U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

A REGULAMENTAÇÃO TÉRMICA E ACÚSTICA E SUA APLICABILIDADE EM EDIFÍCIOS A REABILITAR NO CENTRO HISTÓRICO DO PORTO – ESTUDO DE CASO

ANA ISABEL ESTEVES DE ARAÚJO

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Vítor Abrantes

JULHO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

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

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais e Avós

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que, em geral, me incentivaram e de algum modo contribuiram para a realização deste trabalho e, em particular, desejo expressar o meu agradecimento:

Ao Professor Vítor Abrantes, orientador deste projecto, pela sua atenção, acompanhamento e aconselhamento.

À Engenheira Ana Guimarães pelo apoio, conselhos e incentivos constantes.

Ao Arquitecto Nuno Abrantes pela colaboração e pela disponibilização de um caso de estudo, fundamental à realização deste trabalho.

Ao Professor António Oliveira Carvalho pela disponibilidade e orientação científica na área da Acústica de Edifícios.

Aos meus familiares e amigos, suporte do meu percurso académico, por acreditarem no meu trabalho e relevarem as ausências e em especial ao Pedro pela paciência, carinho e por me dar sempre confiança para continuar.

RESUMO

Os padrões de conforto da sociedade têm evoluído simultâneamente com a necessidade de eficiência energética e redução de consumo de energia.

A reabilitação do património edificado é fundamental, com especial importância em centros históricos que se encontram degradados e a necessitar de médias e grandes reparações. Nestes edifícios devem, na medida do possível, ser implementadas medidas que permitam aumentar as condições de conforto dos seus habitantes e reduzir o consumo de energia.

Neste trabalho pretende-se perceber a relevância dos regulamentos de térmica e acústica e a dificuldade da sua aplicabilidade em edifícios antigos a reabilitar.

Foi analisado um edifício no Centro Histórico do Porto com o objectivo de identificar as dificuldades e incompatibilidades que surgem na verificação de conformidade dos referidos regulamentos e apresentar as respectivas soluções de reabilitação.

É possível concluir que o edifício apresentava insuficiente qualidade térmica e acústica à luz dos regulamentos actuais e que, devido a várias condicionantes à alteração da solução construtiva original, obriga a um elevado investimento económico para melhorar o desempenho térmico e acústico tendo em vista a verificação de conformidade.

Entende-se que os regulamentos deveriam ser revistos em termos de requisitos mínimos para Zonas Históricas pois estes não devem ser uma perturbação à reabilitação mas sim um instrumento para promover a qualidade e condições de conforto das habitações, ajudando a reverter a actual situação de conservação dos fogos.

PALAVRAS-CHAVE: Reabilitação, regulamentação, térmica, acústica, edifícios.

ABSTRACT

The society's standard comfort requirements have been evolving simultaneously with the need of energy efficiency and energy consumption reduction.

The rehabilitation of the built inheritance is crucial, with special significance in degraded historical centres which need medium and large repair. Measures should be implemented, as much as possible, to increase de comfort conditions of the householders and to reduce the energy consumption.

In this work it is intended to understand the relevance of thermal and acoustic Portuguese regulation and the difficulty of its applicability to old buildings to rehabilitate.

A building in Porto Historical Centre was evaluated with the main goal of identifying the difficulties and incompatibilities that appear while observing the regulations requirements and suggest rehabilitation solutions.

It was possible to conclude that the building presented insufficient thermal and acoustic quality in view of the present regulations and, due to a variety of restrictions, obliges a high economic investment to improve its performance and be regular.

We can also conclude that regulations should be reviewed and be made less strict in terms of insulation requirements in old buildings, as these should not be an obstacle to rehabilitation but an instrument to promote quality and comfort conditions in household, helping the present state of preservation of Portuguese dwellings to take a turn for the better.

KEYWORDS: Rehabilitation, regulation, thermal, acoustic, household.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i
RESUMO iii
ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. OBJECTIVOS 1
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO 2

2. ESTADO DA ARTE 3
2.1. EVOLUÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO TÉRMICA EM EDIFÍCIOS 3
2.2. MEDIDAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA EM EDIFÍCIOS 5
2.2.1. INTRODUÇÃO 5
2.2.2. PAREDES EXTERIORES 5
2.2.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS 11
2.2.4. COBERTURAS 13
2.2.5. PAVIMENTOS 15
2.2.6. MATERIAIS ISOLANTES TÉRMICOS 17
2.3. EVOLUÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO ACÚSTICA EM EDIFÍCIOS 18
2.4. MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS 19
2.4.1. INTRODUÇÃO 19
2.4.2. ISOLAMENTO DE FACHADAS A SONS AÉREOS 20
2.4.3. ISOLAMENTO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA COM ORIGEM NOUTROS FOGOS 22
2.4.4. ISOLAMENTO A SONS DE PERCUSSÃO 23
2.4.5. ENVIDRAÇADOS 25
2.4.6. EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES 26

3. CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE HABITACIONAL A REABILITAR NO CENTRO DO PORTO 29
3.1. DESENVOLCIMENTO HISTÓRICO 29
3.2. ASPECTOS MORFOLÓGICOS, CONSTRUCTIVOS E ARQUITECTÓNICOS 30

4. EDIFÍCIO ESTUDADO 33

5. ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO RCCTE 35

5.1. INTRODUÇÃO 35

5.2. DEFINIÇÃO DE FRACÇÕES AUTÓNOMAS PARA EFEITOS DO RCCTE 36

5.3. DADOS CLIMÁTICOS 38

5.4. LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA 39

5.4.1. NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO – N_I 39

5.4.2. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO – N_V 40

5.4.3. NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA - N_A 40

5.4.4. NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA - NT 40

5.4.5. REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE TÉRMICA DOS EDIFÍCIOS 40

1.2.3.1. Coeficientes de transmissão térmica da envolvente (U) 40

1.2.3.1. Factor solar máximo admissível 41

5.5. ELEMENTOS OPACOS VERTICAIS EM CONTACTO COM O EXTERIOR 42

5.5.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL 42

5.5.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO TÉRMICA 43

5.5.3. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO 44

5.6. *ELEMENTOS OPACOS HORIZONTAIS EM CONTACTO COM O EXTERIOR* 46

5.6.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL 46

5.6.2. SOLUÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO 47

5.6.3. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO 50

5.7. *ELEMENTOS VERTICAIS EM CONTACTO COM LOCAIS NÃO AQUECIDOS* 52

5.8. *PAVIMENTOS EM CONTACTO COM LOCAIS NÃO AQUECIDOS* 53

5.8.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL 53

5.8.2. SOLUÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO 53

5.8.3. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO 54

5.9. *PONTES TÉRMICAS PLANAS* 55

5.10. *PONTES TÉRMICAS LINEARES* 55

5.11. *ELEMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO* 56

5.12. *VENTILAÇÃO* 56

5.13. *ENVIDRAÇADOS* 58

5.13.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL 58

5.13.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO TÉRMICA....60
5.14. *EQUIPAMENTOS*....63
5.15. *COLECTORES SOLARES*....63
5.16. *RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO REGULAMENTO À FRACÇÃO 1*....65
5.16.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS....65
5.16.2. VERIFICAÇÃO DO RCCTE....65
5.16.3. CORRECÇÕES....67

6. ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO RRAE...69
6.1. *INTRODUÇÃO*....69
6.2. *REQUISITOS PARA EDIFÍCIOS HABITACIONAIS OU MISTOS*....70
6.3. *PAREDES EXTERIORES*....71
6.3.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL....71
6.3.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA....71
6.4. *COBERTURAS*....73
6.5. *ELEMENTOS CONSTRUTIVOS INTERIORES*....73
6.5.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL....73
6.5.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA....75
6.6. *EQUIPAMENTOS*....76
6.7. *RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO REGULAMENTO À FRACÇÃO 1*....77
6.7.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS....77
6.7.2. VERIFICAÇÃO DO RRAE....77

7. CONCLUSÕES....79
7.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS....79
7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS....81

BIBLIOGRAFIA....83

A1. ESTIMATIVA DE DESEMPENHO DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO....87

A2. DEMONSTRAÇÃO DO CÁLCULO DOS VALORES DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA DA FRACÇÃO 1 (NIC, NVC, NAC E NTC) 91

A3. DEMONSTRAÇÃO DO CÁLCULO DOS VALORES DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DA FRACÇÃO 1 105

A4. PLANTAS, CORTES E ALÇADOS DO EDIFÍCIO EM ESTUDO 107

ÍNDICE DE FIGURAS

1. INTRODUÇÃO 1

Fig.1.1 – Definições de conceitos fundamentais na área de conservação e reabilitação (adaptado de Manso [1]) 1

2. ESTADO DA ARTE 3

Fig. 2.1 - Revestimento independente descontínuo com interposição de isolante térmico na caixa de ar [4] 7

Fig. 2.2 - Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento espesso [4] 7

Fig. 2.3 - Sistema de isolamento compósito exterior com revestimento delgado [4] 7

Fig. 2.4 - Exemplo de revestimento isolante [5] 8

Fig. 2.5 - Sistema directo de isolamento térmico pelo interior 8

Fig. 2.6 - Sistema semi-directo de isolamento térmico pelo interior 8

Fig. 2.7 - Sistema autoportante de isolamento térmico pelo interior 9

Fig. 2.8 - Posições mais aconselháveis para aberturas de admissão de ar em paredes de fachada [3]12

Fig. 2.9 - Cobertura inclinada com desvão habitável: isolamento térmico nas vertentes [4] 14

Fig. 2.10 - Cobertura inclinada com desvão não-habitável: isolamento térmico na esteira horizontal [4]14

Fig. 2.11 - Cobertura horizontal: cobertura "invertida" [4] 15

Fig. 2.12 - Pavimento sobre espaço exterior ou não-aquecido: isolamento térmico inferior [4] 15

Fig. 2.13 - Pavimento sobre espaço exterior ou não-aquecido: isolamento térmico superior [4] 16

Fig. 2.14 - Tipos de fontes de ruído mais comuns em espaços habitacionais [4] 19

Fig. 2.15 - Influência do aumento de amortecimento interno [10] 21

Fig. 2.16 - Determinação do parâmetro $D_{2m,n,w}$ [10] 22

Fig. 2.17 - Influência da transmissão aérea de sons interiores [13] 22

Fig. 2.18 - Tecto falso com material absorvente sonoro [4] 23

Fig. 2.19 - Influência da transmissão dos sons de percussão [13] 24

Fig. 2.20 - Comparação entre as descrições de uma acção de percussão numa superfície rígida (betão) e num revestimento de piso resiliente [10] 24

Fig. 2.21 - Exemplo de aplicação de um sistema de pavimento flutuante [13] 25

Fig. 2.22 - Comparação dos isolamentos sonoros de vidro laminado e vidro simples com espessura de vidro equivalente (duas lâminas de 3,2 mm de espessura unitária) [11] 26

Fig. 2.23 - Soluções de isolamento acústico com ventilação [10] 26

3. CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE HABITACIONAL A REABILITAR NO CENTRO DO PORTO 29

Fig. 3.1 - Vista do centro histórico do Porto [16] 30

Fig. 3.1 - Pormenor de casa em ruína feita com processos construtivos tradicionais, na cidade do Porto 30

4. EDIFÍCIO ESTUDADO 33

Fig. 4.1 - Alçado principal do edifício e vista geral da Rua Mousinho da Silveira 33

Fig. 4.12- Alçado posterior e lateral do edifício 34

5. ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO RCCTE 35

Fig. 5.1 - Envolvente da “fracção 1”, planta sem escala 36

Fig. 5.2 - Envolvente da “fracção 2”, planta sem escala 37

Fig. 5.3 - Envolvente da “fracção 3”, planta sem escala 37

Fig. 5.4 - Envolvente da “fracção 4”, planta sem escala 38

Fig. 5.5 - Corte-tipo da parede exterior, sem escala 42

Fig. 5.6 - Corte-tipo da nova solução de parede exterior, sem escala 44

Fig. 5.7 - Aplicação do produto de colagem [6] 45

Fig. 5.8 - Aplicação do produto de colagem sob a forma de bandas [6] 45

Fig. 5.9 - Aplicação do produto de colagem sob a forma de montículos [6] 46

Fig. 5.10 - Pormenores de esquinas [20] 46

Fig. 5.11 - Corte-tipo da solução de cobertura inclinada, sem escala 48

Fig. 5.12 - Corte-tipo da solução de cobertura em terraço, sem escala 50

Fig. 5.13 - Aplicação do isolante térmico em coberturas inclinadas de estrutura descontínua 51

Fig. 5.14 - Esquema de remate com parede emergente (adaptado de Grandão Lopes [32]) 52

Fig. 5.15 - Corte-tipo da solução de pavimento sobre local não aquecido, sem escala 53

Fig. 5.16 - Pormenor de marcação de nível de tecto [35] 54

Fig. 5.17 - Exemplo de sistema de suspensão de placas de gesso [20] 55

Fig. 5.18 - Depósito de acumulação [45] 64

Fig. 5.19 - Distribuição das necessidades globais de energia primária 66

Fig. 5.20 - Distribuição das perdas térmicas de Inverno 67

6. ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO RRAE .. 69

Fig. 6.1 - Solução de pavimento com lajeta flutuante com revestimento flutuante (adaptado de Patrício [10]) ... 75

Fig. 6.2 - Solução de laje com tecto falso (adaptado de Patrício [10]) 76

ÍNDICE DE QUADROS

2. ESTADO DA ARTE 3

Quadro 2.1 – Soluções de reforço do isolamento térmico de paredes exteriores [3] 6

Quadro 2.2 – Principais vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior [6] 9

Quadro 2.3 – Principais desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior [6] 10

Quadro 2.4 – Principais vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior [6] 10

Quadro 2.5 – Principais desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior [6] 11

Quadro 2.6 – Soluções de reforço do isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores ou não-aquecidos [4] 16

Quadro 2.7 – Exigências constantes na certificação ACERMI 17

Quadro 2.8 – Redução sonora de diferentes tipos de envidraçado em que área total de peças opacas não excede 30% da área total da abertura [10] 25

5. ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO RCCTE 35

Quadro 5.1 – Intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento 39

Quadro 5.2 – Coeficientes de transmissão térmica máximos e de referência (I_2) 41

Quadro 5.3 – Factores solares máximos admissíveis para a zona climática "V_1" de vãos envidraçados com mais de 5% de área útil do espaço que servem 41

Quadro 5.4 – Coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores da solução original 42

Quadro 5.5 – Características de um sistema do tipo directo constantes no catálogo de uma marca comercial [19] 43

Quadro 5.6 – Coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores da nova solução construtiva 43

Quadro 5.7 – Características de placas de XPS constantes no catálogo de uma marca comercial [22] 47

Quadro 5.8 – Características de placas de XPS constantes no catálogo de uma marca comercial [26] 49

Quadro 5.9 – Características dos vãos envidraçados que não estão orientados a Norte 59

Quadro 5.10 – Classes de estanquidade à água das janelas e portas exteriores para edifícios localizados na zona B com rugosidade I 61

Quadro 5.11 – Classes de resistência ao vento das janelas e portas exteriores para edifícios localizados na zona B com rugosidade I 61

Quadro 5.12 – Classes mínimas de força de manobra, força no plano da folha, força horizontal de torção e resistência ao choque a adoptar nas janelas do edifício 62

Quadro 5.13 – Classes mínimas de força de manobra, força no plano da folha, força horizontal de torção e resistência ao choque a adoptar nas portas do edifício 62

Quadro 5.14 – Valores de cálculo das necessidades nominais de aquecimento, de arrefecimento, de preparação de AQS e das necessidades nominais globais de energia primária 65

Quadro 5.15 – Valores de cálculo e de referência das necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento, de preparação de água quente sanitária e das necessidades nominais anuais globais de energia primária..... 66

6. ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO RRAE .. 69

Quadro 6.1 – Requisitos acústicos e de ventilação de elementos construtivos exteriores em edifícios de habitação 70

Quadro 6.2 – Requisitos acústicos e de ventilação de elementos construtivos interiores em edifícios de habitação 70

Quadro 6.3 – Requisitos do RRAE para ruídos de equipamentos em edifícios de habitação 71

Quadro 6.4 – Valores do factor I 71

Quadro 6.5 – Características de envidraçados retiradas de catálogo comercial [46]..... 72

Quadro 6.6 – Valores de cálculo para os diferentes requisitos acústicos dos elementos de compartimentação da fracção 1..... 77

Quadro 6.7 – Valores de cálculo e requisitos acústicos do RRAE..... 78

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

R – Resistência térmica [(m^2.ºC)/W]

λ – Condutibilidade térmica [W/(m.ºC)]

R_w – Índice de redução sonora [dB]

$D_{2m,n,w}$ – Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea normalizado com o exterior [dB]

$D_{n,w}$ – Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea normalizado [dB]

$L'_{n,w}$ – Índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão [dB]

L_{AR} – Nível de avaliação do ruído particular de equipamentos [dB]

U – Coeficiente de transmissão térmica [W/(m^2.ºC)]

T – Temperatura [ºC]

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios.

SCE – Sistema nacional de Certificação Energética e da qualidade do ar interior nos edifícios.

RGR – Regulamento Geral sobre o Ruído.

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.

1
INTRODUÇÃO

1.1. OBJECTIVOS

O sector da Reabilitação de Edifícios em Portugal encontra-se em atraso em relação a outros países europeus e com uma grande margem para crescimento, estando o património edificado envelhecido e em grande percentagem em avançado estado de degradação.

Ao longo da sua vida útil, um edifício vai sofrendo processos de deterioração natural da sua qualidade inicial que se devem à durabilidade dos materiais e utilização propriamente dita. Em paralelo, a legislação da construção vai evoluindo num sentido de maior exigência, melhor desempenho. Assim, reabilitação de um edifício pode ser definida como o conjunto de trabalhos que permitem reestabelecer não só o nível de qualidade inicial da construção mas também dotar o edifício de qualidade regulamentar equivalente à inicial, nos padrões actuais.

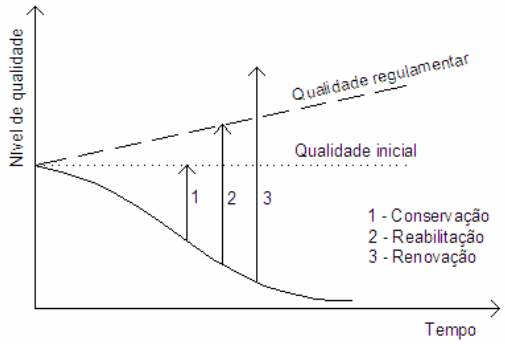


Fig. 1.1 – Definições de conceitos fundamentais na área de conservação e reabilitação (adaptado de Manso [1])

Um processo de reabilitação deve ser sempre analisado com a consciência de que cada caso é um caso e que há condicionantes que limitam a aplicação de regras que à partida são de fácil adopção em construção nova. Estas limitações podem ser das mais variáveis naturezas desde limitações de cariz financeiro, estrutural ou dificuldade de compatibilização dos vários requisitos.

Dois dos aspectos que tornam menos apelativa a reabilitação em detrimento da construção nova são, sem dúvida, a dificuldade em cumprir a actual legislação da construção e a falta de documentação técnica sobre o tema.

O RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios) e o RRAE (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios) são fundamentais para incentivar a qualidade e condições de conforto das habitações pelo que é importante que sejam aplicáveis, com as devidas ressalvas, aos edifícios que se encontram obsoletos tanto em termos de desempenho como de função.

Este trabalho tem como objectivo identificar as dificuldades e incompatibilidades que surgem na verificação de conformidade dos referidos regulamentos a um edifício situado na Zona Histórica do Porto e, nesses casos, apresentar soluções de reabilitação que possibilitem a sua aplicabilidade.

A Física das Construções inter-relaciona um conjunto de disciplinas que vão para além da Térmica ou Acústica de Edifícios, pelo que este estudo é muito simplificado e não tem em conta todas as variáveis que devem ser equacionadas e verificadas num edifício.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em duas partes fundamentais: a primeira tem um carácter de descrição da situação actual (capítulos 2 e 3) e a segunda é dedicada ao caso de estudo (capítulos 4 a 8).

O capítulo 2 apresenta o "Estado da Arte" em relação aos dois temas: reabilitação térmica de edifícios e reabilitação acústica de edifícios.

No capítulo 3 é feita a caracterização do parque habitacional a reabilitar no Porto, com especial atenção para as soluções construtivas utilizadas na generalidade dos imóveis.

O capítulo 4 é dedicado à caracterização do "caso de estudo", ponto de partida para os capítulos 5 e 6.

Nos capítulos 5 e 6 é apresentado, respectivamente, o estudo de soluções para aplicação do RCCTE e do RRAE, em que é feita a descrição de cada elemento do edifício com requisitos e, caso necessário, é descrita uma solução de reabilitação e correspondente tecnologia de aplicação. Cada um destes capítulos termina com os resultados da aplicação destes regulamentos a uma das fracções do edifício.

Para finalizar, no capítulo 7 são resumidas as conclusões que foram obtidas ao longo do trabalho e sugere-se alguns aspectos que merecem desenvolvimento futuro.

São também apresentados quatro anexos:

- No Anexo I apresenta-se a simulação da introdução de um sistema solar térmico para aquecimento de águas quentes sanitárias no edifício;
- No Anexo II são expostos os resultados da análise de comportamento térmico de uma fracção do edifício de acordo com o RCCTE;
- No Anexo III são expostos os resultados da análise de comportamento acústico de uma fracção do edifício de acordo com o RRAE;
- No Anexo IV podem ser consultadas as plantas e cortes relativas ao projecto de reabilitação do edifício em estudo.

2
ESTADO DA ARTE

2.1. EVOLUÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO TÉRMICA EM EDIFÍCIOS

Os edifícios são responsáveis por uma relevante percentagem das emissões totais de CO_2 para a atmosfera. Em 2005, o consumo de energia nos edifícios em Portugal correspondia a cerca de 30% dos consumos totais[1], valor com tendência a crescer.

Este facto, aliado à utilização crescente de tecnologias de climatização e ao permanente aumento dos preços dos combustíveis e da energia, tem motivado a actualização regular e consequente melhoria da regulamentação térmica. De salientar que o primeiro aspecto atrás referido se deve ao baixo nível de conforto oferecido pela maioria dos edifícios, ao aumento das exigências de conforto por parte dos utilizadores das habitações e ao aumento da sua capacidade económica.

A regulamentação de relevo sobre energia em edifícios aparece em Portugal com a publicação, em 1982, das Regras de Qualidade Térmica da Envolvente de Edifícios (RQTEE) e do Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE).

"As RQTEE foram elaboradas pela Comissão para Estudo da Gestão de Energia em Edifícios (CEGENE) e constituíram, até à entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), o documento que permitia a concepção da envolvente dos edifícios tendo em atenção as questões de possibilidade de condensações na estrutura e os problemas energéticos, mais propriamente as cargas através da envolvente. Estas regras propunham a utilização de estruturas com valores recomendados do coeficiente global de transmissão de calor." [2].

O RGCE, de carácter obrigatório, consistia na comparação do consumo global do edifício com valores publicados pelo governo. No entanto, até 1994 apenas visou a indústria, ano em que legislação complementar impôs a sua aplicação a edifícios.

Em 1985, com a entrada de Portugal para a Comunidade Económica Europeia (CEE), actual União Europeia (UE), passou a haver obrigação de implementar a regulamentação comunitária.

Em 1990 são publicados o RCCTE (Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de Fevereiro) e o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RQSCE), com o objectivo de através da aplicação conjunta destes regulamentos conduzir a uma maior eficiência enegética, reduzindo o respectivo consumo de energia.

[1] Fonte: Direcção Geral de Energia e Geologia, Balanço Energético de 2005.

O Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro, tinha como objectivo a melhoria da qualidade térmica da envolvente e consistia num método de verificação de conformidade em que as necessidades reais de aquecimento ou arrefecimento devem ser inferiores às necessidades em condições nominais. Promovia, portanto, a utilização de técnicas construtivas e arquitectónicas que permitissem maior conforto e salubridade através da imposição de requisitos mínimos.

O RQSCE (Decreto-Lei n.º 156/92) tinha como objectivo estabelecer as condições de dimensionamento, instalação e manutenção de sistemas energéticos de aquecimento e/ou de arrefecimento, numa perspectiva de utilização racional de energia e segurança das instalações. No entanto, foi suspenso pela CEE por não cumprir todas as directivas comunitárias. No âmbito da sua revisão surge o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) na forma do Decreto-Lei n.º 188/98 que recentemente foi revogado pelo Decreto-Lei n.º 79/2006 com o mesmo nome.

O facto de o consumo de energia no sector dos edifícios ter aumentado a um ritmo médio de 7%/ano desde 1990, aliado ao Protocolo de Quioto (1995) que visa a redução das emissões de CO_2 e ao potencial de poupança nos edifícios europeus se tivessem um bom desempenho térmico, levou ao aparecimento da Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002) que implica a necessidade de tratar energeticamente os edifícios. Esta directiva teve impacto na ordem jurídica portuguesa, conduzindo à revisão do RCCTE (Decreto-lei n.º 80/2006, de 4 de Abril) e do RSECE (Decreto-lei n.º 79/2006, de 4 de Abril) e à criação do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) (através do Decreto-lei n.º 78/2006, de 4 de Abril).

O Decreto-Lei n.º 80/2006 aprova a nova versão do RCCTE, que mantém os objectivos do regulamento anterior mas aumenta o nível de exigência da qualidade da envolvente dos edifícios. Este regulamento também tem como objectivo minimizar as situações patológicas nos elementos de construção, tendo em vista o aumento da durabilidade dos mesmos.

É mais exigente:

- Ao nível do estabelecimento de regras a observar no projecto de todos os novos edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados;
- Ao criar a obrigatoriedade de recurso a colectores solares;
- Ao pretender que as necessidades de conforto possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;
- Na definição das taxas de renovação de ar;
- Na formação profissional dos técnicos que possam vir a comprovar o cumprimento dos requisitos.

É aplicável a novos edifícios de habitação e de serviços sem sistemas de climatização centralizados e às grandes intervenções de remodelação, de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias dos edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados (custo superior a 25% do valor do edifício).

O actual RSECE visa melhorar a eficiência energética global dos edifícios, aumentando as exigências ao nível do dimensionamento, manutenção e funcionamento das instalações de equipamentos e da qualidade do ar interior através de monitorização regular. Também há aumento de exigência de formação profissional dos técnicos que possam vir a ser responsáveis pela verificação dos requisitos.

O SCE é gerido pela Agência para a Energia (ADENE) e tem como objectivo garantir a eficiência energética dos edifícios, a utilização de energias renováveis e a qualidade do ar interior dos edifícios. Também pretende que sejam identificadas as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho dos edifícios e respectivos sistemas energéticos. Apoia-se na aplicação do RCCTE e do RSECE, caracterizando energeticamente os edifícios através de uma etiqueta energética (os cálculos do consumo de energia são essenciais para determinar a etiqueta energética).

O SCE tem uma aplicação faseada, tendo começado a primeira fase a 1 de Julho de 2007 aplicável a edifícios de serviços ou habitação com área útil de pavimento superior a 1000 m^2 ou 500 m^2, consoante a respectiva tipologia, cujos pedidos de licenciamento ou autorização de construção sejam apresentados à entidade licenciadora após a entrada em vigor do SCE (1 de Julho de 2007).

A segunda fase começa a 1 de Julho de 2008, sendo que o SCE passa a ser aplicável a todos os edifícios de serviços ou habitação com pedido de licenciamento feito a partir desta data.

É importante referir que há isenção de aplicação do RSECE e do RCCTE, em caso de incompatibilidades, em intervenções de remodelação, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou em edifícios classificados, desde que convenientemente justificadas e aceites pela entidade licenciadora.

2.2. MEDIDAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA DE EDIFÍCIOS

2.2.1. INTRODUÇÃO

As medidas seguidamente apresentadas visam conferir, do ponto de vista térmico, uma significativa melhoria da qualidade aos edifícios, possibilitando também a redução de necessidades energéticas, a redução de manifestações patológicas e o aumento do conforto interior.

As medidas de economia de energia em edifícios podem ser relativas à reabilitação térmica da envolvente (reforço do isolamento térmico da envolvente, controlo das infiltrações de ar ou recurso a tecnologias solares passivas e activas) ou à reabilitação energética das instalações (melhoria da eficiência dos sistemas e equipamentos energéticos). A combinação destas medidas permite obter maior eficácia na intervenção.

Os edifícios a reabilitar no centro do Porto foram construídos, na sua maioria, antes da existência de regulamentação térmica pelo que apresentam um insuficiente desempenho, em questões térmicas e de conforto, relativamente aos padrões actuais. Este facto justifica o estudo da aplicabilidade destas medidas nesses edifícios.

2.2.2. PAREDES EXTERIORES

O reforço do isolamento térmico de paredes exteriores pode ser feito pelo exterior, pelo interior ou na caixa de ar. A opção da localização do isolante está, no entanto, sujeita às seguintes condicionantes:

- Se existirem condicionamentos arquitectónicos à alteração do paramento exterior (caso de edifícios com valor patrimonial), o isolamento apenas pode ser reforçado pelo interior;
- Se não existirem condicionamentos arquitectónicos à alteração do paramento exterior e se este se apresentar degradado então é mais indicado o reforço pelo exterior;
- O reforço do isolamento em caixa de ar apenas é possível no caso de paredes duplas e tem desvantagens como, por exemplo, não permitir deixar espaço de ar para ventilação, ficando

o isolamento vulnerável à entrada de humidade através do pano exterior, além de que o incompleto/irregular preenchimento da caixa de ar cria uma situação de ponte térmica.

O Quadro 2.1 descreve algumas das soluções de reforço do isolamento térmico em paredes exteriores mais utilizadas.

Quadro 2.1 - Soluções de reforço do isolamento térmico de paredes exteriores [3]

Localização do isolamento térmico	Tipos de soluções	
Exterior	Revestimentos não isolantes independentes (com interposição dum isolante térmico no espaço de ar)	Revestimentos independentes descontínuos (elementos fixados mecanicamente)
		Revestimentos independentes contínuos de ligantes minerais armados (rebocos armados e desligados do suporte)
	Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior	Revestimentos espessos de ligantes minerais armados (rebocos armados), sobre isolante
		Revestimentos delgados de ligantes sintéticos ou mistos, armados, sobre isolante
	Revestimentos isolantes	Revestimentos pré-fabricados isolantes descontínuos
		Rebocos isolantes
		Revestimento de espuma isolante projectada
Interior	Painéis isolantes (em geral com altura de andar) fixados contra a fachada	
	Contra-fachadas de alvenaria	Com caixa de ar simples
		Com interposição de um isolante térmico e sem caixa de ar
		Com interposição de um isolante térmico e com caixa de ar

Segundo Paiva [3], as soluções de revestimento térmico pelo exterior mais utilizadas são os revestimentos independentes descontínuos com interposição de um isolante térmico no espaço de ar (ver Fig. 2.1) e os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ver Fig. 2.2 e 2.3).

As soluções do primeiro tipo consistem na fixação directamente à parede de uma camada de isolamento térmico e na execução de um revestimento independente exterior de elementos descontínuos (como por exemplo placas de pedra) fixado à parede através de uma estrutura de suporte (metálica ou de madeira) que protege o isolamento térmico da chuva. Entre o isolamento e o revestimento deixa-se um espaço de ar fortemente ventilado.

Fig. 2.1 - Revestimento independente descontínuo com interposição de isolante térmico na caixa de ar [4]

As soluções do segundo tipo são conhecidas pela sigla ETICS (External Thermal Insulating Composite Systems). Este sistema é fixado por colagem, mecanicamente ou das duas maneiras e recebe posteriormente revestimento exterior contínuo armado. Existem dois tipos de ETICS que se distinguem pela espessura do revestimento exterior. Nos sistemas de revestimento espesso utilizam-se normalmente placas de lã mineral ou de poliestireno expandido moldado e revestimento de ligante mineral armado com rede metálica ou fibra de vidro protegida contra a acção da álcalis do cimento.

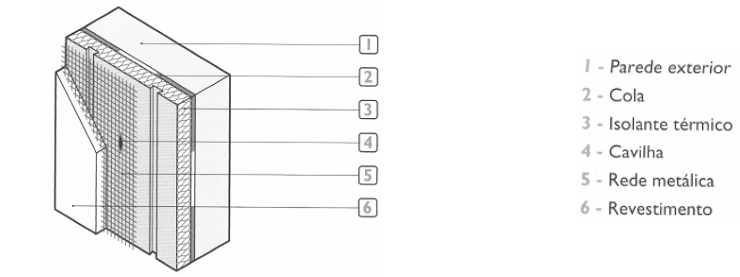


Fig. 2.2 - Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento espesso [4]

Nos sistemas de revestimento delgado utilizam-se principalmente placas de poliestireno expandido moldado e revestimento de ligante sintético ou misto armado com rede de fibra de vidro protegida contra a acção da alcális do cimento. Em zonas de acesso ao público convém reforçar com outra rede do mesmo material para aumentar a resistência ao choque.

Fig. 2.3 - Sistema de isolamento compósito exterior com revestimento delgado [4]

A solução de revestimentos isolantes (ver Fig. 2.4) consiste em argamassas que incorporam grânulos de isolante térmico (como por exemplo poliestireno expandido), o que permite reduzir a sua condutibilidade térmica. Como o reboco isolante tem reduzida espessura, são necessárias medidas complementares para aumentar a resistência térmica da parede.

Fig. 2.4 – Exemplo de revestimento isolante [5]

Em termos de reforço de isolamento térmico pelo interior, os painéis isolantes fixados contra a parede são constituídos por um material isolante térmico e por elemento interior que confere resistência mecânica (geralmente placas de gesso cartonado) e permite a aplicação de revestimentos superficiais diversos (como, reboco, pintura ou papel de parede).

Estes painéis podem ser colados ao paramento interior da parede (sistema directo – ver Fig. 2.5), ser fixados à parede através de uma estrutura que permite a existência de uma caixa de ar (sistema semi-directo – ver Fig. 2.6) ou ser fixados mecanicamente ao tecto e pavimento por uma estrutura metálica, sendo o espaço de ar existente entre a parede de base e o elemento de revestimento preenchido total ou parcialmente pelo material isolante térmico (sistema autoportante – ver Fig. 2.7) [6].

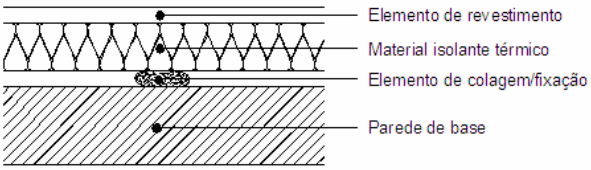


Fig. 2.5 – Sistema directo de isolamento térmico pelo interior

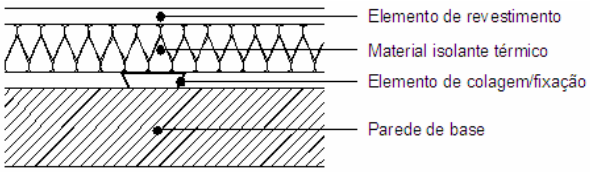


Fig. 2.6 – Sistema semi-directo de isolamento térmico pelo interior

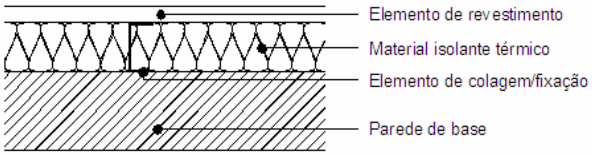


Fig. 2.7 – Sistema autoportante de isolamento térmico pelo interior

Devido aos impedimentos à modificação de fachadas em edifícios das zonas históricas das cidades, o reforço do isolamento térmico pelo interior acaba por ser a solução possível. As vantagens e desvantagens desta solução em relação à de reforço do isolamento pelo exterior estão descritas na bibliografia da especialidade.

Os Quadros 2.2 e 2.3 descrevem, respectivamente, as principais vantagens e desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior. Os Quadros 2.4 e 2.5 descrevem, respectivamente, as principais vantagens e desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior.

