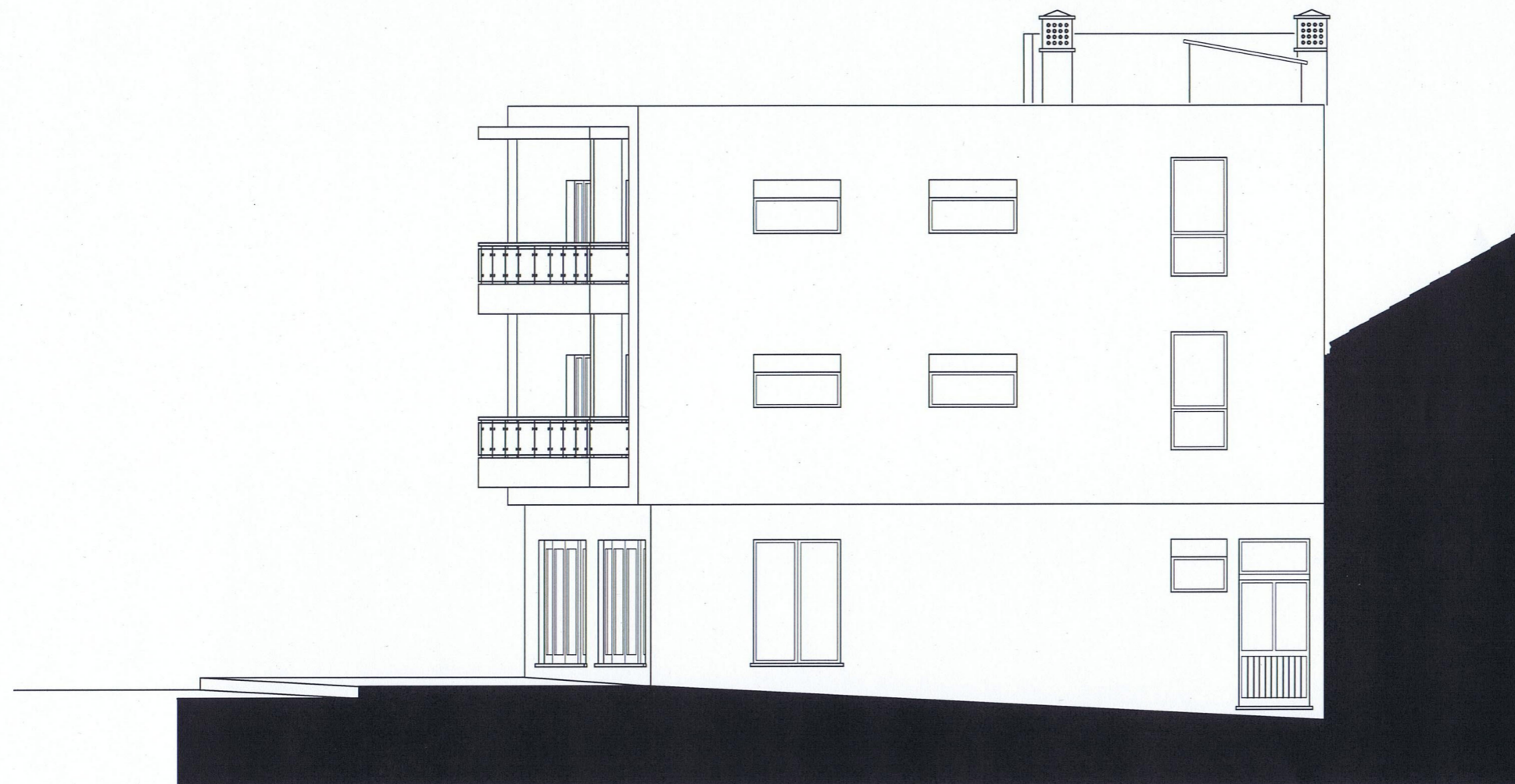
Rua Portas do Mar

Rua das Artes

Rua do Alentejo

Alçado Sul - Largo Infante D. Henrique

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	ALÇADO SUL		
OBRA	ALTERAÇÃO DE RESTAURANTE		
LOCAL	LARGO INFANTE D. HENRIQUE -ARMAÇÃO DE PÊRA-		
	CASO ESTUDO 7		
ESC.	1/100	DES.	2
O TÉCN.	_____		



Largo Infante D. Henrique

Requerente

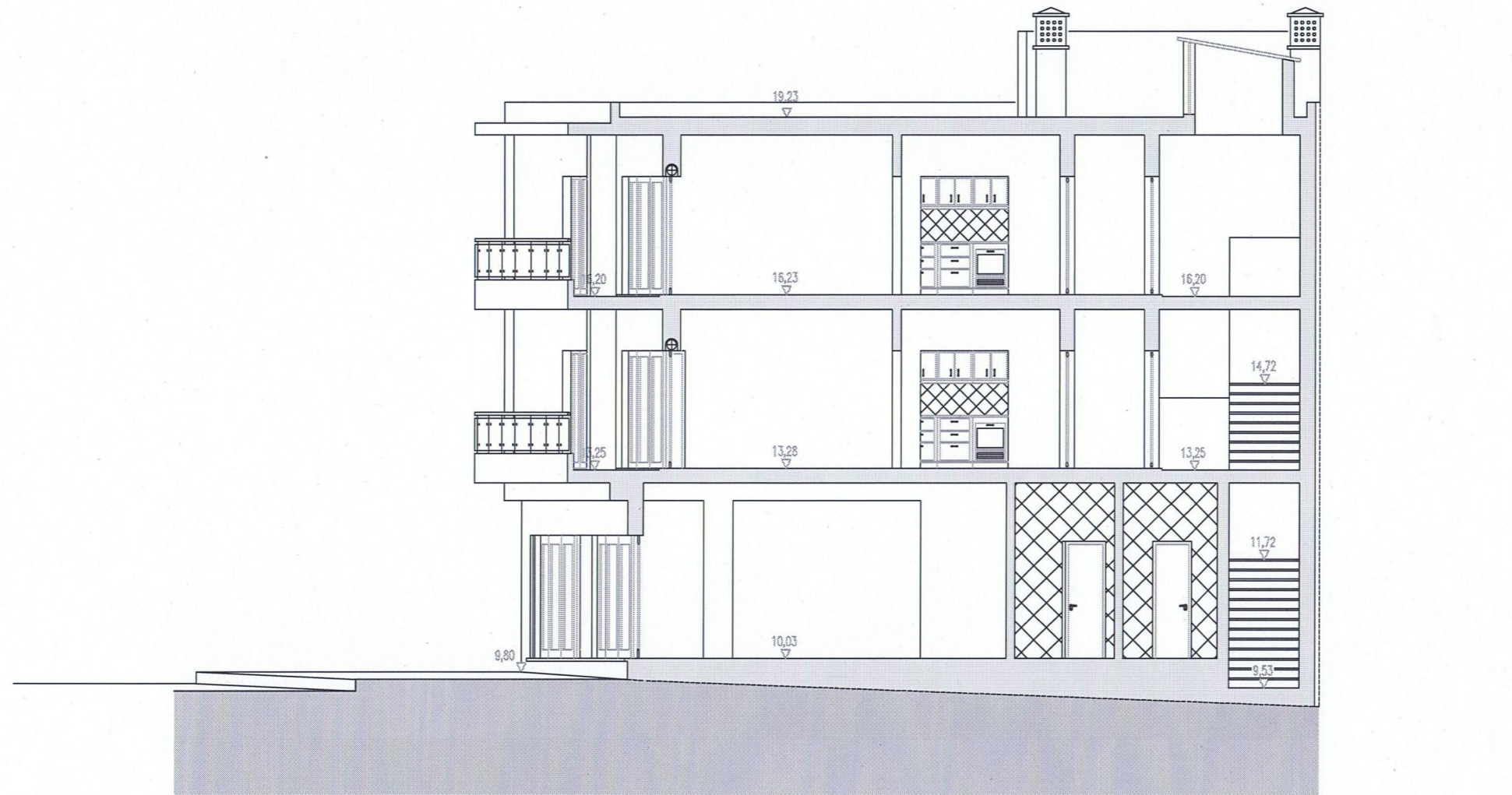
Requerente

Vizinho



Alçado Nascente - Rua das Artes

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	ALÇADO NASCENTE		
OBRA	ALTERAÇÃO DE RESTAURANTE		
LOCAL	LARGO INFANTE D. HENRIQUE -ARMAÇÃO DE PÊRA-		
	CASO ESTUDO 7		
ESC.	1/100	DES.	3
O TÉCN.			

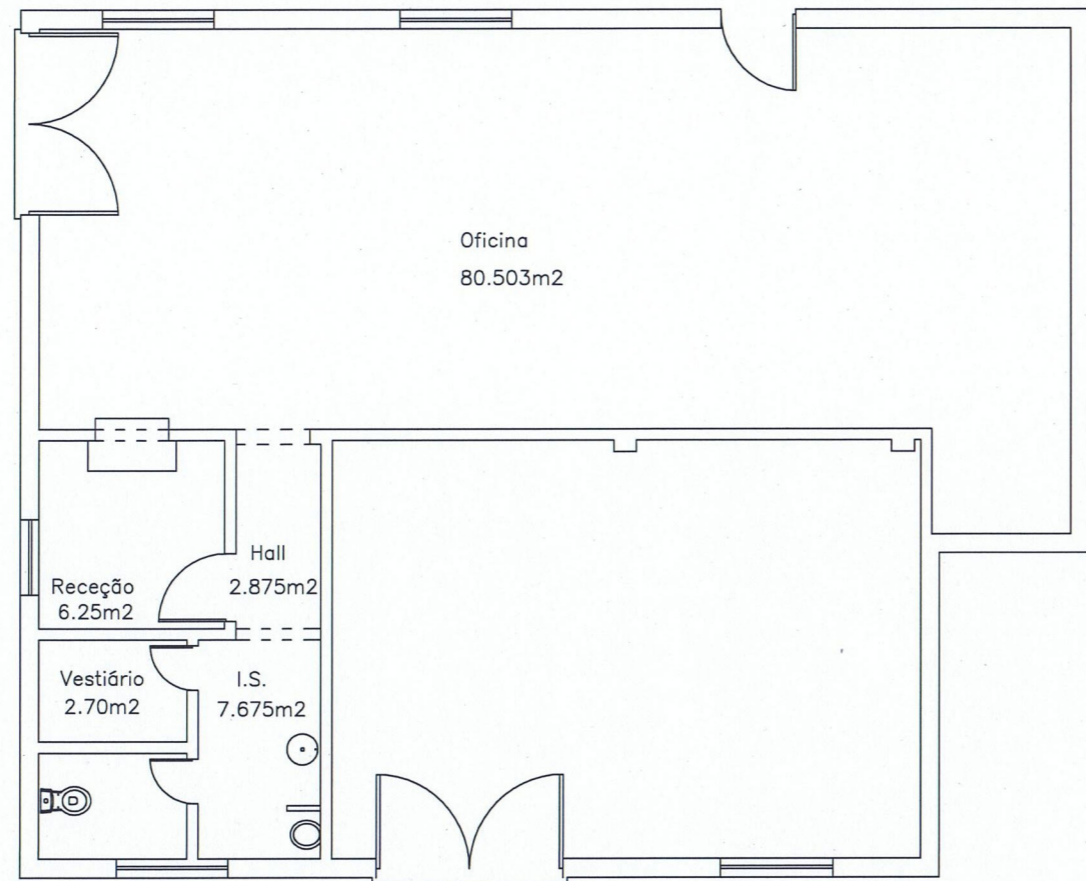


Largo Infante D. Henrique Requerente Requerente Vizinho
 ↔ ↔ ↔
Corte C-D - Rua das Artes

