

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rafael Pereira Painço

Estratégias de projeto para
intervenção de reabilitação sustentável

Rafael Pereira Painço
Estratégias de projeto para
intervenção de reabilitação sustentável

UMinho | 2013

dezembro de 2013



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rafael Pereira Painço

Estratégias de projeto para
intervenção de reabilitação sustentável

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil
Área de Especialização: Construções

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Joaquim António Oliveira de Barros

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado foi um longo caminho percorrido resultado de muitas horas de trabalho, marcando uma importante etapa da minha vida. Apesar de representar uma tarefa individual, não seria possível a sua realização sem o apoio dos presentes, aos quais quero mostrar a minha gratidão:

- Ao meu orientador, Professor Doutor Joaquim António Oliveira de Barros, pelo entusiasmo, criatividade, espírito crítico e conhecimento transmitido;
- À minha família que sempre se disponibilizou para me apoiar;
- Agradeço aos colegas que conheci e me acompanharam durante o meu percurso universitário;
- Finalmente, um agradecimento especial, à minha namorada Marta Ferreira, pelo encorajamento e pela paciência nos momentos mais difíceis.

RESUMO

Esta dissertação tem como principal objetivo a proposta de soluções de reabilitação para um edifício residencial que é catalogado como edifício classificado, pela legislação da cidade de Ovar, devido ao valor arquitetónico da sua fachada principal. O ponto de partida para este trabalho é apoiado no projeto arquitetónico e de especialidades existentes.

Na primeira parte desta dissertação, será realizada a análise do projeto arquitetónico e estrutural do edifício, com o intuito da deteção de deficiências que possam comprometer a eficiência energética e os parâmetros de conforto desta construção. Numa segunda fase, serão estudadas e projetadas novas soluções com o objetivo de melhorar e complementar a performance estrutural deste edifício e aumentar os seus níveis de sustentabilidade. Estas abordagens, de projeto, foram sempre regidas pelos requisitos obrigatórios de alcançar técnicas, de intervenção, que assegurem o comportamento ideal de consumo de energia e índices de conforto.

Os estudos realizados são descritos detalhadamente, neste documento, e a pormenorização das soluções construtivas é fornecida para melhor compressão das soluções adotadas.

Palavras-chaves:

Soluções de reabilitação, Eficiência energética, Conforto, Performance estrutural, Sustentabilidade.

ABSTRACT

This thesis has the main aim of proposing design rehabilitation solutions for a residential building that is classified by the local Government of Ovar city due to architectural value of its main facade. The starting point of this work is supported on the architectural projects and on the projects of specialties already existing.

In the first part of this work, the existing architectural and structural projects were analyzed in order to detect deficiencies of the existing projects that can compromise the energy efficiency and comfort performance of this building. In a second phase new solutions were studied and designed in order to improve and complement the structural performance and sustainability levels of this building. These design approaches adopted were always governed by the mandatory requisites of attaining interventions techniques in the building that assures optimal behavior from energy consumption and comfort indexes.

The studies carried out are described in depth, and drawings are provided in detail for a comprehensive assessment of the construction solutions adopted.

Keywords:

Rehabilitation solutions, Energy efficiency, Comfort, Structural performance, Sustainability.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Reabilitação sustentável.....	1
1.2	Objetivos do trabalho.....	2
1.3	Estrutura do trabalho.....	3
2.	ESTADO DE ARTE.....	4
2.1	Reabilitação térmica da envolvente dos edifícios.....	4
2.1.1	Paredes exteriores.....	5
2.1.2	Coberturas.....	11
2.1.3	Pavimentos.....	13
2.1.4	Vãos envidraçados.....	15
2.1.5	Conclusões sobre as soluções de reabilitação térmica.....	22
2.2	Isolamentos térmicos.....	23
2.2.1	Isolamentos sintéticos e minerais.....	24
2.2.2	Isolantes naturais.....	30
2.2.3	Alvenaria com propriedades isoladoras.....	34
2.2.4	Conclusões sobre as soluções de isolamento térmico.....	35
2.3	Reabilitação energética dos edifícios.....	36
2.3.1	Energias renováveis na construção.....	38
2.3.2	Iluminação nos edifícios.....	43
2.4	Eficiência no consumo de água.....	47
2.4.1	Aproveitamento de águas pluviais e residuais.....	48
3.	CASO DE ESTUDO – REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA MORADIA.....	49
3.1	Descrição do edifício.....	49

3.2	Análise estrutural.....	53
3.2.1	Definição dos pórticos	53
3.2.2	Dimensionamento das lajes.....	58
3.2.3	Quantificação de ações.....	59
3.2.4	Dimensionamento das vigas.....	60
3.2.5	Dimensionamento das paredes.....	70
3.2.6	Resultados do dimensionamento da estrutura.....	73
4.	ESTRATÉGIAS PARA INTERVENÇÃO DE REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DO EDIFÍCIO EM ESTUDO.....	75
4.1	Soluções construtivas para isolamento de zonas correntes	76
4.1.1	Laje de rés-do-chão.....	76
4.1.2	Laje de piso 1 e 2	77
4.1.3	Laje de cobertura.....	78
4.1.4	Paredes interiores	79
4.1.5	Parede exterior do pórtico 1-1' e 2-2'	80
4.2	Soluções construtivas para isolamento de pontes térmicas	81
4.2.1	Pormenor da ligação à viga de fundação do pórtico 1-1'	81
4.2.2	Pormenor do talão da viga dos pórticos 1-1' e 2-2'	86
4.2.3	Pormenor da viga de fundação do Pórtico 4-4'	86
4.2.4	Pormenor da viga de fundação do pórtico 3-3'	89
4.2.5	Pormenor da viga de fundação do Pórtico 6-6'	91
4.2.6	Pormenor da viga de cobertura	91
4.2.7	Pormenor da ligação à parede	95
4.2.8	Pormenor da laje maciça	96
4.3	Sistema de drenagem de águas freáticas	98
4.4	Sistema de aproveitamento de águas freáticas do poço	99

4.5	Sistema de aquecimento de águas sanitárias e climatização.....	100
4.6	Iluminação natural	105
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS DESENVOLVIMENTOS	
	106	
5.1	Introdução	106
5.2	Conclusões	107
5.3	Recomendações para futuros desenvolvimentos	109
6.	REFERÊNCIAS	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Fachada ventilada [4]	5
Figura 2 - Sistema de ETICS com revestimento espesso [4]	6
Figura 3 - Sistema ETICS com revestimento delgado [4].....	6
Figura 4 - Sistema de isolamento térmico por elementos descontínuos pré-fabricados [4]	7
Figura 5 - Sistema direto de isolamento térmico pelo interior [5].....	9
Figura 6 - Sistema semidireto de isolamento térmico pelo interior [5].....	9
Figura 7 - Sistema autoportante de isolamento térmico pelo interior [5].....	10
Figura 8 - Sistema de contra fachada, a) – Contra fachada de alvenaria, b)- contra fachada em gesso cartonado [4].....	10
Figura 9 – Injeção de material isolante na caixa-de-ar [7]	11
Figura 10 - Cobertura inclinada sobre espaço habitável [4].....	12
Figura 11 - Cobertura inclinada sobre espaço não habitável (adaptado de [4])	12
Figura 12 - Pavimento sobre espaço não-aquecido - isolamento térmico inferior [4]	13

Figura 13 - Pavimento sobre espaço não-aquecido - isolamento térmico intermédio e superior [4].....	14
Figura 14 - Eficácia relativa dos sistemas de sombreamento interiores e exteriores [4]	20
Figura 15 - Proteções solares horizontais projetadas [4]	21
Figura 16 - Estores ajustáveis [4].....	21
Figura 17 - Toldos e ecrãs [4]	21
Figura 18 - Proteções solares verticais e mistas projetadas [4].....	21
Figura 19 - Proteções totais ajustadas [4]	22
Figura 20- Poliestireno expandido moldado [13]	24
Figura 21 - Poliestireno expandido granulado [13]	24
Figura 22 - Poliestireno extrudido [13].....	25
Figura 23 – Manta de lã de rocha [13]	27
Figura 24 – Manta de lã de vidro [14]	28
Figura 25 - Aplicação de telas refletoras – a) Cobertura, b) Parede dupla [15].....	30
Figura 26 - Painel “ <i>FOAMGLAS WALL BOARD W+F</i> ” [16]	31
Figura 27- Preenchimento de blocos cerâmicos com cortiça granulada [18]	32
Figura 28- Bloco para isolamento térmico [21]	35
Figura 29 - Radiação solar incidente no continente Europeu (kWh/m.ano) [23]	37
Figura 30 - Incidência do vento na Europa (km/h) [23]	37
Figura 31 - Esquema de funcionamento de sistema térmico solar - circulação forçada [25] ...	39
Figura 32- Telhas fotovoltaicas [26].....	40
Figura 33- Protótipo microturbina <i>T.Urban –H</i> [28]	41
Figura 34 – Interligação do recuperador de calor no sistema de aquecimento central e AQS - adaptado de [26].....	43
Figura 35 - Tubo solar - <i>Solatube</i> [29].....	45
Figura 36- Eficácia luminosa dos vários tipos de lâmpadas [4]	46
Figura 37 - Classes de certificação hídrica [31].....	48

Figura 38 - Precipitação na Europa (mm) [24].....	49
Figura 39 – Fachada principal do edifício	50
Figura 40 - Corte longitudinal - a) Edifício original, b) Projeto arquitetónico de reabilitação	51
Figura 41 – Alterações na arquitetura - a) Projeto sem alterações, b) Projeto com alterações	52
Figura 42 – Planta de rés-do-chão - a) Edifício original, b) Projeto de reabilitação	52
Figura 43 - Representação dos pórticos tipo em planta.....	53
Figura 44 – Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 1-1’	54
Figura 45 - Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 2-2’	55
Figura 46- Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 3-3’	55
Figura 47 - Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 4-4’	56
Figura 48 - Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 5-5’	56
Figura 49 - Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 6-6’	57
Figura 50 – Dimensões e quantidade de armadura da viga	62
Figura 51 – Corte longitudinal viga Pórtico 1-1’ - piso 1	68
Figura 52 – Cortes transversais viga Pórtico 1-1’ – piso 1.....	69
Figura 53 – Identificação das paredes	70
Figura 54 – Corte transversal da parede número 3.....	71
Figura 55 – Representação das secções tipo dos elementos estruturais em planta.....	73
Figura 56 – Corte transversal da viga de fundação do pórtico 1-1’	74
Figura 57 - Corte transversal da viga de piso 1 do pórtico 1-1’	74
Figura 58 - Corte transversal da viga de piso 2 do pórtico 1-1’	75
Figura 59 - Corte transversal da viga de cobertura do pórtico 1-1’	75
Figura 60 - Pormenor construtivo da laje de rés-do-chão	77
Figura 61 - Pormenor construtivo da laje de piso 1 e 2.....	78
Figura 62 – Pormenor construtivo da laje de cobertura.....	79
Figura 63 – Pormenor construtivo das paredes interiores	80

Figura 64 – Pormenor construtivo da parede exterior dos pórticos 1-1’ e 2-2’	81
Figura 65 – Pormenor da ligação à viga de fundação do pórtico 1-1’	84
Figura 66 - Pormenor da ligação à viga de fundação do pórtico 1-1’ – Local da parede	85
Figura 67 – Pormenor do talão da viga	87
Figura 68 – Pormenor da viga de fundação do pórtico 4-4’	88
Figura 69 – Pormenor da viga de fundação do pórtico 3-3’	90
Figura 70 – Pormenor de ligação da laje de piso térreo e a fachada do edifício.....	92
Figura 71 – Representação em planta do isolamento interior da parede de fachada	93
Figura 72 – Pormenor da viga de cobertura.....	94
Figura 73 - Pormenor da ligação à parede	95
Figura 74 – Pormenor da armadura do pilar	96
Figura 75 – Pormenor da laje maciça da varanda	97
Figura 76 – Sistema de drenagem de águas freáticas (alçado posterior do edifício)	98
Figura 77 – Corte transversal do dreno	99
Figura 78 – Sistema de aproveitamento de águas do poço – planta de rés-do-chão.....	100
Figura 79 – Dispositivos para ventilação natural controlada [40]	102
Figura 80 – Esquema de funcionamento do sistema de AQS e aquecimento central.....	103
Figura 81 - Esquema de ventilação natural do edifício.....	104
Figura 82 – Tubos solares nas casas de banho do piso 1 e do rés-do-chão	105
Figura 83 – Posicionamento dos tubos solares na cobertura	106

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de soluções de isolamento térmico pelo interior [5] e [6]	8
--	---

Quadro 2 - Soluções de isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores ou não aquecidos [4].....	14
Quadro 3 - Propriedades dos materiais das caixilharias [8] e [9].....	17
Quadro 4- Condutibilidades térmicas, valores de cálculo do isolamento PUR [10].....	26
Quadro 5- Principais propriedades do aglomerado e granulado de cortiça [17]	32
Quadro 6 – Propriedades do isolamento com fibras de Cânhamo [18].....	33
Quadro 7 - Características do produto “Argex 8-16” [20]	34
Quadro 8 – Comparação entre os coeficientes de condutibilidade térmica.....	36
Quadro 9 – Rigidez das molas.....	58
Quadro 10 – Resultado do dimensionamento das lajes	59
Quadro 11- Ação da parede exterior nos pórticos 1-1’ e 2-2’	59
Quadro 12 – Comprimentos de amarração dos varões	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Mtep - Milhão de toneladas equivalentes de petróleo

ETICS - External Thermal Insulating Composite Systems

EPS - Expanded Polystyrene

MW - Mineral Wool

U - Coeficiente de transmissão térmica

g - Fator solar

mm - Milímetro

PVC - Polyvinyl Chloride

Low-E - Low emissivity

ES - Espectralmente Seletivo

λ - Coeficiente de condutibilidade térmica

W - Watt

m² - Metro quadrado

m - Metro

°C - Grau Célsio

K - Kelvin

Kg - Quilograma

m³ - Metro cúbico

XPS - Extruded polystyrene

PUR - Polyurethane

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

kWh - Quilowatt-hora

km/h - Quilómetros por hora

AQS - Água Quente Sanitária / Água Quente Solar

PV - Photovoltaic

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

LED - Light emitting diode

UV - Ultraviolet

IR - Infrared

PNUEA - Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água

ANQIP - Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais

N - Newton

Pa - Pascal

PEX - Polietileno reticulado

1. INTRODUÇÃO

1.1 Reabilitação sustentável

A construção civil é um dos setores da atividade humana que mais pressão exerce sobre os recursos do planeta. Segundo a Agenda 21 para a Construção Sustentável, nos países industrializados da União Europeia, a construção consome cerca de 40% da energia total, é responsável por 40% dos resíduos produzidos pelo homem e produz cerca de 30% das emissões de dióxido de carbono [1].

Em 2005, em Portugal, os edifícios existentes foram responsáveis pelo consumo de 5,8 Mtep (Milhões de toneladas equivalentes de petróleo), representando cerca de 30% do consumo total de energia primária do país e 62% dos consumos de eletricidade. A porção de edifícios do setor residencial (3,3 milhões de edifícios) contribuiu com 17% dos consumos de energia primária o que representa 29% dos consumos de eletricidade a nível nacional [2]. Na generalidade dos casos, em termos de utilizações finais, os consumos de energia nos edifícios residenciais distribuem-se da seguinte forma: cozinhas e águas quentes sanitárias 50%, aquecimento e arrefecimento 25%, iluminação e equipamentos eletrodomésticos 25% [2].

Estes valores demonstram a necessidade da aplicação dos princípios do desenvolvimento sustentável ao ciclo global da construção e permitem tirar conclusões sobre os setores, de uma habitação, que necessitam de maior intervenção aquando da sua reabilitação.

A maioria dos edifícios de habitação construídos nas últimas décadas não responde às necessidades de conforto térmico dos ocupantes, motivando o aumento significativo dos consumos energéticos. Além disso, a qualidade do ar interior e o conforto acústico ficam também aquém das expectativas dos utilizadores. As principais características responsáveis pelo baixo desempenho energético do parque habitacional são [3]:

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente;
- Existência de pontes térmicas na envolvente do edifício e insuficiente isolamento das mesmas;
- Presença de humidade, afetando o desempenho energético e a durabilidade;
- Baixo desempenho térmico de vãos envidraçados e portas (perdas de calor desproporcionadas por transmissão térmica e por infiltrações excessivas de ar);
- Falta de proteção solar adequada nos vãos envidraçados, dando origem a sobreaquecimento no interior dos edifícios aumentando as necessidades energéticas no caso de habitações com sistemas de arrefecimento;
- Ventilação não-controlada, criando maiores necessidades energéticas em aquecimento no inverno;
- Ventilação insuficiente, conduzindo a maiores níveis de humidade relativa no inverno e sobreaquecimento no verão, provocando o desconforto dos ocupantes, fenómenos de condensação e baixo nível de qualidade do ar interior.

Os padrões de conforto da sociedade têm evoluído simultaneamente com a necessidade de eficiência energética e redução de consumo de energia. A reabilitação do património edificado é fundamental, com especial importância dos edifícios classificados que em muitos casos se encontram degradados e a necessitar de médias e grandes intervenções. Nestes edifícios devem ser implementadas medidas que permitam aumentar as condições de conforto dos seus habitantes e reduzir o consumo de energia.

1.2 Objetivos do trabalho

O objetivo da presente dissertação é o desenvolvimento de soluções de projeto que permitam preservar as componentes declaradas classificadas da moradia em estudo, assegurando níveis de desempenho energético e parâmetros de conforto considerados adequados para os melhores padrões de exigência atuais, o que implica o cumprimento da regulamentação em vigor.

Com a realização deste projeto pretende-se alcançar os seguintes objetivos:

- Desenvolver competências em análise e dimensionamento estrutural, utilizando programas de cálculo estrutural;
- Estudar soluções construtivas que permitam a redução de pontes térmicas ou a redução do impacto destas no desempenho global do edifício;
- Estudar equipamentos, materiais e técnicas construtivas que permitam melhorar a sustentabilidade do edifício principalmente ao nível do desempenho energético e do conforto térmico;

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho irá desenrolar-se em três fases. A primeira fase consiste na pesquisa de materiais e soluções para reabilitação de edifícios, na segunda fase é realizado o dimensionamento estrutural da moradia em estudo, na terceira são definidas as estratégias para intervenção de reabilitação sustentável da moradia, ao nível do isolamento térmico, dos equipamentos e redes de abastecimento e drenagem. A dissertação está dividida em cinco capítulos.

No primeiro apresenta-se o enquadramento teórico da tese, assim como os objetivos e a organização do trabalho desenvolvido.

No segundo capítulo insere-se o Estado de Arte onde são apresentadas as técnicas de reabilitação de edifícios, ao nível térmico e energético.

No terceiro capítulo é iniciado o desenvolvimento do caso de estudo de uma moradia, sendo feita uma descrição do edifício, bem como os processos de cálculo inerentes ao dimensionamento estrutural. Será apresentado um exemplo de cálculo de um elemento estrutural.

No quarto capítulo são apresentadas as estratégias para intervenção de reabilitação sustentável do edifício. Os primeiros dois subcapítulos são referentes à descrição das soluções construtivas de isolamento térmico para os locais de pontes térmicas e zonas correntes, os restantes são destinados à aplicação de medidas sustentáveis aos níveis dos sistemas e

equipamentos. A descrição será acompanhada da respetiva pormenorização das soluções previstas.

Finalmente, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido, as perspetivas e sugestões para a continuação dos estudos realizados durante a presente dissertação.

2. ESTADO DE ARTE

2.1 Reabilitação térmica da envolvente dos edifícios

O edifício em estudo integra uma fachada considerada classificada, tendo sido construído em finais do século XIX. Do levantamento do estado atual da moradia constatou-se que o nível de dano é muito elevado na generalidade dos seus elementos construtivos, pelo que a intervenção passará por manter apenas a fachada classificada e executar um projeto que integre os requisitos para que apresente níveis de desempenho estrutural, energético e de parâmetros de conforto compatíveis com as atuais exigências.

A combinação de medidas de reabilitação térmica da envolvente (pelo reforço do isolamento térmico e controlo das infiltrações de ar) e a reabilitação energética dos equipamentos (melhoria da eficiência dos equipamentos de aquecimento) permite, de uma forma eficiente, a economia de energia num edifício, aquando de um processo de intervenção de reabilitação e reforço.

Nos subcapítulos que se seguem é feita uma abordagem das várias técnicas e tipos de isolamentos utilizados na reabilitação energética dos edifícios, para os vários elementos construtivos, de um edifício de habitação. As medidas que se apresentam visam conferir uma significativa melhoria da qualidade térmica aos edifícios, possibilitando a redução das

necessidades energéticas, a redução de manifestações patológicas e o aumento do conforto interior.

2.1.1 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 isolamento está, no entanto, sujeita às seguintes condicionantes:

- Se não existirem condicionamentos arquitetónicos à alteração do paramento exterior e se este se apresentar degradado, então, é mais indicado o isolamento pelo exterior;
- Se existirem condicionamentos arquitetónicos à alteração do paramento exterior (caso de edifícios classificados ou edifícios dispostos em banda), o isolamento apenas pode ser realizado pelo interior ou na caixa-de-ar;

2.1.1.1 Isolamento térmico pelo exterior

- Fachada ventilada

Esta solução consiste na fixação diretamente à parede de uma camada de isolamento térmico e na execução de um revestimento independente exterior, de elementos descontínuos, fixado à parede através de uma estrutura de suporte (metálica ou de madeira) que protege o isolamento térmico da chuva, da radiação solar, da ação do vento e dos restantes agentes atmosféricos (Figura 1). Entre o isolamento e o revestimento deixa-se uma caixa para circulação de ar.

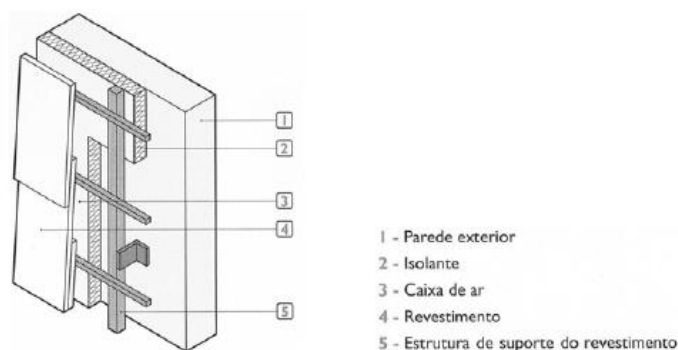


Figura 1 – Fachada ventilada [4]

- Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)

As soluções do segundo tipo são conhecidas pela sigla ETICS – *External Thermal Insulating Composite Systems*. Este tipo de solução é constituído por placas de isolamento térmico, em que numa das faces é aplicado um revestimento contínuo armado. As placas são fixadas à parede por colagem, por fixação mecânica ou por ambos os processos. O sistema ETICS pode ser de revestimento espesso (Figura 2) ou de revestimento delgado (Figura 3).

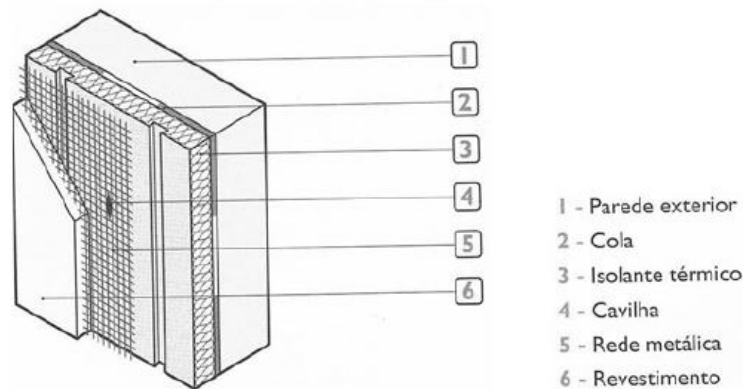


Figura 2 - Sistema de ETICS com revestimento espesso [4]

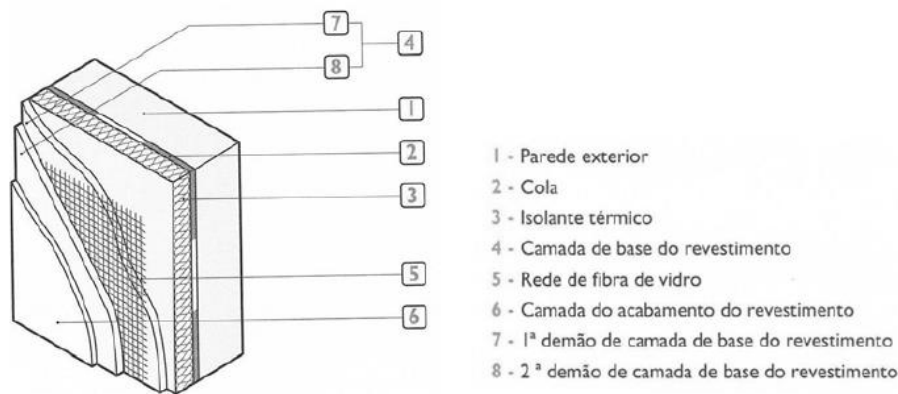


Figura 3 - Sistema ETICS com revestimento delgado [4]

No sistema com revestimento espesso são utilizadas placas de poliestireno expandido (EPS) ou de lã mineral (MW) como isolamento térmico e é aplicado um revestimento armado com malha metálica ou fibra de vidro. No sistema com revestimento delgado são, sobretudo, utilizadas placas de poliestireno expandido moldado (EPS) como isolamento térmico, sobre as quais é aplicado um revestimento de ligante sintético ou misto, armado com rede de fibra de vidro.

- Revestimentos isolantes

Os revestimentos pré-fabricados com isolamento descontínuo são formados por elementos produzidos em fábrica, constituídos por um material isolante em placa que é revestido por uma película de natureza metálica, mineral ou orgânica [4] (Figura 4). O isolamento utilizado é quase sempre poliestireno expandido (EPS) e a aplicação em obra deste sistema apresenta a vantagem de ser efetuada numa única operação.

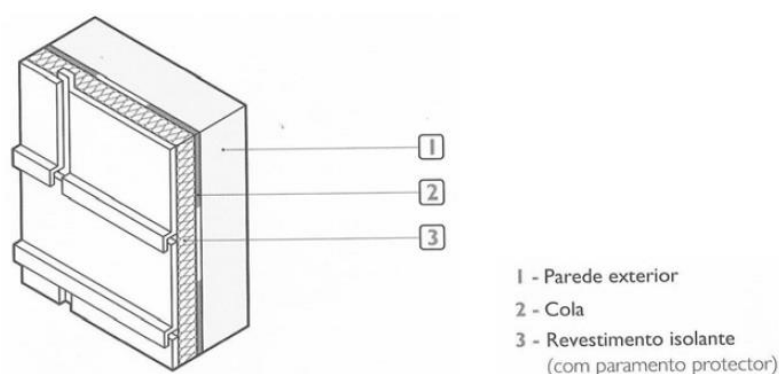


Figura 4 - Sistema de isolamento térmico por elementos descontínuos pré-fabricados [4]

Relativamente aos rebocos isolantes estes consistem em argamassas que incorporam grânulos de um isolamento térmico, com vista a reduzir a sua condutibilidade térmica do revestimento. Considerando a espessura normal dos rebocos exteriores, a sua condutibilidade térmica não pode ser comparada com a dos isolamentos térmicos, devido à resistência térmica inferior do conjunto argamassa/ isolamento. O recurso a esta técnica não pode, por si só, ser considerado como solução para a reabilitação térmica de paredes, sem dispensar a adoção de outras medidas complementares, como foi anteriormente referido, trata-se de uma solução que apenas seria viável se a espessura do reboco fosse tal que compensasse a sua baixa resistência térmica, em relação aos isolamentos térmicos geralmente utilizados [3].

Resumidamente apresentam-se, as principais vantagens e inconvenientes da utilização de isolamento térmico pelo exterior.

Vantagens do isolamento térmico pelo exterior (adaptado de [4]):

- Isolamento mais eficiente;
- Proteção da parede contra as ações atmosféricas;

- Disponibilidade da massa total da parede para a contabilização da inércia térmica interior do edifício;
- Ausência de descontinuidades na camada isolante;
- Manutenção das dimensões dos espaços interiores;
- Eliminação de pontes térmicas e das consequências das condensações nas paredes.

Inconvenientes do isolamento térmico pelo exterior (adaptado [4]):

- Alteração do aspeto exterior do edifício;
- Maior risco de degradação por vandalismo;
- Os trabalhos de reabilitação são condicionados pelas condições climatéricas;
- Risco de fendilhação dos revestimentos (em soluções com revestimento contínuo).

2.1.1.2 Isolamento térmico pelo interior

O isolamento térmico pelo interior consiste na colocação de painéis isolantes, fixos contra a parede interior (por fixação mecânica ou por colagem). Este sistema é constituído por um material de revestimento superficial que apresenta resistência mecânica (geralmente placas de gesso cartonado), permitindo posteriormente a aplicação de diversos acabamentos. Existem várias soluções possíveis para a aplicação do isolamento térmico pelo interior, tal como se apresenta no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de soluções de isolamento térmico pelo interior [5] e [6]

Localização do isolamento	Tipos de soluções	
Interior	Painéis isolantes pré-fabricados (em geral com altura de andar) fixados contra a parede	Sistema direto
		Sistema semidireto
		Sistema autoportante
	Contra fachadas	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
Revestimentos refletores (usados atrás de radiadores).		

- Painéis isolantes pré-fabricados fixados contra a parede - Sistema direto [5]

Sistema à base de painéis pré-fabricados integrando um material isolante térmico, colado em fábrica, a uma placa rígida, normalmente de gesso cartonado (Figura 5). A aplicação efetua-se geralmente por colagem pontual.

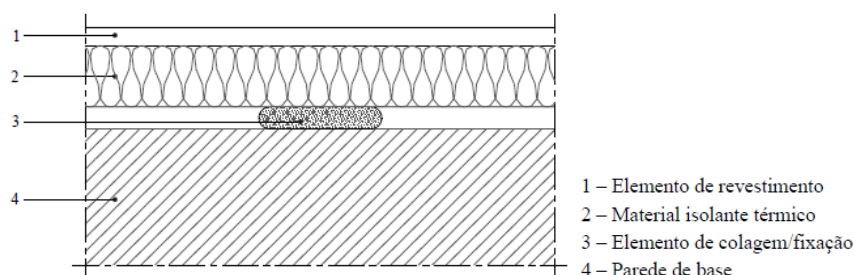


Figura 5 - Sistema direto de isolamento térmico pelo interior [5]

- Painéis isolantes pré-fabricados fixados contra a parede - Sistema semidireto [5]

Este tipo de sistema consiste numa estrutura com perfis do tipo ómega fixados à parede de base, à qual por sua vez são fixados a elementos similares aos utilizados nos sistemas diretos (isolamento térmico e gesso cartonado), tal como ilustrado na Figura 6.

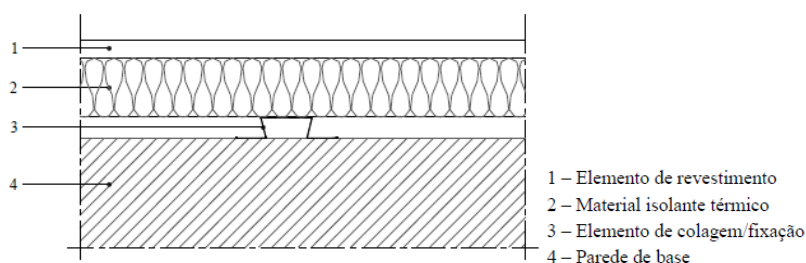


Figura 6 - Sistema semidireto de isolamento térmico pelo interior [5]

- Painéis isolantes pré-fabricados fixados contra a parede - Sistema autoportante [5]

Sistema constituído por uma estrutura modular integrando calhas horizontais e verticais metálicas fixadas mecanicamente às lajes de teto e pavimento, aos quais são aparafusados os elementos de revestimento (Figura 7), sendo o espaço de ar existente entre a parede de base e o elemento de revestimento preenchido total ou parcialmente por um material isolante térmico.

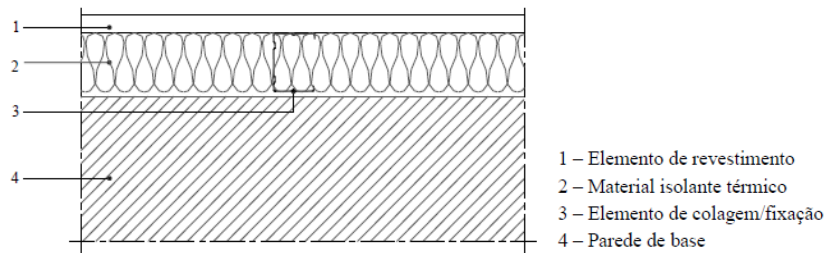


Figura 7 - Sistema autoportante de isolamento térmico pelo interior [5]

▪ Contra fachadas

Consiste na construção de um pano de alvenaria de espessura reduzida (Figura 8 a)), ou de um forro em placas de gesso cartonado (Figura 8 b)), pelo lado interior da parede, incorporando um isolante térmico entre os dois elementos. Em caso de risco de infiltração de água, deve ser deixada uma caixa-de-ar entre o isolante térmico e a parede preexistente [4] e [6].

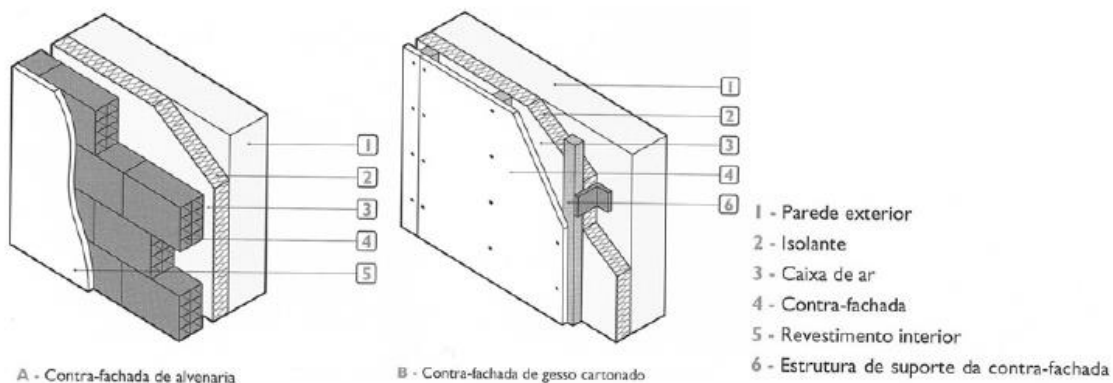


Figura 8 - Sistema de contra fachada, a) – Contra fachada de alvenaria, b)- contra fachada em gesso cartonado [4]

2.1.1.3 Isolamento na caixa-de-ar

O reforço do isolamento térmico das paredes duplas é possível de ser realizado por incorporação de materiais isolantes soltos ou de espumas injetadas na caixa-de-ar, permitindo manter o aspeto exterior das mesmas e reduzir ao mínimo as operações de reposição dos respetivos paramentos, os quais ficam limitadas à vedação dos furos de injeção (Figura 9).

Esta solução pode apresentar algumas limitações importantes, como por exemplo, a caixa-de-ar pode ter espessura pequena, ou apresentar-se preenchida com argamassa ou detritos, o que dificulta a aplicação homogénea do isolamento ao longo da parede. Deve também ser tido em conta o espaçamento entre furos de injeção e o controlo de pressão de injeção para evitar deformações no paramento [3].



Figura 9 – Injeção de material isolante na caixa-de-ar [7]

Quando não é possível alterar o aspeto exterior do edifício (caso de edifícios de valor patrimonial por exemplo) as soluções de isolamento terão de ser realizadas pelo interior ou na caixa-de-ar. Contudo a utilização de isolamento pelo interior tem as desvantagens de reduzir a inércia térmica do edifício e, por outro lado, de reduzir o espaço habitável. Assim, sempre que possível, e se estiver prevista a construção de paredes duplas, o isolamento deve ser colocado na caixa-de-ar.

2.1.2 Coberturas

A cobertura é o elemento que mais condiciona o desempenho do edifício pelo facto de ser a parte constituinte deste que está sujeita a maiores flutuações de temperatura. Enquanto no verão se pretende evitar o seu sobreaquecimento e a transmissão de calor para o interior do edifício, no inverno é necessário minimizar as perdas de calor para o exterior. As coberturas podem ser inclinadas ou horizontais, qualquer que seja o seu tipo, é possível encontrar soluções de reabilitação térmica. Em coberturas inclinadas é também necessário distinguir [4]:

- Desvão habitável;
- Desvão não-habitável.

Se o desvão for habitável o isolamento térmico deve ser aplicado em posição inferior (sob as varas) no caso de estrutura de suporte da cobertura em madeira (Figura 10). No caso de laje maciça, o isolamento térmico deve ser colocado na vertente inferior da laje de cobertura (Figura 10).

Quando o isolamento é colocado sob coberturas descontínuas (como é, por exemplo, o caso de cobertura de telha cerâmica) é necessário prever uma proteção superior em relação à água das chuvas e aos agentes atmosféricos, que não crie uma barreira para-vapor que origine condensações internas no isolamento [4].

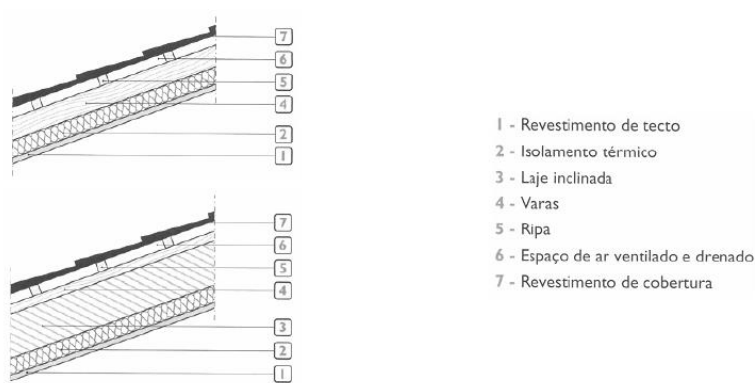


Figura 10 - Cobertura inclinada sobre espaço habitável [4]

Se o desvão não for habitável o isolamento deve ser aplicado na esteira horizontal, eventualmente protegido superiormente se o desvão for acessível (Figura 11). A colocação de isolamento na esteira horizontal evita a necessidade de aquecer o desvão no inverno e permite um melhor desempenho no verão devido à forte ventilação.

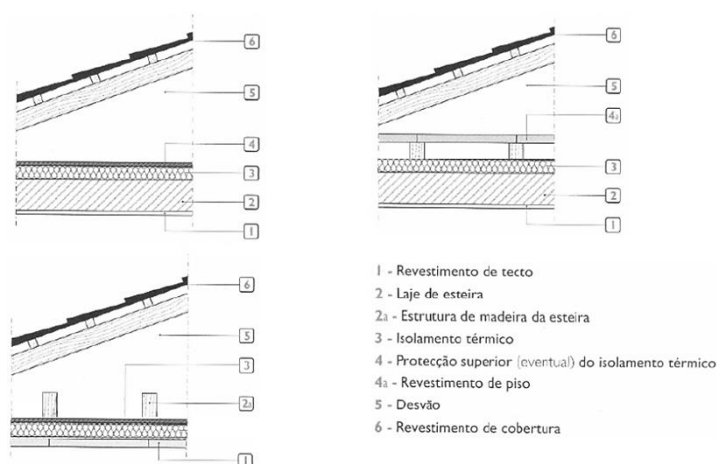


Figura 11 - Cobertura inclinada sobre espaço não habitável (adaptado de [4])

A colocação de isolamento horizontal na esteira é mais económico quando comparado com o isolamento das vertentes, pois a quantidade de isolante utilizada é menor e a sua aplicação é em geral mais fácil, e por outro lado, haverá um menor consumo de energia para aquecimento durante a estação fria, pois o desvão não necessita ser aquecido [3].

Em edifícios com valor patrimonial é necessário manter inalterada a fachada exterior visível. Na generalidade dos casos a disposição da cobertura é inclinada e o suporte é em madeira, pelo que as soluções apresentadas anteriormente adaptam-se à generalidade das intervenções de reabilitação destes edifícios, desde que seja possível aproveitar ou reconstruir os elementos de suporte da cobertura.

2.1.3 Pavimentos

Os pavimentos a reabilitar termicamente podem localizar-se sobre espaços exteriores, sobre espaços interiores não aquecidos (nomeadamente garagens, arrecadações, armazéns, varandas, ou marquises fechadas), sobre espaços não aquecidos e não ventilados (como desvão sanitário), ou podem ser pisos térreos. O reforço do isolamento térmico de pavimentos pode fazer-se mediante três opções distintas, que se caracterizam pela localização do material isolante em relação à laje de pavimento:

- Isolamento térmico aplicado na face inferior (Figura 12);
- Isolamento térmico intermédio (preenchimento dos vazios entre réguas de pavimentos de madeira, com isolamento térmico) (Figura 13 a));
- Isolamento térmico aplicado na face superior, (Figura 13 b)).



Figura 12 - Pavimento sobre espaço não-aquecido - isolamento térmico inferior [4]

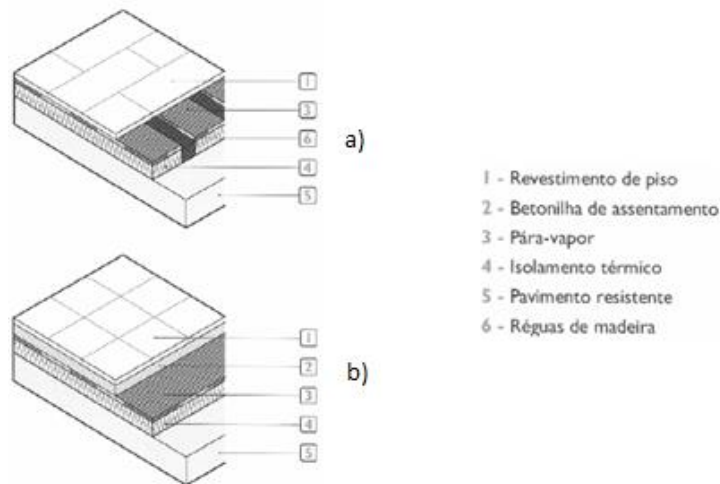


Figura 13 - Pavimento sobre espaço não-aquecido - isolamento térmico intermédio e superior [4]

Desde que o espaço subjacente ao pavimento seja acessível, as soluções de isolamento térmico inferior são preferíveis, porque para além de ser mais eficiente do ponto de vista térmico (aproveitamento da inércia térmica total do elemento construtivo), são também geralmente de mais fácil e rápida aplicação e também de menor custo [3].

Quadro 2 - Soluções de isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores ou não aquecidos [4]

Localização do isolamento térmico	Tipos de soluções
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 régulas de pavimentos de madeira com um isolante térmico (mantas de lã mineral ou isolante a granel)
	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

Inferior		Revestimentos pré-fabricados descontínuos	isolantes isolantes
	Revestimentos isolantes	Rebocos isolantes	
		Revestimentos de espuma isolante projetada	
		Tetos-falsos isolantes	
	Tetos-falsos	Tetos-falsos suportando uma camada de isolante térmico	

2.1.4 Vãos envidraçados

A reabilitação térmica dos vãos envidraçados permite o reforço da proteção contra o excesso da radiação solar no verão, controlando-se os ganhos térmicos mediante a limitação da entrada da radiação solar através dos dispositivos de proteção, tendo o cuidado de não comprometer os ganhos solares no inverno. Para além de reforçar o isolamento térmico do edifício o envidraçado reduz as infiltrações de ar não controladas e leva a uma melhoria da ventilação natural. Por estes motivos, o tipo de caixilharias e a qualidade dos envidraçados a aplicar merecem especial atenção, pois são essenciais para a otimização do desempenho energético e ambiental dos edifícios.

Torna-se portanto fundamental a aplicação de medidas de reabilitação dos envidraçados, com objetivo de melhorar o desempenho destes elementos. As medidas consistem essencialmente em [4]:

- Reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados (quantificado pelo coeficiente de transmissão térmica, U) e redução das trocas de calor associadas às diferenças de temperatura entre os ambientes interior e exterior;
- Redução da permeabilidade ao ar da caixilharia, minimizando as perdas de calor associadas à infiltração do ar e simultaneamente reduzindo os problemas de desconforto associados às correntes de ar inerentes a uma elevada permeabilidade da envolvente;
- Minimização da sensação de desconforto térmico associada ao fenómeno de superfície fria e às correntes de ar frio de origem convectiva existentes junto às superfícies frias;

- Controlo dos ganhos solares através dos vãos envidraçados (quantificados pelo fator solar, g), permitindo a admissão de radiação solar quando esta é necessária (períodos de aquecimento) e limitando-a, mediante dispositivos de proteção solar e/ou envidraçados com características de controlo solar, nos períodos de verão;
- Admissão controlada de luz natural através dos vãos envidraçados (quantificada pela transmitância luminosa), minimizando eventuais problemas de encandeamento e de sobreaquecimentos ou arrefecimentos excessivos;
- Dotar a caixilharia de folhas móveis ou mecanismos de abertura, que permitam a ventilação interior pela abertura das folhas.

Tendo em conta os aspetos que afetam o desempenho dos envidraçados, a melhoria do seu desempenho pode ser obtida através das seguintes medidas [6]:

- Substituição dos elementos por outros com desempenho térmico melhorado, nomeadamente caixilharia com corte térmico e vidro duplo ou triplo;
- Utilização de envidraçados com elevado desempenho térmico, nomeadamente unidades envidraçadas com isolamento térmico reforçado através do recobrimento com uma camada de baixa emissividade;
- Criação de janelas duplas mediante a incorporação de um segundo caixilho em cada vão. As perdas térmicas de inverno e os ganhos solares de verão são melhorados. Por outro lado, esta medida prejudica a transmissão luminosa para o interior dos edifícios;
- Substituição de vidros simples por vidros duplos (ou triplos);
- Substituição do material vedante das juntas da caixilharia, das juntas móveis, ou das juntas vidro caixilho.

Quando a caixilharia se encontrar em bom estado de conservação, pode ser ponderada a substituição do vidro simples por um vidro duplo, caso o caixilho assim o permita. A espessura da lâmina de ar do vidro deve ser tanto maior quanto possível, preferencialmente de 16 mm [3].

A adoção de vidros duplos, para além de reduzir as perdas térmicas e as necessidades de aquecimento, diminui a possibilidade de ocorrência de fenómenos de condensação e melhora o conforto térmico e acústico, bem como a qualidade de construção.

No caso de ser absolutamente necessário manter a caixilharia original voltada para o exterior, pode ser ponderada a instalação de uma segunda janela pelo interior, para assegurar um maior isolamento acústico, esta estratégia pode ser utilizada em edifícios de valor patrimonial como forma de permitir a reabilitação dos vãos envidraçados sem ter de intervir nas janelas existentes.

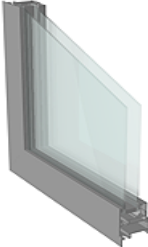
Para evitar a infiltração de ar através das caixilharias deve ser verificada a vedação de todas as uniões entre a caixilharia e as suas estruturas de suporte. As caixilharias têm de dispor de borrachas de vedação (ou equivalente) entre as suas partes móveis, para redução da sua permeabilidade ao ar, em particular nas fachadas expostas a ventos dominantes.

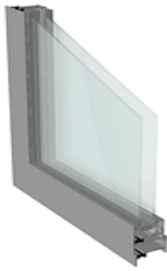



Em alternativa à caixilharia de madeira existe também caixilharia em PVC – *PolyVinyl Chloride*, alumínio, fibra de vidro e caixilharias híbridas (conjugação de mais do que um material). Atualmente existe também uma grande variedade de vidro com diferentes propriedades, bem como dispositivos de sombreamento que permitem o melhoramento do desempenho dos vãos envidraçados.



2.1.4.1 Tipos de caixilharia

No Quadro 3 apresentam-se os vários tipos de materiais utilizados nas caixilharias, bem como as suas propriedades.

Quadro 3 - Propriedades dos materiais das caixilharias [8] e [9]

Material	Representação	Propriedades
Alumínio		Duradouro e requer pouca manutenção. A maior desvantagem é a elevada condutividade térmica, em climas frios, uma caixilharia de alumínio simples conduz à condensação de humidade ou formação de gelo.

Alumínio com corte térmico		<p>Tem benefícios aos níveis do conforto e economia. A condução de calor é reduzida através da corte térmico da caixilharia.</p> <p>Os perfis de alumínio com corte-térmico promovem uma redução da transmissão térmica entre 40 a 60%.</p>
Madeira		<p>Aparência tradicional e excelente desempenho térmico, por outro lado a longevidade é limitada pela suscetibilidade ao apodrecimento e empeno, o que requer uma contínua manutenção. A caixilharia em madeira lamelada colada garante prestações superiores quanto à durabilidade e desempenho térmico.</p>
Madeira composta		<p>O pano exterior da caixilharia é revestido por PVC ou alumínio, constituindo uma superfície resistente durante o tempo de vida útil. Reduz os custos de manutenção relativamente à caixilharia tradicional de madeira e mantém uma aparência atrativa no interior, proporcionada pelo acabamento em madeira.</p>
PVC		<p>Melhor isolamento térmico, acústico e estanquidade comparativamente com as caixilharias tradicionais.</p> <p>A resistência do material cria vantagens ao nível da longevidade e não exige necessidade de conservação. Pode ser comparável à madeira em termos de desempenho térmico.</p>

<p>Híbrido</p> 	<p>A caixilharia híbrida usa dois ou mais materiais distintos, para produzir um sistema de janela completa.</p> <p>Proporciona menores custos, no entanto, dada a diversidade de materiais utilizados na sua composição é difícil estimar as propriedades térmicas.</p>
<p>PVC termicamente melhorado</p> 	<p>O preenchimento das cavidades ocultas da caixilharia com isolamento térmico torna-as mais eficientes no isolamento relativamente às caixilharias clássicas de PVC e até às de madeira. Este tipo de caixilharia é geralmente utilizado em conjunto com vidros de elevado desempenho térmico.</p>

O tipo de abertura é também relevante para o desempenho térmico e acústico das portas e janelas envidraçadas. As janelas e portas de batente e/ou oscilo-batente são as que conseguem obter um melhor desempenho térmico e acústico.

2.1.4.2 Tipos de envidraçados

Hoje em dia existe uma grande variedade de vidros com diferentes propriedades que proporcionam um grande número de soluções de proteção solar sem prejudicar o aproveitamento da iluminação natural. Segundo Paiva [4], os diversos tipos de envidraçados geralmente utilizados nas construções são:

- Vidro simples transparente;
- Vidros coloridos (na massa);
- Vidros refletantes;
- Unidades envidraçadas múltiplas (vidros duplos e triplos transparentes);
- Vidros com revestimentos de baixa emissividade (*Low-e*) e espectralmente seletivos (ES);
- Unidades envidraçadas múltiplas com preenchimento de gás inerte.

De entre todos os tipos de envidraçados expostos anteriormente, os vidros com revestimento de baixa emissividade (*Low-e*) e espectralmente seletivos (ES) são aqueles que apresentam maiores vantagens quando se pretende ter uma boa relação entre ganhos solares e iluminação natural [6].

2.1.4.3 Proteções solares

Nos vãos que não disponham de dispositivos de proteção solar, deve ser ponderada preferencialmente a aplicação de proteções exteriores [6]. Caso seja possível a aplicação de persianas ou portadas de baixa permeabilidade ao ar, isso também contribui para um aumento do isolamento térmico do vão envidraçado.

Como se pode observar na Figura 14 os dispositivos de sombreamento pelo exterior são mais eficazes na redução dos ganhos solares. A sua maior eficácia deve-se ao facto de os dispositivos de sombreamento pelo exterior limitarem a entrada de radiação através do envidraçado, o que não acontece com os sistemas de sombreamento interior em que a radiação atravessa o envidraçado. Por outro lado, a utilização de sombreamento pelo interior tem a vantagem de o utilizador poder controlar de forma mais fácil a iluminação natural.

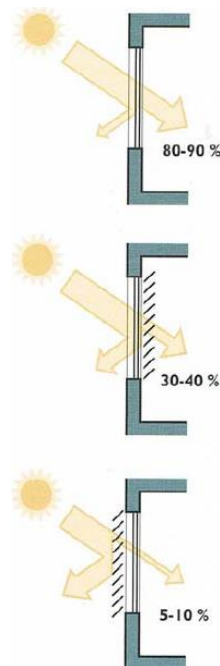


Figura 14 - Eficácia relativa dos sistemas de sombreamento interiores e exteriores [4]

Os dispositivos de sombreamento exteriores podem ser divididos nas seguintes categorias:

- Proteções solares horizontais projetadas - Figura 15 (ilustrações 1 e 2);
- Estores ajustáveis - Figura 16 (ilustrações 3 e 4);
- Toldos e ecrãs - Figura 17 (ilustrações 5 e 6);
- Proteções solares verticais e mistas projetadas - Figura 18 (ilustrações 7, 8 e 9);
- Proteções totais ajustadas – Figura 19 (ilustrações 10, 11 e 12).

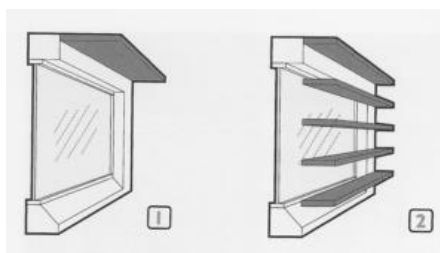


Figura 15 - Proteções solares horizontais projetadas [4]

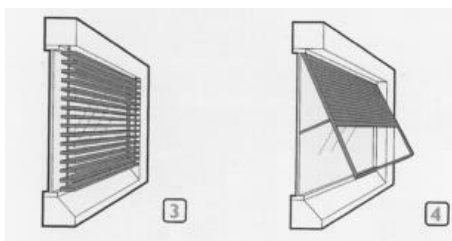


Figura 16 - Estores ajustáveis [4]

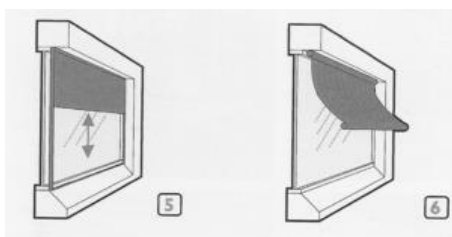


Figura 17 - Toldos e ecrãs [4]

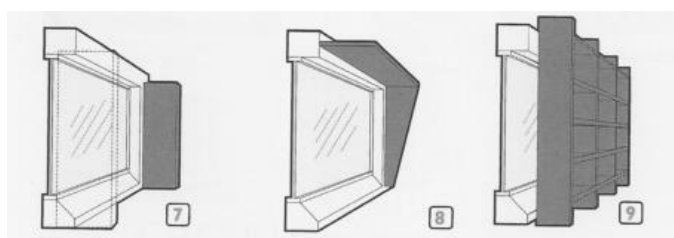


Figura 18 - Proteções solares verticais e mistas projetadas [4]

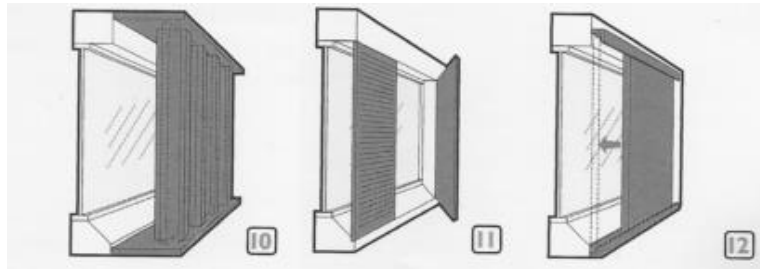


Figura 19 - Proteções totais ajustadas [4]

2.1.5 Conclusões sobre as soluções de reabilitação térmica

As soluções de isolamento térmico pelo exterior apresentam vantagem no isolamento de pontes térmicas e no aumento da inércia térmica interior dos edifícios, fatores fundamentais para o conforto e eficiência energética.

A otimização do desempenho dos vãos envidraçados passa pela utilização de caixilharias termicamente melhoradas (por exemplo PVC). Também o tipo de abertura da caixilharia influencia o seu desempenho térmico, a utilização de janelas batentes ou oscilo-batentes permite associar a eficácia de vedação das janelas ou portas à possibilidade de ventilação controlada. Os vidros com revestimento de baixa emissividade e espectralmente seletivos são aqueles que apresentam maiores vantagens quando se pretende ter uma boa relação entre ganhos solares e iluminação natural.

É fundamental completar a informação referente ao subcapítulo 2.1 referindo a importância dos materiais de mudança de fase (PCM). A capacidade de armazenamento de energia dos materiais de construção dos edifícios pode ser potenciada pela adição de materiais de mudança de fase. Estes materiais têm a capacidade de armazenar calor latente, quando mudam de uma fase sólida para líquida (ocorrendo uma reação endotérmica), posteriormente esse calor é libertado, quando estes materiais regressam à fase sólida (reação exotérmica).

2.2 Isolamentos térmicos

A principal propriedade dos isolamentos térmicos é a sua capacidade de criar uma barreira à transmissão de temperatura entre o exterior e o interior e isso traduz-se na resistência térmica e no coeficiente de condutibilidade térmica (λ). Este coeficiente representa a quantidade de calor, expressa em Watt (W) por unidade de área (m^2) que atravessa uma espessura unitária (m) de um material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura (1°C ou 1 K). Um material só é considerado isolante quando o valor da condutibilidade térmica for inferior a $0.065 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{C})$ [10].

Os valores da condutibilidade térmica são de uma grande importância para a quantificação de um bom isolamento. No entanto se a sua resistência térmica for inferior a $0.030 (\text{m}^\circ\text{C})/\text{W}$ [10], este material não pode ser considerado um bom isolante. Deste modo convém utilizar um isolante que possua uma condutibilidade térmica bastante baixa ($<0.065 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{C})$ [10]).

De entre a vasta gama de isolamentos existentes no mercado, destacam-se os isolamentos naturais e os isolamentos sintéticos. O caminho para a sustentabilidade na construção passa pela adoção de materiais sustentáveis, exemplo disso são os isolamentos naturais. Estes materiais compõem uma vasta matriz de características e propriedades, que, quando corretamente aplicados melhoram consideravelmente a performance do edifício [11].

Em termos de desempenho os isolamentos naturais conseguem competir com os isolamentos sintéticos convencionais e geralmente são melhores materiais em termos de funcionalidade, durabilidade e podem ser reciclados o que contribuiu para a sustentabilidade na construção. Em comparação com os isolamentos sintéticos, cuja produção acarreta a emissão de grandes quantidades de dióxido de carbono, os isolamentos naturais (como por exemplo as fibras de madeira e o cânhamo) tem a vantagem de absorver o dióxido de carbono da atmosfera durante o seu crescimento [11].

Nos subcapítulos seguintes são apresentados os materiais de isolamento térmico sintéticos e minerais, geralmente utilizados na construção, bem como as alternativas em termos de materiais naturais com a mesma aplicação.

2.2.1 Isolamentos sintéticos e minerais

2.2.1.1 Poliestireno expandido (EPS)

- Características do material

Trata-se de uma espuma termoplástica, cuja estrutura assenta em esferas cheias de ar produzidas através de vapor de água. A sua principal vantagem é a sua baixa condutibilidade térmica conferida pela estrutura de células fechadas, cheias de ar, que dificultam a passagem do calor, o que confere ao EPS uma grande capacidade isolante. As densidades do EPS variam entre os 10-30 kg/m³ [12], permitindo uma redução substancial do peso das construções.

A condutibilidade térmica deste tipo de isolamento varia em função da massa volúmica do material, e está geralmente compreendido entre $\lambda = 0,055\text{W}/(\text{m}^\circ\text{C})$ e $\lambda = 0,037\text{W}/(\text{m}^\circ\text{C})$ [12]. O poliestireno expandido pode ainda ser moldado em placas (Figura 20) ou apresentar-se em forma granulada para ser adicionado ao betão (Figura 21).



Figura 20- Poliestireno expandido moldado [13]



Figura 21 - Poliestireno expandido granulado [13]

- Aplicações e durabilidade

Este material não constitui alimento (substrato) para o desenvolvimento de animais ou microrganismos e todas as suas propriedades se mantêm inalteradas ao longo do tempo de vida útil [12]. É resistente ao envelhecimento, no entanto, deve ter-se em consideração a radiação solar direta, bem como outros tipos de radiações ricas em energia, que deterioram o EPS por alterarem a sua estrutura química. Não se regista, todavia, deterioração quando a radiação solar é difusa. A estrutura celular do EPS é também danificada por solventes ou vapores destes, sendo este processo acelerado em temperaturas elevadas [12].

2.2.1.2 Poliestireno extrudido (XPS)

- Caraterísticas do material

O Poliestireno extrudido (Figura 22) é, tal como o Poliestireno expandido, uma espuma rígida de Poliestireno, mas diferencia-se do EPS por ser obtida por um processo de extrusão em contínuo e por empregar outros gases expansores. Enquanto o EPS é composto por um conjunto de esferas, o XPS é um material homogéneo. Para além de possuir uma excelente resistência às trocas térmicas (cerca de 20% superior que o poliestireno expandido) [12], as placas de Poliestireno extrudido possuem uma excelente resistência às ações mecânica e ambientais. A condutibilidade térmica, de cálculo, deste tipo de isolamento varia em função da massa volúmica do material, e é geralmente $\lambda = 0,037W/(m^{\circ}C)$, para uma densidade compreendida entre 25-40 kg/m³ [10].