Quadro 2.2 – Principais vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior [6]

Factor	Desempenho
Aplicação e Durabilidade	Aplicação e desempenho futuro não afectados pelas condições climatéricas exteriores.
Reabilitação térmica	Possibilidade da manutenção da identidade arquitectónica da fachada, bem como de uma intervenção individualizada num ou mais fogos de um edifício residencial colectivo.
Custo	Solução construtiva pouco dispendiosa nas vertentes matéria-prima e execução (não necessita de recorrer a andaimes para a sua aplicação) – em média cerca de metade do custo da solução de isolamento térmico pelo exterior.
Aquecimento	Eventual menor dispêndio de energia no aquecimento interior em regimes do tipo descontínuo (típicos no segmento residencial em Portugal).
Instalações	Permite em alguns tipos de soluções a integração de tubagens sem deterioração do pano de parede (o que acontece na generalidade das soluções tradicionais em alvenaria dupla ou em alvenaria simples com isolamento térmico pelo exterior).
Isolamento sonoro	O isolamento sonoro entre compartimentos poderá ser melhorado (dependendo do tipo de sistema) pela diminuição da transmissão sonora por via marginal, para além do incremento do isolamento a ruídos aéreos provenientes do exterior garantido pela fachada (sobretudo nos casos de não existirem vãos envidraçados)
Comportamento ao fogo	Quando combinados com determinados elementos de revestimento (ex.: gesso cartonado) permitem aumentar significativamente a resistência ao fogo, podendo ser, por exemplo, utilizados para a protecção ao fogo de estruturas metálicas.

Quadro 2.3 – Principais desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior [6]

Factor	Desempenho
Pontes Térmicas	Potenciador de situações de ponte térmica em diversas configurações construtivas, obrigando a adoptar disposições específicas de correcção.
Variações de Temperatura	Parede exterior mais susceptível a solicitações de natureza térmica decorrentes sobretudo da variação da radiação solar (incluindo o fenómeno do choque térmico).
Estanquidade	Parede exterior mais susceptível à acção da água de precipitação.
Inércia Térmica	A inércia térmica é reduzida em consequência da inutilização da parede exterior como massa de armazenamento térmico
Reabilitação Térmica	Implica o abandono dos habitantes do interior do edifício. Poderá não permitir a manutenção de ornamentos interiores em edifícios antigos.
Área Útil	Em operações de reabilitação verifica-se uma perda de área útil interior que, embora possa ser considerada reduzida, acarreta sempre uma diminuição do valor do imóvel.
Condensações Internas	Maior risco de ocorrência de condensações na interface entre o material isolante térmico e o pano exterior de parede face às demais soluções de isolamento, implicando a eventual utilização de uma barreira pára-vapor na face quente (interior) do material isolante.

Quadro 2.4 – Principais vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior [6]

Factor	Desempenho
Pontes Térmicas	A probabilidade de ocorrência de pontes térmicas fica praticamente limitada à ligação fachada/vãos envidraçados e à existência de varandas.
Solicitações Parede Suporte	Maior protecção da envolvente exterior face às solicitações climáticas exteriores.
Inércia Térmica	Incremento da inércia térmica (interior) com eventuais benefícios em termos de conforto interior e eficiência energética, sobretudo para regimes de aquecimento contínuo e com ganhos solares significativos.
Reabilitação Térmica	Sem necessidade de abandono dos habitantes do interior do edifício.
Reabilitação Estética	Conjugação da reabilitação do desempenho térmico da fachada com a sua melhoria estética, permitindo a correcção de possíveis patologias existentes.
Área Útil	Em situações de reabilitação é garantida a manutenção da área útil interior.
Estanquidade	Contribui para a estanquidade global da parede exterior à acção da água de precipitação.

Quadro 2.5 – Principais desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior [6]

Factor	Desempenho
Custo	Custo unitário em média superior ao sistema de isolamento térmico pelo interior, podendo aumentar substancialmente com a pormenorização adequada do sistema.
Aplicação	Técnica de execução delicada, efectuada normalmente por equipas especializadas e com condições climáticas apropriadas.
Sistemas de Fixação	A durabilidade e desempenho dos sistemas de fixação (excluindo os ETICS) necessitam de ser cuidadosamente avaliadas atendendo à gravidade da eventual queda de um elemento de revestimento exterior
Resistência ao Choque	A generalidade dos sistemas possui uma resistência ao choque reduzida (particularmente os ETICS), requerendo disposições construtivas específicas para a sua utilização ao nível dos pisos inferiores, susceptíveis de actos de vandalismo.
Inércia Térmica	Uma inércia térmica (interior) elevada pode revelar-se como um factor prejudicial para edifícios com sistema de aquecimento intermitente.
Condensações Internas	Risco de ocorrência de condensações internas na interface do material isolante térmico com a camada exterior, que poderão estar relacionadas com o desenvolvimento de fungos e algas que originam manchas nos primeiros anos após a aplicação do sistema.

2.2.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS

A reabilitação térmica de vãos envidraçados tem que contemplar duas vertentes: o reforço do isolamento térmico e redução das infiltrações de ar não controladas através das juntas de caixilharia (permitindo assim melhorar o desempenho na estação fria) e o reforço da protecção contra ganhos solares na estação quente, através da instalação de dispositivos de sombreamento.

As principais medidas de reabilitação dos vãos envidraçados são:

- Reforçar o isolamento térmico, reduzindo as trocas de calor devido à diferença entre a temperatura exterior e interior (redução do coeficiente de transmissão térmica global dos vãos);
- Reduzir a permeabilidade ao ar da caixilharia de modo a minimizar as perdas de calor e o desconforto associado às correntes de ar;
- Dotar a caixilharia de mecanismos que permitam a ventilação interior;
- Controlar os ganhos solares (factor solar - g), permitindo a admissão de radiação na estação de aquecimento e limitando-a nos meses de arrefecimento através da instalação de dispositivos de sombreamento ou através da instalação de envidraçados com características de controlo solar.

O reforço do isolamento térmico dos vãos pode ser conseguido através das seguintes medidas que se apresentam por ordem de eficácia decrescente:

- Substituição total dos componentes por outros com melhor desempenho térmico (por exemplo, aplicação de caixilharia com corte térmico associada a vidros duplos);
- Substituição dos envidraçados por outros com elevado desempenho térmico (por exemplo, vidros de baixa emissividade em unidades envidraçadas múltiplas);

- Criação de janelas duplas por adição de um segundo caixilho;
- Substituição de vidros simples por duplos.

É recomendável a aplicação de protecções solares permitindo a oclusão. Em edifícios de habitação (ou seja, com ocupação nocturna importante), é conveniente a utilização de dispositivos para oclusão nocturna com características de baixa permeabilidade ao ar quando fechadas, criando um espaço de ar fracamente ventilado entre o dispositivo e a janela, diminuindo assim as perdas térmicas pelos vãos durante a noite. Também é conveniente o isolamento térmico das caixas de estores.

A diminuição de infiltrações de ar não controladas através das juntas é possível através da substituição da caixilharia por outra com melhor desempenho (o que se justifica quando esta se encontre bastante degradada) ou através das seguintes medidas:

- Afinação dos caixilhos;
- Interposição de perfis vedantes nas juntas móveis;
- Substituição de materiais de vedação envelhecidos das juntas vidro-caixilho.

É importante referir que em paralelo com a redução de permeabilidade dos vãos é necessário ter em consideração as condições de ventilação da habitação (assegurar taxa de renovação de ar) por questões de qualidade do ar interior dos compartimentos e para haver correcta ventilação de espaços com equipamentos de combustão.

Para tal, devem ser executadas aberturas para admissão de ar nas paredes de fachada em locais onde não haja prejuízo de conforto interior, permitindo assim a entrada controlada de ar fresco (ver Fig. 2.8).

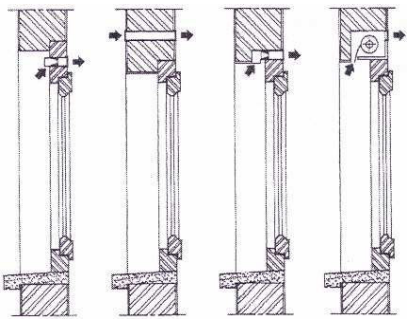


Fig. 2.8 – Posições mais aconselháveis para aberturas de admissão de ar em paredes de fachada [3]

O controlo dos ganhos solares é uma questão fundamental em termos de eficiência energética e conforto interior tanto na estação de aquecimento como na estação de arrefecimento. Em termos de reabilitação energética, os ganhos solares podem ser controlados através das seguintes medidas:

- Alteração da área das aberturas envidraçadas (pouco aconselhável devido ao nível de intervenção necessário);
- Controlo das propriedades solares-ópticas dos envidraçados: transmitância luminosa, factor solar (g – representa o quociente entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar incidente na direcção normal ao envidraçado) ou o índice de selectividade espectral (ISE- quociente entre a transmitância luminosa e o factor solar).

- Utilização de dispositivos de sombreamento, preferencialmente pelo exterior.

Em termos de melhoria do isolamento térmico, a melhor solução de reabilitação é a substituição de vidros simples por unidades envidraçadas múltiplas (por exemplo, vidros duplos). No entanto, para reduzir os ganhos solares é necessário implementar outras soluções como a utilização de vidros de baixo factor solar e baixas transmitâncias solares. A utilização de vidros de baixa transmitância luminosa prejudica a iluminação natural interior pelo que é necessário um estudo cuidado das soluções.

Quanto às protecções solares, o tipo e grau de sombreamento vão depender da latitude do local de sombreamento, da orientação do vão e das suas dimensões. Em edifícios antigos é frequente o recurso a portadas interiores de madeira.

Sendo o objectivo a compatibilização do isolamento térmico e o controlo de ganhos solares na estação de arrefecimento, torna-se eficaz a utilização de envidraçados múltiplos associados a vidros com baixo factor solar e elevada transmitância luminosa e a dispositivos de protecção solar exterior.

Como complemento às obras de reabilitação, os utilizadores das habitações devem ser informados de medidas a adoptar no dia-a-dia que possibilitam um bom desempenho térmico das habitações tais como proceder à abertura de janelas para ventilação em períodos convenientes (períodos de temperatura exterior inferior à interior na estação de arrefecimento e o contrário na estação de aquecimento) ou proceder à oclusão dos dispositivos de protecção nos períodos nocturnos da estação de aquecimento ou em alturas de ganhos solares excessivos (por razões culturais, em Portugal, de um modo geral, os utentes activam os mecanismos de protecção à noite para obter maior privacidade).

2.2.4. COBERTURAS

As grandes opções necessárias para o reforço de isolamento térmico em coberturas referem-se à posição do isolamento. Em coberturas inclinadas é também necessário distinguir desvão habitável de desvão não-habitável.

Se o desvão for habitável o isolamento térmico deve ser aplicado nas vertentes em posição superior (sobre as madres) ou em posição inferior (sob as varas - ver Fig. 2.9). Quando o isolante é colocado sob coberturas descontínuas é necessário prever uma protecção superior em relação à água das chuvas que não crie uma barreira pára-vapor que origine condensações internas no isolamento (por exemplo, colocação de membranas microperfuradas na face exterior do isolamento ou colocação de membranas de material plástico em ambas as faces do isolamento).

Se o desvão não for habitável deve ser assegurada forte ventilação e o isolamento deve ser aplicado na esteira do tecto em posição superior (ver Fig. 2.10) ou inferior, evitando-se assim a necessidade de aquecer o desvão na estação de aquecimento e havendo um melhor desempenho na estação de arrefecimento devido à forte ventilação do desvão. A solução de isolamento sobre a esteira é preferível em relação à solução de colocação sob a esteira por esta não proteger a estrutura das variações térmicas e por ficar o isolamento mais vulnerável em relação a condensações.

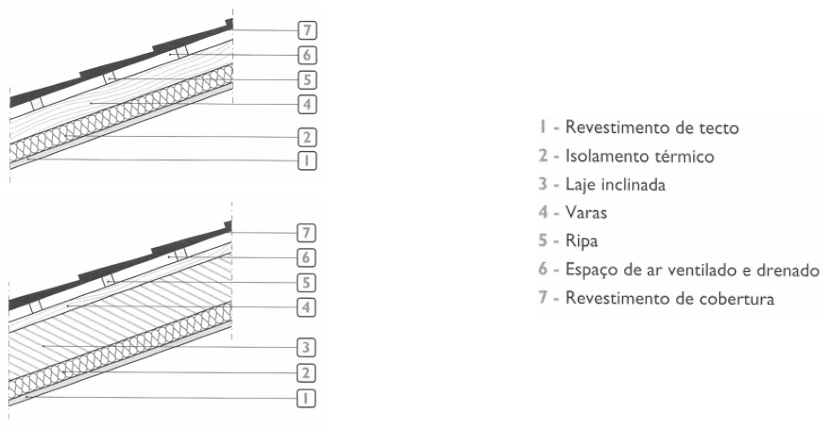


Fig. 2.9 – Cobertura inclinada com desvão habitável: isolamento térmico nas vertentes [4]

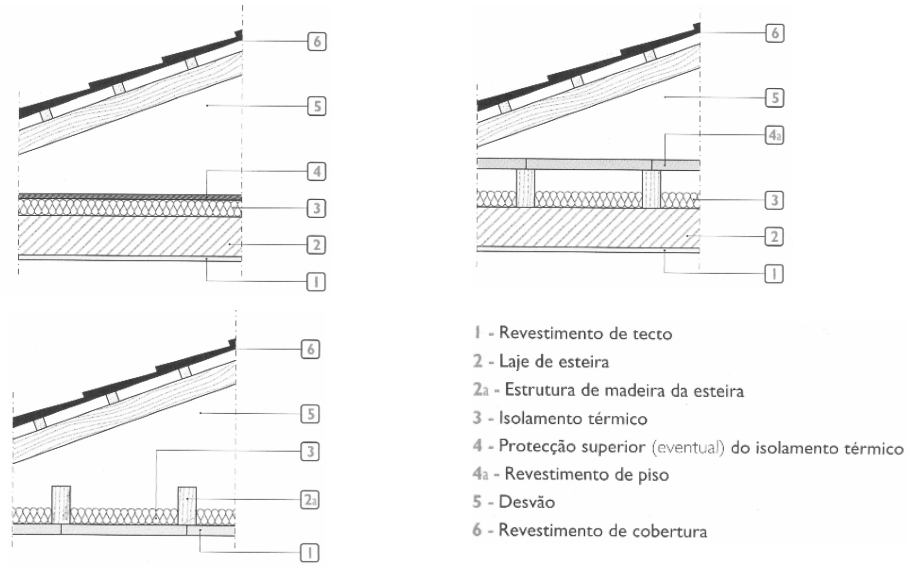


Fig. 2.10 – Cobertura inclinada com desvão não-habitável: isolamento térmico na esteira horizontal [4]

Se a cobertura for em terraço, o isolamento térmico pode ser superior, intermédio ou inferior. A solução mais conveniente é a superior, com isolamento sobre a camada de forma, de preferência sobre a camada de impermeabilização, protegendo-a de grandes variações térmicas que a danificam. Esta solução é designada de cobertura invertida (ver Fig. 2.11) e exige que o isolamento seja coberto com uma protecção pesada (por exemplo, inertes) para o fixarem e protegerem da radiação ultravioleta. Esta solução também tem óbvias vantagens em obras de reabilitação em que a camada de impermeabilização ainda esteja em bom estado, sendo possível a aplicação do isolamento (por exemplo, placas de poliestireno expandido extrudido - XPS) com mínima intervenção na cobertura.

Fig. 2.11 – Cobertura horizontal: cobertura "invertida" [4]

2.2.5. PAVIMENTOS

As grandes opções de reforço do isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores ou não-aquecidos referem-se, tal como no caso das coberturas, à posição do isolamento. Este pode ser inferior (ver Fig. 2.12), intermédio (apenas em caso de pavimentos com vazios) ou superior (ver Fig. 2.13).

As soluções de isolamento térmico inferior são mais eficientes (por estarem no lado exterior aproveitam a inércia térmica) e de mais fácil e rápida aplicação. As soluções de isolamento superior têm o inconveniente de reduzir o pé-direito.

O Quadro 2.6 sintetiza diferentes soluções de isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores ou não-aquecidos.

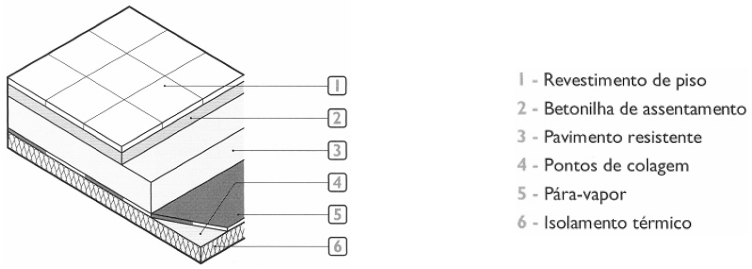


Fig. 2.12 – Pavimento sobre espaço exterior ou não-aquecido: isolamento térmico inferior [4]

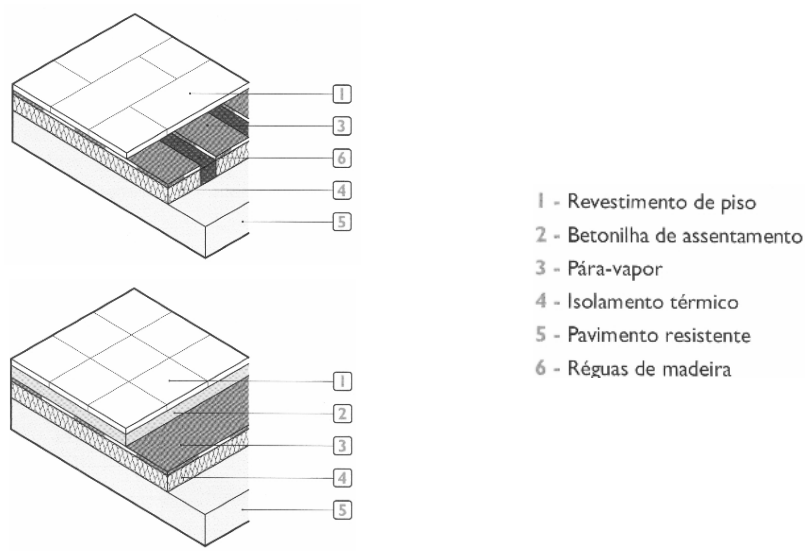


Fig. 2.13 – Pavimento sobre espaço exterior ou não-aquecido: isolamento térmico superior [4]

Quadro 2.6 – Soluções de reforço do isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores ou não-aquecidos [4]

Localização do isolante térmico	Tipos de soluções	
Inferior	Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre isolante (ETICS)	Revestimentos espessos de ligantes minerais, armados (rebocos armados), sobre isolante
		Revestimentos delgados de ligantes sintéticos, ou mistos, armados, sobre isolante
	Revestimentos isolantes	Revestimentos isolantes pré-fabricados isolantes descontínuos
		Rebocos isolantes
		Revestimentos de espuma isolante projectada
	Tectos-falsos	Tectos-falsos isolantes
		Tectos-falsos suportando uma camada de isolante térmico
Superior	Camada isolante de betão leve entre o pavimento resistente e o revestimento de piso	
	Camada de isolante térmico entre o pavimento resistente e um piso flutuante	
Intermédio	Preenchimento dos vazios entre vigotas de pavimentos de madeira com um isolante térmico (mantas de lã mineral ou isolante a granel)	

2.2.6. MATERIAIS ISOLANTES TÉRMICOS

A Directiva 89/106/CEE, Directiva do Conselho de 21 de Dezembro de 1988 relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-membros no que respeita aos produtos de construção, modificada pela directiva 93/68/CE publicada no JO L 220 de 30/08/93, deu origem à criação de diversas normas europeias referentes aos materiais isolantes térmicos que precisam as características e classes de desempenho a definir pelos seus fabricantes, sendo o seu conhecimento obrigatório no espaço europeu para integração do material numa obra.

Estas características são a resistência térmica (R), o coeficiente de condutibilidade térmica (λ) e a classe de reacção ao fogo.

No entanto, esta definição pode ser mais abrangente, referindo-se a certificação ACERMI ("Association pour la Certification des Matériaux Isolants") que permite uma melhor selecção exigencial de isolantes térmicos e minimiza a possibilidade de utilização de produtos mal adaptados às soluções e que podem gerar patologias.

O Quadro 2.7 apresenta as exigências de desempenho que os materiais isolantes térmicos devem ter definidas segundo a certificação ACERMI. Quanto maior o valor atribuído a uma exigência, melhor o desempenho desse material nesse aspecto.

Quadro 2.7 – Exigências constantes na certificação ACERMI [7]

Exigência de desempenho	Símbolo	Níveis
Resistência térmica	R	-
Compressibilidade	I	1 a 5
Estabilidade dimensional	S	1 a 4
Comportamento à água	O	1 a 3
Comportamento mecânico	L	1 a 4
Permeabilidade ao vapor de água	E	1 a 5

Para que o desempenho de um edifício corresponda às exigências é necessária a compatibilização através da caracterização tecnológica e pormenorização. Como os elementos da envolvente podem ser tipificados (ver como exemplo a tipificação da certificação ACERMI [7]), definindo o nível de qualidade desejado podemos determinar a melhor solução de isolante térmico.

Freitas e Pinto [8] adaptaram para a realidade portuguesa esta metodologia de selecção exigencial de isolantes térmicos com o objectivo de disponibilizar aos projectistas ferramentas para a realização de cadernos de encargos exigenciais, ou seja, cadernos de encargos em que não é descrito o produto preconizado mas sim as exigências que este tem que satisfazer.

Actualmente existe no mercado uma grande variedade de isolantes térmicos de partes opacas que têm diferentes formas de aplicação e podem ser classificados quanto ao modo de produção, estrutura, apresentação ou natureza das matérias primas. Estes são identificados por diferentes siglas:

- EPS – Poliestireno expandido moldado;
- XPS – Poliestireno expandido extrudido;

- PUR – Espuma rígida de poliuretano;
- MW – Lã mineral (lã de rocha ou lã de vidro);
- ICB – Aglomerado de cortiça expandida;
- VA – Vermiculite expandida (em grânulos);
- LWA – Argila expandida (em grânulos);
- UF – Espuma de ureia-formaldeído.

2.3. EVOLUÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO ACÚSTICA EM EDIFÍCIOS

A qualidade do ambiente que nos rodeia está directamente relacionada com o ruído. O aumento dos níveis sonoros nos centros urbanos e locais de trabalho inerente ao desenvolvimento da nossa sociedade, motivou o aparecimento em Portugal de um conjunto de leis que visam a redução do desconforto e prejuízos para a saúde e bem-estar das populações.

No entanto, pode-se dizer que a regulamentação acústica em Portugal teve como grande mote a introdução do conceito de poluição sonora feita pela Lei de Bases do Ambiente (Decreto-Lei n.º 11/87, de 7 de Abril), quando Portugal já pertencia à CEE.

Tornou-se necessário criar um regulamento que desse resposta a esse problema, aparecendo assim o Decreto-Lei n.º 251/87, de 24 de Junho, que aprovou o Regulamento Geral sobre o Ruído (RGR). O RGR reuniu legislação dispersa sobre o ruído e, no que se refere a edifícios de habitação, estabeleceu requisitos técnico-funcionais mínimos a observar nos processos de licenciamento relativos ao isolamento sonoro dos edifícios quer a sons de condução aérea das fachadas, quer a sons de condução aérea e percussão com origem em fogos contíguos. Classificou os locais para implantação de edifícios de acordo com os valores de nível sonoro produzido e proibiu a implantação de zonas residenciais ou edifícios escolares e hospitalares em certos locais (mas admitindo excepções). Sofreu, entretanto, algumas alterações e foi revisto pela primeira vez pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro, que alargou o seu âmbito de aplicação, criou articulação com outras leis, reforçou a actuação preventiva, adoptou figuras de planeamento específicas, regulou as actividades temporárias geradoras de ruído e do ruído de vizinhança, aperfeiçoou o regime sancionatório e a previsão de medidas cautelares. Novamente foi alterado pelo Decreto-Lei n.º 76/2002, de 26 de Março (Regulamento das Emissões Sonoras para o Ambiente do Equipamento para Utilização no Exterior) que transpõe a Directiva 2000/14/CE e pelo Decreto-Lei n.º 259/2002, de 23 de Novembro, que teve por objectivo esclarecer e definir competências na área do ruído.

O Decreto-Lei n.º 129/2002, de 11 de Maio, aprova o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). 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 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" [9].

O Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho, transpõe para ordem jurídica interna a Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, que explicita a obrigatoriedade de apresentação à Comissão Europeia de mapas de ruído e de planos de acção, estabelecendo os parâmetros a considerar na avaliação bem como os requisitos para os mapas de ruído.

O mapa de ruído é um descritor dos níveis de exposição a ruído ambiente exterior, traçado em documento em que se representem as áreas e os contornos das zonas de ruído, às quais corresponde uma determinada classe de valores expressos em dB(A) [10].

O actual RGR foi revisto pelo Decreto-Lei n.º 09/2007, de 17 de Janeiro, que trouxe uma maior articulação com o regime jurídico da urbanização e edificação e com o de autorização e licenciamento de actividades.

Definem-se na estrutura de planeamento territorial dois tipos distintos de zonas (sensíveis ou mistas) a partir das quais o RGR distingue o grau de exigência do seu articulado e cuja classificação é da competência das câmaras municipais que as devem delimitar nos respectivos planos de ordenamento do território. Torna-se portanto de grande importância a elaboração de mapas de ruído para apoio à elaboração destes planos.

2.4. MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

2.4.1. INTRODUÇÃO

O ruído é um importante problema ambiental para o ser humano podendo, para lá da análise de conforto ambiente, ter sérias consequências na saúde. Por outro lado, torna-se num potenciador de conflitos na sociedade. Assim, é importante que esta evolua no sentido de se proteger, reduzindo o ruído na fonte emissora e implementando medidas de isolamento sonoro no local de recepção, tornando-se mais do que justificável a necessidade de reabilitação acústica dos espaços de forma independente ou integrada num processo global de reabilitação.

O isolamento acústico pressupõe a existência de dois espaços: o espaço onde se situa a fonte sonora e o espaço de recepção onde se pretende que estes sons apresentem níveis tão baixos quanto possível.

Os trabalhos de reabilitação acústica devem ser precedidos, sempre que possível, por um "diagnóstico" da situação que pode passar pelo levantamento dos espaços e materiais, medições ou modelação analítica. O desempenho acústico de um edifício deve ser analisado ao nível de transmissão aérea de sons (exteriores e interiores), de transmissão de sons de percussão e em relação à produção de ruído por equipamentos (ver Fig. 2.14).

As principais fontes sonoras exteriores em meio urbano são o tráfego automóvel, ferroviário e aéreo e as actividades laborais e/ou lúdicas.

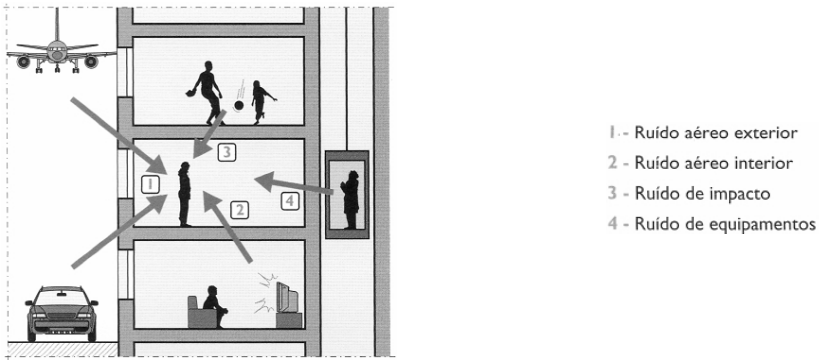


Fig. 2.14 – Tipos de fontes de ruído mais comuns em espaços habitacionais [4]

As principais fontes de ruído interior (ao edifício) são os equipamentos mecânicos e a vizinhança (nos quais se podem incluir o ruído proveniente de outras habitações ou de locais como cafés, restaurantes, discotecas ou estacionamentos). A atenuação da transmissão de ruído entre habitações é dos aspectos mais importantes em reabilitação acústica, sendo os elementos de separação horizontal aqueles que costumam apresentar maior fragilidade.

A maioria dos edifícios antigos a reabilitar não possui equipamentos colectivos (por exemplo, elevador), sendo no entanto necessário verificar as exigências de conforto acústico caso as obras de reabilitação incluam a instalação desses equipamentos.

2.4.2. ISOLAMENTO DE FACHADAS A SONS AÉREOS

Em relação à transmissão aérea de sons provenientes do exterior, como as fachadas de edifícios antigos costumam ser bastante espessas, os problemas acústicos geralmente verificam-se no fraco isolamento dos vãos (geralmente caixilharia de madeira com vidro simples).

Para saber os requisitos mínimos de isolamento das fachadas é necessário saber qual a classificação da zona no Plano Director Municipal e eventual Mapa de Ruído (se a zona não estiver definida deve ser considerada a mais exigente – zona mista) ou caracterizar o ambiente local através de campanhas de medição.

Como refere Martins da Silva [11], "a transmissão sonora através de uma divisória é um fenómeno complexo em que se faz sentir a influência das características elasto-dinâmicas do elemento, a forma como se encontra inserido na estrutura de que faz parte e as características dos campos sonoros estabelecidos". No entanto, para aplicação do regulamento em fase de projecto, é necessário trabalhar com modelos simplificados.

O isolamento a sons aéreos é a diminuição de energia das ondas sonoras ao atravessar um elemento. Sabendo o isolamento existente é possível estimar as correcções necessárias. O parâmetro caracterizador do isolamento sonoro a ruídos aéreos de um elemento (medido em laboratório) é a Redução Sonora, R_w em decibel (dB).

As fachadas são geralmente constituídas por dois tipos de compartimentação: a opaca (mais rígida) e a não opaca (aligeirada). Os elementos de compartimentação podem também ser classificados como simples ou duplos.

As divisórias simples são as em que, independentemente da sua constituição, ao serem solicitadas por um campo sonoro, o estado de vibração em qualquer plano paralelo aos paramentos é, em amplitude e fase, coincidente com o destes paramentos [11]. O comportamento de um divisória deste tipo depende da sua massa, rigidez e dimensões, tendo estas características diferente importância consoante a gama de frequências (ver Fig. 2.15).

O mesmo autor refere que, para a maioria das divisórias as frequências de ressonância situam-se abaixo do limite inferior da banda com interesse em acústica dos edifícios, não sendo o fenómeno relevante excepto em alguns painéis muito finos (como envidraçados).

O efeito de coincidência é mais prejudicial (em termos de isolamento sonoro) para a frequência crítica (aquela em que a velocidade de propagação de vibrações é igual à velocidade de propagação do som no ar).

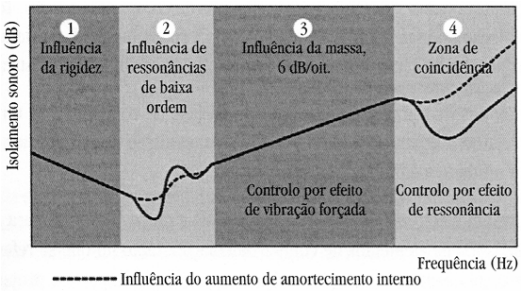


Fig. 2.15 – Influência do aumento de amortecimento interno [10]

A definição de divisória dupla consiste em duas divisórias simples separadas por um elemento intermédio (ar, elemento elástico com amortecimento ou elemento rígido), que em função da gama de frequências têm comportamentos distintos [11]:

- Em frequências inferiores à frequência de ressonância comporta-se como uma divisória simples com a mesma massa (camada de ar entre panos comporta-se como elemento rígido);
- Para frequências pouco superiores à situação anterior, o isolamento a sons aéreos pode aumentar cerca de 12 dB por oitava (podem ocorrer reduções localizadas devido a ressonâncias na cavidade entre os dois panos, o que também pode ser reduzido através do enchimento total ou parcial da cavidade com material absorvente sonoro);
- Em frequências elevadas podem ocorrer efeitos de coincidência e ressonância (o efeito de coincidência pode ser atenuado através da aplicação de panos de diferente espessura ou constituição).

Assim, podem ser enumerados alguns princípios que estas divisórias devem respeitar [11]:

- A frequência de ressonância do sistema de duas massas ligadas elasticamente pela camada de ar entre os panos deve ser o mais baixa possível, de preferência inferior a 100 Hz;
- As frequências críticas dos panos devem ser diferentes entre si e localizar-se acima dos 200 Hz;
- Devem ser tomadas disposições convenientes para atenuar os efeitos de ressonância da cavidade entre os panos, que não devem ter entre si ligações rígidas.

O parâmetro regulamentar que quantifica o isolamento sonoro de paredes exteriores é $D_{2m,n,w}$ e caracteriza uma medição "in situ" em que o microfone é colocado à distância de 2m da fachada como ilustra a Fig. 2.18. O termo *n* refere-se à normalização do índice para a área de absorção sonora equivalente de referência e o termo *w* refere-se à tradução num único índice.

No entanto, em fase de projecto, $D_{2m,n,w}$ deve ser caracterizado por um índice que traduza o comportamento da solução construtiva da fachada, estimado de acordo com técnica de modelação fiável.

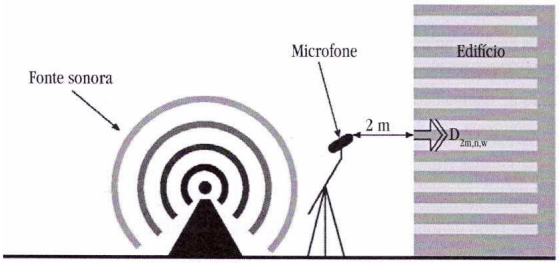


Fig. 2.18 – Determinação do parâmetro $D_{2m,n,w}$ [10]

As estratégias consideradas pela literatura da especialidade como mais eficazes para aumentar o isolamento a sons de condução aérea são: a duplicação dos elementos de separação (como por exemplo duplicar os panos de parede) e o aumento da massa.

Na maioria dos casos torna-se mais vantajoso, do ponto de vista acústico, optar por elementos duplos que, embora apresentem massa superficial total inferior, podem levar a valores de isolamento mais elevados. Segundo Oliveira de Carvalho [12], conforme o afastamento entre os elementos construtivos da parede dupla, é possível obter valores de isolamento sonoro entre +6 dB (se os elementos forem iguais e a massa for duplicada sem caixa de ar) e a soma dos R individuais dos dois elementos constituintes (situação limite utópica).

O mesmo autor refere que é boa prática construtiva usar panos de espessuras (ou materiais) diferentes para que as frequências de coincidência de cada caso não se sobreponham, consideração fundamental em elementos leves ou de pequena espessura (como os vidros duplos), em que nunca se deverá ter dois paramentos com espessuras iguais.

A colocação de material absorvente sonoro na caixa de ar também contribui para o aumento do isolamento sonoro mas não deve ser colocado a unir os dois panos. Por outro lado, em paredes duplas de constituição bastante pesada (como pode ser o caso das paredes de edifícios antigos às quais se associa placas de gesso cartonado), perde-se o benefício uma vez que a transmissão marginal é mais significativa.

2.4.3. ISOLAMENTO A SONS DE TRANSMISSÃO AÉREA COM ORIGEM NOUTROS FOGOS

Os ruídos interiores devem-se fundamentalmente aos ocupantes do edifício, sendo os compartimentos adjacentes à fonte sonora os mais afectados pela perturbação (ver Fig. 2.17).

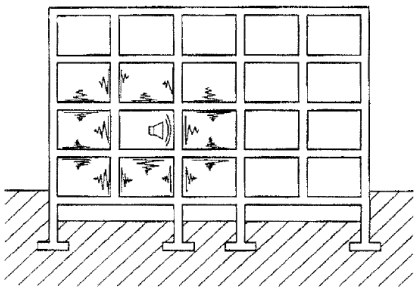


Fig. 2.17 – Influência da transmissão aérea de sons interiores [13]

Na reabilitação acústica, como já foi referido, é necessário caracterizar a situação existente (transmissão através de compartimentação vertical e horizontal) e verificar a necessidade de reforço de isolamento para a verificação dos requisitos regulamentares. Também se deve ter em conta o efeito de transmissão marginal (contornamento do elemento de compartimentação através de outros elementos como, por exemplo, envidraçados). Para compartimentação nova é necessário estudar o seu desempenho através de modelação fiável.