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	CORTE CD		
OBRA	ALTERAÇÃO DE RESTAURANTE		
LOCAL	LARGO INFANTE D. HENRIQUE -ARMAÇÃO DE PÊRA-		
	CASO ESTUDO 7		
ESC.	1/100	DES.	4
O TÉCN.	_____		

ANEXO VI

Peças desenhadas à escala do caso de estudo 8



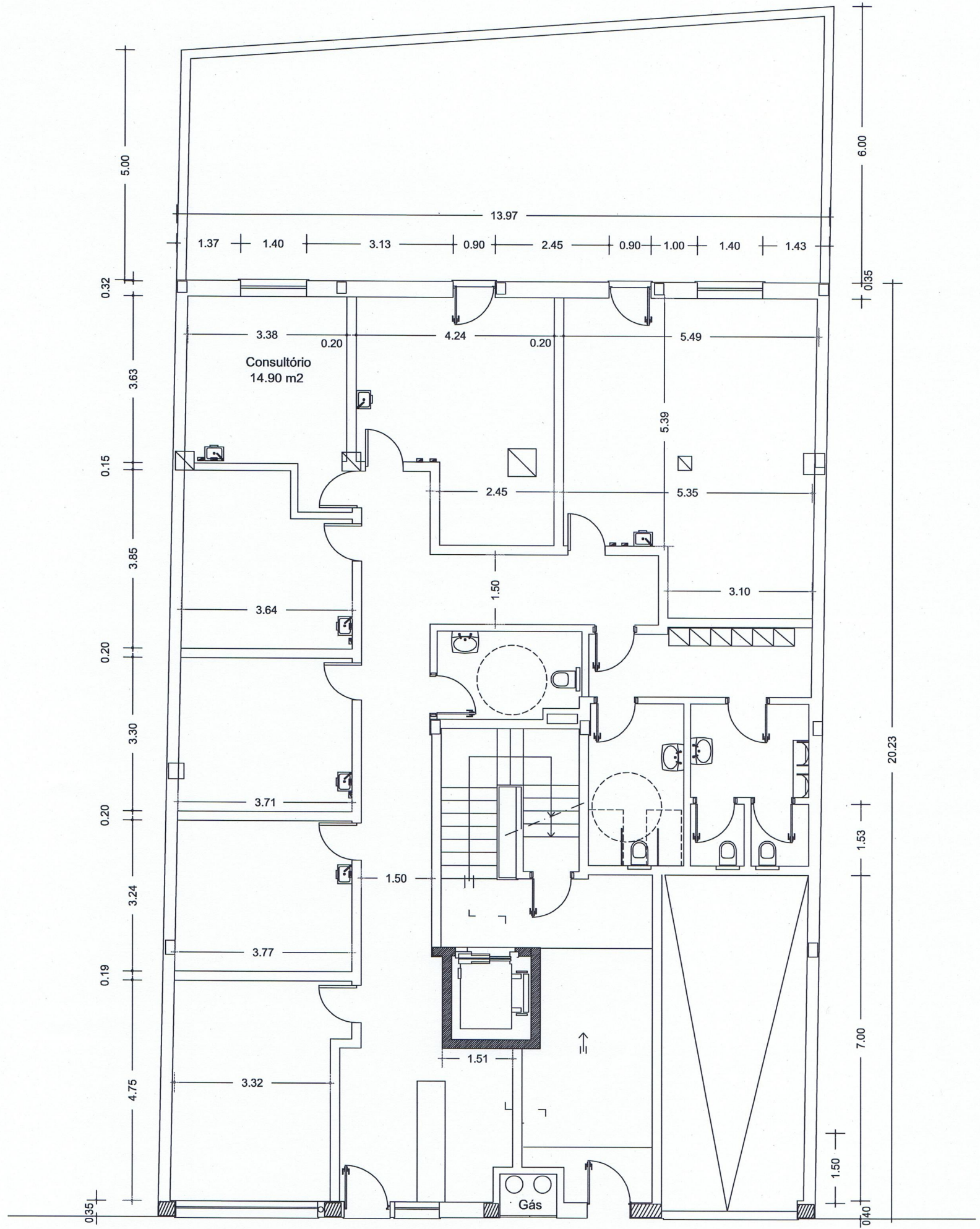
PLANTA R/C

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA R/C		
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - OFICINA		
LOCAL	TOMILHAL -FERREIRAS-		
	CASO ESTUDO 8		
ESC.	1/100	DES.	I
O TÉCN.	_____		

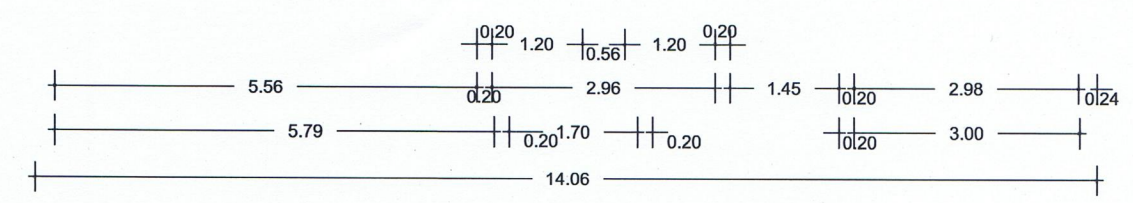
ANEXO VII

Peças desenhadas à escala do caso de estudo 9

A



Área do Rés do chão	283.40 m ²
Área Bruta	258.00 m ²
Quintal	71.50 m ²
Área Útil	200.70 m ²
Área Habitável	187.10 m ²