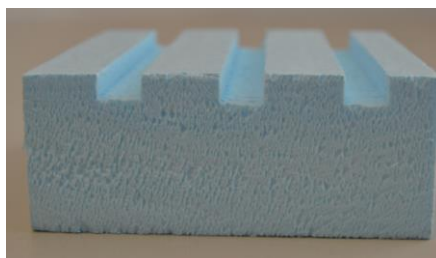


Figura 22 - Poliestireno extrudido [13]

- Aplicações e durabilidade

As placas de Poliestireno extrudido são altamente resistentes à absorção de água e a sua capilaridade é nula, sendo também muito resistentes à difusão do vapor de água e não são

afetadas por ciclos repetidos de gelo-degelo. Trata-se, contudo, de um material combustível que arde rapidamente se exposto a fogo intenso, sofrendo alterações dimensionais irreversíveis quando exposto a altas temperaturas por longo período de tempo [12].

Quando adequadamente aplicadas, a vida útil destas placas é estimada em período de tempo igual ao da vida útil do edifício ou construção em que se inserem [12].

2.2.1.3 Espuma rígida de poliuretano (PUR)

O Poliuretano pertence à classe dos polímeros e a sua matéria-prima é o petróleo. Através de um processo de destilação é possível a separação, por pontos de ebulição, dos diversos compostos constituintes do petróleo, sendo um desses materiais o Poliuretano. Para se obter a espuma, o material é expandido a quente por meio de injeção de gases, formando a espuma cuja dureza pode ser controlada conforme o uso que se lhe quer dar [12]. A condutibilidade térmica deste tipo de isolamento varia em função do tipo de uso do material PUR, tal como pode ser observado no Quadro 4.

Quadro 4- Condutibilidades térmicas, valores de cálculo do isolamento PUR [10]

Tipo de uso	Massa volúmica aparente seca (kg/m³)	Condutibilidade térmica, valor de cálculo
Placas	20-50	0,040
Projetado ou injetado	20-50	0,042
Painéis sandwich	35-50	0,037

2.2.1.4 Lã de rocha

- Características do material

A lã de rocha provém de fibras minerais de rochas vulcânicas, entre elas o basalto e o calcário. Estas fibras naturais de rocha vulcânica podem apresentar a forma de placa ou manta

(Figura 23). Trata-se de um material de isolamento flexível, leve e de fácil instalação que apresenta as seguintes características [12]:

- Incombustível;
- Resistente à água;
- Estrutura é estável;
- Imputrescível e antiparasita;
- Não corrosiva e não é atacada por sais nem por ácidos;
- Não nocivo à saúde;
- Não resultam substâncias poluentes das matérias-primas nem dos produtos acabados.

A condutibilidade térmica deste tipo de isolamento varia em função da sua massa volúmica e tem um valor de cálculo, geralmente compreendido entre $\lambda = 0,045\text{W}/(\text{m}^\circ\text{C})$ e $\lambda = 0,042\text{W}/(\text{m}^\circ\text{C})$ [10].



Figura 23 – Manta de lã de rocha [13]

- Aplicações e durabilidade

Devido às suas propriedades de isolante térmico a lã de rocha atende os mercados da construção civil, industrial e automóvel, entre outros. Na construção este material é geralmente utilizado no isolamento de lajes de esteira em que existe um desnível entre esta e a cobertura inclinada. Quando se utilizam fixadores mecânicos, pode também ser utilizada para isolar paredes duplas, tetos falsos e parede em gesso cartonado.

Além de não reter água, uma vez que possui uma estrutura não capilar, as alterações perante eventuais condensações são nulas. Não provoca alergias, não apodrece, permite a passagem

do ar, recupera sempre a espessura original após retirada a força que a deformou e tem durabilidade ilimitada [12].

2.2.1.5 Lã de vidro

- Características do material

A lã de vidro é um componente fabricado em alto-forno a partir de sílica e sódio, que elevados a temperatura de aproximadamente 1500⁰C, formam uma massa em estado plástico de altíssima viscosidade que aumenta à medida que arrefece, mantendo-se em estado de sobre fusão sem cristalizar [12].

Tal como a lã de rocha, a manta de lã de vidro (Figura 24) é um material de isolamento térmico flexível, leve e de fácil instalação. A condutibilidade térmica deste tipo de isolamento varia em função da sua massa volúmica e tem um valor, de cálculo, geralmente compreendido entre $\lambda = 0,045\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$ e $\lambda = 0,044\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$ [10].



Figura 24 – Manta de lã de vidro [14]

- Aplicações e durabilidade

Devido ao seu comportamento similar ao da lã de rocha, as suas aplicações são as mesmas indicadas para esta. Trata-se de um material durável (mantendo as suas propriedades ao longo do tempo), em que as suas propriedades não se alteram quando o material é exposto a saís marinhos, não favorece a proliferação de fungos ou bactérias e não interfere com as superfícies com que se encontra em contacto [12].

2.2.1.6 Telas refletoras

- Características do material

As telas refletoras consistem numa estrutura semirrígida e uniforme de pequenas células fechadas, onde o ar permanece hermeticamente fechado nos alvéolos compostos por folhas de alumínio termolaminado e espuma de polietileno não reticulado de alta densidade [15]. Estas características permitem a este material ser capaz de fazer, simultaneamente, um isolamento por reflexão e condução, e evitar a criação de condensações.

Trata-se de uma solução que oferece as seguintes vantagens [15]:

- Isolamento eficiente uma vez que reflete a energia radiante;
- Devido à sua leveza, não é necessário que a estrutura da construção suporte grandes pesos;
- Com uma espessura mínima obtém-se um máximo isolamento;
- Adaptação do isolamento a qualquer tipo de superfície;
- Impermeável ao vapor da água e à humidade;
- Oferece um isolamento completo uma vez que com um só material é obtido isolamento térmico e acústico.

A título exemplificativo, como foi feito para as soluções de isolamento apresentadas anteriormente, o isolamento termo acústico (*Space Reflex F5A*), apresenta um coeficiente de transmissão térmica $\lambda = 0,037\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$ [15].

- Aplicações e durabilidade

Esta solução pode ser aplicada no isolamento térmico de coberturas (Figura 25 a)), na caixa-de-ar de paredes duplas exteriores (Figura 25 b)), pavimentos e isolamento de condutas. Trata-se de um material que apresenta durabilidade elevada não necessitando de qualquer tipo de manutenção, não se deteriorando com a humidade nem com condensações.



Figura 25 - Aplicação de telas refletoras – a) Cobertura, b) Parede dupla [15]

2.2.2 Isolantes naturais

Estes materiais têm uma combinação de características-chave que ajudam a criar construções mais eficientes energeticamente, mais saudáveis e duráveis, mantendo as condições de conforto dos ocupantes. A utilização de materiais de isolamento naturais tem em vista a sustentabilidade na medida em que estes apresentam menores impactos associados ao seu ciclo de vida.

2.2.2.1 Vidro celular

O isolamento de vidro celular é constituído na sua totalidade por vidro reciclado (geralmente vidro proveniente da indústria automóvel e da construção) [16], as suas propriedades isoladoras são devidas essencialmente à presença de inúmeras bolhas de gás aprisionadas na estrutura vítrea do isolamento. Resumidamente as principais características deste material são as que se apresentam de seguida [16]:

- Impermeável à água, ou seja não absorve qualquer humidade nem varia de volume;
- Impermeável ao vapor, impede a penetração da humidade e funciona como barreira de vapor;
- Evita a penetração de radão (radiação proveniente da desintegração do urânio, presente no granito);
- Incombustível, na medida em que é totalmente constituído por vidro;
- Baixa deformabilidade e baixo coeficiente de dilatação, próximo do betão e do aço;
- Ecológico, o vidro celular é livre de retardadores de chama e propelentes, nem outros produtos prejudiciais ao meio ambiente. O isolamento térmico de vidro celular pode

também ser reciclado e reutilizado, como enchimento em terrenos ou granulado para fins de isolamento térmico.

A título exemplificativo, uma placa de “*FOAMGLAS WALL BOARD W+F*” (Figura 27), para isolamento da caixa de ar de paredes duplas tem um coeficientes de transmissão térmica $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$ [16].



Figura 26 - Painei “*FOAMGLAS WALL BOARD W+F*” [16]

O vidro celular é incombustível devido à sua composição a partir do vidro puro. É resistente ao ataque de parasitas e a produtos corrosivos, possui uma elevada resistência à compressão e um baixo coeficiente de dilatação linear. A capacidade isoladora deste material mantém-se constante em toda a sua vida útil uma vez que o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água é infinito, mantendo-se assim o material sempre seco. Pode ser utilizado em áreas ao nível do solo, pois não serve de base para reprodução, nidificação ou germinação de sementes [16].

2.2.2.2 Cortiça

Grande parte da produção de cortiça é efetuada na União Europeia (acima dos 80%), com maior destaque para cerca de 50% do volume de produção, em Portugal [17]. Proveniente do córtex exterior do sobreiro (*Quercus Suber*), a sua extração é feita a partir dos seus 20 até aos 150 anos, com intervalos de 8 anos [18], constituindo desta forma um recurso renovável.

A cortiça é um material leve que se caracteriza pela sua elasticidade, pode suportar elevadas compressões verticais sem se expandir, e é impermeável a gases e líquidos e praticamente

imputrescível. Além de quimicamente inerte é um isolamento, com baixa condutividade térmica e elétrica. É também caracterizado por ser um material absorvedor acústico e de vibrações [17] e [18].

Na construção a cortiça é geralmente utilizada sob a forma de placas de aglomerado de cortiça, ou granulada para preenchimento de blocos cerâmicos (Figura 27). Nos edifícios a cortiça pode ser utilizada na proteção das coberturas em betão armado contra as amplitudes térmicas, reduzindo as perdas de energia, protegendo as lajes e impedindo ou reduzindo a condensação superficial. No campo da acústica, é utilizada na correção acústica por absorção e diminuição do tempo de reverberação em determinados ambientes [17].

Quadro 5- Principais propriedades do aglomerado e granulada de cortiça [17]

Propriedades	Aglomerado de cortiça	Granulado de cortiça
Densidade (kg/m ³)	100-140	70-80
Coefficiente de transmissão térmica (W/(m°C))	0,042	0,048
Granulometria (mm)	-	3-15



Figura 27- Preenchimento de blocos cerâmicos com cortiça granulada [18]

2.2.2.3 Cânhamo

O cânhamo, como matéria-prima, apresenta um vasto campo de aplicação que abrange a alimentação, cosmética, têxteis, combustíveis e materiais de construção [18]. Esta planta atinge até os 4 metros de altura entre 100 a 120 dias após a sua plantação e têm a capacidade

de cobrir rapidamente o solo impedindo o aparecimento de ervas daninhas, evitando desta forma o uso de pesticidas no seu cultivo [19].

As soluções de isolamento, utilizando este material, podem ser apresentadas em forma de painéis flexíveis ou em rolo para isolar tetos, paredes ou pavimentos. É considerado uma boa aposta como material de construção, pois aliado aos seus benefícios ambientais (redução das emissões de dióxido de carbono e pelo facto de ser proveniente de um recurso renovável), é de fácil aplicação e passível de ser utilizado em obras de reabilitação ou construções novas, [18] e [19].

As principais vantagens deste isolamento são [18] e [19]:

- Material reciclável;
- Sem risco para a saúde;
- Boa resistência mecânica;
- Capacidade de regulação da humidade no interior do edifício sem perder propriedades isolantes.

No Quadro 6 apresentam-se algumas propriedades do isolamento térmico de fibras de cânhamo.

Quadro 6 – Propriedades do isolamento com fibras de Cânhamo [18]

Propriedades	
Densidade (kg/m ³)	20-25
Coefficiente de transmissão térmica (W/(m°C))	0,039
Comportamento ao fogo (DIN 4102):	B2

2.2.2.4 Argila expandida

Entre os diferentes tipos de argila existentes, salienta-se uma do tipo inerte e arenoso que, contrariamente à utilizada na produção de materiais cerâmicos, se expande quando sujeita a elevadas temperaturas, designada por argila expandida. Deste processo de introdução de argila pura em fornos rotativos a temperaturas superiores a 800°C resulta a sua expansão controlada

e a formação de grânulos no seu interior que por conterem apenas ar, conferem leveza e propriedades isolantes [18, 20].

A argila expandida é geralmente utilizada em soluções de enchimento, tais como regularização e isolamento de pavimentos, camada de forma em coberturas e enchimento de caixa-de-ar de paredes duplas [20]. As suas propriedades tornam-na indicada para aplicação em obras de geotecnia, agricultura e paisagismo, nomeadamente drenagem, aterros, floreiras e coberturas ajardinadas. A título exemplificativo apresentam-se, no Quadro 9 as principais propriedades da argila expandida, produto da marca ‘Argex’ [20].

Quadro 7 - Características do produto ‘Argex 8-16’ [20]

Propriedades do material	
Densidade (kg/m ³)	297
Coefficiente de transmissão térmica (W/(m°C))	0,1
Granulometria (mm)	8-16
Classe de resistência ao fogo	Classe A1

2.2.3 Alvenaria com propriedades isoladoras

As propriedades isoladoras, destes materiais de construção, são essencialmente devidas à inserção de argila expandida no processo de fabrico da alvenaria. Trata-se de blocos para isolamento térmico e acústico de argila expandida que faz parte de um sistema construtivo concebido para alvenarias de exterior simples. Esta solução, além de garantir as exigências térmicas do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), permite o aumento do conforto acústico dos edifícios [21], sem necessitar de isolamento.

Na Figura 28 apresenta-se um bloco para isolamento térmico, constituído por 11 paredes longitudinais separadas entre si por 10 caixa-de-ar, cuja distribuição e dimensões, aliadas ao tipo de betão utilizado, permitem obter reduzidos coeficientes de transmissão térmica ($U=0,51$ W/m².°C) e elevada inércia térmica, com uma largura de 315 mm [21].



Figura 28- Bloco para isolamento térmico [21]

As principais vantagens da utilização de alvenaria com propriedades de isolamento térmico são [21]:

- Tratamento regulamentar das pontes térmicas;
- Elevada inércia térmica;
- Montagem simples;
- Tempo de execução inferior ao de paredes duplas;
- Resistência mecânica elevada;
- Estabilidade dimensional;

A alvenaria com propriedades isoladoras trata-se de uma alternativa às paredes duplas e simples, sem recorrer a materiais de isolamento térmico. É uma solução a ter em conta quando se pretende a substituição integral de elementos em alvenaria no processo de reabilitação e se pretende elevados níveis de conforto. No entanto o custo do material e a elevada espessura dos blocos podem ser condicionantes importantes à utilização deste tipo de solução.

2.2.4 Conclusões sobre as soluções de isolamento térmico

No Quadro 8 é apresentada uma síntese das condutibilidades térmicas dos materiais analisados, como é possível observar dentro da categoria dos isolamentos sintéticos aqueles que apresentam melhor desempenho como isolante térmico são o poliestireno extrudido (XPS) e a tela refletora. Dentro da categoria dos isolamentos naturais analisados o vidro celular apresenta-se como a solução ideal quando se pretende aliar boa capacidade de isolamento térmico a elevada resistência mecânica e durabilidade.

Quadro 8 – Comparação entre os coeficientes de condutibilidade térmica

Material	Coefficiente de condutibilidade térmica (W/(m°C))
Poliestireno expandido (EPS)	0,055
Poliestireno extrudido (XPS)	0,037
Espuma rígida de poliuretano	0,040
Lã de rocha	0,044
Lã de vidro	0,045
Tela refletora	0,037
Vidro celular	0,038
Cortiça (aglomerado)	0,042
Cânhamo	0,039
Argila expandida	0,100

2.3 Reabilitação energética dos edifícios

Seja pela aplicação da legislação atual ou pela integração de energias renováveis, deve ter-se a preocupação de tornar o edifício energeticamente eficiente. Em termos de utilizações finais estima-se que os consumos de energia nos edifícios residenciais se distribuem, aproximadamente, da seguinte forma: cozinhas e águas quentes sanitárias (AQS) 50%, iluminação e equipamentos (eletrodomésticos) 25%, aquecimento e arrefecimento 25% [22].

Apesar dos valores apresentados anteriormente serem uma estimativa que não tem em conta os vários setores populacionais e regiões, pode-se concluir que devem ser tomadas as seguintes medidas [22]:

- Redução do peso correspondente às águas quentes sanitárias, cuja fonte energética é geralmente o gás e a eletricidade e onde a energia solar térmica poderá ter um impacto muito significativo, na redução dos consumos de energia, nomeadamente na produção de água quente solar (AQS);
- Outra das utilizações finais importantes nos edifícios corresponde aos consumos nos equipamentos e na iluminação, onde a melhoria da sua eficiência energética é fundamental;

- Finalmente, a intervenção passa também pela redução dos consumos destinados ao conforto térmico (aquecimento e arrefecimento).

Os consumos destinados ao conforto são uma parcela cada vez mais importante no consumo global dos edifícios residenciais. Tal como se tem verificado nos últimos anos, as exigências de conforto tem evoluído e com este aspeto também os consumos energéticos [22].

Portugal é um país que apresenta grande potencialidade para a aplicação de sistemas de aproveitamento da radiação solar. A Figura 29 mostra a radiação solar incidente no continente Europeu, e a Figura 30 a incidência do vento na Europa, condições essenciais para a aplicação de sistemas de energia solar térmica, energia solar fotovoltaica e energia eólica.

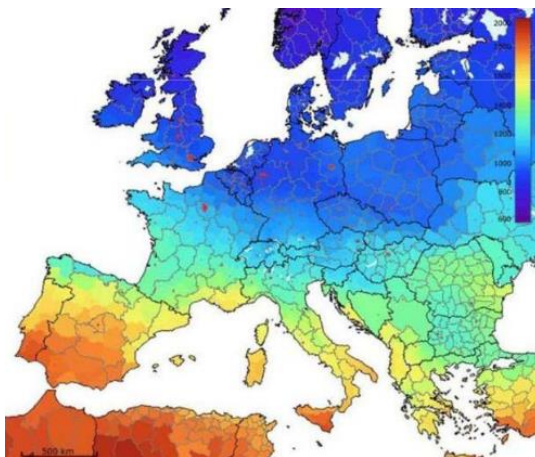


Figura 29 - Radiação solar incidente no continente Europeu (kWh/m.ano) [23]

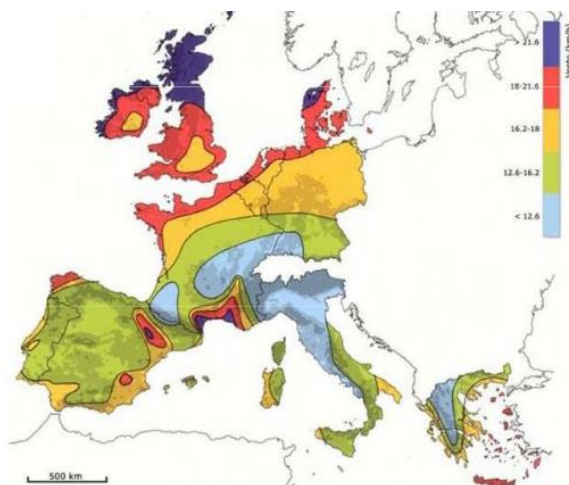


Figura 30 - Incidência do vento na Europa (km/h) [23]

2.3.1 Energias renováveis na construção

2.3.1.1 Energia solar térmica

Em Portugal, desde julho de 2006, todos os edifícios novos devem seguir as recomendações do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (DL 80/2006) [24]. Neste Regulamento prevê-se a utilização de painéis solares térmicos sempre que o edifício apresente boas condições de captação de radiação solar (boa exposição solar). A área de painel necessária para uma habitação ronda 1 m² por pessoa [24].

A escolha do tamanho dos painéis solares em função das necessidades de energia durante os meses de inverno resulta num excedente de energia durante o verão, constituindo um desperdício. Assim, os sistemas solares necessitam de apoio de sistemas convencionais para a produção de água quente [2].

Na Figura 31 representa-se o esquema de funcionamento de um sistema solar térmico de circulação forçada. A circulação do fluido térmico é feita com recurso a uma bomba (indicada em 2) que força o transporte do fluido térmico entre os coletores solares (indicado em 1) e o acumulador (indicador em 3). Como foi descrito anteriormente o sistema de painéis solares necessita de um sistema auxiliar, para a produção de AQS, quando a radiação incidente é fraca ou inexistente. O equipamento auxiliar encontra-se assinalado em 4, está representado como uma caldeira mural, mas podem ser utilizadas outras fontes de energia, como por exemplo, o recuperador de calor e a bomba de calor. Na Figura 31 é possível observar a existência de dois subsistemas independentes, o subsistema destinado à circulação do fluido térmico dos painéis e o subsistema auxiliar de produção de água quente, ambos têm a funções de transferir calor, por condução, para água que se encontra no interior do acumulador.

O sistema de circulação forçada distingue-se do sistema de termo sifão pois no caso deste último o acumulador encontra-se anexado ao painel solar e a circulação do fluido térmico é feita por convecção natural.

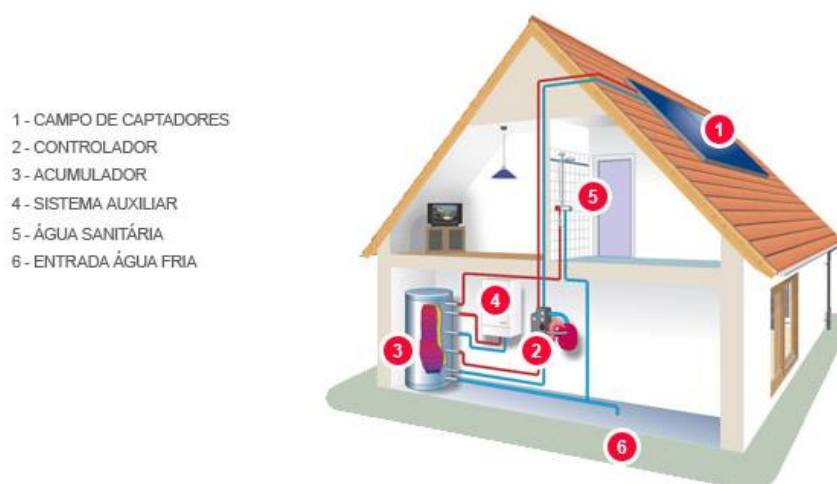


Figura 31 - Esquema de funcionamento de sistema térmico solar - circulação forçada [25]

2.3.1.2 Energia solar fotovoltaica

Os painéis solares fotovoltaicos são formados por um número variável de células fotovoltaicas. Estas são formadas por um material semicondutor, o silício, ao qual são adicionadas substâncias que favorecem a criação de um meio adequado à conversão direta da radiação solar em energia elétrica [25]. O desempenho energético dos painéis fotovoltaicos (PV) varia consoante a luz solar disponível e a inclinação dos módulos, sendo a eficiência de conversão da ordem dos 15% [2]. O nosso país, devido às suas características climáticas, ver Figura 29, possui excelentes condições para a produção de energia através da conversão fotovoltaica.

Os sistemas de energia solar fotovoltaica apresenta as seguintes vantagens: [2]:

- Alta fiabilidade;
- Adaptabilidade dos módulos - os sistemas podem ser dimensionados para aplicações com diferentes gamas de potências;
- A energia gerada durante as horas de radiação pode ser armazenada em baterias para o seu aproveitamento nas horas de inexistência de insolação.
- O custo de operação é reduzido - a manutenção é quase inexistente;
- Trata-se de uma energia renovável, logo apresenta vantagens ambientais, pois o seu produto final é não poluente, silencioso e não perturba o ambiente.

Por outro lado apresentam também algumas desvantagens [2]:

- Custo de investimento inicial elevado;
- O rendimento de conversão do módulo é reduzido em comparação com o custo de investimento inicial do sistema;
- Os painéis fotovoltaicos raramente são competitivos do ponto de vista económico, face a outros tipos de geradores (por exemplo: geradores a gasóleo). A exceção restringe-se a casos onde existam reduzidas necessidades de energia em locais isolados e/ou em situações de grande preocupação ambiental.
- Quando é necessário proceder ao armazenamento de energia sob a forma química (baterias), o custo do sistema fotovoltaico torna-se ainda mais elevado.

Os painéis fotovoltaicos podem ser, quando isso é permitido pela arquitetura ou por outras condicionantes, colocados na fachada do edifício, trata-se de um aproveitamento, que apesar de não apresentar a mesma eficiência que a colocação de painéis na cobertura com orientação adequada, tem a vantagem de permitir o aproveitamento da grande área de superfície de edifícios em altura para a produção de energia elétrica.

Atualmente existe também a integração de células fotovoltaicas nas telhas dos edifícios (Figura 32), esta solução deve ser tida em conta quando se pretende minimizar o impacto visual provocado pelos painéis fotovoltaicos [26].



Figura 32- Telhas fotovoltaicas [26]

2.3.1.3 Energia eólica

A energia eólica é a energia que o vento gera e que pode ser aproveitada para a produção de energia elétrica. A produção de eletricidade é feita pela transformação da energia cinética (vento) em energia mecânica (rotação do eixo da turbina), que por sua vez será convertida em energia elétrica.

Existem turbinas de vários tamanhos e de várias potências. Para pequenas instalações de uso doméstico os aerogeradores mais adequados são capazes de produzir de 400 W a 3,2 kW [2]. Para conseguir um bom rendimento é necessário que a localização dos aerogeradores se encontre numa região ventosa, ou seja, com vento na maioria dos dias do ano e com uma velocidade média anual superior aos 13 km/h [2]. Como se pode observar no gráfico da Figura 30, todo o território português apresenta condições adequadas à aplicação deste tipo de aproveitamento com especial ênfase para as regiões litorais norte que são regiões mais ventosas.

A aplicação urbana em massa destes equipamentos encontra alguns desafios, nomeadamente os padrões irregulares de vento característicos do ambiente urbano, bem como os elevados custos de manutenção. O sucesso dependerá da correta avaliação do recurso disponível, da escolha do tipo de turbina e da sua instalação [27]. A nível nacional, e com a coordenação do LNEG, integrando uma equipa de investigadores de diversas instituições nacionais, foi desenvolvida uma turbina eólica especialmente concebida para ambientes urbanos (*T. Urban*) [27]. Na Figura 33 representa-se uma microturbina de eixo horizontal com potência nominal de 2.5 kW, sendo o diâmetro das pás de 2,3 metros [28].



Figura 33- Protótipo microturbina *T.Urban –H* [28]

2.3.1.4 Energia da biomassa

Por biomassa entende-se a fração biodegradável de produtos e resíduos da agricultura, da floresta e das indústrias afins, bem como dos resíduos industriais e urbanos suscetíveis de aproveitamento energético. Do seu uso mais comum, o melhor implementado é o aproveitamento das lenhas [2].

Atualmente existem também no mercado vários tipos de *pellets*, estes materiais consistem no aproveitamento de resíduos de serrações e do processamento de madeiras (aparas de madeira e serradura), que são comprimidos e reduzidos a grânulos de pequenas dimensões. Estes materiais têm a vantagem de ser uma forma mais prática e eficiente de biomassa, no entanto, têm a desvantagem de serem materiais também mais caros em relação à lenha [2].

Os recuperadores de calor apresentam elevados rendimentos na produção de calor dispondo os modelos mais recentes de um vasto conjunto de funcionalidades (como por exemplo a alimentação automática e a ausência de produção de fumos), o que os torna uma solução muito atrativa de aquecimento. Para além do mencionado, a biomassa é um combustível mais barato e ecológico que os convencionais [2].

Os recuperadores de calor podem funcionar de forma autónoma ou em conjunto com outros sistemas de aquecimento central (geotérmico, aerotérmico ou solar). Na Figura 34 encontra-se representada a interligação do recuperador de calor com os sistemas de aquecimento central (radiadores e piso radiante). A existência de um acumulador permite também a integração do recuperador de calor no sistema de aquecimento de águas sanitárias.

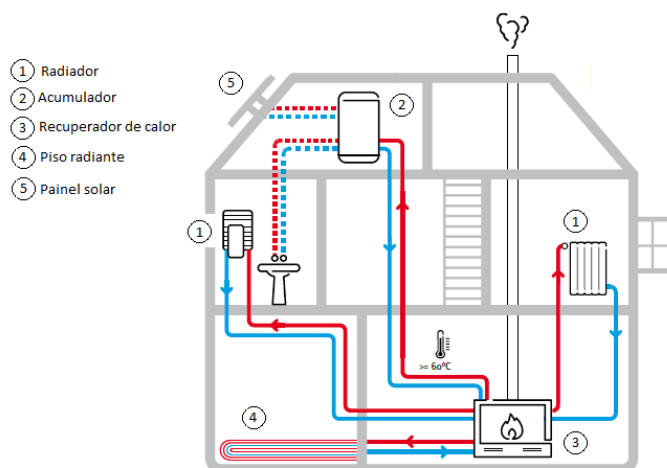


Figura 34 – Interligação do recuperador de calor no sistema de aquecimento central e AQS - adaptado de [26]

2.3.2 Iluminação nos edifícios

2.3.2.1 Iluminação Natural

O principal elemento que favorece a iluminação natural é o vão envidraçado, pelo que é necessário fazer uma cuidadosa escolha das suas dimensões e propriedades, de modo a promover uma iluminação natural conveniente. Por vezes, pequenas alterações na arquitetura podem ter grandes impactos na iluminação interior de um edifício. Neste aspeto os vãos envidraçados podem ser utilizados para suprimir diferentes necessidades de iluminação, como por exemplo, a colocação de uma janela a maior altura para proporcionar a iluminação natural a maiores profundidades num compartimento.

A radiação solar tem consequências importantes nas condições térmicas interiores e de iluminação natural, para além de poder ser utilizada para a iluminação dos espaços interiores, pode provocar o sobreaquecimento dos espaços no verão ou aquecimento favorável no inverno. Desta forma, é necessário a existência de um balanço entre a quantidade de luz natural que poderá ser obtida por um vão envidraçado e as perdas ou ganhos através do mesmo.

Com o avanço científico foram criados envidraçados que permitem um maior controlo da intensidade e propriedades óticas da luz solar, assim como o fluxo de calor que os atravessa. Desta forma a escolha do vidro com as propriedades adequadas é fundamental para o desempenho energético do edifício.

Portugal dispõe de boas condições geográficas e climáticas que propiciam o aproveitamento da luz natural nos edifícios. Apesar disso, alguns fatores podem prejudicar esse aproveitamento, como por exemplo [4]:

- Obstrução à luz natural por parte de edifícios vizinhos;
- Orientações desfavoráveis dos vãos envidraçados devido a constrangimentos urbanísticos e de loteamento;
- Dispositivos de proteção solar não compatíveis com os requisitos de iluminação natural e com a necessidade de oclusão noturna;
- Inadequação das características dos vãos envidraçados (dimensão e forma, localização, dispositivos de sombreamento ineficazes, entre outros);
- Compartimentos com aberturas para o exterior demasiado profundos;
- Compartimentos interiores sem comunicação visual e luminosa com compartimentos perimetrias, com aberturas para o exterior.

Quando, por algum motivo estiver limitada a exposição solar a espaços que se querem iluminados naturalmente, pode-se optar pela utilização de tubos solares, que são sistemas onde a luz natural é captada e orientada através de condutas para os espaços interiores do edifício (Figura 35). Este sistema é constituído por uma conduta refletora hermética que retransmite os raios solares com extrema eficácia, absorvendo 99,9% dos raios ultravioleta e minimizando a transferência de calor [25]. A zona de transferência, assinalada na figura com o número 3, pode ter comprimento máximo de 9 metros [29], o que torna esta solução ideal quando se pretende conduzir a luz solar da cobertura para os pisos inferiores do edifício, quando a habitação é constituída por vários pisos. Existem também um conjunto de dispositivos complementares a este sistema, entre eles destacam-se, a regulação da entrada de iluminação, a adaptação de iluminação artificial no sistema de tubo solar, bem como uma grande variedade de difusores [29]



Figura 35 - Tubo solar - *Solatube* [29]

2.3.2.2 Iluminação artificial

A iluminação é responsável por elevados consumos de energia elétrica no setor residencial, estima-se que, nas habitações da União Europeia, possa atingir 10,8% da fatura de eletricidade final de cada habitação [12]. Estes consumos são devidos em primeiro lugar à insuficiente iluminação natural que parte das habitações apresenta e, em segundo lugar, à ineficiência energética dos equipamentos de iluminação adotados pelos utilizadores e, em certos casos, pelos projetistas.

Na escolha do tipo de lâmpada deve-se ter principalmente em atenção à relação entre o fluxo luminoso (lm) que a lâmpada fornece e a potência utilizada (Watt), características inerentes à sua classificação energética. Na Figura 36 apresenta-se a comparação da eficiência luminosa dos vários tipos de lâmpadas geralmente utilizados nos edifícios.

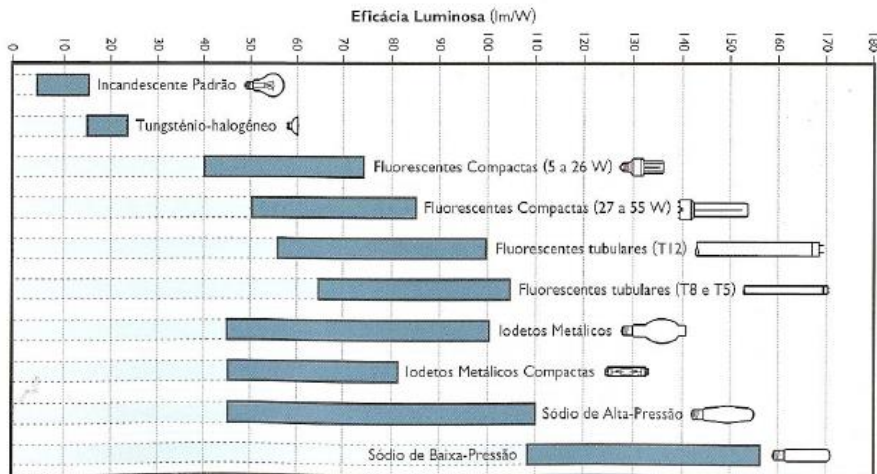


Figura 36- Eficácia luminosa dos vários tipos de lâmpadas [4]

Verifica-se que as lâmpadas incandescentes que são aquelas mais utilizadas na iluminação de edifícios residências (devido ao seu baixo custo) são também as que apresentam menor eficiência luminosa. Este facto, associado também ao seu menor tempo de vida útil e a maior produção de dióxido de carbono, tornam esta solução numa opção pouco sustentável em termos económicos, ambientais e energéticos.

A redução do consumo de energia elétrica na iluminação passa pela utilização de lâmpadas fluorescentes e/ou Díodos Emissores de Luz (*LEDs*). A utilização de lâmpadas fluorescentes apresenta-se como um investimento inicial mais elevado em relação a solução padrão mas que é compensado ao longo do tempo pela redução dos consumos energéticos e pelo tempo de vida útil superior das lâmpadas fluorescentes, cerca de 6 a 15 mil horas face a 1000 horas de tempo de vida útil das lâmpadas incandescentes [12].

Atualmente os Díodos Emissores de Luz (*LEDs*) já existem com potências equivalentes às lâmpadas incandescentes. Estas lâmpadas têm um preço mais elevado que as lâmpadas fluorescentes compactas, mas têm um período de vida muito superior (20 a 45 mil horas em oposição a 6 a 15 mil horas) [12]. Apesar de não se encontrarem representados na Figura 36 a sua eficácia luminosa encontra-se entre 60 a 130 lm/w, ultrapassando os valores médios referentes às lâmpadas fluorescentes.

A utilização de *LEDs* apresenta as seguintes vantagens [25]:

- Redução dos custos energéticos e emissão de dióxido de carbono;
- Muito baixo consumo (10 a 30 vezes menos que uma lâmpada convencional);
- Longo tempo de vida útil;
- Eficácia luminosa crescente;
- Amplas capacidades de *design* e versatilidade de aplicação;
- Dimensão compacta;
- Os raios de luz das lâmpadas *LED* são totalmente isentos de *UV* (ultravioleta) e *IR* (infravermelho), evitando assim o envelhecimento dos materiais da envolvente.

2.4 Eficiência no consumo de água

Devido não só ao crescimento demográfico mas, fundamentalmente, ao desenvolvimento económico e às alterações de estilo de vida das populações, a água tem-se tornado um recurso de maior importância e que se perspectiva ser cada vez mais escasso.

Em Portugal, a necessidade de um uso eficiente da água foi já reconhecida como prioridade através da aprovação do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) [30]. O PNUEA é um instrumento de política ambiental nacional que tem como principal objetivo a promoção do uso eficiente da água em Portugal, especialmente nos setores urbano, agrícola e industrial [30].

Com o objetivo de informar o utilizador acerca da eficiência dos dispositivos de abastecimento (torneiras, autoclismos, chuveiro, etc.) que utiliza, a Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP) [31], criou um sistema de adesão voluntária para a certificação e rotulagem de eficiência hídrica de produtos. Este sistema consiste numa classificação escalonada (A++ a E), Figura 37, em função do consumo de água, apresentado pelos dispositivos.



Figura 37 - Classes de certificação hídrica [31]

Em média, do total de água consumida numa habitação, 32% desta é utilizada em banhos e duchas, 28% em autoclismos, 16% em torneiras, 10% em máquinas de lavar, 10% em usos exteriores e 4% em perdas [30]. Existe elevada potencialidade de redução dos consumos dos dispositivos de abastecimento de água, com ênfase para as torneiras de chuveiros e para as bacias de retrete que são os dispositivos que apresentam consumos superiores numa habitação. A substituição destes equipamentos por outros mais economizadores ou a aplicação de dispositivos mais eficientes são soluções possíveis para diminuir o consumo de água por utilização. A adoção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para abastecimento das bacias de retrete pode ser uma medida eficiente para a redução dos consumos destes dispositivos, quando as condições do edifício o proporcionem a implantação deste sistema.

2.4.1 Aproveitamento de águas pluviais e residuais

Em atividades como a rega, a lavagem de automóveis, pátios ou passeios e descargas do autoclismo não é necessária a utilização de água potável, com elevados padrões de qualidade. Como forma de redução de consumo de água potável e diminuição do volume dos afluentes podem reaproveitar-se as águas cinzentas (duchas e lavatórios) ou pluviais para estes fins [12]. Quando se pensa na reutilização de água no edifício é necessário ter em conta as características dos diferentes tipos de águas que poderão ou não ser aproveitados [12]:

- Água da chuva (pluvial) – Água recolhida no telhado, o método mais comum de recolha e conservação desta água é a utilização de reservatórios;
- Águas cinzentas – Estas incluem água proveniente de qualquer zona da habitação, com exceção da sanita. Este tipo de água nunca deve ser recolhida e guardada, sem previamente se proceder ao seu tratamento.

Segundo a Figura 38 Portugal tem, relativamente aos restantes países da Europa, um satisfatório nível de precipitação anual o que faz com que apresente potencial na utilização de sistemas de recolha de águas pluviais.

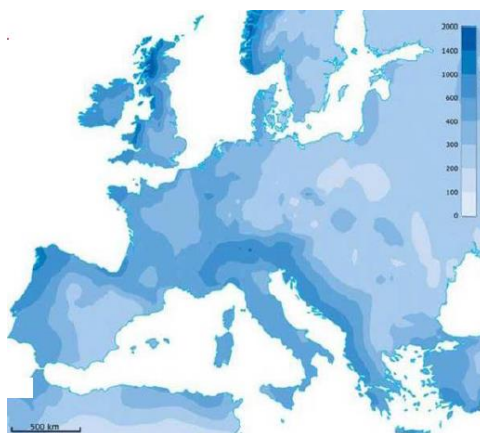


Figura 38 - Precipitação na Europa (mm) [24]

Para que seja possível fazer o aproveitamento da água da chuva, é necessária uma superfície de recolha, que geralmente é a cobertura do edifício, e um reservatório de armazenamento com os respetivos acessórios. Outro mecanismo possível é a construção de um reservatório subterrâneo para o aproveitamento adicional de água da chuva recolhida em pavimentos. Neste caso, será necessário instalar uma bomba para a elevação da água, para os locais de armazenamento temporário, autoclismos ou para a rega de jardim [12]. Dependendo do local de recolha das águas (coberturas, terraços ou pavimentos) é importante a utilização de um sistema de filtragem adequado.

3. CASO DE ESTUDO – REABILITAÇÃO ESTRUTRAL DE UMA MORADIA

3.1 Descrição do edifício

O edifício em estudo situa-se na cidade de Ovar, o terreno onde se encontra inserido tem uma área de aproximadamente 165 m² e o edifício em si tem uma área de implantação de 104 m², sendo o restante espaço do terreno ocupado por anexos ao edifício principal. O alçado

principal encontra-se à face da estrada, lateralmente está limitado por duas habitações e no alçado posterior existe um espaço de logradouro onde se encontram os anexos e um poço para aproveitamento das águas freáticas do terreno.

Trata-se de um edifício que foi no passado uma moradia de habitação e que atualmente apresenta valor arquitetónico. O seu valor arquitetónico resume-se à fachada principal, pelo que o presente estudo terá em conta a preocupação com a sua conservação. Como pode ser observado na Figura 39 a existência de ornamentação em pedra bem como o revestimento com azulejos pintados à mão realçam o valor aqui tectónico da fachada deste edifício.



Figura 39 – Fachada principal do edifício

Pretende-se também o aproveitamento de alguns tetos interiores em madeira trabalhada, pelo que se prevê que este processo implique um conjunto de trabalhos relacionados com o restauro e posterior aplicação deste aproveitamento no edifício reabilitado.

O desenvolvimento deste trabalho inicia-se com o projeto arquitetónico e estrutural da habitação. O projeto arquitetónico (Figura 40 b)) é caracterizado por apresentar um aproveitamento do elevado pé direito do edifício original (Figura 40 a)), para a criação de um piso extra, ficando no total o edifício com piso de rés-do-chão e piso 1 (pé direito de 2,4 m) e piso 2 como aproveitamento da inclinação da cobertura. Como é possível observar na Figura 40 b), em alçado principal pretende-se que o edifício reabilitado mantenha a cota da cumeeira e da janela na cobertura.

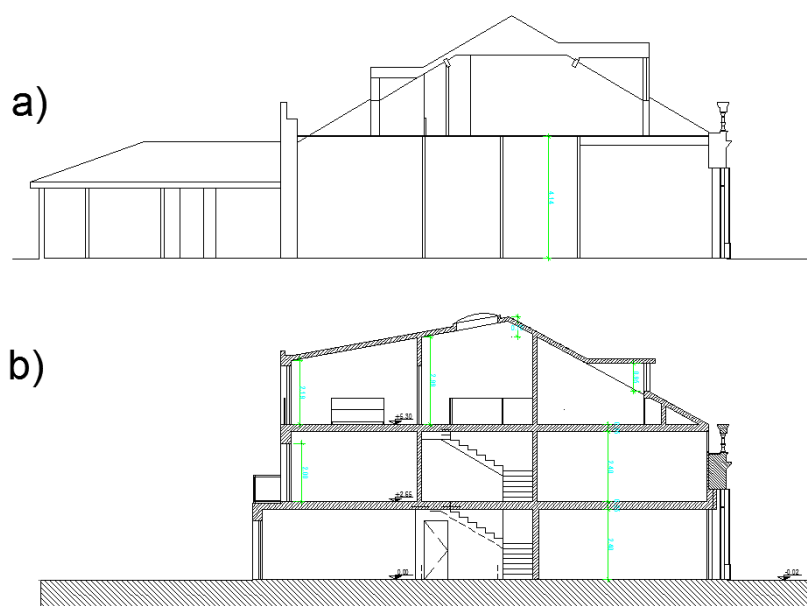


Figura 40 - Corte longitudinal - a) Edifício original, b) Projeto arquitetónico de reabilitação

Devido a mudanças nas condições de ocupação do piso 2 verificou-se a necessidade de alterar o projeto arquitetónico, o que implicou uma nova análise estrutural. Na Figura 41 é possível verificar, em corte longitudinal, as alterações efetuadas à arquitetura do edifício, passando o piso 2 a ter ocupação de escritório e arrumação. Esta alteração terá consequências positivas no desempenho energético do edifício, na medida em que, se trata da redução de um espaço habitável do edifício (desvão habitável sobre uma cobertura inclinada) que se apresenta como uma zona crítica para a ocorrência sobreaquecimento no verão e perdas de calor excessivas no inverno.

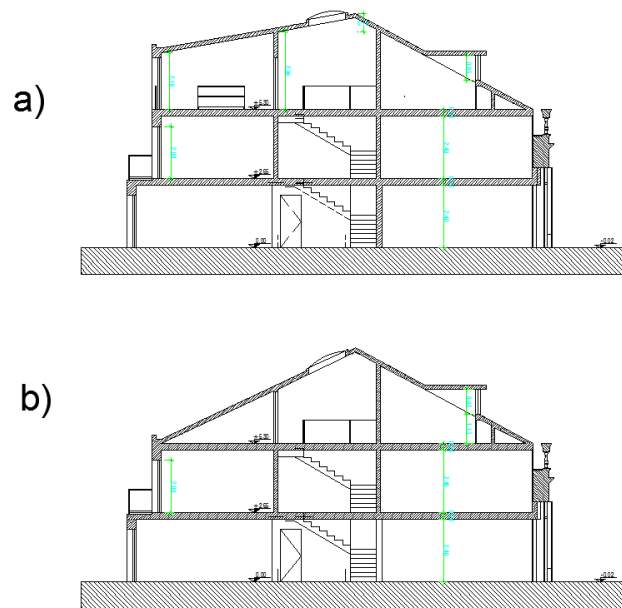


Figura 41 – Alterações na arquitetura - a) Projeto sem alterações, b) Projeto com alterações

No interior foi criada uma caixa de escadas para acesso aos pisos superiores, no mesmo local da escada já existente, tal como pode ser observado na Figura 42. Visto que a estrutura do edifício original é em madeira e se encontra em elevado estado de degradação, é impossível o seu aproveitamento pelo que a nova estrutura será em betão armado, e os pavimentos em lajes de vigotas pré-esforçadas. No entanto, a fachada principal será conservada e pretende-se que mantenha o seu aspeto original.

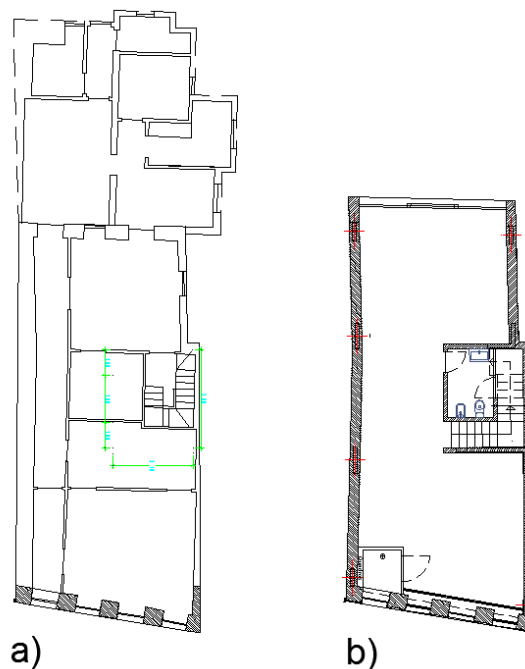


Figura 42 – Planta de rés-do-chão - a) Edifício original, b) Projeto de reabilitação

3.2 Análise estrutural

Nos próximos subcapítulos pretende-se fazer uma descrição das tarefas de dimensionamento da estrutura desta moradia. Para mais fácil compreensão será realizado e apresentado o resultado de dimensionamento de uma viga. Devido à elevada quantidade de informação que se encontra subjacente ao dimensionamento dos elementos estruturais, sempre que tal seja necessário, o leitor será remetido para a consulta dos elementos em anexo.

Visto não se tratar de uma estrutura muito complexa a análise estrutural foi realizada mediante a criação de pórticos em duas dimensões (2D). O cálculo de esforços foi realizado pelo programa de cálculo *FTOOL* [32] e o dimensionamento, à flexão simples, dos elementos estruturais foi realizado através do programa de cálculo *DOCROS* [33].

3.2.1 Definição dos pórticos

A definição dos pórticos para a modelação estrutural dos edifícios requer, por vezes, que se façam algumas simplificações tendo sempre o cuidado de manter o comportamento original da estrutura. Como tal, na definição dos pórticos para ambas as direções foram feitas as simplificações que se acharam convenientes. Essas simplificações foram nomeadamente ao nível do alinhamento dos pórticos com os eixos de coordenadas x e y , e simplificações de funcionamento estrutural. Na Figura 43 apresenta-se a planta tipo da moradia em estudo. Nesta planta é possível visualizar a representação dos pórticos nas direções x e y .

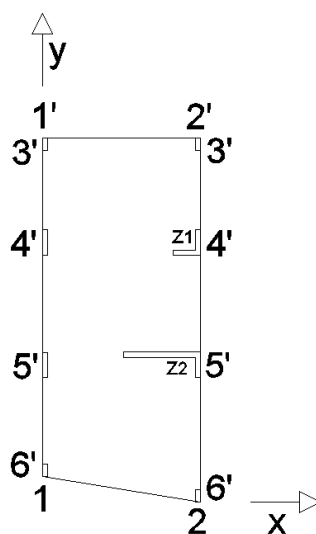


Figura 43 - Representação dos pórticos tipo em planta

A geometria das secções dos elementos estruturais encontra-se em grande parte condicionada pela arquitetura da moradia. Assim, as vigas e os pilares dos pórticos 1-1' e pórticos 2-2' apresentam largura reduzida (0,15 m) com o objetivo de maximizar o espaço habitável no interior da moradia. Nos restantes pórticos a altura das vigas foi também condicionada pela altura da laje, a qual para os pisos 1 e 2 é definida na arquitetura com 0,25 m. Para que se cumpra a legislação em vigor, nomeadamente o Art.65.º do Decreto-Lei n.º 650/75 [34] é necessário manter o pé direito livre mínimo de 2,4m, o que implica que a altura das lajes não deverá ser alterada.

Visto que não foi efetuado pré-dimensionamento das secções de betão armado e, como foi dito anteriormente, as dimensões dos elementos estruturais são muito dependentes da arquitetura, o processo de obtenção da secção ótima foi feito com base num processo iterativo que consistiu na análise dos momentos resistentes e nas respetivas quantidades de armadura de várias secções, optando-se, sempre que possível, pela secção mais económica.

Nas figuras seguintes são apresentados os pórticos 2D na direção y (Figuras 44 e 45) e na direção x (Figuras 46 a 48), bem como as respetivas dimensões e geometria das vigas e pilares.

a) Pórticos na direção y

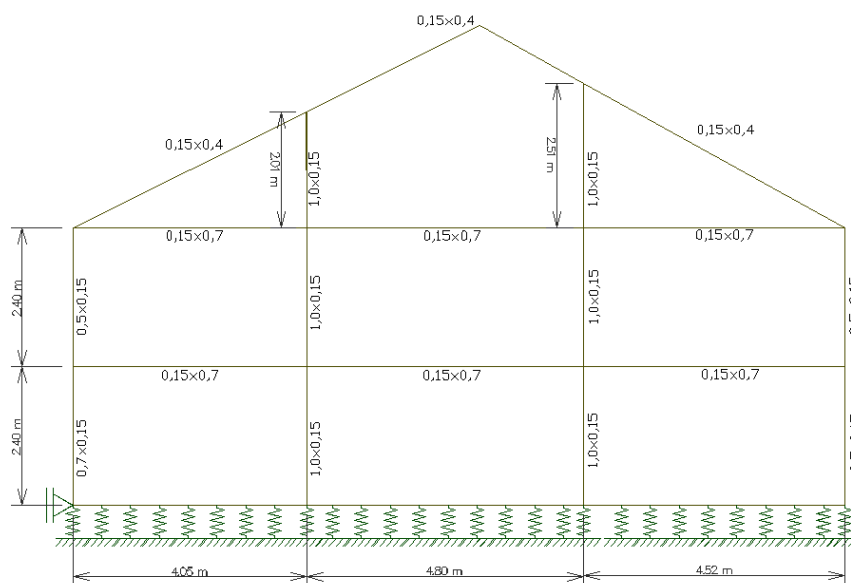


Figura 44 – Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 1-1'

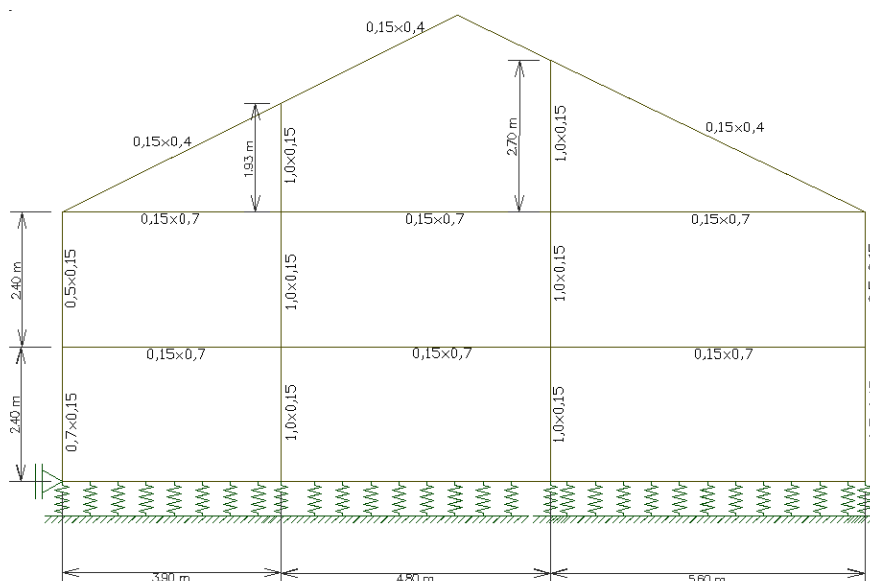


Figura 45 - Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 2-2'

A viga de fundação apresenta uma geometria em "L", como se poderá constatar no Capítulo 4. Esta geometria permite obter um isolamento mais eficaz das pontes térmicas associadas à viga de fundação dos pórticos 1-1' e 2-2'.

b) Pórticos na direção x

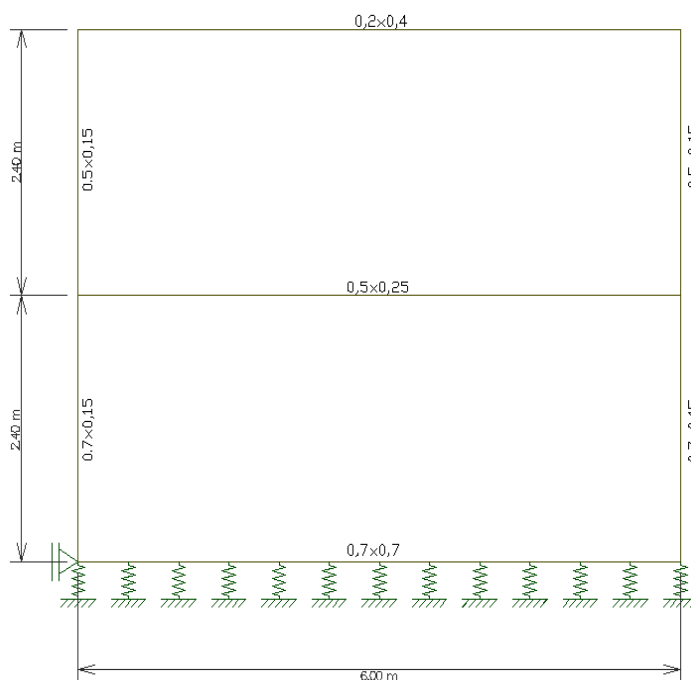


Figura 46- Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 3-3'

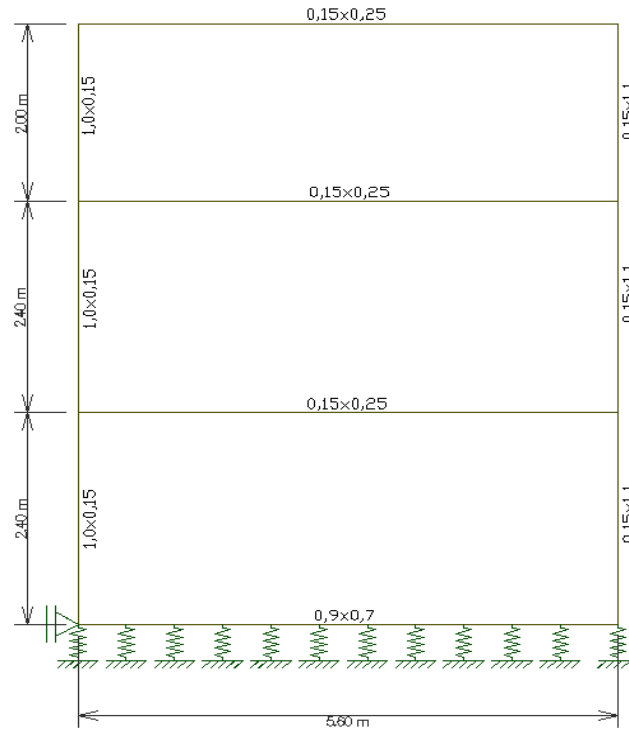


Figura 47 - Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 4-4'

Para que fosse possível a obtenção de pórticos em duas direções (x e y) foi necessário considerar que os elementos de contraventamento Z1 e Z2 (ver Figura 43) se encontram divididos num elemento na direção y e outro na direção x. Na fase construtiva esta separação será materializada pela colocação de uma junta de dessolidarização.

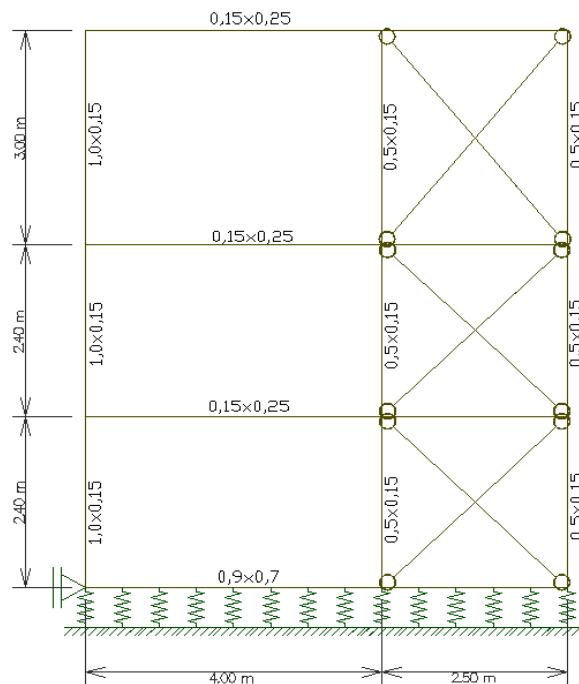


Figura 48 - Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 5-5'

Por observação da Figura 43 é possível compreender que o elemento de contraventamento Z2 apresenta elevada rigidez segundo a direção x. Para proceder à modelação deste elemento no programa *FTOOL* optou-se pela criação de dois pilares (em cada extremidade) com secção de 0,5 m x 0,15 m e o seu travamento com barras biarticuladas (Figura 48). Desta forma, pretende-se que os esforços na viga que se liga à parede sejam próximos dos que realmente se desenvolvem, pois a alternativa de considerar a parede como um pilar centrado no eixo geométrico da parede conduz a um vão irrealisticamente elevado da viga que se liga ao pilar, resultando esforços nesta viga não representativos da realidade.

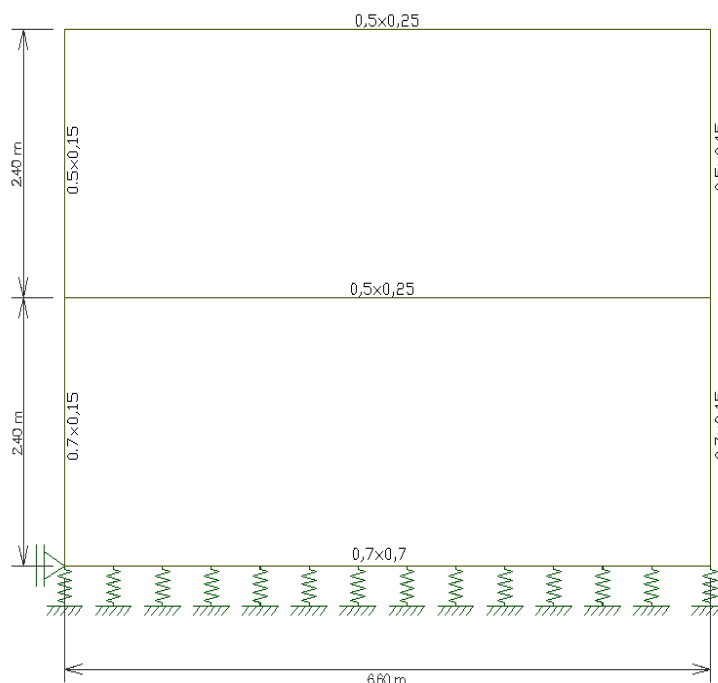


Figura 49 - Dimensões e geometria das vigas e pilares do pórtico 6-6'

Para a simulação do efeito do solo, no programa *FTOOL*, considerou-se a existência de molas com um espaçamento de 0,5 m ao longo da viga de fundação. Estas molas terão uma rigidez que pode ser calculado através da equação (1), em que:

K_m – Rigidez da mola (kN/m)

K_S – Rigidez do solo (kPa/m)

b – Largura da base da fundação (m)

L_{inf} – Largura de influência da mola (m)

$$K_m = K_S \times b \times L_{inf} \quad (1)$$

Tendo em conta que se considerou que o solo apresenta uma rigidez de 30 000 kPa/m, o Quadro 9 apresenta os resultados da rigidez das molas para as diferentes larguras de base de vigas de fundação.