Em edifícios a reabilitar, na maioria dos casos, os elementos mais "frágeis" em relação à transmissão de sons são os pavimentos (normalmente de madeira, com soalho assente sobre vigas resistentes também de madeira). A correcção em relação a sons de condução aérea passa pela duplicação do elemento horizontal, o que pode ser conseguido pela construção de um tecto falso com reduzida permeabilidade ao ar associado à utilização de material absorvente sonoro no tardoz (ver Fig. 2.18).

As paredes interiores de separação de fogos adjacentes e zonas comuns costumam ter melhor desempenho acústico que os pavimentos mas, por vezes encontram-se degradadas a um ponto que não lhes permite isolar conveniente. Uma solução possível de correcção passa pela criação de uma divisória dupla através da adição de um pano (de diferente massa e natureza) e de material absorvente na caixa de ar (que reduz a frequência de ressonância e minimiza até cerca de 4 dB o efeito da ressonância de cavidade). Esta solução traz o inconveniente de reduzir o pé-direito mas é a que implica menor intervenção.

É de referir que muitas vezes há ocupação do piso térreo com espaços comerciais ou de diversão que potenciam actividades ruidosas. Esta ocupação é desaconselhada junto a edifícios de habitação. Nestes casos é difícil prever o isolamento necessário dos compartimentos adjacentes.

Fig. 2.18 – Tecto falso com material absorvente sonoro [4]

2.4.4. ISOLAMENTO A SONS DE PERCUSSÃO

Os sons de percussão devem-se à transmissão de energia sonora originada por acções de choque contra um elemento de compartimentação (ver Fig. 2.19), tais como a deslocação de pessoas ou a queda de objectos. Estes sons podem propagar-se através de toda a malha estrutural do edifício, tornando-se mais incomodativos na totalidade do edifício que os sons de condução aérea. Os pavimentos são as divisórias mais solicitadas, sendo o compartimento subjacente ao pavimento excitado o que irá ter o campo sonoro mais intenso. Como já foi referido, em edifícios antigos são comuns os pisos de madeira, com soalho assente sobre vigas resistentes também de madeira.

As exigências regulamentares de conforto acústico actuais apenas podem ser satisfeitas com recurso a sistemas de atenuação da transmissão de sons de percussão. Os principais sistemas atenuadores são os revestimentos de piso resilientes (por exemplo, alcatifa) e os revestimentos de piso flutuante sobre apoios resilientes, desligado dos elementos verticais da envolvente.

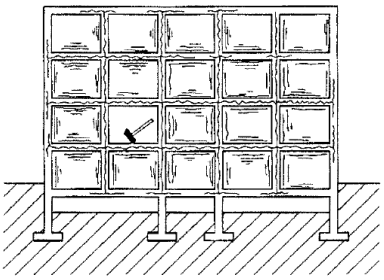


Fig. 2.19 – Influência da transmissão dos sons de percussão [13]

Os sistemas que resultam da aplicação de revestimentos de piso resilientes reduzem a transmissão de sons de percussão por aumentarem o tempo de impacto da acção de percussão devido às suas características elásticas. Este aumento pode ser analisado através da Fig. 2.20, que traduz a comparação entre a percussão num piso rígido de betão e a num revestimento de piso resiliente. No entanto, estes revestimentos são ineficientes para o incremento do isolamento a sons aéreos.

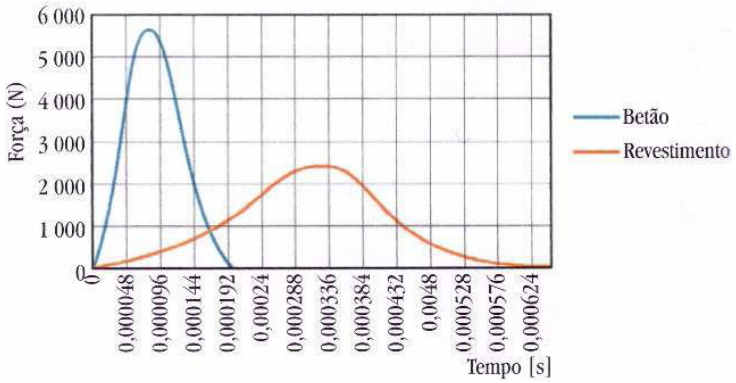


Fig. 2.20 – Comparação entre as descrições de uma acção de percussão numa superfície rígida (betão) e num revestimento de piso resiliente [10]

Quanto aos pisos flutuantes, estes sistemas são constituídos por uma lajeta flutuante colocada sobre uma camada resiliente (ver Fig. 2.21) e reduzem a transmissão de sons de percussão por uma lógica de agrupamento de massa/mola que leva a uma redistribuição da força aplicada, diminuindo a amplitude de altas frequências provocada pela força. Este sistema também contribui para o incremento do isolamento a sons aéreos pois o elemento flutuante apresenta elevada massa superficial (como, por exemplo, lajeta de betão armado com pelo menos 4 cm de espessura).

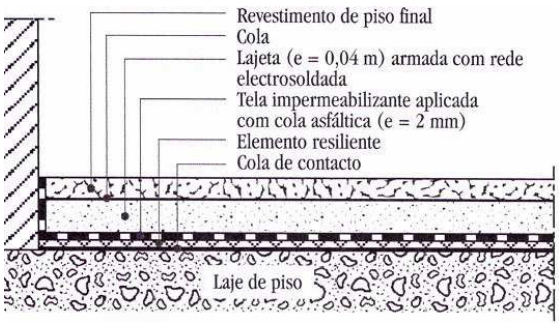


Fig. 2.21 – Exemplo de aplicação de um sistema de pavimento flutuante [13]

2.4.5. ENVIDRAÇADOS

Os envidraçados são os elementos mais complexos de uma fachada, visto que têm que satisfazer múltiplas exigências (como isolamento térmico, isolamento sonoro, ventilação ou iluminação natural).

O isolamento conferido por uma janela vai depender da qualidade do sistema, ou seja, da sua estanquidade ao ar e propriedades isolantes dos vidros. No entanto, no caso de existência de frinchas não é relevante a utilização de vidros com boas características isolantes.

Segundo Martins da Silva [11], as frinchas de elementos estáticos devem ser preenchidas com material elástico e absorvente sonoro (lã mineral ou equivalente) e seladas, em ambas as faces, por material resiliente. O Quadro 2.8 apresenta os valores de redução sonora propostos pelo mesmo autor para diferentes situações de envidraçados, no caso de a caixilharia não exceder 30% da área total da janela.

Quadro 2.8 – Redução sonora de diferentes tipos de envidraçado em que área total de peças opacas não excede 30% da área total da abertura [11]

Tipo	Redução Sonora (dB)
Aros e caixilhos de madeira, com espessura de 0,055 m a 0,060 m, elementos metálicos ou de plástico, simples.	$R_w \leq 35$
Aros e caixilhos de madeira, com espessura superior a 0,075 m, elementos metálicos com isolamento térmico.	$35 < R_w \leq 40$
Janelas duplas, com aros de massa elevada.	$40 < R_w \leq 50$
Separação total entre as duas janelas, por forma a evitar propagação de ruído através dos elementos estruturais de apoio	$R_w > 50$

A redução de estanquidade das janelas deve ser acompanhada pelo dimensionamento de dispositivos de ventilação (que garantam o isolamento sonoro). Este dimensionamento deve ter em consideração que o isolamento sonoro diminui à medida que aumenta a abertura na fachada.

O isolamento do vidro depende da espessura, tendo a área menor influência.

A Fig. 2.22 demonstra a melhoria de isolamento conseguida pela utilização de vidro laminado, importante na zona de coincidência.

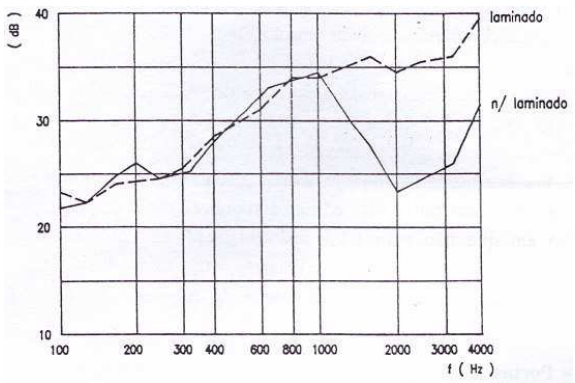


Fig. 2.22 – Comparação dos isolamentos sonoros de vidro laminado e vidro simples com espessura de vidro equivalente (duas lâminas de 3,2 mm de espessura unitária) [11]

Martins da Silva também refere que, do ponto de vista acústico, não se recomenda a utilização do vidro duplo mas sim a duplicação das janelas com caixa de ar entre panos envidraçados.

Para evitar a ocorrência de condensações na caixa de ar entre panos devem existir orifícios de ventilação entre a caixa de ar e o exterior (cerca de 1 mm de diâmetro).

Também deve haver cuidado no tratamento de caixas de estore pois estes elementos reduzem o isolamento sonoro das janelas. Estas devem ser aproveitadas para ventilação, sendo aplicado material absorvente sonoro no interior (ver Fig. 2.23).

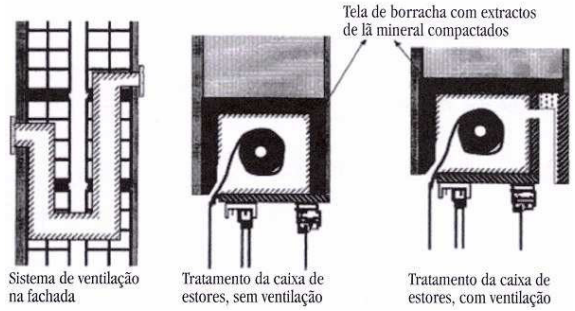


Fig. 2.23 – Soluções de isolamento acústico com ventilação [10]

2.4.6. EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES

O ruído produzido por toda a maquinaria de apoio à utilização do edifício (como elevadores, bombas sobrepressoras ou sistemas de ventilação forçada) pode propagar-se por via aérea ou estrutural.

Para os edifícios já existentes, onde já estejam dispostos os equipamentos que produzem incomodidade, o ruído deve ser medido para se determinar o respectivo nível de avaliação (L_{Ar}).

Nos edifícios novos, devem ser utilizadas medidas de estimação com base no ruído emitido por cada equipamento para prever o ambiente sonoro que deverá ser estabelecido nas zonas dos edifícios com requisitos (quartos e zonas de estar).

Quanto aos equipamentos de carácter colectivo, deve ser estimado o nível de pressão sonora estabelecido no compartimento onde é colocado o equipamento, analisada a propagação do ruído para os locais com interesse e verificado o cumprimento das disposições legais. As excitações mecânicas que os seus apoios exercem sobre a compartimentação deve ser minorada através da utilização de sistemas de apoio anti-vibráticos correctamente dimensionados.

Quanto ao ruído de instalações, os sistemas de abastecimento de água e drenagem de águas residuais devem estar correctamente dimensionados e isolados para que não sejam prejudiciais para o descanso dos utilizadores do edifício.

3

CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE HABITACIONAL A REABILITAR NO CENTRO DO PORTO

3.1. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

A imagem, os materiais e os sistemas construtivos de um aglomerado estão intimamente ligados ao clima e características físicas do território. Em Portugal, pode-se dizer que cada região tem construção tradicional com características e organização espacial distintas que integra os materiais disponíveis nessa mesma região.

A zona histórica do Porto situa-se na margem Norte do Rio Douro e os vestígios de ocupação remontam ao Neolítico. A primeira muralha foi construída na era Romana (século III) e reconstruída no século XII, ficando conhecida como Muralha Românica ou Muralha Primitiva. Centrava-se na freguesia da Sé do Porto.

Na época medieval, o Porto tornou-se numa cidade importante de intensa actividade comercial, pelo que no século XIV foi necessário construir uma nova muralha para proteger a parte em crescimento da cidade dos inimigos. Ficou conhecida como Muralha Fernandina por ter sido terminada no reinado do Rei D. Fernando.

A consolidação do centro histórico dá-se nos finais da Idade Média e é no século XVI que a cidade tem necessidade de se expandir para fora das muralhas. "O Porto Medieval é labiríntico, de ruas estreitas e tortuosas" [14].

As principais alterações da estrutura urbana sofridas após a consolidação foram: a intervenção dos Almadas no século XVIII (leva à criação de novas ruas como as ruas do Bonfim, Cedofeita ou Santa Catarina), a construção da Ponte D. Luís, a abertura da Rua Mousinho da Silveira (século XIX), a demolição de alguns quarteirões em torno da Sé e a construção da Avenida da Ponte (século XX).

A cidade desenvolveu-se tendo o núcleo medieval no centro. Com a construção da Circunvalação e da Via de Cintura Interna, esta estrutura anelar foi reforçada mas aparecem novos centros urbanos e a zona histórica perdeu importância e entrou em processo de degradação (física e social).

A área do Centro Histórico do Porto é de cerca de 900.000m^2, com cerca de 3200 edifícios implantados em 300.000m^2 e com uma área de habitações de cerca de 820.000m^2, para 20.000 habitantes [15].

Existe actualmente uma grande quantidade de edifícios degradados e abandonados em oposição à sobreocupação de outros, o que potencia a baixa qualidade de vida dos habitantes.

As contribuições temporais sucessivas que levaram à criação deste aglomerado de características únicas foram decisivas para, em Dezembro de 1996, a UNESCO classificar o Centro Histórico da Cidade do Porto como Património Mundial da Humanidade. Esta classificação estende-se às freguesias da Sé, de Miragaia, de S. Nicolau e da Vitória.

Fig. 3.1 – Vista do centro histórico do Porto [16]

3.2. ASPECTOS MORFOLÓGICOS, CONSTRUTIVOS E ARQUITECTÓNICOS

A relação de um edifício com a envolvente depende das suas características próprias (como implantação, forma, orientação e áreas das aberturas) e do modo de inserção no espaço (como a relação com os edifícios vizinhos ou condições climatéricas).

Na baixa do Porto os edifícios organizam-se em quarteirão, tendo em geral duas frentes para a rua. Quando os edifícios têm apenas uma fachada para a rua, mesmo tendo clarabóias, têm deficiente iluminação e ventilação natural. Em geral as ruas são estreitas e os edifícios têm quatro a cinco pisos.

Devido a esta configuração do lote (estreito e comprido permitindo luz natural a apenas um ou dois compartimentos), a caixa de escadas é na maioria dos casos central com clarabóia e as aberturas na fachada são estreitas e altas para potenciar a entrada de luz natural.

Segundo Martins da Silva [11], edifícios com idade mínima de aproximadamente 50 anos mantêm, com eventuais alterações pouco significativas, as características genéricas da construção dos séculos anteriores, visto que os procedimentos construtivos foram alterados apenas com a evolução da engenharia dos materiais e das estruturas (principalmente com o desenvolvimento das tecnologias do ferro e do aço e do betão armado e pré-esforçado).

Nos edifícios particulares predominavam as fachadas e paredes de meação em alvenaria de pedra, enquanto os pavimentos e cobertura tinham estrutura de madeira. As paredes interiores eram em taipa. Quando era necessário acrescentar mais um piso geralmente era utilizada pedra ou taipa.

Não é habitual o recurso a caves e, quando a morfologia do terreno assim o exige, os muros de suporte de terras são de gravidade (alvenaria de pedra ou tijolo) ou semi-gravidade (arcos ou abóbadas de alvenaria).

Segundo Pinho [17], os rebocos exteriores das alvenarias antigas apresentavam, em regra, espessuras superiores às utilizadas actualmente, existindo casos em que ultrapassa os 5 cm de espessura total. Isto deve-se ao facto de o reboco ser constituído por camadas sucessivas, tendo em vista reduzir os efeitos das variações dimensionais sofridas pelos materiais (retracção). As várias camadas, com composições diferentes (a primeira era mais forte para garantir a aderência à base), eram aplicadas em intervalos de tempo que permitiam a secagem, endurecimento e fendilhação. O acabamento final mais comum era a caiação (a branco ou com cores obtidas pela junção de pigmentos e corantes naturais) e o azulejamento (mais durável).

Os revestimentos interiores eram, geralmente, em gesso ou estuques com argamassa de cal e gesso. Por vezes os revestimentos interiores eram feitos com forro de madeira posteriormente pintado que permitia uma mais fácil aplicação mas tinha menor durabilidade e mau comportamento acústico.

Um dos maiores obstáculos à caracterização das soluções técnicas utilizadas em edifícios antigos é a inexistência de peças escritas e desenhadas. A existência de arquivos camarários é na, maior parte dos casos, posterior à construção além de que frequentemente a memória descritiva era escrita nas peças desenhadas que não resistiram até aos nossos dias.

A Figura 3.2 permite analisar os materiais e processos construtivos tradicionais da cidade do Porto.

Fig. 3.2 – Pormenor de casa em ruína feita com processos construtivos tradicionais, na cidade do Porto

A taipa das paredes exteriores consistia numa estrutura de madeira em forma de cruz de S. André, preenchida com tijolo maciço, aplicado com argamassa de saibro. As paredes interiores são normalmente constituídas por um tabique formado por pranchas de madeira colocadas na vertical ao longo do plano, e um ripado na horizontal que é revestido com o reboco [17].

A maioria dos edifícios têm varandas a todo o comprimento da fachada em madeira ou pedra com guardas de ferro, com cerca de 50 cm de profundidade (condicionadas pela capacidade resistente dos materiais).

4
EDIFÍCIO ESTUDADO

O edifício objecto deste estudo tem entrada pela Rua Mousinho da Silveira e fachada posterior para o Largo da Viela do Anjo. A Rua Mousinho da Silveira está definida no Mapa de Condicionantes como área classificada, data do séc. XIX e é constituída por edifícios em banda que variam entre três e cinco pisos.

Não foi possível obter peças escritas ou desenhadas relativas às soluções adoptadas na construção do edifício. Este é um problema que, como já foi atrás referido, afecta grande parte dos edifícios de construção anterior à existência de arquivo camarário.

Trata-se de um edifício que tinha utilização comercial e de armazém e que actualmente se encontra em avançado estado de degradação, tendo ocorrido o colapso de parte da cobertura, pavimentos e paredes interiores. Os alçados posterior e lateral sofreram obras de recuperação exterior recentemente.

As paredes exteriores e de meação são em alvenaria de granito. Na fachada principal e alçado posterior a parede está parcialmente revestida a reboco pintado. Os pavimentos são em soalho sobre estrutura de madeira e as paredes interiores em taipa. A cobertura é em telha sobre estrutura de madeira com quatro águas.

Fig. 4.1 – Alçado principal do edifício e vista geral da Rua Mousinho da Silveira

Fig. 4.2 – Alçado posterior e lateral do edifício

Os vãos envidraçados são compostos por caxilharia de madeira com vidro simples e portadas interiores também em madeira. Devido à relação entre altura do lote e largura das ruas, é um lote em situação previlegiada em termos de entrada de luz natural, embora a fachada principal esteja orientada a Noroeste.

Actualmente está a ser estudado um projecto para a reabilitação do edifício (fase de licenciamento), cujo projecto de arquitectura (da autoria do Arqt.º Nuno Abrantes e do Arqt.º Rodrigo Brito) servirá de base a este trabalho. As plantas, alçados e cortes do edifício devem ser consultados em anexo.

Esse projecto prevê a existência de quatro fracções de habitação e uma de comércio. No entanto, apenas vai ser verificada a aplicabilidade dos regulamentos à fracção do 1º andar que fica virada para a Rua Mousinho da Silveira. Considera-se esse o caso mais sensível em termos da aplicação de ambos os regulamentos por estar sobre um espaço comercial não climatizado com porta aberta ao público e virado a uma rua bastante movimentada.

5

ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO RCCTE

5.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objectivo determinar as soluções que permitem verificar o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei Nº 80/2006 de 4 de Abril [18], e identificar quais os constrangimentos e impossibilidades, bem como a sua importância relativa num contexto de reabilitação de edifícios de construção anterior à existência de qualquer regulamentação de construção em que as exigências devem ser menores. Deve ser tido em consideração que este edifício está inserido numa área classificada pelo que pode ser excluído do âmbito de aplicação do RCCTE sempre que se verifiquem incompatibilidades com as suas exigências.

Pretende-se a obtenção de soluções que minimizem as situações patológicas nos elementos de construção, provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.

Também se pretende assegurar as exigências de conforto térmico, de ventilação (garantia da qualidade do ar interior) e que as necessidades de água quente sanitária (AQS) possam ser satisfeitas sem consumo excessivo de energia. Assim, para garantir o cumprimento dos requisitos regulamentares considera-se:

- temperatura do ar de 20ºC para a estação de aquecimento e temperatura do ar de 25ºC e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento;
- em condições médias de funcionamento, os sistemas de ventilação (natural e/ou mecânica) devem garantir 0,6 renovações de ar por hora;
- o consumo de referência de AQS é de 40l de água quente a 60ºC por pessoa para edifícios de habitação.

Inicialmente será feita a distinção das fracções autónomas do edifício. Seguidamente serão descritas as exigências do regulamento quanto à limitação das necessidades nominais de energia e verificada a possibilidade de a solução construtiva original do edifício cumprir essas exigências (se não for possível é apresentada uma solução de reabilitação térmica). Finalmente, serão apresentados os cálculos de aplicação do regulamento à "fracção 1".

5.2. DEFINIÇÃO DE FRACÇÕES AUTÓNOMAS PARA EFEITOS DO RCCTE

Para efeitos do RCCTE, entende-se por fracção autónoma cada uma das partes de um edifício dotada de contador individual de consumo de energia, separada do resto do edifício por uma barreira física contínua e cujo direito de propriedade ou fruição seja transmissível autonomamente.

As exigências do RCCTE aplicam-se apenas aos espaços para os quais se requerem normalmente condições interiores de conforto, designados como "espaços úteis". Consideram-se espaços "não úteis" os espaços aos quais não se aplicam estas condições, não podendo ser incluídos no cálculo dos valores de N_{ic}, N_{vc} e N_{tc}.

Na aplicação do RCCTE ao edifício em estudo considerou-se que as circulações comuns às várias fracções autónomas (hall de entrada e caixa de escadas até 2º andar) correspondem a espaços "não úteis". Considera-se ainda como espaço "não útil" a loja por ser não climatizada com porta aberta ao público.

Assim, o projecto de reabilitação do edifício define 4 fracções com requisitos de conforto e contador individual. As Figuras 5.1 a 5.4 ilustram a envolvente das fracções (em planta), de acordo com as definições do RCCTE.

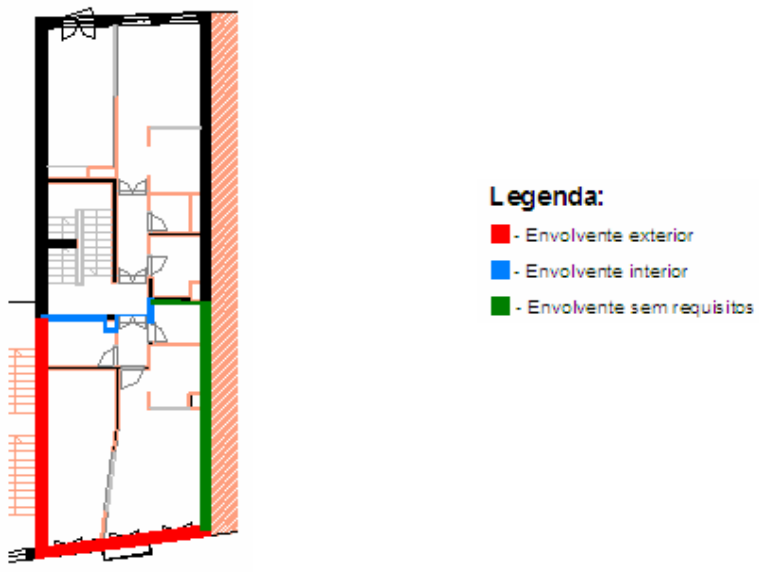


Fig. 5.1 – Envolvente da "fracção 1", planta sem escala

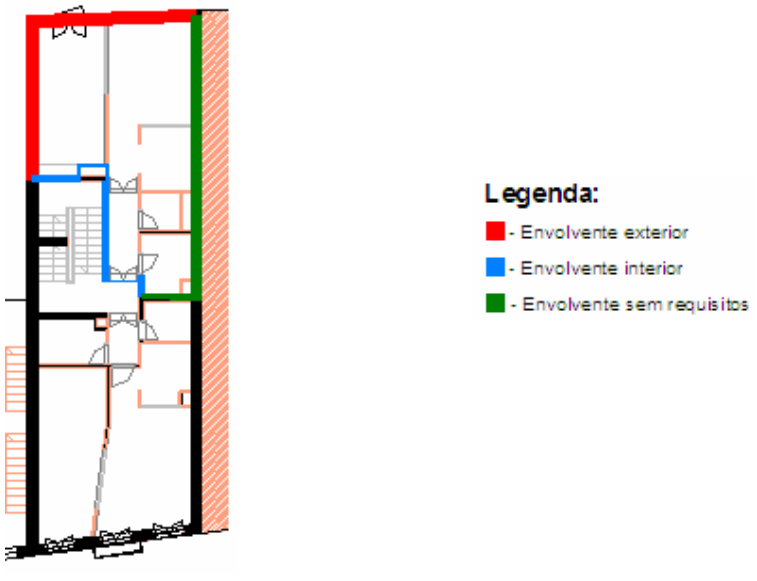


Fig. 5.2 – Envolvente da “fracção 2”, planta sem escala

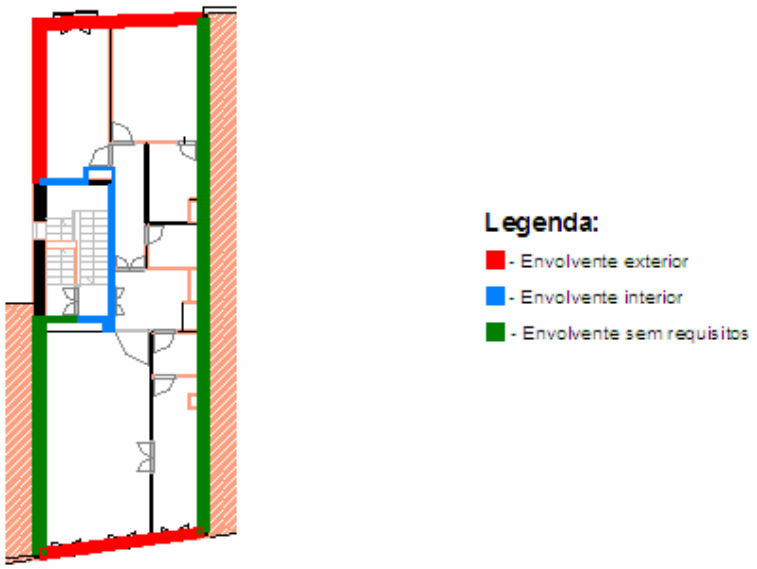


Fig. 5.3 – Envolvente da “fracção 3”, planta sem escala

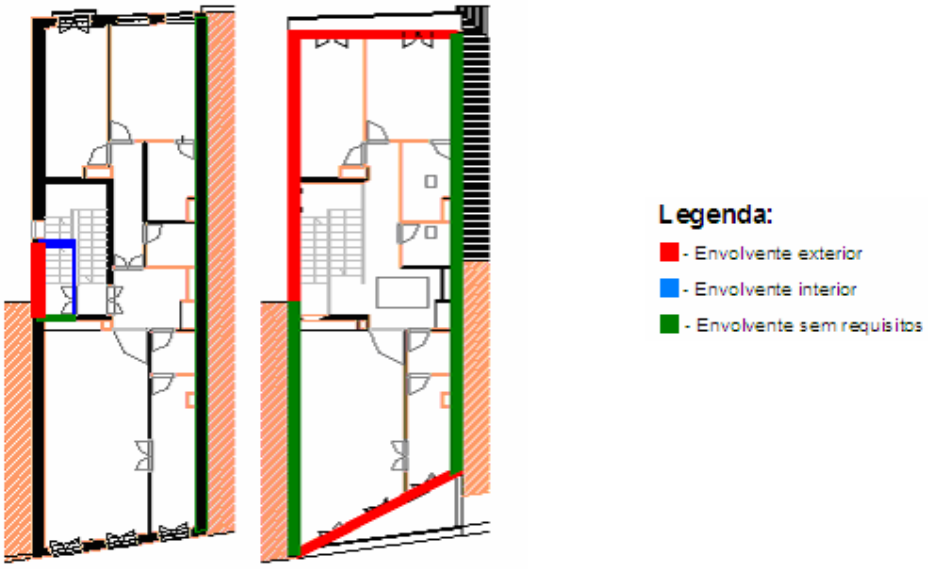


Fig. 5.4 – Envolvente da "fracção 4", planta sem escala

5.3. DADOS CLIMÁTICOS

Os dados climáticos relevantes para a aplicação do RCCTE são:

- as zonas climáticas de Inverno e Verão;
- o n.º de graus-dias de aquecimento;
- a duração da estação convencional de aquecimento;
- a energia solar incidente na estação de aquecimento;
- a intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento;
- a temperatura do ar exterior para a estação convencional de arrefecimento.

Para efeitos do RCCTE, o país é dividido em três zonas climáticas de Inverno (I_1, I_2 e I_3) e três zonas climáticas de Verão (V_1, V_2 e V_3). O edifício em estudo pertencerá à zona climática de Inverno "I_2" e à zona climática de Verão "V_1" (Quadro III.1 do RCCTE).

Os graus-dias de aquecimento (base 20ºC) caracterizam a severidade de um clima durante a estação de aquecimento. Este valor é obtido pelo somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base (20ºC) e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco). Para o edifício em estudo, o número de graus-dias de aquecimento é igual a 1610 ºC.dias (Quadro III.1 do RCCTE).

A estação convencional de aquecimento é o período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15ºC e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15ºC. A duração da estação de aquecimento para as fracções em estudo é igual a 6,7 meses (Quadro III.1 do RCCTE).

A fracção autónoma encontra-se na zona climática I_2 pelo que o valor de referência da energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento (G_{sul}) é de 93 kWh/m^2.mês (Quadro III.8 do RCCTE).

Para se determinar a intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento do local em estudo é fundamental consultar o Quadro III.9 do RCCTE. Como a fracção se situa a Norte, na zona climática V_1, a intensidade da radiação solar é a indicada no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento

Zona climática	Intensidade da radiação solar – Ir [kWh/m^2]								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Horiz.
V_1 – N	200	300	420	430	380	430	420	300	730

A temperatura do ar exterior para a estação convencional de arrefecimento é igual a 19 ºC, pois a fracção em estudo localiza-se na zona climática V_1 - Norte (Quadro III.9 do RCCTE).

5.4. LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA

5.4.1. NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO – N_i

Segundo o RCCTE, a fracção autónoma em estudo não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta o aproveitamento dos ganhos solares e internos e de outras formas de energias renováveis, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i). Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_i), depende do factor de forma (FF) da fracção autónoma e dos graus-dias (GD) do clima local.

O factor de forma é o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior (A_{ext} em m^2) e da envolvente interior (A_{int} em m^2) multiplicado pelo respectivo valor de τ, da fracção autónoma com exigências térmicas, e o volume interior (V em m^3).

$$FF = \frac{\left(\sum A_{ext} + \sum A_{int} \times \tau\right)}{V} \quad [m^{-1}] \qquad (5.1)$$

Para o caso em estudo, as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i) são calculadas pela seguinte expressão (artigo 15º do RCCTE):

$$N_i = 4{,}5 + (0{,}021 + 0{,}037 \times FF) \times GD \qquad [kWh/(m^2 \cdot ano)] \qquad (5.2)$$

em que:

GD Graus-dias de aquecimento [ºC.dias]

FF Factor de Forma [m^{-1}]

5.4.2. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO – N_v

Cada fracção autónoma não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta a existência de ganhos solares e internos, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v).

O valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (N_v) de uma fracção autónoma depende apenas da sua zona climática (artigo 15º do RCCTE), pelo que para todas as fracções de um edifício que se situa na zona V1 (Norte): N_v = 16 kWh/(m^2.ano).

5.4.3. NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA - N_A

Cada fracção autónoma não pode, como resultado dos tipos e eficiências dos equipamentos de produção de água quente sanitária, bem como da utilização de formas de energias renováveis, exceder um valor máximo admissível de necessidades nominais anuais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (N_a).

O limite máximo das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias (N_a) da fracção autónoma é o seguinte (artigo 15º do RCCTE):

$$N_a = \frac{0{,}081 \times M_{AQS} \times n_d}{A_p} \qquad [\text{kWh/(m}^2\cdot\text{ano)}] \qquad (5.3)$$

em que:

M_{AQS} Consumo médio diário de referência [l]

n_d Número anual de dias de consumo de AQS [dias]

A_p Área útil de pavimento [m^2]

5.4.4. NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA - N_T

As necessidades nominais anuais globais (N_{tc}) de cada uma das fracções autónomas em estudo não podem exceder um valor máximo admissível de energia primária (N_t), calculado com base nos valores de N_i, N_v e N_a (artigo 15º do RCCTE):

$$N_t = 0{,}9 \times (0{,}01 \times N_i + 0{,}01 \times N_v + 0{,}15 \times N_a) \qquad [\text{kgep/(m}^2\cdot\text{ano)}] \qquad (5.4)$$

5.4.5. REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE TÉRMICA DOS EDIFÍCIOS

5.4.5.1. Coeficientes de transmissão térmica da envolvente (U)

O RCCTE estabelece valores limite de qualidade térmica para coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca e para os factores solares de vãos envidraçados com área total superior a 5% da área útil do espaço que servem desde que não estejam orientados entre Noroeste e Nordeste.

O coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente (U), é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa.

O RCCTE preconiza valores máximos e de referência para os coeficientes U em zona corrente da envolvente dos edifícios, em função da zona climática em que se situam (Quadros IX.1 e IX.3 do RCCTE). Os valores máximos e de referência para os coeficientes de transmissão térmica em zona corrente de edifícios situados na zona climática I_2 são apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Coeficientes de transmissão térmica máximos e de referência (I_2)

Elementos da envolvente em zona corrente		Coeficientes de transmissão térmica [W/(m^2 ºC)]	
		Máximo (U_{max})	Referência (U_{ref})
Elementos exteriores	Opacas Verticais	1.60	0.60
	Opacas Horizontais	1.00	0.45
Elementos interiores em contacto com zonas anexas não úteis	Opacas Verticais	2.00	1.20
	Opacas Horizontais	1.30	0.90
Envidraçados		-	3.30

Nas zonas não correntes da envolvente, como zonas de ponte térmica plana, o valor de U não deve exceder o dobro do U dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitanto sempre os valores máximos constantes no Quadro 5.2.

5.4.5.2. Factor solar máximo admissível

O RCCTE estabelece que nenhum vão envidraçado da envolvente de um edifício com área superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que serve pode apresentar um factor solar que, para a zona climática V_1, seja superior aos valores presentes no Quadro 5.3, em função da classe de inércia térmica. Estes valores correspondem ao factor solar dos vãos envidraçados com os dispositivos de protecção solar activos a 100%.

Não é necessário respeitar esta exigência se os vãos estiverem orientados a Norte, entre Noroeste e Nordeste.

Quadro 5.3 – Factores solares máximos admissíveis para a zona climática "V_1" de vãos envidraçados com mais de 5% de área útil do espaço que servem

Classe de inércia térmica	Fraca	Média	Forte
Factor solar	0,15	0,56	0,56

5.5. ELEMENTOS OPACOS VERTICAIS EM CONTACTO COM O EXTERIOR

5.5.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL

No edifício em estudo, as paredes exteriores são constituídas por alvenaria de granito aparelhada com 35 cm de espessura e cantaria, nos respectivos vãos. Apenas diferem em certas partes no tipo de acabamento exterior. A maioria do edifício tem acabamento exterior em reboco caiado, excepto parte da empena que foi recentemente revestida a placas de granito. Segundo Pinho [17], os revestimentos mais utilizados baseavam-se em rebocos de argamassas fracas, de areia e cal aérea ou gesso (sendo o gesso apenas utilizado em paramentos interiores por sofrer alterações sob acção da humidade).