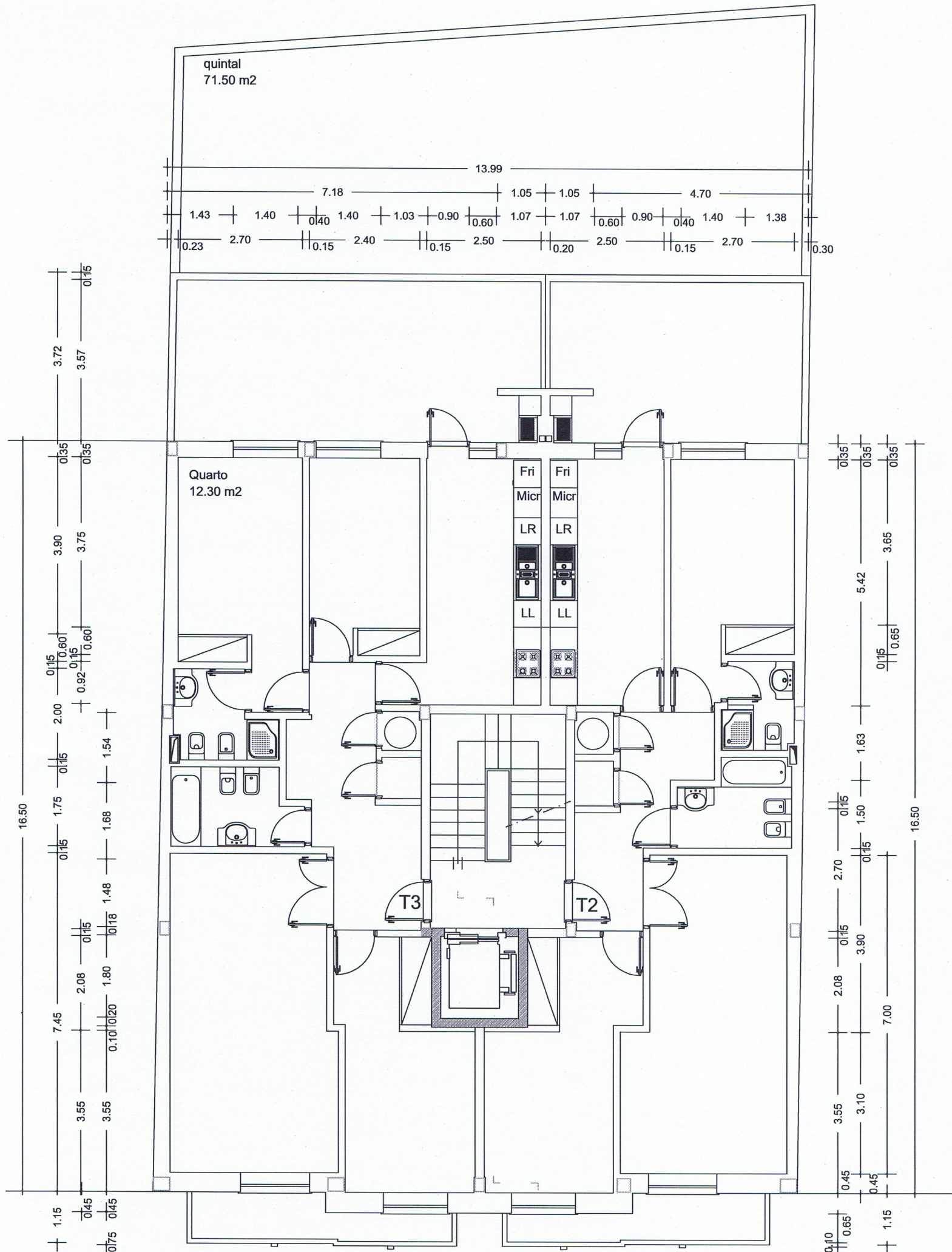


B

PLANTA COTADA R/C

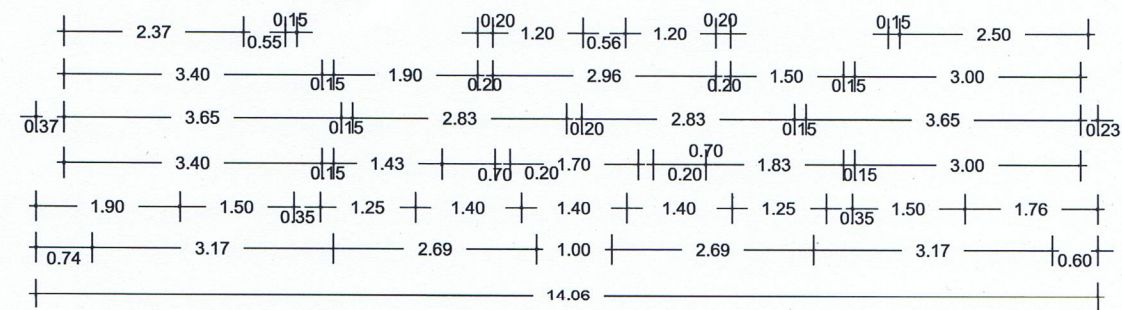
PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA COTADA R/C		
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - CLÍNICA MÉDICA		
LOCAL	RUA DA LIBERDADE, 55 SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES		
	CASO ESTUDO 9		
ESC.	1/100	DES.	I
O TÉCN.			

A



1º Andar

Área bruta do Piso	234.45m ²
Área terraços	56.20 m ²
Área bruta de construção	986.75 m ²
T3	
Área Bruta	117.60m ²
Área terraços	32.30 m ²
Área Útil	93.80 m ²
Área Habitável	60.10 m ²
T2	
Área Bruta	97.50m ²
Área terraços	23.90 m ²
Área Útil	77.90 m ²
Área Habitável	47.95m ²



PLANTA COTADA 1º ANDAR

B

PROJ.	ARQUITETURA	
PEÇA	PLANTA COTADA 1º ANDAR	
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - CLÍNICA MÉDICA	
LOCAL	RUA DA LIBERDADE, 55 SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES	
CASO ESTUDO 9		
ESC.	1/100	DES. 2
O TÉCN.		

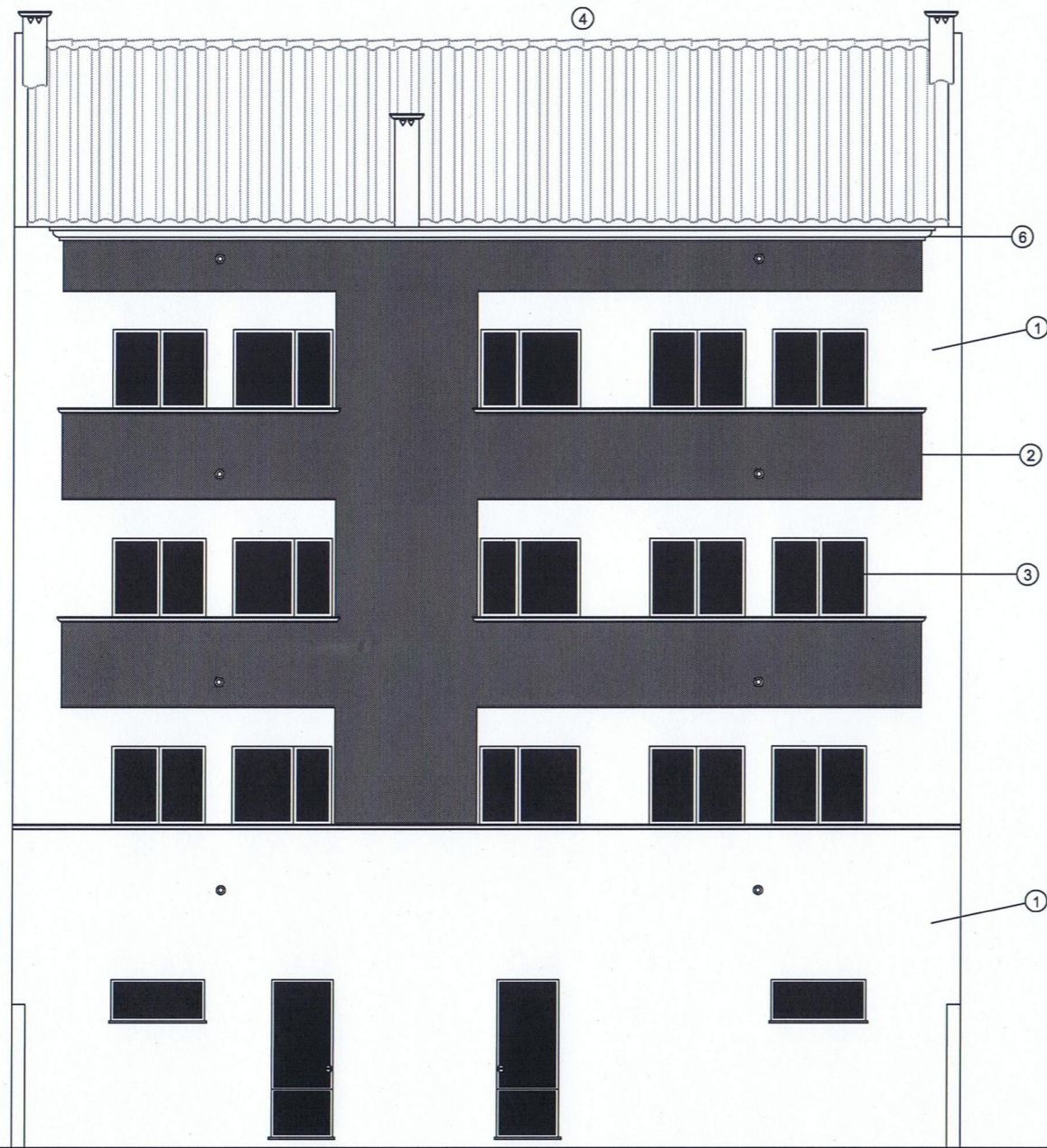


MAPA DE ACABAMENTOS

- ① - Reboco fino pintado de branco
- ② - Reboco fino pintado de salmão
- ③ - Alumínio anodizado
- ④ - Telha lusa
- ⑤ - Granito
- ⑥ - Lambris e perfis em cimento

ALÇADO PRINCIPAL

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	ALÇADO PRINCIPAL		
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - CLÍNICA MÉDICA		
LOCAL	RUA DA LIBERDADE, 55 SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES		
	CASO ESTUDO 9		
ESC.	1/100	DES.	3
O TÉCN.	_____		

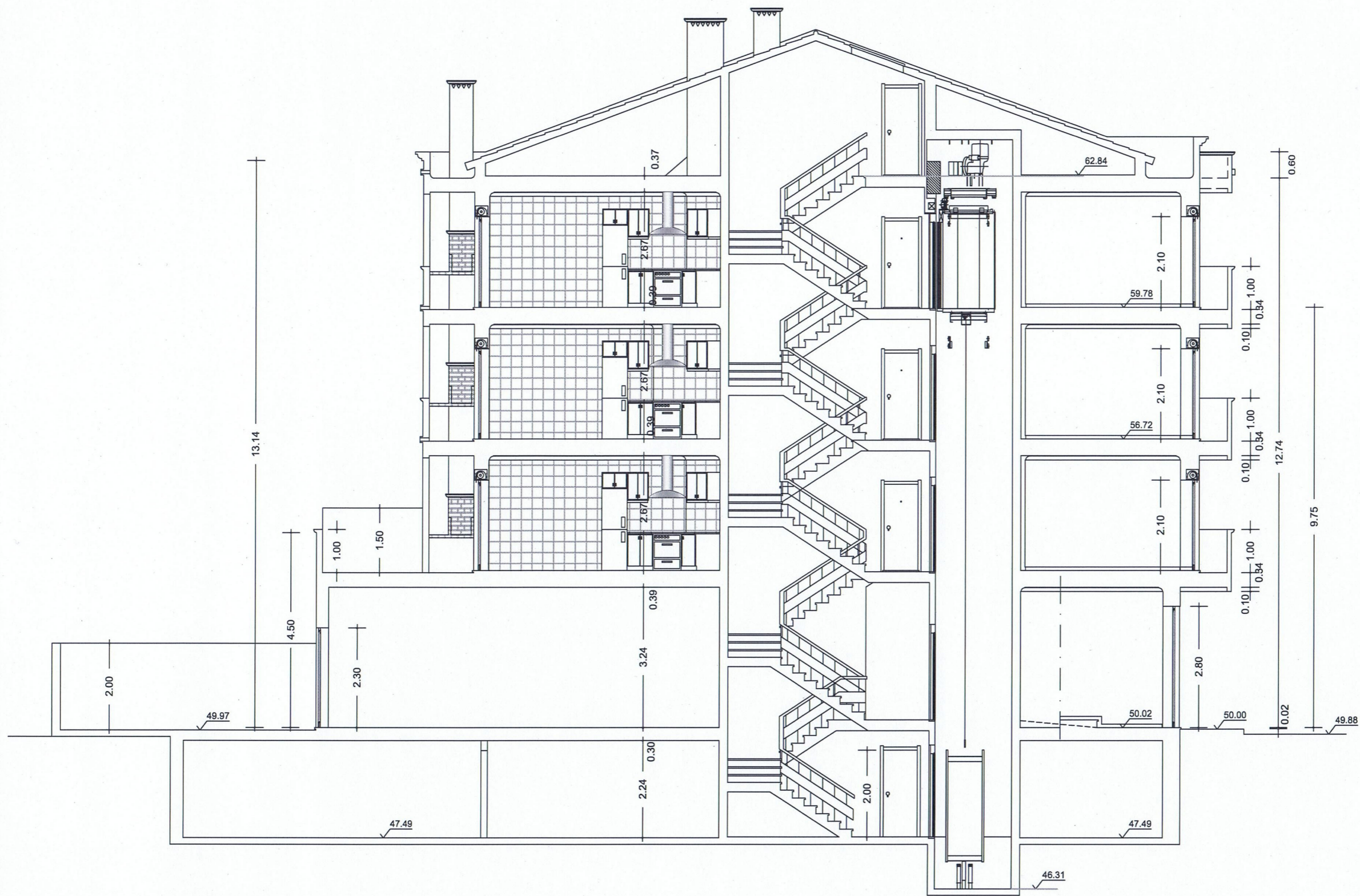


MAPA DE ACABAMENTOS

- ① - Reboco fino pintado de branco
- ② - Reboco fino pintado de salmão
- ③ - Alumínio anodizado
- ④ - Telha lusa
- ⑤ - Granito
- ⑥ - Lambris e perfis em cimento