Quadro 9 – Rigidez das molas

Largura da base (m)	Rigidez nos nós das extremidades (kN/m)	Rigidez nos nós interiores (kN/m)
0,7	5250	10500
0,9	6750	13500

3.2.2 Dimensionamento das lajes

A altura das lajes encontra-se condicionada pela arquitetura do edifício, pelo que se sabe de antemão que nos pisos 1 e 2 estas têm de ter uma altura máxima de 0,25 m. Para as lajes de rés-do-chão e cobertura considerou-se uma espessura máxima de 0,2 m de altura.

É necessário ter presente que as paredes divisórias do edifício são em gesso cartonado. Como se tratam de elementos que não são suscetíveis de ser danificados por flechas que ocorram após a construção, optou-se por fazer o dimensionamento das lajes a estados limite de utilização tendo em conta uma flecha máxima de $L/250$ (EC2 – Cláusulas 7.4.1 (4) e 7.4.1 (5)) [35]. Desta forma, como os requisitos da flecha são menos exigentes, é possível obter uma laje dentro dos parâmetros de altura pré-estabelecidos.

As lajes são de vigotas pré-esforçadas, armadas na direção x, tendo-se utilizado no dimensionamento o documento de Homologação de lajes FAPREL [36], obtendo-se o resultado apresentado no Quadro 10.

No ANEXO I encontram-se os cálculos efetuados para o dimensionamento das lajes, bem como a folha de cálculo utilizada nesse dimensionamento.

Quadro 10 – Resultado do dimensionamento das lajes

Piso	Espessura da laje (m)	Laje do catálogo FAPREL	Peso próprio da laje (kN/m ²)
Rés-do-chão	0,20	V6-40x16-20	2,75
Piso 1 e 2	0,25	V6 - 24 x 20-25	3,82
Cobertura	0,20	V6-40x16-20	2,75

3.2.3 Quantificação de ações

Para a quantificação de ações é necessário conhecer a constituição das paredes exteriores do edifício. Como poderá ser observado no Capítulo 4, a solução de isolamento adotada para as paredes exteriores dos pórticos 1-1' e 2-2' consiste na colocação de um pano de alvenaria e isolamento térmico (contínuo) pelo exterior. Neste tipo de solução apenas se considera o apoio, sobre a viga, da alvenaria de tijolo de 15 cm de espessura.

No Quadro 11 apresenta-se a quantificação da ação da parede exterior para os pórticos 1-1' e 2-2'. As massas volúmicas aparentes secas dos materiais que constituem a parede foram obtidas a partir do ITE50 [10] e catálogo PRECERAM [37]. Relativamente às ações variáveis, a sobrecarga no rés-do-chão e piso 1 é de 2 kN/m² (edifício de habitação) e no piso 2 é igual a 3 kN/m² pois este piso terá a função de escritório [38].

Quadro 11- Ação da parede exterior nos pórticos 1-1' e 2-2'

Materiais	Espessura (m)	Massa volúmica aparente seca (kN/m ³)	m _p (kN/m ²)	Pé-direito de piso (m)	Massa total (kN/m)
Tijolo 15	0.15	6.20	0.93	1.95	1.81
XPS	0.04	0.33	0.01	2.40	0.03
Reboco	0.02	19.00	0.29	2.40	0.68
Totais	0.21		1.23		2.53

Para tornar a análise estrutural mais completa foi realizada a quantificação da ação sísmica. Estes cálculos encontram-se no ANEXO II.

Como se trata de um edifício que se encontra inserido entre duas habitações, apresentando portanto as fachadas de maior área de superfície sem exposição ao vento, optou-se por não considerar esta ação no dimensionamento da estrutura por se considerar praticamente desprezável, face à ação do sismo. No ANEXO III é apresentada a quantificação das ações para cada um dos pórticos em estudo.

3.2.4 Dimensionamento das vigas

A determinação dos esforços nos elementos estruturais foi realizada através de combinações fundamentais e sísmicas, de acordo com, respetivamente, as equações (2) e (3) (EC 0 - 6.4.3.2 e 6.4.3.4.) [39]:

- a) Combinação de ações para situações de projeto persistentes ou transitórias;

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

- b) Combinação de ações para situações de projeto sísmicas.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3)$$

em que:

$\gamma_{G,j}$ – Coeficiente parcial relativo à ação permanente j ;

$G_{k,j}$ – Valor característico da ação permanente j ;

γ_p - Coeficiente parcial relativo a ações de pré-esforço;

P – Valor representativo de uma ação de pré-esforço;

$\gamma_{Q,1}$ - Coeficiente parcial relativo à ação variável de base da combinação 1;

$Q_{k,1}$ – Valor característico da ação variável de base da combinação 1;

$\gamma_{Q,i}$ - Coeficiente parcial relativo à ação variável i ;

$\psi_{0,i}$ – Coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável i ;

$Q_{k,i}$ – Valor característico da ação variável i ;

A_{Ed} – Valor de cálculo de uma ação sísmica ($A_{Ed} = \gamma_I A_{Ek}$), sendo que, A_{Ek} , é o valor característico de uma ação sísmica e, γ_I , o coeficiente de importância.

$\psi_{2,i}$ - Coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de uma ação variável i .

O cálculo dos esforços foi realizado com recurso ao programa *FTOOL*. No ANEXO IV apresentam-se as envolventes de esforços nas vigas para cada um dos pórticos. Para as situações de projeto persistentes ou transitórias, nos pórticos 1-1' e 2-2' foram efetuadas cinco combinações, ou seja, as necessárias para obtenção dos máximos momentos fletores nos vãos e apoios, e máximos esforços transversos próximos dos apoios das vigas destes pórticos. A sexta combinação é referente à ação sísmica.

Foi necessário este número de combinações de ações para se determinar os esforços máximos instalados nos elementos estruturais, uma vez que nos pórticos 1-1' e 2-2' as vigas apresentam três tramos de dimensões distintas.

A título exemplificativo vai ser demonstrado o processo de dimensionamento da viga de piso 1 do pórtico 1-1'. Desta forma pretende-se expor o dimensionamento realizado de uma forma mais detalhada.

- Armadura longitudinal

O dimensionamento da armadura longitudinal das vigas foi realizado recorrendo ao programa de cálculo automático *DOCROS*. Este programa permitiu a obtenção da relação momento-curvatura das secções das vigas sujeitas a flexão simples. A obtenção da secção e quantidade de armadura ótima, através deste programa de cálculo, trata-se de um processo iterativo, em que se testaram várias quantidades de armadura até obter um momento fletor resistente próximo e superior ao momento fletor atuante.

Os materiais que constituem a secção de betão armado são o betão da classe $C_{25/30}$ e o aço A400, foi necessária a definição de uma lei de comportamento destes materiais para a utilização do programa *DOCROS*. Tendo em conta os esforços instalados na viga, (ANEXO IV), procedeu-se à verificação do momento fletor resistente de diferentes quantidades de armadura.

A abordagem para o dimensionamento da armadura longitudinal consistiu, na colocação de uma armadura superior e inferior em toda a extensão da viga e posteriormente proceder ao reforço na zona de momentos positivos e negativos máximos.

Chegou-se à conclusão que uma secção de betão armado, com uma altura de $0,7 \times 0,15$ seria suficiente para as vigas deste pórtico. Relativamente à quantidade de armadura optou-se pela utilização em toda a extensão, de uma secção armada com $2\varnothing 12$ mm no topo e na base, tal como se apresenta na Figura 50.

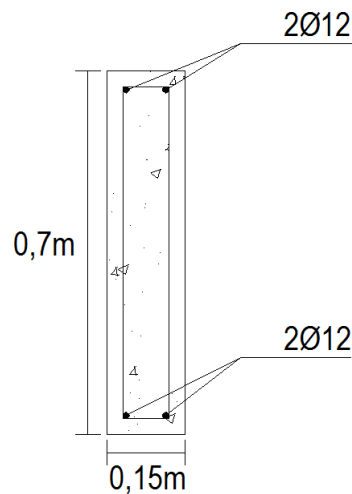


Figura 50 – Dimensões e quantidade de armadura da viga

Esta secção apresenta um momento fletor resistente igual a 58,26 kN.m, o que permite concluir, após a observação da envolvente de esforços, que será necessário colocar reforço de armadura nos locais de momentos negativos máximos. No ANEXO V apresentam-se os gráficos de momento-curvatura para cada uma das quantidades de armadura estudadas nesta viga. Verificou-se a necessidade de reforçar a viga nas zonas de momentos negativos, com $2\varnothing 10$ mm (Figura 52 – Corte B-B') e com $2\varnothing 16$ mm, (Figura 52 – Corte C-C'). Como se trata

de um elemento estrutural de reduzida largura de base, optou-se pela colocação do reforço numa 2ª camada.

- Disposições construtivas relativas à armadura longitudinal

A equação (4) permite o cálculo do comprimento de amarração dos varões de armadura em função do seu diâmetro (EC2 – 8.4.2, 8.4.3 e 8.4.4) [35].

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \left(\frac{\emptyset}{4}\right) \times \left(\frac{\sigma_{sd}}{2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd}}\right) \geq l_{b,min} \quad (4)$$

em que:

α_1 – Parâmetro que tem em conta o efeito da forma dos varões (admitindo o recobrimento adequado);

\emptyset – Diâmetro dos varões;

σ_{sd} – Valor de cálculo da tensão na secção do varão (admitiu-se igual a f_{yd});

η_1 – Coeficiente relacionado com as condições de aderência e com a posição do varão durante a betonagem (admitiram-se condições de boa aderência);

η_2 – Coeficiente relacionado com o comprimento do varão ($\eta_2 = 1$ para $\emptyset \leq 32$ mm)

f_{ctd} – Valor de cálculo da resistência do betão à tração.

$l_{b,min}$ – Comprimento de amarração mínimo.

No Quadro 12 apresentam-se os resultados do cálculo do comprimento de amarração em função do respetivo diâmetro dos varões.

Quadro 12 – Comprimentos de amarração dos varões

Diâmetro (mm)	l_{bd} (mm)	$l_{b,min}$	Comprimento de amarração (m)
10	322,07	100	0,325
12	386,45	120	0,390

16	515,3	160	0,520
----	-------	-----	-------

Relativamente às armaduras, longitudinal de tração, mínima e máxima, estas podem ser calculadas pelas equações (5) e (6) (EC2 – Cláusulas 9.2.1.1 (1) e (3)) [35]. Em que:

f_{ctm} – Valor medio da tensão de rotura do betão à tração simples;

f_{yk} – Valor característico da tensão de cedência à tração do aço das armaduras para betão armado;

b_t – Largura média da zona tracionada;

d – Altura útil de uma secção transversal;

A_C – Área de secção transversal do betão.

$$A_{Smin} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d \geq 0,0013 \times b_t \times d \quad (5)$$

$$A_{Smin} = 0,26 \times \frac{2,6}{400} \times 0,15 \times 0,66 \geq 0,0013 \times 0,15 \times 0,66$$

$$A_{Smin} = 1,67 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ ok!}$$

Para o exemplo de cálculo, a mínima armadura de tração é 2Ø12 ($2,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$), o que permite concluir que a quantidade de armadura mínima é cumprida.

$$A_{Smáx} = 0,04 \times A_C \quad (6)$$

$$A_{Smáx} = 0,04 \times 0,15 \times 0,7$$

$$A_{Smáx} = 42 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ ok!}$$

No ANEXO VI apresenta-se a verificação das armaduras mínima e máxima, nas secções de momentos negativos e positivos, das vigas de todos os pórticos.

- Armadura de esforço transverso

Conhecendo a envolvente de esforços transversos nas vigas e a sua geometria é possível a determinação da armadura de esforço transverso necessária para assegurar os Estados limites últimos. Visto que, tal como o dimensionamento da armadura longitudinal, também o dimensionamento da armadura de esforço transverso é um processo moroso optou-se pela criação de uma folha de cálculo que permitiu, de uma forma mais simples, o seu dimensionamento.

De seguida apresenta-se, de uma forma sucinta, os vários passos para a criação da folha de cálculo. Em primeiro lugar é necessária a determinação do valor de cálculo do esforço transverso resistente máximo do elemento, limitado pelo esmagamento das escoras comprimidas ($V_{Rd,max}$), através da equação (7) (EC2 – Cláusula 6.2.3. (3)) [35].

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} \quad (7)$$

em que:

α_{cw} – Coeficiente que tem em conta o estado de tensão no banzo comprimido, assume o valor de 1 para estruturas não pré-esforçadas;

b_w – Largura da base da viga;

z – Corresponde a 90% da altura útil;

v_1 – Coeficiente de redução da resistência do betão fendilhado por esforço transverso;

f_{cd} – Valor de cálculo da tensão de rutura do betão à compressão;

θ – Inclinação das escoras de betão comprimido, valor conservativo adotado igual a 21,8°

Após a verificação da capacidade resistente (ao esmagamento) das escoras de betão armado, procedeu-se à determinação da quantidade de armadura de esforço transverso, pela equação (8) (EC2 – Cláusula 6.2.3. (3)) [35].

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \times z \times f_{ywd} \times \cot(\theta) \quad (8)$$

em que:

A_{sw} - Área de secção transversal das armaduras de esforço transverso;

s - Espaçamento dos estribos;

f_{ywd} - Valor de cálculo da tensão de cedência das armaduras de esforço transverso.

Com o objetivo de reduzir a quantidade de operações necessárias para o dimensionamento, optou-se pela divisão da viga em trechos de comprimento ($L/4$) para cada lado dos apoios, em que L corresponde ao comprimento do vão adjacente ao apoio. Desta forma, pretende o dimensionamento da armadura de esforço transverso para duas situações distintas, que são, o apoio da viga (onde existe o maior esforço transverso) e os vãos da viga (onde existe menor esforço transverso).

No ANEXO VII encontra-se a folha de cálculo utilizada para o dimensionamento da armadura de esforço transverso das vigas deste edifício. Para a viga do pórtico 1-1', piso 1, verifica-se que o resultado do dimensionamento da armadura de esforço transverso foi o seguinte:

- Em $L/4$ a partir do apoio 1 e 4 - Ø 6 mm // 0,35 m;
- Em $L/4$ a partir do apoio 2 e 3 - Ø 6 mm // 0,25 m;
- Em $L/2$, nos vãos - Ø 6 mm // 0,35 m

- Disposições construtivas relativas à armadura transversal

A armadura mínima de esforço transverso pode ser calculada pela equação (9) (EC2 – Cláusula 9.2.2. (5)) [35].

$$\frac{A_{swmin}}{s} = \frac{0,08 \times \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times \sin \alpha}{f_{yk}} \quad (9)$$

em que:

$\frac{A_{swmin}}{s}$ – Armadura mínima de esforço transversal (m^2/m);

f_{ck} – Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade (MPa);

b_w – Largura da alma do elemento (m);

α – Ângulo formado pelas armaduras de esforço transversal e o eixo longitudinal.

O espaçamento longitudinal máximo das armaduras de esforço transversal é determinado pela equação (10) (EC2 – Cláusula 9.2.2. (6)).

$$S_{l,máx} = 0,75d \times (1 + \cot\alpha) \quad (10)$$

Na Figura 51 encontra-se a representação longitudinal e na Figura 52 os respetivos cortes transversais da viga que foi alvo de estudo como exemplo de dimensionamento.

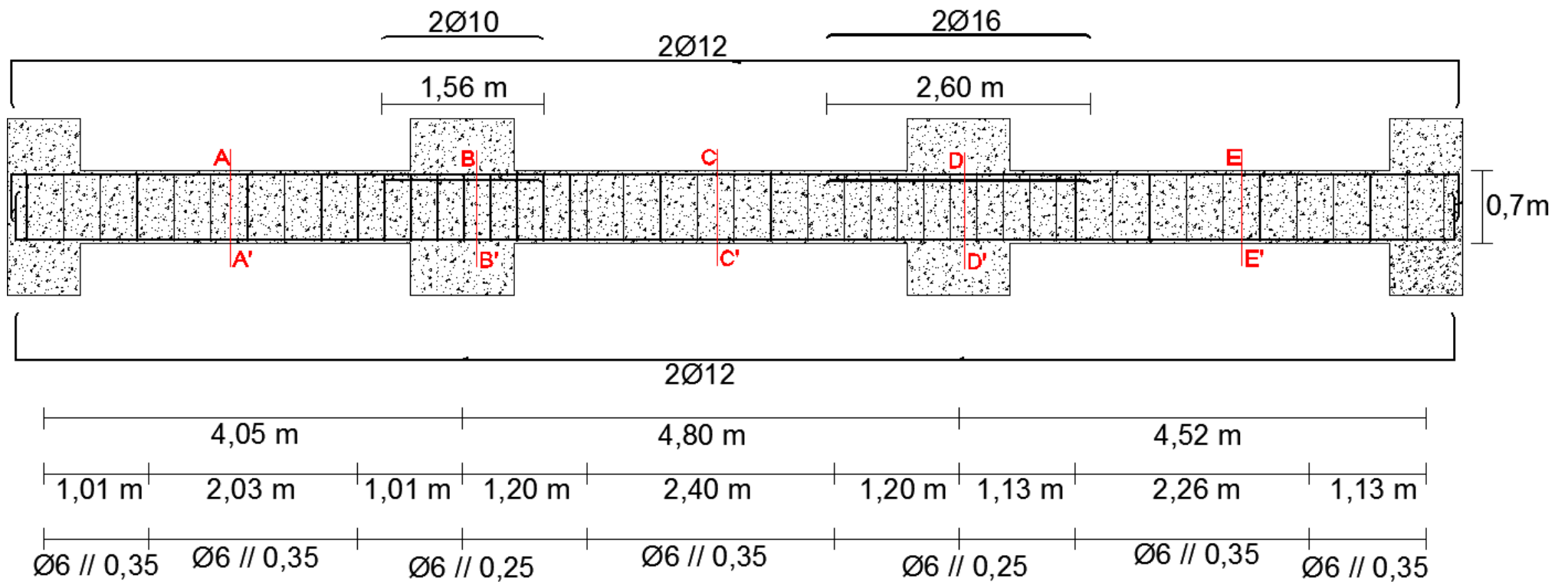


Figura 51 – Corte longitudinal viga Pórtico 1-1' - piso 1

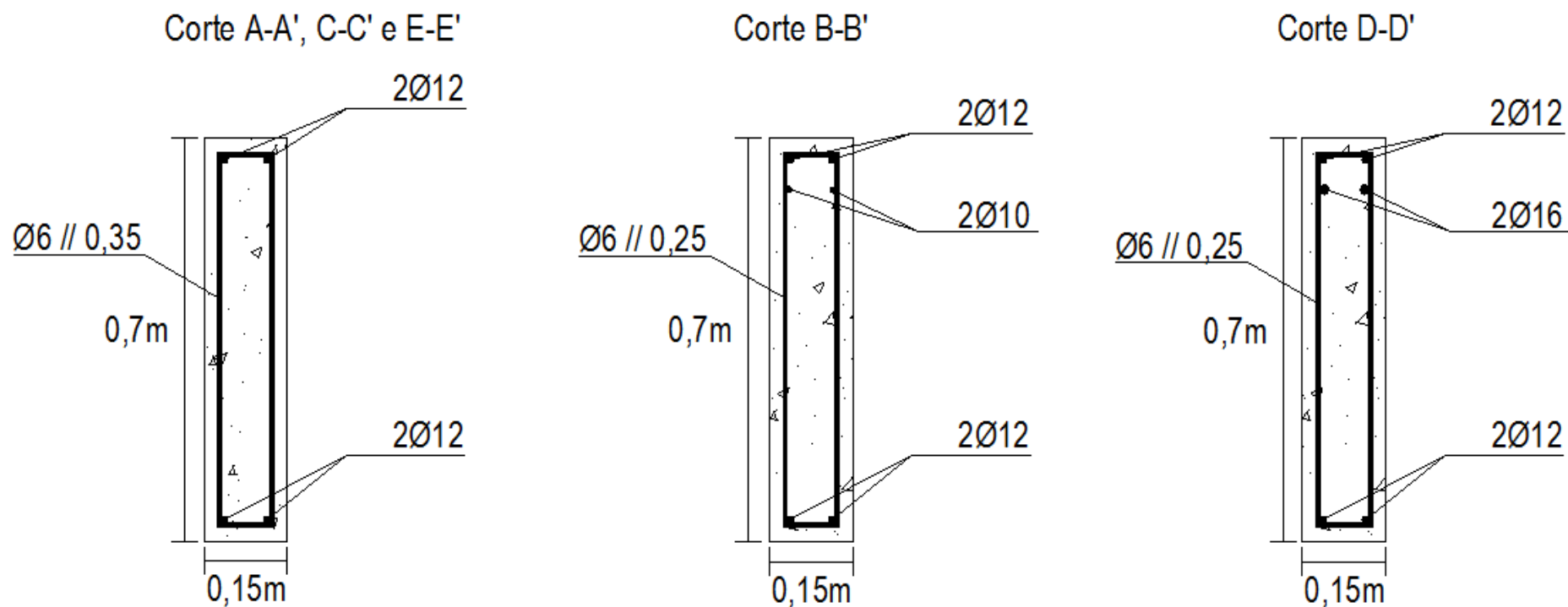


Figura 52 – Cortes transversais viga Pórtico 1-1' – piso 1

3.2.5 Dimensionamento das paredes

O comprimento de todos os elementos verticais é pelo menos superior a 4 vezes a sua espessura, considera-se portanto, que estes são elementos estruturais de parede (EC2 – Cláusula 9.6.1. (1)) [35]. O dimensionamento da armadura vertical das paredes foi realizado, tal como nas vigas, com recurso ao programa de cálculo *DOCROS*, considerando a flexão simples dos elementos nas direções x e y.

Em primeiro lugar é necessário proceder a identificação das paredes, tal como se indica na Figura 53.

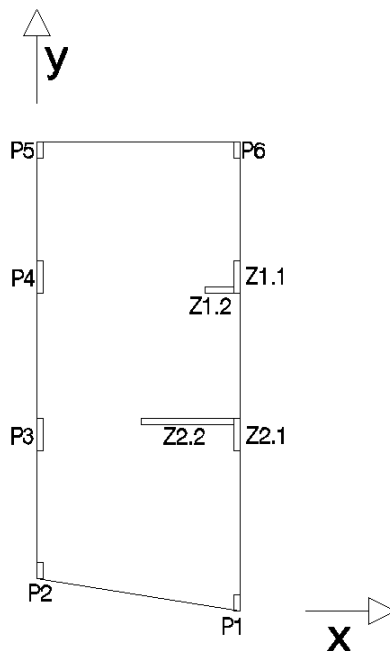


Figura 53 – Identificação das paredes

A criação de pórticos nas direções x e y implicou que os elementos de contraventamento Z1 e Z2 fossem separados por meio de uma junta de dessolidarização o que permite um comportamento independente de cada uma das paredes em direções diferentes.

O dimensionamento das paredes teve como base a geometria e dimensões das secções do projeto arquitetónico. Observando a arquitetura é possível chegar à conclusão que os elementos verticais terão de ter elevado desenvolvimento, visto que são elementos

relativamente esbeltos numa das direções. A título exemplificativo vai ser apresentado o dimensionamento da parede P3 (Figura 53).

Verificando a envolvente de esforços desta parede, ANEXO IV, é possível obter os valores de esforço axial e momentos fletores nas direções x e y:

$$N_{ed} = -624,8 \text{ kN}$$

$$M_{edx} = -149,6 \text{ kN.m}$$

$$M_{edy} = -36,1 \text{ kN.m}$$

- Armadura vertical:

A determinação da armadura vertical é feita recorrendo ao programa de cálculo *DOCROS*. Trata-se portanto de dimensionamento considerando a flexão simples das paredes. Verificou-se que utilizando varões $\varnothing 10//0,1$ m em ambas as faces da parede, se obtêm os momentos resistentes:

$$M_{rdx} = 246,4 \text{ kN.m}$$

$$M_{rdy} = 37,6 \text{ kN.m}$$

Tendo em conta que se trata de um elementos estrutural que se encontra à compressão, o seu esforço axial resistente é igual a $-3046,6$ kN. Na Figura 54, apresenta-se a representação da armadura vertical da parede 3.

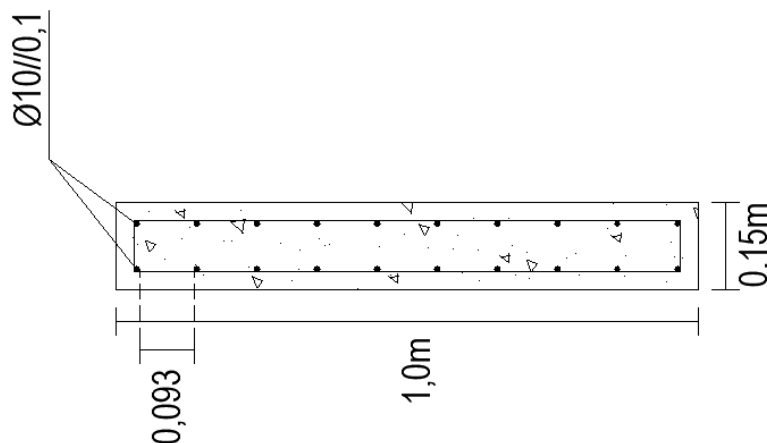


Figura 54 – Corte transversal da parede número 3

- Disposições construtivas:

A área da armadura vertical das paredes deve estar compreendida entre $A_{S,min}$ e $A_{S,máx}$ valores que podem ser calculados respetivamente pelas equações (11) e (12) (EC2 – Cláusula 9.6.2 (1)) [35].

$$A_{S,min} = 0,002 \times A_c \quad (11)$$

$$A_{S,min} = 0,002 \times (1 \times 0,15)$$

$$A_{S,min} = 0,0003 \text{ m}^2 \geq 0,0016 \text{ m}^2 \text{ Ok!}$$

$$A_{S,máx} = 0,04 \times A_c \quad (12)$$

$$A_{S,máx} = 0,04 \times (1 \times 0,15)$$

$$A_{S,máx} = 0,006 \text{ m}^2 \geq 0,0016 \text{ m}^2 \text{ Ok!}$$

A distância entre dois varões verticais adjacentes não deverá ser superior a 3 vezes a espessura da parede ou a 400 mm, equação (13) (EC2 - Cláusula 9.6.2 (3)) [35].

$$S_{V,máx} = \min\{3e; 400 \text{ mm}\} \quad (13)$$

$$S_{V,máx} = \min\{3 \times 150; 400 \text{ mm}\}$$

$$S_{V,máx} = \min\{450; 400 \text{ mm}\}$$

$$S_{V,máx} = 400 \text{ mm} \geq 100 \text{ mm Ok!}$$

O resultado do dimensionamento das restantes paredes encontra-se no ANEXO VIII. Nos elementos verticais P1, P2, P5 e P6 verificou-se a necessidade de manter a secção de 0,7x0,15 em altura, para desta forma se manter a segurança em relação aos esforços instalados. Nestas paredes foi ainda estudada a possibilidade de aumentar o comprimento da parede e reduzir o

diâmetro de armadura para $\varnothing 10//0,1$ m, no entanto verificou-se que o aumento de comprimento da parede implicaria também um aumento de armadura e o benefício desta medida seria muito reduzido, pelo que se optou por manter a secção (0,7x0,15) armada com $\varnothing 12//0,1$ m.

3.2.6 Resultados do dimensionamento da estrutura

Este subcapítulo é destinado a apresentação do resultado do dimensionamento da estrutura do edifício. Em planta são identificadas as secções dos elementos estruturais (Figura 55) e posteriormente é apresentado o seu respetivo corte transversal da secção (Figuras 56 a 59).

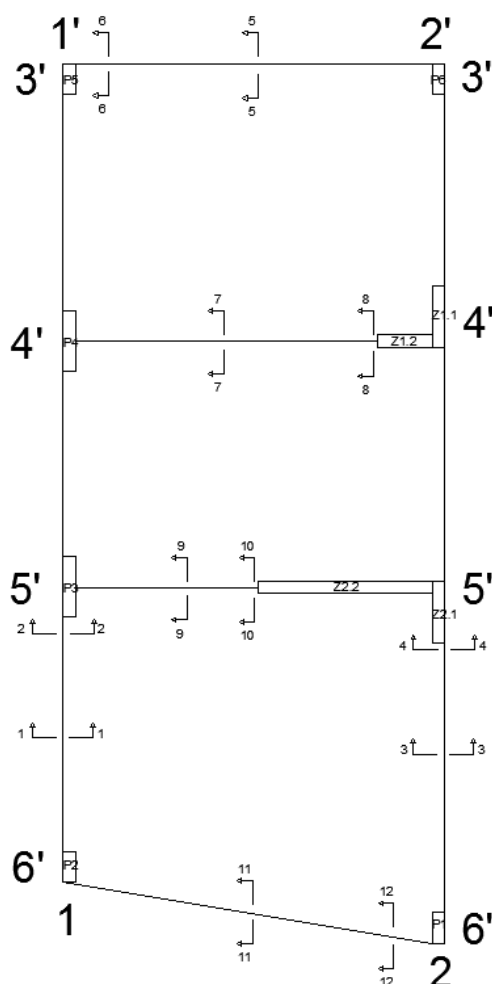


Figura 55 – Representação das secções tipo dos elementos estruturais em planta

A representação em corte transversal inclui a geometria e dimensões das secções de betão armado, bem como a armadura longitudinal e transversal para o local da viga em análise. Para

cada pórtico são apresentados dois cortes transversais, um referente à secção sujeita a momentos positivos e outro para momentos negativos máximos. Devido ao elevado número de secções analisadas, no texto principal, apenas é apresentada a representação dos cortes transversais para o pórtico 1-1', os restantes encontram-se no ANEXO IX.

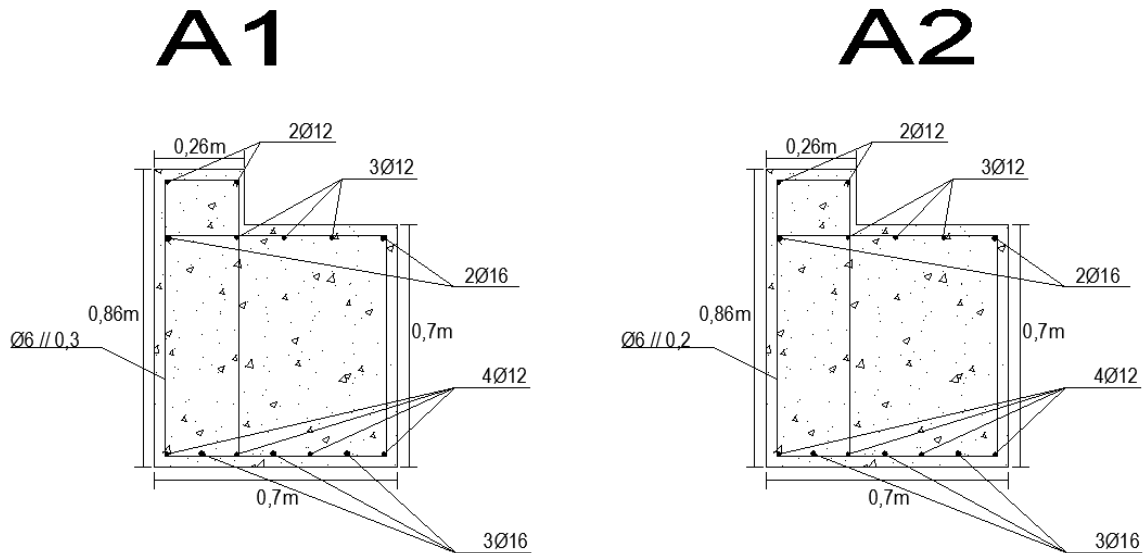


Figura 56 – Corte transversal da viga de fundação do pórtico 1-1'

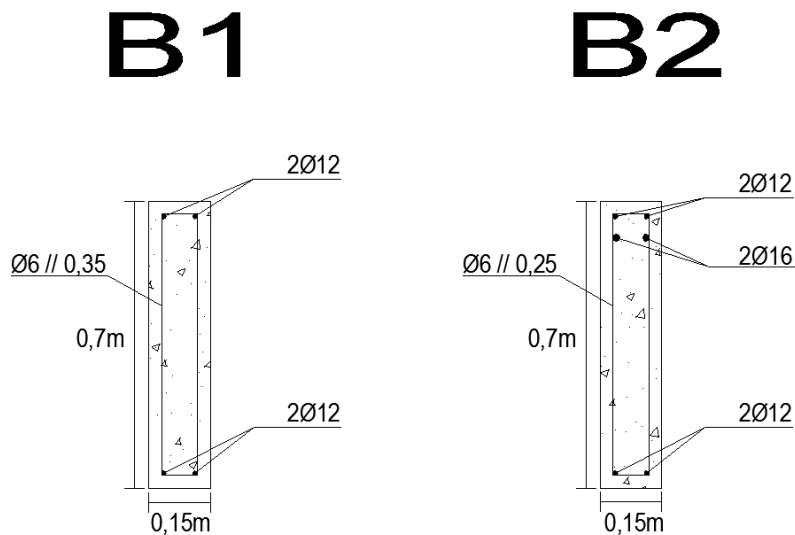


Figura 57 - Corte transversal da viga de piso 1 do pórtico 1-1'

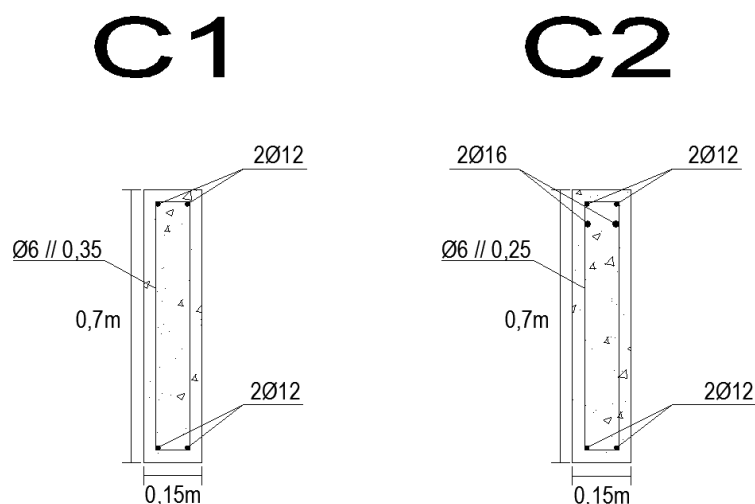


Figura 58 - Corte transversal da viga de piso 2 do pórtico 1-1'

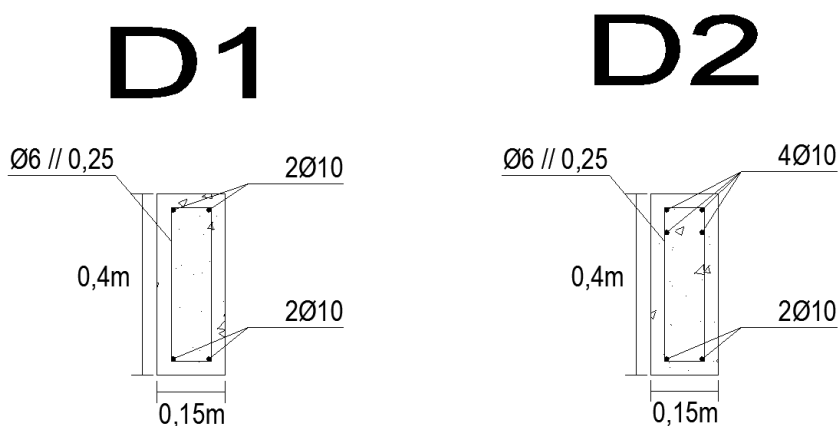


Figura 59 - Corte transversal da viga de cobertura do pórtico 1-1'

No ANEXO IX são apresentados todos os desenhos de pormenor que permitem a construção da estrutura em estudo.

4. ESTRATÉGIAS PARA INTERVENÇÃO DE REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DO EDIFÍCIO EM ESTUDO

Neste Capítulo, pretende-se expor e justificar as estratégias de intervenção no edifício que é objeto de estudo nesta dissertação. Nos dois primeiros subcapítulos será feita uma abordagem

geral dos materiais utilizados, bem como os processos construtivos que estão subjacentes às soluções de isolamento encontradas. As principais preocupações, aquando da definição das soluções construtivas, foram o conforto dos ocupantes, o isolamento da envolvente (com especial atenção às pontes térmicas), a impermeabilização e a sustentabilidade na construção.

Os restantes subcapítulos são destinados à descrição dos sistemas que se pretendem implementar neste edifício, nomeadamente ao nível das redes de drenagem, redes de abastecimento, sistemas de AQS e iluminação interior. Pretende-se com a análise destes sistemas a elevação dos níveis de sustentabilidade, e dos parâmetros de conforto do edifício.

A explicação será sempre acompanhada da pormenorização das soluções analisadas, realizadas em ferramentas de desenho assistido por computador (*AutoCAD*).

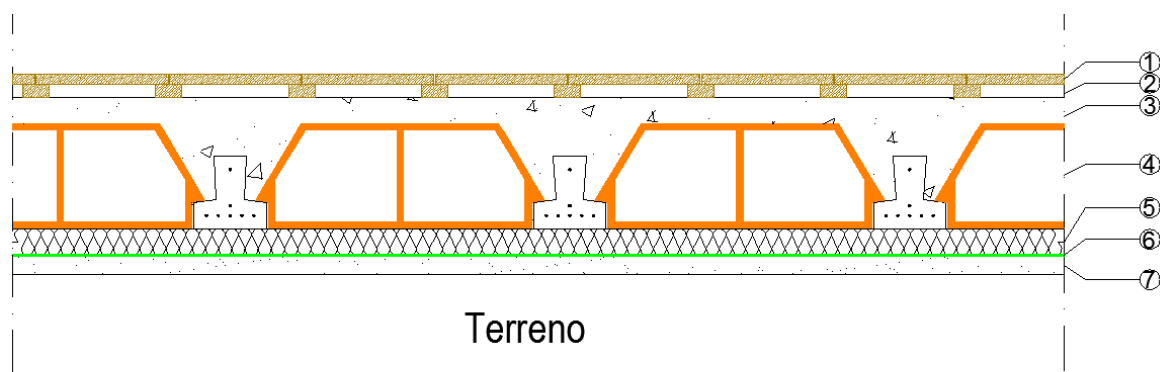
4.1 Soluções construtivas para isolamento de zonas correntes

4.1.1 Laje de rés-do-chão

Trata-se de uma laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas com uma espessura de 0,2m. Ao nível inferior é utilizado isolamento térmico XPS do tipo *Floormate* que se apoiará numa camada de areia fina de 0,03m de espessura.

Em relação ao betão complementar, da lajeta, optou-se pela de adição de 3 kg/m³ de fibras de polipropileno estrutural de 30-50 mm de comprimento, estas fibras melhoram o desempenho à retração do betão e são substituto à rede electro soldada, que é aconselhada no documento de homologação da laje.

O revestimento superficial de piso de rés-do-chão será em cerâmica na zona de casa de banho e cozinha e em madeira na restante superfície. Na Figura 60 encontra-se representado o pormenor da solução construtiva adotada para a laje de rés-do-chão (revestimento em madeira).



Legenda:

- ① -Piso flutuante em madeira - 0,015 m
- ② -Caixa-de-ar - 0,02 m
- ③ -Betão complementar - 3 kG/m3 de fibras de polipropileno estrutural de 30-50 mm de comprimento
- ④ -Laje de rés do chão - V6-40x16-20 (Mrd=37,8 kNm/m, Vrd=22,2 kN/m e Inércia=8582 kNm²/m)
- ⑤ -Isolamento térmico Floormate 200 A- 0,04 m
- ⑥ -Tela impermeabilizante (PVC ou Polietileno)
- ⑦ -Areia fina - 0,03 m

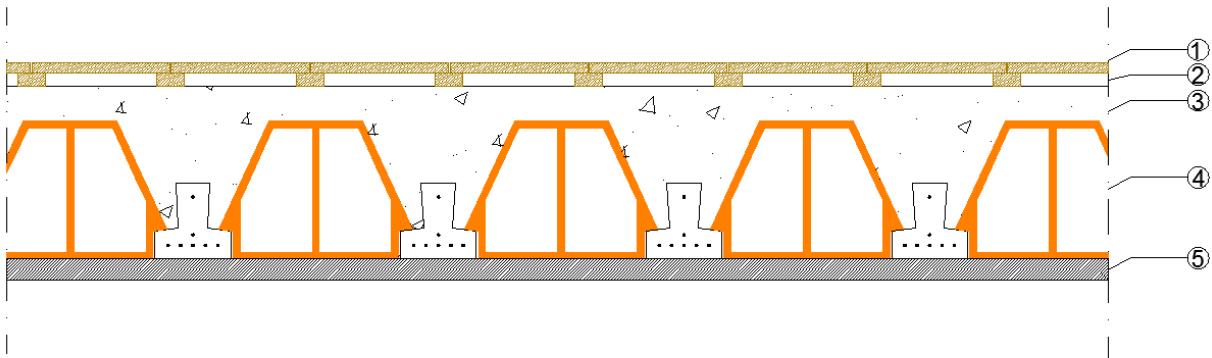
Figura 60 - Pormenor construtivo da laje de rés-do-chão

Como se trata de um terreno que apresenta um nível freático elevado prevê-se a utilização de uma tela impermeabilizante (PVC ou Polietileno), que impedirá a água de entrar em contacto com o isolamento térmico e com a laje de rés-do-chão (Figura 59 – indicado em 6).

4.1.2 Laje de piso 1 e 2

A laje dos pisos 1 e 2 é do tipo aligeirada de vigotas pré-esforçadas de 0,25 m de espessura. Na parte inferior da laje pretende-se a criação de um ripado de madeira, fixo nas vigotas da laje, que servirá de estrutura de suporte para a carpintaria que se pretende recuperar do edifício original.

Tal como no piso de rés-do-chão, também na laje de piso 1 e 2 está prevista a colocação revestimento cerâmico no local das casas de banho, e pavimento flutuante em madeira nos restantes locais. Na Figura 61 encontra-se representado o pormenor da solução construtiva adotada para as lajes de piso (revestimento em madeira).



Legenda:

- ① - Piso flutuante em madeira - 0,015 m
- ② - Caixa de ar - 0,02 m
- ③ - Betão complementar - 3 kG/m³ de fibras de polipropileno estrutural de 30-50 mm (ou AQ50)
- ④ - Laje de piso - V6 - 24 x 20-25 (M_{rd}=71,1 kNm/m, V_{rd}=41,4 kN/m e Inércia=20708 kNm²/m)
- ⑤ - Aproveitamento da carpintaria existente

Figura 61 - Pormenor construtivo da laje de piso 1 e 2

4.1.3 Laje de cobertura

A cobertura é o elemento que mais condiciona o desempenho térmico do edifício, pelo facto de ser a parte constituinte deste que está sujeita a maiores flutuações de temperatura. Enquanto no verão se pretende evitar o seu sobreaquecimento e a transmissão de calor para o interior do edifício, no inverno é necessário minimizar as perdas de calor para o exterior.

Por se tratar de um espaço habitável sobre cobertura inclinada no piso 2 haverá os problemas mencionados no parágrafo anterior. Desta forma será benéfica a colocação de isolamento pelo exterior, tendo a vantagem de não reduzir o espaço habitável interior e de ser um método mais eficaz de isolamento da laje e ponte térmica associada as vigas de cobertura.

A laje de cobertura é do tipo aligeirada de vigotas pré-esforçadas com 0,2 m de espessura, a solução de isolamento adotada foi a colocação de isolamento térmico XPS – *Roofmate* pelo exterior da laje. Está prevista a fixação do isolamento térmico por meio de um ripado de madeira e parafusos metálicos, esta solução permite criar simultaneamente uma fixação para o isolamento térmico e apoio para a colocação da telha, ver Figura 62 – indicado em 4.

O revestimento exterior da cobertura é feito em telha lusa, mantendo-se assim o aspeto original no exterior do edifício.

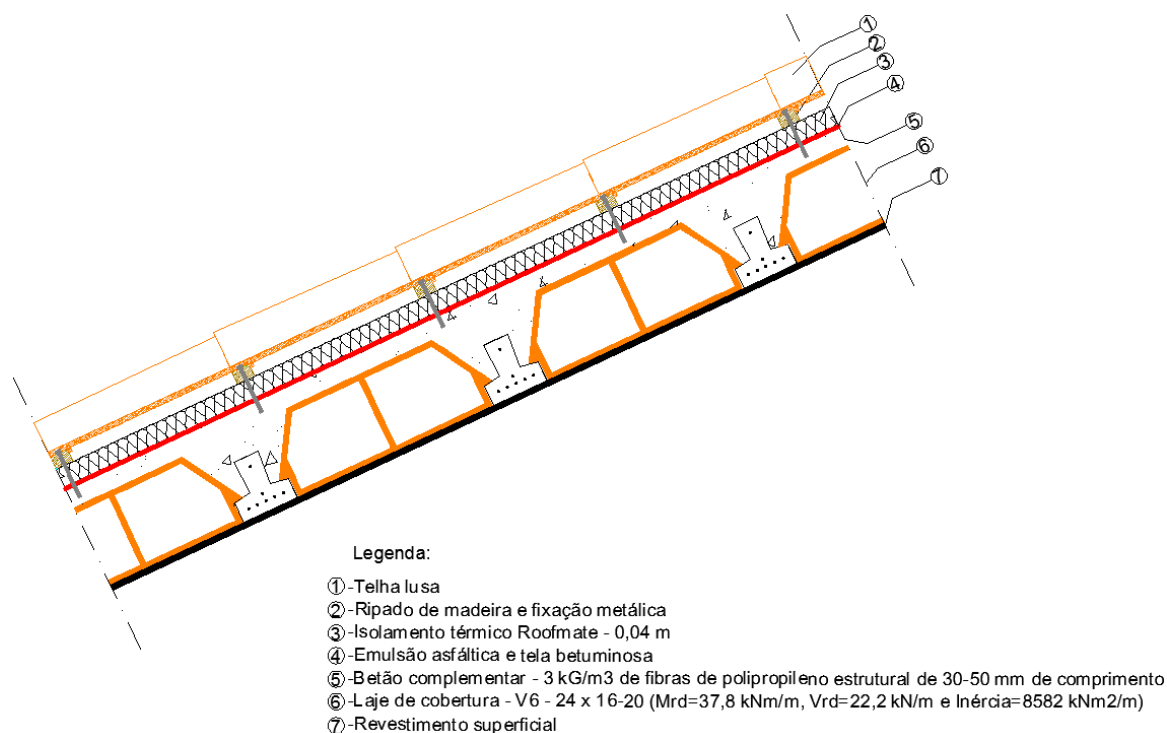


Figura 62 – Pormenor construtivo da laje de cobertura

4.1.4 Paredes interiores

Está prevista a adoção de paredes interiores em gesso cartonado com interposição de isolamento, de lã de rocha, na caixa-de-ar, ver Figura 63. Trata-se de uma solução versátil na medida em que pode mais facilmente ser alterada conforme as necessidades ao longo do tempo. Por outro lado também se reduzem as ações sobre a estrutura, em comparação com paredes interiores de alvenaria de tijolo. A utilização de paredes interiores em gesso cartonado tem também a vantagem de reduzir o tempo de construção, na medida em que as instalações elétricas são realizadas aquando da instalação da parede.

Com vista a aumentar a durabilidade dos painéis de gesso cartonado, nos locais das casas de banho e cozinha será utilizado, gesso cartonado hidrófugo com a possibilidade de revestimento superficial em azulejo cerâmico.

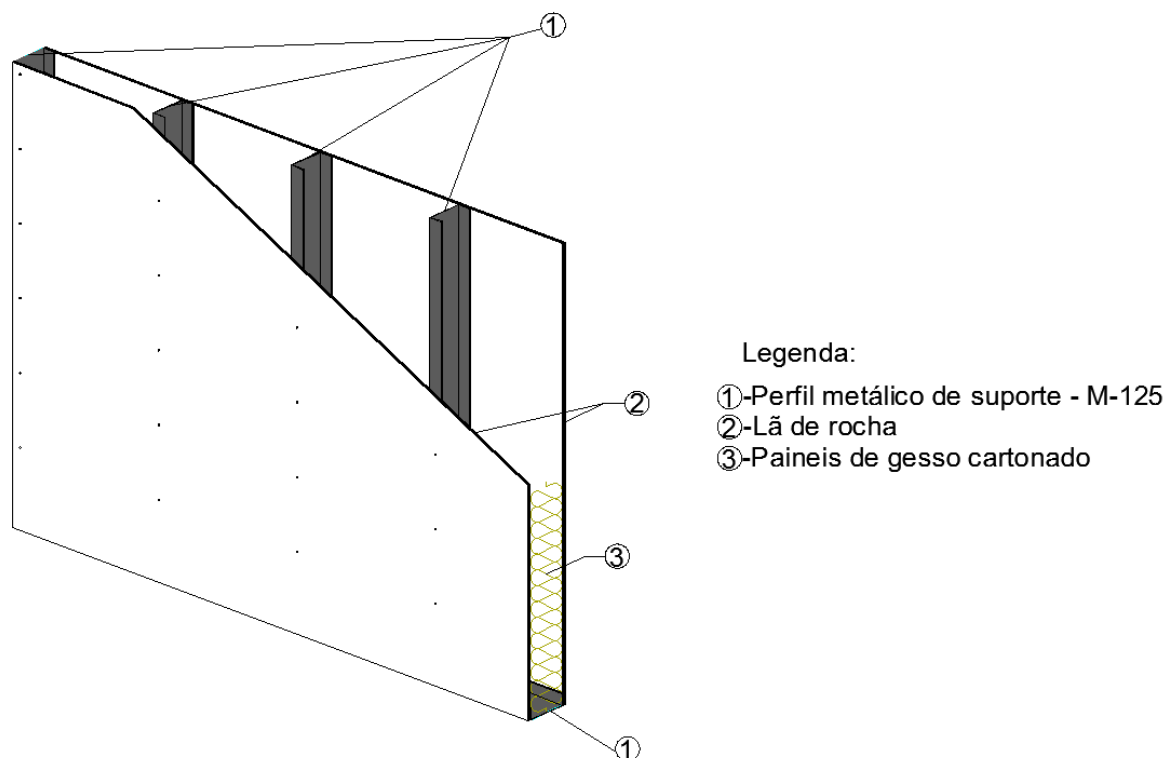


Figura 63 – Pormenor construtivo das paredes interiores

4.1.5 Parede exterior do pórtico 1-1' e 2-2'

Um dos objetivos neste projeto é a redução das pontes térmicas do edifício e dessa forma melhorar o seu desempenho energético e de parâmetros de conforto. Para esse fim considerou-se que todos os elementos estruturais das pontes térmicas teriam de apresentar pelo exterior isolamento térmico e um pano de alvenaria de tijolo de 7 cm, tal como se ilustra na Figura 64.

Esta solução permitirá obter um isolamento térmico contínuo ao longo de toda a extensão da parede. Como o edifício em estudo se encontra confinado lateralmente entre outros edifícios, as paredes exteriores de alvenaria de tijolo de 7cm encontram-se de certa forma protegidas do espaço exterior pelo que os fenómenos de higroscopicidade (absorção de humidade pela parede) não apresentam grande relevância, o que justificará a adoção de um pano de alvenaria de reduzida espessura pelo exterior. No pormenor da viga de cobertura (Figura 72, assinalado em 2, 3 e 4) é possível observar a solução adotada para assegurar a não infiltração de água na parede de contorno do edifício. Por outro lado, a utilização de tijolo de 15 cm pelo interior

tem a vantagem de aumentar a inércia térmica do edifício, contribuindo para que as variações de temperatura no interior ocorram gradualmente, melhorando o conforto dos ocupantes. O isolamento térmico escolhido é o Poliestireno extrudado (XPS), devido às suas propriedades isolantes, resistência a ações mecânicas e resistência à absorção de água.

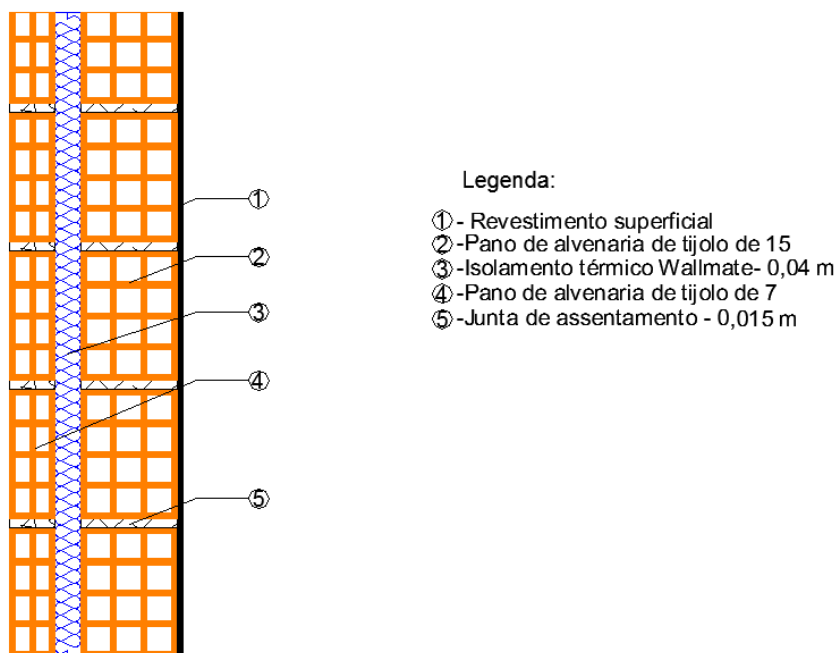


Figura 64 – Pormenor construtivo da parede exterior dos pórticos 1-1’ e 2-2’

4.2 Soluções construtivas para isolamento de pontes térmicas

4.2.1 Pormenor da ligação à viga de fundação do pórtico 1-1’

No pormenor ilustrado na Figura 65 é possível verificar a preocupação que foi tida no isolamento da ponte térmica, pela interposição de isolamento térmico que proporcione a separação da viga de fundação do interior do edifício. Para que esta solução se tornasse viável foi necessária a verificação da capacidade resistente do isolamento térmico às ações que lhe estão a ser impostas em duas situações distintas:

- O apoio da laje de rés-do-chão;
- O apoio do pano de alvenaria de tijolo de 15cm.

Relativamente ao apoio da laje de rés-do-chão, com o objetivo de reduzir as ações sobre o isolamento térmico, optou-se pela colocação de varões de suporte com $\varnothing 25//0,5$ m, tal como ilustrado na Figura 65 - indicado em 8. Estes varões têm uma entrega de 0,15 m na viga de fundação e na zona maciça da laje de rés-do-chão, e tem como objetivo o suporte da laje aquando da solidificação do betão.

Por outro lado, é necessário ter em conta que durante o processo construtivo as vigotas de betão armado serão apoiadas sobre o isolamento térmico. Desta forma é necessária a determinação das ações a que o isolamento estará sujeito durante a construção e posteriormente a escolha de um isolamento térmico que satisfaça este requisito, ou seja:

A carga que a vigota transmite para o isolamento, considerando que, de uma forma conservativa, 70% da reação calculada é efetivamente transmitida para o isolamento térmico:

$$N_{\text{Isolamento}} = (0,51 \times 3) \times (2,75) \times 0,7$$

$$N_{\text{Isolamento}} = 2,95 \text{ kN}$$

Sendo que a área de apoio da vigota no isolamento térmico:

$$A_{\text{apoio}} = 0,4 \times 0,11 = 0,044 \text{ m}^2$$

O isolamento térmico fica sujeito a uma tensão:

$$\sigma = \frac{N_{\text{Isolamento}}}{A_{\text{apoio}}} \Leftrightarrow \sigma = 66,9 \text{ kPa}$$

Este resultado permite-nos concluir que é necessário isolamento térmico com resistência à compressão superior a 66,9 kPa, pelo que a solução encontrada foi XPS – *Floormate 200-A* com uma resistência à compressão mínima de 200 kPa.

Foi também necessário encontrar uma solução para minimizar o apoio da parede de alvenaria de tijolo de 15 sobre o isolamento térmico, para esse efeito optou-se pela suspensão da parede. Está previsto que a primeira junta de argamassa sobre o isolamento térmico tenha dois varões de 6 mm de diâmetro, como se pode verificar na Figura 65, indicado em 6. Trata-se de um elemento que devido à sua reduzida espessura funcionará como tirante, reduzindo o apoio do pano de alvenaria interior sobre o isolamento térmico.

Observando a Figura 66, que se trata de um corte onde pode ser também identificada a parede de betão armado, constata-se que, no entanto, a solução adotada não será totalmente eficaz nestes locais, existindo pontualmente na laje de rés-do-chão pontes térmicas lineares na zona das paredes. No entanto são zonas de reduzida extensão e que não consistem numa passagem “direta” de calor entre o exterior e o interior.

O isolamento térmico das paredes terá um papel importante ao longo do tempo (mantendo o conforto térmico do edifício) e também durante a fase construtiva, na medida em que servirá de cofragem para a betonagem das paredes e pilares de betão armado da estrutura. Para evitar deformações e danos no isolamento térmico, no local das vigas e pilares dos pórticos 1-1’ e 2-2’ o isolamento térmico utilizado será do tipo *Roofmate* por apresentar maior resistência à compressão que o *Wallmate* tendo um preço semelhante.