Considerando que o revestimento exterior e interior têm, respectivamente, uma espessura de 3 cm e 2 cm obtém-se o corte-tipo da Fig. 5.5.

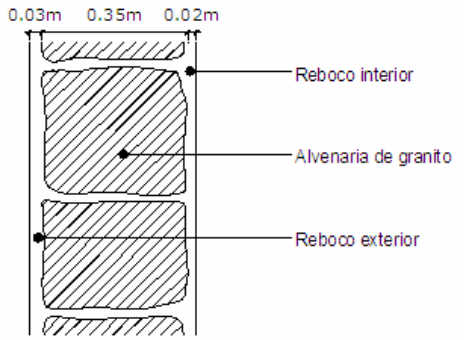


Fig. 5.5 – Corte-tipo da parede exterior, sem escala

Os valores utilizados para determinar o coeficiente de transmissão térmica da parede exterior foram retirados do "ITE 50" [19]. O reboco exterior foi considerado reboco tradicional com condutibilidade igual a 1,30 [W/(m.ºC)] e ao estuque interior foi atribuída uma condutibilidade de 0,40 [W/(m.ºC)]. A condutibilidade da alvenaria de granito, incluindo juntas de assentamento, foi considerada 2,8 [W/(m.ºC)].

Assim, os coeficientes de transmissão térmica obtidos para as paredes exteriores, com revestimento exterior respecivamente em reboco ou placas de granito, estão presentes no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores da solução original

Revestimento exterior	Reboco	Placa de granito
U [W/(m^2.ºC)]	2,72	2,78

Através da análise do Quadro 5.4, pode-se concluir que a solução construtiva original para as paredes exteriores do edifício não permite satisfazer os requisitos do RCCTE, que estabelece para estes elementos um valor máximo de 1,6 [W/(m^2.ºC)]. Sendo assim, é necessário estudar uma solução que permita aumentar a resistência térmica do elemento.

5.5.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO TÉRMICA

Para cumprir os requisitos de RCCTE, é necessário que as paredes exteriores sejam dotadas de elementos que confiram uma resistência térmica adicional de 0,32 [(m^2.ºC)/W] para cumprir o U_{max} e de 1,36 [(m^2.ºC)/W] para cumprir o U_{ref}.

Como se trata de um edifício localizado numa zona histórica e com grande valor patrimonial, o paramento exterior tem que ser mantido pelo que é necessário recorrer a uma solução de reforço do isolamento pelo interior.

Pode-se optar por uma solução de painéis isolantes (isolante térmico colado no tardoz de placas de gesso cartonado) com ou sem caixa de ar. As vantagens e desvantagens destes dois tipos de sistemas já foram expostas anteriormente (2.2.2).

Vai ser estudada a solução sem caixa de ar, em que os painéis são colados directamente à parede porque permite poupar área útil dos compartimentos afectos.

Este tipo de sistema é constituído por elementos pré-fabricados com grande diversidade no mercado, pelo que cada componente deve ter as suas propriedades e condições técnicas de aplicação devidamente homologadas (ex.: Documento de Homologação LNEC).

Para a correcta definição do sistema, vão ser utilizados os valores constantes no Quadro 5.5, retirados do catálogo comercial [20] de uma marca detentora de um sistema homologado pelo LNEC [21], relativos a um sistema de placa de gesso cartonado com 12,5 mm de espessura e poliestireno expandido extrudido (XPS).

Embora exista no mercado a possibilidade de utilizar outros materiais isolantes térmicos, o XPS é aquele que apresenta menor condutibilidade térmica, conduzindo a menores espessuras de isolante, permitindo assim maior poupança de área útil dos compartimentos.

Quadro 5.5 – Características de um sistema do tipo directo constantes no catálogo de uma marca comercial [20]

Isolante Térmico	Espessura Total (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	R [(m^2.ºC)/W]	Classe Reacção ao Fogo
XPS	32,5	1200	2600/3000	0,70	M1
XPS	42,5	1200	2600/3000	1,02	M1

Utilizando a solução de isolamento térmico pelo interior com placas de gesso cartonado e XPS com 32,5 mm de espessura, os coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores passam a ser os constantes no Quadro 5.6, cumprindo os requisitos mínimos do RCCTE. No entanto, este fabricante não dispõe de nenhuma solução em catálogo que permita cumprir o coeficiente de transmissão térmica de referência para elementos opacos verticais.

Quadro 5.6 – Coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores da nova solução construtiva

Revestimento exterior	Reboco	Placa de granito
U [W/(m^2.ºC)]	0,98	0,99

Sendo assim, a Fig. 5.6 mostra a solução de reabilitação térmica analisada. As placas de gesso cartonado poderão receber acabamento diverso.

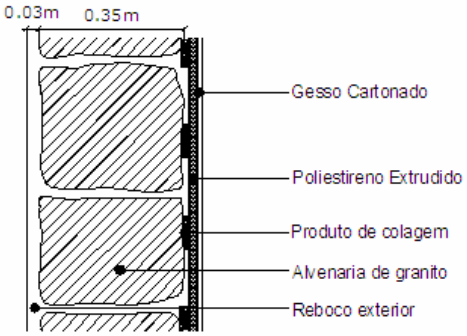


Fig. 5.6 – Corte-tipo da nova solução de parede exterior, sem escala

5.5.3. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

Para a definição da tecnologia de aplicação do sistema, é importante consultar o documento que define as condições técnicas de aplicação e obedecer às recomendações do fabricante.

Para que a aplicação comece é necessário que estejam reunidas as seguintes condições [6], [20]:

- Fachadas, coberturas e restantes elementos em contacto com os componentes do sistema completamente terminadas e impermeabilizadas;
- Caixilharias e caixas de estore terminadas;
- Instalação dos diversos ramais (como de electricidade, água ou aquecimento) na sua posição correcta terminada;
- Pavimentos com a betonilha de assentamento do revestimento (caso seja essa a solução prevista) executada, de modo a impedir a humidificação das placas.
- Decapagem de eventual elemento de revestimento da parede e posterior lavagem;
- Tratamento das fissuras mais significativas;
- A superfície do elemento a revestir (parede) deve estar isenta de poeiras e de produtos oleosos ou humidades.

O produto de colagem consiste numa massa, com consistência adequada que pode ser aplicada no tardoz das placas ou directamente sobre a parede de suporte (informação do fabricante). Antes da aplicação do produto de colagem, é importante avaliar as irregularidades da parede, distinguindo-se três situações que estão representadas na Fig. 5.7:

- Irregularidades inferiores a 10 mm: o produto de colagem pode ser aplicado por bandas ou em quadrícula como mostram as Fig. 5.8 e 5.9. De notar o reforço nas zonas superior e inferior com montículos intermédios de massa.
- Irregularidades superiores a 10 mm e inferiores a 20 mm: colagem com quadrícula de massa, nas condições referidas anteriormente.

- Irregularidades superiores a 20 mm: como se trata de uma superfície muito irregular poderão utlizar-se placas de gesso cartonado intermédias para conseguir obter um bom alinhamento.

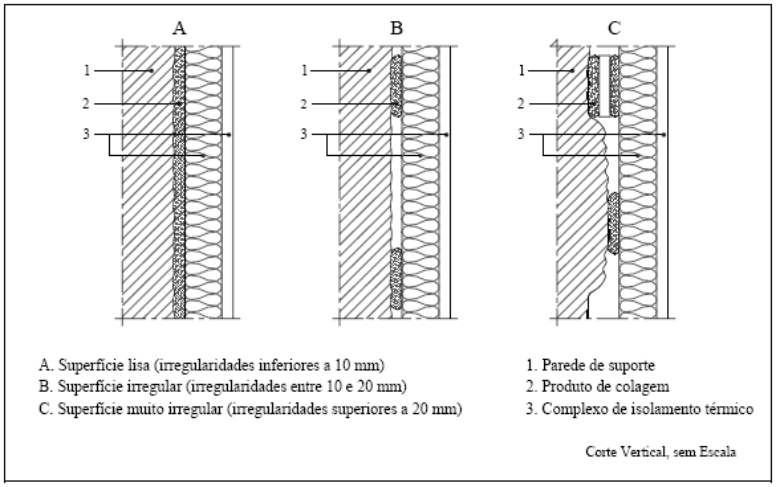


Fig. 5.7 – Aplicação do produto de colagem [6]

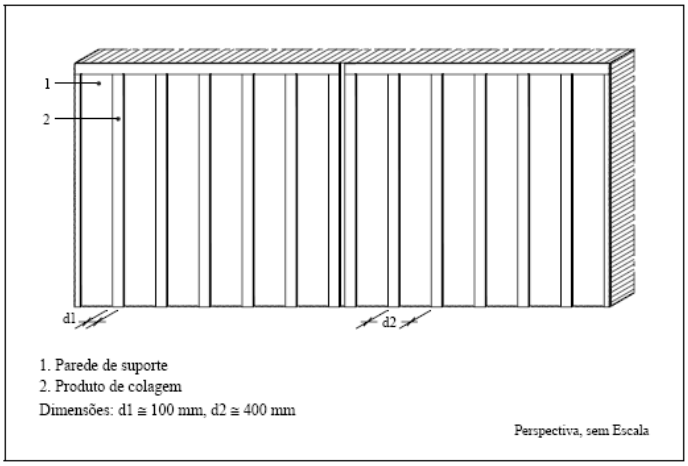


Fig. 5.8 – Aplicação do produto de colagem sob a forma de bandas [6]

Colocar no pavimento dois calços de madeira com 1 cm de espessura (espaço deixado para preencher com uma banda estanque com características de isolamento térmico) e pressionar as placas contra a parede. Apenas começar a aplicar o produto de colagem da segunda placa após a colocação da primeira.

Ter o cuidado de não criar pontes térmicas ou acústicas nas esquinas. O isolamento térmico deve sempre ter continuidade (ver Fig. 5.10).

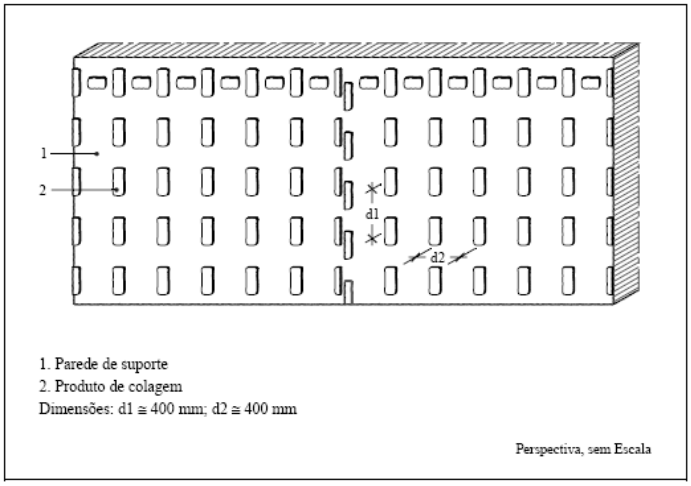


Fig. 5.9 – Aplicação do produto de colagem sob a forma de montículos [6]

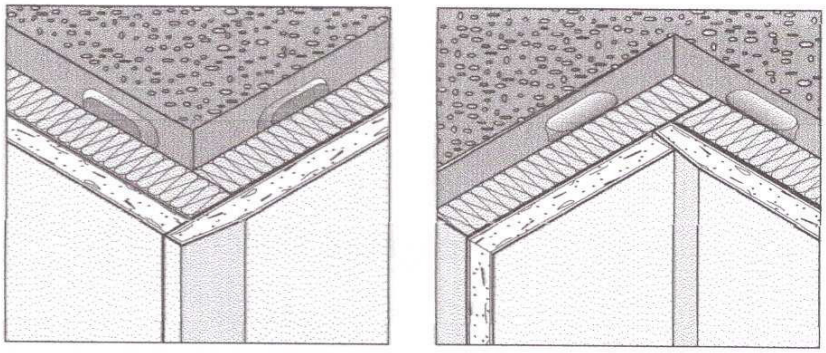


Fig. 5.10 – Pormenores de esquinas [20]

É importante referir que não é aconselhável a aplicação deste sistema em locais com teor de humidade permanentemente próximo da saturação, com projecção de água muito frequente ou com temperaturas normalmente superiores a 50ºC [6]. Após a execução do sistema, este estará pronto para receber acabamento final em 24 horas.

5.6. *ELEMENTOS OPACOS HORIZONTAIS EM CONTACTO COM O EXTERIOR*

5.6.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL

No projecto de reabilitação do edifício em estudo há dois elementos opacos horizontais distintos em contacto com o exterior: a cobertura e a laje do piso 3, que separa o ar interior do piso 2 das zonas de terraço do piso 3.

Uma vez que este é um novo piso, não vai ser analisada a possibilidade de a solução construtiva original verificar o regulamento, o estudo vai-se cingir ao nível de isolamento necessário para que a solução do projecto de arquitectura verifique o RCCTE.

Perante elementos novos, a análise vai ser diferente porque não se trata de reforço do isolamento mas sim de incluir o isolamento no projecto para que o elemento tenha um bom desempenho térmico.

5.6.2. SOLUÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO

Tem que ser cumprido U_{max}=1,00 [W/(m^2.ºC)], sendo U_{ref}=0,45 [W/(m^2.ºC)].

Começando por analisar a cobertura inclinada, segundo o projecto de arquitectura, as suas vertentes constituem o tecto de espaços habitados (não existe esteira horizontal). A estrutura será descontínua de madeira, interiormente terá placas de gesso cartonado e exteriormente será revestida a placas de ardósia.

Como não há esteira horizontal o isolamento térmico deve ser aplicado nas vertentes em posição superior (sobre as madres) ou em posição inferior (sob as varas). A solução com melhor desempenho é a aplicação de isolamento sobre a impermeabilização (cobertura invertida). Como também já foi referido no capítulo 2, é necessário prever uma protecção superior em relação à água das chuvas que não crie uma barreira pára-vapor que origine condensações internas no isolamento.

É atribuído um coeficiente de transmissão térmica de 3,8 [W/(m^2.ºC)] em situação de fluxo ascendente e de 2,5 [W/(m^2.ºC)] em situação de fluxo descendente à solução de coberturas com estrutura de suporte em madeira, revestimento exterior descontínuo e placas de gesso pelo interior (sem isolamento térmico) [19].

É, portanto, necessário determinar a espessura de isolamento térmico que permite baixar este coeficiente para um valor em conformidade com o regulamento.

Segundo Pina dos Santos e Matias [19], nesta situação, o isolante pode ser aplicado quer ao nível da estrutura (interrompendo esta o isolante) quer em posição inferior (garantindo-se a continuidade do isolante), assumindo-se em ambos os casos que existe espaço de ar drenado e ventilado acima do isolante com espessura entre 30 e 50 mm.

Os mesmos autores referem que além de se dever prever medidas de protecção face ao risco de contacto prolongado com a água, devido à eventual infiltração de água da chuva ou devido à ocorrência de condensações significativas na face interior do revestimento exterior da cobertura, também se deve ter em atenção o comportamento ao fogo dos isolantes combustíveis (especialmente em soluções de esteira leve) tomando medidas específicas de protecção, não devendo o isolante ficar aparente (também por questões de higiene e saúde).

Para a escolha do isolante térmico vão ser utilizados os valores constantes no Quadro 5.7, retirados do catálogo comercial de uma marca detentora de um produto certificado pelo CSTB ("Centre Scientifique et Technique du Bâtiment") [22] relativos a placas de XPS.

Quadro 5.7 – Características de placas de XPS constantes no catálogo de uma marca comercial [23]

Isolante Térmico	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	λ [W/(m^2.ºC)]	Classe Reacção ao Fogo (EN 13501-1)
XPS	30, 40	600	2500	0,04	E

Recorrendo aos valores constantes no Quadro 5.7 verifica-se que uma espessura de 30 mm de isolamento bastará para cumprir os requisitos mínimos do RCCTE. É necessária uma espessura de, pelo menos, 80 mm para cumprir o valor de referência para elementos opacos horizontais, pelo que se verifica mais uma vez que é uma solução que não está disponível no catálogo do fabricante.

Sendo assim, a Fig. 5.11 mostra a solução. As placas de gesso cartonado poderão receber acabamento diverso.

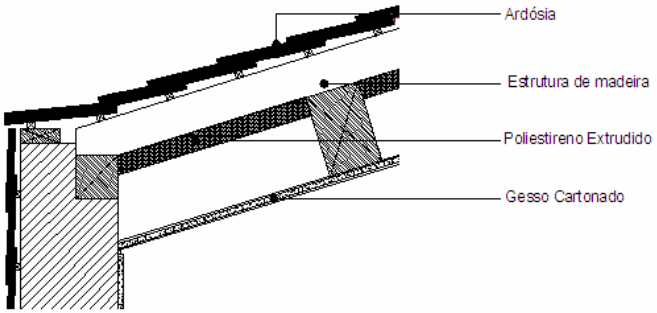


Fig. 5.11 – Corte-tipo da solução de cobertura inclinada, sem escala

Quanto à cobertura em terraço, o projecto prevê uma laje em vigotas de betão e revestimento exterior em placas de granito.

Como já foi referido, a solução de cobertura invertida é sem dúvida a melhor porque além de colocar o isolamento pelo exterior, impede que a camada de impermeabilização sofra grandes variações térmicas que a danificam. Também tem as vantagens de a camada de impermeabilização passar a funcionar como barreira pára-vapor por estar encostada à "face quente" do isolamento e o isolamento térmico pode ser aplicado sob qualquer condição atmosférica [24].

No entanto, esta solução construtiva implica a exposição do isolamento térmico a solicitações exigentes, nomeadamente à água da chuva. Sendo assim, o isolamento térmico a aplicar numa cobertura plana invertida, deve ter características específicas para esta aplicação, tais como [25]:

- Absorção de água por imersão mínima de modo a que conserve todas as suas características térmicas e mecânicas quando em contacto com a água. Tomando como referência os ensaios de absorção de água (como os efectuados no âmbito do Documento de Homologação – LNEC, ao abrigo da norma EN 12087) considera-se um limite superior admissível de absorção de água de 0,7%, em percentagem de volume;
- Resistência aos ciclos de gelo-degelo. A partir dos ensaios habituais (ao abrigo da norma EN 12091) considera-se um limite superior admissível de absorção de água de 1,0%, em percentagem de volume;
- Resistência mecânica ao manuseamento de execução e às cargas a que o material está submetido durante e após a sua aplicação. Admite-se como referência (e provada por mais de 35 anos de experiência recolhida nas homologações e nos relatórios de comportamento a longo prazo de coberturas invertidas de diversos institutos europeus de construção) um valor de resistência à compressão (segundo a norma de ensaio EN 826) não inferior a 300 kPa. Este valor representa o valor mínimo admissível para a resistência à compressão (resistência

a "curto prazo"). O valor que deve ser considerado para a resistência à compressão a longo prazo, sob cargas permanentes (resistência à fluência), é de 130 kPa, considerando uma deformação máxima de 2%;

- Estrutura de célula fechada, o que explica o seu excelente comportamento face à humidade ao impedir que a água passe de uma célula à seguinte (como compartimentos estanques, separados por uma parede celular em poliestireno, hidrófoba);
- Elevada resistência à difusão de vapor (factor m = 100-200, segundo ensaio EN 12086), e à absorção de água por difusão (ensaio a longo prazo EN 12088, com limite superior entre 3% e 5% em percentagem de volume, dependendo da espessura);
- Imputrescível;
- Euroclasse E de reacção ao fogo segundo EN 13501-1.

Segundo Pina dos Santos e Matias [19], na solução de cobertura invertida considera-se apenas a utilização de placas de XPS. Está previsto que o isolamento seja protegido por uma camada de betonilha armada sob as placas de granito.

Considerando que a nova laje será aligeirada com blocos cerâmicos, é atribuído um coeficiente de transmissão térmica de 1,3 [W/(m^2.ºC)] em situação de fluxo ascendente e de 1,1 [W/(m^2.ºC)] em situação de fluxo descendente à solução de coberturas em terraço sem isolamento térmico sendo, mais uma vez, necessário determinar a espessura de isolamento térmico que permite baixar este coeficiente para um valor em conformidade com o regulamento [19].

Os mesmos autores referem que na determinação destes valores, foi considerado um agravamento convencional do coeficiente de transmissão térmica para traduzir os efeitos resultantes da absorção de água pelo isolante térmico e do escoamento de água da chuva sob as placas do isolante.

Para a escolha do isolante térmico vão ser utilizados os valores constantes no Quadro 5.8, retirados do catálogo comercial de uma marca detentora de um produto homologado pelo LNEC [26] relativos a placas de XPS.

Quadro 5.8 – Características de placas de XPS constantes no catálogo de uma marca comercial [27]

Isolante Térmico	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	λ [W/(m^2.ºC)]	Classe Reacção ao Fogo (EN 13501-1)
XPS	30, 40, 50, 60 , 80	600	1250	0,04	E

Utilizando os valores constantes no Quadro 5.8, verifica-se que uma espessura de 30 mm de isolamento bastará para cumprir os requisitos mínimos do RCCTE. No entanto, é necessária uma espessura de pelo menos 60 mm para cumprir o valor de referência para elementos opacos horizontais. A Fig. 5.12 mostra a solução construtiva.

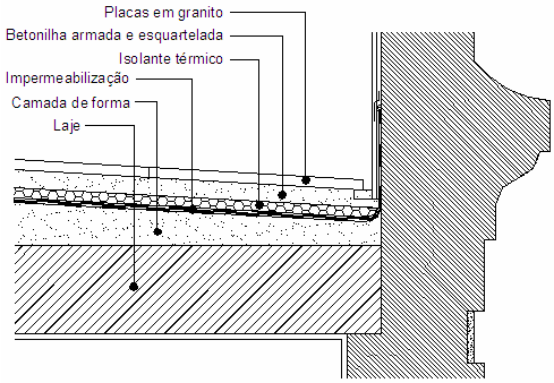


Fig. 5.12 – Corte-tipo da solução de cobertura em terraço, sem escala

5.6.3. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

Embora estejam a ser analisadas novas coberturas a construir no edifício, a análise da tecnologia de aplicação vai-se cingir aos isolantes térmicos, admitindo que todos os outros elementos prévios são construídos em conformidade com as regras da "boa construção".

Quanto à cobertura inclinada, considera-se que a estrutura de madeira já foi executada. O revestimento exterior vai ser apoiado num sistema de contra-ripado e ripado que é fixo à estrutura através das placas de isolamento térmico. Neste caso, as placas de isolante devem [28]:

- Resistir à fixação do sistema de contra-ripado e ripado;
- Resistir à acção de flexão existente dado que as placas, não dispondo de um suporte contínuo apenas possuem dois apoios (como mínimo).

Sendo assim, devem ser seguidas as seguintes recomendações [29]:

- As placas de XPS são aplicadas sobre a estrutura e poderão ser fixas directamente através de pregos ou parafusos auto-perfurantes, sendo ainda necessária a utilização de uma anilha com um diâmetro superior a 30 mm; em alternativa, poderão as placas ser fixas através da fixação do contra-ripado a aplicar sobre as placas. Nos casos em que se instale uma superfície contínua para apoio de um sistema de impermeabilização, a fixação é executada da mesma forma, atravessando esta superfície;
- Cada placa deve ter sempre dois apoios (por forma a ter quatro pontos de fixação, dois em cada apoio), pelo que a distância ao eixo entre apoios não deverá ser superior a 1,25m, medida que corresponde a metade do comprimento da placa (2,50m);
- É extremamente importante que a superfície de isolamento térmico seja contínua. A interrupção do isolamento na estrutura implica a existência de pontes térmicas, originando zonas preferenciais de condensações;
- As placas são aplicadas com as juntas transversais desencontradas para que exista um adequado travamento da superfície de isolamento térmico;
- Depois de devidamente instalada a camada de isolamento térmico, executa-se o sistema de contra-ripado e ripado de apoio às placas de ardósia. Por fim, colocam-se as placas de ardósia;

A Fig. 5.13 exemplifica o modo de instalação do isolamento.

Fig. 5.13 – Aplicação do isolante térmico em coberturas inclinadas de estrutura descontínua

No caso da cobertura em terraço, considera-se que a laje e camada de forma já foram executadas. O intervalo de pendentes pode variar entre 1% e 5%, chegando o limite superior a 10% no caso de protecção com lajetas sobre apoios pontuais.

A colocação do isolante térmico é feito após a execução da camada de impermeabilização, devendo-se seguir as seguintes recomendações [30], [31]:

- Quando se preveja a aplicação de uma lâmina sintética de PVC, deverá consultar-se o seu fabricante acerca da compatibilidade entre a sua formulação específica e o XPS. Na maior parte dos casos, será suficiente prever-se a colocação de uma camada de separação tipo geotêxtil de gramagem adequada. Não é aceitável a aplicação de sistemas de impermeabilização que contenham solventes e que possam emiti-los durante ou após a aplicação das placas de isolamento térmico em poliestireno extrudido (XPS), assim como não será igualmente aceitável qualquer impermeabilização à base de alcatrão (embora sejam recomendáveis sistemas betuminosos);
- Nos remates da impermeabilização com elementos emergentes da cobertura, a impermeabilização deve elevar-se pelo menos 150 mm acima da camada de protecção pesada, através de juntas de sobreposição (ver Fig. 5.14). Por último é aplicado um rufo de protecção;
- As placas de isolamento térmico devem ser aplicadas numa única camada sobre a camada de impermeabilização mas sem fixação, com juntas transversais desencontradas e bem encostadas umas às outras.;
- No encontro com pontos singulares onde a cobertura tenha aberturas, as placas de XPS devem ser adaptadas através de cortes ou orifícios facilmente executados com ferramentas tradicionais de carpintaria ou um instrumento cortante;
- Na união com platibandas e muretes, as placas devem adaptar-se através de um corte em bisel, de forma a reduzir ao máximo o efeito de eventuais pontes térmicas.

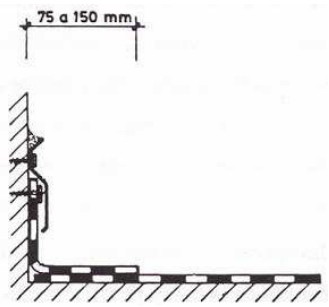


Fig. 5.14 – Esquema de remate com parede emergente (adaptado de Grandão Lopes [32])

A utilização de revestimentos assentes em betonilhas ou argamassas como protecção pesada das placas de XPS, exige um importante conjunto de cuidados, visto que camadas contínuas poderão funcionar como barreira pára-vapor, implicando uma forte pressão de vapor com origem em humidades que possam penetrar no sistema (por capilaridade). Como consequência, podem verificar-se uma absorção de água adicional nas placas de isolamento, bem como uma tendência de fissuração da superfície de revestimento e acabamento. Por outro lado, um sistema contínuo indevidamente aplicado, agrava esta tendência de fissuração, dadas as acções a que estará sujeito por via dos diferenciais de temperatura [33].

Assim, como forma de serem utilizados sistemas de revestimento aderidos deverão ser observados os seguintes requisitos [34]:

- A utilização de uma camada de dispersão de vapor entre as placas de isolamento térmico e a massa de assentamento do revestimento. Esta camada poderá ser constituída por uma camada de seixo ou brita, com 20 mm de espessura; ou por uma manta drenante, que não constitua barreira pára-vapor, tenha resistência à compressão suficiente para suportar a camada de argamassa ou betonilha e que constitua zona preferencial de dispersão de vapor de água;
- A argamassa ou betonilha de assentamento do revestimento deve ter uma espessura mínima de 40 mm e ser armada;
- A superfície de argamassa ou betonilha de assentamento do revestimento deve ser esquartelada. Estas juntas de dilatação, que têm como objectivo permitir a evacuação do vapor e possibilitar as dilatações resultantes da temperatura, devem ter uma espessura mínima de 5 a 10 mm e afastamento de 3,0 m.

5.7. *ELEMENTOS VERTICAIS EM CONTACTO COM LOCAIS NÃO AQUECIDOS*

No projecto de reabilitação estão previstos dois tipos de elementos de separação de espaços "úteis" (ou aquecidos) e espaços "não úteis" (ou não aquecidos, sem exigências de conforto): paredes e portas. Para estes tipos de elementos o RCCTE define U_{max}=2,00 [W/(m^2.ºC)], sendo U_{ref}=1,20 [W/(m^2.ºC)].

Como vão ser colocadas portas novas, vou considerar que vai ser escolhido um modelo que respeite o limite máximo regulamentar para o coeficiente de transmissão térmica.

Estão previstas paredes de tijolo de 0,20 m de espessura, com 0,02 m de reboco em cada face.

Os valores utilizados para determinar o coeficiente de transmissão térmica desta solução foram retirados do "ITE 50" [19], considerando que será utilizado reboco tradicional . Assim, foi obtido um valor de U = 1,23 [W/(m^2.ºC)].

Este valor está dentro do limite máximo regulamentar e muito próximo do valor de referência pelo que não vai ser considerada a hipótese de aumento de resistência térmica do elemento.

5.8. *PAVIMENTOS EM CONTACTO COM LOCAIS NÃO AQUECIDOS*

5.8.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL

O pavimento do piso 1 e parte do pavimento do piso 3 encontram-se sobre locais não aquecidos.

Tal como no caso da análise de elementos opacos horizontais em contacto com o exterior, como se trata de um elemento novo, vai ser feito um estudo do isolamento a incluir no novo projecto e não verificada uma hipótese de reabilitação.

5.8.2. SOLUÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO

Para estes casos o RCCTE estabelece U_{max}=1,30 [W/(m^2.ºC)] e U_{ref}=0,90 [W/(m^2.ºC)].

No estudo da melhor solução deve ser tido em conta que a laje do piso 1 separa um espaço habitacional de um espaço comercial pelo que as condicionantes de desempenho acústico devem ser compatibilizadas com as exigências de desempenho térmico. Assim, não obstante a verificação que se vai fazer no capítulo seguinte, deve ser escolhido um material isolante térmico que também tenha bom desempenho no que respeita a isolamento acústico.

Vai ser considerado que, tal como em 5.6, as lajes serão aligeiradas com blocos cerâmicos e que haverá duplicação do elemento através da construção de tecto falso impermeável ao ar, preenchendo parcialmente o espaço intermédio com lã mineral.

Segundo Pina dos Santos e Matias [19], para esta solução construtiva é obtido U=0,70 [W/(m^2.ºC)] em situação de fluxo descendente e U=0,81 [W/(m^2.ºC)] em situação de fluxo ascendente utilizando apenas 3 cm de lã mineral. Assim, é cumprido o limite máximo regulamentar e obtêm-se valores mais interessante que o valor de referência.

A Fig. 5.15 mostra a solução de reabilitação térmica analisada.

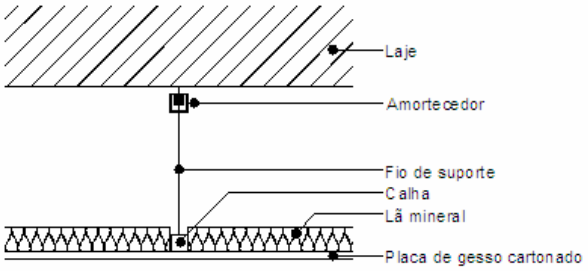


Fig. 5.15 – Corte-tipo da solução de pavimento sobre local não aquecido, sem escala

5.8.3. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

Para a definição da tecnologia de aplicação do sistema, é importante consultar o documento que define as condições técnicas de aplicação e obedecer às recomendações do fabricante.

Tendo em conta as condicionantes acústicas, não deve haver ligação rígida entre a laje existente e o tecto falso pelo que este deve ter suspensão elástica. Deve ser tido em conta que cada um destes suspensores suporta uma carga máxima de 25 a 50 kg, valor que deve ser consultado com o fornecedor. O material absorvente sonoro (lã mineral) deve ser colocado no tardoz da caixa de ar.

É importante que as placas apresentem as seguintes características de acordo com o dimensionamento:

- Espessura;
- Largura e comprimento;
- Peso;
- Dureza superficial;
- Resistência média à flexão e tracção;
- Empenamento médio;
- Reacção ao fogo.

Para que comece a aplicação devem estar reunidas as condições já referidas em 5.5.3. Os tectos são executados quando as paredes já estão prontas para acabamento final.

Para começar marca-se na parede o nível a que deve ficar o sistema metálico de suspensão de tecto. A armadura deve apresentar um rebordo para remate e apoio das placas de tecto que é colocado de seguida.

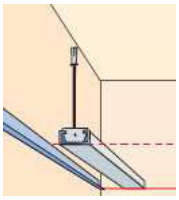


Fig. 5.16 – Pormenor de marcação de nível de tecto [35]

A restante estrutura deve ser colocada a partir dos rebordos, respeitando sempre a distância máxima aconselhada pelo fabricante e ficando sempre paralela a uma das paredes. Quando terminada a estrutura pode ser colocada a lã mineral. Seguidamente as placas poderão ser fixadas à estrutura de suporte.

As juntas das placas e os pontos de fixação das mesmas serão tratadas de forma a que o tecto apresente planimetria perfeita. Após a correcta e total instalação, o tecto falso estará pronto para receber acabamento final em 24 horas.

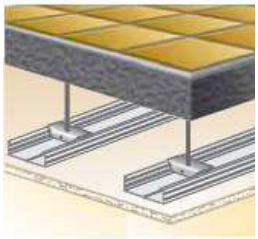


Fig. 5.17 – Exemplo de sistema de suspensão de placas de gesso [20]

5.9. *PONTES TÉRMICAS PLANAS*

O RCCTE define "ponte térmica plana" como sendo a heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, ou seja, uma zona com características térmicas diferentes das restantes. Alguns exemplos de pontes térmicas planas são pilares, caixas de estore ou talões de viga.

No entanto, a construção dita tradicional com paredes monolíticas tem a vantagem de não conter estas heterogeneidades.

5.10. *PONTES TÉRMICAS LINEARES*

As pontes térmicas lineares correspondem a descontinuidades de isolamento em perímetros de ligação de diferentes elementos sujeitas à perda de calor por diferença de temperatura. Correspondem a pontos da envolvente com maior risco de aparecimento de patologias.

O regulamento apenas considera as pontes térmicas bidimensionais, sendo que as perdas de calor por diferenças de temperatura através de pontes térmicas podem ser calculadas através da equação (5.5).

$$L_{pt} = \sum \psi_j \times B_j \qquad (5.5)$$

em que:

L_{pt}	Perdas de calor lineares unitárias através das pontes térmicas (W/ºC)
ψ_j	Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica j [W/(m.ºC)]
B_j	Desenvolvimento linear da ponte térmica (m)

O RCCTE tem tabelados valores para ψ das seguintes configurações-tipo:

- Ligação da fachada com os pavimentos térreos;
- Ligação da fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores;
- Ligação da fachada com pavimentos intermédios;
- Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço;
- Ligação da fachada com varanda;
- Ligação entre duas paredes verticais;
- Ligação da fachada com caixa de estore;

- Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril.

Nas situações não consideradas nas tabelas do RCCTE deve ser considerado ψ=0,5 [W/(m.ºC)] ou utilizar o disposto na norma EN ISO 10211-1.

Devem ser contabilizadas perdas térmicas lineares entre espaço útil e espaço não útil desde que τ (coeficiente que relaciona os espaços não úteis com os espaços exteriores) seja superior a 0,7.

5.11. *ELEMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO*

Segundo o RCCTE, as perdas de calor por diferença de temperatura em pavimentos ou paredes em contacto com o terreno devem ser calculadas utilizando a equação (5.6).

$$L_{pe} = \psi_j \times B_j \qquad (5.6)$$

em que:

L_{pe}	Perdas de calor lineares unitárias através dos elementos de construção em contacto com o terreno (W/ºC)
ψ	Coeficiente de transmissão térmica linear [W/(m.ºC)]
B	Perímetro do pavimento ou desenvolvimento da parede, medido pelo interior (m)

O RCCTE tem tabelados valores para os valores de ψ em geometrias típicas. Nos casos não descritos pelo regulamento, o valor de ψ deve ser calculado através da metodologia prevista na norma EN 13370.