ALÇADO POSTERIOR

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	ALÇADO POSTERIOR		
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - CLÍNICA MÉDICA		
LOCAL	RUA DA LIBERDADE, 55 SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES		
	CASO ESTUDO 9		
ESC.	1/100	DES.	4
O TÉCN.	_____		



CORTE AB

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	CORTE AB		
OBRA	ALTERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO - CLÍNICA MÉDICA		
LOCAL	RUA DA LIBERDADE, 55 SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES		
	CASO ESTUDO 9		
ESC.	1/100	DES.	5
O TÉCN.			

ANEXO VIII

Peças desenhadas à escala do caso de estudo10

Área Coberta Vizinha

Área Coberta Vizinha

Quintais

B'

Rua Sacadura Cabral

A

A'

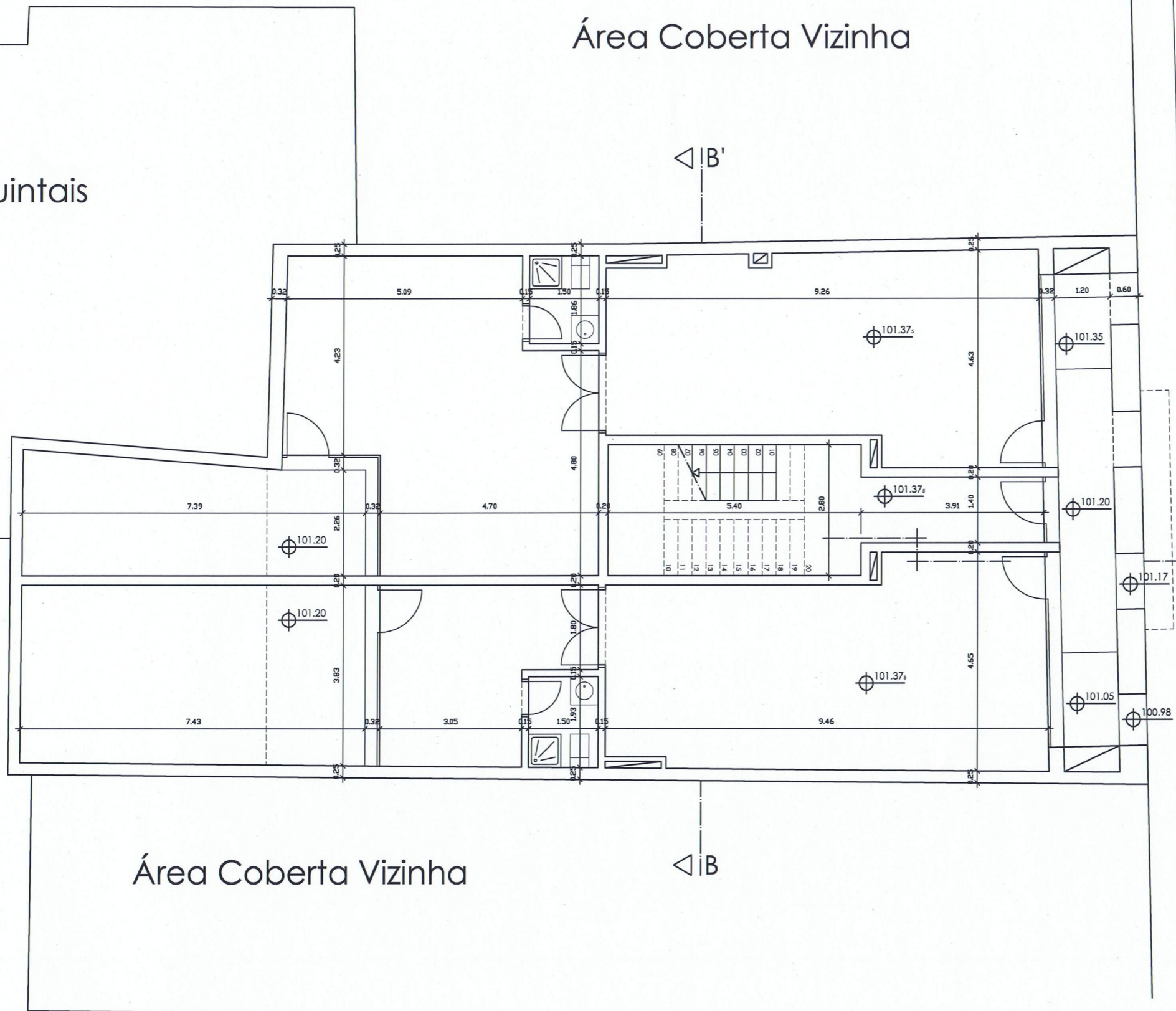
Quintais

B

Área Coberta Vizinha



PLANTA COTADA R/C



PROJ.	ARQUITETURA	
PEÇA	PLANTA COTADA R/C	
OBRA	EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO E COMÉRCIO	
LOCAL	RUA SACADURA CABRAL, 10 A 16 SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES	
CASO ESTUDO 10		
ESC.	1/100	DES. I
O TÉCN.		

Área Coberta Vizinha

Área Coberta Vizinha

Quintais

B'

A

A'

Quintais

Área Coberta Vizinha

B

Rua Sacadura Cabral



PLANTA 1º ANDAR

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA 1º ANDAR		
OBRA	EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO E COMÉRCIO		
LOCAL	RUA SACADURA CABRAL, 10 A 16 SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES		
	CASO ESTUDO 10		
ESC.	1/100	DES.	2
O TÉCN.			

Área Coberta Vizinha

Área Coberta Vizinha

Quintais

B'

A

A'