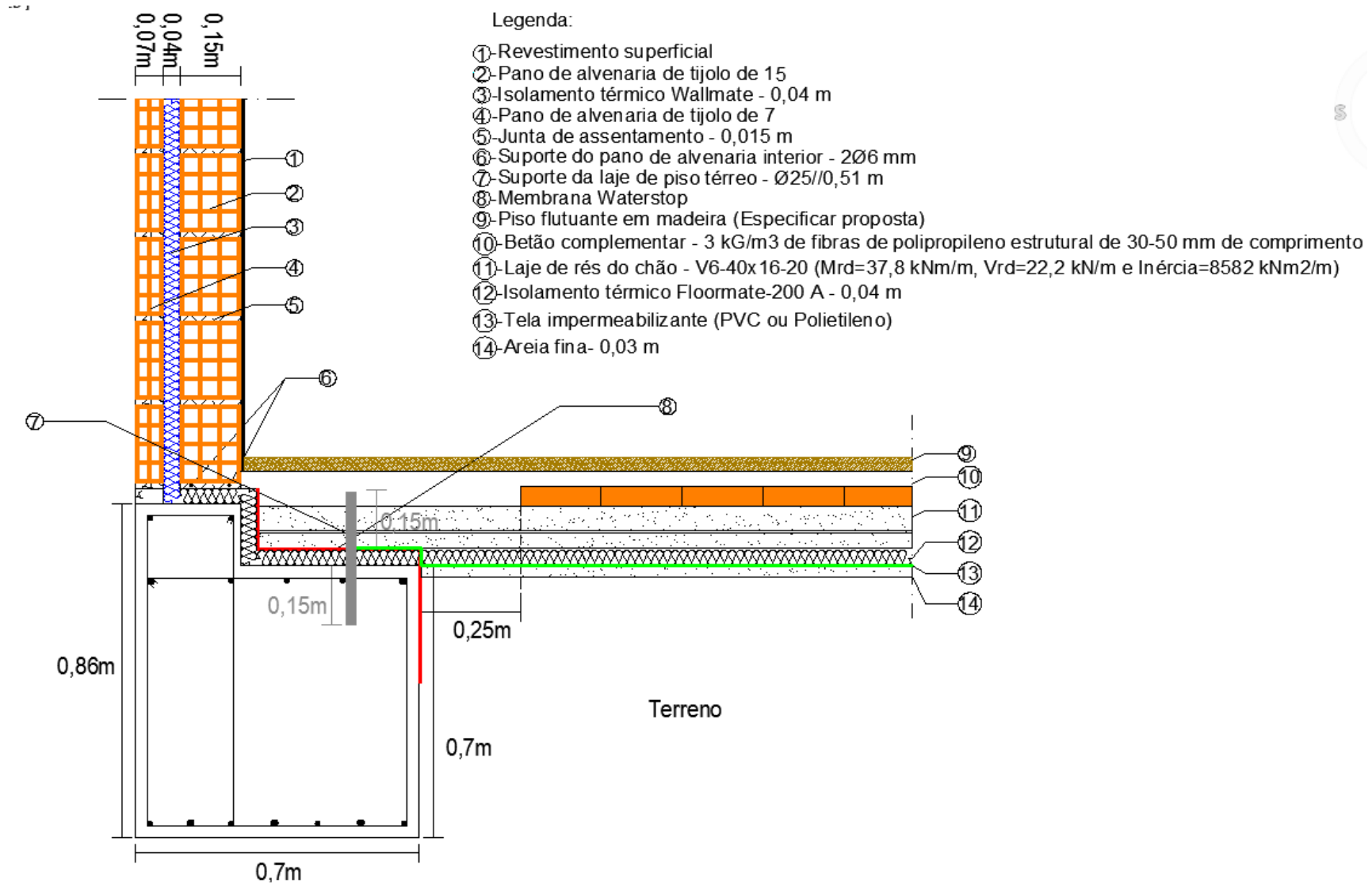


Figura 65 – Pormenor da ligação à viga de fundação do pórtico 1-1'

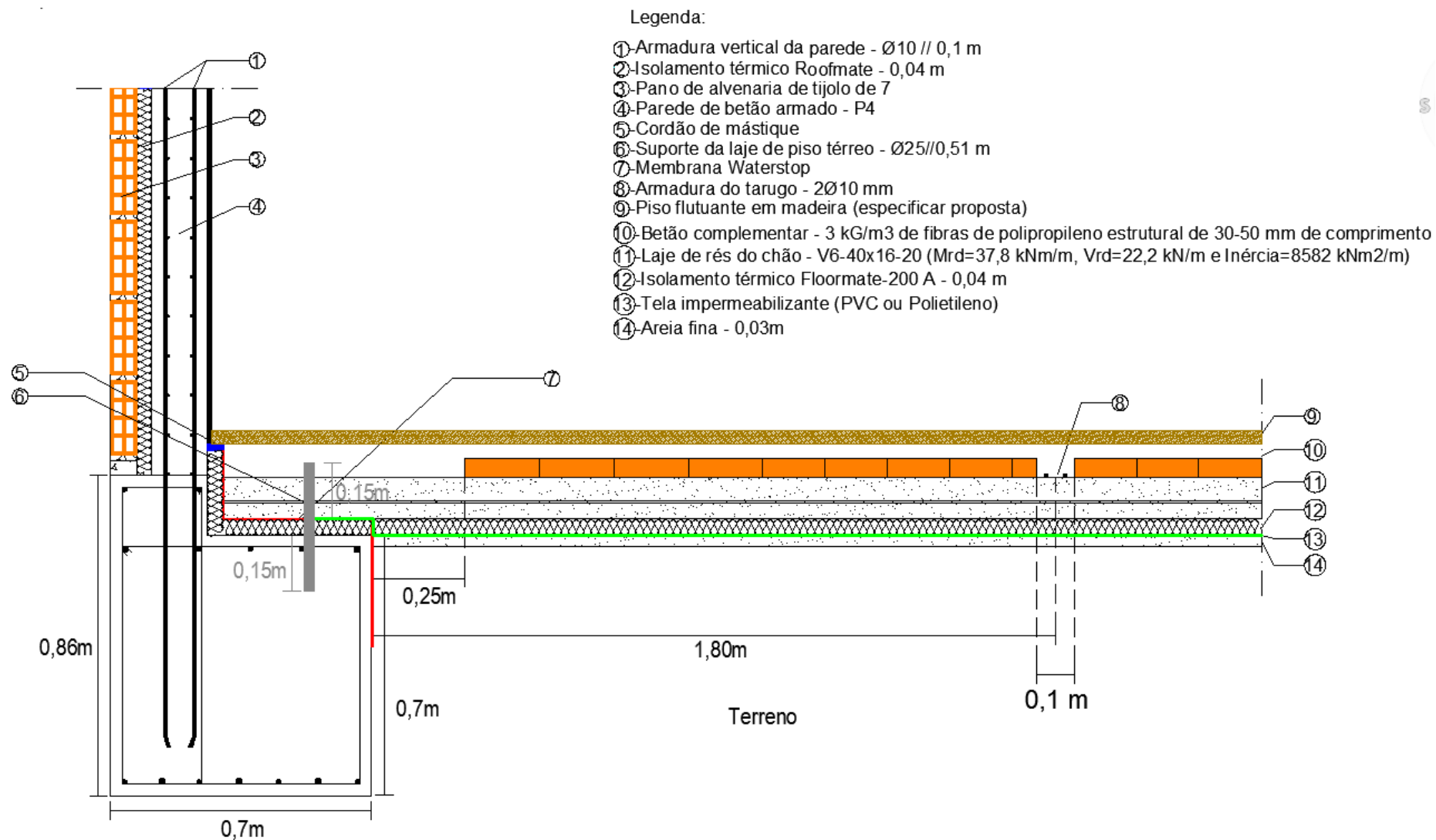


Figura 66 - Pormenor da ligação à viga de fundação do pórtico 1-1' – Local da parede

4.2.2 Pormenor do talão da viga dos pórticos 1-1' e 2-2'

O pormenor da Figura 67 representa a ligação da laje e a viga de piso 1 ou 2, e trata-se de um local de ponte térmica. A solução adotada tal como acontece nos pormenores anteriores, foi a colocação de isolamento térmico pelo exterior juntamente com um pano de alvenaria de tijolo de 7 cm. Desta forma cria-se um plano contínuo de isolamento térmico ao longo de toda a fachada o que nos permite isolar eficientemente as pontes térmicas existentes.

Na Figura 67, indicado como o número 8, é possível verificar a existência de um elemento de ligação da parede de alvenaria exterior à viga, para isso a junta de assentamento terá de ter uma espessura superior de modo a permitir melhor a fixação do estribo de aço de 10 mm de diâmetro, com as dimensões e formato indicados na Figura 73.

4.2.3 Pormenor da viga de fundação do Pórtico 4-4'

O terreno onde o edifício se encontra implantado apresenta um nível freático elevado, podendo existir a possibilidade de ocorrer a ascensão de água até ao nível da laje de rés-do-chão. Tendo em conta este problema, uma das soluções previstas para o amenizar será a colocação de uma rede de drenos no terreno permitindo o escoamento de grande parte da água em ascensão. Por outro lado, optou-se também pela colocação de uma membrana *Waterstop*, tal como ilustrado na Figura 68 (indicado em 13), esta barreira impedirá a água de percolar pelo canal contínuo formado pelo isolamento térmico.

Está também prevista a colocação de uma tela (PVC ou Polietileno), assinalado em 9, servindo como camada de separação entre o isolamento térmico e a areia fina e impedindo a água de aceder aos níveis inferiores da laje de rés-do-chão. Por fim considera-se também a colocação de um cordão de mástique (Figura 68 indicado em 3) à superfície da laje de piso de rés-do-chão e sobre o isolamento térmico. Este material elastómero terá a função de proteger o isolamento térmico e selar a passagem de humidade e calor.

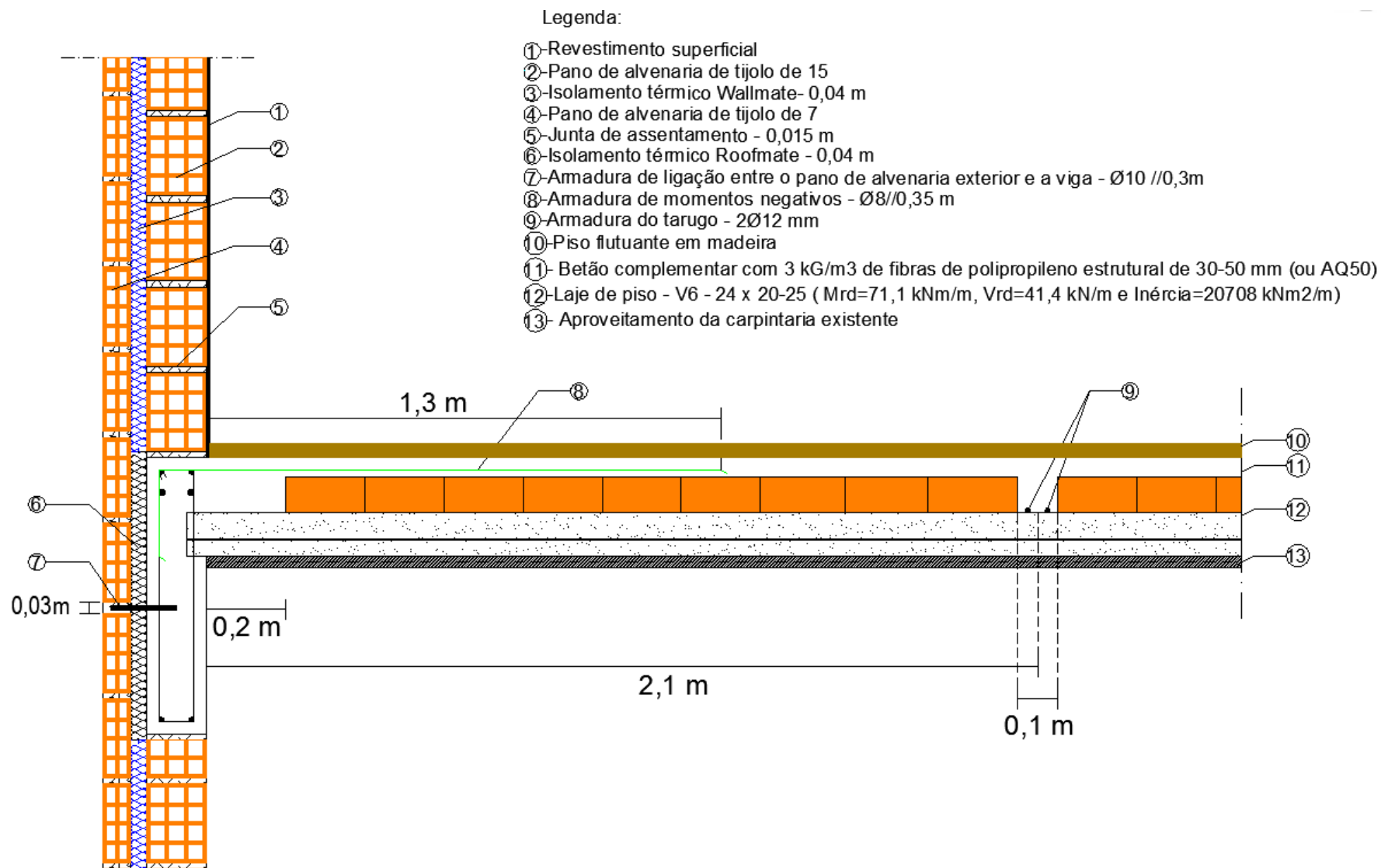


Figura 67 – Pormenor do talão da viga

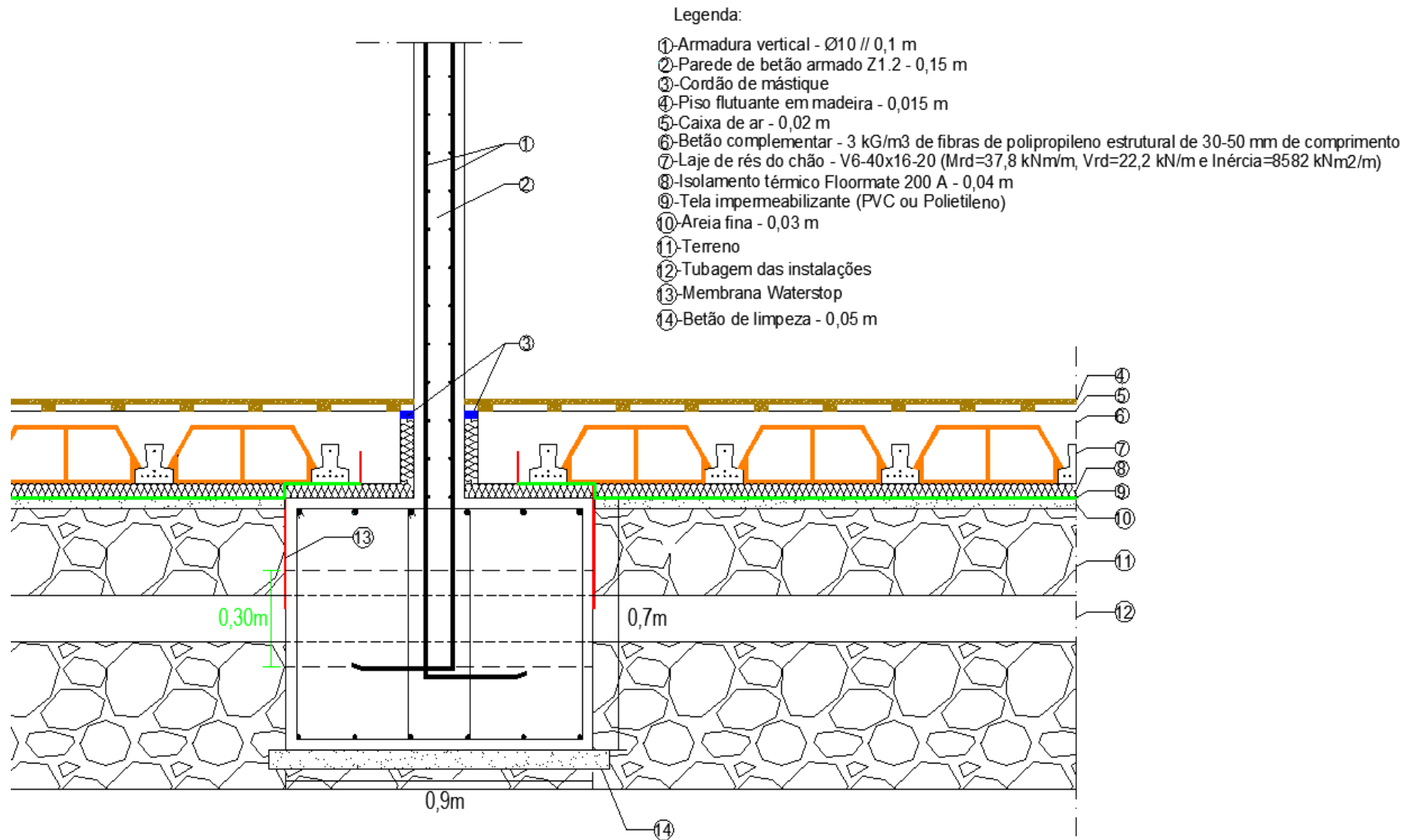


Figura 68 – Pormenor da viga de fundação do pórtico 4-4'

4.2.4 Pormenor da viga de fundação do pórtico 3-3'

Como pode ser observado na Figura 69, a viga fundação do pórtico 3-3' (indicado em 15) encontra-se em posição recuada em relação ao envidraçado, por essa razão foi necessário a colocação de um lintel de fundação (indicado em 14) imediatamente sob o local do vão envidraçado. Este elemento serve para o apoio lateral à laje de rés-do chão com o intuito de evitar deformações excessivas neste local.

Observando a Figura 69 é possível verificar a existência de isolamento ao nível da viga e fundação do pórtico 3-3' e do lintel de fundação, desta forma evitam-se as pontes térmicas associadas a estes dois locais. A instalação de uma caixilharia com corte térmico é fundamental para se reduzirem com maior eficiência as perdas energéticas associadas a estes elementos da envolvente. Está prevista a instalação de envidraçado de vidro duplo de diferentes espessuras para melhor conforto térmico e acústico.

Na Figura 69, indicado em 11, é possível verificar a existência do sistema de drenagem de águas freáticas, está previsto a instalação de tubagem que atravessará as vigas de fundação (a meio da sua altura). Esta tubagem conduzirá as águas provenientes do subsolo para uma meia cana em betão armado (indicado em 12), onde também são descarregadas as águas provenientes do pátio, através de uma grelha de pavimento (indicado em 13). Desta forma é possível evitar a entrada de água para o interior da habitação, e conduzir as águas freáticas para o sistema de drenagem de águas pluviais.

No subcapítulo 4.3 encontra-se a representação do esquema de drenagem de águas freáticas, bem como a sua integração no sistema de drenagem de águas pluviais.

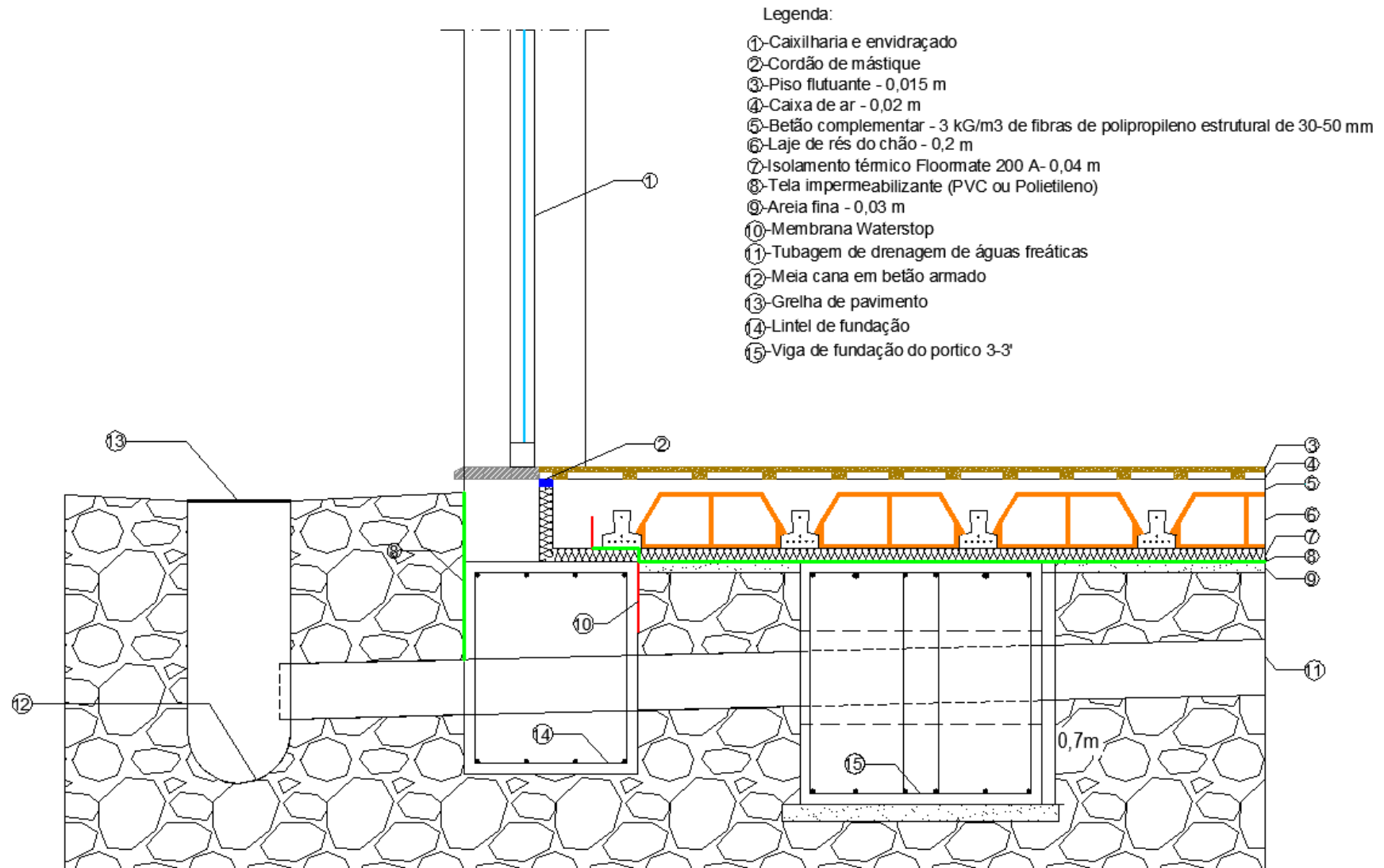


Figura 69 – Pormenor da viga de fundação do pórtico 3-3'

4.2.5 Pormenor da viga de fundação do Pórtico 6-6'

Qualquer intervenção na parede de fachada, com exceção da sua conservação, deverá ser feita pelo interior. A fachada do edifício é um local ao qual se prevê estarem associados ganhos e perdas desproporcionados, tanto pela irradiação de calor para o interior, como as perdas associadas à possível ineficiência de vedação das janelas em madeira. Por estes motivos, a intervenção passa pela conservação das paredes existentes e pela criação de um elemento de separação entre a parede de fachada e o interior do edifício, este elemento encontra-se ilustrado na Figura 70 em corte longitudinal e na Figura 71 em planta.

É possível verificar a existência de aberturas, no envidraçado interior, em concordância com as janelas e portas da fachada. Na Figura 71, indicado 7, verifica-se a existência de um compartimento de separação entre a porta exterior (indicado em 3) e a porta de entrada interior (indicado em 2). Prevê-se que este local apresente uma cota inferior à do pavimento interior para facilitar a recolha e drenagem de água proveniente do exterior (indicado em 8), pois existe a possibilidade que tal aconteça. Trata-se de uma solução que apresentará elevada eficiência no isolamento térmico e acústico da parede de fachada, no entanto, esta medida, não dispensa a preocupação com a recuperação ou reconstrução das janelas, melhorando o seu desempenho ao nível do envidraçado e da estanquidade e vedação da caixilharia.

4.2.6 Pormenor da viga de cobertura

Trata-se de uma solução de cobertura invertida, ou seja, o isolamento térmico encontra-se assente sobre a camada de impermeabilização. As principais vantagens desta solução são a proteção da camada de impermeabilização e facilidade em isolar a ponte térmica da viga de cobertura, ver Figura 72. No entanto, por se tratar de uma cobertura inclinada é necessário que as placas de isolamento térmico se encontrem fixas à laje de cobertura por meio de parafusos metálicos, como é possível observar na Figura 72, indicado em 9. Estes devem apresentar resistência à corrosão e ter diâmetro suficiente para resistir aos esforços de corte instalados. Antevê-se que a condução das águas da chuva junto ao edifício adjacente seja feita por meio de funilaria em inox, tal como assinalado em 2 na Figura 72.

Legenda:

- ①-Caixilharia de alumínio com corte térmico
- ②-Vidro duplo
- ③-Fachada do edifício
- ④-Cordão de mástique
- ⑤-Piso flutuante em madeira
- ⑥-Betão complementar- 3 kG/m3 de fibras de polipropileno estrutural de 30-50 mm de comprimento
- ⑦-Laje de rés do chão - V6-40x16-20 (Mrd=37,8 kNm/m, Vrd=22,2 kN/m e Inércia=8582 kNm2/m)
- ⑧-Isolamento térmico Floormate - 0,04 m
- ⑨-Tela impermeabilizante (PVC ou Polietileno)
- ⑩-Areia fina - 0,03 m
- ⑪-Membrana Waterstop
- ⑫-Tubagem das instalações
- ⑬-Terreno
- ⑭-Betão de limpeza - 0,05 m

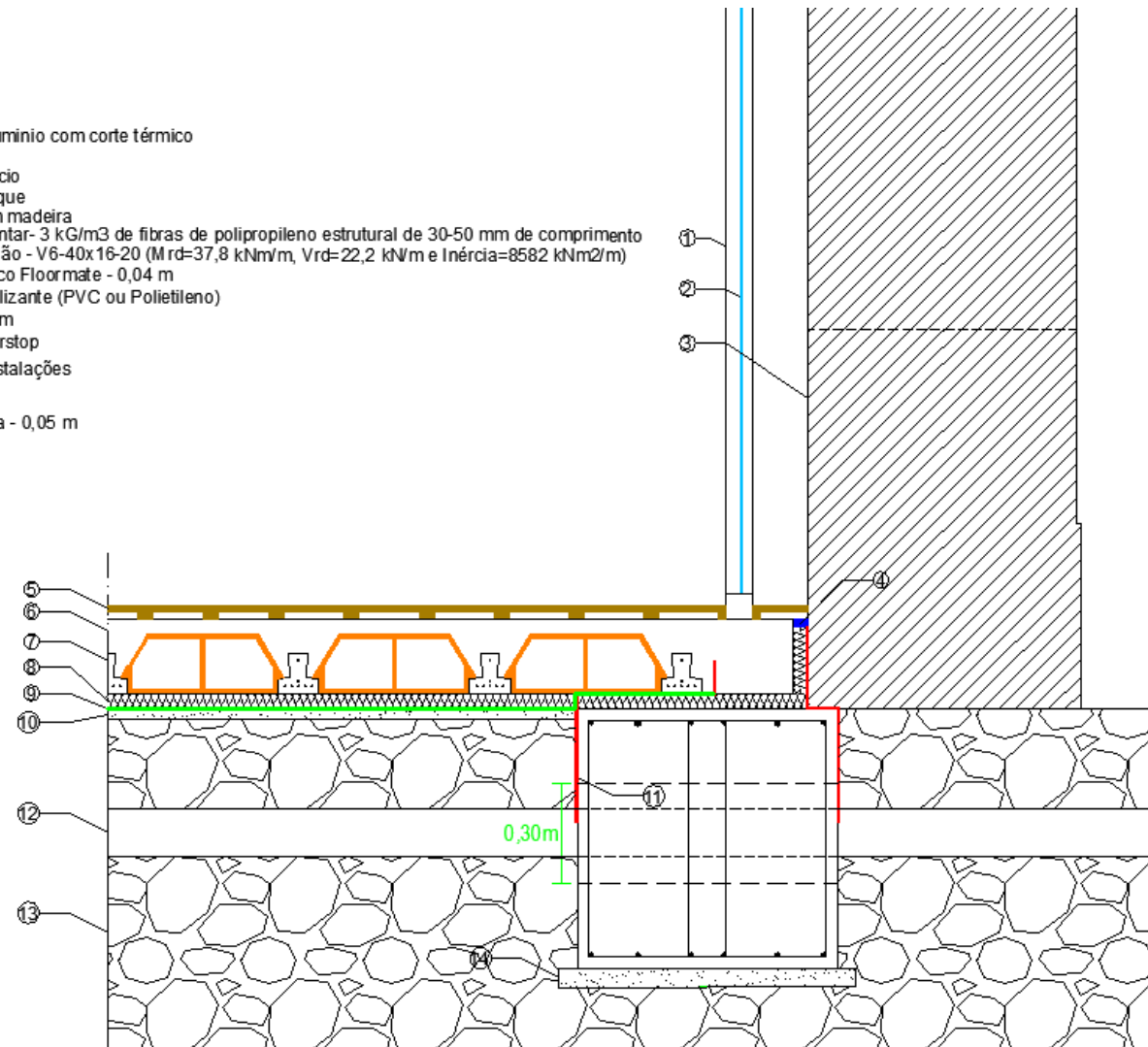


Figura 70 – Pormenor de ligação da laje de piso térreo e a fachada do edifício

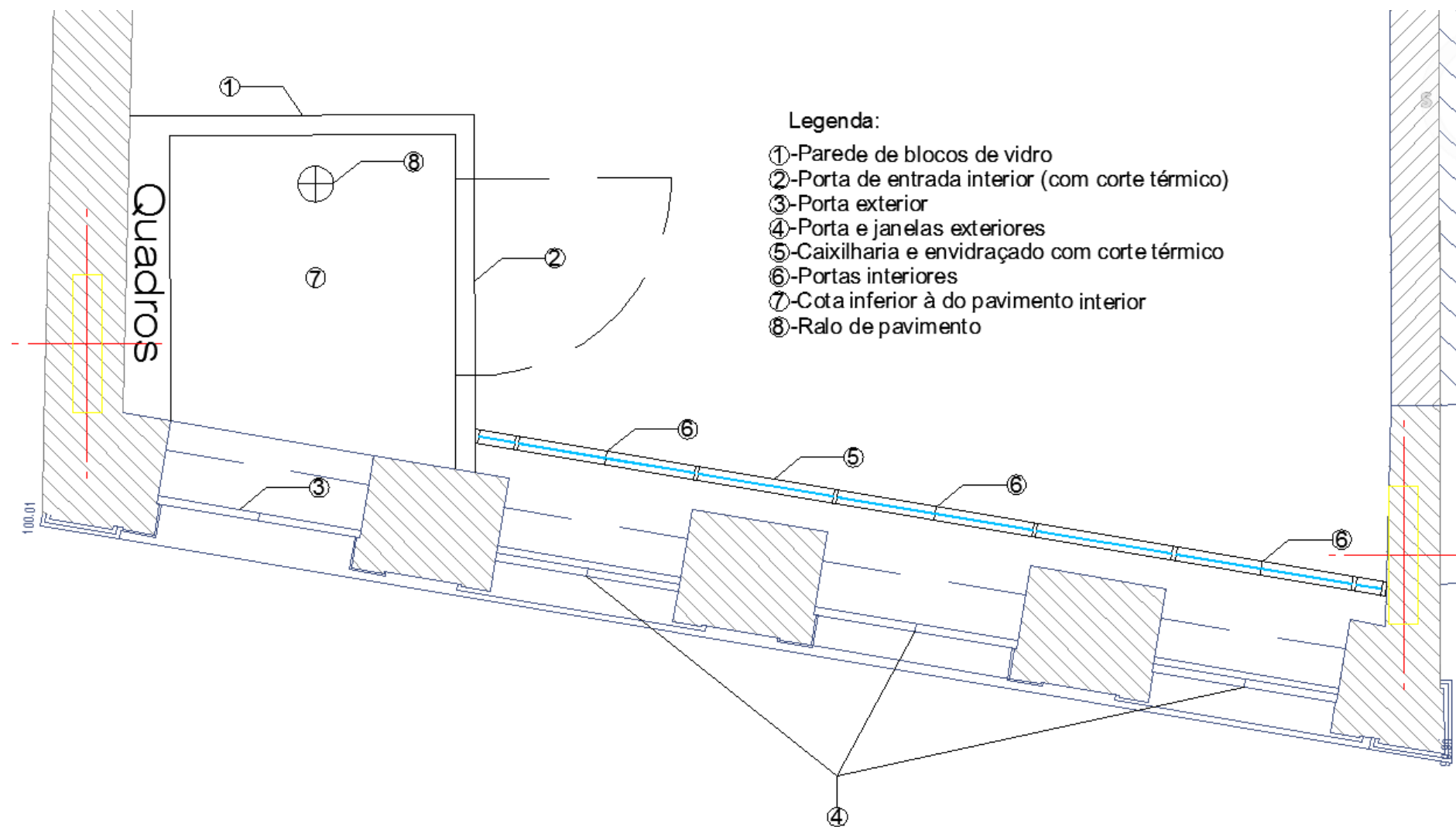


Figura 71 – Representação em planta do isolamento interior da parede de fachada

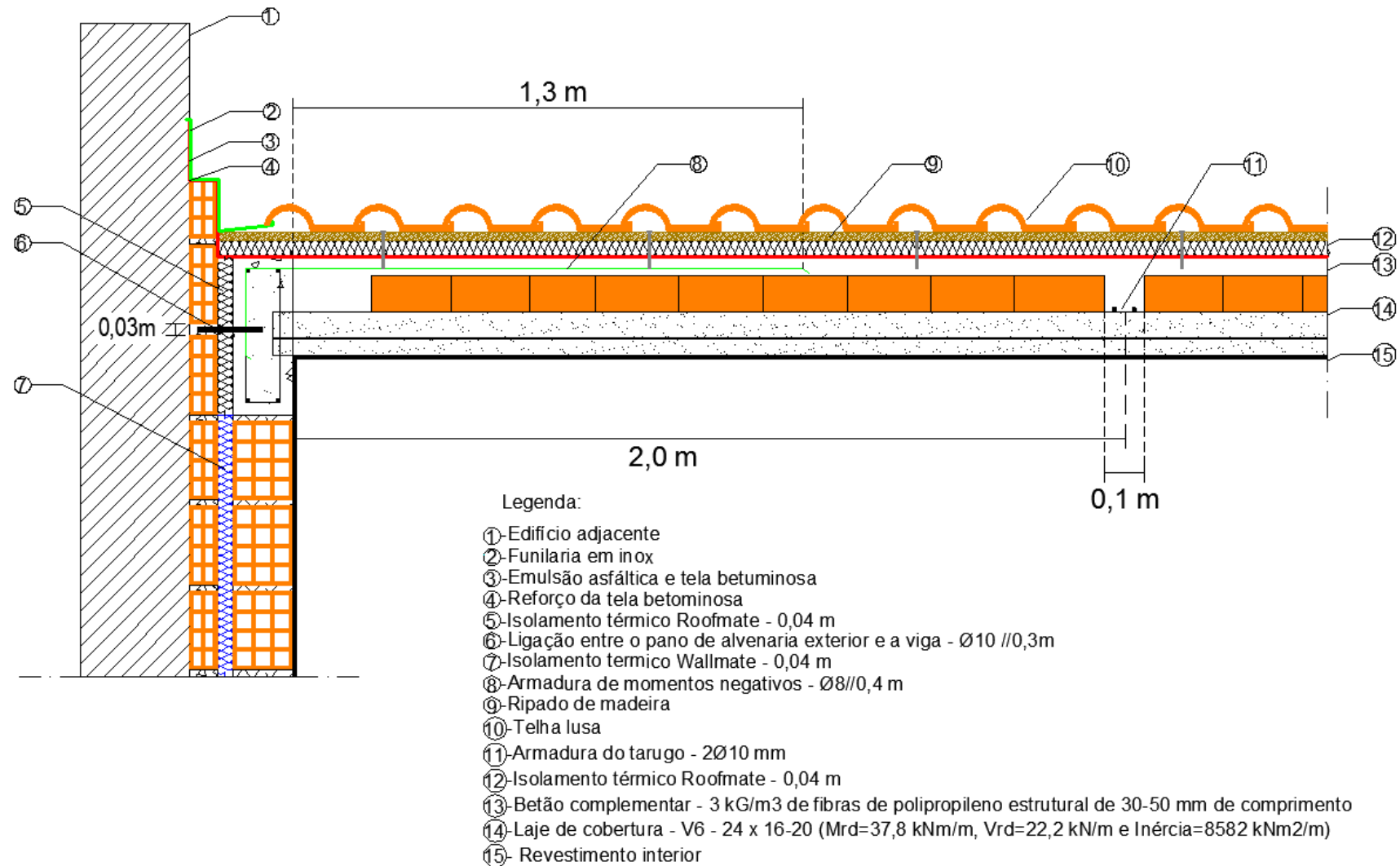


Figura 72 – Pormenor da viga de cobertura

4.2.7 Pormenor da ligação à parede

Com o objetivo de manter a estabilidade e evitar deformações excessivas do pano de alvenaria de tijolo de 7 considerou-se a colocação de pilares de secção 0,3x0,07 paralelos às paredes existentes. Ao nível de cada junta de assentamento da alvenaria existirá um elemento de fixação tal como representado na Figura 73 e o pormenor da armadura na Figura 74.

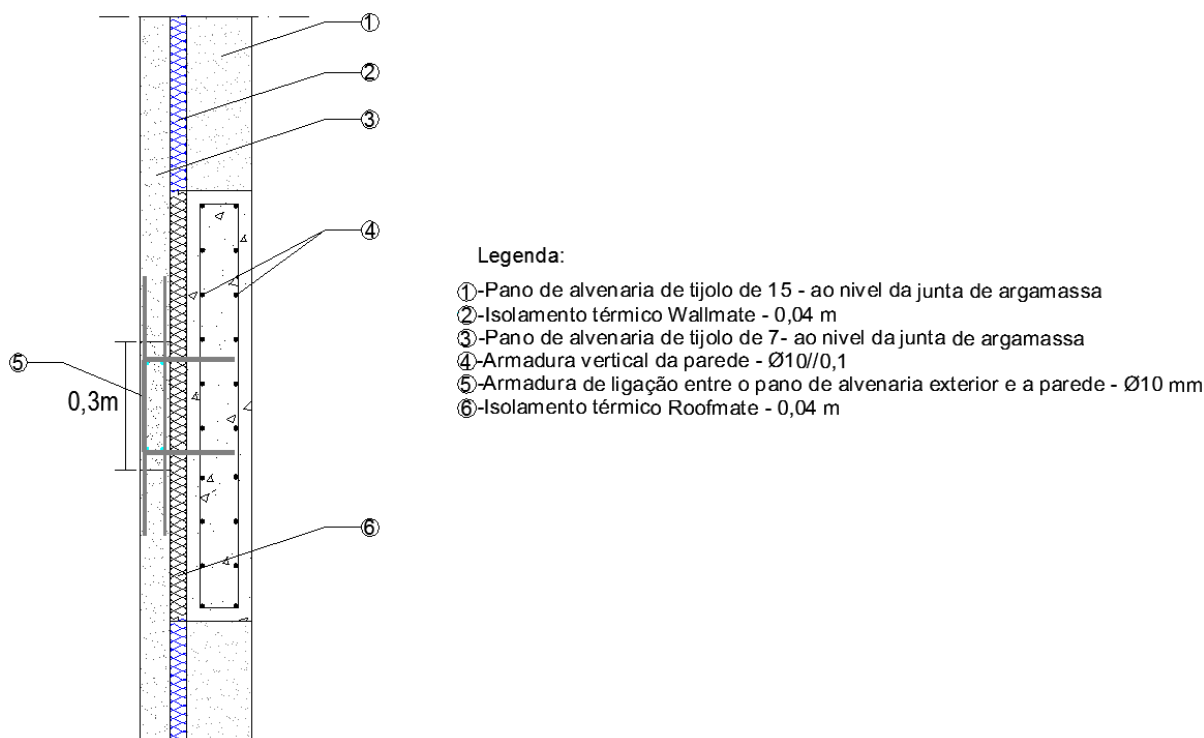


Figura 73 - Pormenor da ligação à parede

Na Figura 74 é possível observar o formato da armadura de ligação, a utilização de varões ortogonais ao plano do isolamento térmico permite reduzir os danos no isolamento ficando estes limitados aos furos de inserção dos varões. Optou-se pela utilização de uma armadura de maior diâmetro, 10 mm, no estribo de ligação (indicado em 4) pois este estará submetido a maiores ações de tração e compressão.

Devido à reduzida largura do pilar em relação ao seu comprimento torna-se impossível o cumprimento dos requisitos de recobrimento mínimo da peça. No entanto, trata-se de um

elemento que se encontra protegido dos agentes atmosféricos o que atenua o facto supracitado.

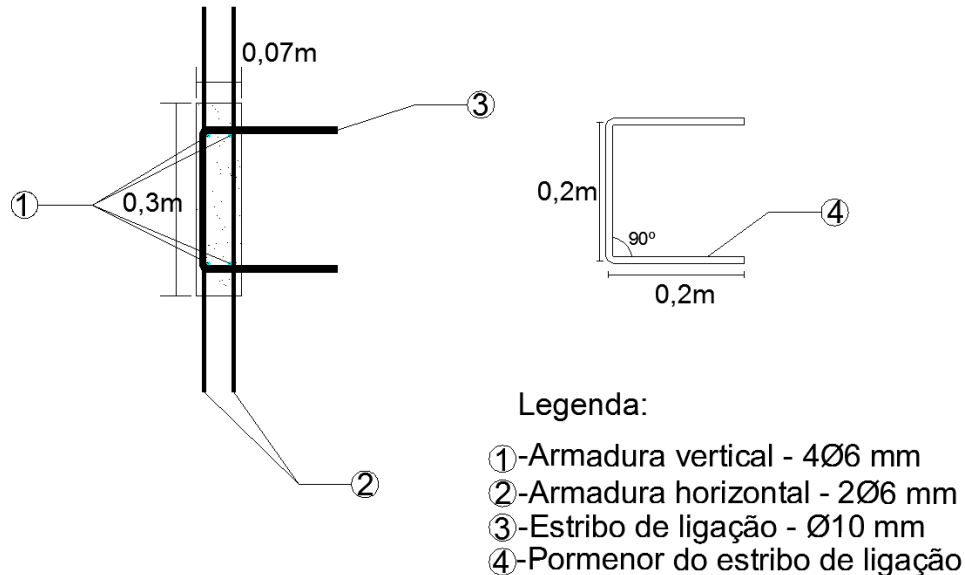


Figura 74 – Pormenor da armadura do pilar

4.2.8 Pormenor da laje maciça

A laje maciça, da varanda, representa uma parte da envolvente exterior do edifício, na medida em que o espaço que se encontra sobre ela é um espaço habitável. Deste modo deve pressupor-se a colocação de isolamento térmico para a verificação os requisitos mínimos regulamentares de transmissão térmica. A exigência de utilização de isolamento térmico obrigou à redução da espessura de laje, de 0,2 m para 0,15 m, permitindo dessa forma a inclusão de isolamento e mantendo o desnível em relação ao piso interior.

Ao nível da impermeabilização está prevista a utilização de emulsão asfáltica e tela betuminosa, como reforço opta-se também pela utilização de argamassa hidrófuga para assentamento do revestimento cerâmico e reboco.

Na Figura 75, indicado em 14, antevê-se a colocação de caixa de estore com isolamento térmico e acústico, melhorando o desempenho associado ao vão envidraçado.

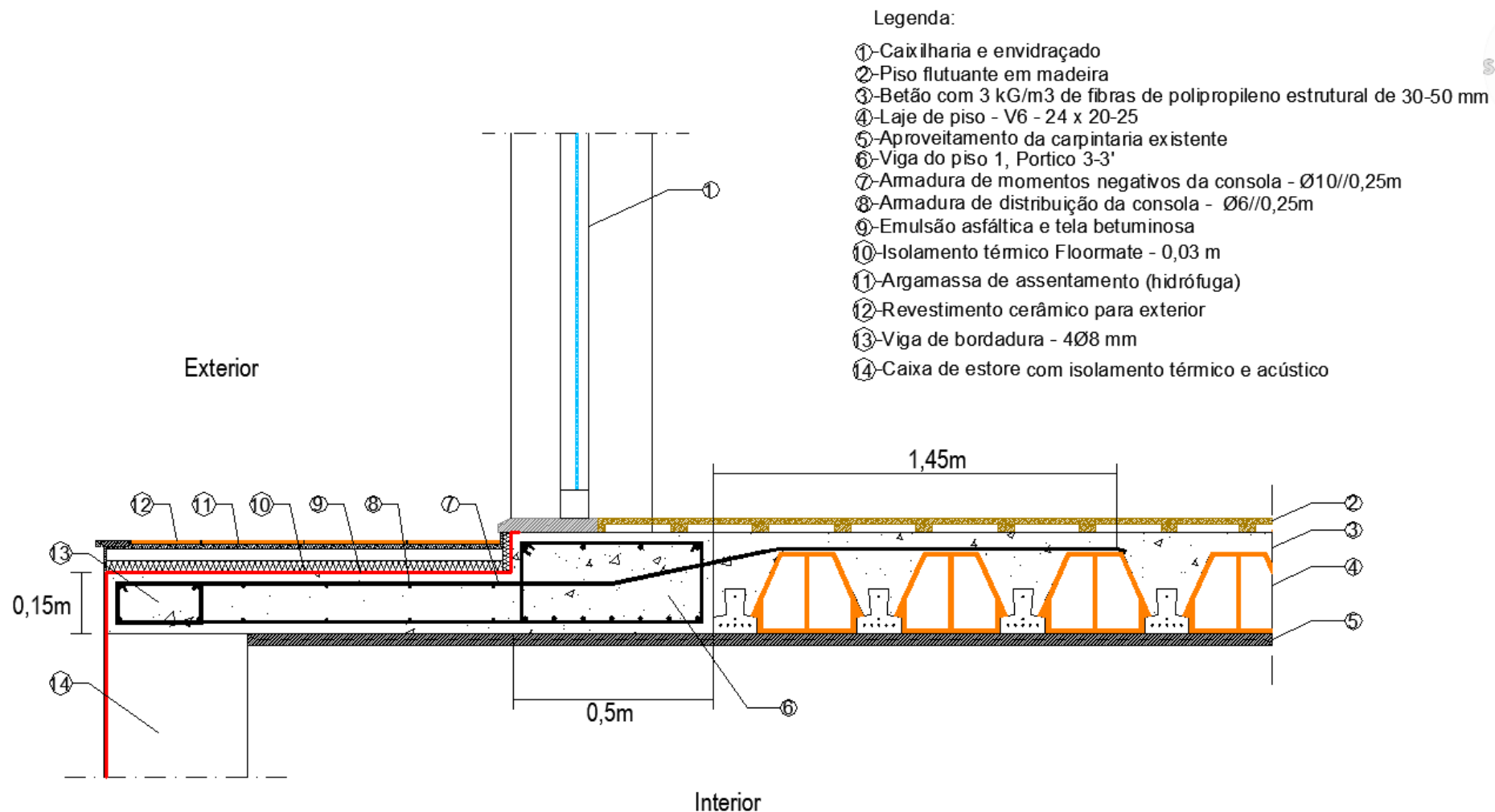


Figura 75 – Pormenor da laje maciça da varanda

4.3 Sistema de drenagem de águas freáticas

Tal como referido nos subcapítulos anteriores o terreno onde o edifício será implantado apresenta um nível freático elevado, existindo a possibilidade de ascensão de água ao nível das fundações. Os projetos de redes fornecidas não previam a instalação de sistema de drenagem de águas freáticas, pelo que se optou pela sua incorporação no sistema de drenagem de águas pluviais. Tal como é possível observar na Figura 76 ao nível das fundações do edifício deverão existir dois drenos principais, assinalados em 2. Estes, tal como a tubagem de drenagem de águas pluviais (assinalado em 1), conduzirão as águas, para uma meia cana de betão armado (assinalado em 3), que se situará às cotas de fundação indicadas na Figura 76.

Ao nível do pavimento existirá uma grelha, (assinalado em 4), que terá como objetivo recolher as águas do pátio, e impedir o seu acesso às imediações do edifício. Por fim, as águas recolhidas na meia cana são conduzidas para a rede pública de drenagem de águas pluviais, através da tubagem assinalada em 5.

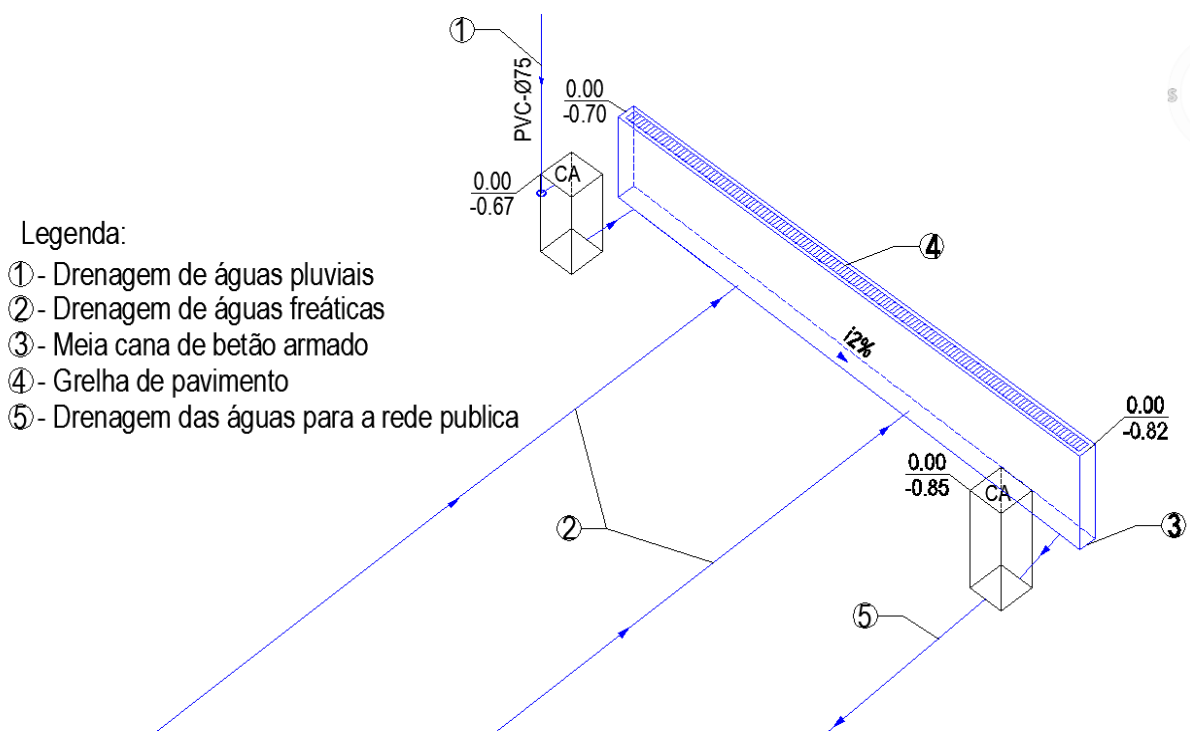


Figura 76 – Sistema de drenagem de águas freáticas (alçado posterior do edifício)

Na Figura 77 encontra-se representado um corte transversal da tubagem de drenagem. É possível verificar que para um bom funcionamento do sistema, o dreno deve ser envolto por uma camada de brita fina (assinalada em 1) e um geotêxtil (assinalado em 2), permitindo reter, em níveis de granulometria diferentes, as partículas de solo arrastadas pela água, impedindo o seu acesso ao interior do dreno (assinalado em 3).

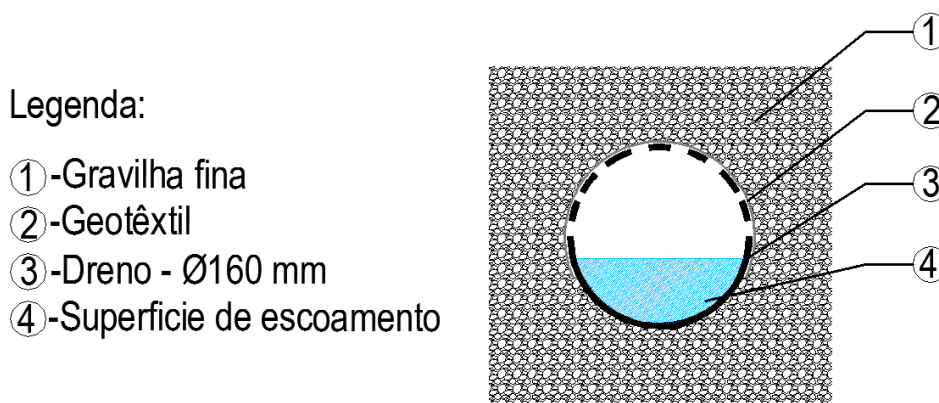


Figura 77 – Corte transversal do dreno

4.4 Sistema de aproveitamento de águas freáticas do poço

No terreno onde o edifício se encontra implantado existe um poço, estudou-se a possibilidade de aproveitamento dessa água para o abastecimento dos autoclismos do edifício e para rega. O aproveitamento das águas do poço é uma medida que tem como objetivo a redução dos consumos de água no edifício. Pretende-se a redução do consumo de água dos autoclismos pois estes são um dos dispositivos de abastecimento de água que maiores consumos apresentam numa habitação. Por outro lado são dispositivos onde a utilização de água potável, ou com elevados índices de qualidade não é um requisito.

Como pode ser observado na Figura 78 a água existente no poço é bombada, (assinalada em 2), para os locais de armazenamento temporário (autoclismos) ou para a boca de rega (assinalada em 3). A captação da água, no poço, deverá ser realizada à superfície e deverá existir um sistema de filtragem impedindo a recolha de sedimentos ou matéria orgânica. A distribuição da água pelo interior do edifício será realizada pelo sistema PEX. A água é conduzida pelas tubagens verticais AP1 e AP2, sendo que a primeira abastece os autoclismos do rés-do-chão e piso 2 e a segunda abastece os autoclismos do piso 1.

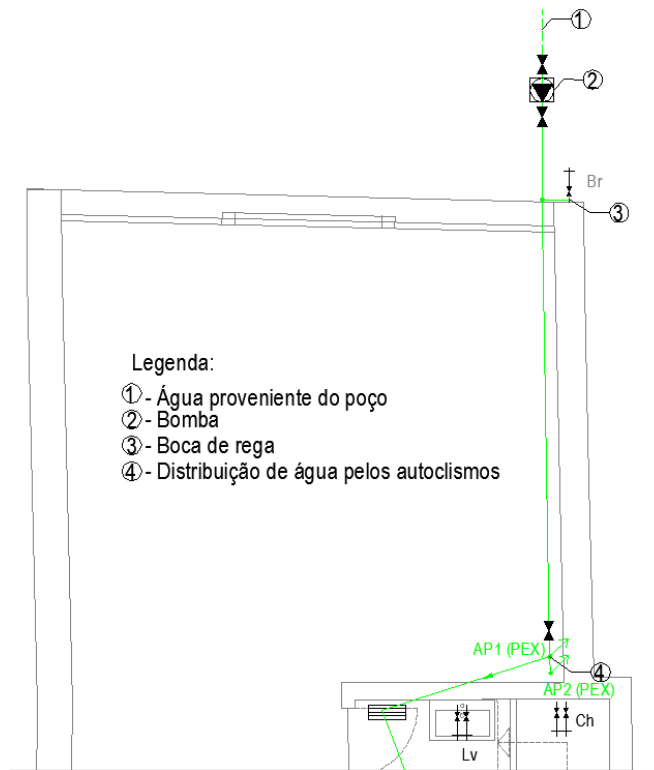


Figura 78 – Sistema de aproveitamento de águas do poço – planta de rés-do-chão

No Anexo X é apresentado o sistema de aproveitamento de águas freáticas (poço) para rega e abastecimento dos autoclismos, das casas de banho do edifício.

4.5 Sistema de aquecimento de águas sanitárias e climatização

Está previsto que o aquecimento de águas sanitárias e o aquecimento central seja feito pela integração de um recuperador de calor e painéis solares. Trata-se da produção de energia utilizando duas fontes de energia renovável, que são respetivamente, a biomassa e o sol.

A água proveniente da rede de abastecimento (Figura 80, assinalado em 1) seguirá dois caminhos distintos: uma parte será para o abastecimento de água fria do edifício (assinalado em 2) e outra parte para o abastecimento do termoacumulador.

Tal como é possível observar na Figura 80 o termoacumulador situa-se, no exterior, no alçado posterior do edifício. Este cilindro permite armazenar água proveniente da rede de

abastecimento e é constituído por três serpentinas. A primeira é destinada à circulação do fluido térmico do sistema de painéis solares, na segunda circulará água proveniente dos radiadores e, por último, a serpentina destinada ao sistema de circulação do recuperador de calor. Trata-se de três subsistemas independentes, em que as serpentinas do circuito do recuperador de calor e painéis solares têm como função o fornecimento de calor e a serpentina destinada aos radiadores tem a função de receber calor da água no interior do cilindro. A movimentação dos fluidos, nestes subsistemas, é feita por meio de circulação forçada, para esse efeito, existem três bombas, assinalados na Figura 80 com os números 3, 4 e 5. Como é possível compreender o aquecimento da AQS no interior do cilindro é feita por condução do calor, dos fluidos circulantes nas serpentinas, para a água da rede. A água no interior do cilindro é armazenada a uma pressão igual à existente na rede pública, o consumo de AQS provoca a entrada de mais água fria da rede.

Na Figura 80, assinalado em 10, é possível observar os painéis solares. Estes devem apresentar orientação favorável à máxima captação de radiação solar. A circulação do líquido térmico é comandada por meio de um painel de controlo, cessando o funcionamento da bomba, (Figura 80, assinalado em 5), quando as condições de radiação exterior são insuficientes para manter a água no interior do cilindro à temperatura programada.

Para tornar o sistema mais eficiente e cómodo considerou-se que o recuperador de calor será apoiado por uma caldeira mural a gás. Este sistema para além de suprimir as eventuais quebras de potência do recuperador de calor, tem também por objetivo completar o sistema quando o recuperador de calor não se encontra em funcionamento.

O aquecimento do edifício é realizado através de radiadores a água. Tal como foi referido anteriormente a água que circula neste subsistema é aquecida através da transferência de calor da água, no interior do termoacumulador, para a que circula na serpentina. A circulação forçada é realizada através de uma bomba (assinalada em 4), a água aquecida é enviada para os radiadores do edifício através da tubagem assinalada em 7 e retorna ao termoacumulador através da tubagem assinalada em 8.

Quando o recuperador de calor se encontra em funcionamento é possível aproveitar o calor gerado pela caldeira para aquecimento do ar no interior de duas condutas e distribuí-lo pelos pisos superiores do edifício. Considerou-se o aproveitamento do calor para os pisos 1 e 2. O ar aquecido ascende através das condutas e distribui-se pelos espaços. No Anexo XI é possível observar as condutas de ar quente e o posicionamento das grelhas de distribuição.

Associado a este sistema existe um conjunto de equipamentos de segurança, nomeadamente vasos de expansão, válvulas de segurança, termóstatos. Estes dispositivos têm a função de regular a temperatura e a pressão no interior do sistema para que não se atinjam valores excessivos, passíveis de provocar danos e mau funcionamento do conjunto. O sistema de AQS e aquecimento central encontra-se representado, com maior pormenor, no Anexo XI.

A ventilação dos edifícios é fundamental, não só para garantir níveis aceitáveis da qualidade do ar interior, mas também para a redução das necessidades de arrefecimento no verão. No entanto é necessário que esta seja realizada de uma forma controlada pois constitui uma perda nos meses de menor temperatura exterior. Prevê-se a instalação de dispositivos de ventilação natural controlada, Figura 79, na parte superior da caixilharia das portas e janelas envidraçadas. A regulação do caudal de ar é controlado manualmente e o dispositivo apresenta isolamento acústico.

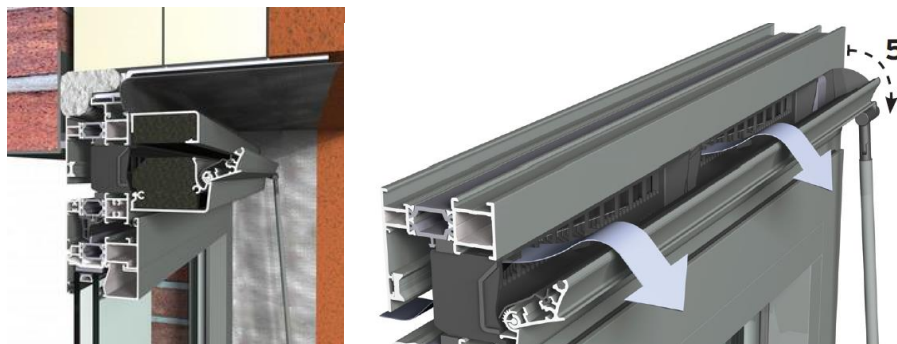


Figura 79 – Dispositivos para ventilação natural controlada [40]

Na Figura 81 é possível observar o esquema de ventilação natural do edifício, recorreu-se a colunas de ventilação para permitir a circulação do ar no interior do edifício.