O edifício tem o pavimento e duas paredes do R/C em contacto com o terreno no entanto, como este andar é ocupado por espaços considerados não úteis com τ inferior a 0,7, não devem ser contabilizadas perdas por estes elementos.

5.12. *VENTILAÇÃO*

A renovação de ar é uma das questões mais sensíveis na inter-relação entre salubridade e conforto higrotérmico. Não é fácil encontrar um equilíbrio entre ventilação e manutenção da temperatura interior, na medida em que há custos associados ao aquecimento do ar e as renovações representam uma contribuição decisiva para as necessidades de aquecimento dos edifícios. O sistema de ventilação deve ser projectado de forma a não gerar correntes de ar incómodas para os habitantes e a não aumentar desnecessariamente as perdas energéticas nos meses de aquecimento.

Nas habitações ocupadas há grande produção de vapor de água, principalmente nas cozinhas e casas de banho. É necessário que a habitação seja bem ventilada para remover o vapor de água em excesso e, assim, evitar que este condense ao contactar com pontos com temperatura inferior à temperatura de ponto de orvalho. As condensações podem ocorrer nas superfícies ou no interior dos elementos.

As pontes térmicas aumentam o risco de ocorrência de condensações superficiais, no entanto estas podem também acontecer em toda a área da envolvente (principalmente se o isolamento térmico for insuficiente).

As condensações internas podem afectar seriamente a durabilidade dos elementos e aumentar a condutibilidade dos materiais isolantes térmicos que entrem em contacto com humidade.

Como já foi referido, um dos principais objectivos do RCCTE é melhorar a qualidade da envolvente dos edifícios, não só numa perspectiva de poupança energética mas também para minimizar as situações patológicas nos elementos construtivos, aumentando a sua durabilidade e conforto interior.

Minimizar a ocorrência de condensações é um desafio não só por estas razões mas também porque são um catalisador ao aparecimento de bolores que têm sérias repercussões na nossa saúde. As formas de conseguir este objectivo são: diminuir a produção de vapor, melhorar as taxas de ventilação, aquecer o ar interior (diminuindo a humidade relativa), aumentar o isolamento dos elementos da envolvente para aumentar a temperatura da superfície interior ou incluir barreiras "pára-vapor" (material com baixa permeabilidade ao vapor) associadas aos materiais isolantes térmicos na "face quente".

No entanto, esse estudo do sistema de ventilação, embora inter-relacionado com as questões térmicas e acústicas não vai ser aqui analisado por ultrapassar o âmbito do RCCTE e RRAE.

Em termos de quantificação das perdas por ventilação, o RCCTE estabelece duas situações distintas: ventilação natural e ventilação mecânica.

A ventilação natural resulta de diferenças de pressão que se devem à exposição ao vento e do efeito de chaminé que se deve a alterações de densidade do ar por acção de diferenças de temperatura. Não assegura em permanência uma taxa de renovação constante mas pode ser quantificada em termos médios durante um certo período.

Já a ventilação mecânica pode assegurar um caudal de renovação constante mas tem associado consumo de energia necessário ao seu funcionamento, contribuindo assim para o aumento das necessidades energéticas da fracção. Apenas nos casos em que a ventilação natural se revele insuficiente é que se deve optar por instalar um sistema mecânico de extracção (e/ou insuflação) devidamente dimensionado, tendo também em atenção o ruído produzido por estes equipamentos.

Nos casos em que os dispositivos de ventilação mecânica da fracção (nomeadamente o exaustor da cozinha) têm funcionamento intermitente, considera-se para efeitos de cálculo que o edifício apenas tem ventilação natural.

Como já foi referido anteriormente, para cumprir os requisitos do RCCTE, cada fracção deve, em condições médias de funcionamento, ter garantidas 0,6 renovações/hora pelo sistema de ventilação (natural ou misto). Esta imposição é feita por razões de higiene e conforto dos ocupantes mas também para garantir o correcto funcionamento dos equipamentos de aquecimento e/ou preparação das águas quentes sanitárias (AQS) por combustão. É muito importante a evacuação de ar com grande quantidade de vapor de água e a admissão de ar limpo do exterior porque a presença de água em materiais higroscópicos pode criar um meio propício ao desenvolvimento de fungos e bolores.

A definição da taxa de renovação horária nominal, R_{ph}, (para efeitos de cálculo do RCCTE) depende dos seguintes parâmetros:

- Zonamento do território em termos de acção do vento (o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, RSA, divide o país na zona A e B baseando-se na análise de registos meteorológicos);
- Rugosidade aerodinâmica do solo (estabelece três classes de rogusidade em função da localização do edifício em zonas com mais ou menos obstáculos ao vento);
- Altura acima do solo das fachadas (o vento aumenta com a altura);

- Permeabilidade ao ar das caixilharias (define quatro classificações que dependem da qualidade da caixilharia, informação que deve ser fornecida pelo fabricante).

No entanto, se não houver conformidade com o disposto na norma NP 1037-1, é necessário proceder a correcções para compensar:

- a não existência de dispositivos de admissão de ar auto-reguláveis (que permitem manter o caudal de admissão aproximadamente constante, independentemente das diferenças de pressão interior/exterior);
- a não existência de portas vedantes em todo o perímetro da área útil.

Na solução original do edifício em estudo apenas existia ventilação natural e não estava de acordo com a NP 1037-1, pelo que o valor de R_{ph} deve ser quantificado a partir do quadro IV.1 do RCCTE, considerando que não existem dispositivos de admissão de ar na fachada. Vai ser considerada a colocação de portas bem vedadas no perímetro pois esse é um factor importante para o bom funcionamento do sistema de ventilação. O edifício situa-se na região B.

No entanto, como será explicado em 5.12.1, de acordo com a norma EN 12207:1999 [36], as caixilharias a colocar deverão ser, pelo menos, da classe 1. Há grande vantagem para o conforto interior em colocar caixilharias de melhor qualidade mas, neste trabalho procura-se verificar as soluções que permitem cumprir a legislação em vigor e não aquelas que permitem melhor desempenho.

Assim, as perdas de calor resultantes da renovação de ar de cada uma das fracções podem ser calculadas pela equação (5.7) e vão depender do valor obtido para as renovações horárias, da área útil de pavimento e do pé-direito médio de cada uma.

$$Q_v = 0{,}024 \times (0{,}34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d) \times GD \qquad (5.7)$$

em que:

Q_v Perdas de calor por renovação de ar (kWh)

R_{ph} Taxa de renovação nominal (h^{-1})

A_p Área útil de pavimento (m^2)

P_d Pé-direito médio (m)

GD Número de graus-dias de aquecimento

Para a fracção 1 foi obtido um valor de R_{ph} igual a 1,00. É um valor bastante elevado para uma habitação, o que pode potenciar situações de desconforto devido a correntes de ar.

5.13. *ENVIDRAÇADOS*

5.13.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL

O edifício tem vãos de grande dimensão virados a Noroeste e a Sudeste. São compostos por caxilharia de madeira com vidro simples e portadas interiores opacas de madeira.

Para o cálculo das perdas térmicas dos vãos envidraçados de uma fracção autónoma de um edifício em que haja ocupação nocturna importante (como é o caso das habitações), toma-se como base de cálculo

o "coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite", que é a média dos coeficientes de transmissão térmica de um vão envidraçado com a protecção aberta (dia) e fechada (noite).

Quanto a vãos envidraçados, o RCCTE não impõe valor máximo para o coeficiente de transmissão térmica. No entanto, apresenta um coeficiente de transmissão térmica de referência igual a 3,3 [W/(m^2.ºC)] e limitações ao factor solar do vão (com protecções solares activas a 100%) em certas situações, como foi descrito em (5.3.6).

É atribuído um valor de 3,4 [W/(m^2.ºC)] ao coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite de um vão envidraçado com vidro simples e dispositivo de oclusão nocturna com baixa permeabilidade ao ar (considerando que as portadas opacas de madeira quando fechadas formam um espaço de ar fracamente ventilado entre estas e a janela) [19]. Verifica-se então que, por uma escassa diferença, os vãos originais não cumprem o coeficiente de referência do RCCTE. Também é de referir, que uma solução de vidro simples dificilmente cumpre os requisitos acústicos devido ao fraco isolamento sonoro.

O factor solar ($g_\perp$) é o valor que representa a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado em relação à energia solar incidente.

Como será necessário colocar isolante térmico pelo interior das paredes exteriores, para cumprir os requisitos relativos a elementos opacos da envolvente, a classe de inércia obtida para a fracção 1 é "média". Devido à pequena variação de características entre as várias fracções, depreende-se que todas terão esta classificação. Assim, nos vãos que não estejam orientados entre Noroeste e Nordeste e cuja área seja superior a 5% da área útil do espaço que servem, será necessário respeitar um factor solar máximo de 0,56.

O Quadro V.4 do RCCTE apresenta os valores do factor solar de vãos envidraçados com protecção activada a 100% e vidro incolor corrente. Para vãos com vidro simples e portadas de madeira opacas interiores de cor clara (originalmente o edifício tinha a caixilharia e portadas pintadas de branco), define um valor de 0,30 para $g_\perp$.

Quadro 5.9 – Características dos vãos envidraçados que não estão orientados a Norte

Orientação	$A_{vão}$ (m^2)	$A_{útil\ espaço}$ (m^2)	$\%_{Área\ útil}$	$g_\perp$
SE	3,87	29,73	13,0	0,30
SE	2,10	6,62	31,7	0,30
SE	3,13	14,13	22,2	0,30
SE	3,78	15,13	25,0	0,30
SE	2,89	13,38	21,6	0,30
SE	3,26	14,49	22,5	0,30
SE	2,64	12,29	21,5	0,30
SE	2,64	12,66	20,9	0,30

O Quadro 5.9 apresenta as características relevantes dos vãos envidraçados que não estão orientados a Norte. Assim é possível comprovar que, embora os edifícios da baixa Portuense sejam caracterizados

por elevadas áreas envidraçadas e pequenos compartimentos, os factores solares dos envidraçados deste edifício são regulamentares.

5.13.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO TÉRMICA

Há necessidade de substituição total das caixilharias, envidraçados e protecções interiores de madeira. As caixilharias de madeira encontram-se bastante degradadas e em alguns casos os vidros estão partidos.

No dimensionamento é necessário ter em conta os seguintes aspectos (excluem-se os parâmetros acústicos que serão analisados no capítulo seguinte):

- Orientação do vão;
- Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado;
- Factor solar do vão envidraçado;
- Coeficiente de transmissão luminosa do vidro;
- Índice de selectividade (relação entre transmissão luminosa e factor solar);
- Dispositivos de sombreamento;
- Permeabilidade ao ar da caixilharia;
- Estanquidade à água;
- Resistência ao vento.

É necessário encontrar uma solução com um coeficiente de transmissão térmica interessante (que permita reduzir as trocas de calor entre interior e exterior) e que tenha factor solar regulamentar, controlando assim os ganhos solares.

Orientações solares diferentes num mesmo edifício, remetem para a utilização de vidros com diferentes características. Em vãos orientados a Norte, o factor solar não é importante mas convém que haja uma análise exigente quanto ao valor de U. Por outro lado, não é aconselhável que um projectista varie muito as características de um mesmo tipo de elemento na mesma obra para reduzir a probabilidade de erro na fase de construção.

Para reduzir o valor de U dos envidraçados, a melhor solução é a colocação de vidros duplos. Para reduzir os ganhos solares é necessário implementar outras soluções como a utilização de vidros de baixo factor solar e baixas transmitâncias solares. A utilização de vidros de baixa transmitância luminosa prejudica a iluminação natural interior pelo que é necessário um estudo cuidado da solução.

Seria interessante o estudo de dispositivos de sombreamento, no entanto essa análise perde sentido em edifícios em que há limitações à alteração de fachadas.

Viegas [37], define metodologias de selecção de caixilharias tendo em conta permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento, em função da exposição ao vento, que serão utilizadas seguidamente para a especificação das características mínimas que as caixilharias do edifício devem cumprir.

Nas habitações devem ser previstas boas condições de ventilação interior, procurando reduzir a permeabilidade ao ar da caixilharia mas dotando a fachada de mecanismos de ventilação interior. A norma EN 12207:1999 [36] define 5 classes de permeabilidade ao ar, sendo que a classe 0 corresponde a caixilharias não ensaiadas e a classe 4 às caixilharias de menor permeabilidade ao ar. Para a Rua

Mousinho da Silveira (região B e rugosidade I) determina-se classe 1 de permeabilidade ao ar. Apenas a fachada NE pode ser considerada abrigada por ter edifícios vizinhos com, pelo menos a mesma altura a menos de 15 metros.

Em condições correntes, as janelas e portas exteriores devem permanecer estanques à água quando sujeitas à acção combinada do vento e da chuva (o vento pode direccionar a água para caminhos que ela não percorreria por acção da gravidade). Em condições excepcionais de temporal admitem-se infiltrações desde que reduzidas.

A norma EN 12208:1999 [38] define dez classes de estanquidade à água, correspondendo a classe 0 a caixilharias não ensaiadas e a classe 9 aos caixilhos com melhor desempenho relativamente a este parâmetro. O Quadro 5.10 apresenta as classes mínimas referentes à região B e rugosidade I [37]. A sua análise permite concluir que todas as caixilharias terão de respeitar a classe 3, à excepção dos envidraçados a NE que poderão ser da classe 2.

A norma EN 12210:1999 [39] prevê seis classes de pressão, correspondendo a classe 0 a caixilharias não ensaiadas e a classe 5 à maior resistência à pressão do vento. No Quadro 5.11 estão presentes as classes mínimas para a região B e rugosidade I [37]. Pode-se concluir que no edifício todas as caixilharias deverão respeitar a classe 3, excepto as da fachada NE que poderão ser da classe inferior.

Quadro 5.10 – Classes de estanquidade à água das janelas e portas exteriores para edifícios localizados na zona B com rugosidade I

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas
< 10 m	Classe 2	Classe 3
10 m a 15 m	Classe 2	Classe 3
15 m a 18 m	Classe 3	Classe 3

Quadro 5.11 – Classes de resistência ao vento das janelas e portas exteriores para edifícios localizados na zona B com rugosidade I

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas
< 10 m	Classe 2	Classe 3
10 m a 15 m	Classe 2	Classe 3
15 m a 18 m	Classe 2	Classe 3

As folhas móveis das janelas devem cumprir requisitos de resistência à força de manobra, à força no plano da folha e à torção. Na norma EN 13115:2001 [40] estão previstas três classes de acções de manobra (de 0 a 2), cinco classes de resistência no plano da folha e de resistência à torção (de 0 a 4).

As folhas móveis de janelas cuja ruptura e atravessamento por pessoas possa permitir a sua queda em desníveis passíveis de causar ferimentos devem estar classificadas de acordo com o seu desempenho ao choque. A norma EN 13049:2003 [41] define cinco classes de energia de impacto (de 1 a 5).

Segundo Viegas [37], as janelas com as características das do edifício devem cumprir os requisitos mínimos apresentados no Quadro 5.12.

Quadro 5.12 – Classes mínimas de força de manobra, força no plano da folha, força horizontal de torção e resistência ao choque a adoptar nas janelas do edifício

Tipo de janela	Classe de forças de manobra	Classe de força no plano da folha	Classe de força horizontal de torção	Classe de resistência ao choque
Folhas giratórias de eixo vertical com 1 puxador	Classe 2	Classe 3	Classe 2	Classe 5

As portas envidraçadas do edifício também deverão cumprir requisitos de resistência a forças de manobra, força no plano da folha e força de torção e a choque que estão presentes no Quadro 5.13. As classes destes requisitos estão previstas, respectivamente, nas normas EN 12217:2003 [42], EN 1192:1999 [43] e EN 950:1999 [44].

Quadro 5.13 – Classes mínimas de força de manobra, força no plano da folha, força horizontal de torção e resistência ao choque a adoptar nas portas do edifício

Tipo de porta	Classe de forças de manobra	Classe de força no plano da folha	Classe de força de torção	Classe de resistência ao choque
Folhas giratórias de eixo vertical com 1 puxador	Classe 2	Classe 2	Classe 2	Classe 4

Os valores respectivos para cada requisito devem ser fornecidos pelos fabricantes em catálogo, determinados em laboratório de acordo com as normas respectivas.

Assim, resumindo, deverão ser colocados envidraçados com caixilharia de madeira e vidro duplo que respeitem os seguintes requisitos:

- coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado: U=3,3 [W/(m^2.ºC)];
- factor solar do vão envidraçado (com protecções acivadas a 100%): $g_{\perp}$=0,56;
- dispositivos de sombreamento: portadas de madeira maciça pelo interior;
- permeabilidade ao ar da caixilharia: classe 1;
- estanquidade à água da caixilharia: classe 3;
- resistência ao vento: classe 3;
- força de manobra: classe 2;
- força no plano da folha: classe 3;
- força de torção: classe 2;
- resistência ao choque: classe 5.

5.14. *EQUIPAMENTOS*

Uma das grandes parcelas do consumo de energia das habitações é devida à preparação de águas quentes sanitárias (N_{ac}).

Para o cálculo deste valor é necessário conhecer as características dos sistemas de preparação de AQS, nomeadamente a sua eficiência.

No projecto em estudo ainda não estão definidos os equipamentos a integrar no edifício, no entanto, para estes casos, o RCCTE define que se deve considerar a existência de um esquentador a gás natural ou GPL com eficiência de conversão (η_a) igual a 0,5.

Para o cálculo do indicador N_{tc} (necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária) é necessário o conhecimento da eficiência nominal dos equipamentos utilizados para aquecimento (η_i) e arrefecimento (η_v), além dos factores de conversão de energia útil para energia primária (F_{pu}).

Admito que o sistema utilizado para aquecimento é o mesmo que para preparação de AQS (η_i =0,5) e, como o projecto é omisso, sigo a recomendação do RCCTE para considerar que o sistema de arrefecimento é uma máquina frigorífica com eficiência (COP) de 3,0.

O regulamento também indica que as máquinas com alimentação a gás têm F_{pu} igual a 0,086 e nas que são alimentadas a electricidade F_{pu} é igual a 0,290.

5.15. *COLECTORES SOLARES*

Um dos aspectos novos do RCCTE é a obrigatoriedade de recurso a sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de AQS, a menos que se prove que não há exposição solar adequada.

Um sistema solar é um equipamento que aquece a água a partir do sol. Os seus componentes essenciais são:

- Colector solar (para captação);
- Depósito de acumulação (para armazenamento de água quente, deve ter capacidade igual às necessidades diárias e estar isolado termicamente – ver Fig. 5.18);
- Bomba circuladora (quando não há possibilidade de colocar o depósito acima do colector ou quando estão separados por grandes distâncias, geralmente o caso de edifícios multifamiliares);
- Permutador de calor (pode ser interno ou externo ao depósito de acumulação);
- Equipamento convencional de apoio energético (dar apoio ao sistema nos períodos de menor insolação).

A contribuição do sistema de colectores solares para o aquecimento de AQS (E_{solar}) deve ser calculada utilizando o programa "SOLTERM" do INETI (Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação). Os sistemas ou equipamentos devem ser certificados de acordo com as normas e legislação em vigor.

Para as aplicações domésticas de produção de água quente sanitária, armazenamento até 60 ºC, são normalmente utilizados os colectores planos devido à sua simplicidade e relativo baixo custo [46].

Fig. 5.18 – Depósito de acumulação [45]

Deve estar previsto em projecto 1 m^2 de colector por ocupante convencional previsto (ver quadro VI.1 do RCCTE). No caso de edifícios multifamiliares devem ser determinadas as características do colector solar para todos os ocupantes convencionais previsto para edifício e, no fim, dividir a contribuição do sistema solar pelas várias fracções (quem gere o sistema solar é o condomínio).

O regulamento considera exposição solar adequada "a existência de cobertura em terraço ou de cobertura inclinada com água cuja normal esteja orientada numa gama de azimutes de 90º entre sudeste e sudoeste, que não sejam sombreados por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois do nascer do Sol e termina duas horas antes do ocaso".

Do ponto de vista da integração na paisagem e resistência ao vento, sempre que possível, o colector deve ser colocado com a inclinação da água do telhado à qual se deve adaptar.

O edifício terá dois apartamentos T0 e dois apartamentos T2 pelo que estão previstos 10 ocupantes para efeitos de cálculo do E_{solar}. A cobertura tem duas águas orientadas a SW e SE e os edifícios vizinhos têm aproximadamente a mesma cércea, pelo que o edifício se enquadra na definição de exposição solar adequada.

Assim, utilizando o programa "SOLTERM" foi feita uma simulação para o edifício em estudo (cujo relatório se encontra em anexo), utilizando um depósito com capacidade para 500 l e um colector com as seguintes características:

- colector plano;
- rendimento óptico: 82,20%;
- área: 1,9 m^2 (6 módulos: 11,4 m^2).

Nessa simulação foi otido um valor de E_{solar} igual a 5833 kWh para o edifício, o que equivale a um fornecimento de 1166.6 kWh à fracção em estudo (dividindo proporcionalmente pelos habitantes do edifício).

Na utilização destes sistemas deve-se ter cuidado com a localização e isolamento térmico e acústico dos equipamentos. O programa informático prevê que o depósito ocupe uma área de 3,86 m^2, que ainda não está definida em projecto e que, dadas as condicionantes, terá que ser colocado no piso térreo, "roubando" área útil ao espaço comercial.

5.16. *RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO REGULAMENTO À FRACÇÃO 1*

5.16.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS

Nos pontos anteriores foram definidas soluções de reabilitação que permitem cumprir os requisitos mínimos do RCCTE. No entanto, para que uma fracção seja considerado em conformidade com o regulamento, deve cumprir os valores limite das necessidades de energia.

Os índices térmicos fundamentais a quantificar são os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias (N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_{tc}).

No Quadro 5.14 são indicados os valores obtidos para estes índices relativamente à fracção 1 (as folhas de cálculo encontram-se em anexo).

Quadro 5.14 – Valores de cálculo das necessidades nominais de aquecimento, de arrefecimento, de preparação de AQS e das necessidades nominais globais de energia primária

N_{ic} [kWh/(m^2.ano)]	N_{vc} [kWh/(m^2.ano)]	N_{ac} [kWh/(m^2.ano)]	N_{tc} [kgep/(m^2.ano)]
95,22	2,75	34,36	4,62

5.16.2. VERIFICAÇÃO DO RCCTE

A metodologia de verificação do RCCTE pressupõe:

- $N_{ic} \leq N_i$
- $N_{vc} \leq N_v$
- $N_{ac} \leq N_a$
- $N_{tc} \leq N_t$

No Quadro 5.15 são indicados os valores obtidos para estes índices relativamente à fracção 1 (as folhas de cálculo encontram-se em anexo).

Assim, os valores calculados, para a fracção autónoma em estudo, demonstram que o RCCTE não foi satisfeito, dado que o valor limite das necessidades nominais de aquecimento não é respeitado. Também é possível verificar que a fracção terá baixas necessidades de energia para arrefecimento.

Quadro 5.15 – Valores de cálculo e de referência das necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento, de preparação de água quente sanitária e das necessidades nominais anuais globais de energia primária

Valor de Cálculo	Valor limite	Razão entre valor de cálculo e valor limite (%)
Nic = 95,2 kWh/(m^2·ano)	Ni = 68,1 kWh/(m^2·ano)	139,8
Nvc = 2,8 kWh/(m^2·ano)	Nv = 16,0 kWh/(m^2·ano)	17,2
Nac = 34,4 kWh/(m^2·ano)	Na = 43,0 kWh/(m^2·ano)	79,9
Ntc = 4,6 [kgep/(m^2·ano)]	Nt = 6,6 [kgep/(m^2·ano)]	70,4

A Fig. 5.19 permite analisar o peso que o aquecimento (Inverno), arrefecimento (Verão) e produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS) têm no indicador de necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}). É na produção de AQS que a fracção vai consumir mais quilogramas equivalentes de petróleo.

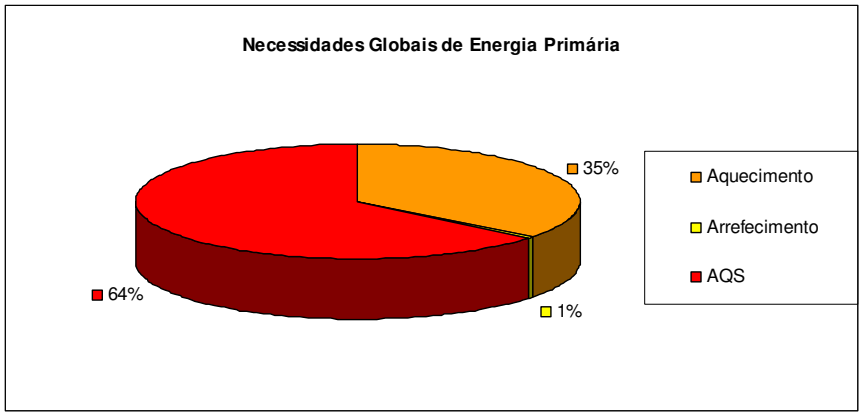


Fig. 5.19 – Distribuição das necessidades globais de energia primária

A Fig. 5.20 demonstra o peso que os diferentes elementos da envolvente têm nas perdas totais de Inverno da fracção. Verifica-se que a renovação de ar é a parcela que mais contribui para as necessidades de energia para manter a temperatura interior de referência. A envolvente exterior também tem um grande contributo nas perdas.

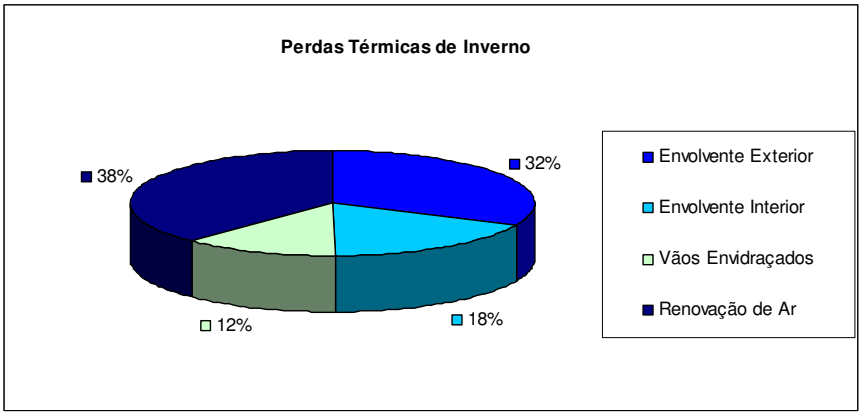


Fig. 5.20 – Distribuição das perdas térmicas de Inverno

5.16.3. CORRECÇÕES

As necessidades de energia para aquecimento são 39,8% superiores ao valor limite regulamentar para a fracção pelo que é necessário implementar medidas para reduzir as perdas em todos os factores, com especial incidência nas perdas devidas a ventilação e nas pela envolvente exterior.

Para diminuir as perdas por ventilação é necessário reduzir as renovações horárias.

O parâmetro que pode ser alterado é a classe de permeabilidade ao ar das caixilharias. Mesmo com a colocação de caixilharias da classe 3, R_{ph} apenas diminui de 1,00 para 0,90, o que significa uma redução de 6,8% da anterior relação, claramente insuficiente para o objectivo pretendido.

Reduzir as perdas pela envolvente exterior opaca tem a grande desvantagem de interferir directamente com a área útil da fracção, uma vez que a única maneira é aumentar o isolamento pelo interior. Substituindo a solução obtida em 5.5.2 por placas de gesso cartonado e XPS com 42,5 cm de espessura (ver Quadro 17), obtém-se uma redução de 10,0%. O facto de não encontrar catálogos comerciais com maiores espessuras de isolamento limita a hipótese de maior redução das perdas pela envolvente opaca exterior.

Reduzir o coeficiente de transmissão térmica do vidro para 2,0 W/(m^2.ºC) permite reduzir em 12,8% a razão entre o valor de cálculo das necessidades nominais de aquecimento e o valor limite.

Estas três medidas conjuntas apenas permitem obter uma redução de 29,6%, valor bastante afastado dos 39,8% pretendidos, pelo que se pode concluir que a redução de perdas pretendida é de difícil obtenção e para tal é necessário um investimento inicial bastante elevado e perda de valor comercial do imóvel devido à redução da área útil da fracção.

6

ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO RRAE

6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será analisada a aplicabilidade, de forma análoga ao capítulo anterior, do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 129/2002 de 1 de Maio) ao caso em estudo.

A verificação de conformidade é feita em função do tipo de edifício, sendo descriminados edifícios:

- Habitacionais e mistos (artº 5º);
- Comerciais, industriais e de serviços (artº 6º);
- Escolares, de investigação ou leitura (artº 7º);
- Hospitalares (artº 8º);
- Recintos desportivos (artº 9º);
- Estações de transporte de passageiros (artº 10º).

Os parâmetros utilizados pelo RRAE são:

$D_{2m,n,w}$	(dB)	Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea normalizado com o exterior
$D_{n,w}$	(dB)	Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea normalizado
$L'_{n,w}$	(dB)	Índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão
L_{Ar}	(dB)	Nível de avaliação de ruído particular de equipamentos
T	(s)	Tempo de reverberação

Para analisar a aplicabillidade do RRAE ao edifício em estudo é necessário numa primeira fase proceder à caracterização acústica do local, pelo que se utilizou o extracto do mapa de ruído presente na Planta de Condicionantes (elemento constituinte do Plano Director Municipal do Porto). A Rua Mousinho da Silveira está classificada no referido documento como zona mista.

A determinação dos parâmetros acústicos está directamente relacionada com as características de ventilação dos espaços, pelo que serão mencionados sempre que conveniente os requisitos de ventilação a respeitar.

6.2. *REQUISITOS PARA EDIFÍCIOS HABITACIONAIS OU MISTOS*

Os Quadros 6.1 e 6.2 sintetizam as exigências do RRAE para, respectivamente, elementos construtivos exterioes e interiores de edifícios como o em estudo, tendo também informação sobre os requisitos de ventilação, nomeadamente o caudal de renovação de ar por hora por pessoa (Quadro IV.2 do RSECE).

Quadro 6.1 – Requisitos acústicos e de ventilação de elementos construtivos exteriores em edifícios de habitação

Zona	Comportamento Acústico	Ventilação
	$D_{2m,n,w}$ (mín) (dB)	Q (m^3/h.ocupante)
Sensível	28	30
Mista	33	30

Quadro 6.2 – Requisitos acústicos e de ventilação de elementos construtivos interiores em edifícios de habitação

Local	Comportamento Acústico		Ventilação
	$D_{n,w}$ (mín) (dB)	$L'_{n,w}$ (máx) (dB)	Q (m^3/h.ocupante)
Entre quartos e/ou zonas de estar de fogos diferentes	50	60	30
Entre quartos e/ou zonas de estar e zonas comuns de circulação	48	-	30
	40 (com ascensores)		
	40 (garagem)		
Entre fogos e locais destinados a indústria, comércio ou serviços	58	50	30

O Quadro 6.3 apresenta os requisitos do RRAE para ruídos de equipamentos em edifícios de habitação.

Para a verificação de conformidade do edifício, ou qualquer um dos seus fogos, há ainda a introdução de um "Factor de Incerteza", I, que que deve ser somado aos valores obtidos como apresentado no Quadro 6.4.

No que toca ao isolamento a sons aéreos e de percussão e ao nível de avaliação do ruído de equipamentos, esta introdução da incerteza na fase de projecto (que corresponde a um "erro" de 50 % da energia sonora) pode traduzir uma perda de exigência do regulamento pois permite uma grande diferença de comportamento entre o projectado e o construído.

Quadro 6.3 – Requisitos do RRAE para ruídos de equipamentos em edifícios de habitação

Local	Tipo de funcionamento do equipamento	Comportamento Acústico
		L_{Ar} (máx) (dB)
Quartos e zonas de estar	Intermitente	35
	Contínuo	30
	Grupo gerador eléctrico de emergência	40

Quadro 6.4 – Valores do factor I

Parâmetro	I (dB)
$L'_{n,w}$ e L_{Ar}	- 3
$D_{n,w}$ e $D_{2m,n,w}$	+ 3
T	- 25% (do limite regulamentar)

O RRAE é um regulamento de verificação de conformidade "in situ", no entanto, essa conformidade tem que ser sustentada desde a fase de projecto através de pressupostos de dimensionamento.

6.3. *PAREDES EXTERIORES*

6.3.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL

O isolamento a sons aéreos dos elementos constituintes da fachada é um dos aspectos mais importantes na análise do conforto acústico de um edifício, dos quais os elementos de maior massa (como as paredes exteriores) têm um papel preponderante.

Estes elementos devem atenuar a transmissão de sons provenientes do exterior que, em regra, costumam dever-se à circulação rodoviária, mas que podem variar no tipo de fonte e composição espectral (distribuição de níveis de pressão sonora em função da frequência).

No estudo do comportamento acústico da envolvente é necessário estar alerta para o facto de a realização de fachadas estanques (que permitem um melhor isolamento do ponto de vista acústico) levanta problemas ao nível da ventilação dos espaços.

O RRAE define como limite mínimo para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar, $D_{2m,n,w}$, o valor de 33 dB, uma vez que o edifício se situa numa zona mista. Para o seu cálculo deve ser considerada a participação dos diferentes elementos (opacos e não opacos).

Começando por analisar a solução construtiva original do edifício, tratava-se de uma fachada em alvenaria simples de granito aparelhada com 35 cm de espessura, 3 cm de reboco pelo exterior e 2 cm de estuque pelo interior (ver Fig. 5.5). A fachada tem também áreas envidraçadas de vidro simples e caixilharia de madeira com elevada permeabilidade ao ar (classe 1 – ver 5.13.2).

Para a determinação do Índice de Isolamento Sonoro (R_w) da parede de alvenaria de pedra rebocada, foi considerado que esta apresenta aproximadamente as mesmas características de isolamento acústico

que uma parede de betão maciça. Patrício [10] apresenta para uma parede de betão armado com 26 cm de espessura um valor de 61 dB para o referido índice. Este valor é conservativo pelo que vai ser adoptado para as paredes exteriores.

Oliveira de Carvalho [12] propõe para um vidro simples (8 mm) com caixilho pesado R_w=31 dB. Este valor é agravado em caso de presença de aberturas para ventilação reguláveis no caixilho.

Verificam-se então características de isolamento acústico significativamente diferentes entre os dois elementos distintos das fachadas. Esta disparidade deve ser reduzida através da colocação de envidraçados com melhores características acústicas pois está-se a desperdiçar a capacidade de isolamento do elemento com elevada massa superficial e, se a área de envidraçados for significativa (como é nas salas), pode não haver conformidade com o RRAE.

6.3.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA

Em 5.13.2 foi encontrada uma solução de reabilitação térmica de colocação de envidraçados com caixilharia de madeira e vidro duplo que, só por si, não confere melhores características acústicas à solução, podendo mesmo piorá-las, devendo os vidros ter sempre espessuras diferentes para limitar o efeito de perda de isolamento acústico nas médias e altas frequências.

Com o objectivo de aumentar o índice de redução sonora do envidraçado, podem ser utilizados vidros com melhores características (vidro laminado), aumentar a sua espessura ou optar por uma solução de janela dupla. No entanto, a duplicação de janelas é a solução que mais descaracteriza a fachada pelo que as opções vidro duplo laminado ou o aumento da espessura dos panos se tornam mais atractivas.

A título de exemplo, o Quadro 6.5 apresenta valores retirados de um catálogo comercial para diferentes espessuras de um envidraçado composto por vidro duplo (pano interior em vidro laminado) que cumprem os requisitos da norma EN 1279 e têm marcação CE.

Quadro 6.5 – Características de envidraçados retiradas de catálogo comercial [47]

Composição (mm)	Peso (Kg/m^2)	U [W/(m2.ºC)]	g⊥	Rw (dB)
6+12+2x4	35,5	2,06	0,61	38
8+12+2x4	40,5	2,06	0,58	40
10+12+2x4	46	1,94	0,57	42

Através da sua análise pode-se comprovar que qualquer uma destas soluções apresenta valores mais interessantes para R_w, mas também boas características térmicas.