Rua Sacadura Cabral

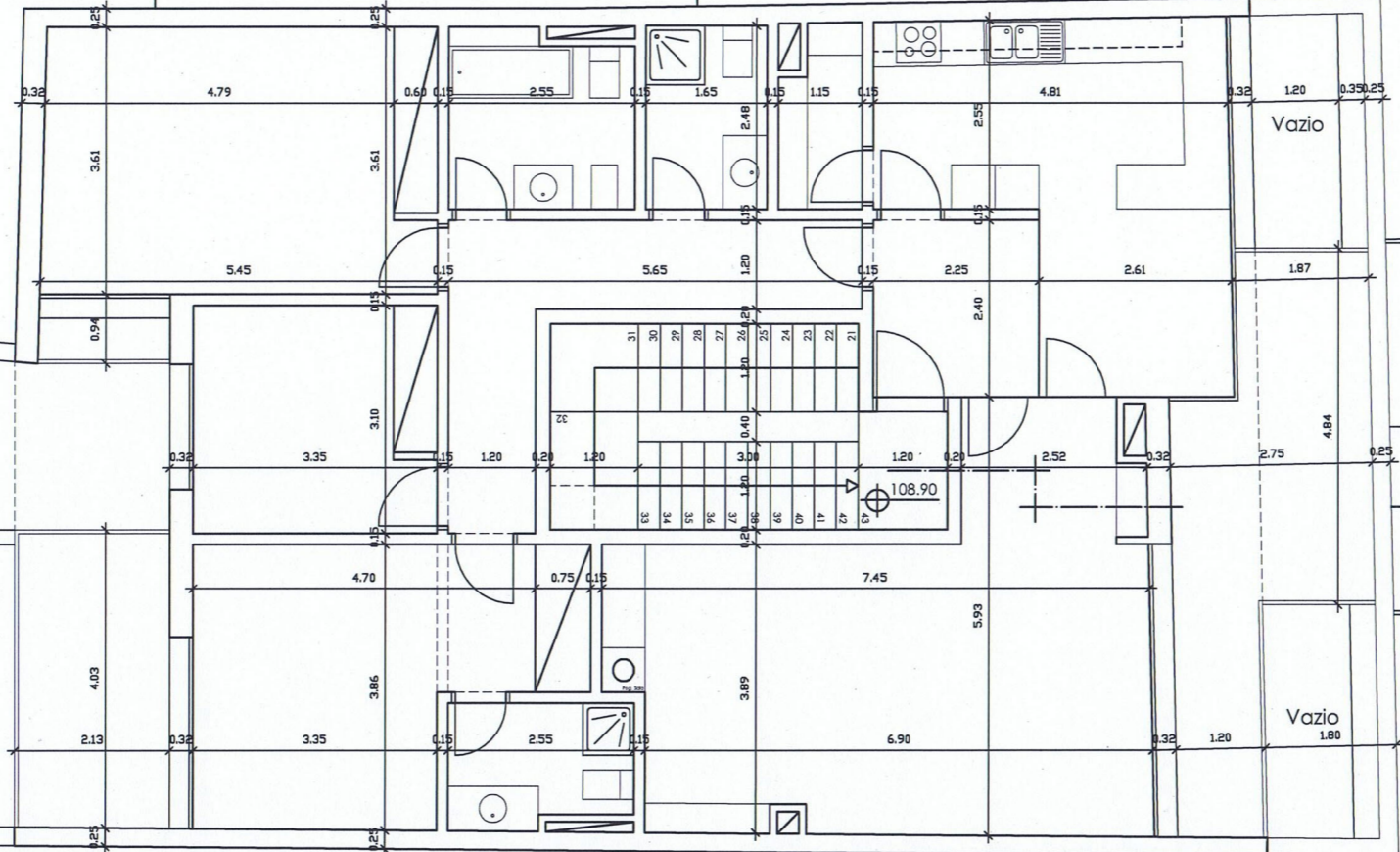
Quintais

Área Coberta Vizinha

B



PLANTA 2º ANDAR

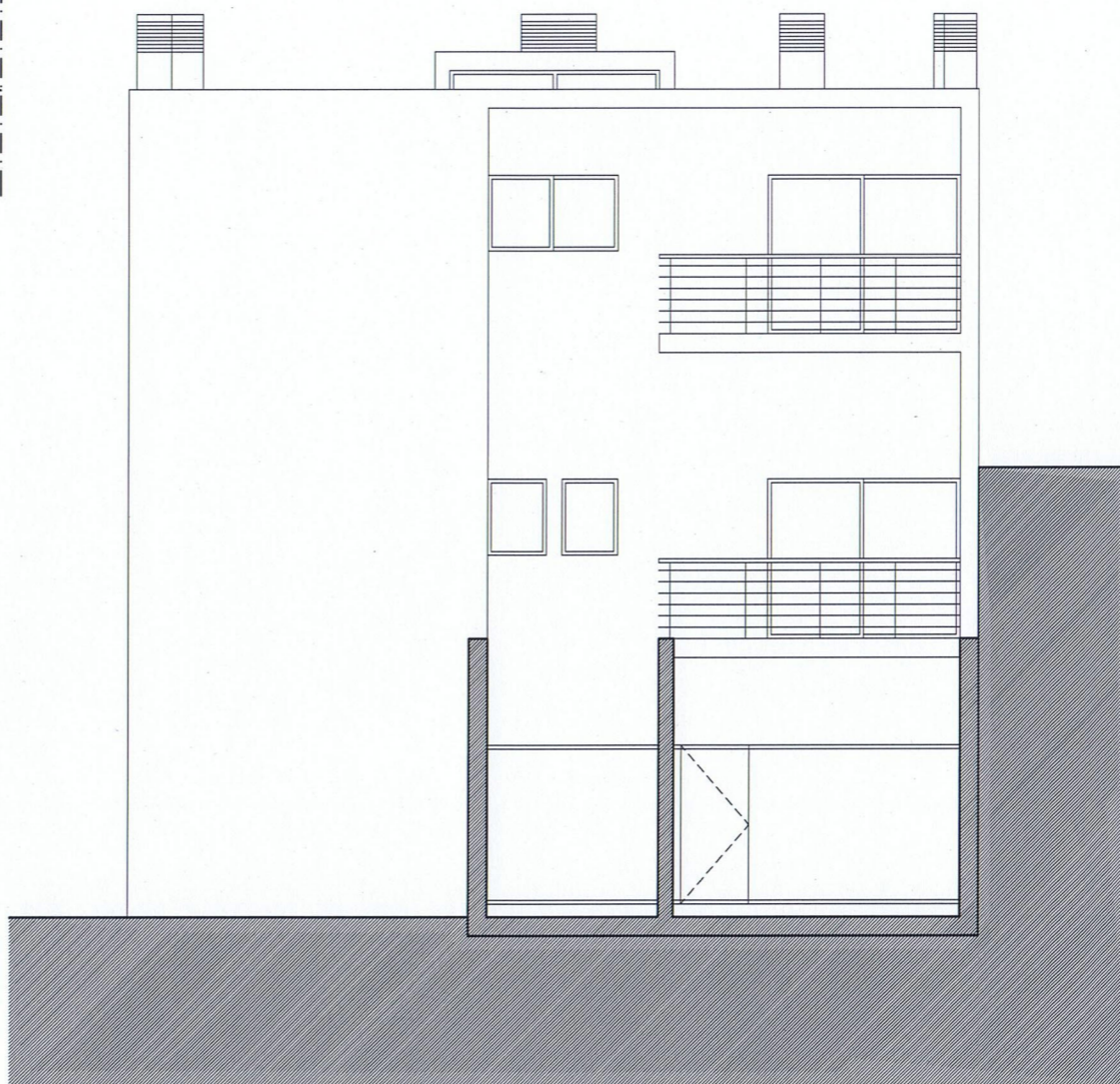


PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA 2º ANDAR		
OBRA	EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO E COMÉRCIO		
LOCAL	RUA SACADURA CABRAL, 10 A 16 SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES		
CASO ESTUDO 10			
ESC.	1/100	DES.	3
O TÉCN.			



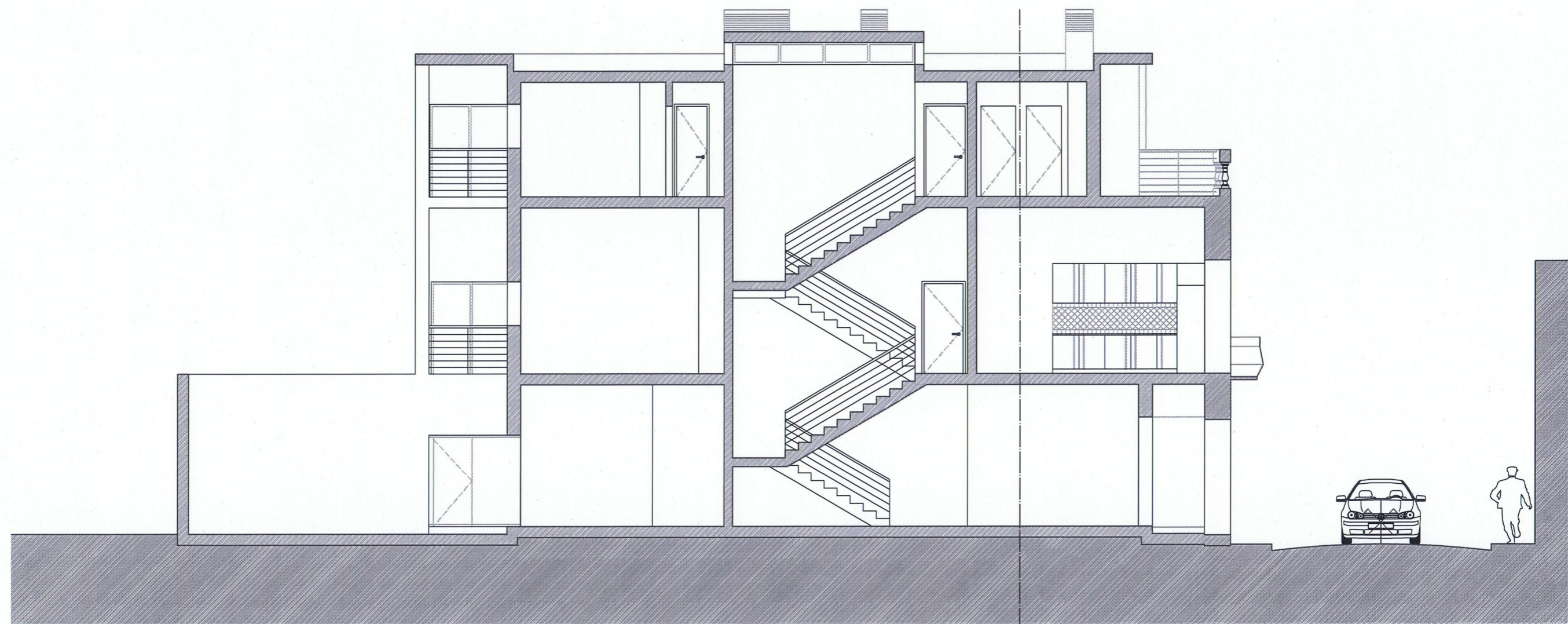
HORIZONTAL DE REFERÊNCIA A 100.00 METROS

ALÇADO FRONTAL



ALÇADO TARDOZ

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	ALÇADOS		
OBRA	EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO E COMÉRCIO		
LOCAL	RUA SACADURA CABRAL, 10 A 16 SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES		
CASO ESTUDO 10			
ESC.	1/100	DES.	4
O TÉCN.	_____		