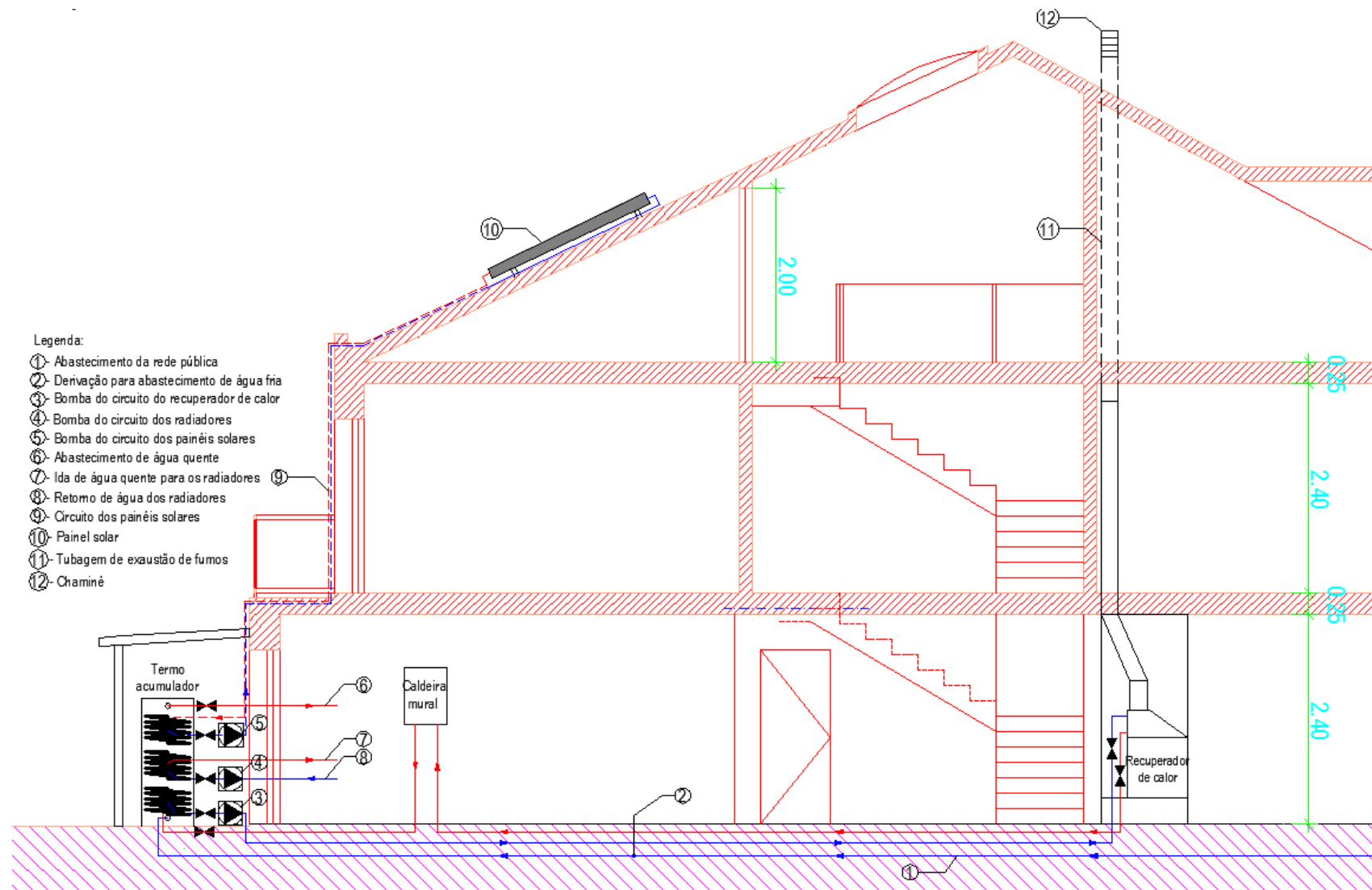


Figura 80 – Esquema de funcionamento do sistema de AQS e aquecimento central

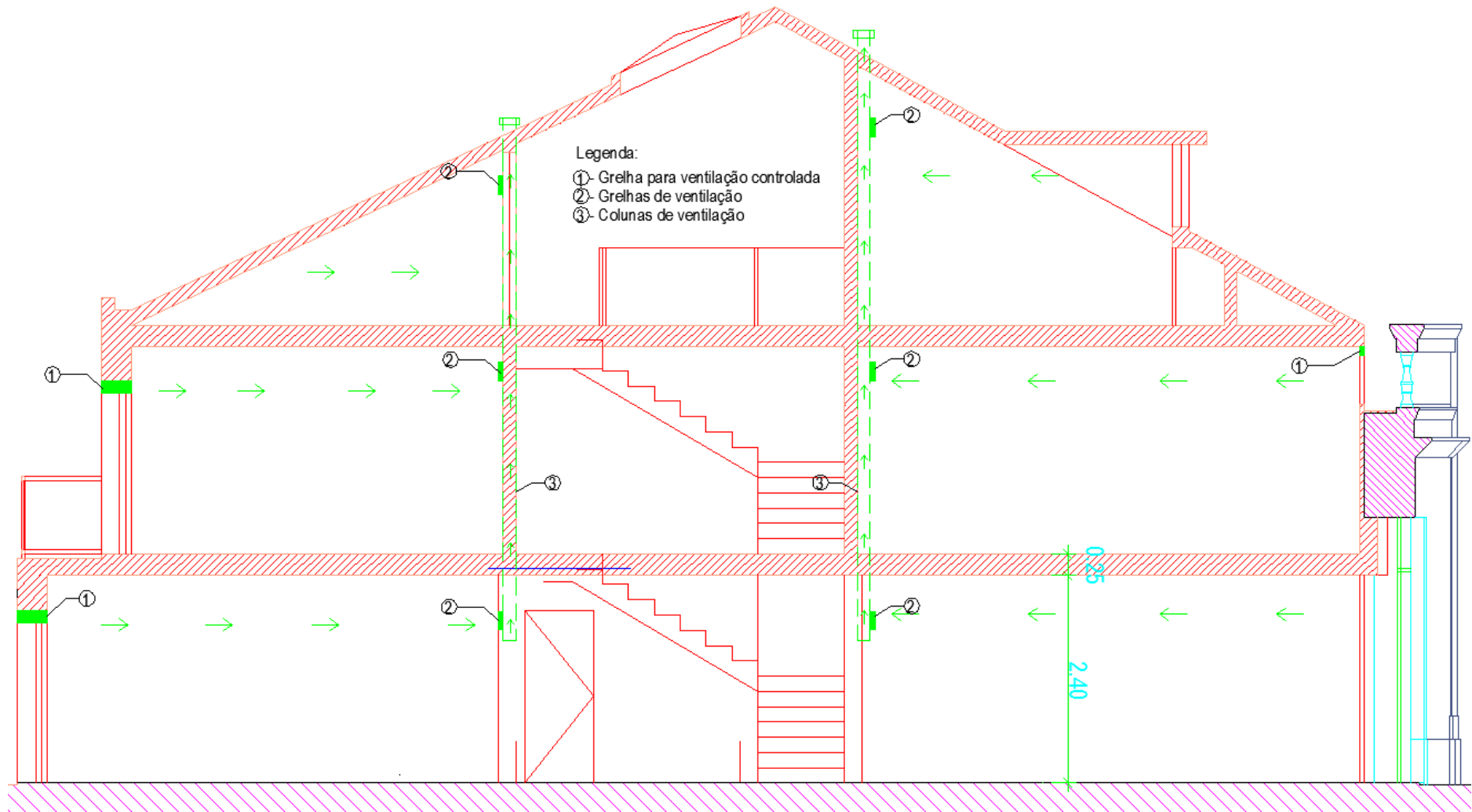


Figura 81 - Esquema de ventilação natural do edifício

4.6 Iluminação natural

A iluminação natural no interior dos edifícios é um fator que melhora a qualidade do ambiente de uma habitação, tendo também um papel importante na redução dos custos associados à iluminação. Este edifício, de um modo geral, apresenta uma arquitetura favorável à entrada de luz natural, no entanto, existem locais interiores onde a entrada de luz natural é impossível. Estes locais são as casas de banho do piso 1 e do rés-do-chão.

Optou-se pela colocação de tubos solares para iluminação natural destes locais, tal como ilustrado na Figura 82. A luz natural que incide nas cúpulas de captação (assinalado em 1) é transmitida para os tubos de reflexão (assinalado em 2). Nestes, é sucessivamente refletida até ao local do difusor (assinalado em 3). Na Figura 83 é possível observar o posicionamento das cúpulas de captação na cobertura.

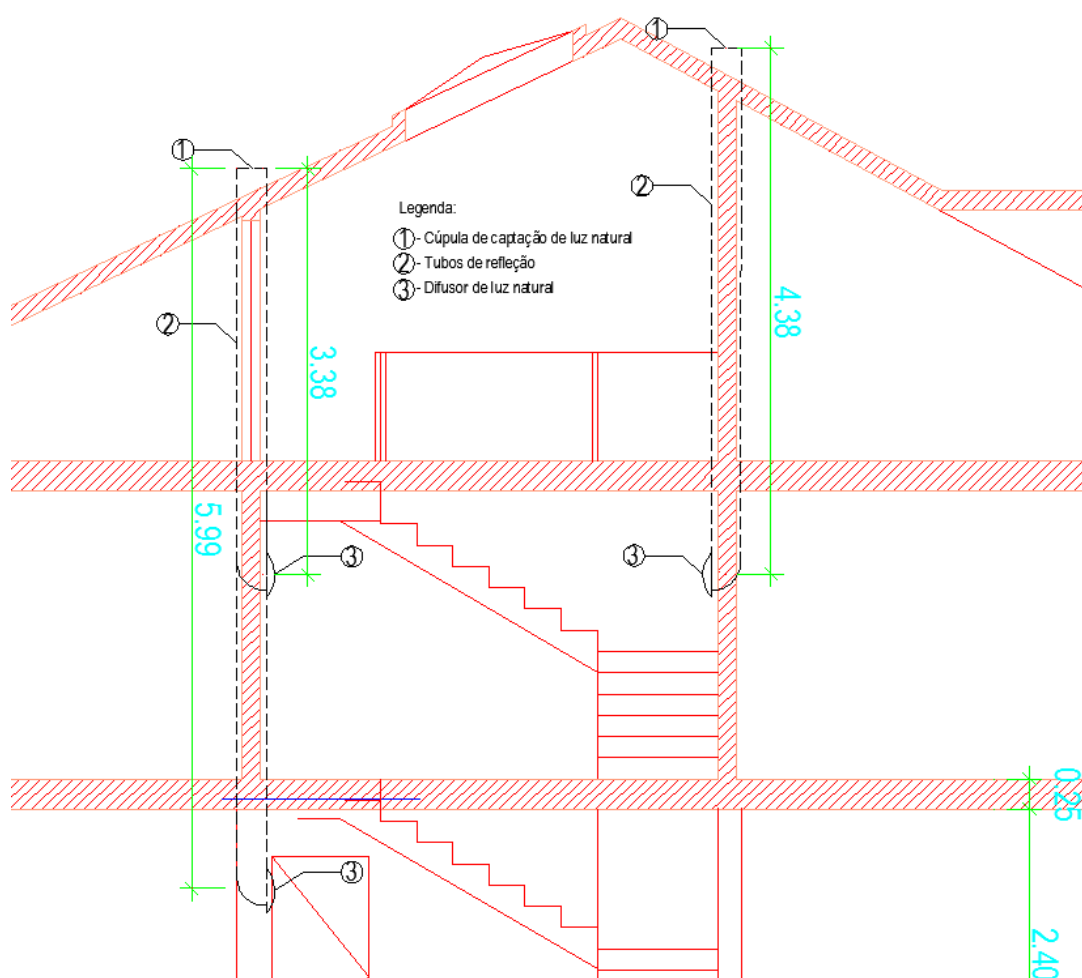


Figura 82 – Tubos solares nas casas de banho do piso 1 e do rés-do-chão

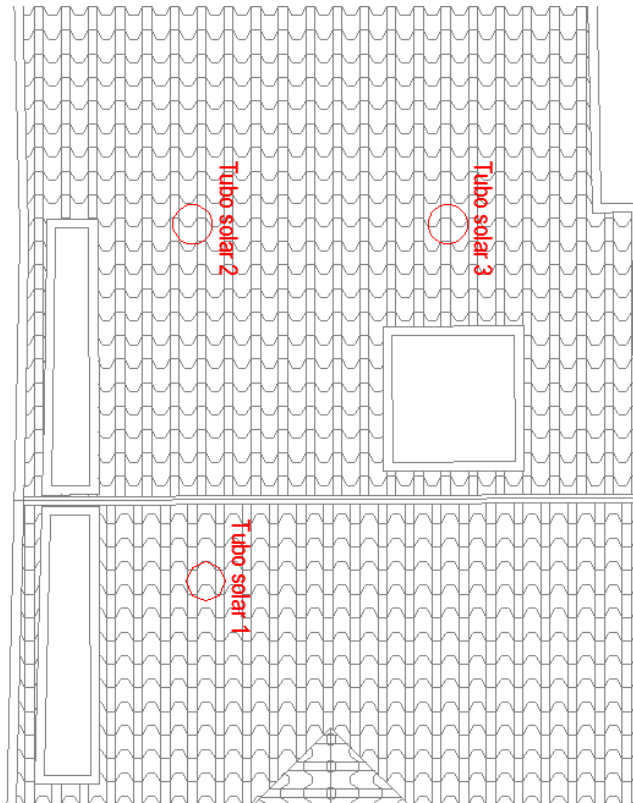


Figura 83 – Posicionamento dos tubos solares na cobertura

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

5.1 Introdução

O trabalho desenvolvido teve como principal objetivo melhorar o conforto e desempenho energético do edifício. Existiu uma elevada preocupação no isolamento de pontes térmicas, sendo que o principal resultado deste projeto foi o desenvolvimento de uma solução, (a nível estrutural e de isolamento), que permite-se isolar eficientemente pontes térmicas quando não existe acesso direto ao paramento exterior do edifício (caso de edifícios em banda).

A através da pormenorização detalhada dos elementos estruturais e das soluções construtivas pretendeu-se a ilustração do trabalho realizado tendo sempre em atenção a viabilidade da solução em termos do seu processo construtivo e da economia.

5.2 Conclusões

A pesquisa efetuada permitiu encontrar um elevado número de soluções e materiais para a reabilitação de edifícios, no entanto, as particularidades de cada construção exigem a aplicação de medidas complementares para adaptação dessas soluções à construção. Nesta dissertação foi feita uma abordagem de soluções construtivas e medidas complementares para um caso de estudo de uma moradia. Apesar de se tratar do estudo de um caso particular as medidas que aqui foram abordadas têm elevada abrangência a diversas outras soluções de reabilitação na construção.

No decorrer da pesquisa efetuada foi possível evidenciar um elevado número de empresas, a nível nacional, que se encontram vocacionadas para as questões da sustentabilidade e reabilitação dos edifícios, tanto ao nível dos materiais utilizados como das técnicas construtivas. Verificou-se uma elevada preocupação com o desempenho energético dos edifícios, o consumo eficiente de água e o conforto dos ocupantes. Estes fatores são uma mais-valia para a conservação do património edificado como para os novos edifícios construídos.

Sendo um estudo de caso, a elaboração deste projeto, proporcionou o desenvolvimento de competências a nível da análise e dimensionamento estrutural, utilizando programas de cálculo estrutural, neste caso o programa *FTOOL* para o cálculo de esforços, e o programa *DOCROS* para o dimensionamento de estruturas sujeitas à flexão simples. Estes programas mostraram-se ferramentas eficazes, versáteis e simples de utilizar quando se pretende uma análise estrutural com pórticos 2D, como foi a situação em estudo.

Comparando o dimensionamento estrutural efetuado nesta dissertação, no Capítulo 3, com o projeto estrutural fornecido, é possível concluir que, principalmente ao nível da viga de fundação e das vigas dos pórticos 1-1' e 2-2', ocorreu uma redução significativa da altura da secção, sem dessa forma se verificar a necessidade de colocação de maior quantidade de armadura. Por outro lado, o facto de se ter efetuado uma análise sísmica é uma mais-valia em termos de segurança e durabilidade do edifício durante o seu tempo de vida útil. A análise da

ação sísmica permitiu tirar conclusões relativamente à importância dos elementos de contraventamento nesta estrutura. Tratando-se de um edifício constituído por elementos verticais muito esbeltos foi necessário um adequado dimensionamento destes elementos para resistirem às ações horizontais, nomeadamente à ação mais gravosa, o sismo.

Em termos de isolamento térmico, é possível concluir que os objetivos desta dissertação foram alcançados. Foi possível o desenvolvimento de uma solução construtiva que proporcionasse a colocação de isolamento térmico em toda a envolvente exterior do edifício, de forma a minimizar as pontes térmicas. Por outro lado, prevê-se que esta medida tenha um impacto muito positivo no aumento da inércia térmica do edifício, tratando-se de um fator fundamental para o bom desempenho energético e conforto dos ocupantes.

A sustentabilidade deste projeto está retratada principalmente pela preocupação com o isolamento de pontes térmicas, o uso eficiente da água, a utilização de energias renováveis, e pelos materiais adotados (sempre que possível optou-se pela utilização de madeira como material nobre de construção e revestimento dos espaços interiores).

No que concerne à preocupação com os desperdícios de energia, esta está evidenciada pelas estratégias adotadas a nível das transferências de calor para o exterior. Traduzindo-se o evitar destas perdas numa mais-valia em termos económicos que constitui um dos pilares da sustentabilidade.

A água é um recurso imprescindível à vida, no entanto, apenas uma ínfima porção de toda a água existente no planeta apresenta condições de potabilidade pelo que se trata de um recurso que se prevê cada vez mais escasso. Atendendo a esta realidade faz todo o sentido ter em consideração o uso eficiente da água. Para tal, tentou-se poupar água potável onde ela pode ser contaminada e onde ela mais é consumida. Assim, com aproveitamento da água do poço para utilização nos autoclismos evita-se consumir e contaminar água potável da rede pública. A implementação desta medida consiste na utilização racional de um recurso natural (água potável) e na redução da despesa com o consumo de água no edifício.

As exigências de conforto e o desenvolvimento tecnológico proporcionaram um aumento da qualidade de vida da população, todavia, esta evolução acarreta consequências ao nível dos impactos sobre os recursos do planeta. No projeto de uma moradia esse aspeto tem que ser considerado, podendo seguir-se várias estratégias para satisfazer as necessidades dos ocupantes sem descorar as preocupações com a sustentabilidade na construção. Neste trabalho existiu a preocupação da aplicação de sistemas que fizessem uso de fontes de energia renováveis. O recurso ao sol como fonte de energia para AQS e iluminação de espaços interiores, bem como a utilização da biomassa, são evidências da preocupação com a sustentabilidade.

Fazendo um balanço do trabalho realizado pode-se referir que, de um modo geral, foram alcançados os objetivos propostos, todavia, devido à escassez de tempo foi impossível a realização de uma avaliação do comportamento termo energético do edifício. Para esse fim, a utilização de um programa de cálculo seria uma solução possível, permitindo a obtenção de uma estimativa dos consumos energéticos, bem como a classificação do edifício ao nível da sua eficiência energética. Esta medida permitiria fazer uma avaliação quantitativa dos benefícios das soluções implementados, o que a torna numa etapa fundamental a seguir em futuros desenvolvimentos.

5.3 Recomendações para futuros desenvolvimentos

Não se pode afirmar que um trabalho de dissertação é um trabalho acabado. Ele pode ser um ponto de partida para outras investigações. Este projeto pode ser um ponto de partida para futuros desenvolvimentos, tais como:

- Submeter este projeto à certificação energética para avaliar os benefícios das estratégias analisadas nesta dissertação;
- Análise da viabilidade de soluções de domótica nesta moradia;
- Estudo da viabilidade da reabilitação estrutural em madeira ou perfis metálicos de aço leve e sua comparação, com a solução em betão armado;
- Verificar a sustentabilidade do edifício com ferramentas de cálculo, tais como o SBTool.

6. REFERÊNCIAS

- [1] CIB. (1999), Agenda 21 on sustainable construction, Rotterdam. Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: http://www.cibworld.nl/site/programme/priority_themes.html
- [2] Isolani, P., et al., *EnerBuilding - Eficiência energética nos edifícios residenciais*, Lisboa: Deco, 2008.
- [3] Direção Geral de Geologia e Energia, *Reabilitação Energética da Envolvente de Edifícios Residenciais*, Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.
- [4] Paiva, J., Aguiar, J. e Pinho, A., *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional (Vol. II)*, Lisboa: INH-LNEC, 2006.
- [5] Ferreira, T.M.D., ‘‘Sobre a Utilização do Sistema de Isolamento Térmico pelo Interior em Edifícios Residenciais em Portugal - Análise do Desempenho Higrotérmico’’, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2006.
- [6] Henriques, F., *Reabilitação Térmica de Edifícios*, Alambi, 2007.
- [7] SEI- Sustainable Energy Ireland. (2009). *A Detailed Guide to Insulating Your Home*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: http://www.seai.ie/Publications/Your_Home_Publications_/Insulation
- [8] Regents of the University of Minnesota. (n.d.). *Efficient Windows Collaborative*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.efficientwindows.org/ftypes.php>
- [9] Ferreira, M., ‘‘A eficiência energética na reabilitação de edifícios’’, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa (UNL), Lisboa, 2009.
- [10] Santos, C.A.P. e Matias, L., *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*, Lisboa: LNEC, 2006.

[11] MacCann & Byrne. (n.d.). *Ecological Building Systems - Natural Insulation*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em:

<http://www.ecologicalbuildingsystems.com/products/natural-insulation/>

[12] Projeto Quercus. (2004). *Ecocasa-Energia e Clima*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: http://www.ecocasa.pt/construcao_content.php?id=28

[13] Sotecnisol Materiais. (n.d.). *Soluções de Impermeabilização, Isolamento e Drenagens*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em:

http://www.sotecnisol.pt/materiais/#mnu_394

[14] URSA Insulation. (2012). *Produtos/ Ursa Glasswool*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.ursa.es/es-es/productos/ursa-glasswool/Paginas/productos.aspx>

[15] SPACEREFLEX. (n.d.). *Produtos/ Isolamentos Termo-Acústicos*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.spacereflex.pt/>

[16] FOAMGLAS Building. (2010). *Ficha de informações sobre o produto*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.foamglas.pt/produtos/>

[17] Gil, L. (n.d.), *A Cortiça como Material de Construção - Manual Técnico*. (APCOR - Associação Portuguesa de Cortiça), Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.apcor.pt/artigo/publicacoes-APCOR.htm>

[18] Valero P. (2011). *EcoHabitar - Materiales: Aislamiento*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.ecohabitar.org/aislamientos-e-impermeabilizacion-convenientes/>

[19] Hock GmbH & Co. (n.d.). *Branded Insulation Thermo-Hemp®*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.thermo-hanf.de/2/products/insulation-material/thermo-hemp/thermo-hanf.html>

[20] ARGEX - Argila Expandida. (2013). *Aplicações e Documentos*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.argex.pt/#>

[21] ARTEBEL Soluções construtivas em betão. (2009). *Blocos térmicos/ Bloco termoacústico*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.artebel.pt/>

[22] Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia, *Eficiência Energética nos Edifícios*, Lisboa: Ogilvy & Mather Portugal, 2002.

[23] Tirone L. (2010). *Construção sustentável: soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã*. Lisboa: Congresso LiderA 2010 - Centro de Congressos, IST, Consultado 23 de Julho de 2013, Disponível em:

http://www.lidera.info/resources/11CongressoLiderA2010_ConstrucaoSustentavel_LiviaTirone.pdf

[24] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei nº 80/2006, 4 de Abril de 2006.

[25] Solar Project – Soluções energéticas. (2011). *Soluções: Solar térmica, Solar fotovoltaica e Iluminação*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: http://www.solarproject.pt/?page_id=16

[26] ENAT-Energias naturais. (2013). *Produtos: Biomassa e Produção de eletricidade*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.enat.pt/pt/produtos/>

[27] Mendes, J. F., et al., *Portugal 2020 e a integração de energias renováveis em edifícios*, Lisboa: LNEG, 2012.

[28] Simões, T., Estanqueiro, A., *O Projeto T. Urban – micro-turbinas eólicas de alta eficiência e baixo custo para ambientes urbanos e construídos*, LNEG, 2008.

[29] Solatube. (n.d.). *Sistema de iluminação natural - Catálogo técnico*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.solatube.pt/o-que-e-o-solatube>

[30] Almeida, M.C., Vieira, P., e Ribeiro, R., *Uso eficiente da água no sector urbano - Guia Técnico N.º.8*, IRAR, INAG e LNEC. Lisboa, 2006.

[31] ANQIP - Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais. (2013). *Catálogo de produtos certificados*, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.anqip.pt/index.php/pt/home>

[32] Martha, L. F., *FTOOL Um Programa Gráfico-Interativo para Ensino de Comportamento de Estruturas - Versão educacional 3.00*, 2012, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftool>

- [33] Ribeiro, A. F., Cunha, V. M. C. F., Barros, J. A. O. e Antunes, J. A. B. (2003), Modelo de secção para dimensionamento à flexão de estruturas de betão: formulação e manual do programa DOCROS, Universidade do Minho, Consultado em 23 de Julho de 2013, Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/13003>
- [34] Ministério do Equipamento Social - Secretaria de Estado da Habitação e Urbanismo, Decreto-Lei n.º 650/75, Novembro de 1975.
- [35] Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, NP EN 1992-1-1, Março de 2010.
- [36] *Faprel – Pavimentos aligeirados de vigotas prefabricadas de betão pré-esforçado*, Documento de homologação, LNEC, 1995.
- [37] Preceram – Industrias de construção. (2013). *Ficha técnica Tijolo Tradicional*, Consultado em 23 Julho de 2013, Disponível em: http://www.preceram.pt/fichas_tecnicas.php
- [38] Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-1: Acções gerais, Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecarga em edifícios, NP EN 1991-1-1, Dezembro de 2009.
- [39] Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas, NP EN 1990, Dezembro de 2009.
- [40] Reynaers Aluminium. (2012). *Sistema Ventalis - Informação técnica*, Consultado em 14 de Dezembro de 2013, Disponível em: <http://www.reynaers.pt/pt-PT/products/ventalis>
- [41] Brazão Farinha, J. S. e Correia dos Reis, A., *Tabelas técnicas*, Setúbal: P.O.B., 1993.
- [42] Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios, NP EN 1998-1, Março 2010.

ANEXOS

INDICE DE ANEXOS

Anexo I – Dimensionamento das lajes.....	Pág. i
Anexo II – Quantificação da ação sísmica.....	Pág. vi
Anexo III – Quantificação de ações.....	Pág. xxiii
Anexo IV – Envolventes de esforços.....	Pág. xxvi
Anexo V – Gráficos relação momento/curvatura para a viga de piso 1.....	Pág. 1
Anexo VI – Disposições construtivas nas vigas.....	Pág. liii
Anexo VII – Dimensionamentos ao esforço transverso.....	Pág. liv
Anexo VIII – Dimensionamento da armadura vertical das paredes.....	Pág. lxix
Anexo IX – Resultados do dimensionamento estrutural.....	Pág. lxxi
Anexo X – Sistema de aproveitamento de água do poço.....	Pág. lxxxvi
Anexo XI – Sistema de AQS e aquecimento central.....	Pág. lxxxix

ANEXO I – DIMENSIONAMENTO DAS LAJES

Neste anexo pretende-se descrever o processo de cálculo inerente a criação da folha de cálculo para o dimensionamento das lajes de vigotas pré-esforçadas.

a) Quantificação das ações da laje de piso 2

Dimensões [m]		Ações [kN/m ²]		Peso próprio da laje [kN/m ²] Tabelas FAPREL [36]	
h	0.25	g _k	2	PP mínimo	3.2
L	6.4	q _k	3	PP máximo	3.82
				Estimativa	3.51

b) Cálculo do esforço actante na laje

O esforço actante foi calculado pela equação (1), considerou-se como ações permanentes (g_k) a estimativa do peso próprio da laje que neste caso é igual a 3,51 kN/m² e o peso próprio das paredes divisórias e revestimentos que é igual a 2 kN/m². A ação variável (q_k) tem um valor de 3 kN/m².

$$P_{ed} = 1,35 \times g_k + 1,5 \times q_k \quad (1)$$

c) Determinação do momento fletor e esforço transversal actante na laje

O mecanismo de funcionamento estrutural da laje de vigotas pré-esforçadas consiste no apoio simples nas vigas dos respetivos pisos pelo que os momentos fletores e esforços transversos se calculam através das equações (2) e (3).

$$M_{ed} = \frac{P_{ed} \times L^2}{8} \quad (2)$$

$$V_{ed} = \frac{P_{ed} \times L}{2} \quad (3)$$

A escolha da laje é feita pela comparação dos valores de momento fletores e esforço transverso atuantes com os momentos fletores e esforço transversos resistentes das lajes do catálogo de homologação [36].

d) Verificação em estado limite de utilização

- Fendilhação

Determinou-se o esforço atuante na combinação frequente pela equação (4), (EC0 - Cláusula 6.5.3 (2)) [39].

$$P_{ed_{freq}} = g_k + \Psi_1 \times q_k \quad (4)$$

Em que, $\Psi_1=0,5$, para edifícios de habitação, (EC0 - Quadro A1.1) [39].

Determinou-se o momento fletor atuante na combinação frequente pela equação (5).

$$M_{ed_{freq}} = \frac{P_{ed_{freq}} \times L^2}{8} \quad (5)$$

Por fim, efetua-se a comparação entre o valor do momento fletor atuante para a combinação frequente ($M_{ed_{freq}}$) com o momento fletor característico da tensão de rotura do betão à tração simples (M_{fctk}) [36].

- Deformação

Determinou-se o esforço actante na combinação quase permanente pela equação (6).

$$P_{ed_{qp}} = g_k + 0,3 \times q_k \quad (6)$$

Em que, $\Psi_2=0,3$, para edifícios de habitação, (EC0 - Quadro A1.1) [39].

Determinou-se a flecha instantânea pela equação (7) [41].

$$f_{inst} = \frac{p_{edqp} \times l^4}{384 \times EI} \quad (7)$$

Determinou-se a flecha a longo prazo pela equação (8) [36].

$$f_{inf} = f_{inst} + \left(1 + \frac{g_k}{g_k + 0,3 \times q_k}\right) \times \varphi \quad (8)$$

Em que $\varphi = 2$, segundo do documento de homologação da laje [36].

Por último compara-se o valor da flecha a longo prazo com a flecha limite $L/250$ (EC2 – Cláusulas 7.4.1 (4)) [35].

As lajes selecionadas cumprem os de Estados Limite Últimos e Estados Limites de Utilização, à exceção da laje de rés-do-chão, neste caso é necessário considerar maciçamente em betão armado, de 0,25 m em cada um dos extremos da laje, para que se cumpram os requisitos de esforço transversal resistente.

Resultado do dimensionamento da laje de rés-do-chão:

Dimensões [m]			Ações [kN/m ²]		PP da laje [kN/m ²]	
h	0.2		gk	2	PP mínimo	2.74
L	5.4		qk	2	PP máximo	2.75
					Estimatva	2.75

Laje escolhida			V6-40x16-20		Verificação ULS				Fendilhação			Deformação				Verificação				
Ped	Med	Ved	Mrd	Vrd	Mfctk	EI	pp laje	Ped	Med	Ved	Mrd	Vrd	Ped freq	Med freq	Verificação	Ped q-p	Flecha inst	Flecha inf	L/250	L/250
9.41	34.28	25.40	37.80	22.20	21.00	8582.00	2.75	9.41	34.31	25.41	OK	KO	5.75	20.96	OK	5.35	6.90	19.16	21.60	OK

Resultado do dimensionamento da laje de piso 1 e 2:

Dimensões [m]			Ações [kN/m ²]		PP da laje [kN/m ²]	
h	0.25		gk	2	PP mínimo	3.2
L	6.4		qk	3	PP máximo	3.82
					Estimatva	3.51

Laje escolhida			V6 - 24 x 20-25		Verificação ULS				Fendilhação			Deformação				Verificação				
Ped	Med	Ved	Mrd	Vrd	Mfctk	EI	pp laje	Ped	Med	Ved	Mrd	Vrd	Ped freq	Med freq	Verificação	Ped q-p	Flecha inst	Flecha inf	L/250	L/250
11.9	61.1	38.2	71.1	41.4	42.0	20708.0	3.8	12.4	63.3	39.5	OK	OK	7.3	37.5	OK	6.7	7.1	19.4	25.6	OK

Resultado do dimensionamento da laje de cobertura:

Dimensões [m]			Ações [kN/m ²]		PP da laje [kN/m ²]	
h	0.2		gk	0.5	PP minimo	2.74
L	6.4		qk	0.4	PP maximo	2.75
					Estimatva	2.745

Laje escolhida			V6-40x16-20					Verificação ULS					Fendilhação			Defrormação				Verificação
Ped	Med	Ved	Mrd	Vrd	Mfctk	EI	pp laje	Ped	Med	Ved	Mrd	Vrd	Ped freq	Med freq	Verificação	Ped q-p	Flecha inst	Flecha inf	L/250	L/250
5.0	25.5	15.9	37.8	22.2	21.0	8582.0	2.8	5.0	25.5	16.0	OK	OK	3.5	17.7	OK	3.4	8.6	25.3	25.6	OK

ANEXO II – QUANTIFICAÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA

Neste anexo pretende-se descrever as etapas para a quantificação da ação sísmica para o edifício em estudo.

a) Quantificação das forças de inércia

Recorrendo à equação (9), (EC8 – Cláusula 3.2.4. (2)) [42], é possível determinar as forças de inércia para o edifício em questão.

$$F_j = \sum G_{K_{i,j}} + \sum \psi_{E_i} \times Q_{K_i} \quad (9)$$

Em que, segundo a equação (10), (EC8 – Cláusula 4.2.4. (2)):

$$\psi_{E_i} = \psi \times \psi_{2,i} \quad (10)$$

Sendo que $\psi = 0,8$ e $\psi_{2,i} = 0,3$, valor para edifícios de habitação (EC0 - Quadro A1.1) [39].

Tendo em conta as equações (9) e (10) pode ser calculada a força de inércia por piso para o edifício, a abordagem seguida foi a consideração das ações sísmicas unicamente ao nível dos piso 1 e piso 2. Desta forma, na quantificação das forças de inércia do piso 2, consideram-se também as ações relativas à cobertura. Em relação às ações existentes no piso de rés-do-chão considerou-se que se dissipam para o solo.

Força de inércia relativa ao piso 1:

$F =$ [Parcela relativa à laje, revestimentos e paredes divisórias] + [parcela relativas às vigas dos pórticos 1-1', pórtico 2-2', pórtico 3-3', pórtico 4-4', pórtico 5-5' e pórtico 6-6'] + [parcela relativa à parede exterior do pórtico 1-1' e pórtico 2-2'] + [parcela relativa à parede

interior do pórtico 6-6'] + [parcela relativa à parede exterior do pórtico 3-3'] + [parcela relativa aos pilares] + $[\sum \psi_{E_i} \times Q_{K_i}]$

$$F_1 = 901,41 \text{ kN}$$

Força de inércia relativa ao piso 2 e cobertura:

$F =$ [Parcela relativa à laje, revestimentos e paredes divisórias do piso 2] + [Parcela relativa à laje e revestimentos da cobertura] + [parcela relativas às vigas do piso 2] + [parcela relativas às vigas da cobertura] + [parcela relativa à parede exterior do pórtico 1-1' e pórtico 2-2'] + [parcela relativa aos pilares] + $[\sum \psi_{E_i} \times Q_{K_i}]$.

$$F_2 = 1187,03 \text{ kN}$$

b) Cálculo da força sísmica total

A força sísmica total é calculada pela equação (11), (EC8 – Cláusula 4.3.3.2.2 (1)) [42].

$$F_b = S_d(T_1) \times m \times \lambda \quad (11)$$

Em que:

$S_d(T_1)$ - Ordenada do espectro de cálculo para o período T_1 ;

m- Massa total do edifício, acima da fundação ou acima do nível superior de uma cave rígida;

λ - Fator de correção cujo valor é igual a:

$$\lambda = \begin{cases} 0,85 & \text{se } T_1 \leq 2T_C \wedge n^\circ \text{ pisos} > 2 \\ 1,0 & \text{nos restantes casos} \end{cases}$$

Em primeiro lugar é necessário determinar a frequência de vibração do edifício para posteriormente se calcular o período (T_1), para o efeito utilizou-se o ‘‘Método dos Pórticos em Comboio’’ com o objetivo de determinar o valor de deslocamento horizontal ao nível dos pisos 1 e 2, tendo em conta a atuação das forças de inércia no mesmo. O cálculo dos deslocamentos foi realizado com o programa *FTOOL* [32].

➤ **Pórticos na direção y:**

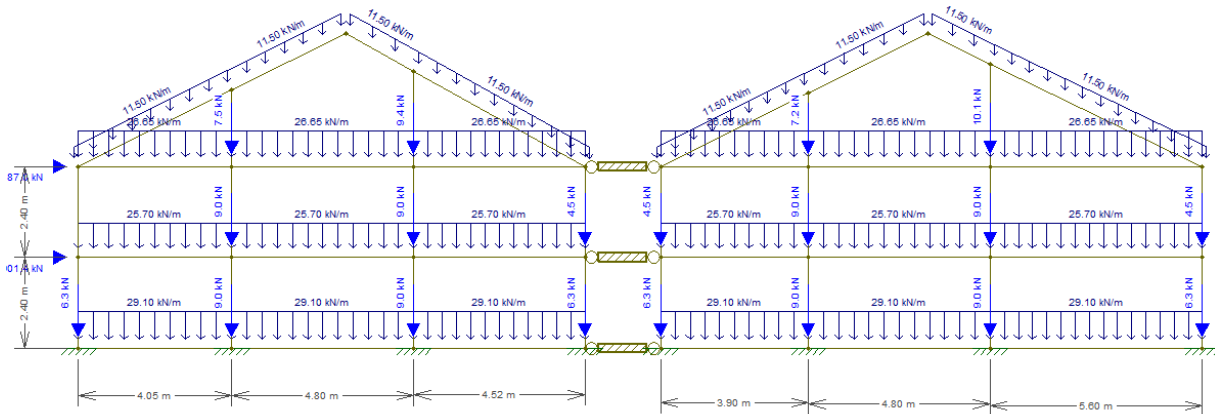


Figura 1 - Pórticos 1-1' e 2-2' pelo "Método dos Pórticos em Comboio"

Para que a transmissão dos esforços horizontais entre os dois pórticos seja feita de forma efetiva é necessário que as bielas tenham rigidez nula na ligação aos pórticos ($EI=0$) e a sua deformação axial seja muito elevada ($EA=\infty$), como se pode ver na Figura 1 para esse efeito utilizaram-se rótulas nos extremos das bielas, bem como uma barra rígida.

Para analisar o impacte das ações horizontais na estrutura, de uma forma mais simples, optou-se por considerar o modelo com apoios de encastramento no solo, e não molas como posteriormente se verificará que será a solução para simular o efeito do solo. Obtendo a deformada da estrutura (Figura 2) é possível a determinação dos deslocamentos horizontais ao nível dos pisos 1 e 2:

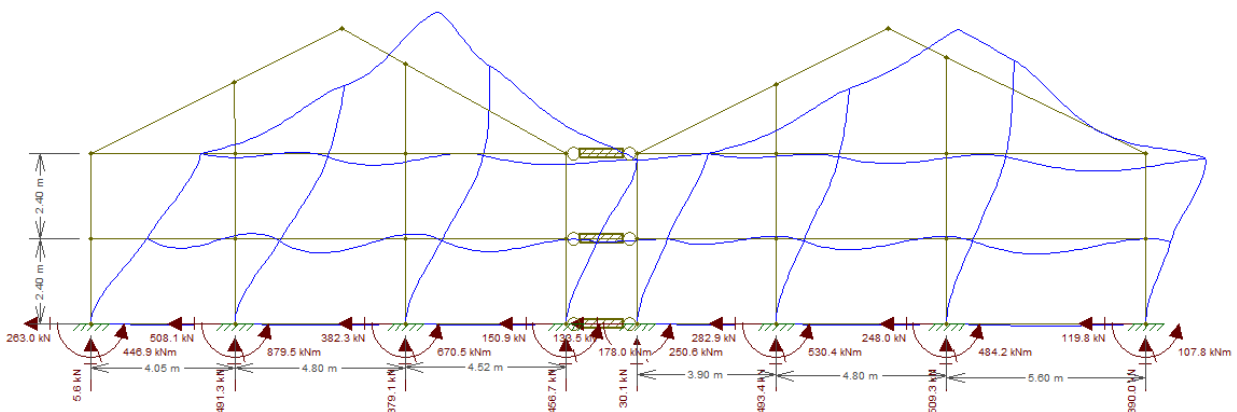


Figura 2 – Deformada da estrutura

O deslocamento horizontal ao nível do piso 1: $\delta_{x_1} = 1,91 \text{ mm}$

O deslocamento horizontal ao nível do piso 2: $\delta_{x_2} = 4,56 \text{ mm}$

Recorrendo à equação (12), é possível determinar a frequência de vibração do edifício.

$$f = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{9,81 \times \frac{\sum F_i \times d_i}{\sum F_i \times d_i^2}} \quad (12)$$

Sendo que:

F_i – Força de inércia por piso i (kN);

d_i – Deslocamento horizontal ao nível do piso i (m).

Quadro 1 - Cálculos intermédios para a determinação da frequência.

Piso	F_i (kN)	d_i (m)	$F_i \times d_i$	$F_i \times d_i^2$
1	901,4	0,00191	1,72	0,00329
2	1187,03	0,00456	5,41	0,0246
Somatório	-	-	7,13	0,0279

Ou seja, a frequência de vibração do edifício:

$$f = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{9,81 \times \frac{7,13}{0,0279}} \Leftrightarrow f = 7,96 \text{ Hz}$$

O período é igual a:

$$T = \frac{1}{f} \Leftrightarrow T = \frac{1}{7,96} \Leftrightarrow T_1 = 0,125 \text{ s}$$

- Definição da ação sísmica:

Em Portugal Continental são definidos dois tipos de ações sísmicas: “Sismo afastado” – Sismo de maior magnitude a uma maior distância focal – Ação Sísmica Tipo 1 (AS1) e o “Sismo próximo” – Sismo de magnitude moderada e pequena distância focal – Ação

Sísmica Tipo 2 (AS2), ver Figura 3.

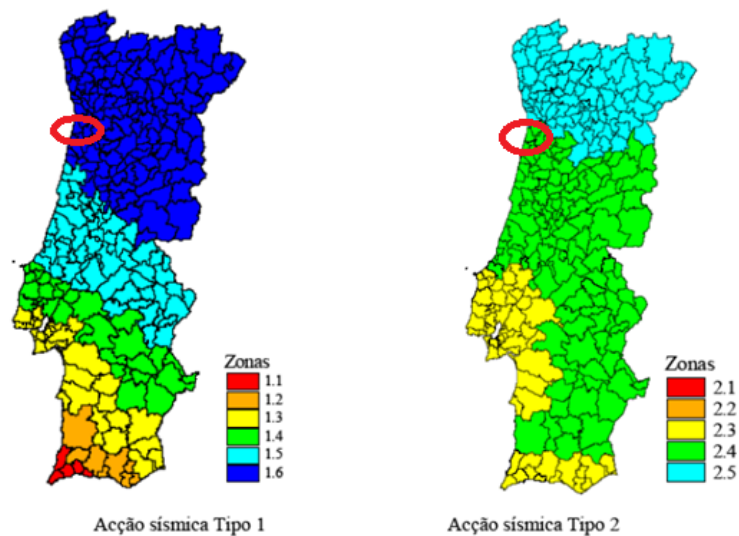


Figura 3 – Zonamento sísmico em Portugal continental (EC8 - NA.2.3 c)) [42]

A região de Ovar corresponde à zona 1.6, para a ação sísmica do tipo 1 e à zona 2.4 para a ação sísmica do tipo 2. Considera-se também que o terreno do local onde se encontra o edifício em estudo se trata de um solo silte-arenoso por aproximação considerou-se que de acordo com a Cláusula 3.1.2. (1), se trata de um solo do tipo B.

Sabendo a zona onde se situa o edifício e o tipo de terreno da fundação é possível obter os valores dos parâmetros de ação sísmica, Quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros da ação sísmica do Tipo I e II (EC8 - NA.2.3 c) e f)) [42]

	Ação sísmica tipo I	Ação sísmica tipo II
$S_{m\acute{a}x}$	1,35	1,35
T_B	0,1	0,1
T_C	0,6	0,25
T_D	2,0	2,0
a_{gr}	0,35	1,1

Sendo que:

T_B, T_C, T_D - Os limites dos ramos espectrais (s);

a_{gr} - A aceleração máxima de referência (m/s^2);

$S_{máx}$ - O coeficiente que é função do tipo de solo.

Ação sísmica do tipo I:

$$T_B < T_1 < T_C$$
$$0,1 < 0,125 < 0,6$$

Ou seja, verificando o intervalo de valores em que se insere o período (T_1), é possível obter a equação (13) para a determinação do espectro de cálculo (EC8 – Cláusula 3.2.2.5 (4)) [42].

$$S_d(T) = a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \quad (13)$$

Sendo que:

a_g - Valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno do tipo A ($a_g = \gamma_I \times a_{gr}$);

S – Coeficiente de solo;

q - Coeficiente de comportamento, segundo EC8 – Cláusula 3.2.2.5 (7);

Sabendo que para edifícios residenciais o coeficiente de importância (γ_I) é igual a 1, o valor de cálculo da aceleração à superfície pode ser determinado pela equação (14), (EC8 – Cláusula 4.2.5 (5)) [42].

$$a_g = \gamma_I \times a_{gr} \quad (14)$$

$$a_g = 1 \times 0,35 \Leftrightarrow a_g = 0,35 \text{ m/s}^2$$

O valor do coeficiente do solo pode ser obtido tendo em conta o EC8 - Cláusula NA – 3.2.2.2 (2) P, em vigor em Portugal:

$$a_g \leq 1 \text{ m/s}^2 \Rightarrow S = S_{\text{máx}} \Rightarrow S = 1,35$$

Ou seja:

$$S_d(T_1 = 0,125 \text{ s}) = 0,35 \times 1,35 \times \frac{2,5}{1,5}$$

$$S_d(T_1 = 0,125 \text{ s}) = 0,78 \text{ m/s}^2$$

Ação sísmica do tipo II

$$T_B < T_1 < T_C$$

$$0,1 < 0,125 < 0,25$$

Ou seja, verificando o intervalo de valores em que se insere o período (T_1), é possível obter a equação (13) para a determinação do espectro de cálculo (EC8 – Cláusula 3.2.2.5 (4)) [42].

Sabendo que para edifícios residenciais o coeficiente de importância (γ_I) é igual a 1, o valor de cálculo da aceleração à superfície pode ser determinado pela equação (14), (EC8 – Cláusula 4.2.5 (5)) [42].

$$a_g = 1 \times 1,1 \Leftrightarrow a_g = 1,1 \text{ m/s}^2$$

O valor do coeficiente do solo (equação (15)) pode ser obtido tendo em conta o EC8 - Cláusula NA – 3.2.2.2 (2) P, em vigor em Portugal:

$$1 \text{ m/s}^2 < a_g < 4 \text{ m/s}^2$$

$$S = S_{\text{máx}} - \frac{S_{\text{máx}} - 1}{3} \times (a_g - 1) \quad (15)$$

$$S = 1,35 - \frac{1,35 - 1}{3} \times (1,1 - 1)$$

$$S = 1,33$$

Ou seja:

$$S_d(T_1 = 0,125 \text{ s}) = 1,1 \times 1,33 \times \frac{2,5}{1,5}$$

$$S_d(T_1 = 0,125 \text{ s}) = 2,43 \text{ m/s}^2$$

Considerando que a ação sísmica mais desfavorável é ação sísmica do tipo II, pode ser determinada a força sísmica total recorrendo à equação (11).

$$F_b = S_d(T_1) \times m \times \lambda$$

$$F_b = 2,43 \times \frac{901,41 + 1187,03}{9,81} \times 0,85$$

$$F_b = 439,72 \text{ kN}$$

c) Cálculo do centro de gravidade e centro de rigidez da estrutura

De seguida são apresentadas as etapas de cálculo para a obtenção do centro de gravidade e centro de rigidez da estrutura, para os pórticos na direção x e y.

- Cálculo do centro de rigidez

Por observação das reações horizontais obtidas nos pórticos 1-1' e pórtico 2-2' (Figura 2), conclui-se que o pórtico 1-1' tem uma resultante de reação horizontal nos apoios de 1304,3 kN e o pórtico 2-2' tem uma resultante de reação horizontal nos apoios de 784,2 kN, ver Figura 4.

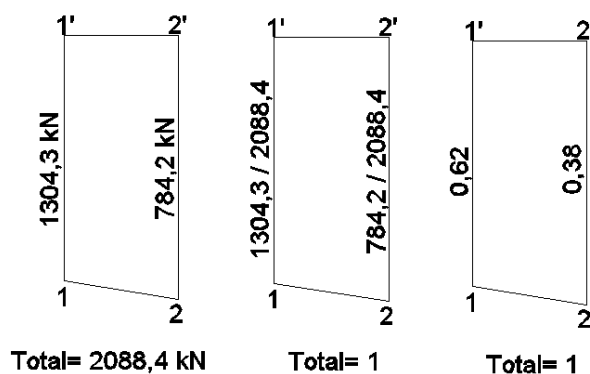


Figura 4 – Reações horizontais nos pórticos da direção y

Por observação da Figura 4 conclui-se que o pórtico 1-1' apresenta maior rigidez que o pórtico 2-2', é possível agora determinar o centro de rigidez da estrutura:

$$C_R = \frac{0,62 \times 0 + 0,38 \times 6,6}{1} \Leftrightarrow C_R = 2,51 \text{ m}$$

- Cálculo do centro de gravidade:

Por simplificação calculou-se o centro de gravidade (x_G) apenas para o piso 1, obteve-se o valor de 3,6 m medido a partir do pórtico 1-1'.

Pórticos na direção x:

- Cálculo do centro de rigidez

Por observação das reações horizontais obtidas nos pórticos 3-3', pórtico 4-4', pórtico 5-5' e pórtico 6-6' (Figura 8) conclui-se que a resultante das reações horizontais para cada pórtico é a que se apresenta na Figura 5.

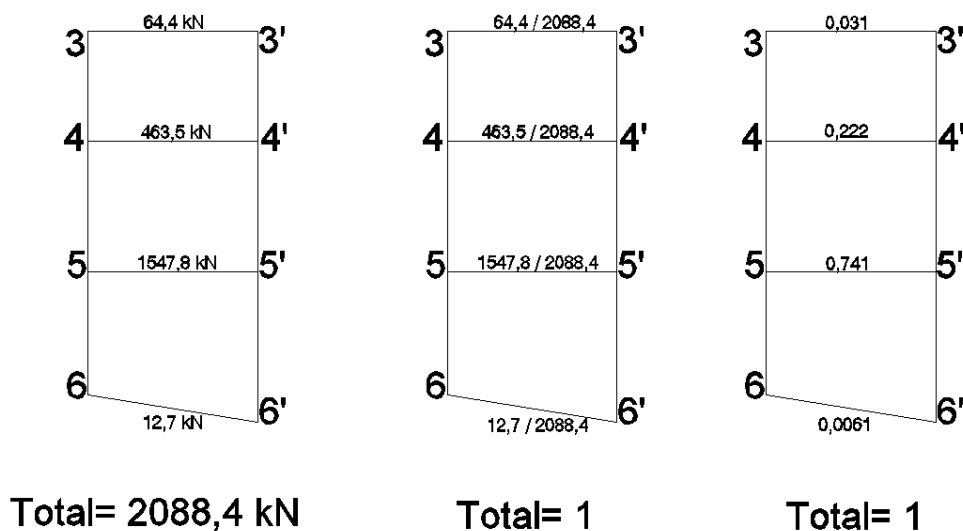


Figura 5 - Reações horizontais nos pórticos da direção x

Por observação da Figura 5 conclui-se que o pórtico 5-5' e pórticos 4-4' apresentam maior rigidez, que é devida essencialmente à existência dos elementos de contraventamento. É possível agora determinar o centro de rigidez da estrutura, em relação ao pórtico 3-3'.

$$C_R = \frac{0,031 \times 0 + 0,222 \times 3,9 + 0,741 \times 8,7 + 0,0061 \times 13,76}{1}$$

$$C_R = 7,4 \text{ m}$$

- Cálculo do centro de gravidade

Por simplificação calculou-se o centro de gravidade (y_G) apenas para o piso 1, obteve-se o valor de 7,1 m medido a partir do pórtico 3-3'.

- Representação da posição do centro de gravidade (CG) e centro de rigidez (CR)

Na Figura 6 encontra-se representada a posição do centro de gravidade e do centro de rigidez da estrutura. O ponto de referência a partir do qual foram determinadas as posições de CG e CR é o canto superior esquerdo, ponto de interseção do pórtico 1-1' e pórtico 3-3'.

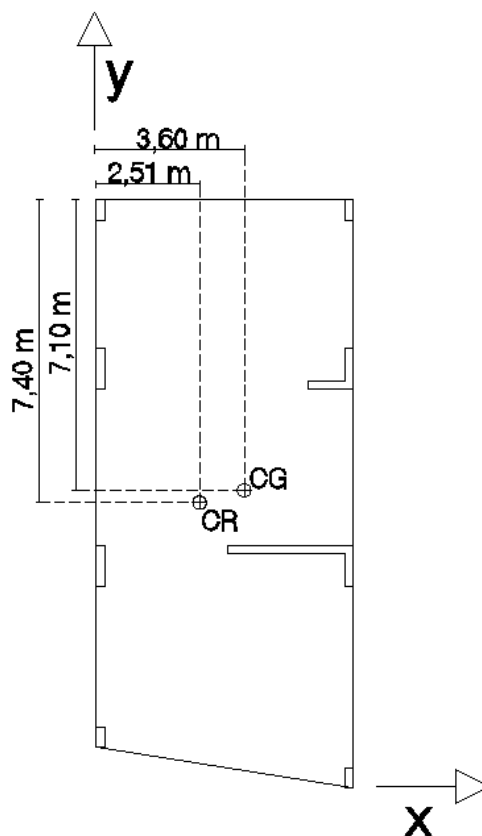


Figura 6 – Representação do centro de rigidez e centro de gravidade

d) Distribuição da ação horizontal por pisos

Obtida a força sísmica total é agora necessário distribuir esta força por pisos, para isso recorre-se à equação (16) (EC8 – Cláusula 4.3.3.2.3 (2) P) [42].

$$F_i = F_b \times \frac{s_i \times m_i}{\sum s_j \times m_j} \quad (16)$$

Sendo que:

F_i - Força horizontal atuante no piso i ;

F_b - Força de corte sísmica na base obtida pela equação (11);

s_i e s_j - Deslocamento das massas m_i e m_j no modo de vibração fundamental;

No Quadro 3 encontram-se os cálculos intermédios para a obtenção da força sísmica por piso.

Quadro 3 – Força sísmica por piso

Piso	s_i (m)	m_i (kN)	F_b (kN)	$s_i \times m_i$	F_i (kN)
1	0,00191	901,41	439,72	1,72	106,08
2	0,00456	1187,03	439,72	5,41	333,65
Somatório	-	-	-	7,13	-

e) Distribuição das ações horizontais por pórtico

No Quadro 4 apresentam-se os cálculos intermédios para a distribuição da força horizontal por pórtico, como se estão a analisar os pórticos na direção y a distância ao CR e CG é medida na direção x .

Quadro 4 – Força sísmica por pórtico

Pórtico	I_i	d_i	$F_i \times I_i \times \left(1 + \frac{e_1 \times d_i}{\sum I_i \times d_i^2}\right)$	$F_i \times I_i \times \left(1 + \frac{e_2 \times d_i}{\sum I_i \times d_i^2}\right)$
1-1'	0,62	-2,51	$F_i \times 0,4901$	$F_i \times 0,4175$
2-2'	0,38	4,09	$F_i \times 0,5097$	$F_i \times 0,5823$

$$\sum I_i \times d_i^2 = 0,63 \times (-2,44)^2 + 0,37 \times 4,16^2 = 10,3$$

Sendo que:

d_i - A distância do pórtico i ao centro de rigidez (m);

F_i - Força horizontal atuante no piso i ;

e_1 e e_2 - As excentricidades devidas ao efeito acidental de torção;

Os efeitos acidentais de torção são calculados pela equação (17) (EC8 – Cláusula 4.3.2 (1) P) [42].

$$e_{ai} = \pm 0,05 \times L_i \quad (17)$$

Sendo que:

e_{ai} - É a excentricidade acidental da massa do piso i em relação à sua localização nominal, aplicada na mesma direção em todos os pisos;

L_i - Dimensão do piso na direção perpendicular à direção da ação sísmica.

Ou seja,

$$e_1 = (3,60 - 2,51) - 0,05 \times 4,8 \Leftrightarrow e_1 = 0,86 \text{ m}$$

$$e_2 = (3,6 - 2,51) + 0,05 \times 4,8 \Leftrightarrow e_2 = 1,34 \text{ m}$$

Ou seja, o resultado final da quantificação da ação sísmica para os pórticos na direção y é o que se apresenta de seguida:

- Pórtico 1-1'

Piso1:

$$F_1 = 106,08 \times 0,4901 \Leftrightarrow F_1 = 51,98 \text{ kN}$$

Piso2:

$$F_2 = 333,65 \times 0,4901 \Leftrightarrow F_2 = 163,52 \text{ kN}$$

- Pórtico 2-2'

Piso1:

$$F_1 = 106,08 \times 0,5823 \Leftrightarrow F_1 = 61,77 \text{ kN}$$

Piso2:

$$F_2 = 333,65 \times 0,5823 \Leftrightarrow F_2 = 194,28 \text{ kN}$$

➤ **Pórticos na direção x**

Optou-se por condensar as ações do piso da cobertura no piso 2, na Figura 7 apresentam-se os pórticos encadeados pelo “Método dos Pórticos em Comboio”, na Figura 8 apresenta-se a respetiva deformada da estrutura.

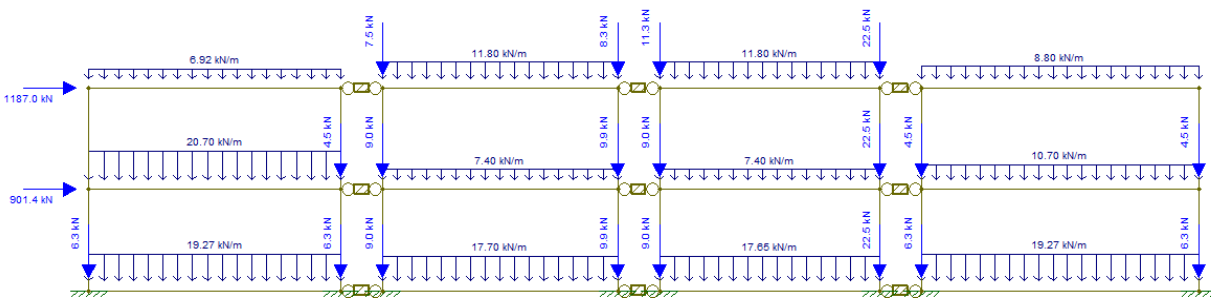


Figura 7 – Pórticos na direção x encadeados pelo “Método dos Pórticos em Comboio”

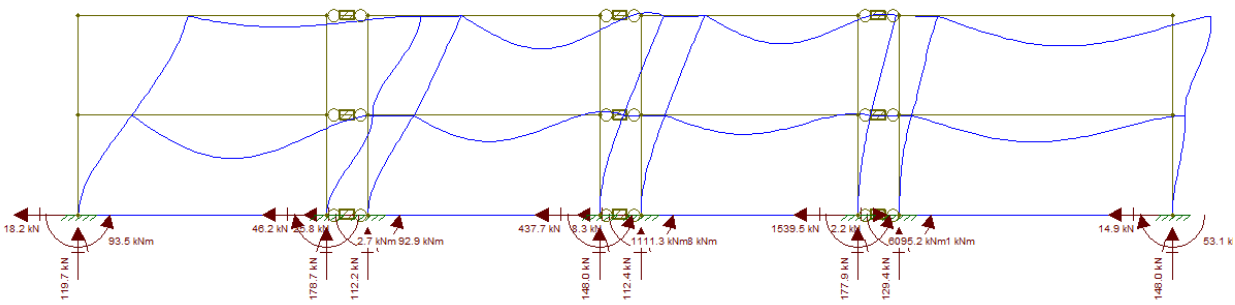


Figura 8 – Deformada da estrutura

O deslocamento horizontal ao nível do piso 1: $\delta_{x_1} = 2,35$ mm

O deslocamento horizontal ao nível do piso 2: $\delta_{x_2} = 7,15$ mm

a) Cálculo da força sísmica total

Recorrendo à equação (12), é possível determinar a frequência de vibração do edifício, no Quadro 5 apresentam-se os cálculos intermédios para esta operação.

Quadro 5 – Cálculos intermédios para determinação da frequência

Piso	F_i (kN)	d_i (m)	$F_i \times d_i$	$F_i \times d_i^2$
1	901,41	0,00235	2,11	0,00498
2	1187,03	0,00715	8,49	0,06080
Somatório	-	-	10,60	0,06578

Ou seja a frequência de vibração do edifício:

$$f = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{9,81 \times \frac{10,60}{0,06578}} \Leftrightarrow f = 6,33 \text{ Hz}$$

O período é igual a:

$$T = \frac{1}{f} \Leftrightarrow T = \frac{1}{6,33} \Leftrightarrow T_1 = 0,16 \text{ s}$$

- Definição da ação sísmica:

Visto que se trata da mesma região, o espectro da ação sísmica do tipo I e II é igual para ambas as direções.

Ação sísmica do tipo I

$$S_d(T_1 = 0,16 \text{ s}) = 0,78 \text{ m/s}^2$$

Ação sísmica do tipo II

$$S_d(T_1 = 0,16 \text{ s}) = 2,43 \text{ m/s}^2$$

Considerando que a ação sísmica mais desfavorável é ação sísmica do tipo II, pode ser determinada a força sísmica total recorrendo à equação (11).

$$F_b = S_d(T_1) \times m \times \lambda$$

$$F_b = 2,43 \times \frac{901,41 + 1187,03}{9,81} \times 0,85$$

$$F_b = 439,72 \text{ kN}$$

b) Distribuição da ação horizontal por pisos

Obtida a força sísmica total é agora necessário distribuir esta força por pisos, para isso recorre-se à equação (16), no Quadro 6 apresentam-se os cálculos intermédios para a determinação da ação horizontal por piso.

Quadro 6 – Força sísmica por piso

Piso	s_i (m)	m_i (kN)	F_b (kN)	$s_i \times m_i$	F_i (kN)
1	0,00235	901,41	439,72	2,11	87,52
2	0,00715	1187,03	439,72	8,49	352,19
Somatório	-	-	-	10,06	-

c) Distribuição das ações horizontais por pórtico

No Quadro 7 apresentam-se os cálculos intermédios para a distribuição da força horizontal por pórtico, como se estão a analisar os pórticos na direção x a distância ao CR e CG é medida na direção y.

Quadro 7 - Força sísmica por pórtico

Pórtico	I_i	d_i	$F_i \times I_i \times \left(1 + \frac{e_1 \times d_i}{\sum I_i \times d_i^2}\right)$	$F_i \times I_i \times \left(1 + \frac{e_2 \times d_i}{\sum I_i \times d_i^2}\right)$
3-3'	0,031	-7,40	$F_i \times 0,02867$	$F_i \times 0,01004$

4-4'	0,222	-3,50	$F_i \times 0,21411$	$F_i \times 0,15101$
5-5'	0,741	1,30	$F_i \times 0,75078$	$F_i \times 0,82902$
6-6'	0,0061	6,36	$F_i \times 0,006494$	$F_i \times 0,00965$

$$\sum I_i \times d_i^2 = 0,031 \times (-7,40)^2 + 0,222 \times (-3,50)^2 + 0,741 \times 1,30^2 + 0,0061 \times 6,36^2$$

$$= 5,91$$

Os efeitos acidentais de torção são calculados pela equação (17), ou seja:

$$e_1 = (7,4 - 7,1) - 0,05 \times 4,8 \Leftrightarrow e_1 = 0,06 \text{ m}$$

$$e_2 = (7,4 - 7,1) + 0,05 \times 4,8 \Leftrightarrow e_2 = 0,54 \text{ m}$$

O resultado final da quantificação da ação sísmica para os pórticos na direção x é o que se apresenta de seguida, para cada um dos pórticos.