Vai ser estudada a solução com R_w=42 dB por ser a que permite ter U≤2,0 [W/(m^2.ºC)] (ver 5.15.3). É necessário ter consciência que esta solução de envidraçado se torna bastante mais dispendiosa que a inicial de vidro simples ou mesmo um vidro duplo sem estas características de redução sonora ou resistência térmica. No entanto, também é verdade que é um investimento que pode ser amortizado através da poupança em energia para aquecimento e que se vai traduzir numa situação de maior conforto interior por permitir uma maior redução da transmissão sonora por via aérea proveniente de uma rua bastante movimentada.

6.4. *COBERTURAS*

Em termos de acústica, as coberturas servem essencialmente de protecção a ruído de tráfego aéreo, embora as coberturas inclinadas também possam permitir a transmissão de outros ruídos, como o ruído de tráfego. Também pode ocorrer a colocação de equipamentos ruidosos sobre a cobertura, casos que devem ser analisados com cuidado.

No projecto de reabilitação do edifício em estudo há dois tipos de cobertura: a cobertura inclinada sobre o piso 3 e a cobertura em terraço sobre parte do piso 2.

É importante referir que a cobertura inclinada não tem nenhuma água orientada para a rua com trânsito automóvel e o tráfego aéreo está proibido de sobrevoar a cidade pelo que o desempenho acústico desta em relação a sons aéreos não é relevante comparativamente com o resto dos elementos. No entanto, deve haver sempre protecção em relação a ruído de impacto (como por exemplo água da chuva).

Uma cobertura inclinada com desvão habitado e revestimento descontínuo deve ter um forro contínuo pelo interior devido às juntas de descontinuidade entre as placas de ardósia e a sua reduzida massa por unidade de área. Na solução obtida em 5.6.2, já está prevista a colocação de um forro em placas de gesso cartonado.

Não foi possível encontrar na bibliografia da especialidade um índice de redução sonora para a solução determinada em 5.6.2, no entanto Martins da Silva [11] propõe para estes casos a instalação de um sistema de duas placas de gesso cartonado com interposição de uma tira de aglomerado composto de cortiça e recebendo material absorvente sonoro no tardoz.

Segundo o mesmo autor, considerando um isolamento sonoro inicial de 25 dB, a instalação de elementos correctores constituídos por painéis conforme indicado conduzirá a valores variáveis de 45 a 50 dB para esse índice.

No caso da cobertura em terraço, considera-se que a laje (solução obtida em 5.6.2), devido à sua elevada massa superficial, garante o isolamento necessário para cumprir o requisito de sons de condução aérea entre o exterior e quartos ou zonas de estar ($D_{2m,n,w} \geq 33$ dB). No entanto, como este espaço de terraço pertence a uma fracção, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão ($L'_{n,w}$) proveniente de uma percussão normalizada não deve exceder 60 dB.

Pode-se considerar que se trata de um piso flutuante pois a betonilha armada que se encontra sobre as telas de impermeabilização não está rigidamente ligada aos elementos horizontais ou verticais.

Sabe-se que uma laje aligeirada de betão com 20 cm de espessura (aproximadamente 250Kg/m^2 de massa superficial) e sem revestimento apresenta $L_{n,w}$=77 dB [10]. Martins da Silva [11] refere que uma lajeta flutuante de 4 cm de espessura com a face aparente revestida por tacos de pinho sobre feltro betuminoso com regranulado de cortiça (66 Kg/m^3) confere ΔL_w= 20 dB. Embora se esteja a fazer muitas simplificações, o regulamento permite introduzir uma incerteza de 3 dB pelo que se considera que a solução presente na Fig. 5.12 está em conformidade com os requisitos do RRAE.

6.5. *ELEMENTOS CONSTRUTIVOS INTERIORES*

6.5.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL

Os elementos construtivos interiores estão sujeitos a dois tipos de propagação de ruídos: por condução e percussão.

Quanto aos elementos de compartimentação vertical, apenas é necessário verificar o índice de redução sonora a sons de condução aérea, uma vez que se considera que os impactos nestes são ocasionais e pouco frequentes.

O regulamento estipula que estes elementos de compartimentação devem garantir um índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado ($D_{n,w}$), mínimo de:

- 50 dB entre compartimentos de um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo;
- 48 dB entre locais de circulação comum do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos;
- 58 dB entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar dos fogos.

No edifício em estudo não existem paredes a separar locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar dos fogos.

As paredes que separam quartos e salas dos edifícios adjacentes são as únicas a ter de cumprir o primeiro requisito. Tratam-se de paredes de meação em granito com elevada espessura (pelo menos 40 cm). Como já foi referido na análise de paredes exteriores, apresentam uma redução sonora de, pelo menos, 61 dB. Considero então que estão em conformidade com o regulamento, principalmente porque ao nível dos apartamentos não estão instaladas fracções com utilizações potencialmente ruidosas.

No segundo caso, o projecto de reabilitação prevê duas situações que devem cumprir estes requisitos: as paredes de separação entre a zona de circulação comum e o quarto e sala do T2 do piso 2. Segundo o projecto, estes elementos correspondem a uma parede em alvenaria com tijolo de 20 rebocada em ambas as faces. Na literatura não foi encontrado valor para o índice de isolamento sonoro de uma parede com estas características. No entanto, Martins da Silva [11] apresenta um R_w de 46 dB para uma parede de alvenaria de tijolo com 13 cm de espessura pelo que considero que uma parede com practicamente o dobro da espessura verifica o limite mínimo de 48 dB para $D_{n,w}$ (podendo não verificar se houver elevado valor de transmissões marginais ou se a área de parede for muito superior a 10 m^2).

Quanto à compartimentação horizontal, o projecto de arquitectura prevê piso flutuante com soalho de madeira flutuante.

Tal como a compartimentação vertical, estes elementos devem assegurar um índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado ($D_{n,w}$), mínimo de:

- 50 dB entre compartimentos de um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo;
- 48 dB entre locais de circulação comum do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos;
- 58 dB entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar dos fogos.

Também devem garantir que no interior de quartos ou zonas de estar dos fogos, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão ($L'_{n,w}$) não exceda:

- 60 dB se o som for proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de outros fogos ou locais de circulação comum;
- 50 dB se o som for proveniente proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão.

No edifício não existe nenhum pavimento a separar locais de circulação comum do edifício ou locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão de quartos ou zonas de estar dos fogos. Como na generalidade dos casos este tipo de usos se localiza sob fracções de habitação, alguns municípios exigem a verificação do isolamento sonoro a sons de percussão proveniente de uma percussão normalizada sobre o pavimento do local destinado a comércio em relação aos quartos ou zonas de estar da fracção sobrejacente. No entanto, Oliveira de Carvalho considera que tal prática é tecnicamente errada uma vez que parte do som que se mede deve-se a transmissão aérea. Pode-se considerar que se deve instalar no piso térreo um revestimento de piso flutuante sobre apoios resilientes, desligado dos elementos verticais da envolvente ou um revestimento de piso de resiliência elevada (por exemplo alcatifa) para reduzir o som de impacto.

6.5.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA

Como já foi referido, uma laje aligeirada de betão com 20 cm de espessura e sem revestimento apresenta $L_{n,w}$=77 dB [10] (EN 12354-2). Então, para este elemento conseguir atingir um valor regulamentar de 60 dB, provavelmente é necessária a combinação de pelo menos dois sistemas atenuadores (piso flutuante, revestimento resiliente ou tecto falso).

Patrício [10] apresenta ΔL_w=20 dB(1/3 oitava) para um sistema flutuante constituído por lajeta de betão de 0,04 m de espessura, armada com malha electrosoldada, integrando revestimento de piso final (piso flutuante) de madeira, constituído por réguas de madeira com um sistema de encaixe nos bordos com 6 mm de espessura, disposto sobre camada resiliente de feltro de betume oxidado, que integra granulado de cortiça na sua face inferior (ver Fig. 6.1).

O mesmo autor indica valores de R_w entre 50 e 55 dB para uma solução de placa de betão leve com pavimento em soalho flutuante. Devido à elevada massa superficial das paredes exteriores, as transmissões marginais por estes elementos não serão muito significativas.

Considera-se então que a compartimentação horizontal entre fogos está em conformidade com o RRAE.

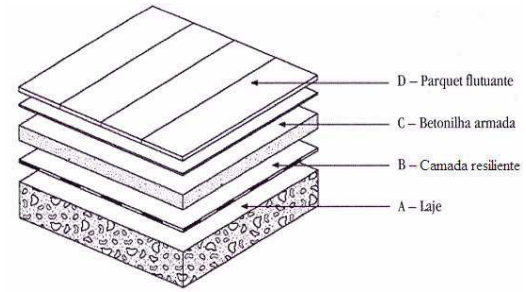


Fig. 6.1 – Solução de pavimento com lajeta flutuante com revestimento flutuante (adaptado de Patrício [10])

É necessário ainda verificar o desempenho do elemento de separação entre o piso 1 e a zona de comércio.

Em 5.8.2 foi determinada uma solução de reabilitação térmica deste elemento que consistia na duplicação do elemento através da construção de tecto falso impermeável ao ar, preenchendo parcialmente o espaço intermédio com 3 cm de lã mineral (ver Fig. 5.15).

Patrício [10] também refere que a execução de um sistema de tecto falso, subjacente a laje de betão armado com 14 cm de espessura, com 10 cm de caixa de ar integrando placas rígidas de lã de rocha aglutinadas com resina termo-endurecida, com massa volúmica de 40 kg/m^3 e espessura de 4 cm conduz a ΔR_w de 8 dB e $\Delta L_{n,w}$ de 19 dB(1/3 oitava) (ver Fig. 6.2).

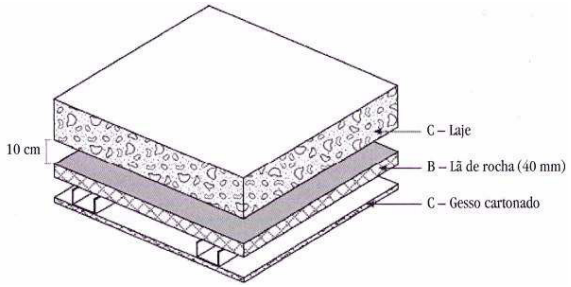


Fig. 6.2 – Solução de laje com tecto falso (adaptado de Patrício [10])

Assim, tendo em conta que as aproximações feitas foram conservativas e aumentando a espessura de lã de rocha no tardoz do tecto falso para 4 cm, considero que a compartimentação horizontal entre fogos e comércio está em conformidade com o RRAE.

6.6. *EQUIPAMENTOS*

Não está previsto que o edifício venha a dispor dos equipamentos que geralmente geram maior incomodidade para os habitantes (sistemas AVAC, grupos hidropessores ou ascensores).

No entanto, é necessário ter em atenção o funcionamento do sistema solar para aquecimento de AQS e o ruído gerado pelas instalações de abastecimento de água e drenagem de águas residuais. Por outro lado, também deve ser analisado o uso a dar à fracção do R/C para serem previstas em fase de projecto as medidas de condicionamento que permitem obter a licença de utilização.

No caso do sistema solar, a etiquetagem dos equipamentos deve fornecer a sua potência sonora, permitindo assim a estimação do nível de ruído estabelecido no compartimento onde este se encontra e adicionando as correcções tonais ou impulsivas respectivas, para que seguidamente se diminua do valor do índice de isolamento sonoro a sons aéreos do elemento de compartimentação que separa o local do ruído do local de avaliação (quarto ou zona de estar) e se verifique as disposições regulamentares.

Como ainda não está definido o local a colocar esses aparelhos nem as suas características não é possível efectuar a análise. No entanto uma medida que deve ser sempre tida em consideração é prever a colocação de apoios resilientes (corte elástico entre a sua estrutura de apoio e os elementos estruturais ou de compartimentação).

Quanto ao ruído de instalações, pode ser devido ao regime de escoamento ou à sua utilização (por exemplo, puxar o autoclismo). Alguns dos cuidados a ter em atenção no dimensionamento das instalações são [10]:

- Correcto dimensionamento dos caudais a escoar;

- Limitar a velocidade do escoamento (v≤1,5 m/s para não se estabelecer o regime turbulento);
- Ter cuidado na escolha do traçado das canalizações (devem ser utilizados percursos simples, instalar curvas em vez de joelhos e derivações a 45º em vez de Tês);
- Recorrer a declives elevados (≥1 mm/m) para evitar a presença de ar ou vapor nas canalizações;
- Prever juntas de dilatação para as variações de temperatura das canalizações de água quente;
- Em caso de existência de sistemas sobrepressores, colocar se necessário material resiliente nos pontos de contacto das tubagens com a estrutura.

6.7. *RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO REGULAMENTO À FRACÇÃO 1*

6.7.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS

Na verificação de conformidade do RRAE à fracção 1 vão ser utilizados os valores obtidos por analogia nas alíneas anteriores, uma vez que não foram encontradas na literatura da especialidade as soluções construtivas do edifício.

Para que esta fracção seja considerado em conformidade com o regulamento, deve cumprir os valores limite para transmissão de sons aéreos e de percussão para todos os elementos de compartimentação de quartos ou zona de estar em contacto com o exterior, outros fogos ou com a fracção de comércio no R/C. No Quadro 6.6 são indicados os valores obtidos para os requisitos exigidos pelo RRAE relativamente à fracção 1 (as folhas de cálculo encontram-se em anexo).

Quadro 6.6 – Valores de cálculo para os diferentes requisitos acústicos dos elementos de compartimentação da fracção 1

Requisito	Valor de cálculo
$D_{2m,n,w}$ entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar do fogo	41 dB
$D_{n,w}$ entre compartimentos de um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo	57 dB (parede de meação)
	47 dB (laje)
$D_{n,w}$ entre locais do edifício destinado a comércio e quartos ou zonas de estar do fogo	55 dB
$L'_{n,w}$ proveniente de uma percussão generalizada sobre pavimentos de outros fogos	59 dB

6.7.2. VERIFICAÇÃO DO RRAE

O Quadro 6.7 apresenta os valores de cálculo e respectivos requisitos do RRAE para os diferentes elementos.

Quadro 6.7 – Valores de cálculo e requisitos acústicos do RRAE

Requisito	Valor de cálculo	Valor limite (+I)
$D_{2m,n,w}$ entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar do fogo	41 dB	33 (-3) dB
$D_{n,w}$ entre compartimentos de um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo	57 dB (parede de meação) 47 dB (laje)	50 (-3) dB
$D_{n,w}$ entre locais do edifício destinado a comércio e quartos ou zonas de estar do fogo	55 dB	58 (-3) dB
$L'_{n,w}$ proveniente de uma percussão generalizada sobre pavimentos de outros fogos	59 dB	60 (+3) dB

Considera-se correcto utilizar a margem de incerteza num processo com tantas simplificações pelo que se conclui que a fracção está em conformidade com o RRAE.

7
CONCLUSÕES

7.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Parte do nosso edificado está em avançado estado de degradação, pelo que apenas se considera a hipótese de reabilitação devido ao seu valor histórico, cultural ou social.

A análise do comportamento de um edifício e do conforto higrotérmico deve ser feita inter-relacionando as várias exigências (térmica, acústica, ventilação,…) para que o resultado corresponda às necessidades funcionais dos ocupantes.

Contribuir para a diminuição do consumo energético do sector da habitação é um objectivo que permite também melhorar o conforto dos habitantes e corrigir possíveis situações patológicas (aumentando a temperatura interior e repensando o sistema de ventilação).

As exigências de conforto dos utilizadores estão a aumentar pelo que os edifícios a reabilitar devem estar preparados para um desempenho em conformidade com as suas expectativas numa perspectiva de eficiência enegética.

O edifício estudado apresenta uma deficiente qualidade térmica e energética evidenciada pela insuficiência de isolamento térmico da envolvente, pelo que foi necessário estudar soluções que permitam aumentar a resistência térmica dos elementos.

Como se trata de um edifício localizado numa zona histórica e com grande valor patrimonial, o paramento exterior tem que ser mantido, tornando o reforço do isolamento pelo interior a única opção possível (em prejuízo da inércia térmica e de área útil interior). Foi estudada a solução de reforço pelo interior com painéis isolantes sem caixa de ar, em que os painéis são colados directamente à parede, porque é menos prejudicial para a área útil dos compartimentos afectos.

Concluiu-se que são necessárias elevadas espessuras de isolante térmico para que os diversos elementos opacos garantam os valores de referência do RCCTE para o coeficiente de transmissão térmica.

O valor de R_{ph} (taxa de renovação horária nominal) obtido para a fracção 1 é bastante elevado para uma habitação, o que sugere que em edifícios não reabilitados os utilizadores experimentam situações de desconforto devido a correntes de ar. Este valor é justificado pelo agravamento que o RCCTE obriga a fracções sem dispositivos de admissão de ar auto-reguláveis e pela elevada permeabilidade ao ar de caixilharias de madeira.

Um dos aspectos novos do RCCTE é a obrigatoriedade de recurso a sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de AQS. O edifício tem exposição solar adequada, no entanto, é discutível

a instalação destes equipamentos na cobertura de um edifício em zona classificada. Além disso, na utilização destes sistemas deve-se ter cuidado com o isolamento térmico e acústico dos equipamentos e com a complexidade de introduzir este sistema em operações de reabilitação, principalmente em edifícios de habitação multifamiliar em que há necessidade de um grande reservatório. Através de uma simulação com o programa informático "SOLTERM" foi possível determinar que o depósito de um sistema solar térmico para aquecimento de AQS ocuparia uma área de 3,86 m^2, que ainda não está definida em projecto e que, dadas as condicionantes, teria que ser colocado no piso térreo, "roubando" área útil ao espaço comercial.

Os valores calculados para a fracção autónoma estudada demonstram que, mesmo após o reforço do isolamento dos vários elementos da envolvente para cumprir os valores mínimos obrigatórios, esta não está em conformidade com o RCCTE, dado que o valor limite das necessidades nominais de aquecimento não é respeitado ($N_{ic}>N_i$). Também é possível verificar que a fracção terá reduzidas necessidades de energia para arrefecimento e que é na produção de AQS que a fracção vai consumir mais quilogramas equivalentes de petróleo.

A renovação de ar é a parcela que mais contribui para as necessidades de energia para manter a temperatura interior de referência mas a envolvente exterior também tem um grande contributo nas perdas.

Para que a fracção esteja em conformidade com o RCCTE, as necessidades de energia para aquecimento não devem exceder o valor de referência. Para a fracção 1, a razão entre o valor de cálculo das necessidades nominais de aquecimento e o valor de referência é igual a 139,8%, pelo que foi simulada a implementação das seguintes medidas para reduzir as perdas, com especial incidência nas perdas devidas a ventilação e nas perdas pela envolvente exterior:

- Colocação de caixilharias da classe 3 de permeabilidade ao ar;
- Aumento da espessura do reforço de isolamento pelo interior das paredes exteriores para placas de gesso cartonado e XPS com 42,5 cm de espessura;
- Redução do coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados para 2,0 [W/(m^2.ºC)].

Estas três medidas em conjunto apenas permitem reduzir a anterior razão para 110,2%, valor bastante afastado do pretendido, pelo que se pode concluir que a conformidade regulamentar é de difícil obtenção e que, para tal, é necessário um investimento inicial bastante elevado e perda de valor comercial do imóvel devido à redução da área útil da fracção.

Quanto às paredes exteriores, verificam-se características de isolamento acústico significativamente diferentes entre os dois elementos distintos (parede de alvenaria de granito e envidraçados). Como a parede de alvenaria é bastante espessa (35 cm), os problemas acústicos verificam-se no fraco isolamento dos vãos (caixilharia de madeira com vidro simples). Convém reduzir esta disparidade, através da colocação de envidraçados com melhores características acústicas pois está-se a desperdiçar a capacidade de isolamento do elemento com elevada massa superficial e, se a área de envidraçados for significativa não há conformidade com o RRAE.

A solução de envidraçado escolhida apresenta bom desempenho térmico e acústico (R_w=42 dB e U=1,94 [W/(m^2.ºC)]) mas torna-se bastante mais dispendiosa que a solução inicial de vidro simples ou mesmo um vidro duplo sem as mesmas características de redução sonora ou resistência térmica, pelo que este investimento inicial é pouco atractivo para os donos de obra. No entanto, também é verdade que é um investimento que pode ser amortizado através da poupança em energia para aquecimento e que se vai traduzir numa situação de maior conforto interior por permitir uma maior redução da transmissão sonora por via aérea proveniente de uma rua bastante movimentada.

O projecto de reabilitação prevê a substituição total da compartimentação interior, sendo a solução construtiva inicial em tabiques das paredes em contacto com zonas de circulação e limítrofes dos fogos alterada para paredes de tijolo de 20 e os pavimentos com estrutura de madeira e soalho trocados por lajes aligeiradas. Esta alteração beneficia muito o cumprimento dos requisitos do RRAE, uma vez que as soluções iniciais apresentam invariavelmente mau isolamento quer a ruído de propagação aérea quer de percussão. No caso da compartimentação horizontal é necessário recorrer a um sistema atenuador de ruído de percussão composto por laje flutuante em betonilha armada com revestimento de piso em soalho flutuante. Geralmente só so opta por estas alterações quando o edifício está em avançado estado de degradação (como é o caso) por obrigarem a grande intervenção e por descaracterizarem o edifício em relação aos métodos construtivos tradicionais.

Outro problema que se apresentou devido à alteração funcional do edifício, foi a necessidade de prever o isolamento necessário entre o estabelecimento comercial no piso térreo e os compartimentos adjacentes com requisitos à luz do RRAE. Foi estudada uma solução de duplicação do elemento através de construção de tecto falso impermeável ao ar (com suspensão elástica), recebendo 4 cm de lã mineral no tardoz.

O projecto de reabilitação apresentava elementos com melhor desempenho aos requisitos acústicos do que aos térmicos. Esta conclusão pode ser justificada pelos elementos "pesados" da envolvente e pela substituição dos pavimentos de madeira por lajes aligeiradas de betão com pisos flutuantes.

Em suma, é possível concluir que, para que o edifício cumpra os requisitos de ambos os regulamentos, é necessário recorrer a soluções que obrigam a grande investimento inicial e grande volume de intervenção tornando-se muito pouco atractivas para quem investe.

Os regulamentos não foram pensados para edifícios a reabilitar. Numa lógica de apoio à reabilitação em grande escala, que a Zona Histórica do Porto exige (bem como o património edificado português de construção anterior ao aparecimento dos referidos regulamentos em geral), é aconselhável que estes sejam revistos para aplicação em zonas históricas numa óptica de condescendência, sob pena de nunca serem aplicados e perda total de consonância com a realidade. O licenciamento não deve ser uma perturbação pelo que deve ser clarificado.

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Destacam-se os seguintes possíveis estudos complementares neste domínio:

- Utilizar programas de cálculo em regime variável para analisar a transmissão de calor ao longo do dia dos diferentes elementos com as soluções propostas e comparar com os valores obtidos pelo método de cálculo do RCCTE (regime permanente);
- Analisar o desempenho acústico do edifício com o auxílio de programas para análise de isolamento sonoro, de acordo com as propriedades de cada componente;
- Estudo do sistema de ventilação natural do edifício e consequente análise da qualidade do ar interior;
- Analisar a potencialidade de ocorrência de condensações nos diversos elementos, prevendo soluções que diminuam o risco de aparecimento de patologias.

BIBLIOGRAFIA

[1] MANSO, A. da Costa. *Conservação e reabilitação de edifícios. Avaliação de custos e recentes desenvolvimentos*. 2º Simpósio Internacional sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação dos Edifícios, 6 a 8 de Novembro de 2003, Lisboa, LNEC, Lisboa.

[2] Instituto da Soldadura e Qualidade. Regulamentação energética em edifícios. In *Térmica dos Edifícios* (páginas 423-438), Instituto da Soldadura e Qualidade, Lisboa, 1996.

[3] PAIVA, J. A. Vasconcelos de. *Medidas de reabilitação energética em edifícios*. Reabilitação energética de edifícios em zonas urbanas: o caso da habitação social, Março de 2000, Lisboa, LNEC, Lisboa.

[4] PAIVA, J. A. Vasconcelos de, AGUIAR, José, PINHO, Ana. *Guia técnico de reabilitação habitacional*. INH, LNEC, Lisboa, 2006.

[5] http://www.estig.ipbeja.pt/~rasmi/seminarios/1_ciclo/acepe.pdf. 03/11/2007.

[6] FERREIRA, Tiago, *Sobre a Utilização do Sistema de Isolamento Térmico pelo Interior em Edifícios Residenciais em Portugal, Análise do Desempenho Higrotérmico*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2006

[7] http://acermi.cstb.fr/rt/exemple2.pdf. 28/01/2008.

[8] FREITAS, Vasco Peixoto de, PINTO, Manuel. *Metodologia para a selecção exigencial de isolantes térmicos* – Nota de Informação Técnica – NIT001. LFC (FEUP), Porto, 2000.

[9] PORTUGAL – Leis, Decretos, etc. *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* (Decreto-Lei nº 129/2002, de 11 de Maio). Lisboa: Imprensa Nacional, 2002.

[10] PATRÍCIO, Jorge. *Acústica nos edifícios*. Verlag Dashöfer, Lisboa, 2007.

[11] MARTINS DA SILVA, P.. *A componente acústica na reabilitação de edifícios de habitação*. LNEC, Lisboa, 1998.

[12] OLIVEIRA DE CARVALHO, A. P.. *Acústica ambiental e de edifícios*. Edições FEUP, Porto, 2008.

[13] PATRÍCIO, Jorge. *Curso de aspectos regulamentares e normativos no domínio do ruído e das vibrações*. LNEC, Lisboa, 2000.

[14] http://www.cm-porto.pt/gen.pl?p=stories&op=view&fokey=cmp.stories/445, 25/05/2008

[15] CUPIDO, Amândio. *Potencialidades energético-ambientais na reabilitação urbana, o Centro Histórico do Porto*.

[16] http://www.portovivosru.pt/verNoticia.php?noticia=229. 13/12/2007.

[17] PINHO, Fernando. *Paredes de edifícios antigos em Portugal*. LNEC, Lisboa, 2000.

[18] PORTUGAL – Leis, Decretos, etc. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril). Lisboa: Imprensa Nacional, 2006.

[19] PINA DOS SANTOS, C. A., MATIAS, L. *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. LNEC, Lisboa, 2006.

[20] PLADUR, Catálogo Técnico em www.uralita.com. 12/02/2008.

[21] DH 801, *PLADUR – Sistemas de Revestimento Interior de Paredes e Tectos Contínuos*. LNEC, Lisboa, 2005.

[22] Avis Technique 5/94-1085

[23] Soluções STYROFOAM – *Fichas Técnicas,* 2003.

[24] http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/invert/iso.htm. 14/02/2008.

[25] http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/invert/req.htm. 14/02/2008.

[26] DH 779, *ROOFMATE™ SL-A – Sistema de Isolamento Térmico de Coberturas em Terraço.* LNEC, Lisboa, 2004.

[27] http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/proddata/xps/roofmate.htm. 14/02/2008.

[28] http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/pitch/req.htm. 13/02/2008.

[29] http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/pitch/instal/tga.htm. 13/02/2008.

[30] http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/invert/project/imp.htm. 13/02/2008.

[31] http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/invert/instal/sla.htm. 13/02/2008.

[32] GRANDÃO LOPES, J. M.. *Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço*. Lnec, Lisboa, 1994.

[33] http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/invert/project/prot/acess.htm. 13/02/2008.

[34] http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/invert/project/prot/acess.htm. 13/02/2008.

[35] http://www.uralita.com/NR/rdonlyres/eedkedjgxxowz3i6kl4ce35yegs4jhkknxhnbzkvzytimzqqv5a2g5pv54z2546vntynt6dkpsuf4d/GUIARR.pdf. 16/04/2008.

[36] EN 12207:1999 – *Windows and doors – Air permeability – Classification*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

[37] VIEGAS, J. C.. *Componentes de edifícios – Selecção de caixilharia e seu dimensionamento mecânico*. LNEC, Lisboa, 2001.

[38] EN 12208:1999 – *Windows and doors – Watertightness – Classification*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

[39] EN 12210:1999 – *Windows and doors – Resistance to wind load – Classification*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

[40] EN 13115:2001 – *Windows – Classification of mechanical properties – Racking, torsion and operating forces*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

[41] EN 13049:2003 – *Windows – Soft and heavy body impact– Test method, safety requirements and classification*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

[42] EN 12217:2003 – *Doors – Operating forces – Requirements and classification*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

[43] EN 1192:1999 – *Doors – Classification of strength requirements*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

[44] EN 950:1999 – *Doors leaves – Determination of the resistance to hard body impact*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

[45] http://www.aguaquentesolar.com/FAQ/questao.asp?id=11. 07/04/2008.

[46] http://www.aguaquentesolar.com/FAQ/questao.asp?id=6. 07/04/2008.

[47] http://www.saint-gobain-glass.com/FO/pg/pdf/SGG%20CLIMAPLUS%AE%20SILENCE.pdf. 16/04/2008.

A1

ESTIMATIVA DE DESEMPENHO DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO

```
---------------------------------------------------------------------------
------
SolTerm 5.0
Licenciado a Formadores do SCE
(Módulo RCCTE)
Estimativa de desempenho de sistema solar térmico com depósito pressurizado
---------------------------------------------------------------------------
------
Painel
---------------------------------------------------------------------------
------
Modelo de colector: YAZAKI SP-X1020-3HO
Tipo: Plano
(6 módulos) 11,4 m²
Rendimento óptico: 82,20%
Coeficiente de perdas térmicas a1: 6,200 W/m²/K
Coeficiente de perdas térmicas a2: 0,004 W/m²/K²
Modificador de ângulo a 50°: 0,90
Caudal no grupo painel/permutador: 59,3 l/m² por hora (=0,19 l/s)
---------------------------------------------------------------------------
------
Permutador
---------------------------------------------------------------------------
------
Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 75%
(factor de penalização: 97%)
---------------------------------------------------------------------------
------
Depósito
---------------------------------------------------------------------------
------
Modelo: 500 l típico
Volume: 500 l
Área externa: 3,86 m²
Material: PVC
Posição vertical
Deflectores interiores
Coeficiente de perdas térmicas: 3,99 W/°C
---------------------------------------------------------------------------
------
Cargas térmicas
---------------------------------------------------------------------------
------
Consumo de água nova, sem recuperação de calor.
Temperatura nominal: 60°C
Temperatura mínima aceite: °C
(Existem válvulas misturadoras.)
tese | Formadores do SCE | 08-04-2008 22:32:39 | 1/3
```

Perfis de consumo de segunda a sexta (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01												
02												
03												
04												
05												
06												
07												
08	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
09	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
21												
22												
23												
24												
diário	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

Perfis de consumo ao fim-de-semana (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01												
02												
03												
04												
05												
06												
07												
08	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
09	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
21												
22												
23												
24												
diário	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

tese | Formadores do SCE | 08-04-2008 22:32:39 | 2/3

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Porto
Latitude 41,2°N (nominal)
Longitude 8,6°W (nominal)

TRY SNCE 2006
-
Inclinação do painel: 31°
Azimute do painel: 0°
Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

Balanço energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kWh/m²	Rad.Inclin. kWh/m²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	51	79	,	335	701	366
Fevereiro	69	98	,	397	630	232
Março	105	128	,	482	685	203
Abril	144	157	,	544	652	108
Maio	173	172	4,	558	655	98
Junho	185	177	2,	546	615	69
Julho	205	200	23,	587	622	35
Agosto	183	193	38,	595	623	28
Setembro	129	153	2,	535	611	76
Outubro	95	128	,	515	652	137
Novembro	60	93	,	384	661	277
Dezembro	49	80	,	356	700	344
Anual	1449	1657	69,	5833	7806	1973

Fracção solar: 74,7%
Produtividade: 512 kWh/[m² colector]

tese | Formadores do SCE | 08-04-2008 22:32:39| 3/3

A2

DEMONSTRAÇÃO DO CÁLCULO DOS VALORES DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA DA FRACÇÃO 1 (NIC, NVC, NAC E NTC)

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
Fachada Noroeste	10.98	0.98	10.76
Fachada Nordeste	30.64	0.99	30.33
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	41.09

Pavimentos Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Coberturas Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.ºC)	ψ.B (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Pontes térmicas lineares Ligações entre:	Comp. B (m)	ψ (W/m.ºC)	ψ.B (W/ºC)
Fachada com os pavimentos térreos			0.00
Fachada com os pavimentos sobre l.n.a.	14.23	0.5	7.12
Fachada com pavimentos intermédios	14.23	0.45	6.40
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			0.00
Fachada com varanda	1.8	0.45	0.81
Duas paredes verticais	3.6	0.25	0.90
Fachada com caixa de estore			0.00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	23.10	0.00	0.00
Outras			0.00
		TOTAL	15.23

Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma	(W/ºC)	**TOTAL**	56.32

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
Parede Casa de banho/Hall comum	9.144	1.23	0.5	5.62
Porta Hall/Hall comum	2.508	2	0.5	2.51
Parede Hall/Hall comum	1.596	1.23	0.5	0.98
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
			TOTAL	9.11

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
Pavimento/Loja	31.12	0.7	0.6	13.07
				0.00
				0.00
			TOTAL	13.07

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
				0.00
				0.00
				0.00
			TOTAL	0.00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
				0.00
				0.00
				0.00
			TOTAL	0.00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.ºC)	τ (-)	τ.ψ.B (W/ºC)
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
			TOTAL	0.00

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma	(W/ºC)	**TOTAL**	22.18

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:
Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;
Edifícios anexos;
Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;
Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FCIV.1c
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
Verticais:			0.00
Envidraçados	9.65	3.3	31.85
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
Horizontais:			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	31.85

Folha de Cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		55.0	(m^2)
Pé-direito médio		3.6	(m)
		=	
Volume interior	(V)	198.00	(m^3)

VENTILAÇÃO NATURAL	*(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*				
Cumpre a NP 1037-1?	(S ou N)	N	se SIM:	RPH =	0.6
Se NÃO:					
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	1	Taxa de Renovação Nominal:		
Caixas de Estore	(S ou N)	N	Ver Quadro IV.1		
Classe de Exposição *(Ver Quadro IV.2)*	(1, 2, 3 ou 4)	1		RPH=	1.00
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	N			
Área de envidraçados>15% Ap?	(S ou N)	S			
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	S			

VENTILAÇÃO MECÂNICA *(excluir exaustor da cozinha)*					
Caudal de Insuflação	Vins - (m^3/h)			Vf =	0.00
Caudal Extraído	Vev - (m^3/h)				
Diferença entre Vins e Vev	(m^3/h)	0.00	/	V = (volume int)	0 RPH (**)
Infiltrações *(Vent. Natural)*	Vx - (h^{-1})				
Recuperador de calor	(S ou N)			se SIM, η = se NÃO, η =	0
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	0.000		(Vf / V + Vx).(1-η)	
Consumo de Electricidade para os ventiladores				(Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	

Volume	198.00	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	1.000	
	x	
	0.34	
	=	
TOTAL	67.32	(W/ºC)

Folha de Cálculo FC IV.1e
Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Area A (m^2)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Area Efectiva Ae (m^2)
NO	duplo	9.65	0.27	0.63	1	0.65	0.9	0.96
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m^2)		0.96
		x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul) na zona I2 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m^2.mês)		93
		x
Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1	(meses)	6.7
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		598.34

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4	(W/m^2)
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		6.70	(meses)
		x	
Área Útil de pavimento		55.00	(m^2)
		x	
		0.72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		1061.28	(kWh/ano)

Ganhos Uteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} \quad \frac{1659.62}{6864.98}$$

Inércia do edifício: 2 a = 2.6 γ = 0.24

(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos	(η)	0.98
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		1659.62
		=
Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)		1628.05

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m^2
Paredes exteriores		41.61
Coberturas exteriores		
Pavimentos exteriores		
Envidraçados exteriores		9.65
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	
Paredes interiores		6.62
Coberturas interiores		
Pavimentos interiores		18.67
Envidraçados interiores		
Área total:		76.56
		/
Volume (de FCIV.1d):		198.00
		=
FF		0.39

Graus-dias no local (ºC.dia)	(do Quadro III.1)	1610

		Auxiliar
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	68.095
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	61.343
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	68.867
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	114.899

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	68.10

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/ºC)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	56.32
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	22.18
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	31.85
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	67.32

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/ºC)	177.67
	x
Graus-dias no Local (ºC.dia)	1610.00
	x
	0.024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	6864.98
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	1628.05
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	5236.93
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	55.00
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	95.22
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	68.10

Não verifica K.O.