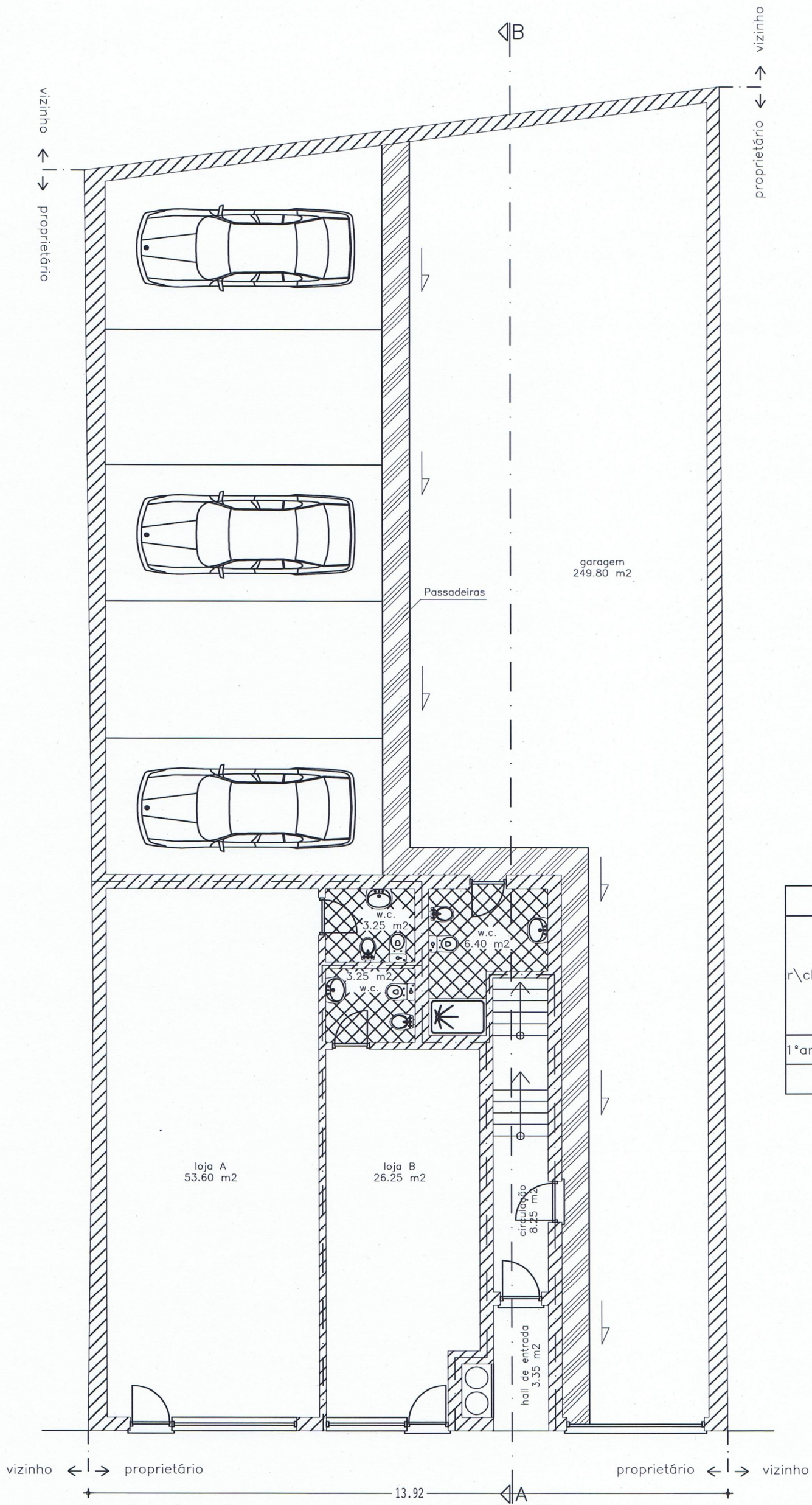


CORTE AA

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	CORTE AA		
OBRA	EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO E COMÉRCIO		
LOCAL	RUA SACADURA CABRAL, 10 A 16 SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES		
	CASO ESTUDO 10		
ESC.	1/100	DES.	5
O TÉCN.	_____		

ANEXO IX

Peças desenhadas à escala do caso de estudo 11

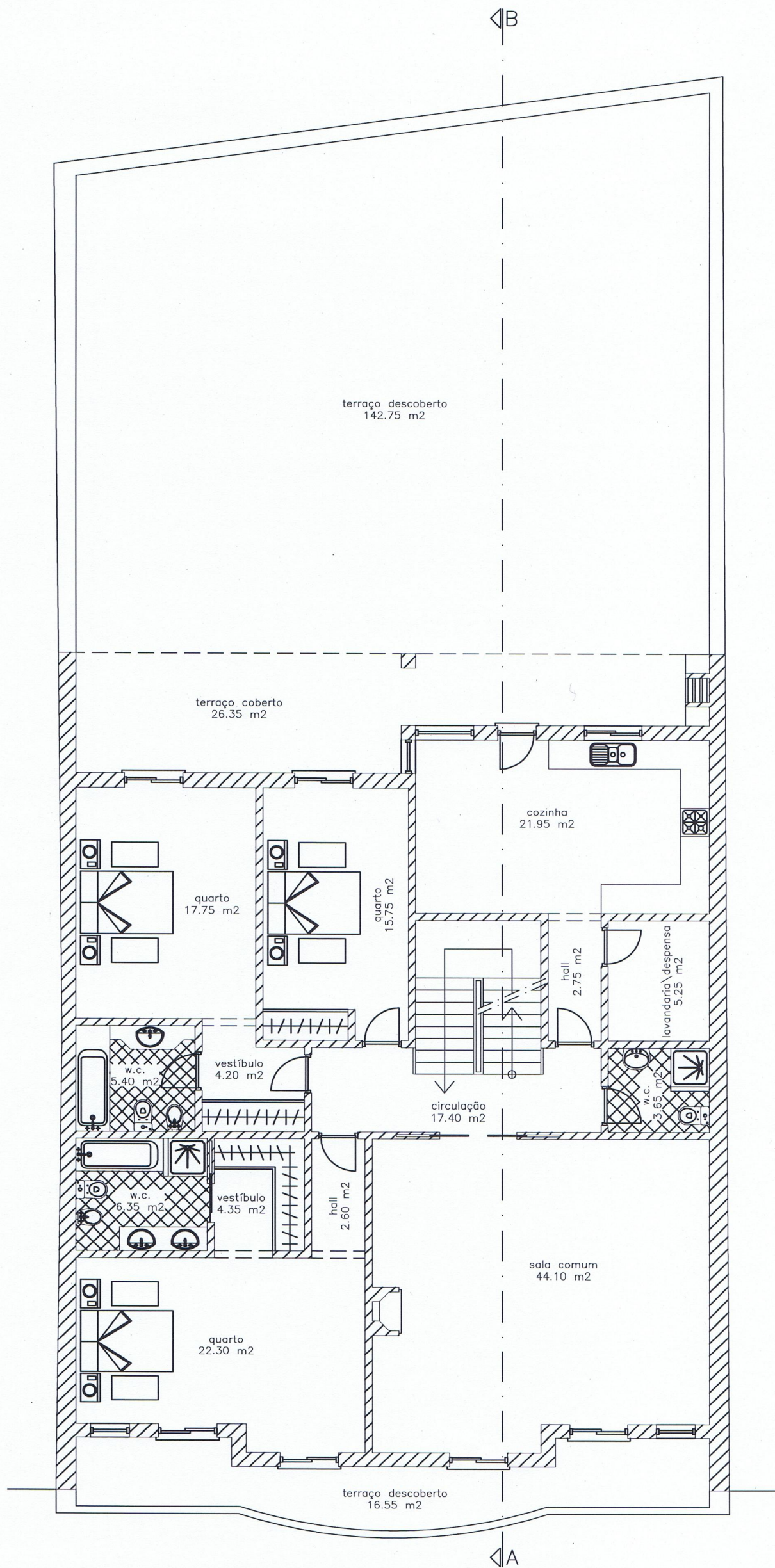


	á. hab.	á. util	á. bruta
r\chão	loja A	56.85 m ²	64.60 m ²
	loja B	29.50 m ²	33.25 m ²
	garag.	256.20 m ²	282.00 m ²
	circul.	11.60 m ²	16.15 m ²
1º andar apart.	121.85 m ²	173.80 m ²	231.00 m ²
total	121.85 m ²	529.15 m ²	627.00 m ²

área de implantação - 396.00 m²

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA R/C		
OBRA	CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIO		
LOCAL	RUA HERÓIS DE MUCABA -SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES-		
	CASO ESTUDO II		
ESC.	1/100	DES.	I
O TÉCN.			

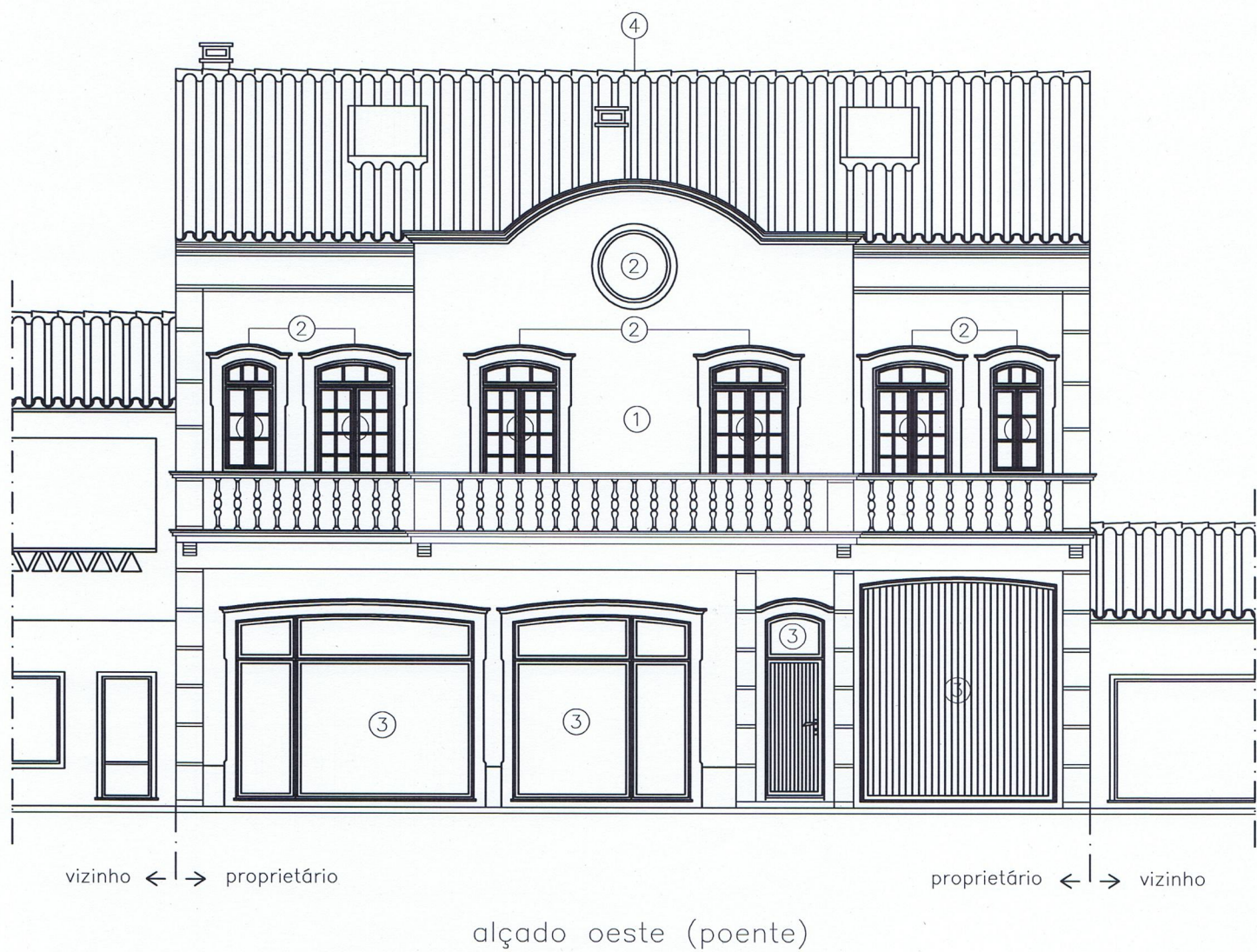
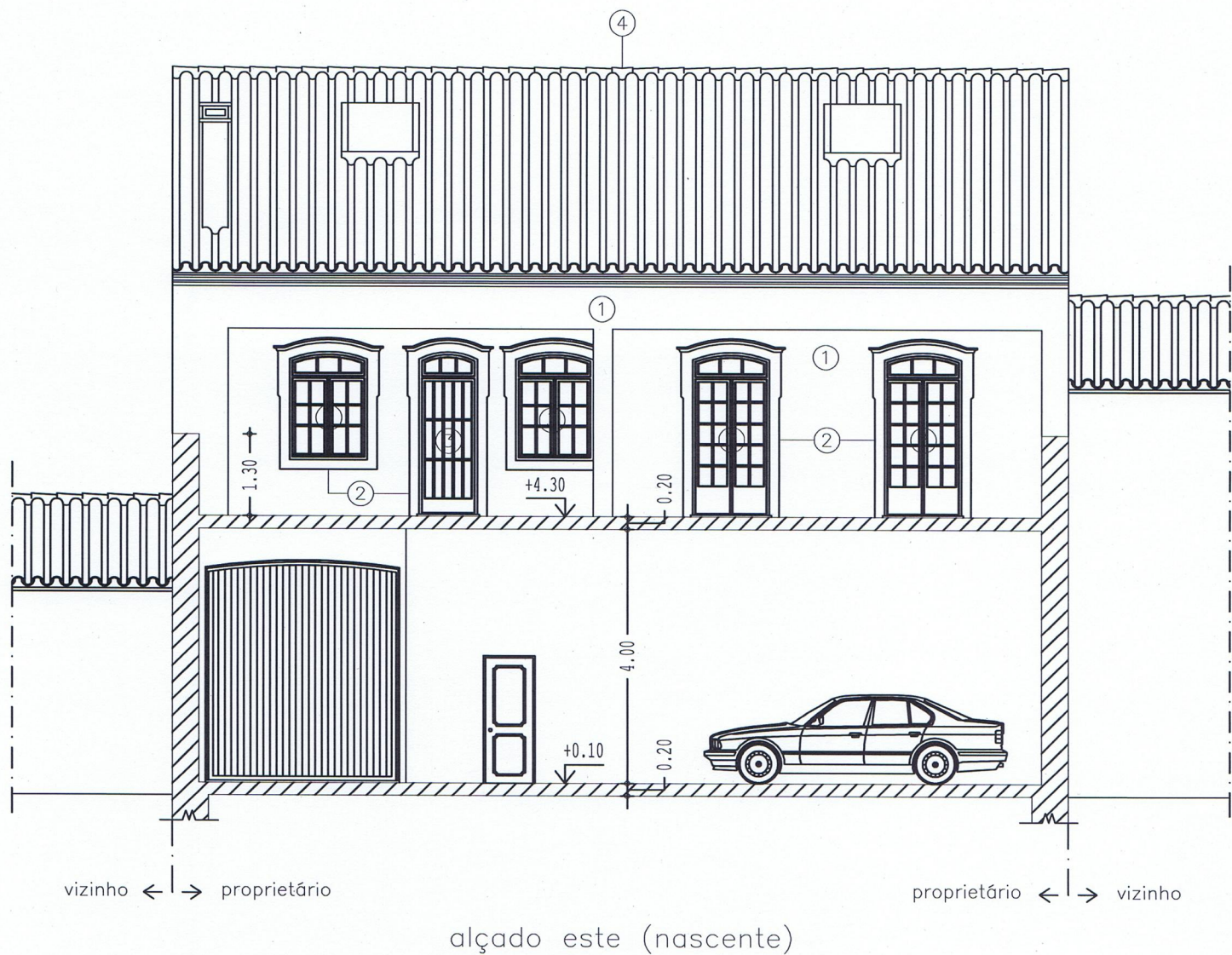
PLANTA R\C