- Pórtico 3-3'

Piso1:

$$F_1 = 87,52 \times 0,02867 \Leftrightarrow F_1 = 2,51 \text{ kN}$$

Piso2:

$$F_2 = 352,19 \times 0,02867 \Leftrightarrow F_2 = 10,1 \text{ kN}$$

- Pórtico 4-4'

Piso1:

$$F_1 = 87,52 \times 0,21411 \Leftrightarrow F_1 = 18,74 \text{ kN}$$

Piso2:

$$F_2 = 352,19 \times 0,21411 \Leftrightarrow F_2 = 75,4 \text{ kN}$$

- Pórtico 5-5'

Piso1:

$$F_1 = 87,52 \times 0,82902 \Leftrightarrow F_1 = 72,55 \text{ kN}$$

Piso2:

$$F_2 = 352,19 \times 0,82902 \Leftrightarrow F_2 = 291,97 \text{ kN}$$

- Pórtico 6-6'

Piso1:

$$F_1 = 87,52 \times 0,00965 \Leftrightarrow F_1 = 0,84 \text{ kN}$$

Piso2:

$$F_2 = 352,19 \times 0,00965 \Leftrightarrow F_2 = 3,4 \text{ kN}$$

ANEXO III – QUNATIFICAÇÃO DE AÇÕES

Quantificação de ações no pórtico 1-1'

Pórtico 1-1'										
Pisos	Largura de influência (m)	Ações permanentes (kN/m)				Ações variáveis (kN/m)		Ações persistentes ou transitórias (kN/m)		Ação Sísmica (kN/m)
		Revestimentos + paredes divisórias	Peso próprio da laje	Peso próprio da viga	Peso próprio da parede exterior	qk (kN/m ²)	qk (kN/m)	Ped1	Ped2	
R/C	3.20	6.40	8.96	13.50	2.53	2.00	6.40	51.97	42.37	33.31
Piso 1	3.20	6.40	12.22	2.63	2.53	2.00	6.40	41.70	32.10	25.70
Piso 2	3.20	6.40	12.22	2.63	2.53	3.00	9.60	46.50	32.10	26.66
Cobertura	3.20	1.60	8.80	1.50	0.00	0.40	1.28	17.99	16.07	12.28

Quantificação de ações no pórtico 2-2'

Pórtico 2-2'										
Pisos	Largura de influência (m)	Ações permanentes (kN/m)				Ações variáveis (kN/m)		Ações persistentes ou transitórias (kN/m)		Ação Sísmica (kN/m)
		Revestimentos + paredes divisórias	Peso próprio da laje	Peso próprio da viga	Peso próprio da parede exterior	qk (kN/m ²)	qk (kN/m)	Ped1	Ped2	
R/C	3.20	6.40	8.96	13.50	2.53	2.00	6.40	51.97	42.37	33.31
Piso 1	3.20	6.40	12.22	2.63	2.53	2.00	6.40	41.70	32.10	25.70
Piso 2	3.20	6.40	12.22	2.63	2.53	3.00	9.60	46.50	32.10	26.66
Cobertura	3.20	1.60	8.80	1.50	0.00	0.40	1.28	17.99	16.07	12.28

Quantificação de ações no pórtico 3-3'

Pórtico 3-3'										
Pisos	Largura de influência (m)	Ações permanentes (kN/m)				Ações variáveis (kN/m)		Ações persistentes ou transitórias (kN/m)		Ação Sísmica (kN/m)
		Revestimentos + paredes divisórias	Peso próprio da laje	Peso próprio da viga	Peso próprio da parede exterior	qk (kN/m ²)	qk (kN/m)	Ped1	Ped1 - Total	
R/C	0.50	1.00	1.40	12.25	0.00	2.00	1.00	21.28	21.28	14.95
Piso 1	0.50	1.00	1.91	3.13	0.00	2.00	1.00	24.57	24.57	21.26
Piso 2	0.50	1.00	1.91	2.00	0.00	3.00	1.50	8.88		
Cobertura	0.50	0.25	1.38	0.00	0.00	0.40	0.20	2.49	11.37	7.05

Quantificação de ações no pórtico 4-4'

Pórtico 4-4'										
Pisos	Largura de influência (m)	Ações permanentes (kN/m)				Ações variáveis (kN/m)		Ações persistentes ou transitórias (kN/m)		Ação Sísmica (kN/m)
		Revestimentos + paredes divisórias	Peso próprio da laje	Peso próprio da viga	Peso próprio da parede exterior	qk (kN/m ²)	qk (kN/m)	Ped1		
R/C	1.00	2.00	2.80	15.75	0.00	2.00	2.00	30.74		21.15
Piso 1	1.00	2.00	3.82	0.94	0.00	2.00	2.00	12.12		7.36
Piso 2	1.00	2.00	3.82	0.94	0.00	3.00	3.00	13.62		7.66
Cobertura	1.00	0.50	2.75	0.94	0.00	0.40	0.40	6.25		4.31

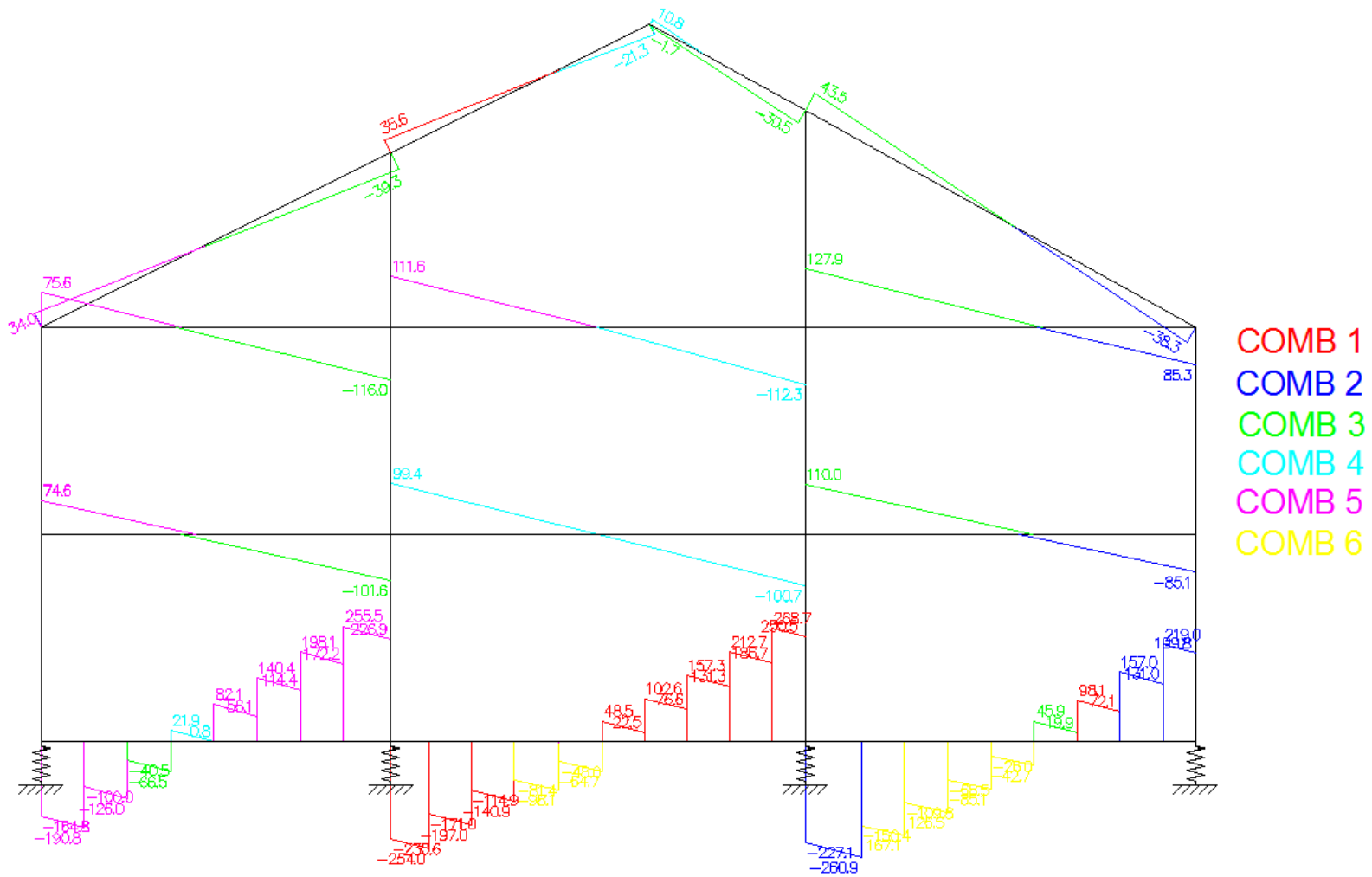
Quantificação de ações no pórtico 5-5'

Pórtico 5-5'										
Pisos	Largura de influência (m)	Ações permanentes (kN/m)				Ações variáveis (kN/m)		Ações persistentes ou transitórias (kN/m)		Ação Sísmica (kN/m)
		Revestimentos + paredes divisórias	Peso próprio da laje	Peso próprio da viga	Peso próprio da parede exterior	qk (kN/m ²)	qk (kN/m)	Ped1		
R/C	1.00	2.00	2.80	15.75	0.00	2.00	2.00	30.74		21.15
Piso 1	1.00	2.00	3.82	0.94	0.00	2.00	2.00	12.12		7.36
Piso 2	1.00	2.00	3.82	0.94	0.00	3.00	3.00	13.62		7.66
Cobertura	1.00	0.50	2.75	0.94	0.00	0.40	0.40	6.25		4.31

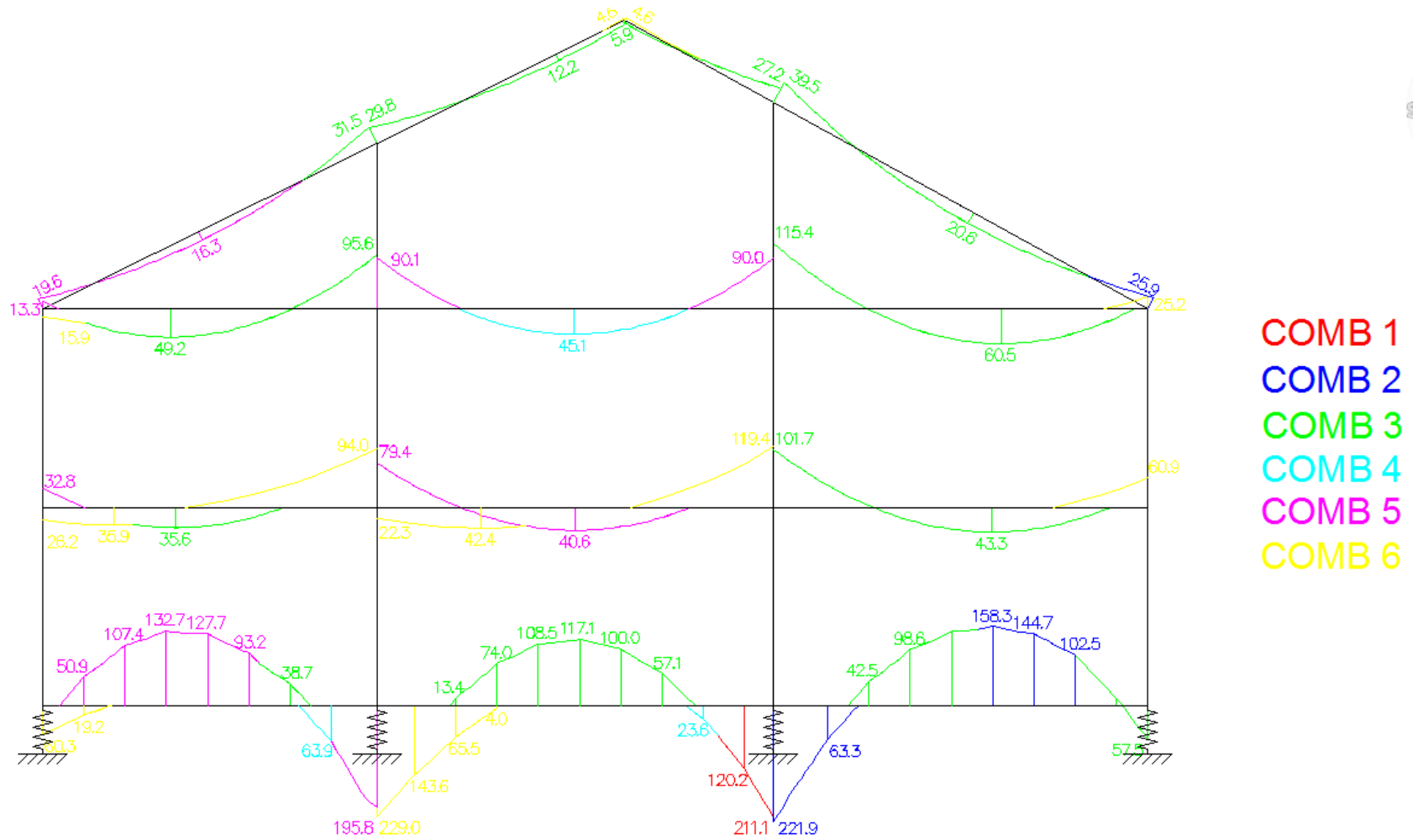
Quantificação de ações no pórtico 6-6'

Pórtico 6-6'										
Pisos	Largura de influência (m)	Ações permanentes (kN/m)				Ações variáveis (kN/m)		Ações persistentes ou transitórias (kN/m)		Ação Sísmica (kN/m)
		Revestimentos + paredes divisórias	Peso próprio da laje	Peso próprio da viga	Peso próprio da parede exterior	qk (kN/m ²)	qk (kN/m)	Ped1	Ped1 - Total	
R/C	0.50	1.00	1.40	12.25	4.32	2.00	1.00	27.11	27.11	19.27
Piso 1	0.50	1.00	1.91	3.13	4.32	2.00	1.00	15.48	15.48	10.66
Piso 2	0.50	1.00	1.91	3.13	0.00	3.00	1.50	10.40	13.90	8.92
	0.50	1.00	1.38	0.00	0.00	0.40	0.20	3.51		

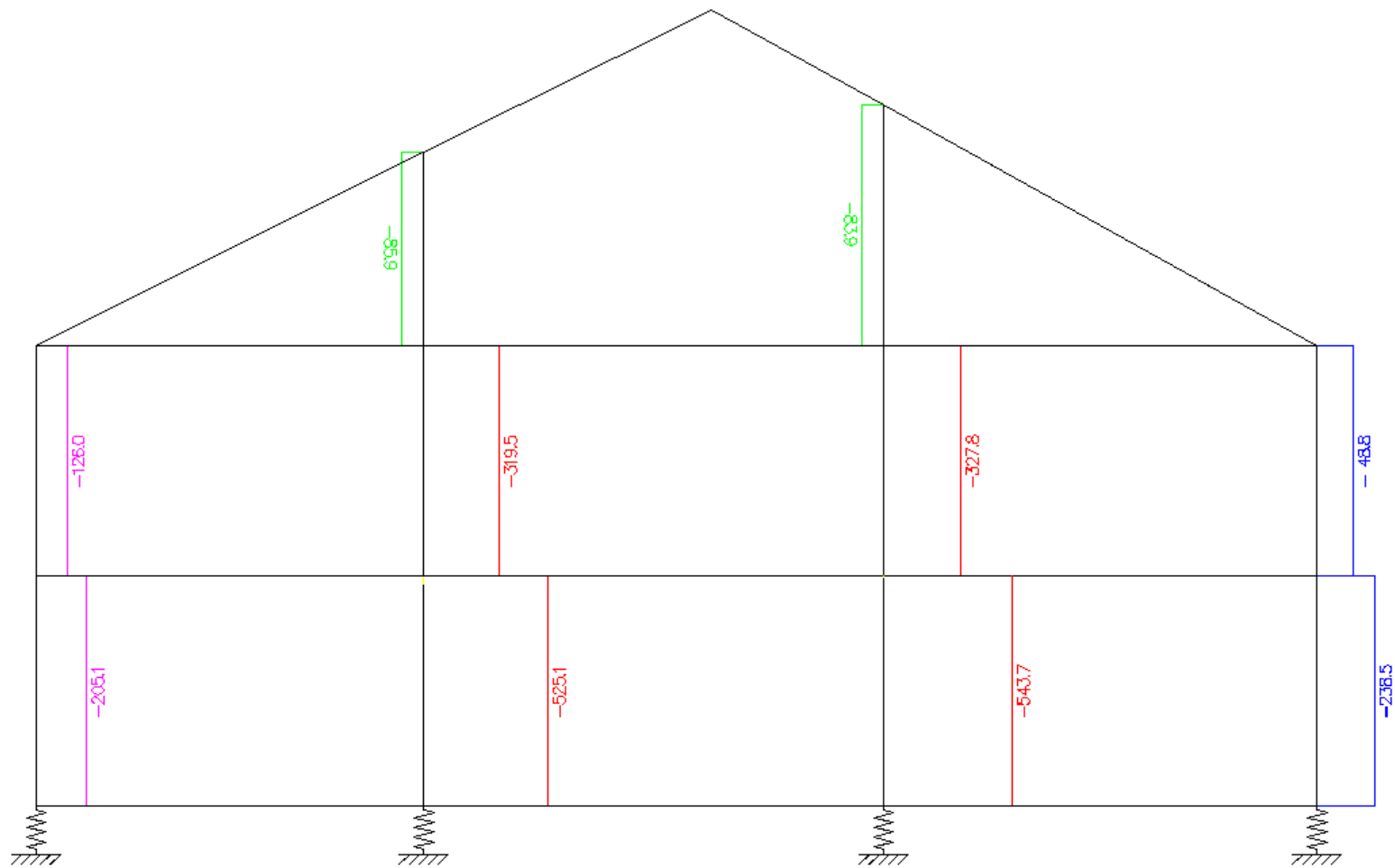
Envolvente de esforços transversos nas vigas do pórtico 1-1'



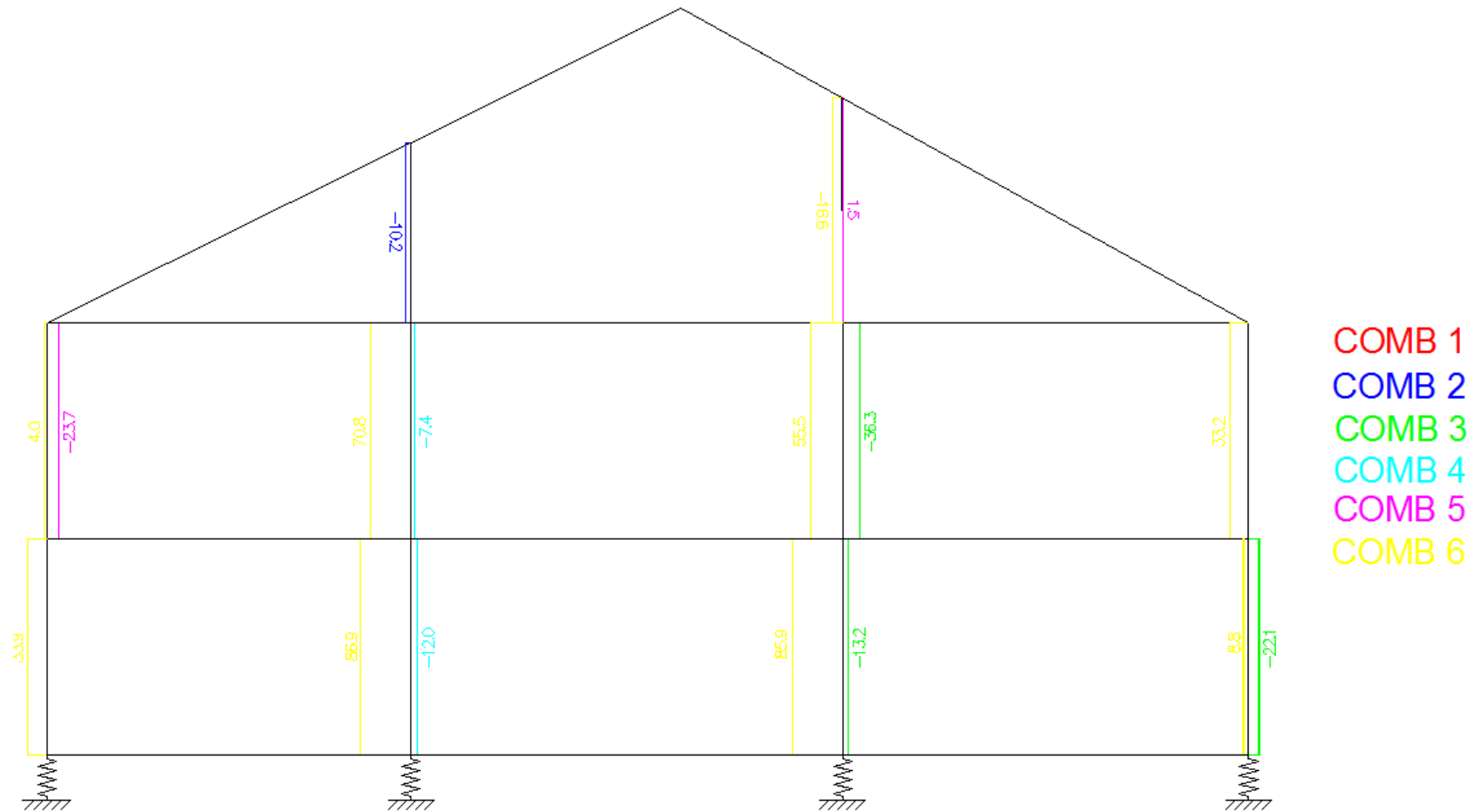
Envolvente de momentos fletores nas vigas do pórtico 1-1'



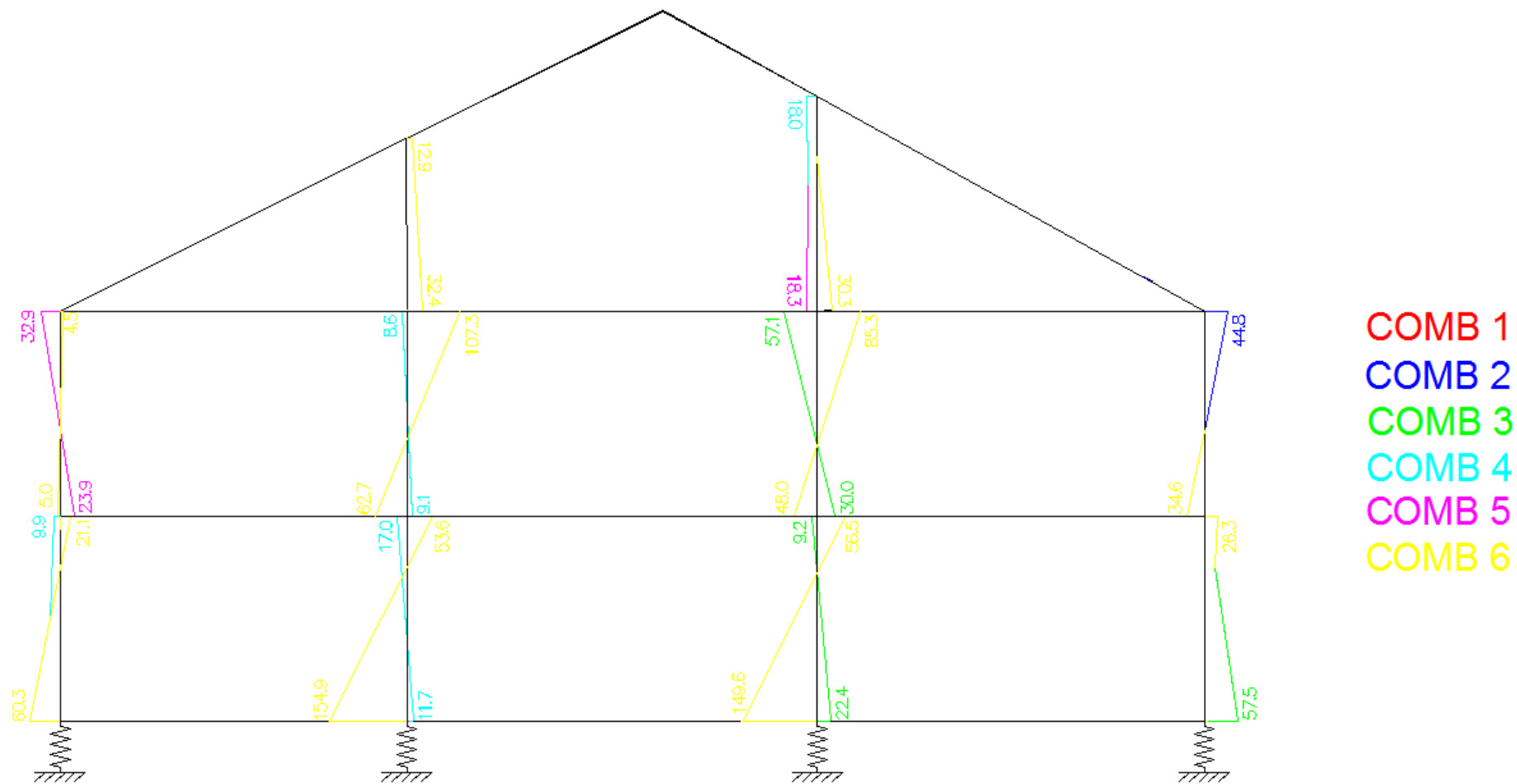
Envolvente de esforço axial nos pilares do pórtico 1-1'



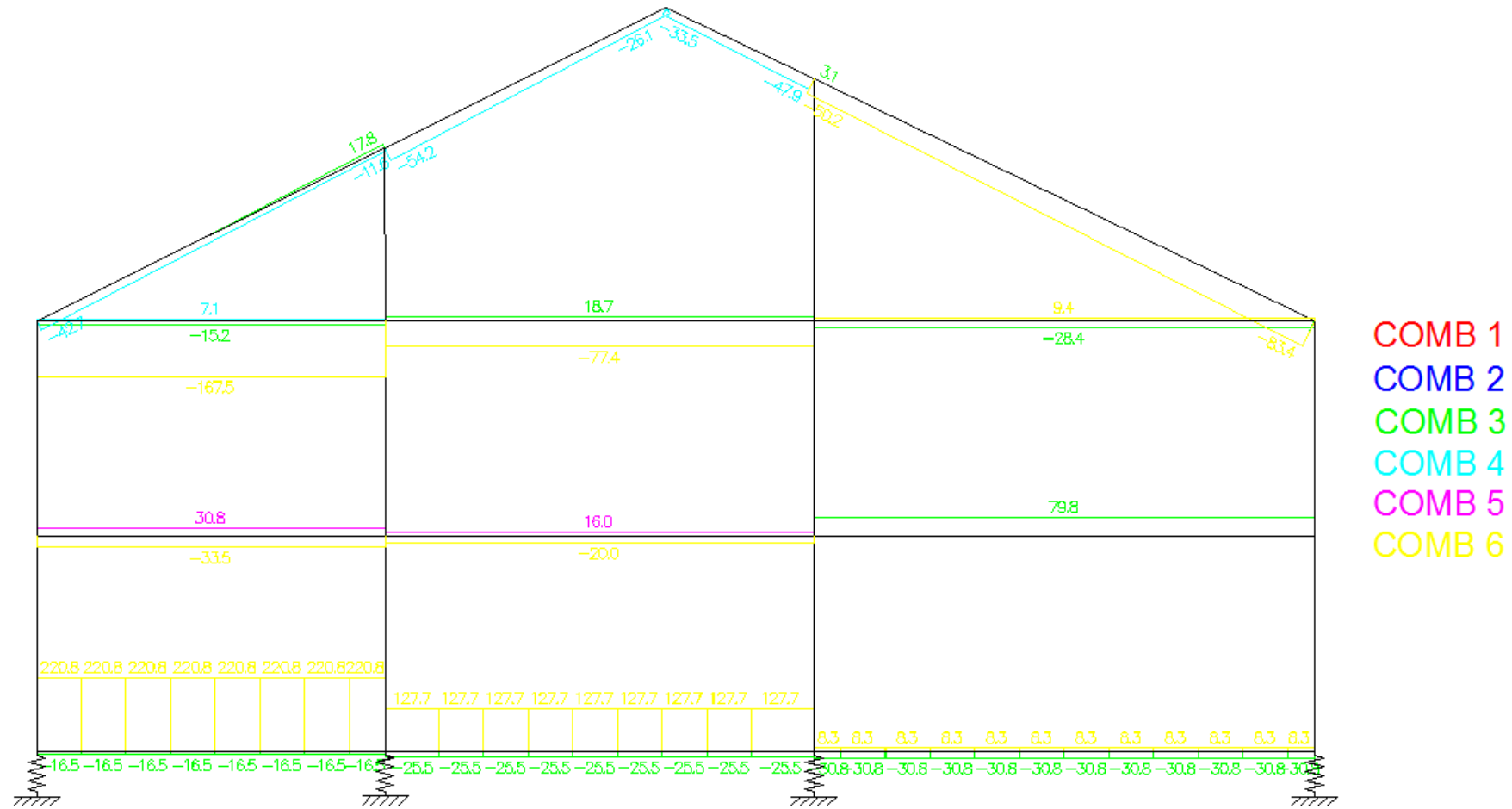
Envolvente de esforços transversos nos pilares do pórtico 1-1'



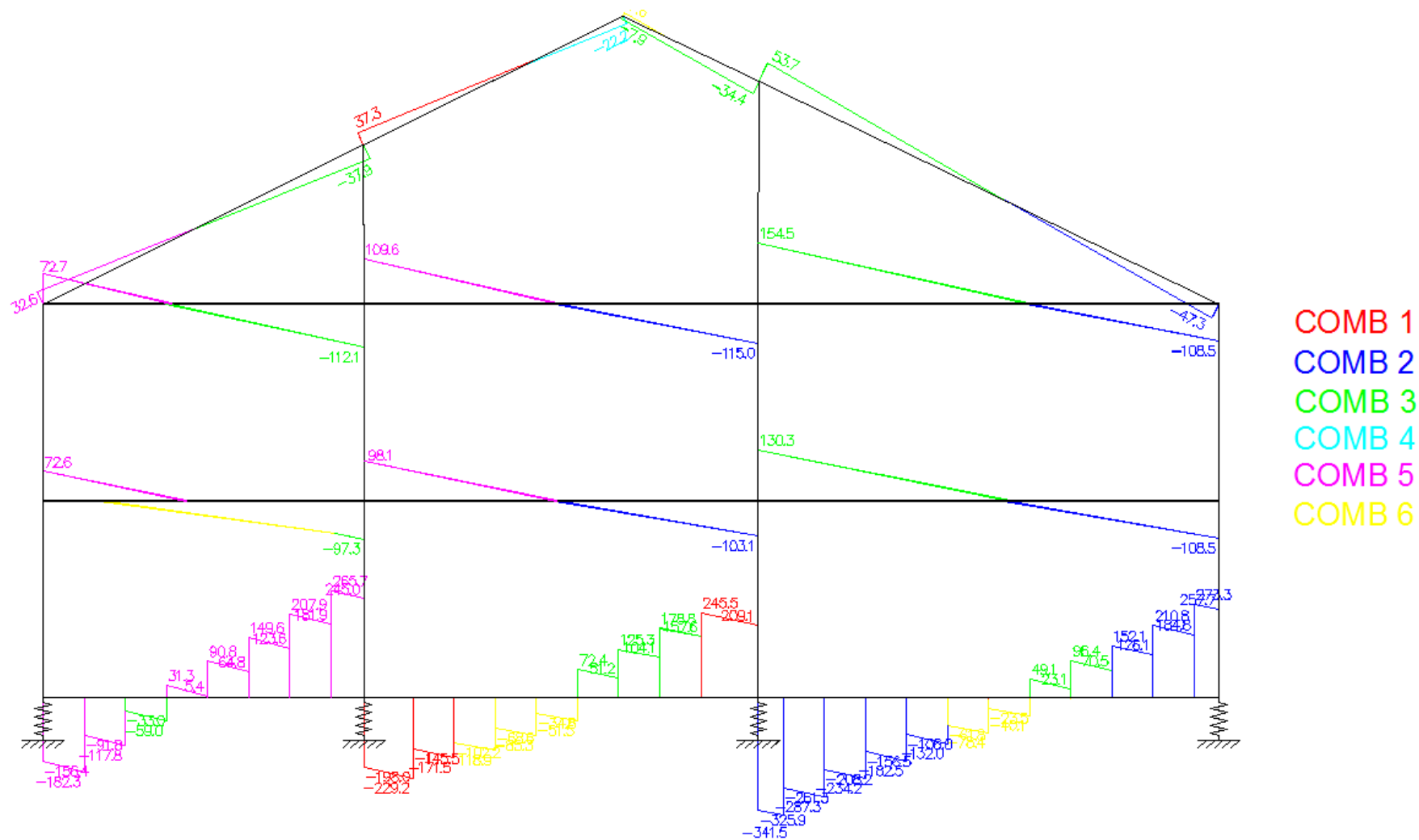
Envolvente de momentos fletores nos pilares do pórtico 1-1'



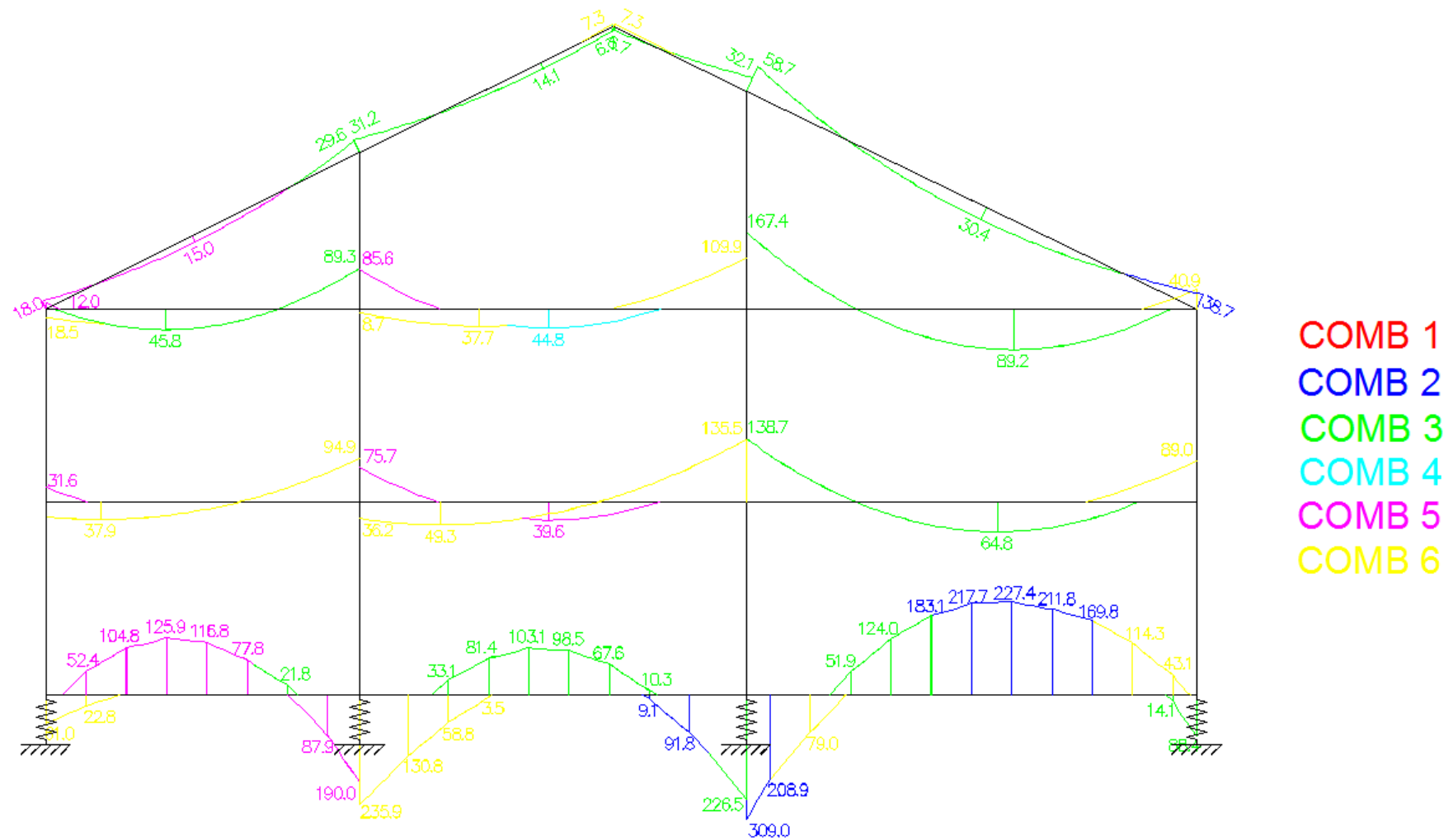
Envolvente de esforço axial nas vigas do pórtico 2-2'



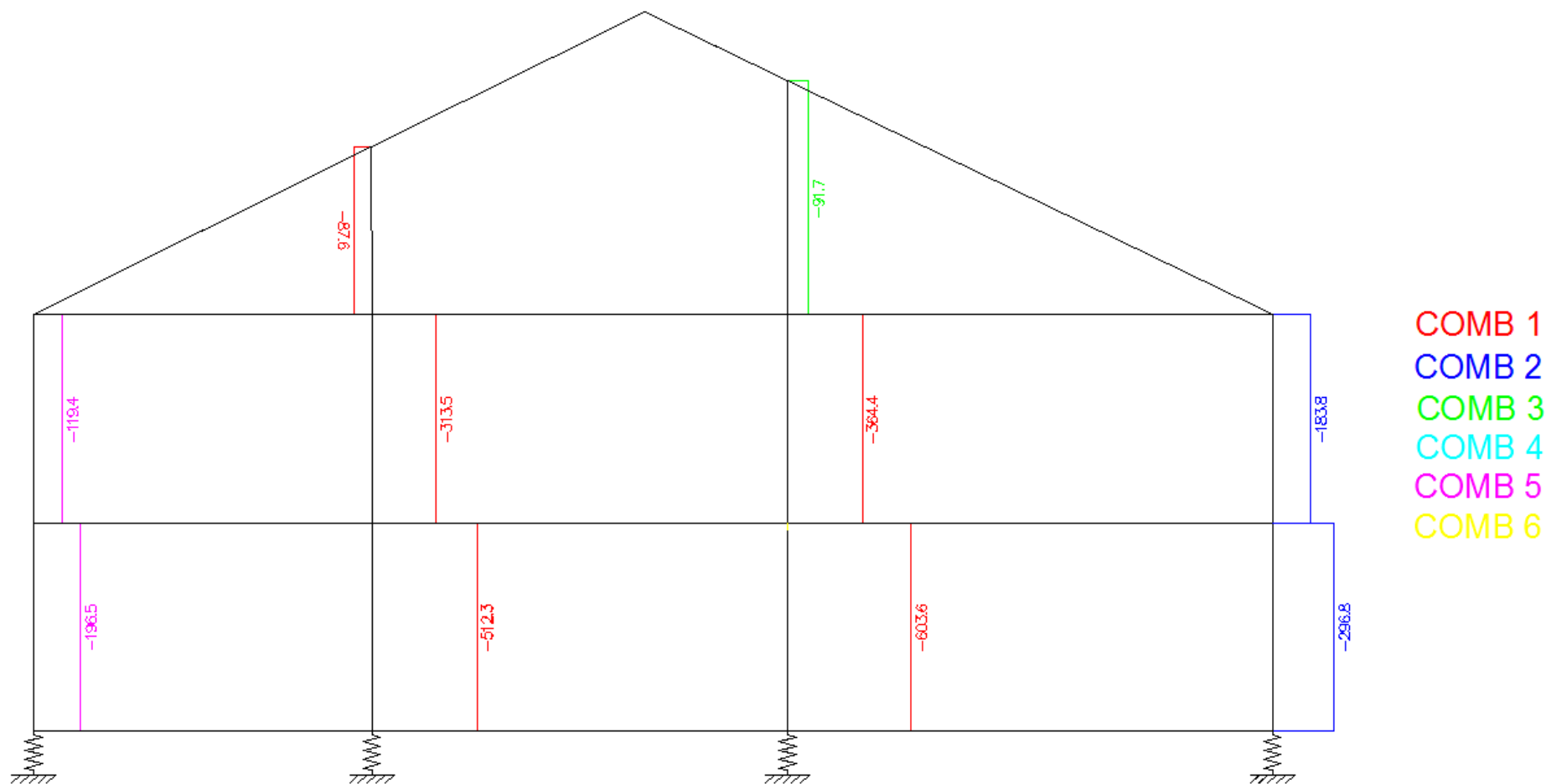
Envolvente de esforços transversos nas vigas do pórtico 2-2'



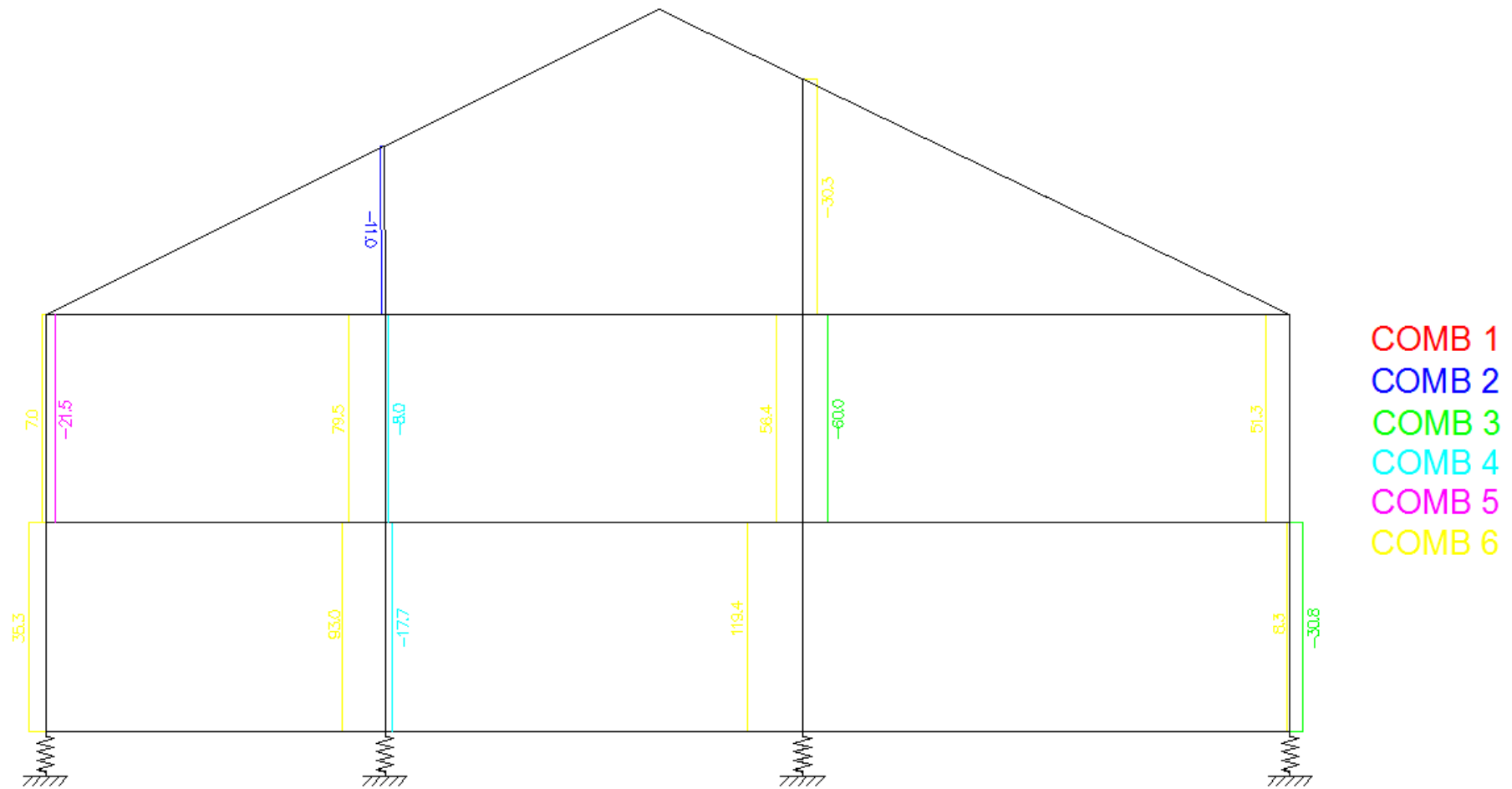
Envolvente de momentos fletores nas vigas do pórtico 2-2'



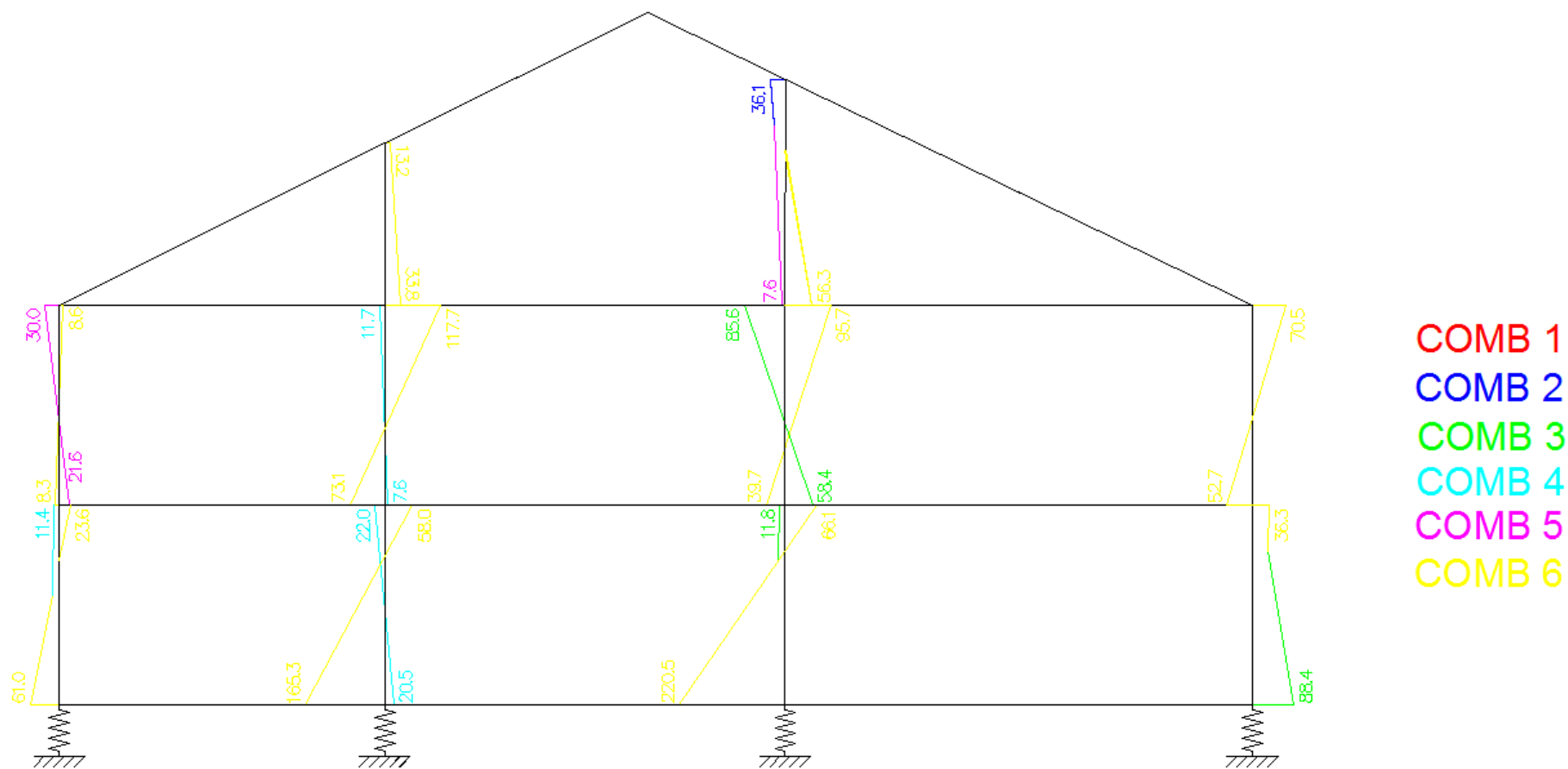
Envolvente de esforço axial nos pilares do pórtico 2-2'



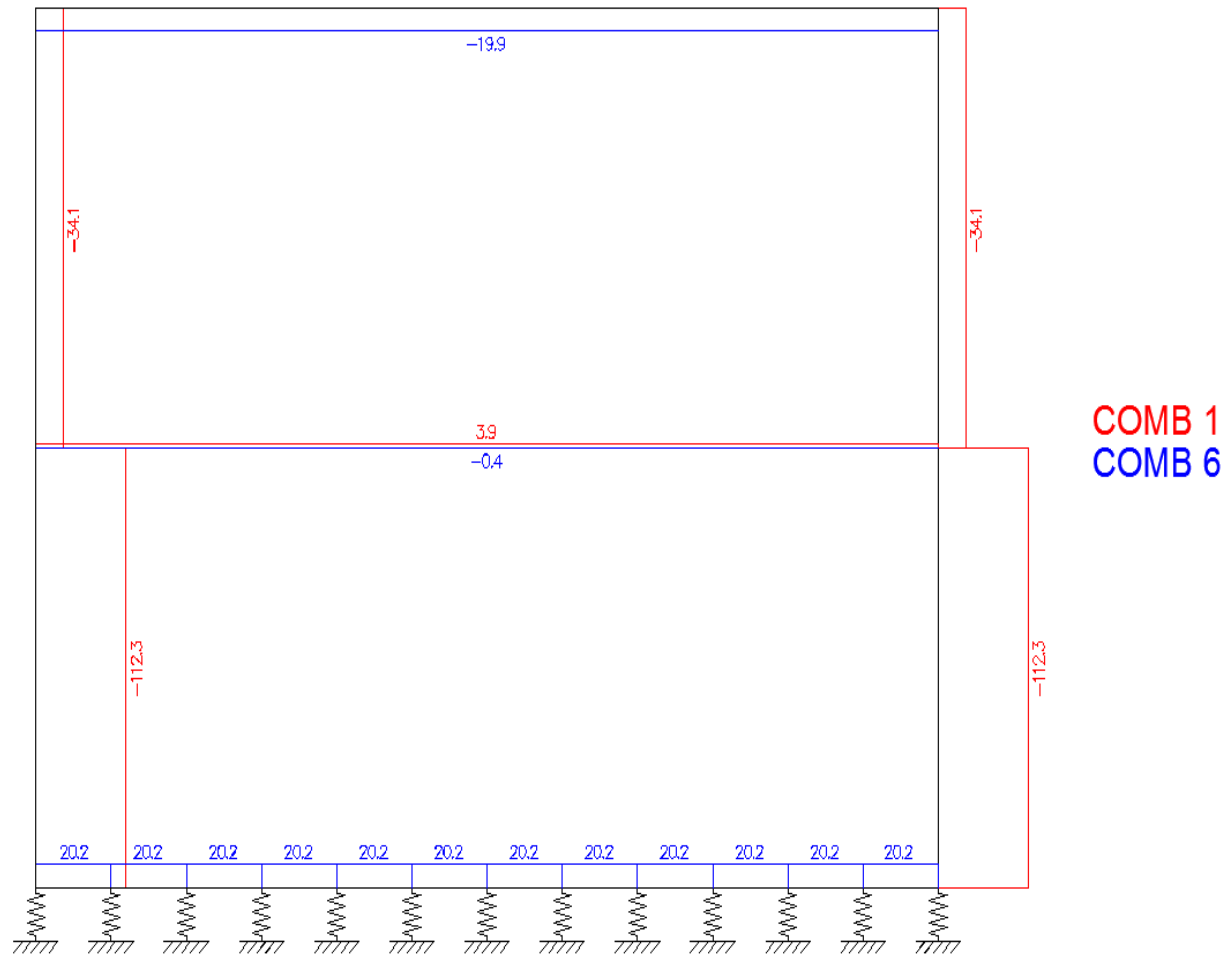
Envolvente de esforços transversos nos pilares do pórtico 2-2'



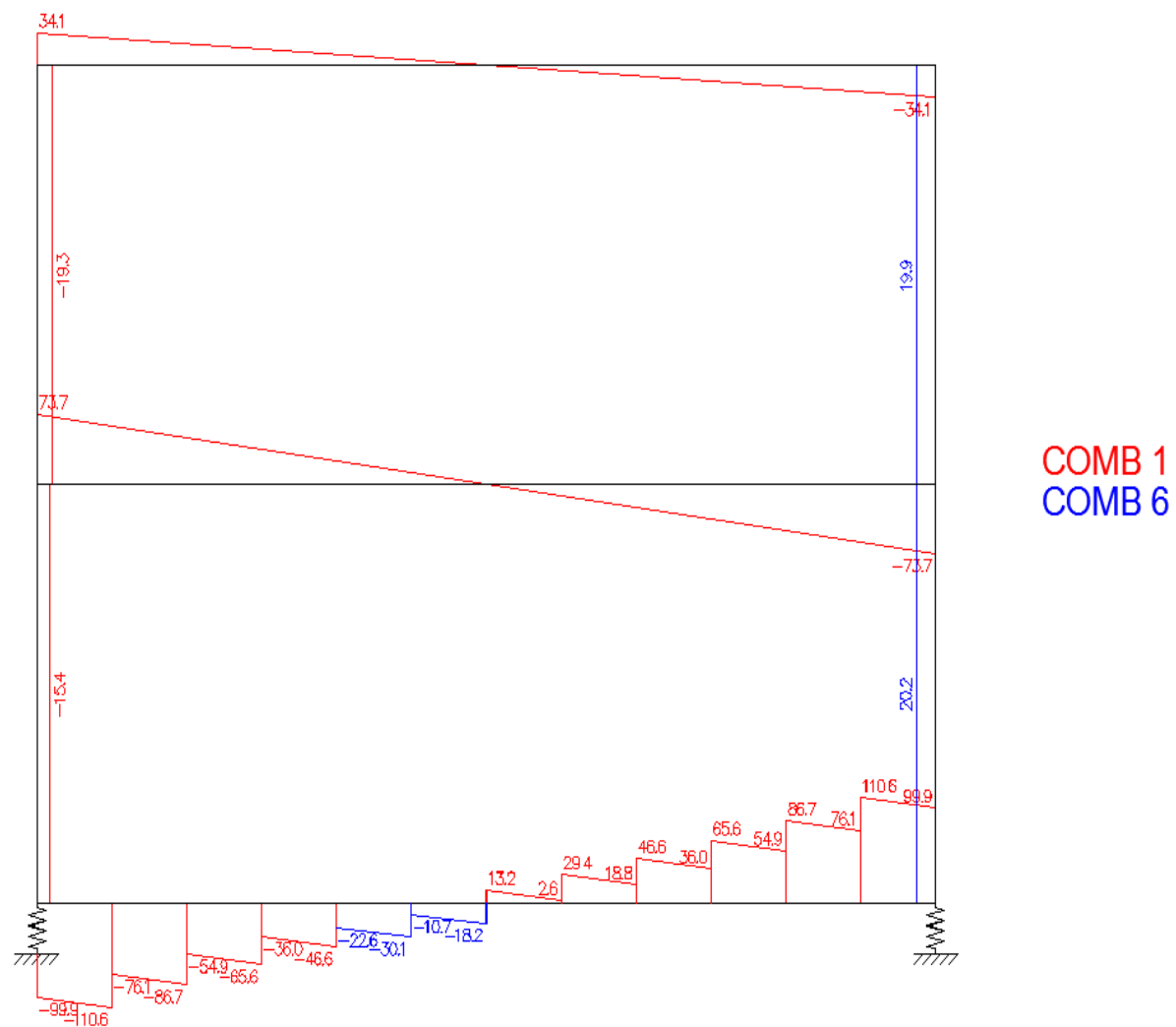
Envolvente de momentos fletores nos pilares do pórtico 2-2'



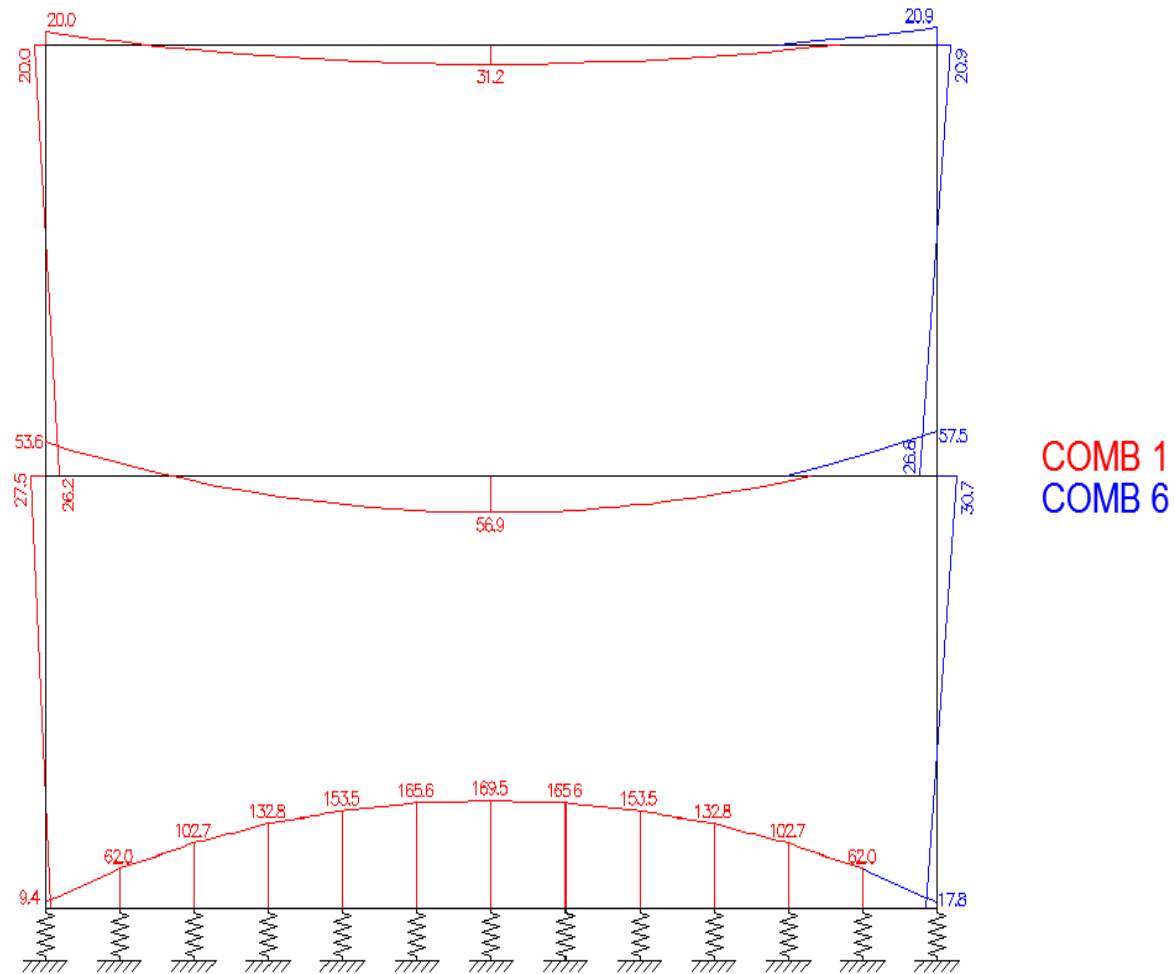
Envolvente de esforços axial no pórtico 3-3'