Nic/Ni = 139.83%

Folha de cálculo FCV.1a
Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		41.09	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		0.00	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)		0.00	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)		31.85	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas à renovação do ar	(valor final da FCIV.1d / (1-η))		67.32	(W/ºC)
(o efeito do recuperador de calor, caso exista, não deve ser considerado no Verão)				
			=	
Perdas especificas totais		(Q1a)	140.25	(W/ºC)

Temperatura interior de referência			25	(ºC)
			-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)			19	(ºC)
			=	
Diferença de temperatura interior-exterior			6	
			x	
Perdas especificas totais		(Q1a)	140.25	(W/ºC)
			x	
			2.928	
			=	
Perdas térmicas totais		(Q1b)	2463.97	(kWh)

Folha de Cálculo FC V.1b
Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2ºC$)	U.A (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2ºC$)	U.A (W/ºC)
Envidraçados	9.65	3.3	31.85
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	31.85

Folha de Cálculo FC V.1c
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (*inclui paredes e cobertura*)

Orientação	NW	...	...	...	...	...	...	...		
Área, A (m^2)	10.98									
	x	x	x	x	x	x	x	x		
U ($W/m^2ºC$)	0.98									
	x	x	x	x	x	x	x	x		
Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0.4									
	=	=	=	=	=	=	=	=		
α.U.A (W/ºC)	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	x	x	x	x	x	x	x	x		
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m^2) (Quadro III.9)	300									
	x	x	x	x	x	x	x	x		
	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04		
	=	=	=	=	=	=	=	=		
									TOTAL	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	51.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.65	**(kWh)**

Folha de Cálculo FC V.1d
Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	NW	...	...	...	...	...	...	...		
Área, A (m^2)	9.65									
	x	x	x	x	x	x	x	x		
Factor solar do vão envidraçado *(protecção solar activada a 70%)*	0.47									
	x	x	x	x	x	x	x	x		
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0.65									
	x	x	x	x	x	x	x	x		
Factor de obstrução, Fs	0.9									
	x	x	x	x	x	x	x	x		
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0.85									
	=	=	=	=	=	=	=	=		
Área Efectiva, Ae	2.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	x	x	x	x	x	x	x	x		
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	300									
	=	=	=	=	=	=	=	=		
									TOTAL	
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	676.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	676.58	**(KWh)**

Folha de cálculo FC V.1e
Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m^2) (Quadro IV.3)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m2)	55	
	x	
	2.93	
	=	
Ganhos Internos Totais	644.16	**(KWh)**

Folha de cálculo FC V.1f
Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	676.58	**(KWh)**
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	51.65	**(KWh)**
	+	
Ganhos Internos (FCV.1e)	644.16	**(KWh)**
	=	
Ganhos Térmicos Totais	1372.39	**(KWh)**

Folha de cálculo FCV.1g
Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		1372.39	(kWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)		2463.97	(kWh)
		=	
Relação Ganhos-Perdas	γ	0.56	
Inércia do edifício	*(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)*	2	

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1)		0.00	
		=	
		1.00	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		1372.39	**(kWh)**
		=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento		1372.39	**(kWh/ano)**
		+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)		0.00	(Ev=Pvx24x0,122(kWh))
		=	
	TOTAL	1372.39	**(kWh/ano)**
		/	
Área Útil de Pavimento (m^2)		55.00	
		=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc		24.95	**(kWh/m^2.ano)**
		≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv *(Nº2 do Artigo 15º)*		16	**(kWh/m^2.ano)**

Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

Nº de ocupantes (Quadro VI.1)	2.00	
Consumo médio diário de referência de AQS (M_{AQS}) *(edifícios residenciais - 40 litros/ocupante)*	80.00	
Aumento de temperatura necessário (ΔT) *(considerar igual a 45ºC)*	45.00	
Número anual de dias de consumo (n_d) (Quadro VI.2)	365.00	
Energia despendida com sistemas convencionais (Q_a)	1528.26	(kW.h/ano)
Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS (η_a) (Ponto 3 do Anexo VI)	0.50	
E_{solar}	1166.60	*Programa SOLTERM*
E_{ren}		
Necessidades de energia para preparação de AQS, N_{ac}	34.36	(kW.h/m^2.ano)
Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, N_a	43.00	(kW.h/m^2.ano)

Necessidades Globais de Energia Primária

Ni (kW.h/m^2.ano)	68.10	
Nic (kW.h/m^2.ano)	95.22	
Nv (kW.h/m^2.ano)	16.00	
Nvc (kW.h/m^2.ano)	24.95	
Na (kW.h/m2.ano)	43.00	
Nac (kW.h/m2.ano)	34.36	
η_i	0.50	Art. 18.º - ponto 2
η_v	3.00	Art. 18.º - ponto 2
F_{pui} (kgep/kW.h)	0.086	Art. 18º - ponto 1
F_{puv} (kgep/kW.h)	0.290	Art. 18º - ponto 1
F_{pua} (kgep/kW.h)	0.086	Art. 18º - ponto 1

Necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc}	4.83	(kgep/m^2.ano)
Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N_t	6.56	(kgep/m^2.ano)

A3

DEMONSTRAÇÃO DO CÁLCULO DOS VALORES DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DA FRACÇÃO 1

1. $D_{2m,n,w}$ entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar do fogo:

$$R_{médio,\,w} = 10\times\log\left[\frac{S}{\sum 10^{-Rwi/10}\times Si}\right] = 10\times\log\left(\frac{6{,}90+6{,}56}{10^{-6{,}0}\times 6{,}90+10^{-4{,}2}\times 6{,}56}\right) = 45dB$$

$$TM\,/\,TP \cong 2dB$$

$\Delta Lfs = -1dB$ [EN12354-3]

$$D_{2m,\,n,\,w} = R_{médio,\,w} - TM\,/\,TP + \Delta Lfs + 10\times\log\left(\frac{A_0}{S}\right) = 45-2-1+10\times\log\left(\frac{10}{6{,}90+6{,}56}\right) = 41dB$$

2. $D_{n,w}$ entre compartimentos de um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo:

2.1. Parede de meação:

$$D_{n,w} = R_w - K_{TM} + 10\times\log\left(\frac{A_0}{S}\right) = 60-3 = 57dB$$

NOTA: Segundo Carvalho [10], a parcela $10\times\log\left(\frac{A_0}{S}\right) - K_{TM}$ toma, em situações correntes, os valores de -2 a -6 dB. Como a análise está a ser feita de forma simplificada, considera-se desnecessário o cálculo com elevada precisão do valor das transmissões marginais.

2.2. Laje entre apartamento do piso 2 e salas ou zonas de estar da fracção 1:

$$D_{n,w} = R_w - K_{TM} + 10\times\log\left(\frac{A_0}{S}\right) = 50-1+10\times\log\left(\frac{10}{17{,}45}\right) = 47dB$$

NOTA: Adopta-se K_{TM}=1 dB tendo em consideração que as paredes exteriores têm R_w muito superior ao da laje, podendo apenas haver algumas passagens de som pelas paredes interiores.

3. $D_{n.w}$ entre locais do edifício destinados a comércio e quartos ou zonas de estar do fogo:

$$D_{n,w} = R_w - K_{TM} + 10\times\log\left(\frac{A_0}{S}\right) + \Delta R_w = 50-1+10\times\log\left(\frac{10}{17{,}45}\right) + 8 = 55dB$$

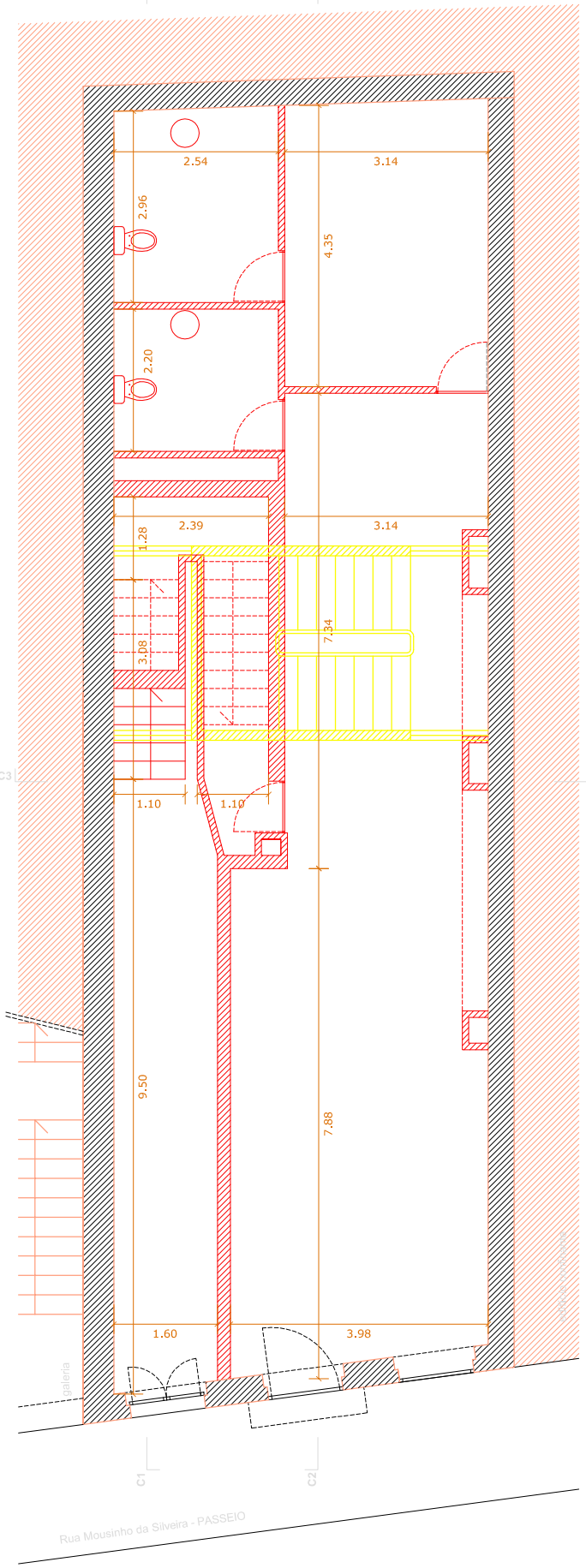
4. $L'_{n,w}$ proveniente de uma percussão generalizada sobre pavimentos de outros fogos:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_{TM} + \Delta L_w = 77+2-20 = 59dB$$

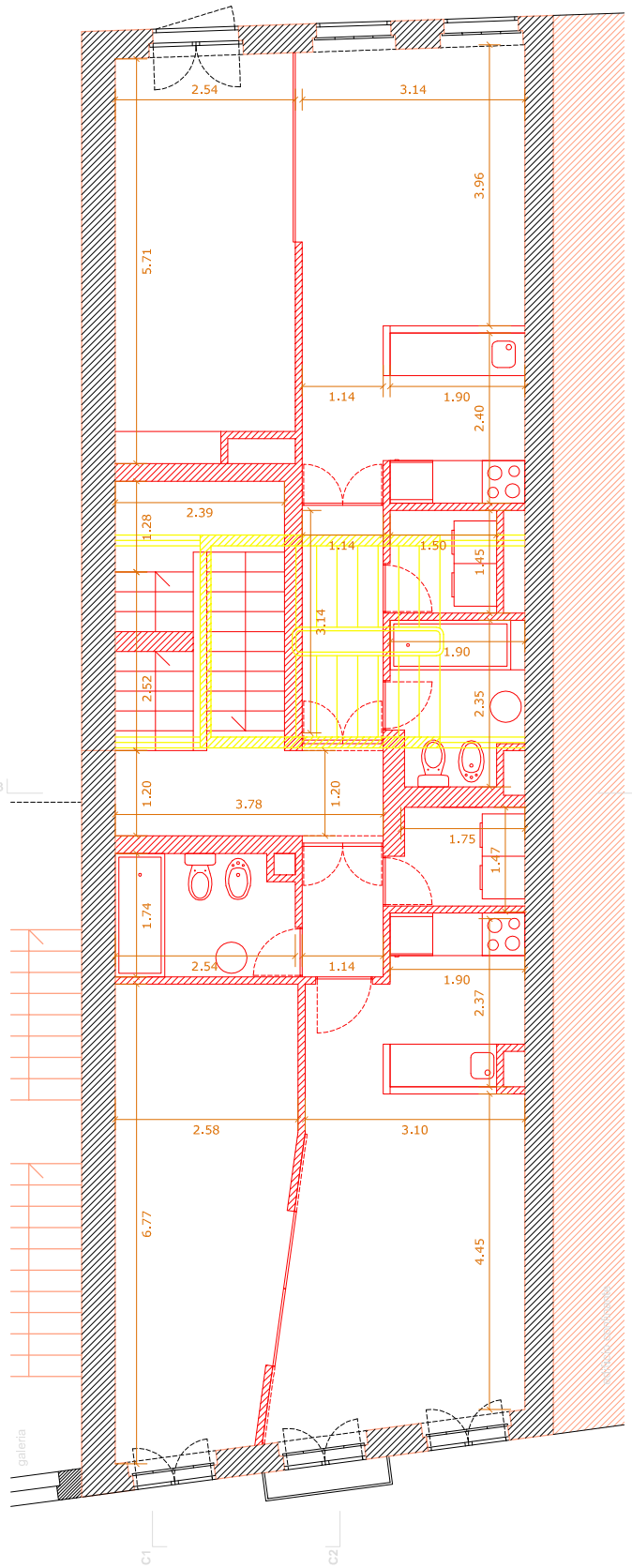
NOTA: Considerando divisórias interiores leves (≈150 Kg/m^2), K_{TM}=2 dB.

A4

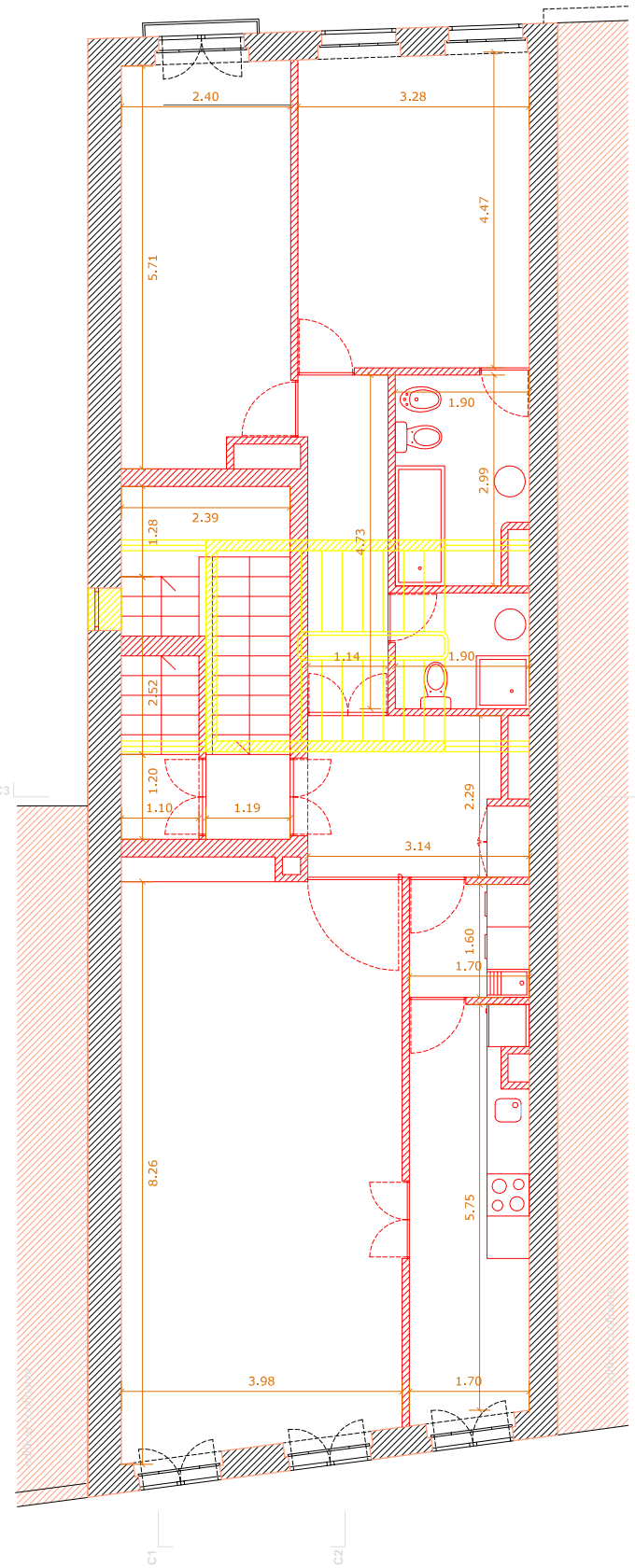
PLANTAS, CORTES E ALÇADOS DO EDIFÍCIO EM ESTUDO



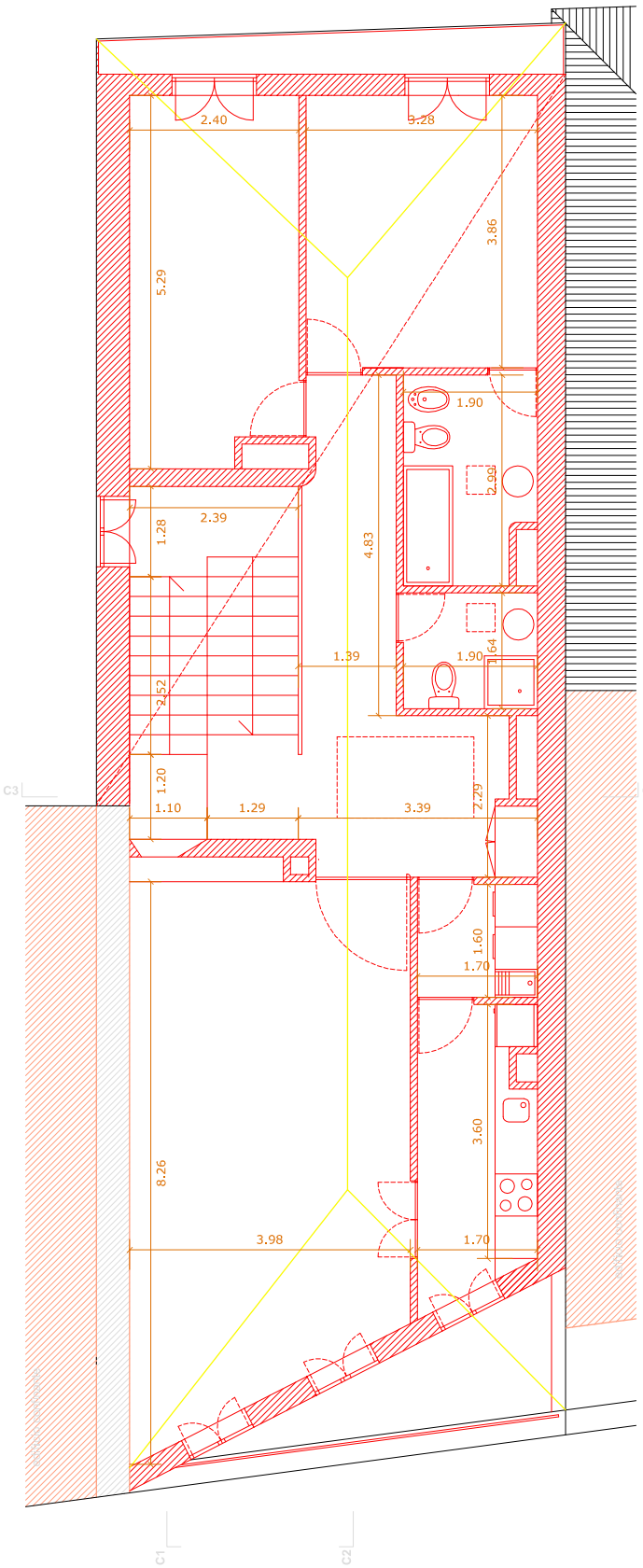
r/chão



1º andar

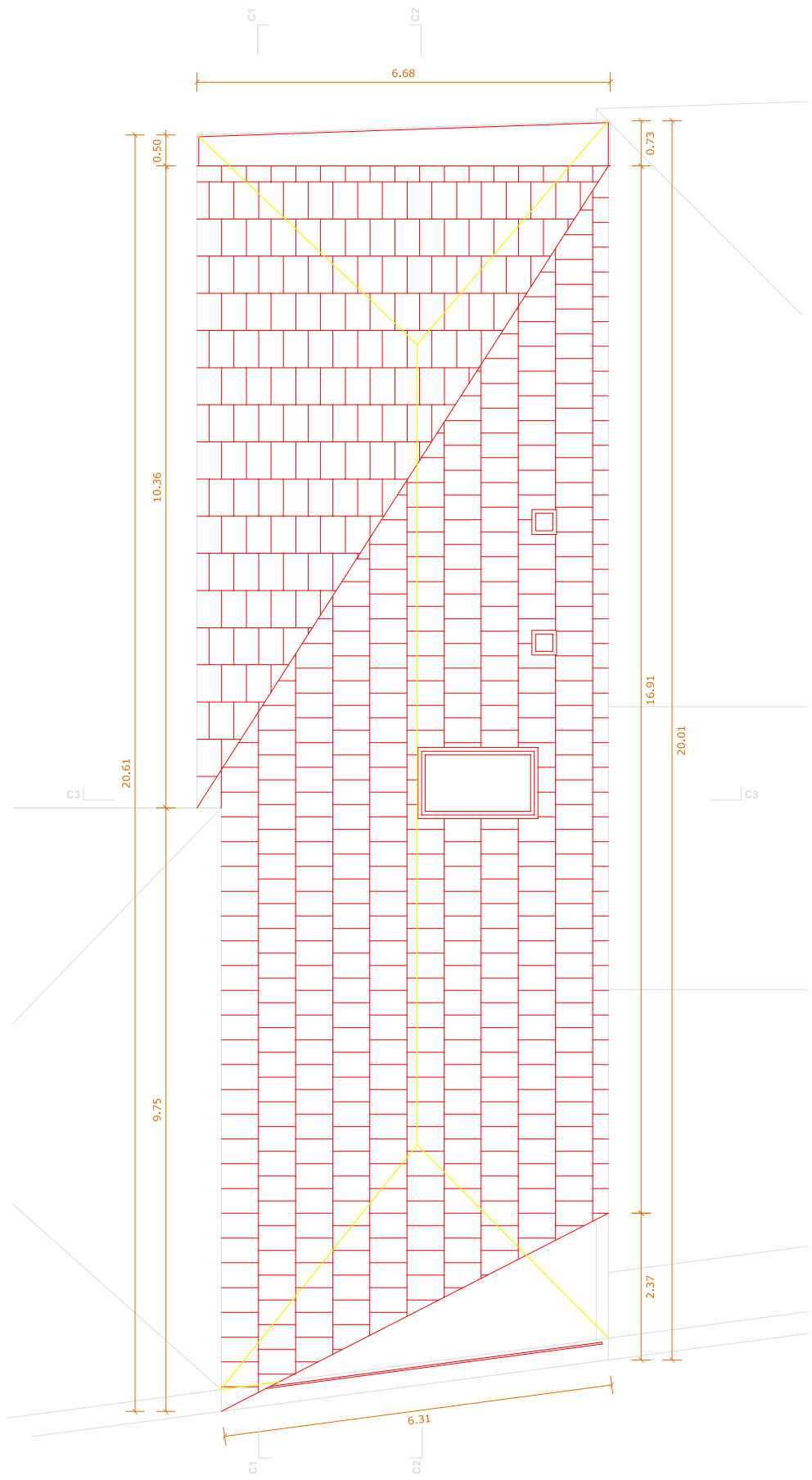


2º andar



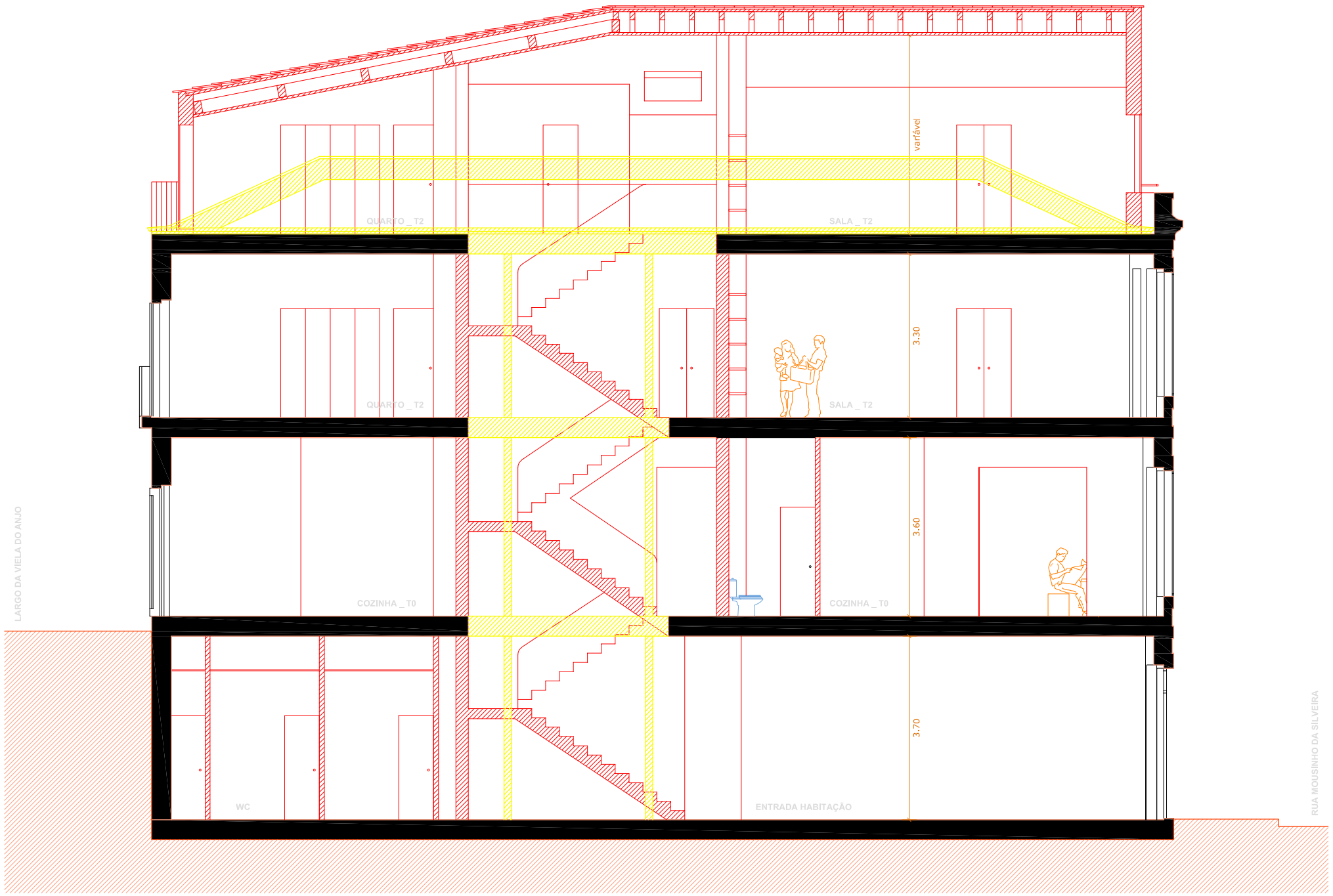
3º andar

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	02
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
PLANTAS _ VERMELHO/AMARELO	colb.	



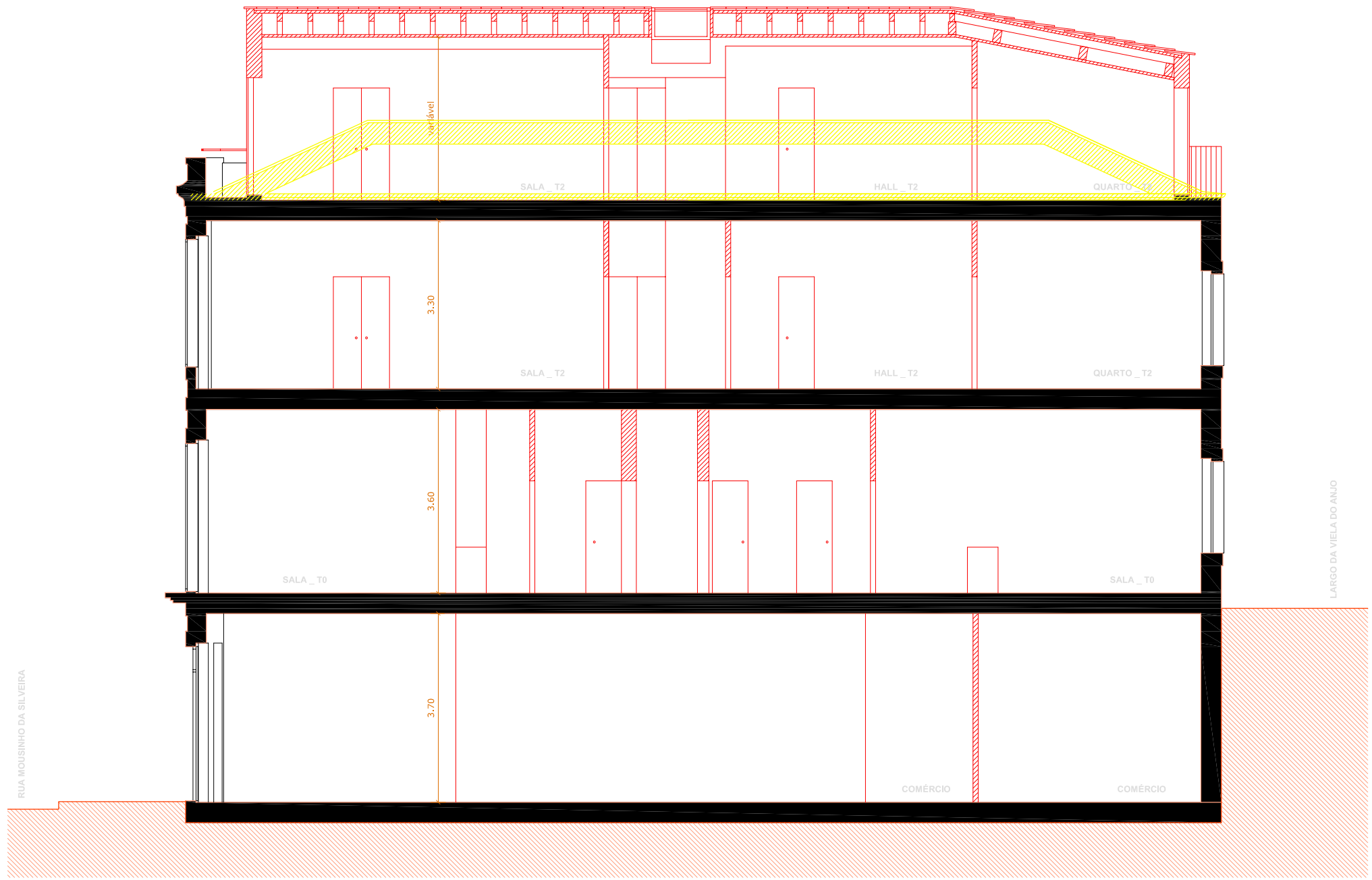
planta de cobertura

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	03
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
PLANTA DE COBERTURA _ VERMELHO/AMARELO	colb.	



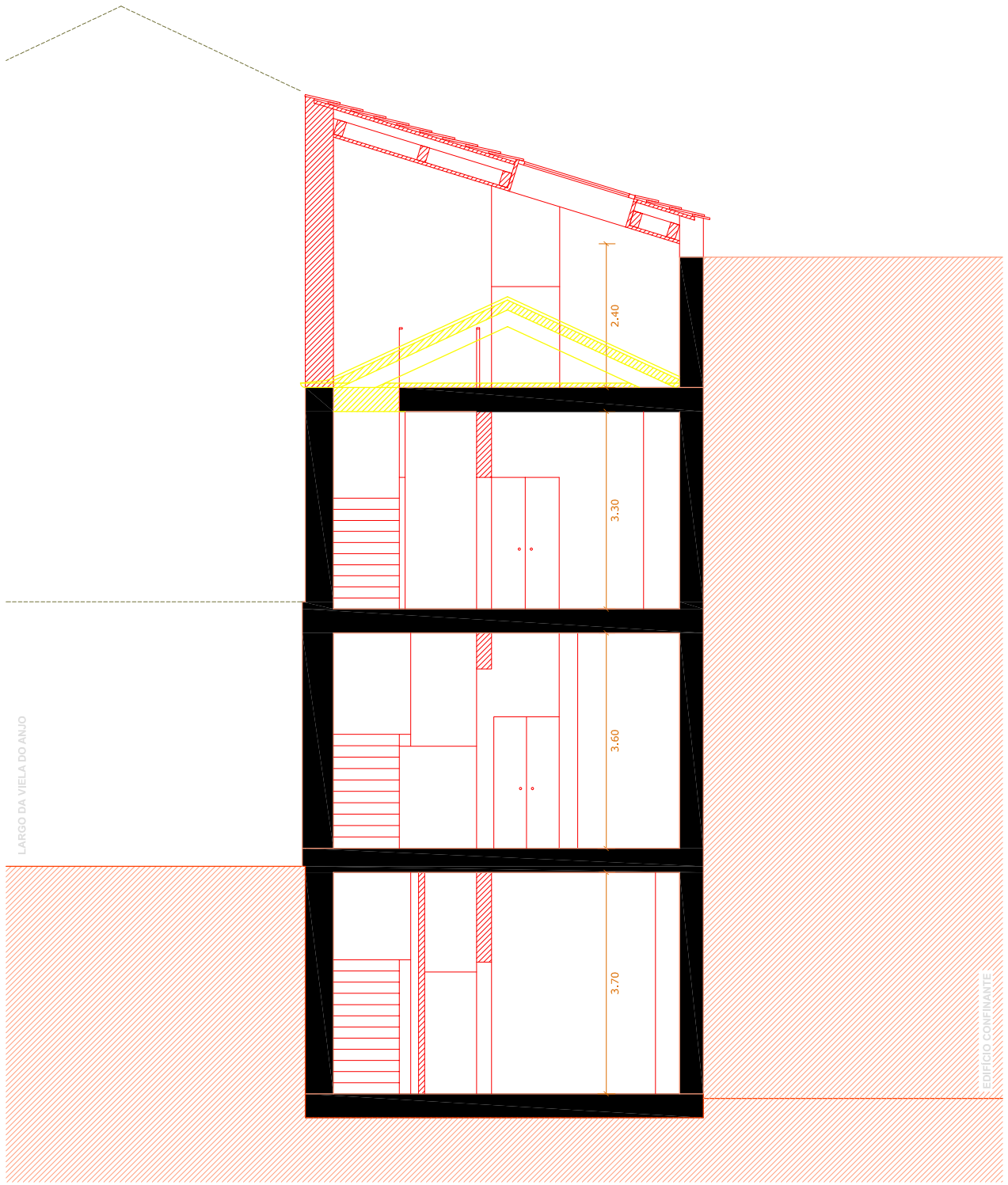
corte longitudinal C1

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	12
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
CORTE LONGITUDINAL C1 – VERMELHO/AMARELO	colb.	



corte longitudinal C2

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	13
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
CORTE LONGITUDINAL C2 – VERMELHO/AMARELO	colb.	



corte transversal C3

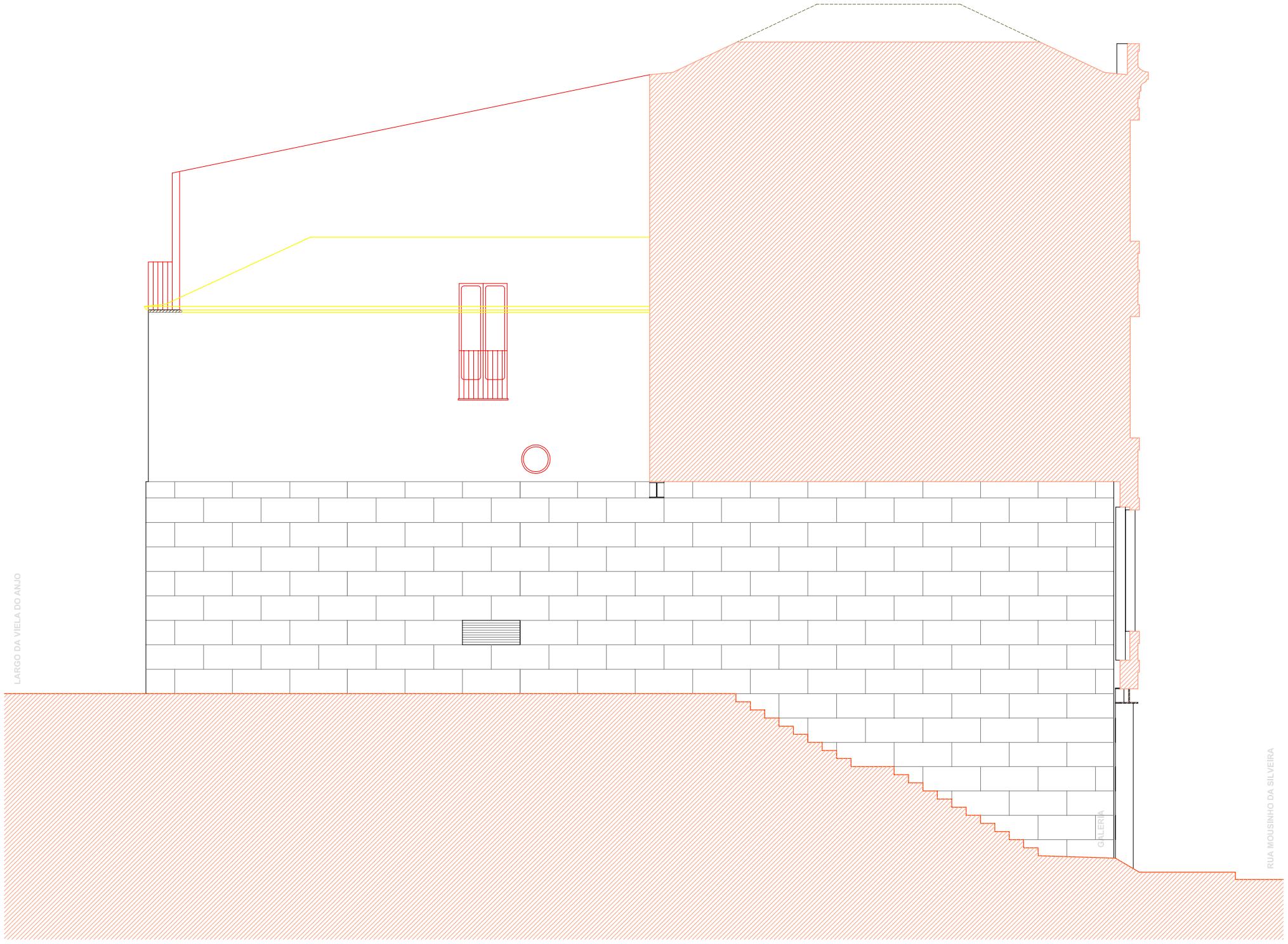
NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	14
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
CORTE TRANSVERSAL C3 – VERMELHO/AMARELO	colb.	

alçado frente

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	04
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
ALÇADO RUA MOUZINHO DA SILVEIRA _ VERMELHO/AMARELO	colb.	