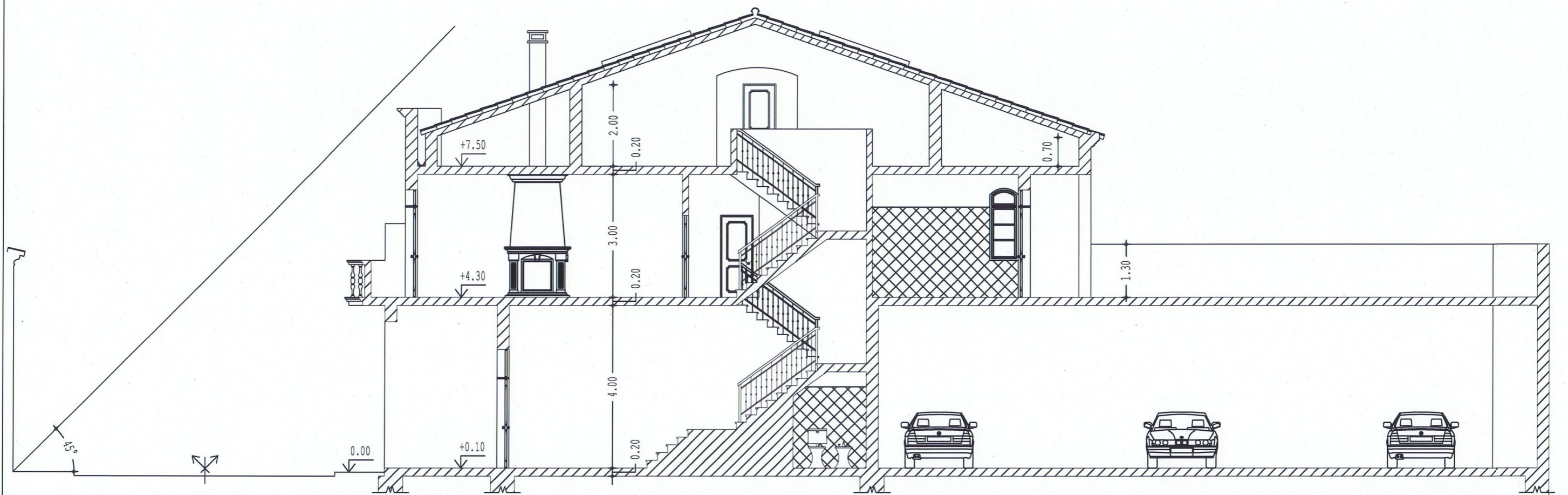
PLANTA 1º ANDAR

		á. hab.	á. util	á. bruta
r\chão	loja A	—	56.85 m ²	64.60 m ²
	loja B	—	29.50 m ²	33.25 m ²
	garag.	—	256.20 m ²	282.00 m ²
	circul.	—	11.60 m ²	16.15 m ²
1º andar apart.		121.85 m ²	173.80 m ²	231.00 m ²
total		121.85 m ²	529.15 m ²	627.00 m ²

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA 1º ANDAR		
OBRA	CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIO		
LOCAL	RUA HERÓIS DE MUCABA -SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES-		
CASO ESTUDO II			
ESC.	1/100	DES.	2
O TÉCN.	_____		



PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	ALÇADOS		
OBRA	CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIO		
LOCAL	RUA HERÓIS DE MUCABA -SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES-		
	CASO ESTUDO II		
ESC.	1/100	DES.	3
O TÉCN.			



rua Heróis de Mucaba

CORTE AB

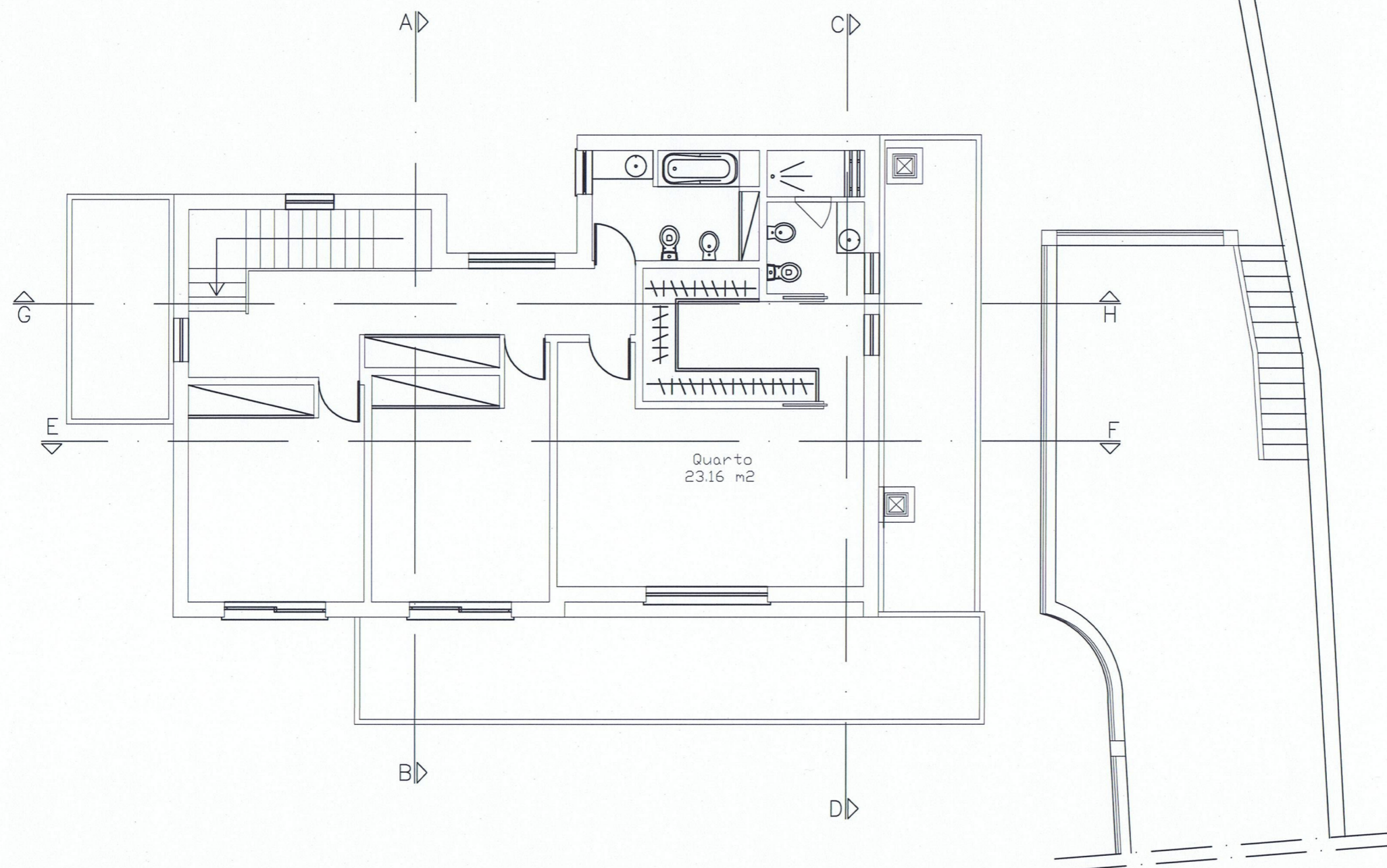
proprietário ←

vizinho →

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	CORTE AB		
OBRA	CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIO		
LOCAL	RUA HERÓIS DE MUCABA -SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES-		
	CASO ESTUDO II		
ESC.	1/100	DES.	4
O TÉCN.	_____		