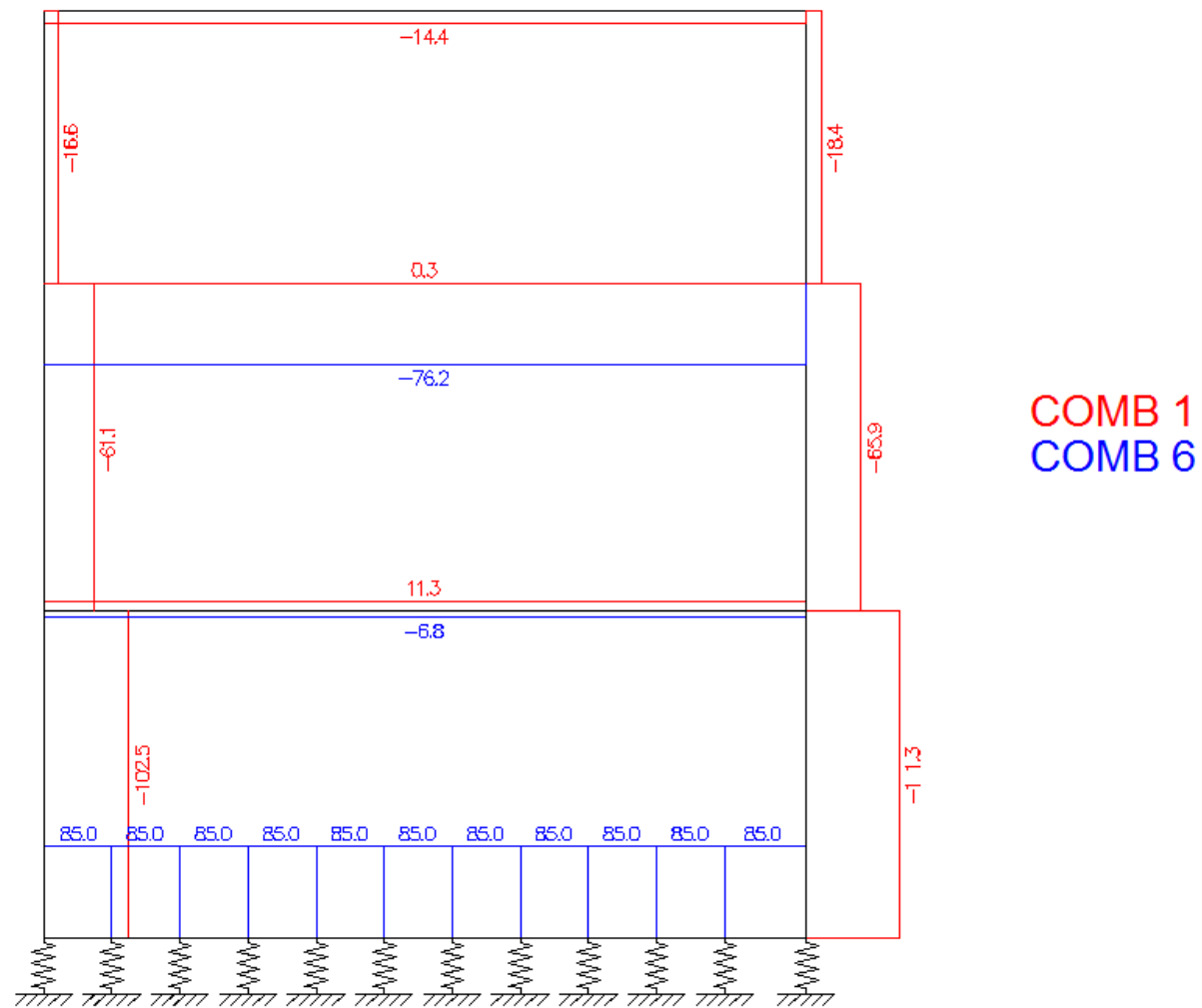
Envolvente de esforços transversos no pórtico 3-3'



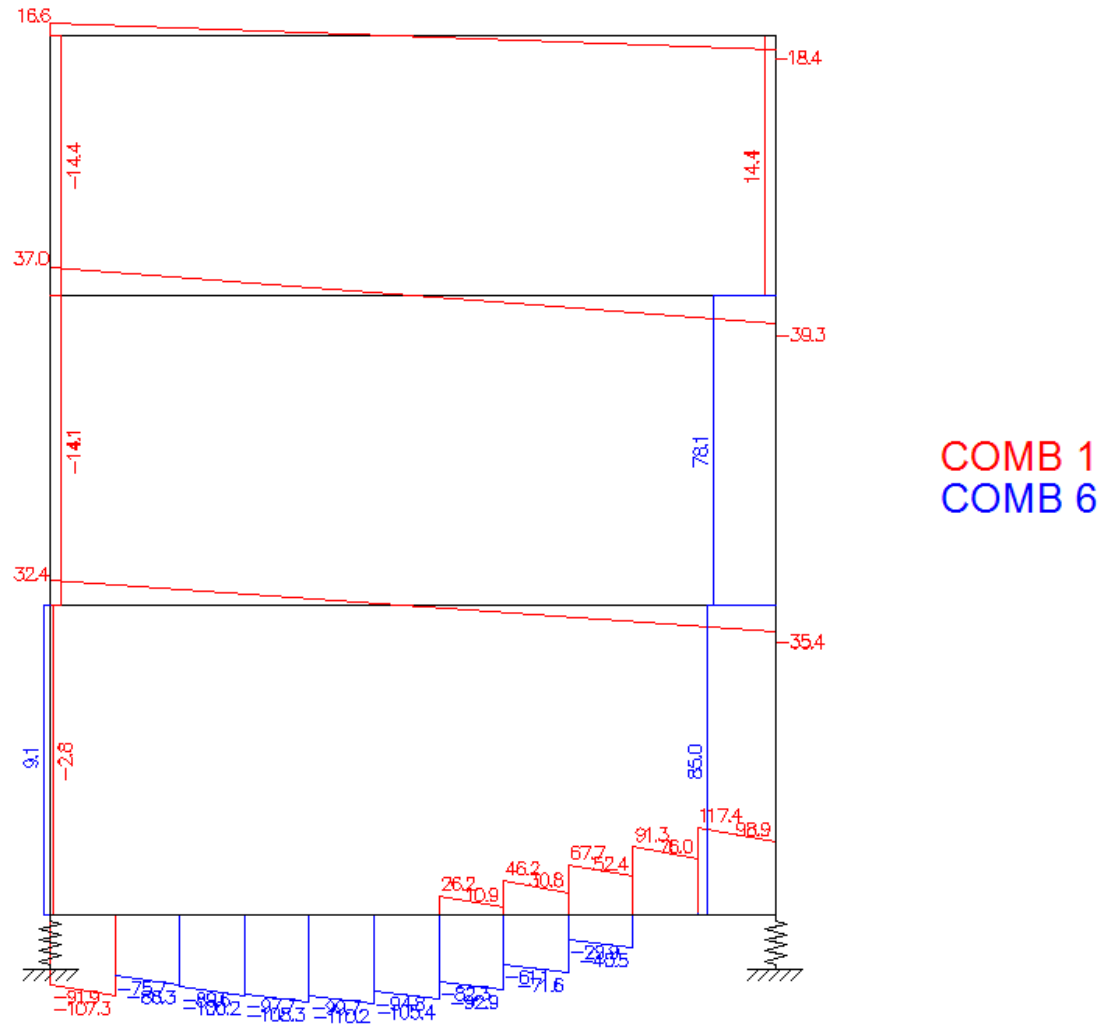
Envolvente de momentos fletores no pórtico 3-3'



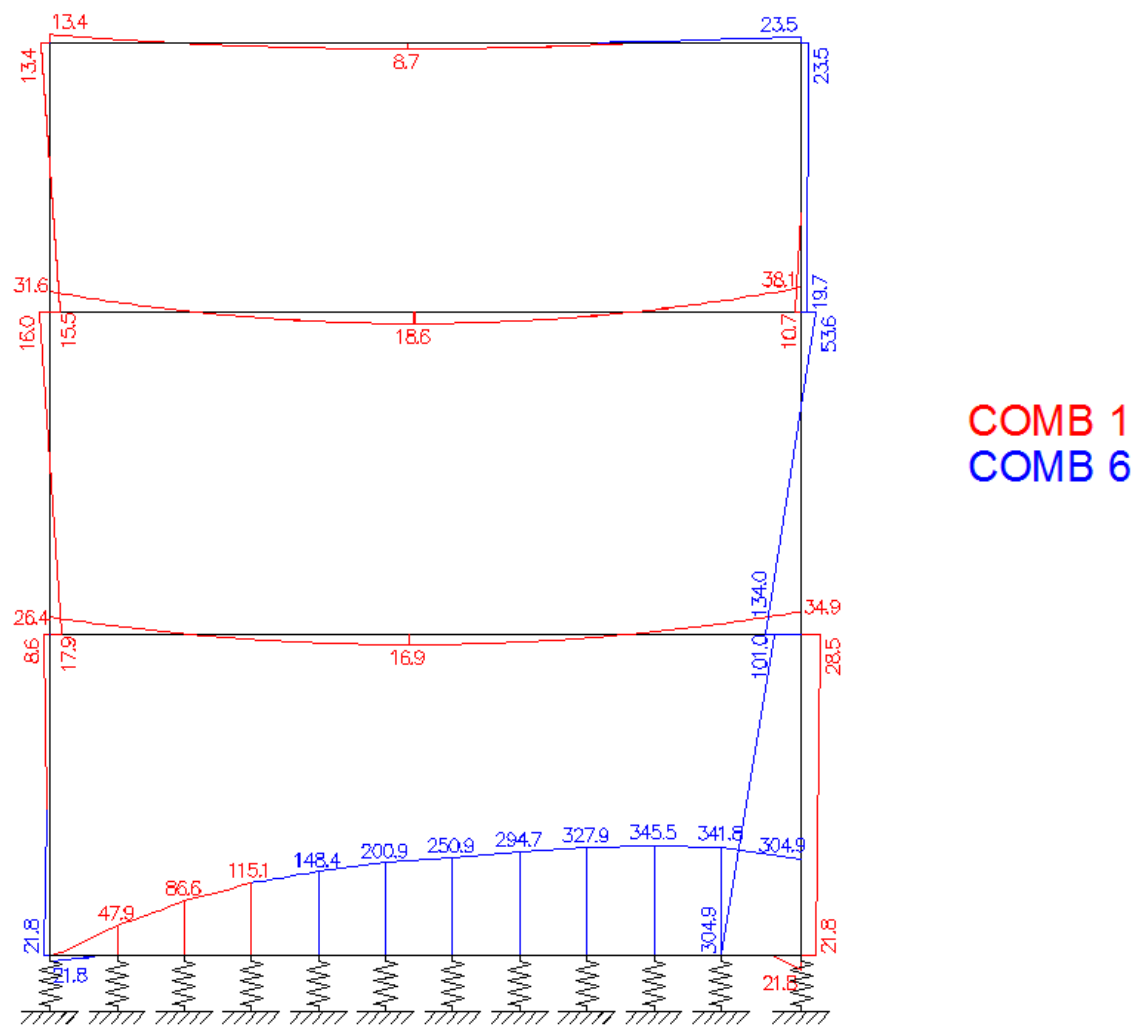
Envolvente de esforços axial no pórtico 4-4'



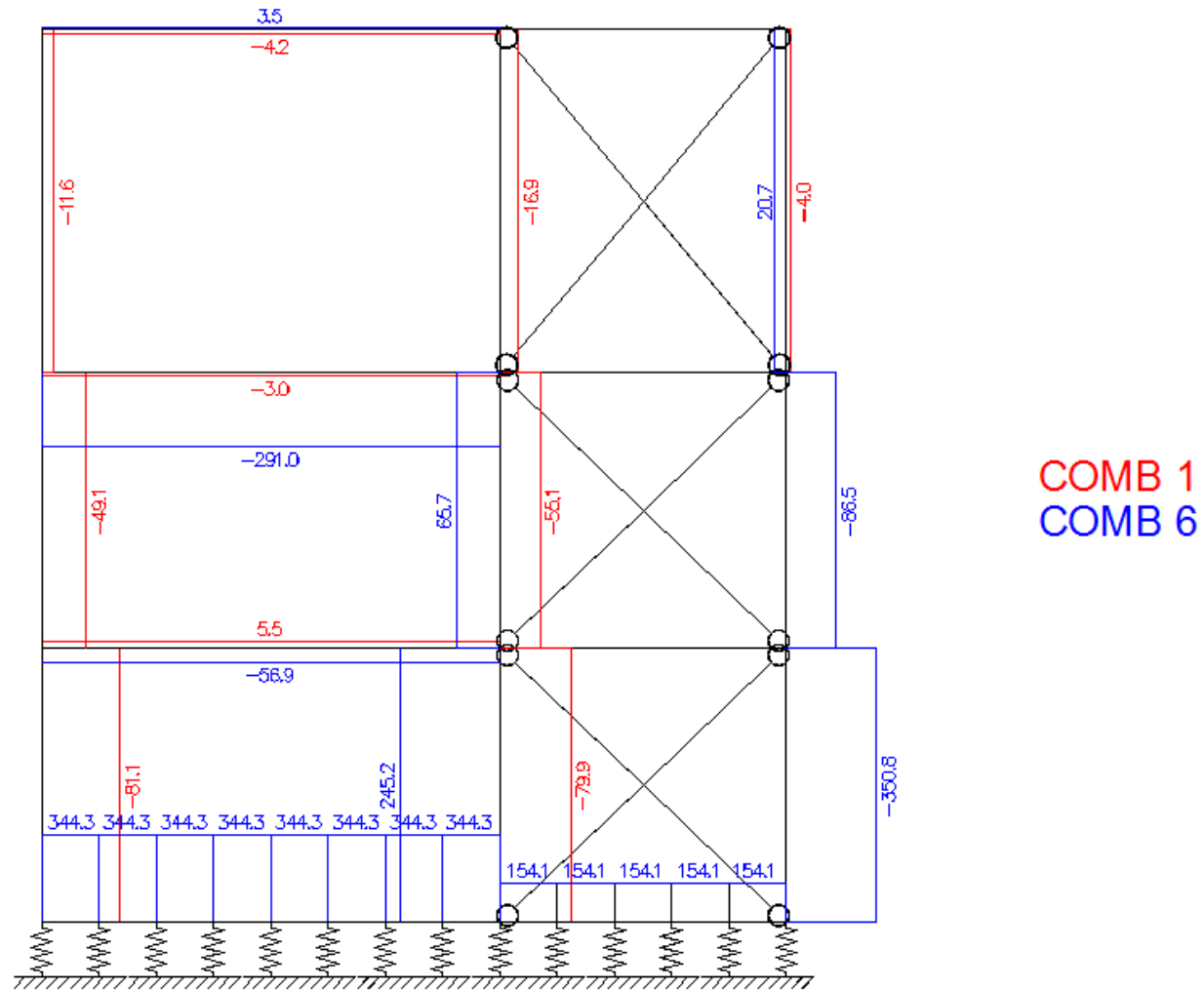
Envolvente de esforços transversos no pórtico 4-4'



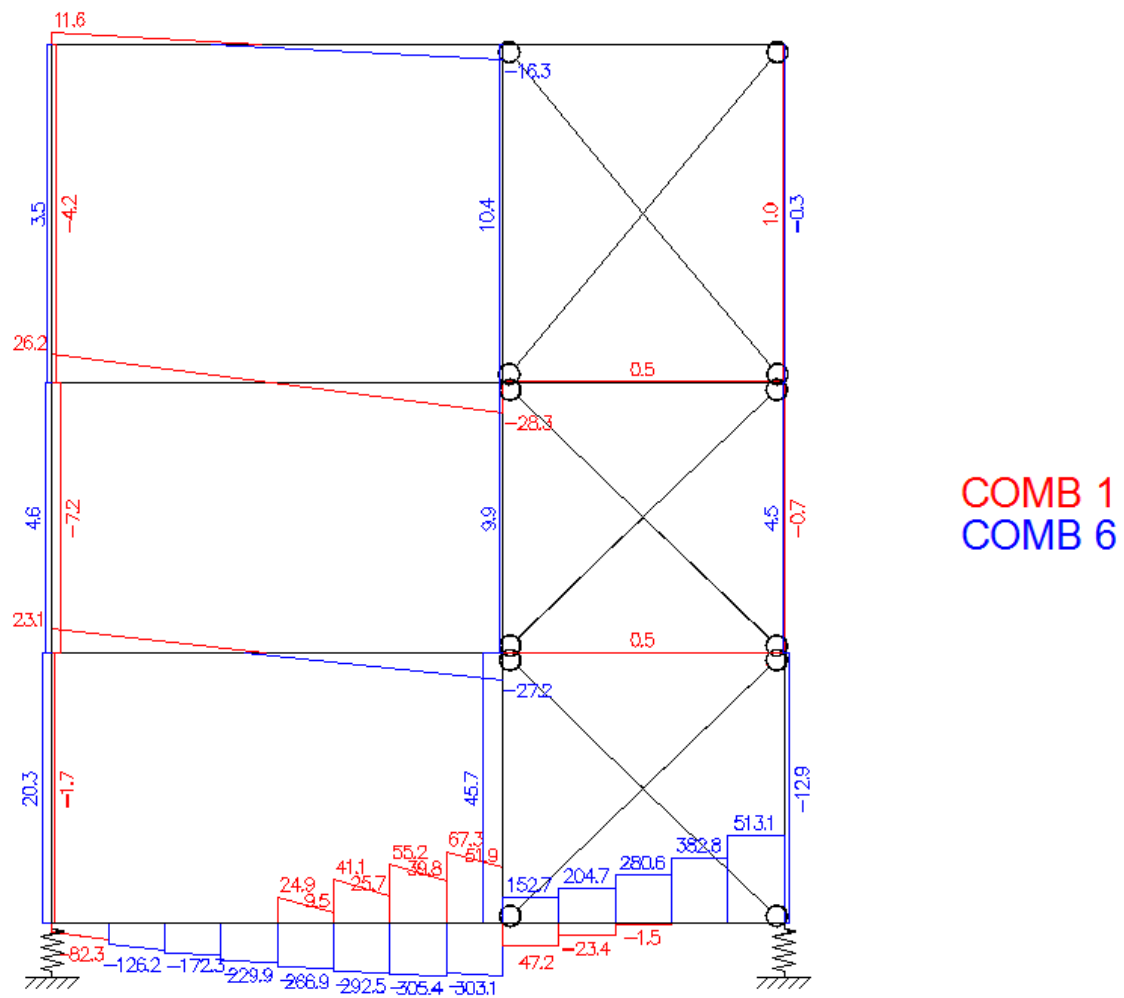
Envolvente de momentos fletores no pórtico 4-4'



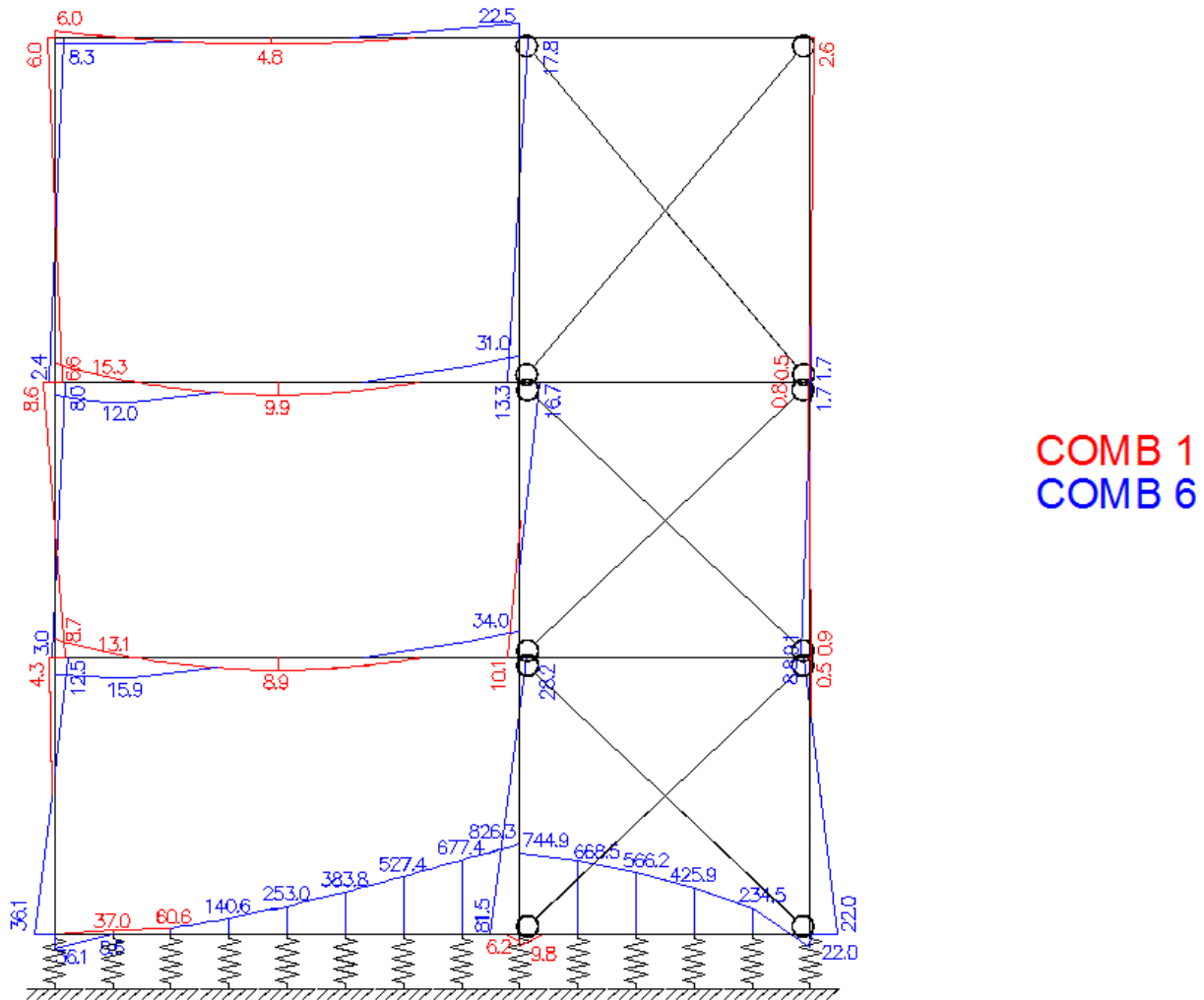
Envolvente de esforços axial no pórtico 5-5'



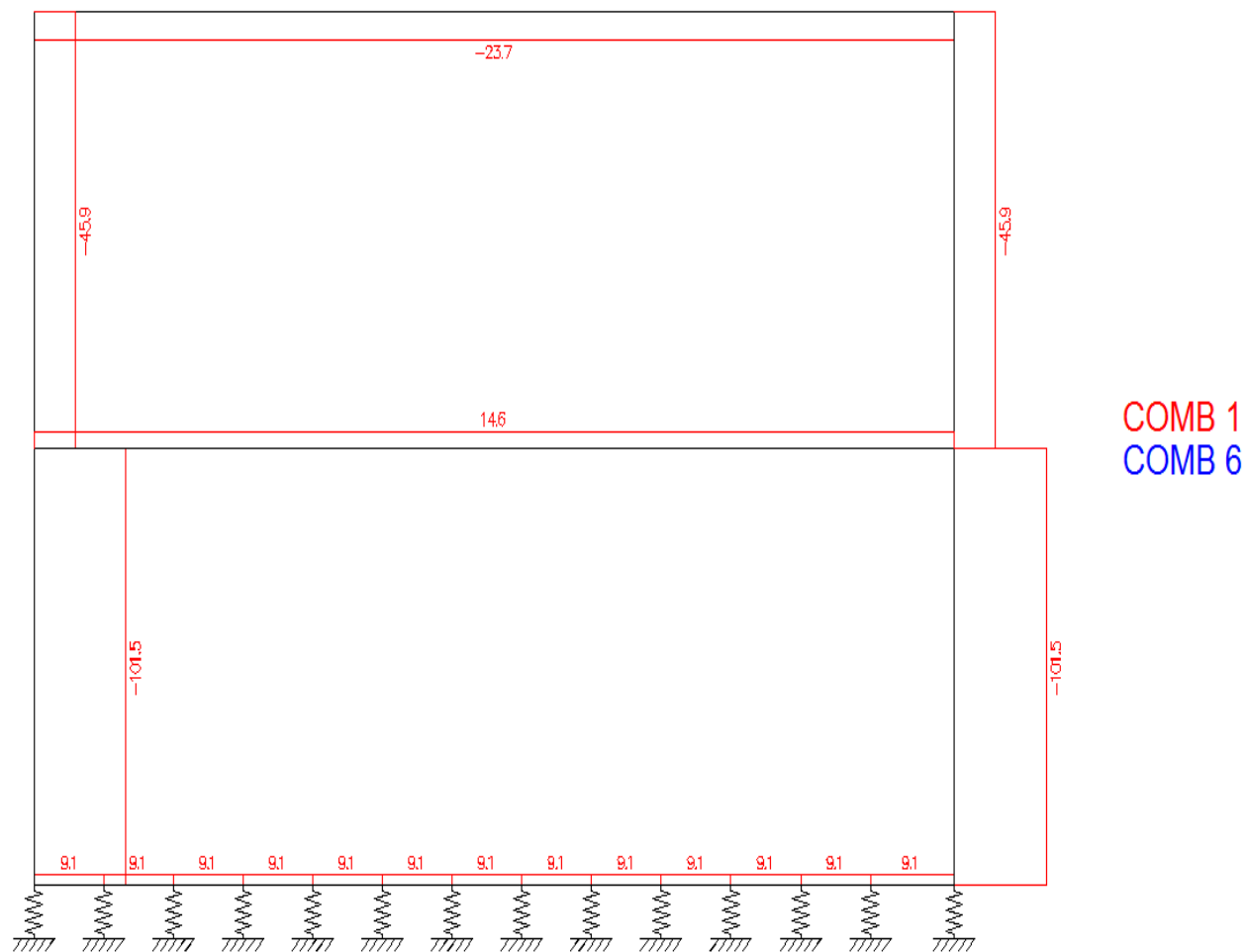
Envolvente de esforços transversos no pórtico 5-5'



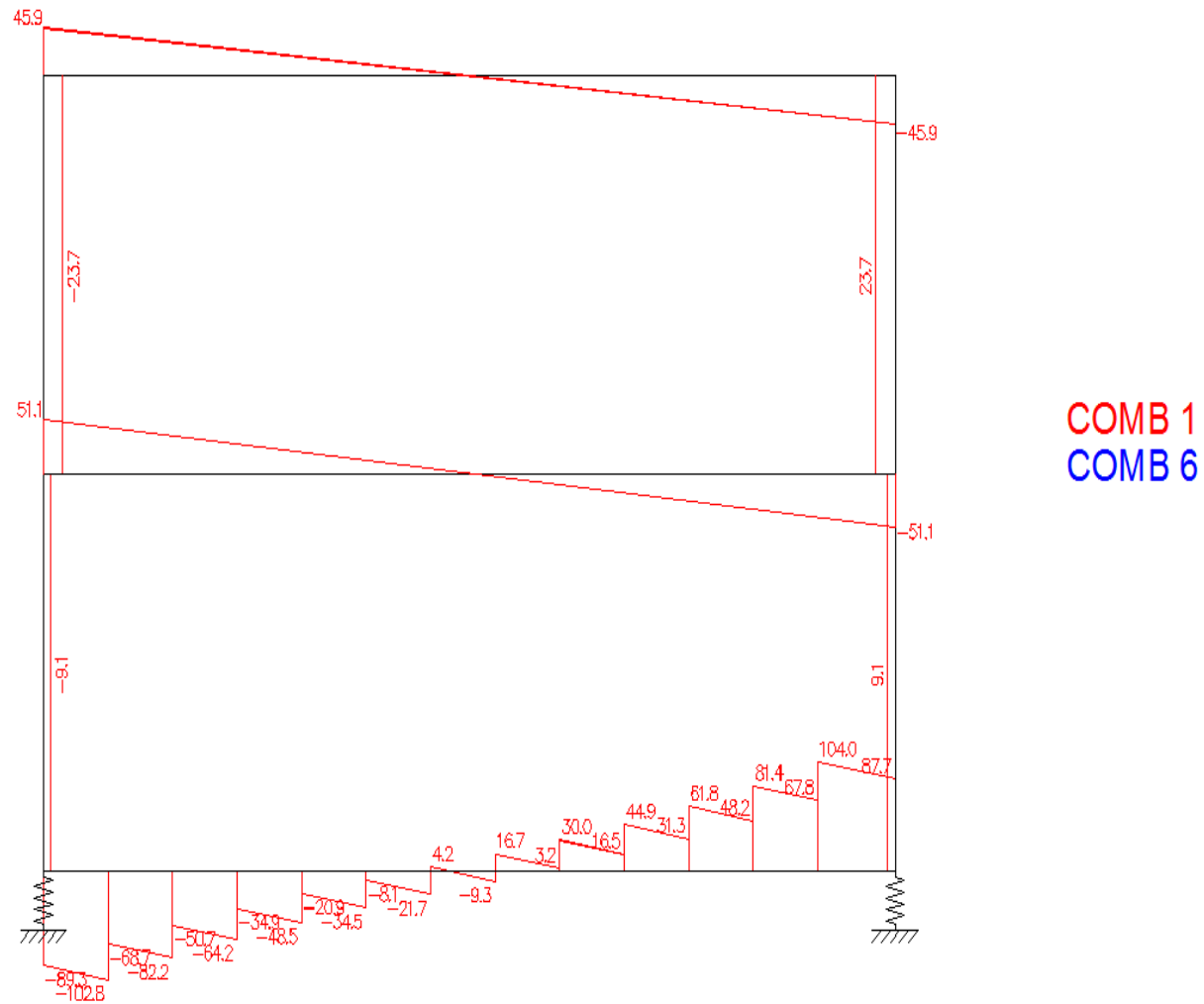
Envolvente de momentos fletores no pórtico 5-5'



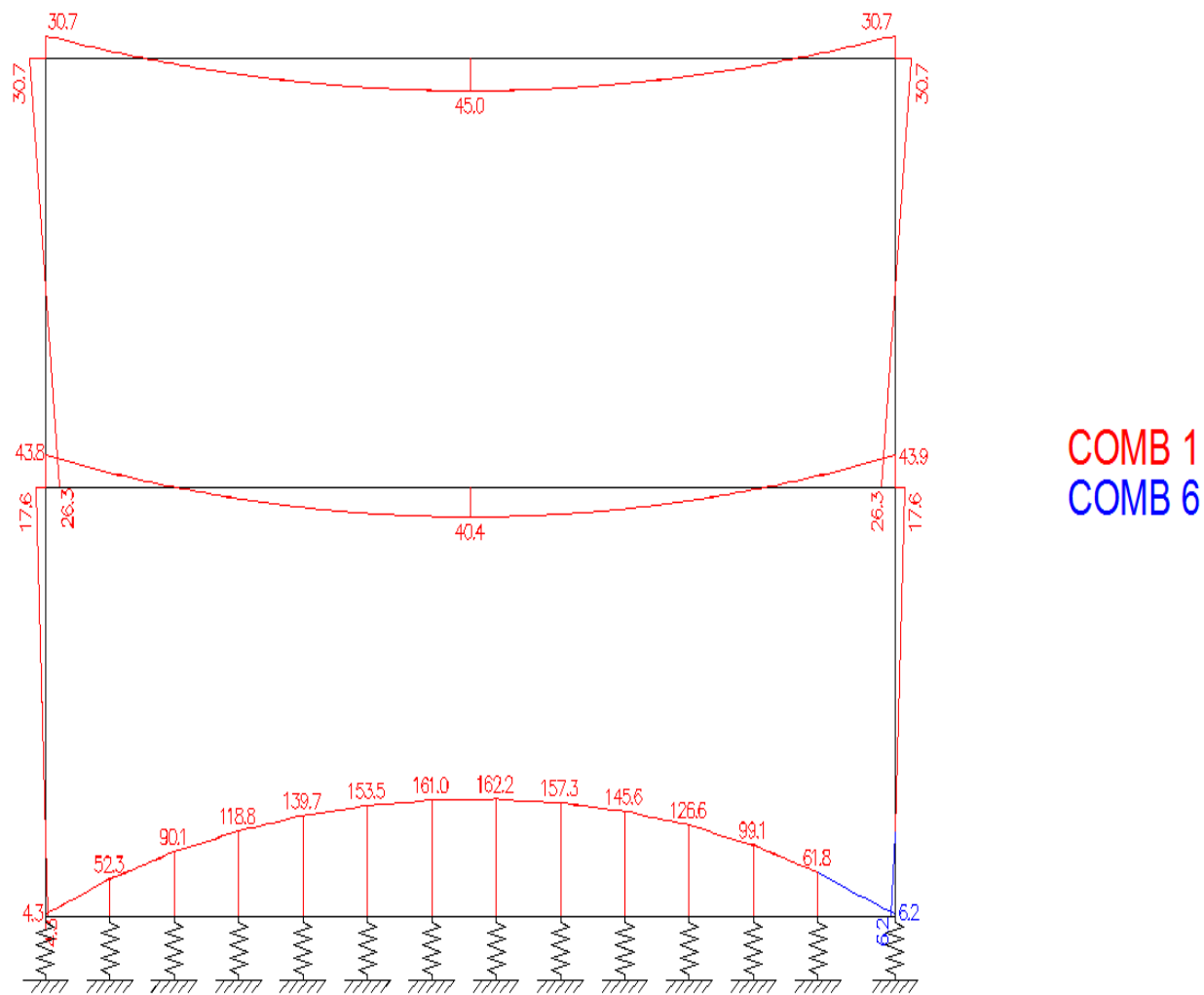
Envolvente de esforços axial no pórtico 6-6'



Envolvente de esforços transversos no pórtico 6-6'



Envolvente de momentos fletores no pórtico 6-6'

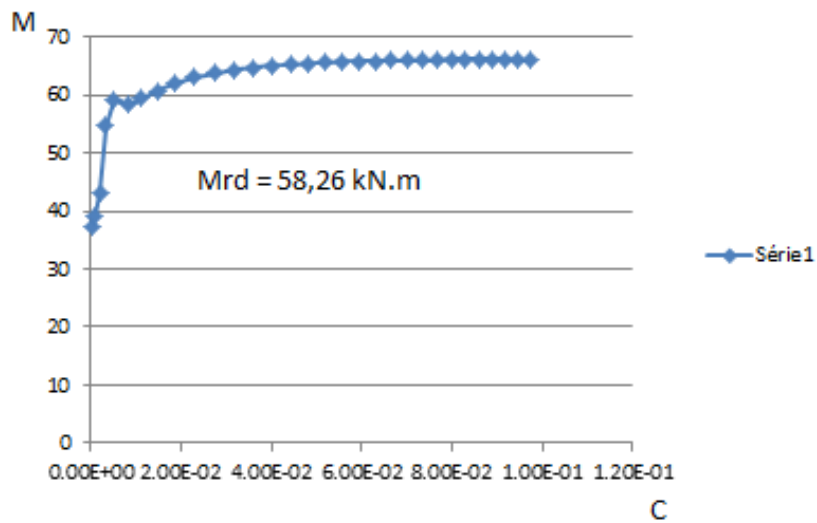


ANEXO V – GRÁFICOS RELAÇÃO MOMENTO/ CURVATURA PARA A VIGA DE PISO 1 DO PÓRTICO 1-1'

- Em toda a extensão da viga:

Topo: 2 Ø 12 mm

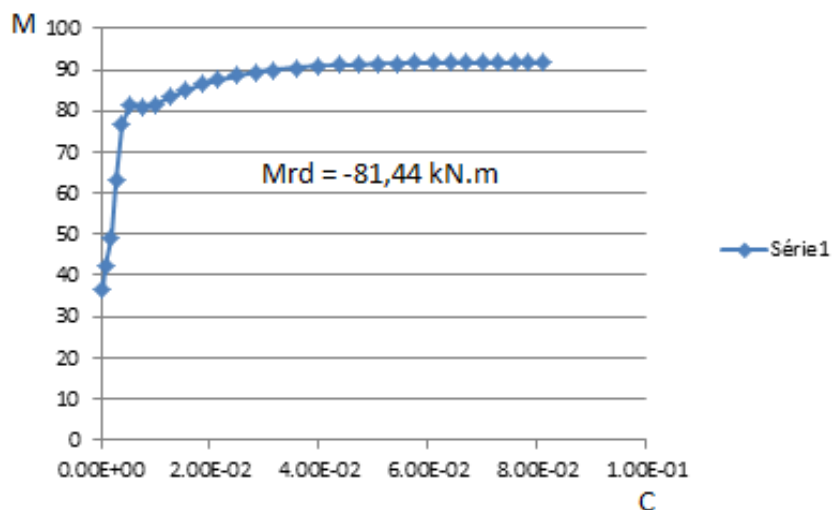
Base: 2 Ø 12 mm



- Reforço de momentos negativos:

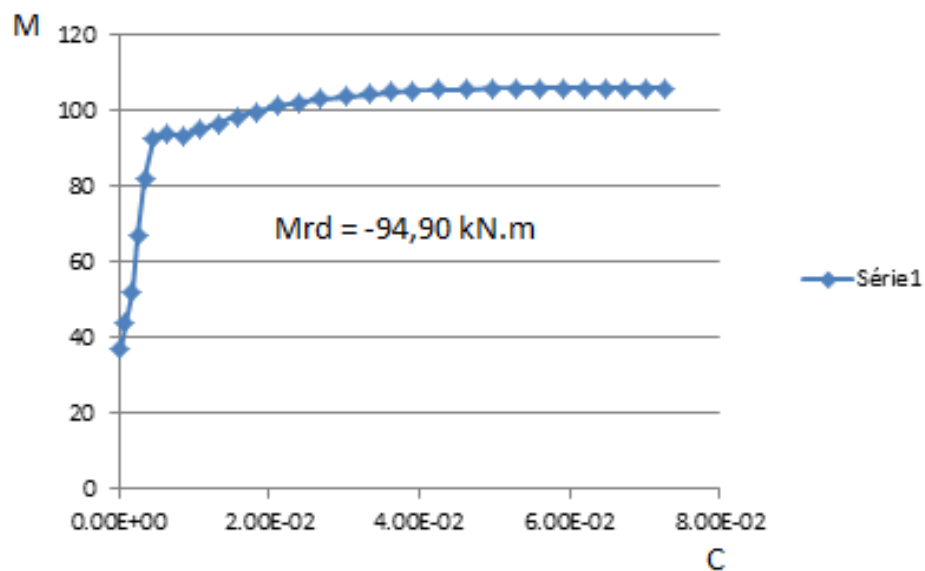
Topo: 2 Ø 12 mm + 2 Ø 8 mm (KO!)

Base: 2 Ø 12 mm



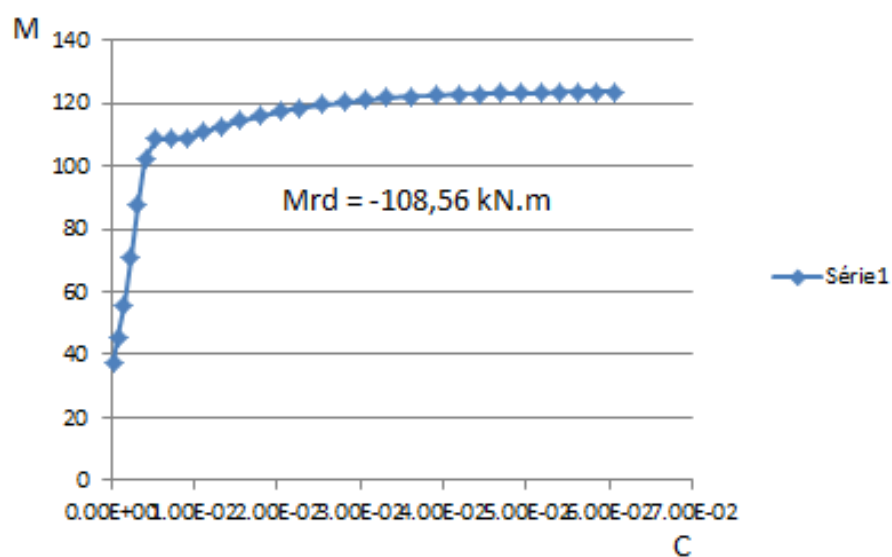
Topo: 2 Ø 12 mm + 2 Ø 10 mm (OK!)

Base: 2 Ø 12 mm



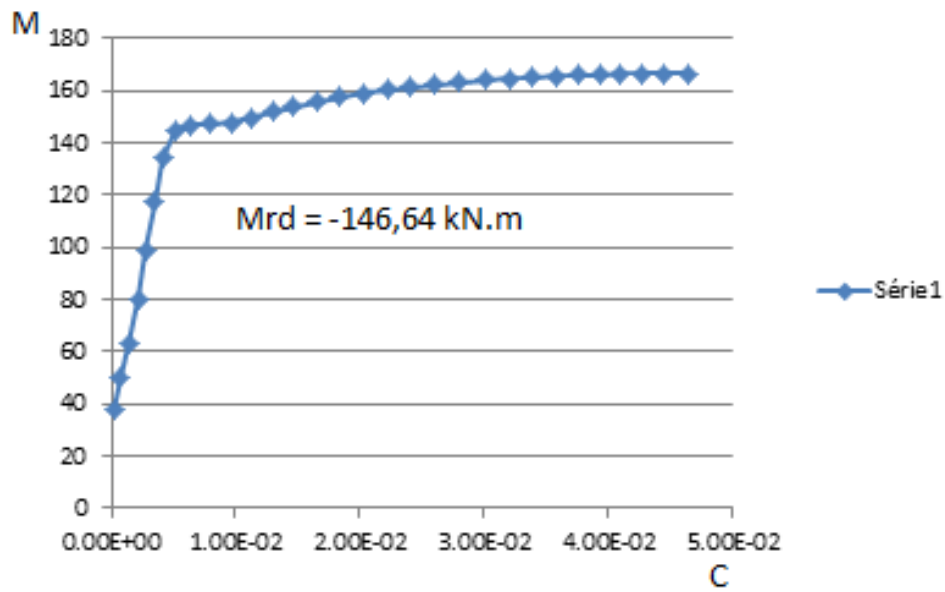
Topo: 2 Ø 12 mm + 2 Ø 12 mm (KO!)

Base: 2 Ø 12 mm



Topo: 2 Ø 12 mm + 2 Ø 16 mm (OK!)

Base: 2 Ø 12 mm



ANEXO VI – DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS NAS VIGAS

Pórtico	Viga	Armadura mínima			Armadura máxima	Armadura existente		Verificação	
		$A_{s,mín} (cm^2)$			$A_{s,máx} (cm^2)$	Vão (cm^2)	Apoio (cm^2)	Vão	Apoio
1-1'	R/C	7.84	6.03	7.84	196.00	9.56	10.56	OK!	OK!
	Piso 1	1.68	1.29	1.68	42.00	2.26	6.28	OK!	OK!
	Piso 2	1.68	1.29	1.68	42.00	2.26	6.28	OK!	OK!
	Cobertura	0.92	0.71	0.92	24.00	1.57	3.14	OK!	OK!
2-2'	R/C	7.84	6.03	7.84	196.00	9.56	10.56	OK!	OK!
	Piso 1	1.68	1.29	1.68	42.00	3.27	6.28	OK!	OK!
	Piso 2	1.68	1.29	1.68	42.00	3.83	8.04	OK!	OK!
	Cobertura	0.92	0.71	0.92	24.00	2.26	4.52	OK!	OK!
3-3'	R/C	7.84	6.03	7.84	196.00	8.55	8.55	OK!	OK!
	Piso 1	1.80	1.38	1.80	50.00	7.92	6.88	OK!	OK!
	Piso 2	1.23	0.95	1.23	32.00	2.36	1.57	OK!	OK!
4-4'	R/C	10.08	7.76	10.08	252.00	12.06	12.06	OK!	OK!
	Piso 1	0.53	0.41	0.53	15.00	4.02	5.59	OK!	OK!
	Piso 2	0.53	0.41	0.53	15.00	4.02	6.28	OK!	OK!
	Cobertura	0.54	0.42	0.54	15.00	2.26	3.83	OK!	OK!
5-5'	R/C	10.08	7.76	10.08	252.00	19.63	34.36	OK!	OK!
	Piso 1	0.53	0.41	0.53	15.00	4.02	5.59	OK!	OK!
	Piso 2	0.53	0.41	0.53	15.00	4.02	5.03	OK!	OK!
	Cobertura	0.54	0.42	0.54	15.00	2.26	3.83	OK!	OK!
6-6'	R/C	7.84	6.03	7.84	196.00	8.55	8.55	OK!	OK!
	Piso 1	1.81	1.39	1.81	50.00	5.50	5.50	OK!	OK!
	Piso 2	1.81	1.39	1.81	50.00	5.50	4.65	OK!	OK!

Nota₁: Assinalado a negrito encontra-se a verificação das disposições construtivas da viga do pórtico 1-1' do piso 1.

ANEXO VII – DIMENSIONAMENTO AO ESFORÇO TRANSVERSO

Propriedades geométricas das vigas:

Pórtico	Piso	Geometria		d (m)
1-1' e 2-2'	Piso 1 e 2	b	0.15	0.66
		h	0.70	
	Fundação	b	0.70	0.66
h	0.70			
3-3'	Fundação	b	0.70	0.66
		h	0.70	
	Piso 1	b	0.50	0.21
h	0.25			
4-4'	Fundação	b	0.90	0.66
		h	0.70	
	Pisos 1 e 2	b	0.15	0.21
h	0.25			
5-5'	Fundação	b	0.90	0.66
		h	0.70	
	Pisos 1 e 2	b	0.15	0.21
h	0.25			
6-6'	Fundação	b	0.70	0.66
		h	0.70	
	Pisos 1 e 2	b	0.50	0.21
h	0.25			

Propriedades dos materiais:

Betão	
Classe	C25/30
f_{ck} [mPa]	25
f_{cd} [kPa]	16666.67
f_{ctm} [mPa]	2.6
Aço	
Classe	A400
f_{yk} [mPa]	400
f_{yd} [kPa]	347826.09

Verificação do esforço transversal resistente máximo:

Pórtico	Viga	$V_{Rd,max}$									
		α_{cw}	b_w	d	z	v_l	$\cot(\theta)$	$\tan(\theta)$	$V_{Rd,max}$	V_{ed}	Verificação
1-1'	R/C	1.00	0.70	0.66	0.60	0.54	2.50	0.40	1296.28	268.70	OK!
	Piso 1	1.00	0.15	0.66	0.60	0.54	2.50	0.40	277.77	110.00	OK!
	Piso 2	1.00	0.15	0.66	0.60	0.54	2.50	0.40	277.77	127.90	OK!
	Cobertura	1.00	0.15	0.36	0.33	0.54	2.50	0.40	152.50	43.50	OK!
2-2'	R/C	1.00	0.70	0.66	0.60	0.54	2.50	0.40	1296.28	341.50	OK!
	Piso 1	1.00	0.15	0.66	0.60	0.54	2.50	0.40	277.77	130.30	OK!
	Piso 2	1.00	0.15	0.66	0.60	0.54	2.50	0.40	277.77	154.50	OK!
	Cobertura	1.00	0.15	0.36	0.33	0.54	2.50	0.40	152.50	53.70	OK!
3-3'	R/C	1.00	0.70	0.66	0.60	0.54	2.50	0.40	1296.28	110.60	OK!
	Piso 1	1.00	0.50	0.21	0.19	0.54	2.50	0.40	297.47	73.70	OK!
	Piso 2	1.00	0.20	0.36	0.33	0.54	2.50	0.40	203.34	34.10	OK!
4-4'	R/C	1.00	0.90	0.66	0.60	0.54	2.50	0.40	1666.64	117.40	OK!
	Piso 1	1.00	0.15	0.21	0.19	0.54	2.50	0.40	88.40	35.40	OK!
	Piso 2	1.00	0.15	0.21	0.19	0.54	2.50	0.40	88.40	39.30	OK!
	Cobertura	1.00	0.15	0.21	0.19	0.54	2.50	0.40	89.24	18.40	OK!
5-5'	R/C	1.00	0.90	0.66	0.60	0.54	2.50	0.40	1666.64	513.10	OK!
	Piso 1	1.00	0.15	0.21	0.19	0.54	2.50	0.40	88.40	27.20	OK!
	Piso 2	1.00	0.15	0.21	0.19	0.54	2.50	0.40	88.40	28.30	OK!
	Cobertura	1.00	0.15	0.21	0.19	0.54	2.50	0.40	89.24	16.30	OK!
6-6'	R/C	1.00	0.70	0.66	0.60	0.54	2.50	0.40	1296.28	104.00	OK!
	Piso 1	1.00	0.50	0.21	0.19	0.54	2.50	0.40	298.86	51.10	OK!
	Piso 2	1.00	0.50	0.21	0.19	0.54	2.50	0.40	298.86	45.90	OK!

Dimensionamento da armadura de esforço transverso das vigas:

Pórtico	Viga	Apoio	V_{ed}		Área de Armadura (m ²)	Armadura mínima		Espaçamento máximo			Espaçamento devido a $V_{Rd,s}$		Adotar	
			L/4	L/2	Ø 6	α	$\frac{A_{sw_{min}}}{s}$ (cm ² /m)	Devido $A_{sw_{min}}$	$S_{l,máx}$	$S_{máx}$	L/4	L/2	L/4	L/2
1-1'	R/C	1	190.80	140.40	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.31	0.42	Ø 6 // 0,3	Ø 6 // 0,3
		2	255.50	140.90	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.23	0.42	Ø 6 // 0,2	Ø 6 // 0,3
		3	268.70	157.30	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.22	0.37	Ø 6 // 0,2	Ø 6 // 0,3
		4	219.00	126.50	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.27	0.46	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,3
	Piso 1	1	74.60	57.90	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.40	0.51	Ø 6 // 0,35	Ø 6 // 0,35
		2	101.60	50.00	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.29	0.59	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,35
		3	110.00	50.30	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.27	0.59	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,35
		4	85.10	60.20	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.35	0.49	Ø 6 // 0,35	Ø 6 // 0,35
	Piso 2	1	75.60	70.40	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.39	0.42	Ø 6 // 0,35	Ø 6 // 0,35
		2	116.00	56.50	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.25	0.52	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,35
		3	127.90	56.80	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.23	0.52	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,35
		4	85.30	76.40	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.35	0.39	Ø 6 // 0,35	Ø 6 // 0,35
	Cob.	1	34.00	22.60	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.27	0.27	0.48	0.72	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
		2	39.30	22.50	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.27	0.27	0.41	0.72	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
		3	43.50	22.50	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.27	0.27	0.37	0.72	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
		4	38.30	22.90	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.27	0.27	0.42	0.71	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25

Nota₁: Assinalado a negrito encontram-se o resultado do dimensionamento da viga do pórtico 1-1' do piso 1 indicado no subcapítulo 3.2.4 – Pág. 66.

Nota₂: A numeração dos apoios é feita da esquerda para a direita.

2-2'	R/C	1	182.30	149.60	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.32	0.39	Ø 6 // 0,3	Ø 6 // 0,3
		2	265.70	125.30	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.22	0.47	Ø 6 // 0,2	Ø 6 // 0,3
		3	341.50	157.30	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.17	0.37	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,3
		4	273.30	182.50	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.21	0.32	Ø 6 // 0,2	Ø 6 // 0,3
	Piso 1	1	72.60	56.90	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.41	0.52	Ø 6 // 0,35	Ø 6 // 0,35
		2	98.10	48.70	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.30	0.61	Ø 6 // 0,3	Ø 6 // 0,35
		3	130.30	54.50	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.23	0.54	Ø 6 // 0,2	Ø 6 // 0,35
		4	108.50	71.70	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.27	0.41	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,35
	Piso 2	1	72.70	68.80	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.41	0.43	Ø 6 // 0,35	Ø 6 // 0,35
		2	112.10	53.70	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.26	0.55	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,35
		3	154.50	59.10	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.19	0.50	Ø 6 // 0,2	Ø 6 // 0,35
		4	108.50	89.90	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.50	0.38	0.27	0.33	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,3
	Cob.	1	32.60	22.80	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.27	0.27	0.50	0.71	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
		2	37.90	22.60	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.27	0.27	0.43	0.72	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
		3	53.70	28.50	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.27	0.27	0.30	0.57	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
		4	47.30	20.30	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.27	0.27	0.34	0.80	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25

3-3'	R/C	1	110.60	65.60	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.53	0.89	Ø 6 // 0,3	Ø 6 // 0,3
		2	110.60	65.60	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.53	0.89	Ø 6 // 0,3	Ø 6 // 0,3
	Piso 1	1	73.70	36.90	0.00006	90.00	5.00	0.11	0.16	0.11	0.13	0.26	Ø 6 // 0,1	Ø 6 // 0,1
		2	73.70	36.90	0.00006	90.00	5.00	0.11	0.16	0.11	0.13	0.26	Ø 6 // 0,1	Ø 6 // 0,1
	Piso 2	1	34.10	17.10	0.00006	90.00	2.00	0.29	0.27	0.27	0.48	0.95	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
		2	34.10	17.10	0.00006	90.00	2.00	0.29	0.27	0.27	0.48	0.95	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
4-4'	R/C	1	107.30	100.20	0.00011	90.00	4.50	0.25	0.50	0.25	0.55	0.59	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
		2	117.40	67.70	0.00011	90.00	4.50	0.25	0.50	0.25	0.50	0.87	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
	Piso 1	1	32.40	15.70	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.29	0.60	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
		2	35.40	19.00	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.27	0.50	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
	Piso 2	1	37.00	18.10	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.25	0.52	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
		2	39.30	20.60	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.24	0.46	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
	Cob.	1	16.60	7.80	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.57	1.22	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
		2	18.40	9.80	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.52	0.97	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
5-5'	R/C	1	82.30	126.20	0.00011	90.00	4.50	0.25	0.50	0.25	0.71	0.46	Ø 6 // 0,25	Ø 6 // 0,25
		2	303.10	305.40	0.00011	90.00	4.50	0.25	0.50	0.25	0.19	0.19	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
		3	513.10	382.80	0.00011	90.00	4.50	0.25	0.50	0.25	0.11	0.15	Ø 6 // 0,1	Ø 6 // 0,15
	Piso 1	1	23.10	10.40	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.41	0.91	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
		2	27.20	19.80	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.35	0.48	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
	Piso 2	1	26.20	12.00	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.36	0.78	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
		2	28.30	15.00	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.33	0.63	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
	Cob.	1	11.60	5.30	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.82	1.79	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15
2		16.30	12.10	0.00006	90.00	1.50	0.38	0.16	0.16	0.58	0.79	Ø 6 // 0,15	Ø 6 // 0,15	
6-6'	R/C	1	102.80	64.20	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.57	0.91	Ø 6 // 0,3	Ø 6 // 0,3
		2	104.00	61.80	0.00011	90.00	3.50	0.32	0.50	0.32	0.56	0.95	Ø 6 // 0,3	Ø 6 // 0,3
	Piso 1	1	51.10	25.20	0.00006	90.00	5.00	0.11	0.16	0.11	0.19	0.38	Ø 6 // 0,1	Ø 6 // 0,1
		2	51.10	25.20	0.00006	90.00	5.00	0.11	0.16	0.11	0.19	0.38	Ø 6 // 0,1	Ø 6 // 0,1
	Piso 2	1	45.90	22.90	0.00006	90.00	5.00	0.11	0.16	0.11	0.21	0.42	Ø 6 // 0,1	Ø 6 // 0,1
		2	45.90	22.90	0.00006	90.00	5.00	0.11	0.16	0.11	0.21	0.42	Ø 6 // 0,1	Ø 6 // 0,1

ANEXO VIII – DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA VERTICAL DAS PAREDES

Propriedades geométricas das paredes:

Parede	Geometria		
	Comprimento (m)	Espessura (m)	
P1	0,7	0,15	
P2	0,7	0,15	
P3	1,0	0,15	
P4	1,0	0,15	
P5	0,7	0,15	
P6	0,7	0,15	
Z1	Z1.1	1,0	0,15
	Z1.2	1,1	0,15
Z2	Z2.1	1,0	0,15
	Z2.2	2,5	0,15

Nota₁: Os elementos Z1 e Z2 encontram-se divididos num elemento na direção y e numerado com 1 e um elemento na direção x numerado com 2.

Propriedades dos materiais:

Betão	
Classe	C25/30
f_{ck} [mPa]	25
f_{cd} [kPa]	16666.67
f_{ctm} [mPa]	2.6
Aço	
Classe	A400
f_{yk} [mPa]	400
f_{yd} [kPa]	347826.09

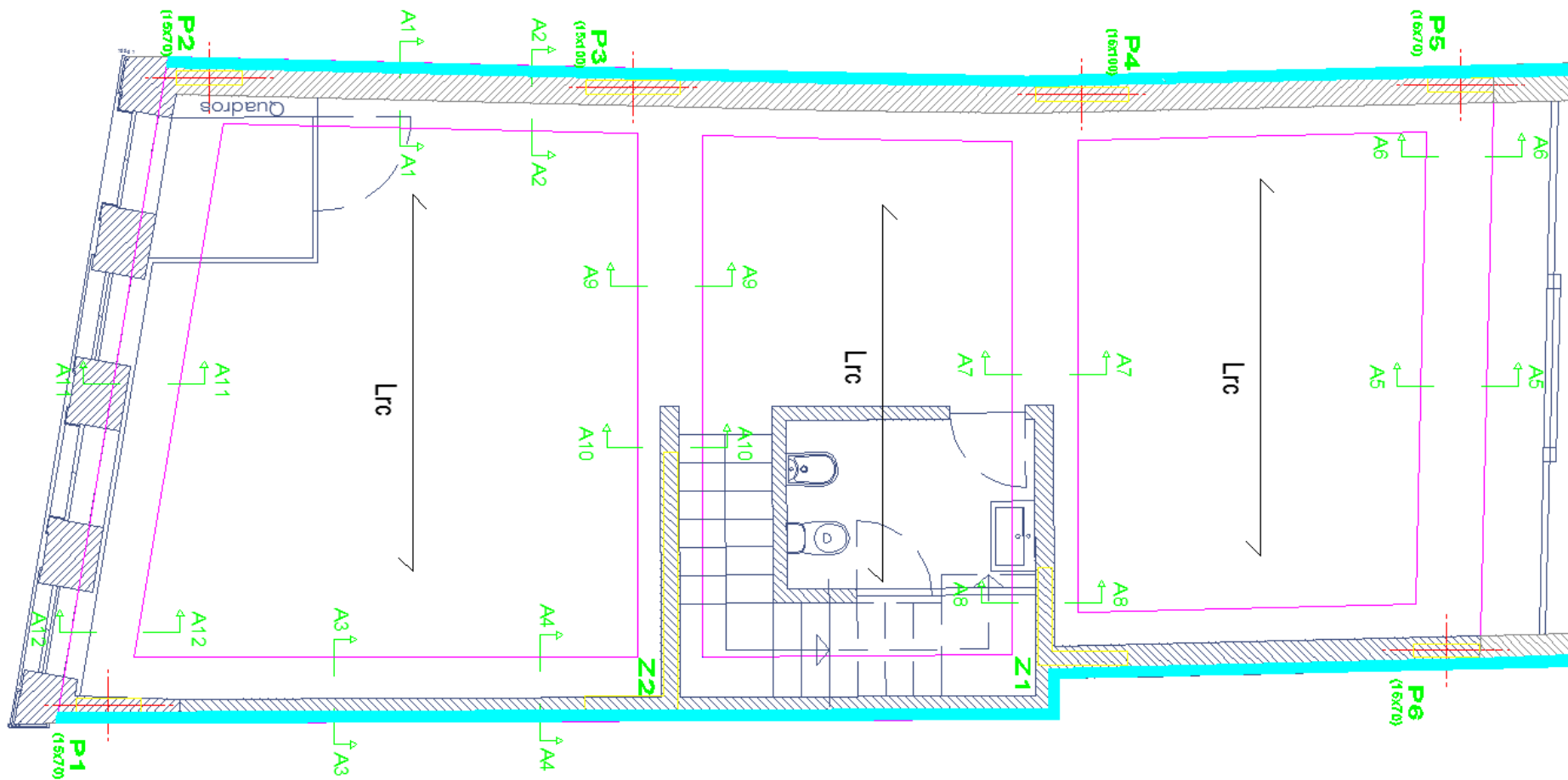
Resultado do dimensionamento das paredes:

Parede		Esforço Atuante			Armadura vertical adotada	Esforço Resistente			Verificação
		N_{ed} (kN)	M_{edx} (kN. m)	M_{edy} (kN. m)		N_{rd} (kN)	M_{rdx} (kN. m) (módulo)	M_{rdy} (kN. m) (módulo)	
P1		-398.30	88.40	30.70	Ø 12 // 0,1	-2222.30	134.90	31.22	OK!
P2		-340.00	57.50	-30.70	Ø 12 // 0,1	-2222.30	134.90	31.22	OK!
P3		-624.80	-149.60	-36.10	Ø 10 // 0,1	-3046.60	246.39	37.60	OK!
P4		-627.60	-154.90	-21.80	Ø 10 // 0,1	-3046.60	246.39	37.60	OK!
P5		-317.40	-60.30	-27.50	Ø 12 // 0,1	-2222.30	134.90	31.22	OK!
P6		-308.80	-61.00	-30.70	Ø 12 // 0,1	-2222.30	134.90	31.22	OK!
Z1	Z1.1	-512.30	-165.30	0.00	Ø 10 // 0,1	-3046.60	246.39	37.60	OK!
	Z1.2	-111.30	0.00	-304.60	Ø 10 // 0,1	-3296.60	36.31	306.90	OK!
Z2	Z2.1	-603.60	-220.50	0.00	Ø 10 // 0,1	-3046.60	246.39	37.60	OK!
	Z2.2	-430.70	0.00	-1325.30	Ø 10 // 0,1	-7507.20	83.24	1466.90	OK!

Nota₂: Assinalado a negrito encontra-se o resultado do dimensionamento da parede número 3 que foi alvo de análise no subcapítulo 3.2.5 – Pág. 71.