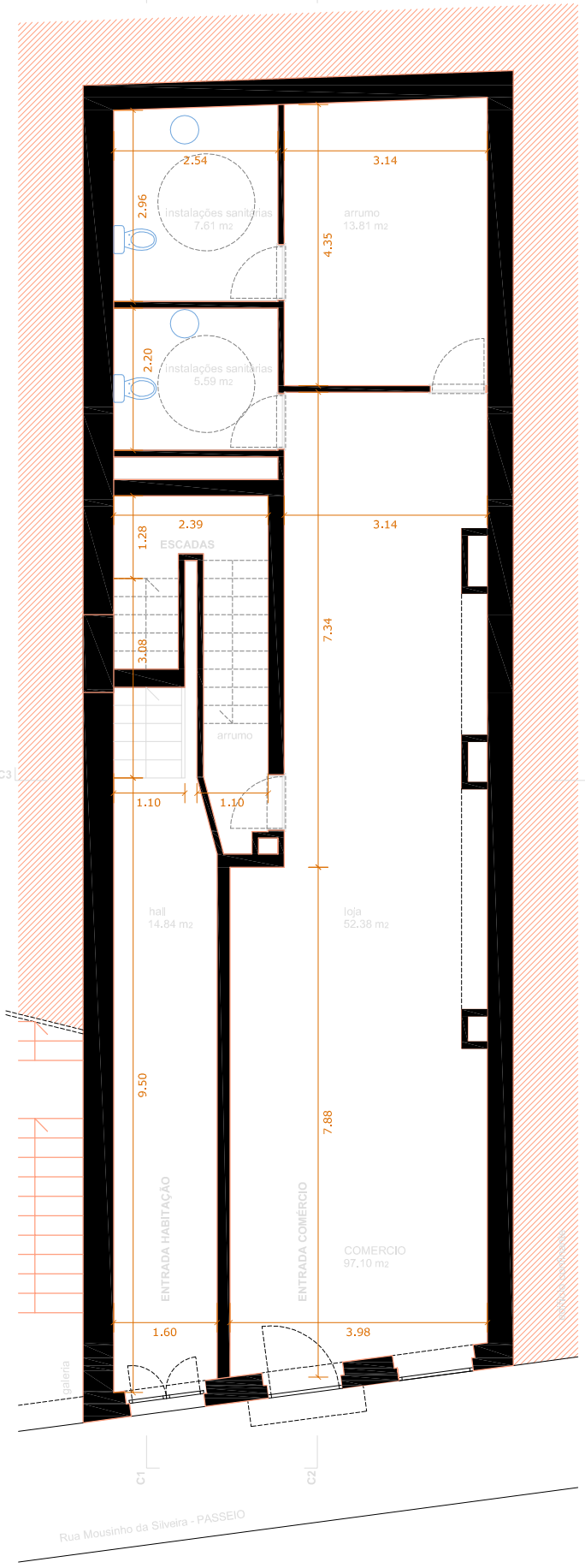
alçado tardoz

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	05
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
ALÇADO LARGO DA VIELA DO ANJO _ VERMELHO/AMARELO	colb.	

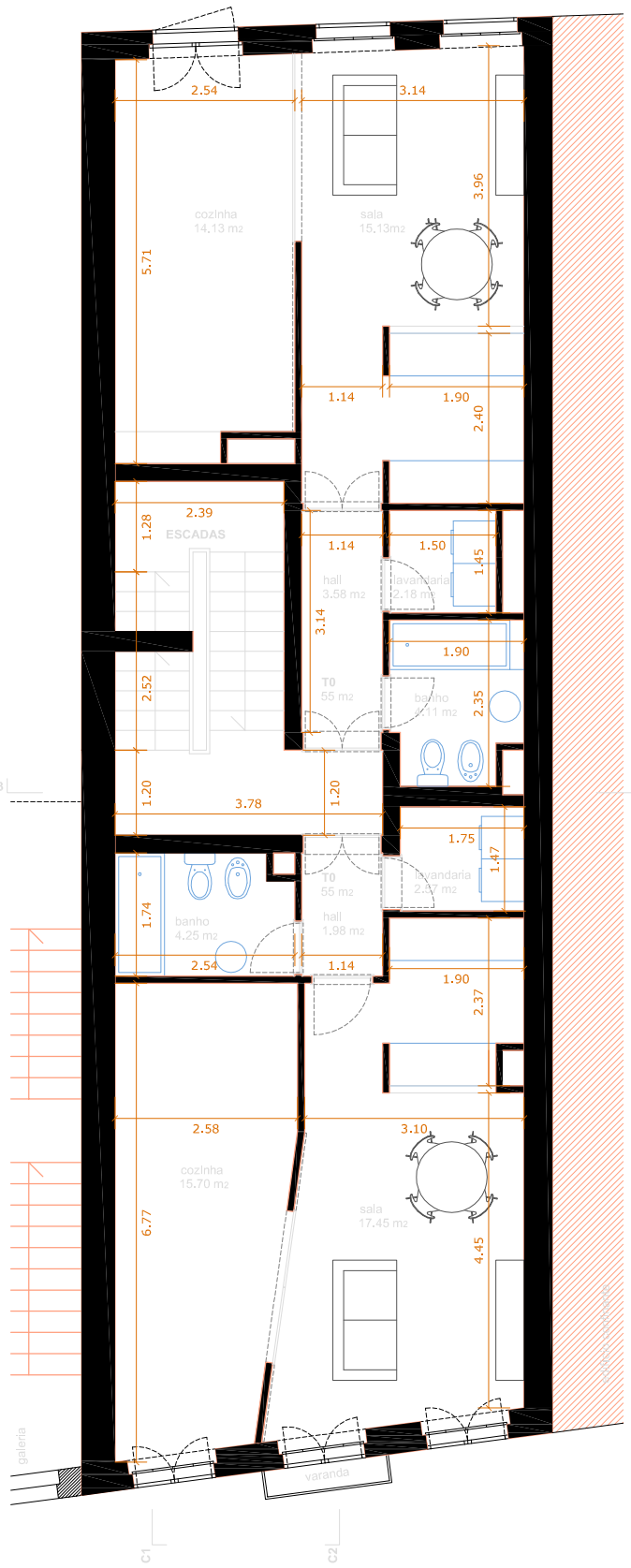


alçado lateral

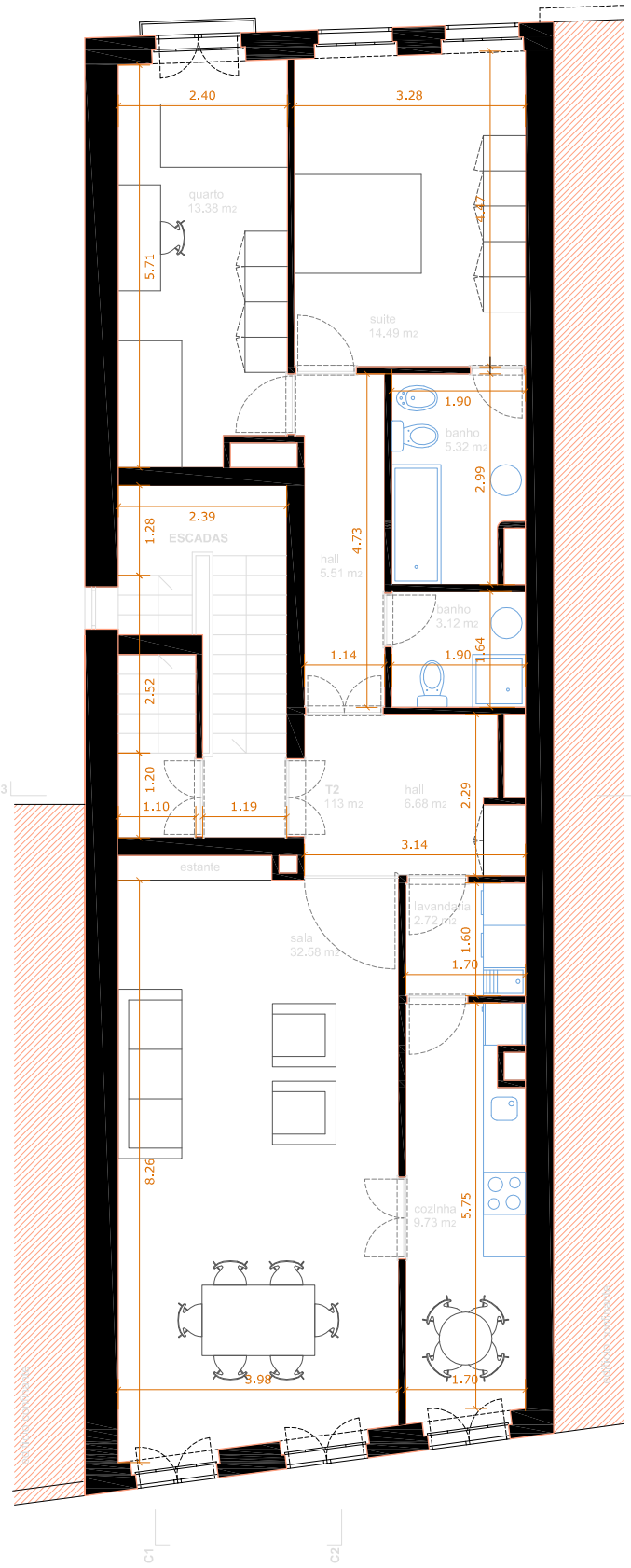
NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	06
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
ALÇADO LATERAL _ VERMELHO/AMARELO	colb.	



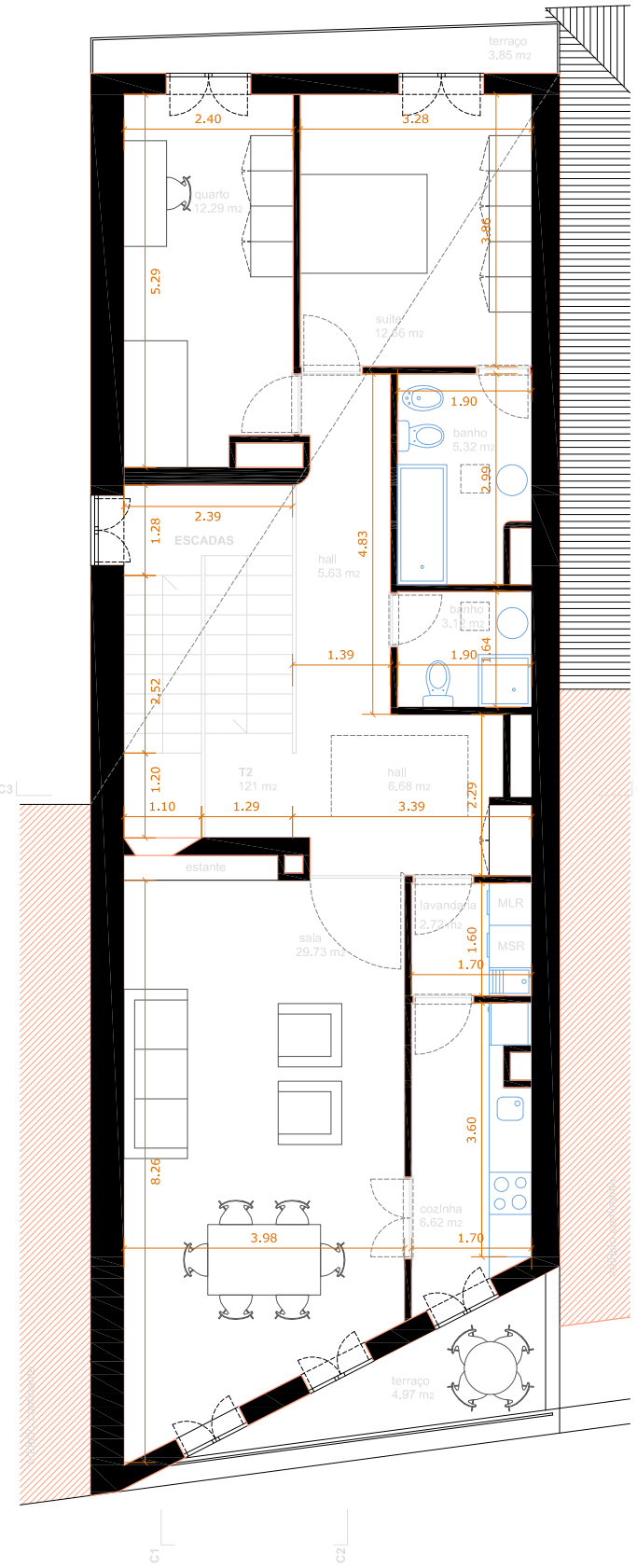
r/chão (comércio + entrada para habitação)



1º andar (dois T1-K)

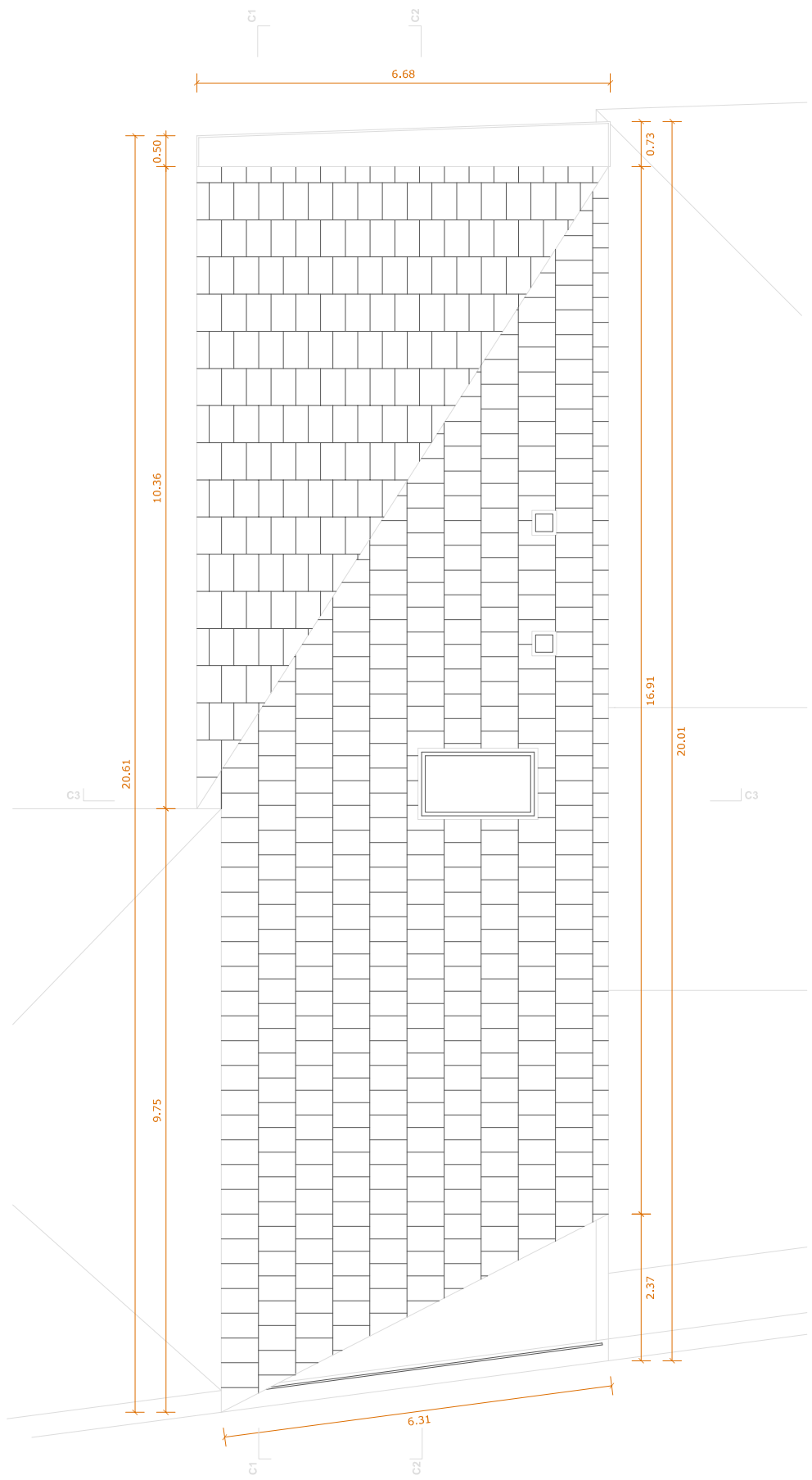


2º andar (um T2)



3º andar (um T2)

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	07
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
PLANTAS	colb.	



planta de cobertura

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt.
RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO

dezembro 2007

08

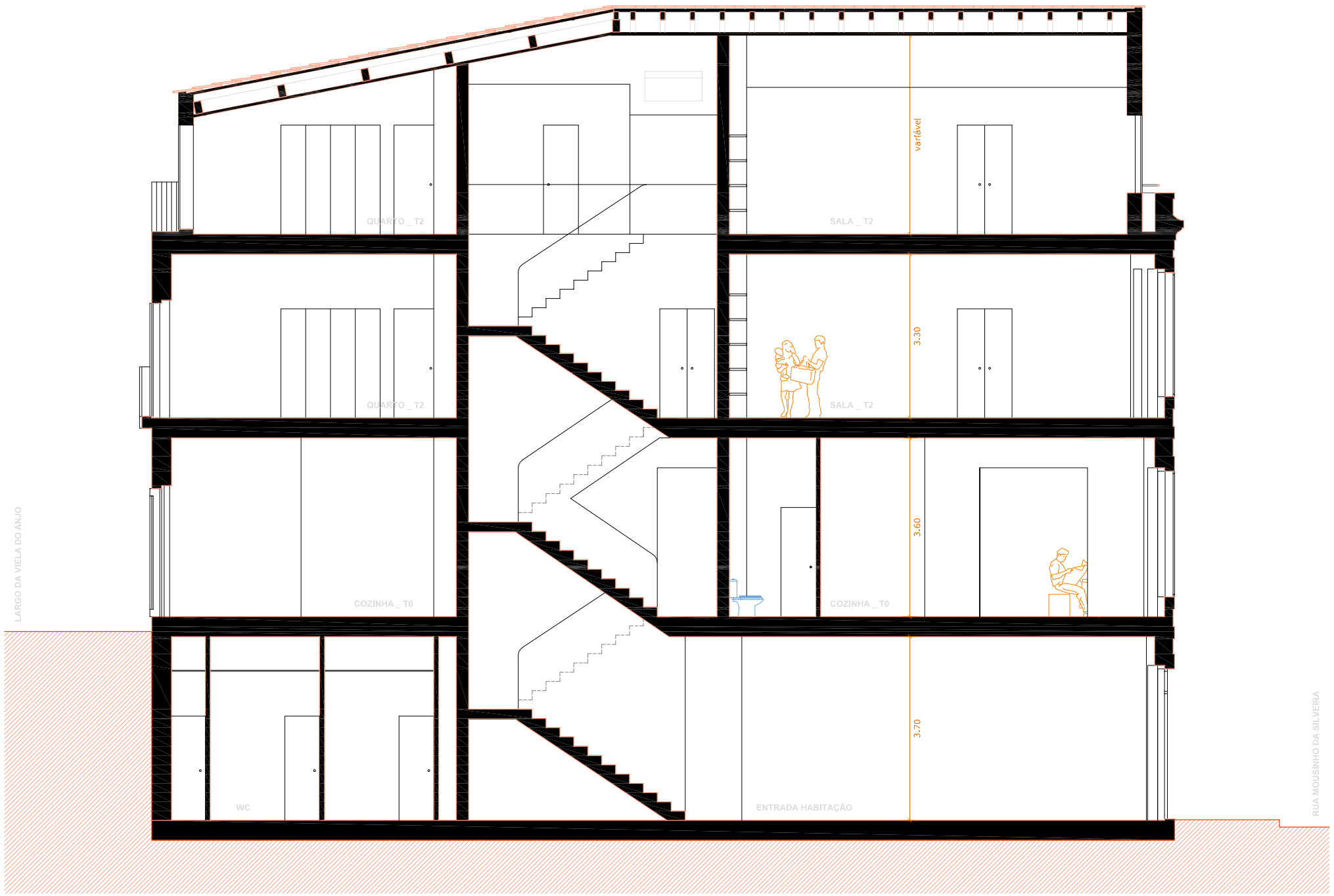
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244

LICENCIAMENTO
projecto de arquitectura

1/100

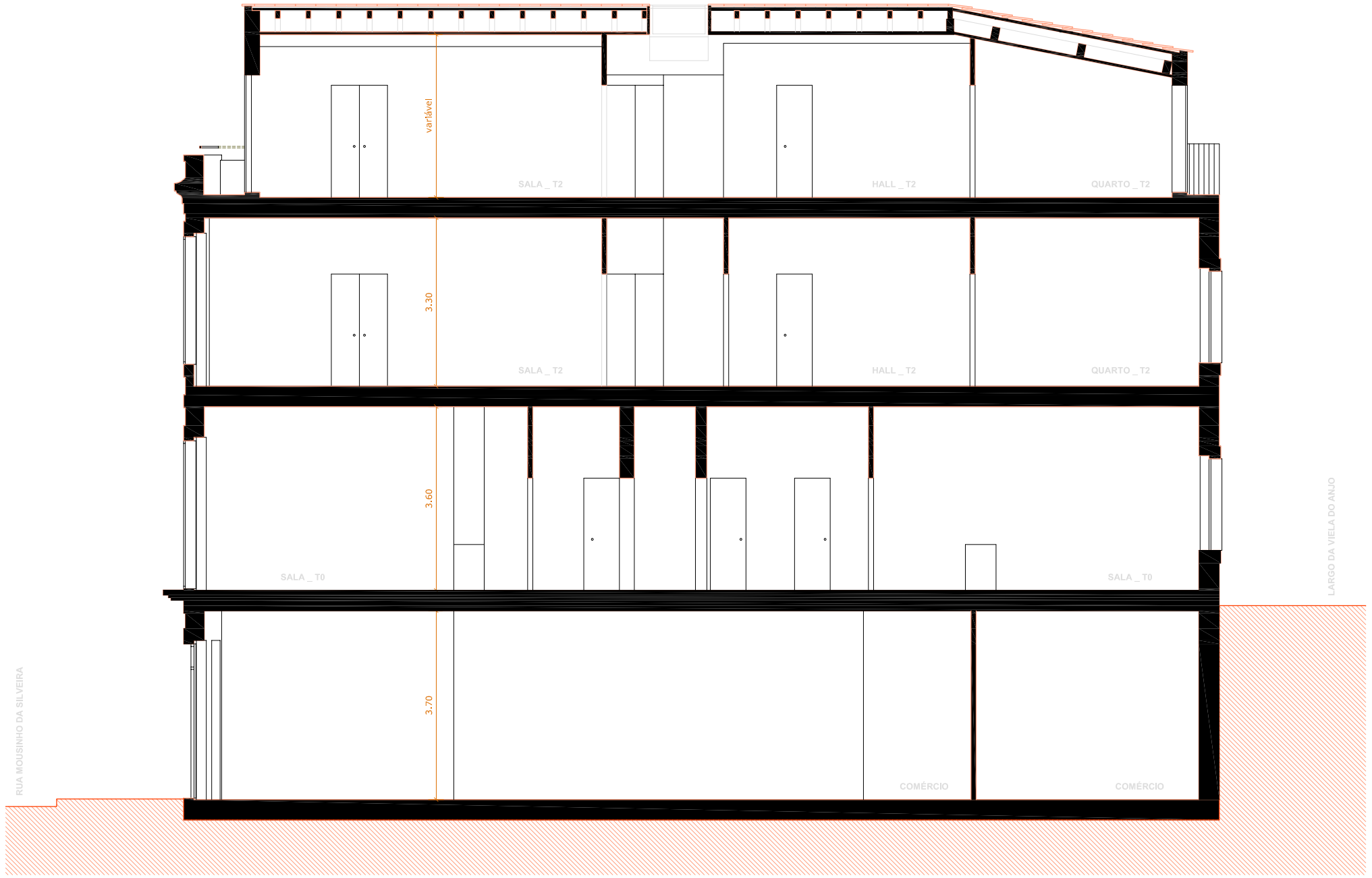
PLANTA DE COBERTURA

colb.



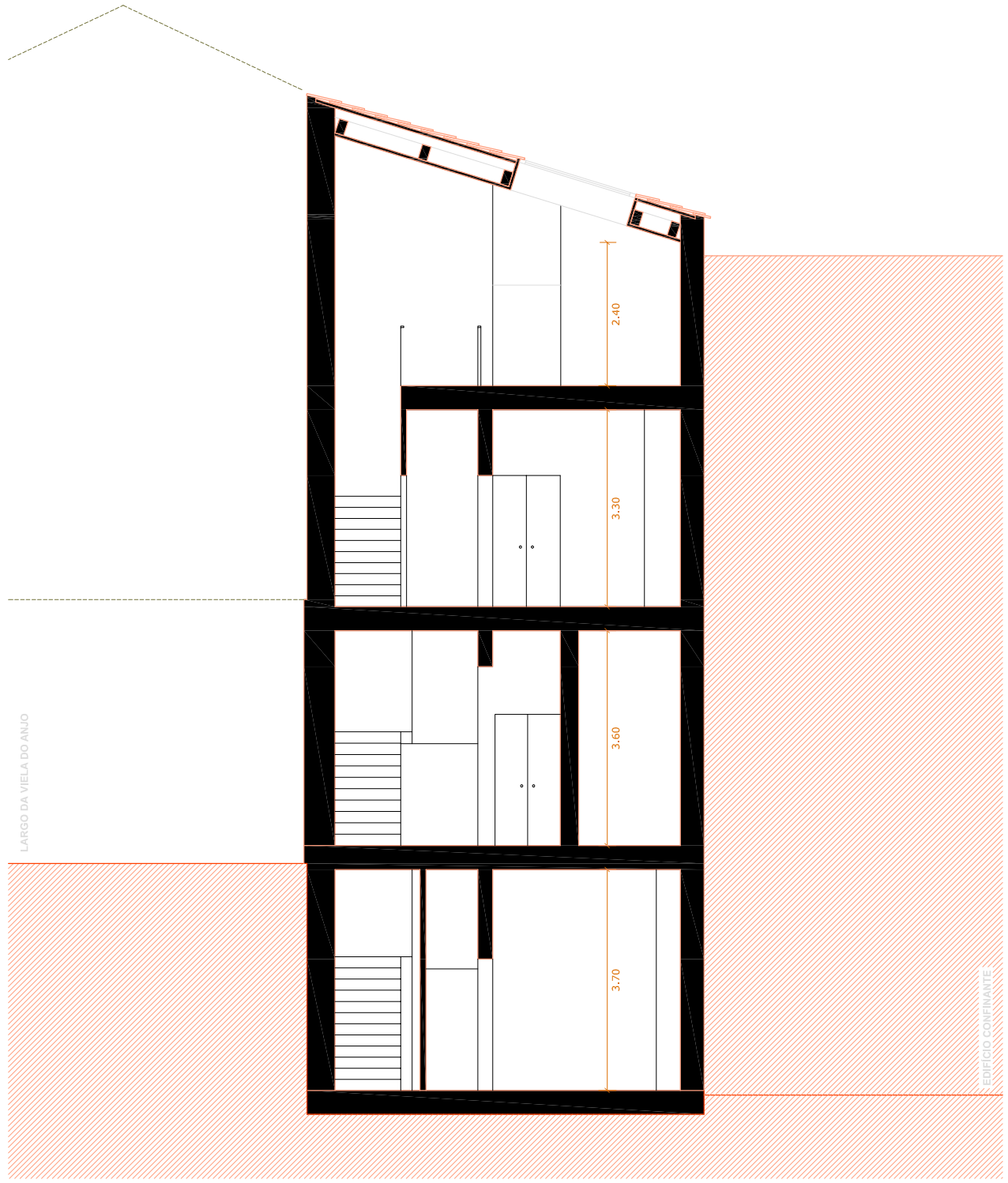
corte longitudinal C1

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	12
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
CORTE LONGITUDINAL C1	colb.	



corte longitudinal C2

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	13
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
CORTE LONGITUDINAL C2	colb.	



corte transversal C3

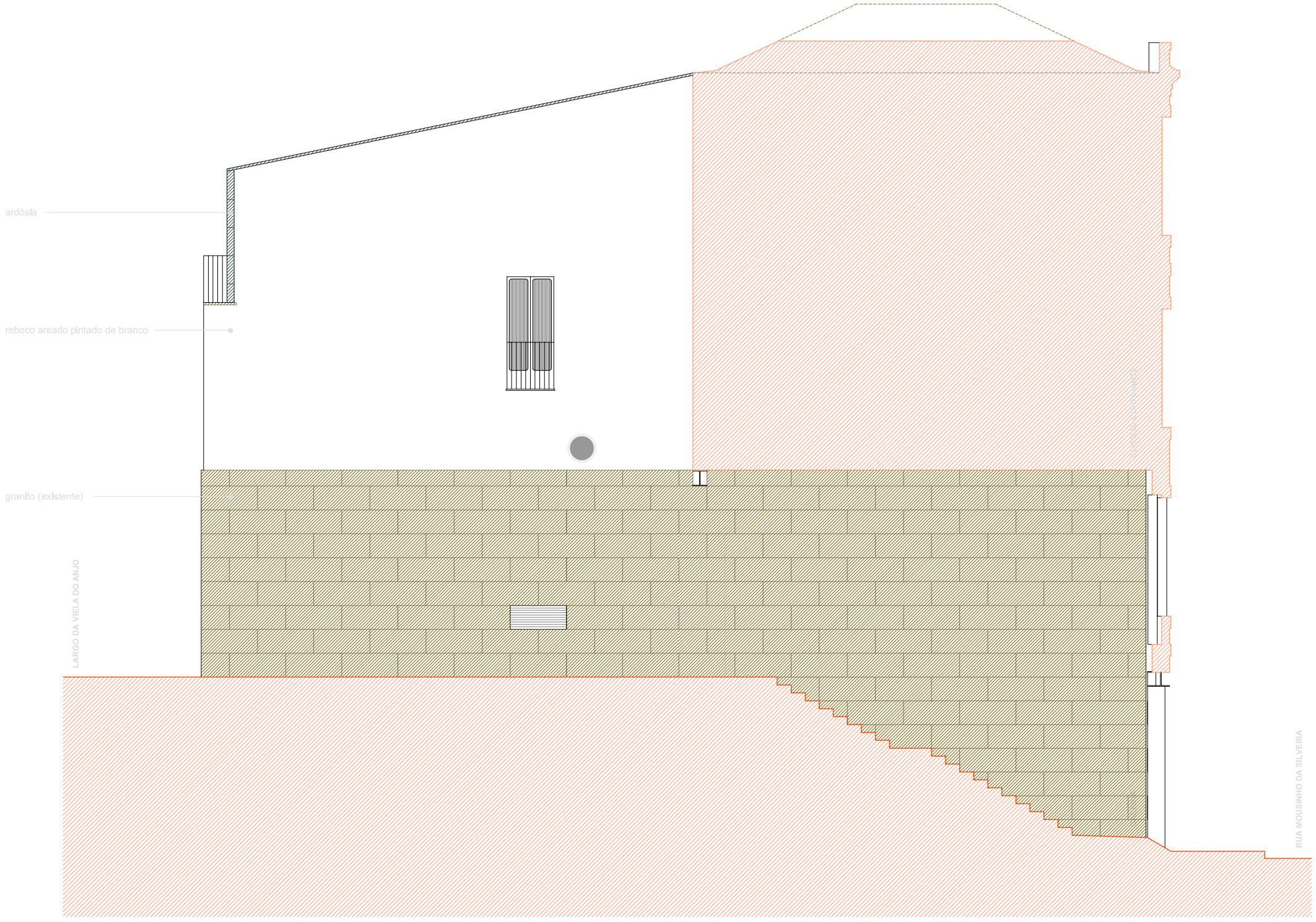
NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	14
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
CORTE TRANSVERSAL C3	colb.	

alçado frente

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	09
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
ALÇADO RUA MOUZINHO DA SILVEIRA	colb.	

alçado tardoz

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	10
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
ALÇADO LARGO DA VIELA DO ANJO	colb.	



alçado lateral

NUNO ABRANTES Arqt. RODRIGO BRITO Arqt. RUA MIGUEL BOMBARDA 124, 1° C, 4050 – 377 PORTO	dezembro 2007	11
SACHE – REABILITAÇÃO/ CONSTRUÇÃO – RUA MOUSINHO DA SILVEIRA 240/244	LICENCIAMENTO projecto de arquitectura	1/100
ALÇADO LATERAL	colb.	