ANEXO X

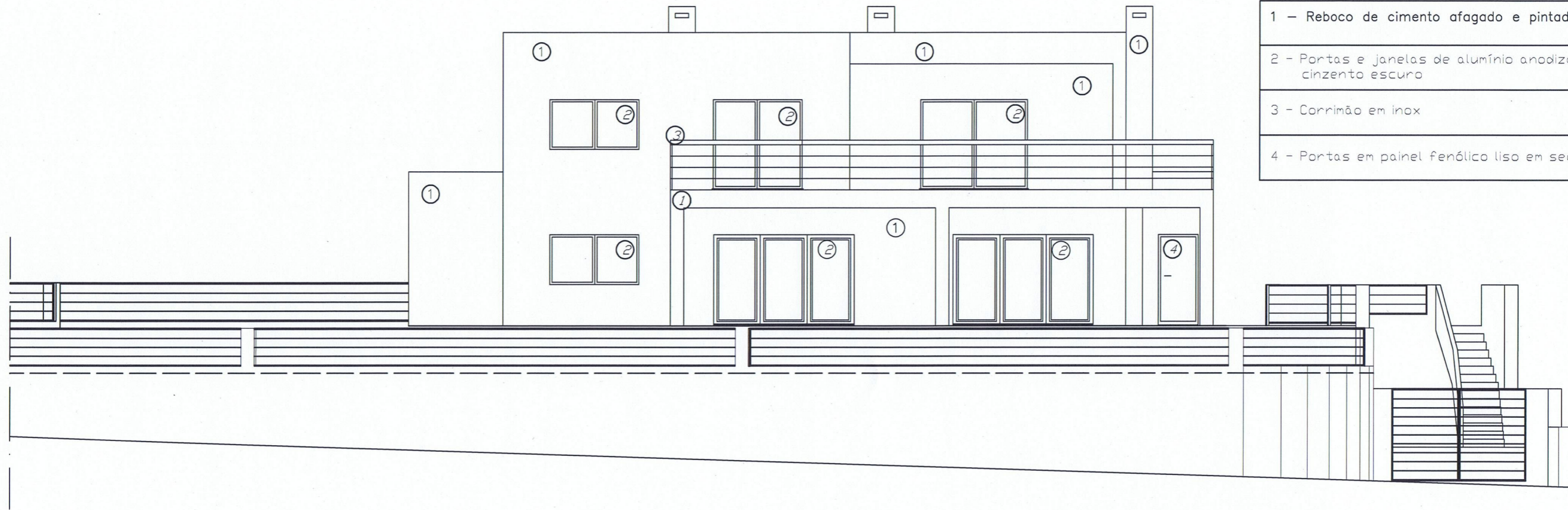
Peças desenhadas à escala do caso de estudo 12



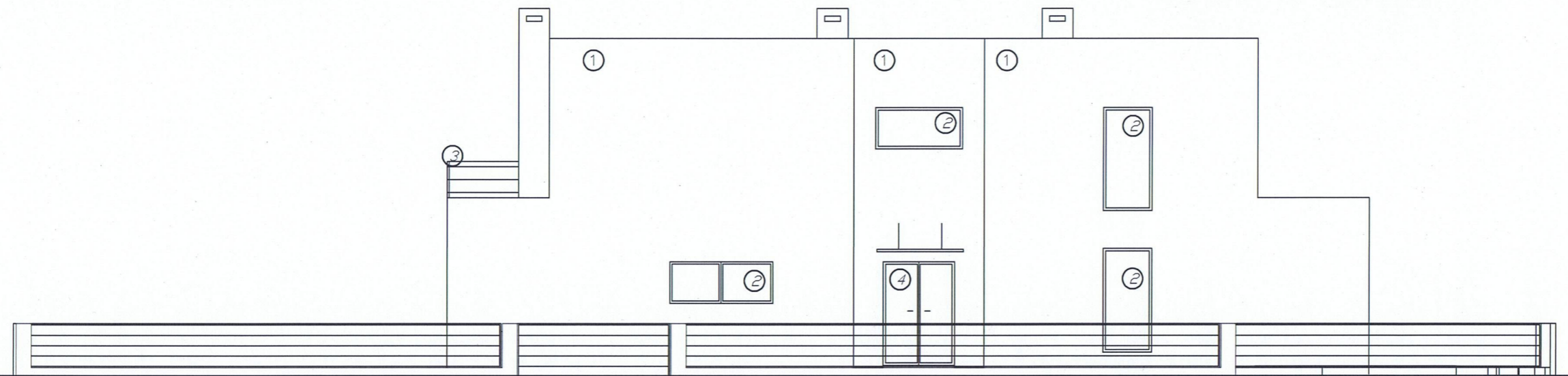
PLANTA 1º ANDAR

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	PLANTA 1º ANDAR		
OBRA	CONSTRUÇÃO DE MORADIA UNIFAMILIAR		
LOCAL	PEDREIRAS -S. BARTOLOMEU DE MESSINES-		
	CASO ESTUDO 12		
ESC.	1/100	DES.	I
O TÉCN.			

- 1 - Reboco de cimento afagado e pintada a branco
- 2 - Portas e janelas de alumínio anodizado em cinzento escuro
- 3 - Corrimão em inox
- 4 - Portas em painel fenólico liso em seqúoia

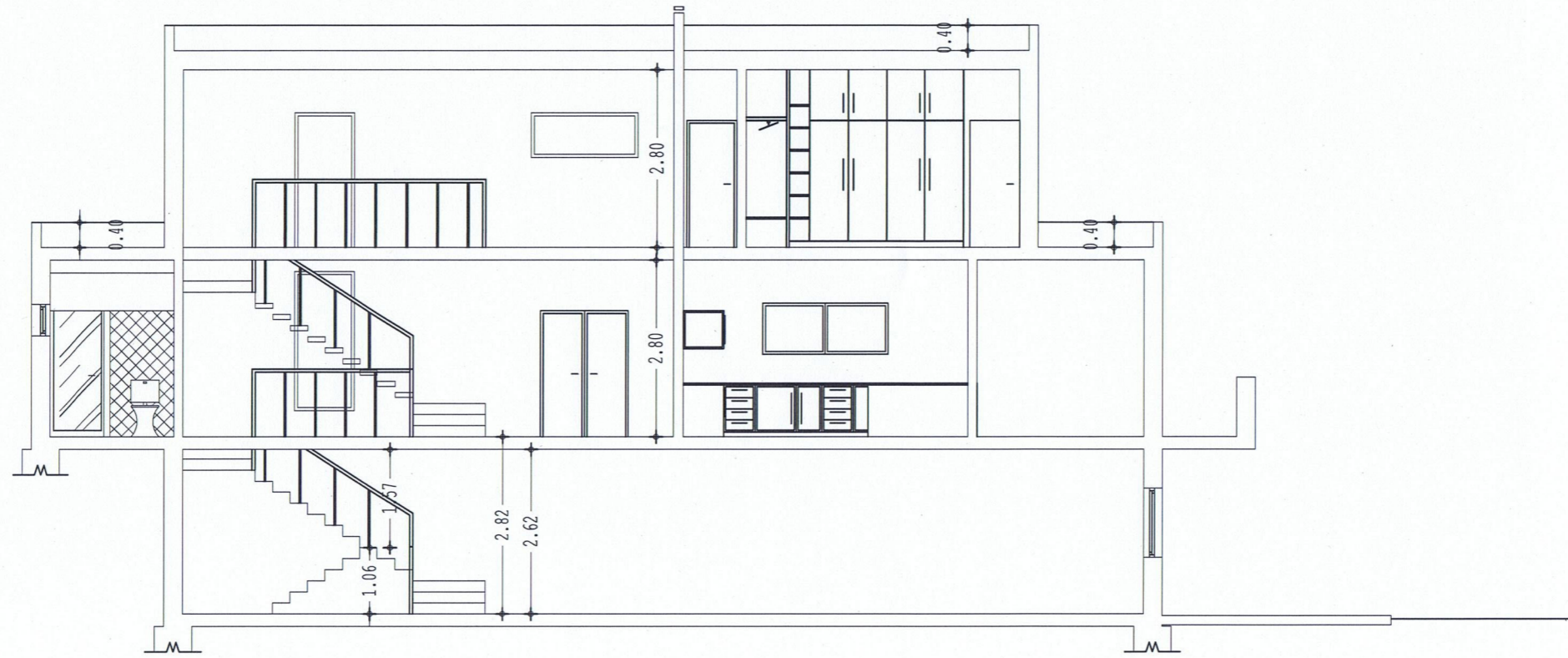


ALÇADO PRINCIPAL



ALÇADO POSTERIOR

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	ALÇADOS		
OBRA	CONSTRUÇÃO DE MORADIA UNIFAMILIAR		
LOCAL	PEDREIRAS -S. BARTOLOMEU DE MESSINES-		
	CASO ESTUDO 12		
ESC.	1/100	DES.	2
O TÉCN.			



CORTE G - H

PROJ.	ARQUITETURA		
PEÇA	CORTE GH		
OBRA	CONSTRUÇÃO DE MORADIA UNIFAMILIAR		
LOCAL	PEDREIRAS -S. BARTOLOMEU DE MESSINES-		
	CASO ESTUDO 12		
ESC.	1/100	DES.	3
O TÉCN.	_____		