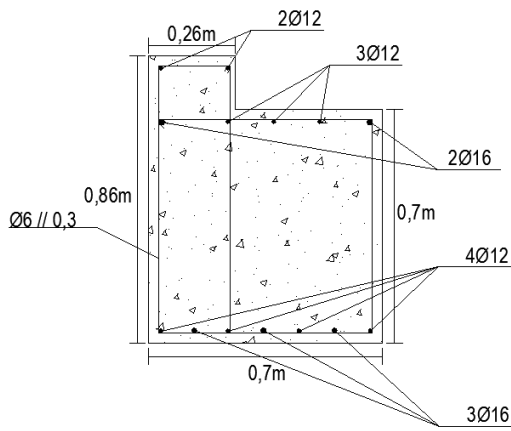
ANEXO IX – RESULTADO DO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Planta de rés-do-chão:

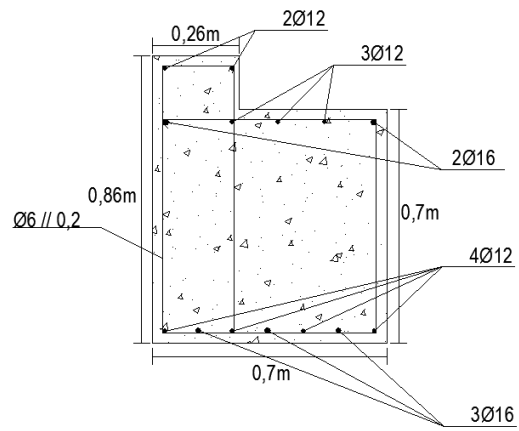


Cortes transversais nas vigas:

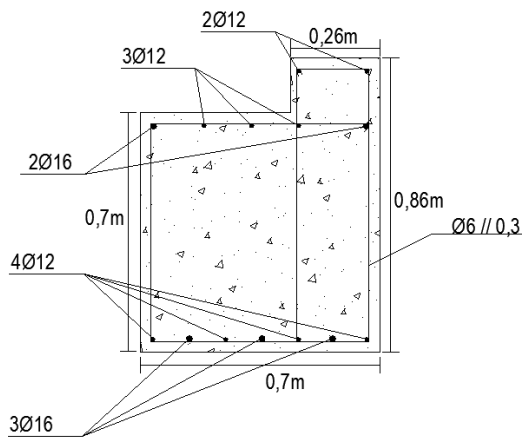
A1



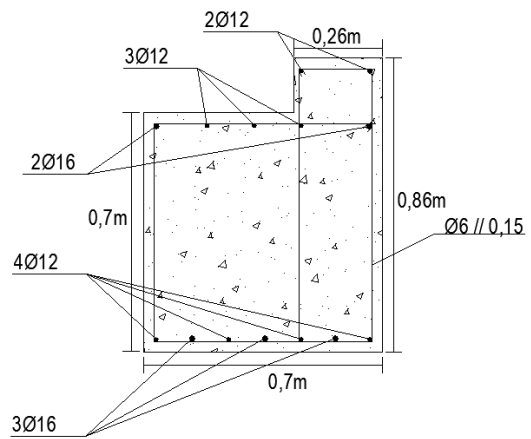
A2



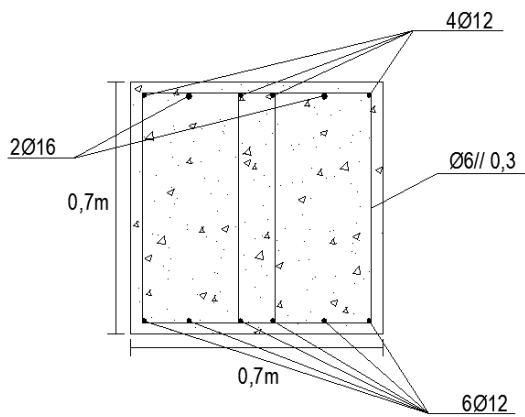
A3



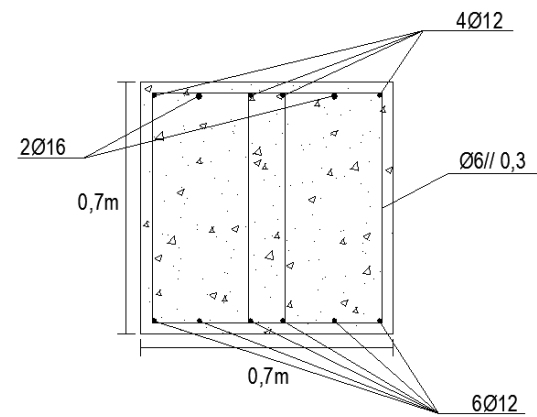
A4



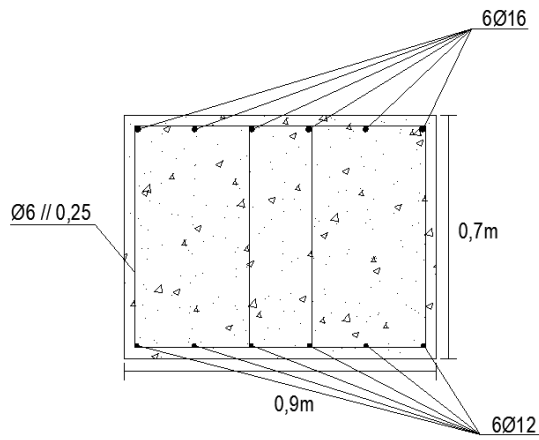
A5



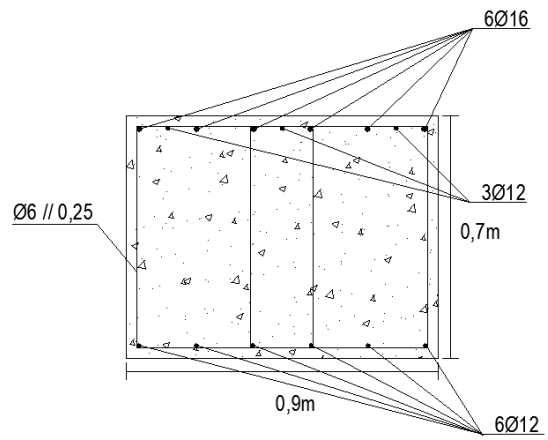
A6



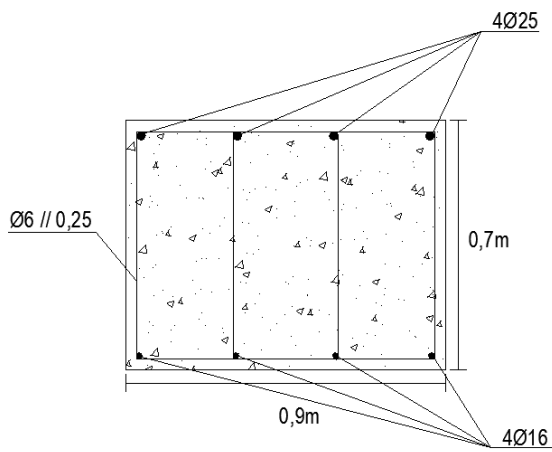
A7



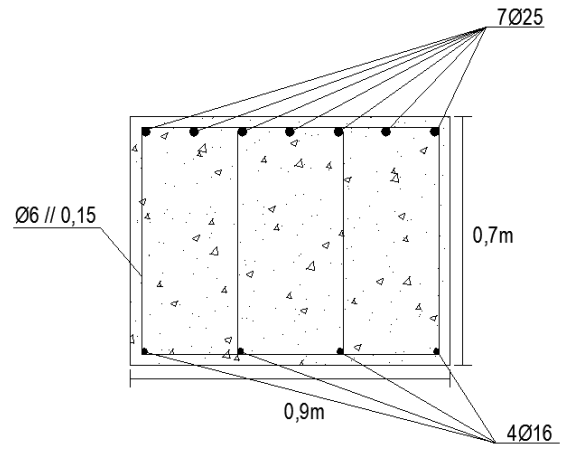
A8



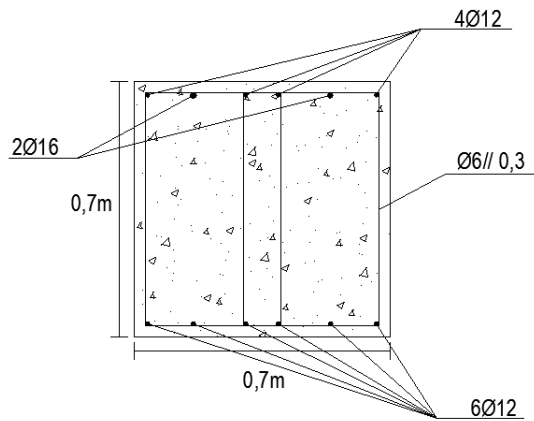
A9



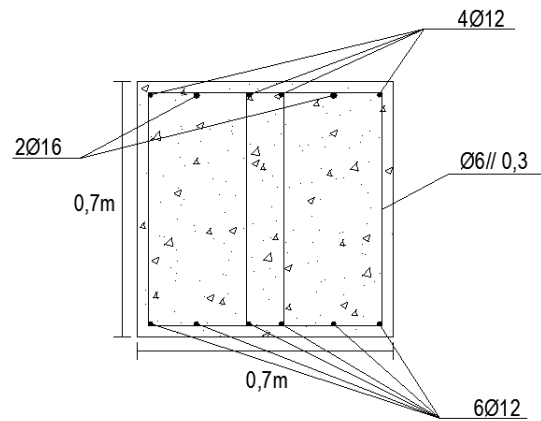
A10



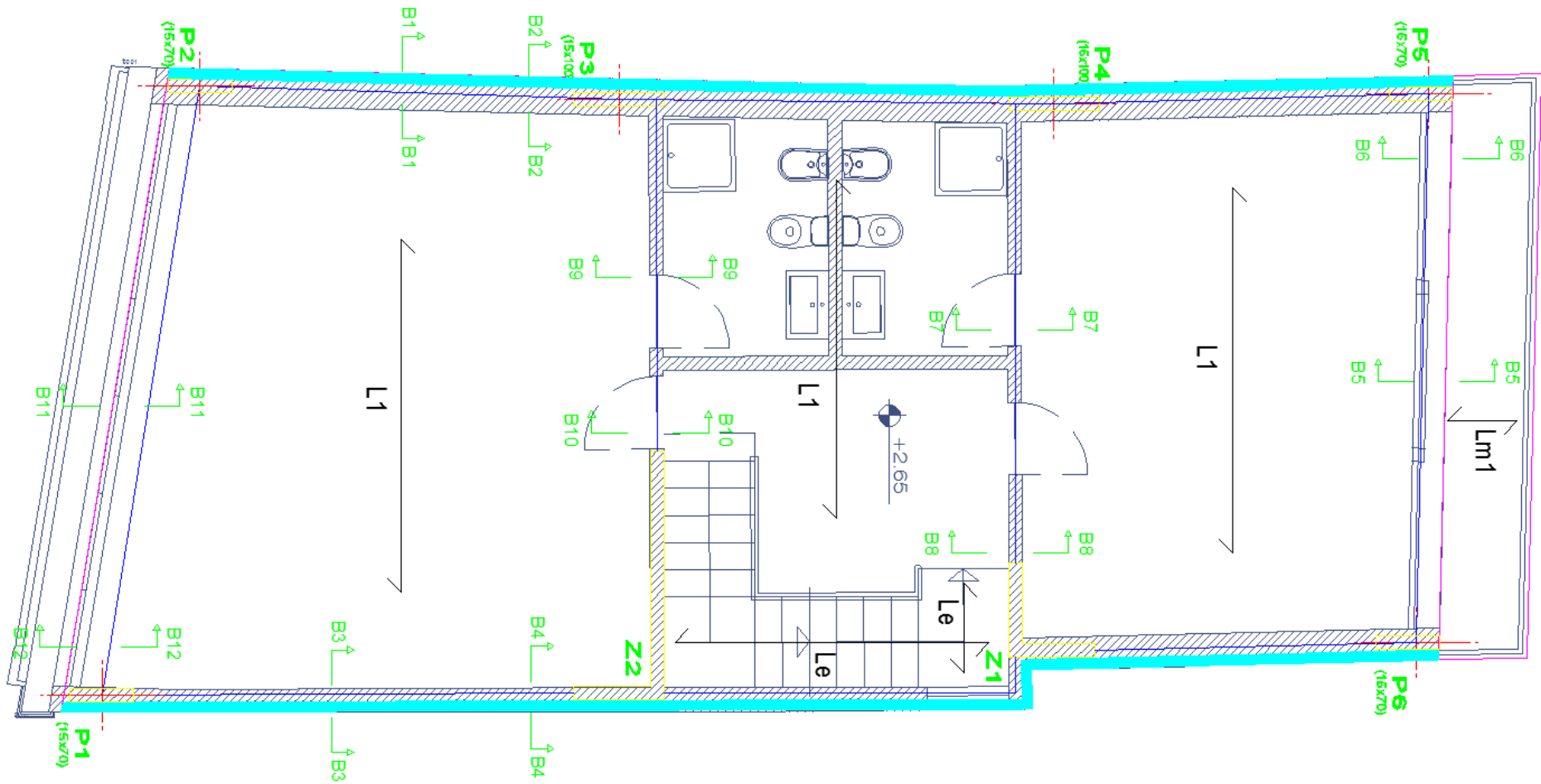
A11



A12

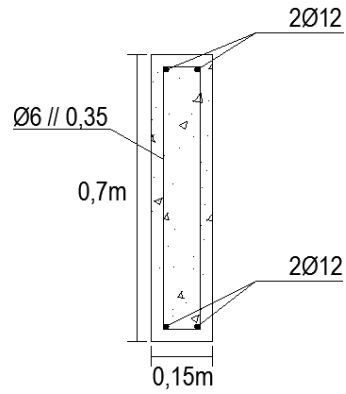


Planta de piso 1:

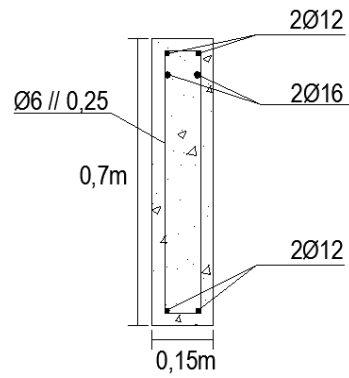


Cortes transversais nas vigas:

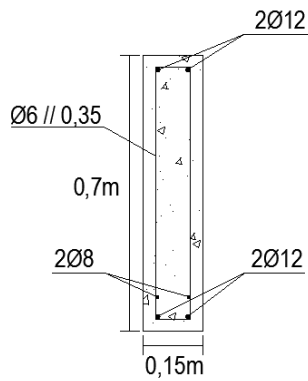
B1



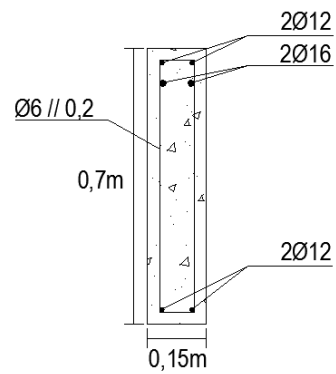
B2



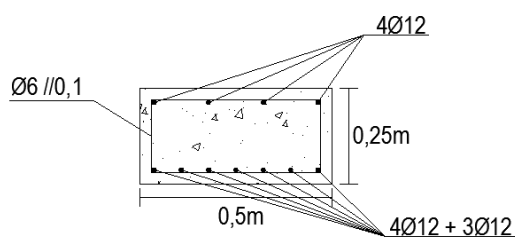
B3



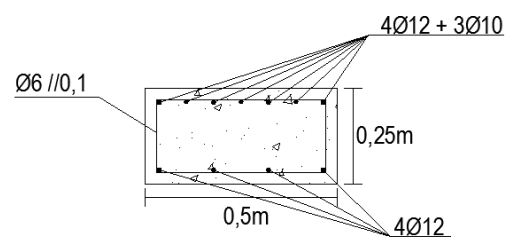
B4



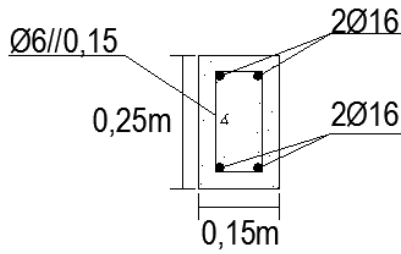
B5



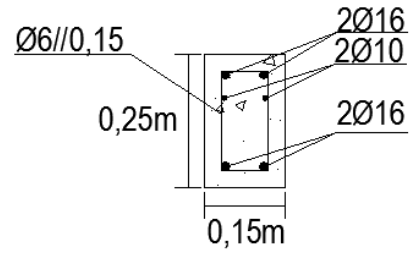
B6



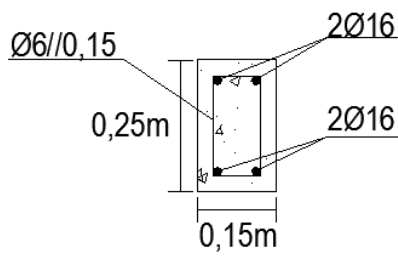
B7



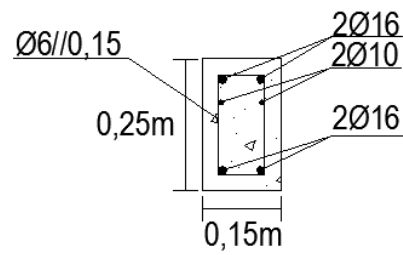
B8



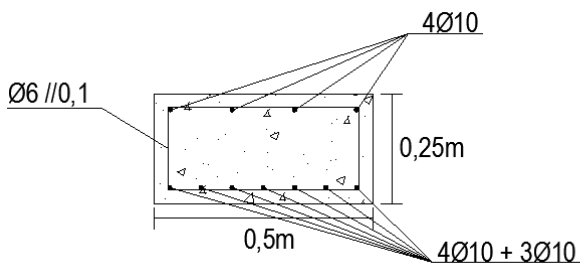
B9



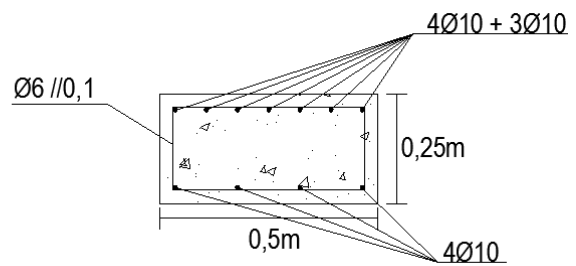
B10



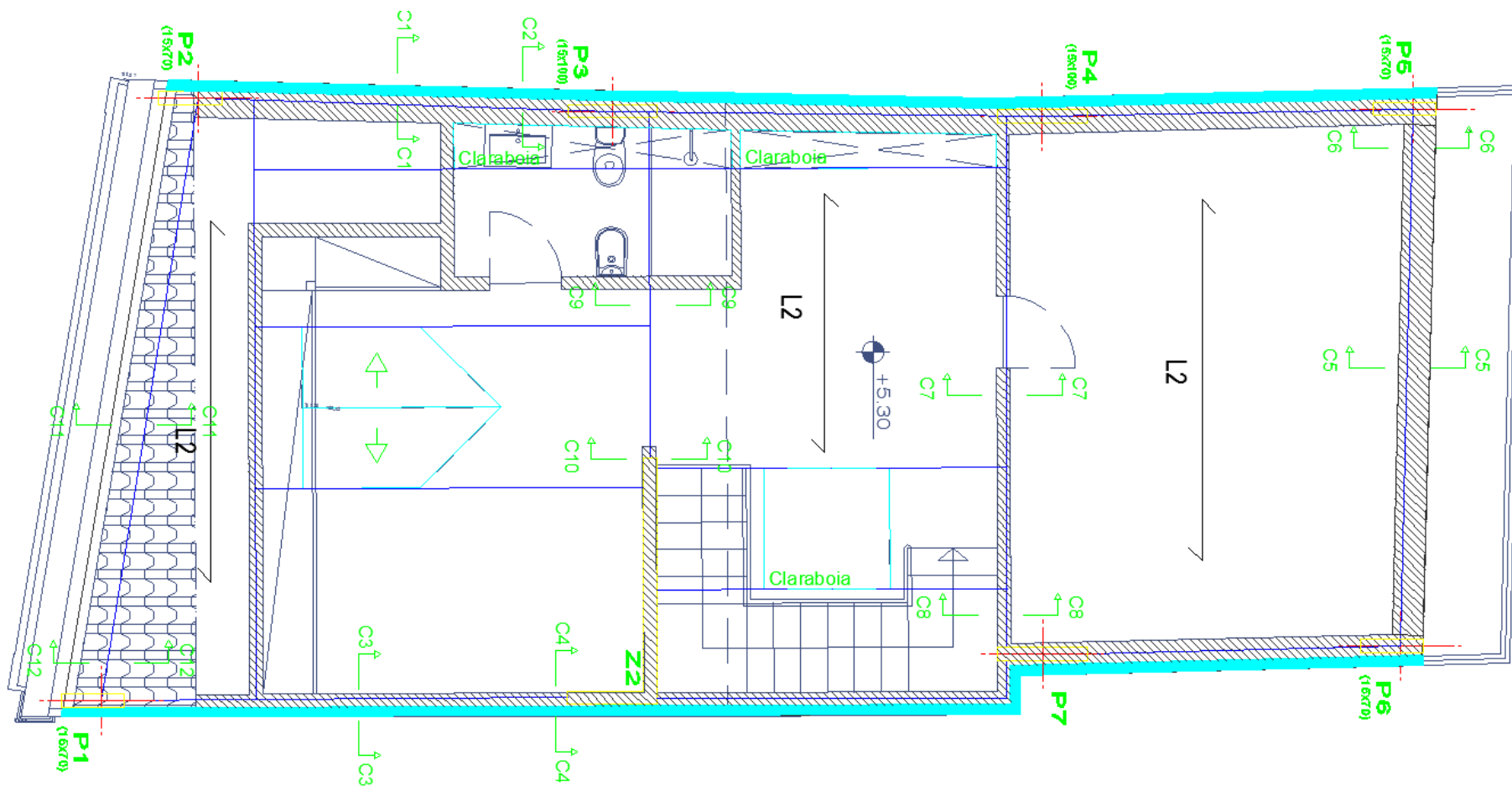
B11



B12

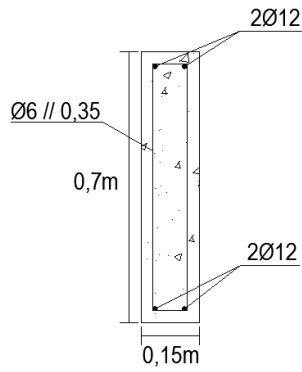


Planta de piso 2:

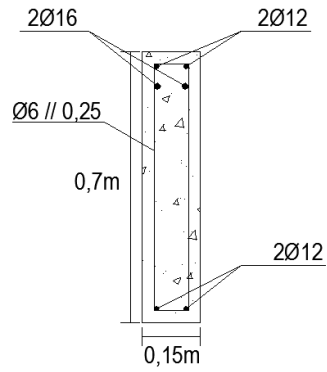


Cortes transversais nas vigas:

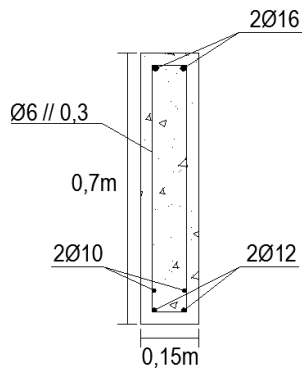
C1



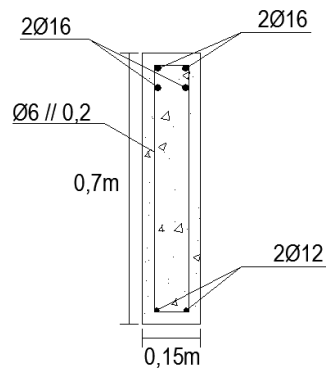
C2



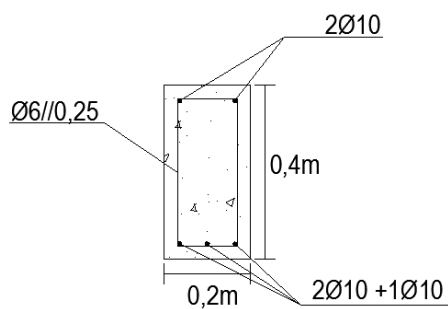
C3



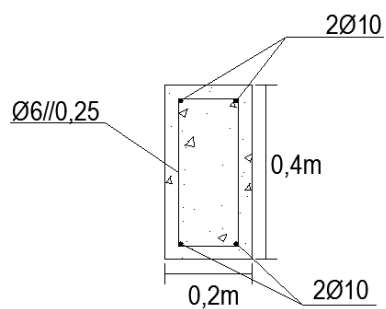
C4



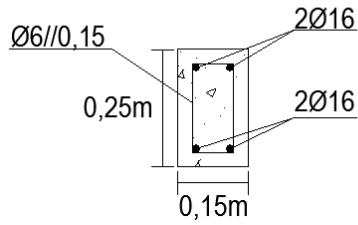
C5



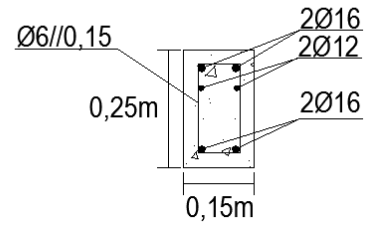
C6



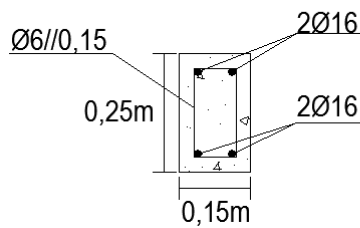
C7



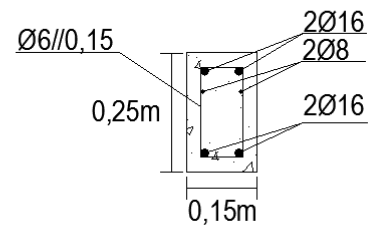
C8



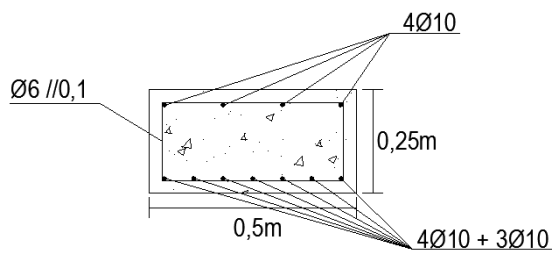
C9



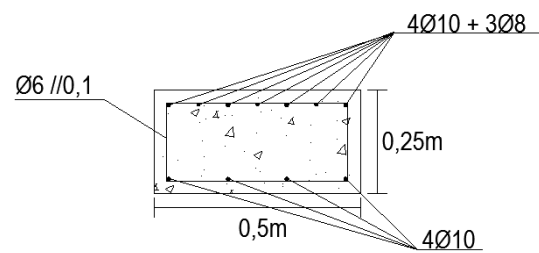
C10



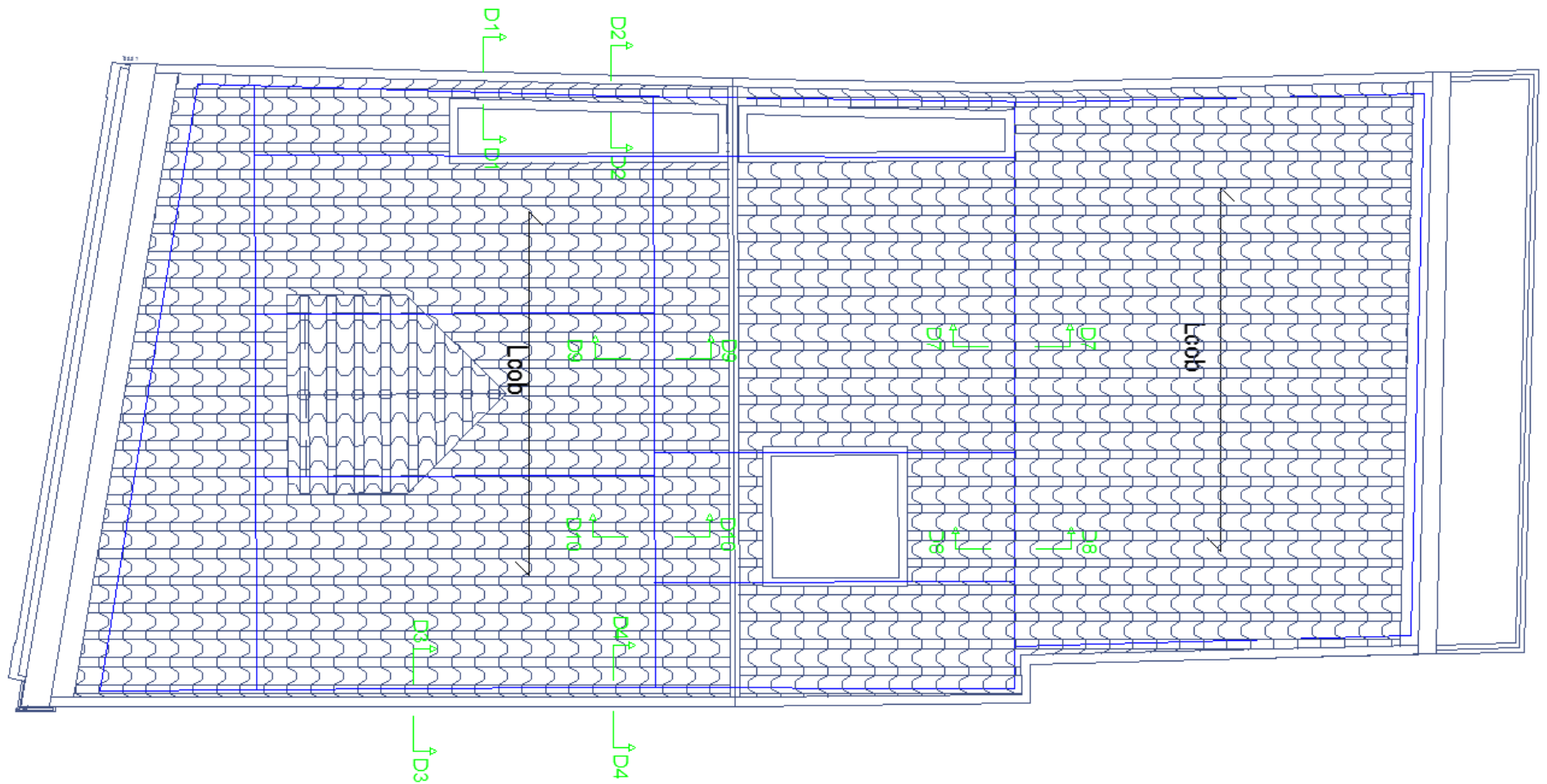
C11



C12

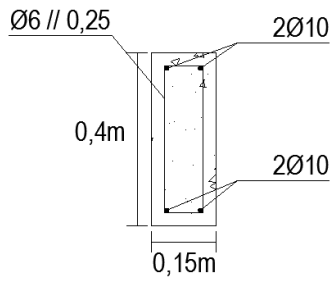


Planta de Cobertura:

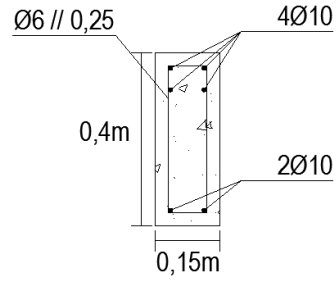


Cortes transversais nas vigas:

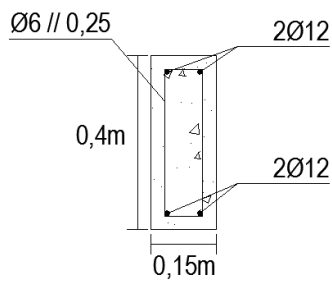
D1



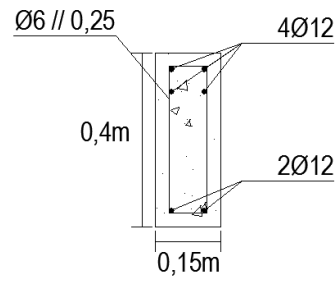
D2



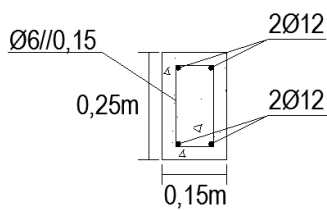
D3



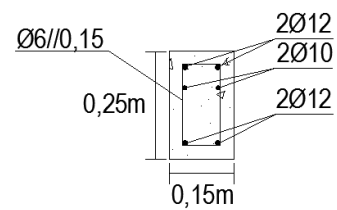
D4



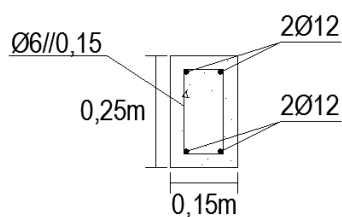
D7



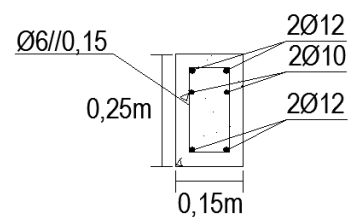
D8



D9

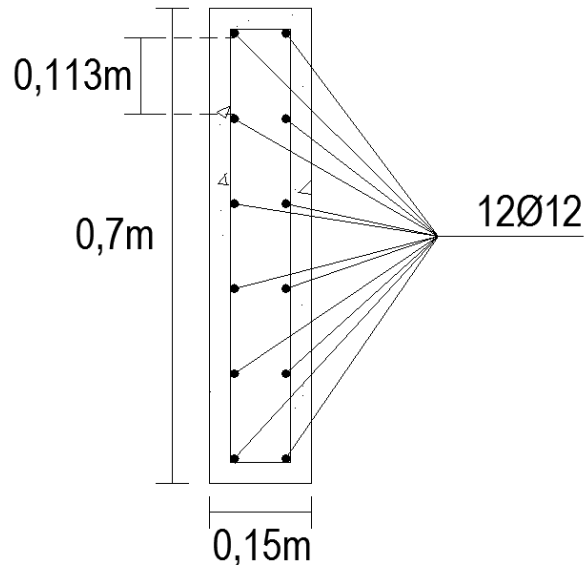


D10

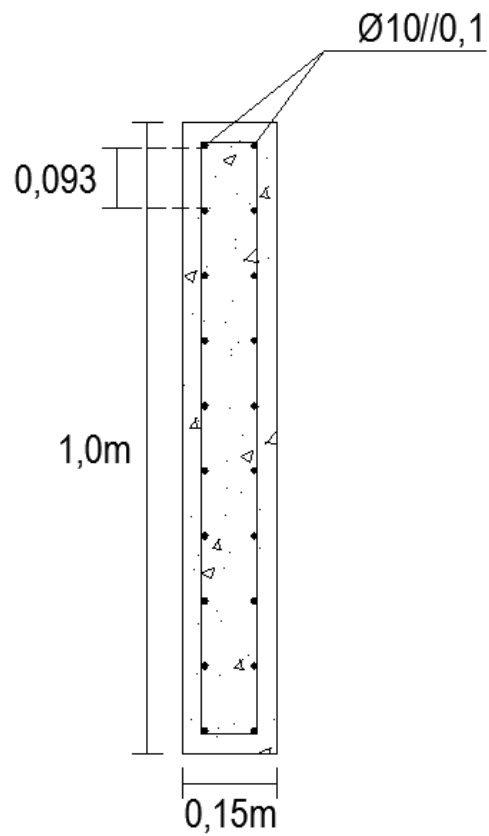


Representação das paredes

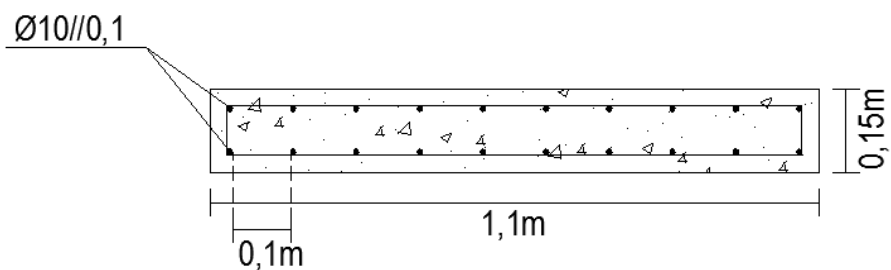
Corte transversal das paredes 1, 2, 5 e 6:



Corte transversal das paredes 3, 4, Z1.1 e Z2.1:



Corte transversal das paredes Z1.2:



Corte transversal das paredes Z2.2:

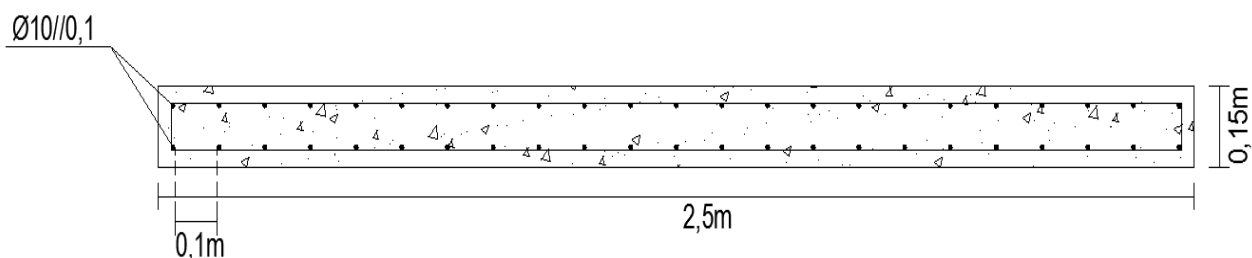


Tabela de espessuras das lajes

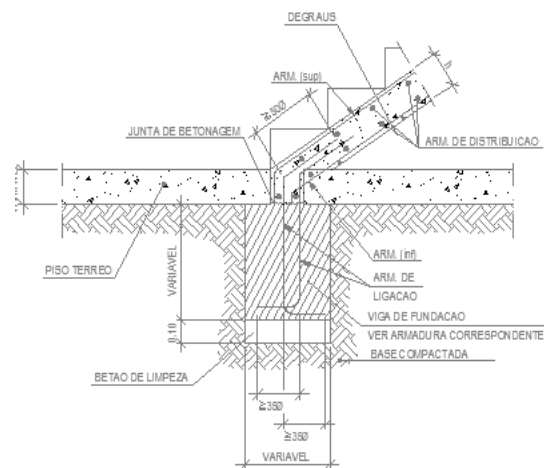
LAJE	ESPESSURA DA LAJE
Lrc	0,20 m (laje aligeirada)
L1	0,25 m (laje aligeirada)
L2	0,25 m (laje aligeirada)
Lcob	0,20 m (laje aligeirada)
Lm1	0,15 m (laje maciça)

Tabela de armadura da laje maciça

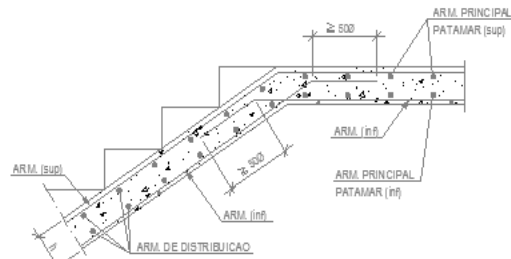
ARMADURA DA LAJE MACIÇA Lm1 (0,15m)	
ARM. LONG. SUP.	Ø10//0,25
ARM. TRANS. SUP.	Ø6//0,25
ARM. LONG. INF.	Ø6//0,25
ARM. TRANS. INF.	Ø6//0,25

Armadura das escadas

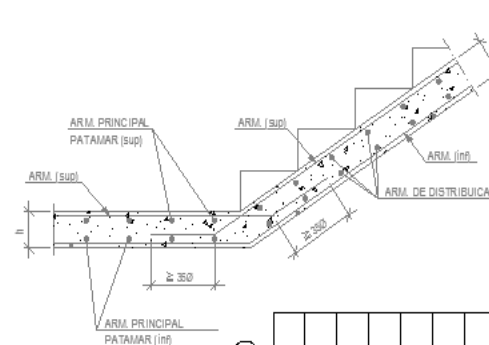
Arranque na Viga de Fundação - 1



Entrega do Lanco no Patamar - 2

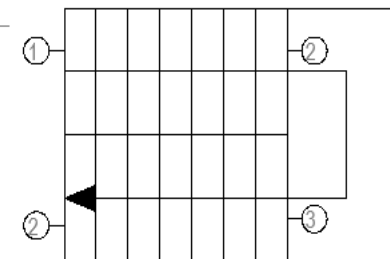


Arranque do Lanco no Patamar - 3



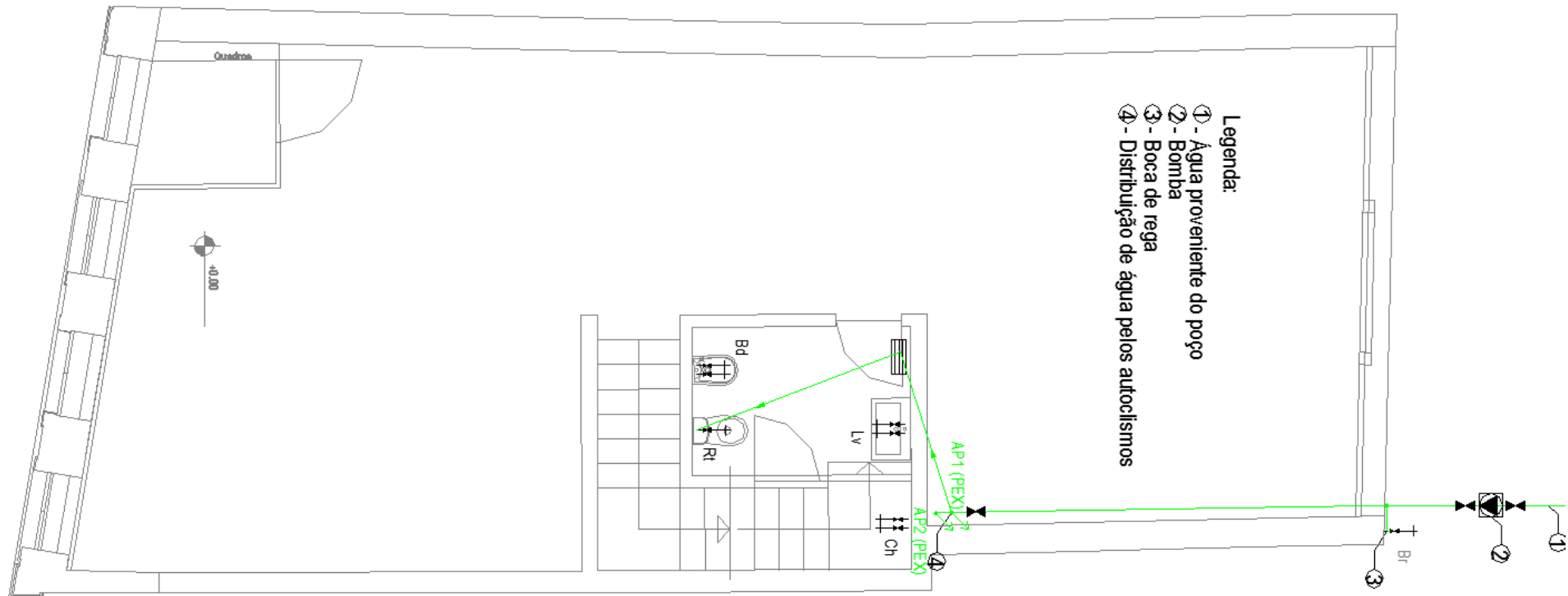
Quadro de Armaduras da Escada

ARMADURA LAJE DE ESCADA	
ARMADURA SUPERIOR	= 6Ø12 / m
LE ARMADURA INFERIOR	= 6Ø12 / m
ARMADURA DE DISTRIBUICAO	= 6Ø8 / m
ALTURA LAJE DE ESCADA	
ALTURA (h) =	0,15 m

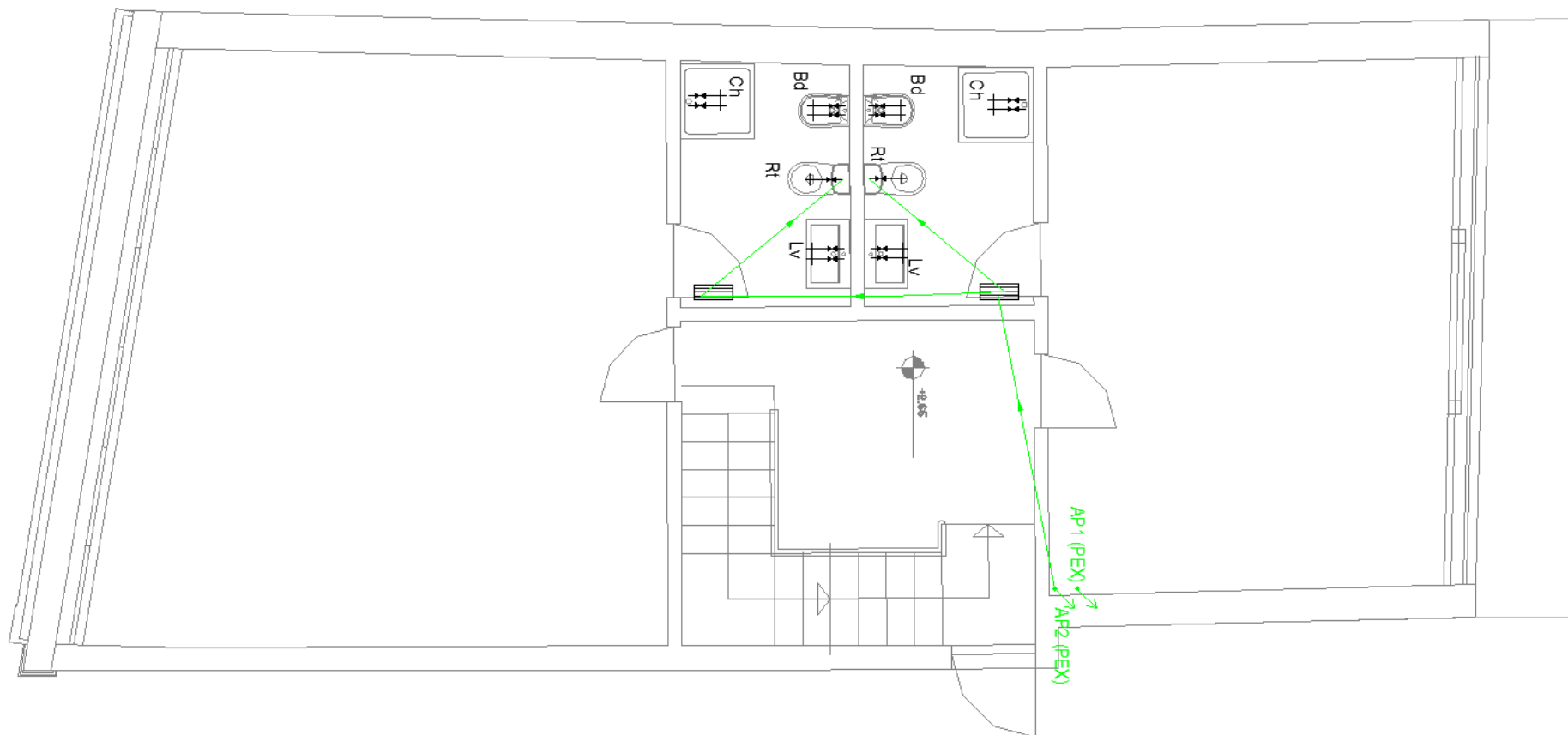


ANEXO X – SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DO POÇO

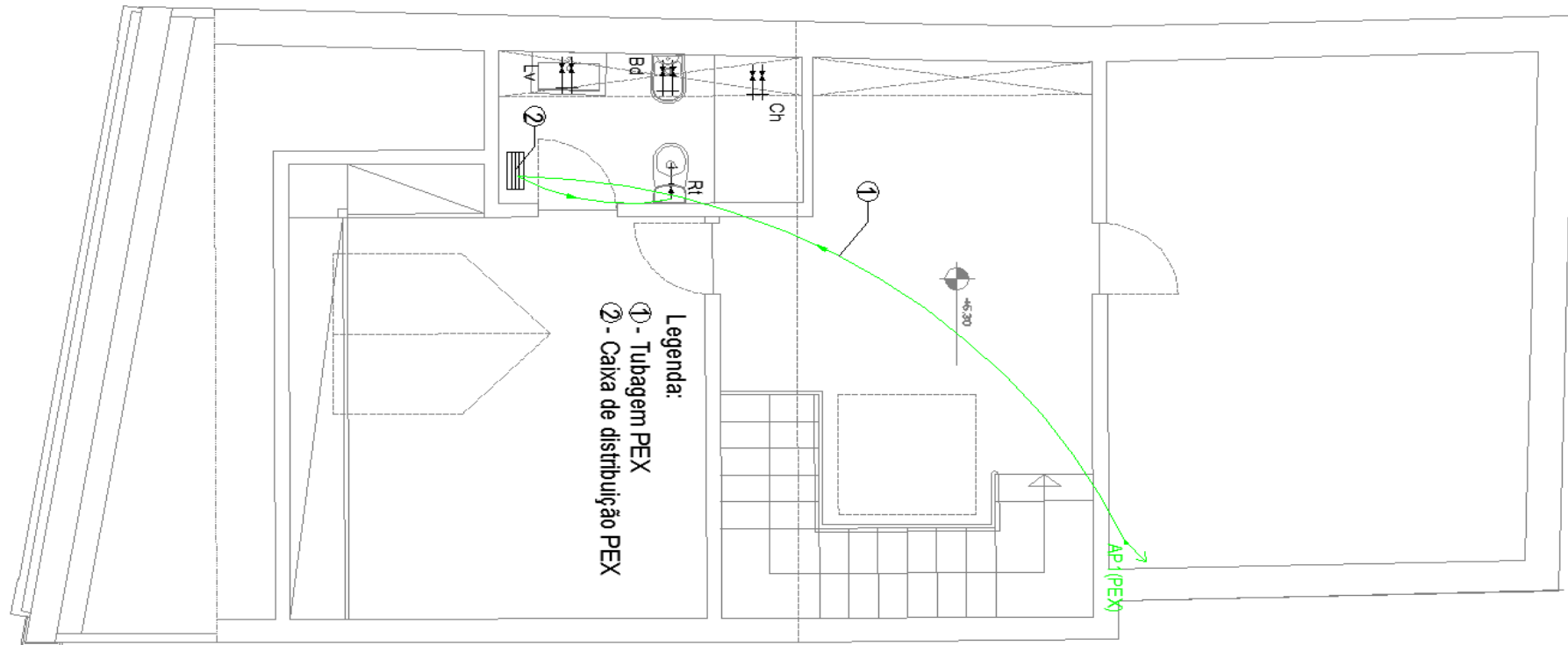
Planta de rés-do-chão:



Planta de piso 1:



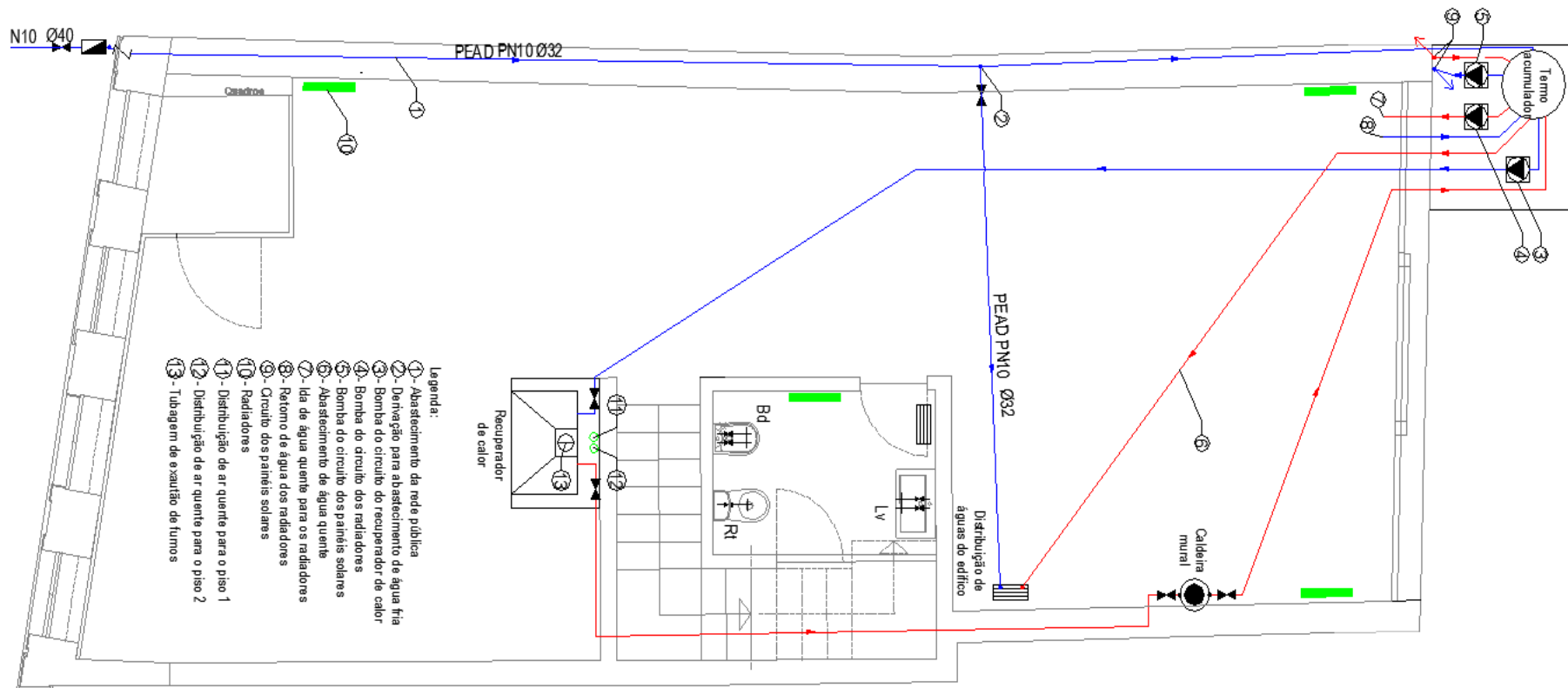
Planta de piso 2:



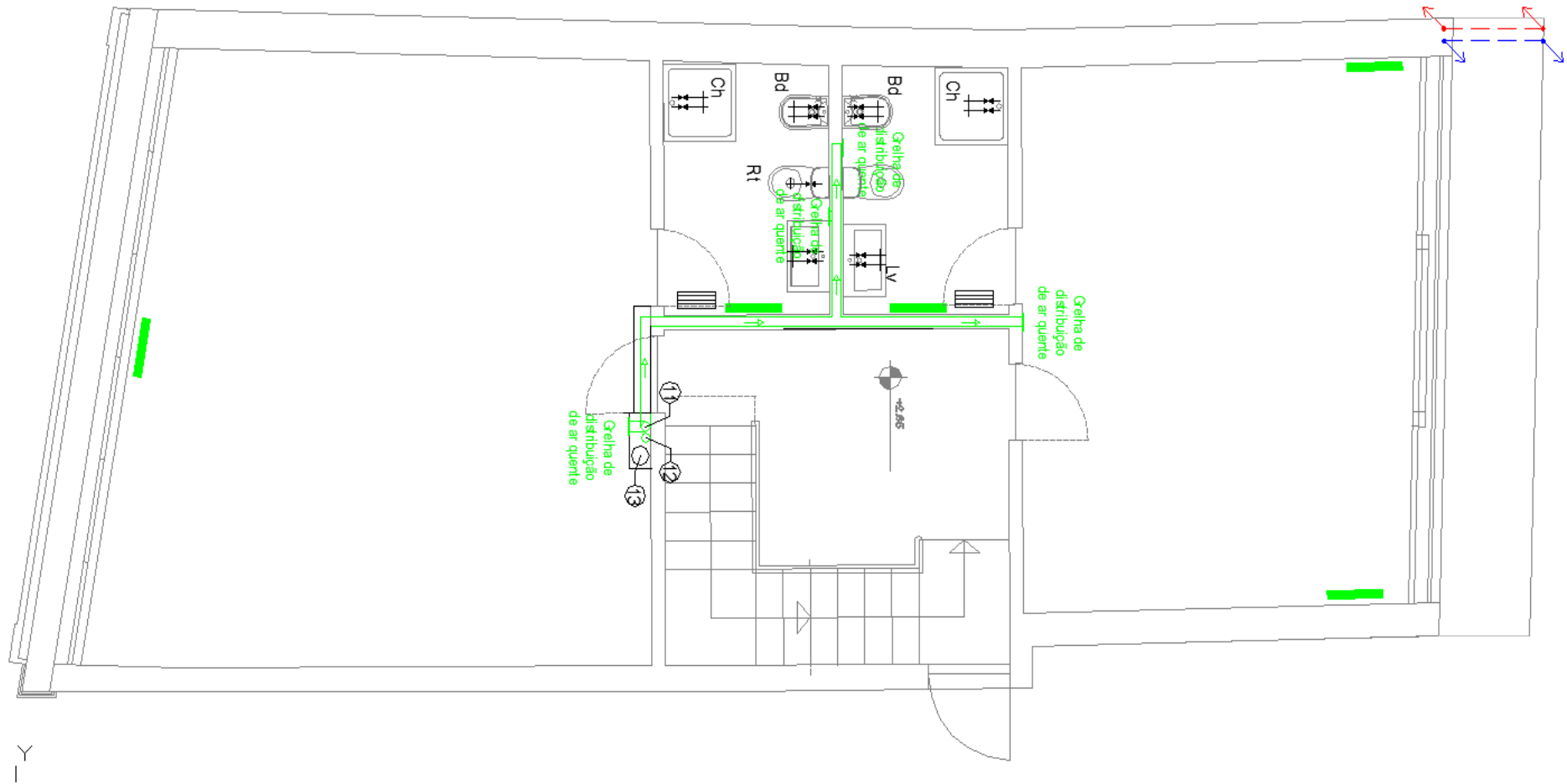
SÍMBOLO	LEGENDA
	Válvula de Seccionamento
	Caixa de distribuição em PEX
	Prumada ascendente com mudança de piso
	Débitos
Rt	Autoclismo de bacia de retrete
Br	Boca de rega ou lavagem

ANEXO XI – SISTEMA DE AQS E AQUECIMENTO CENTRAL

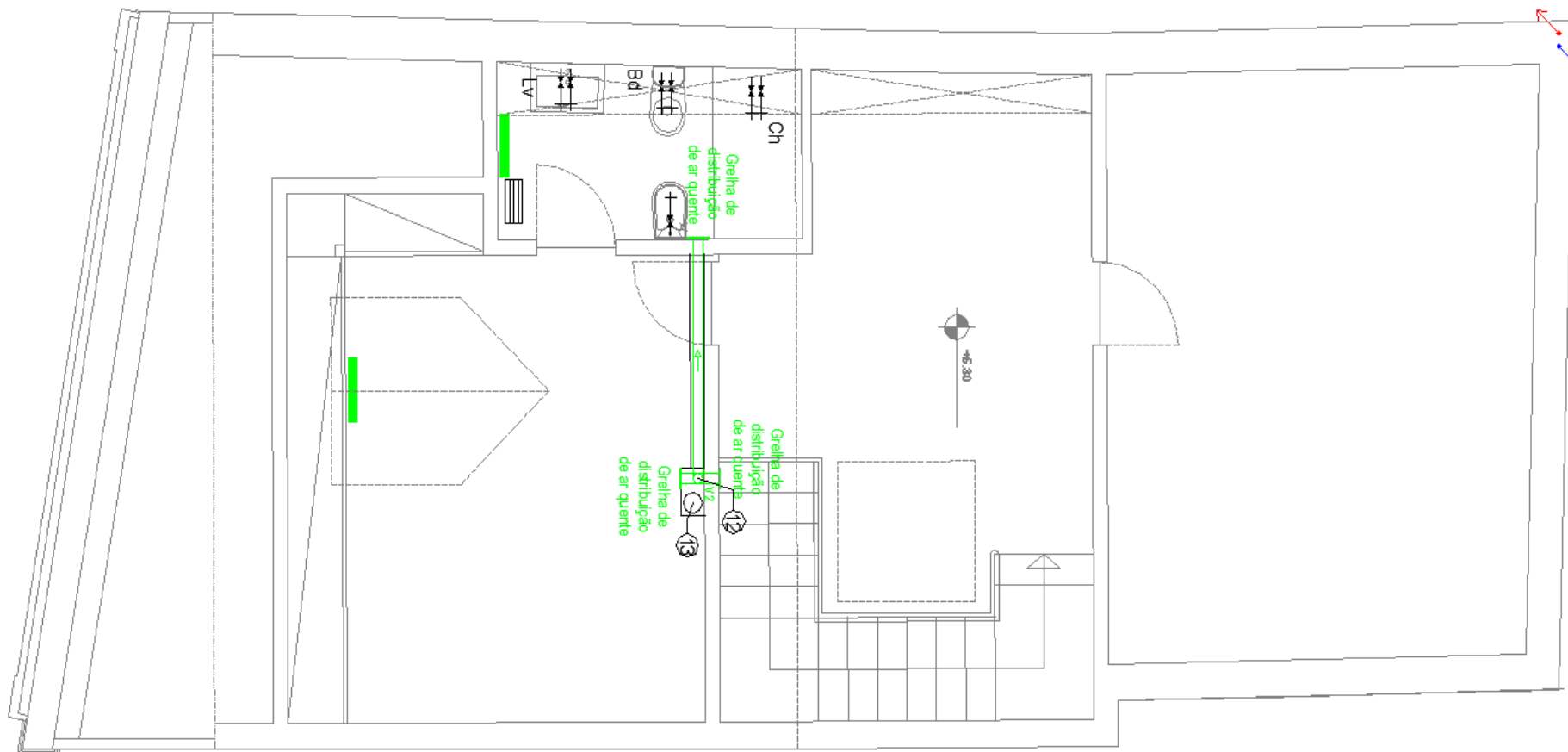
Planta de rés-do-chão:



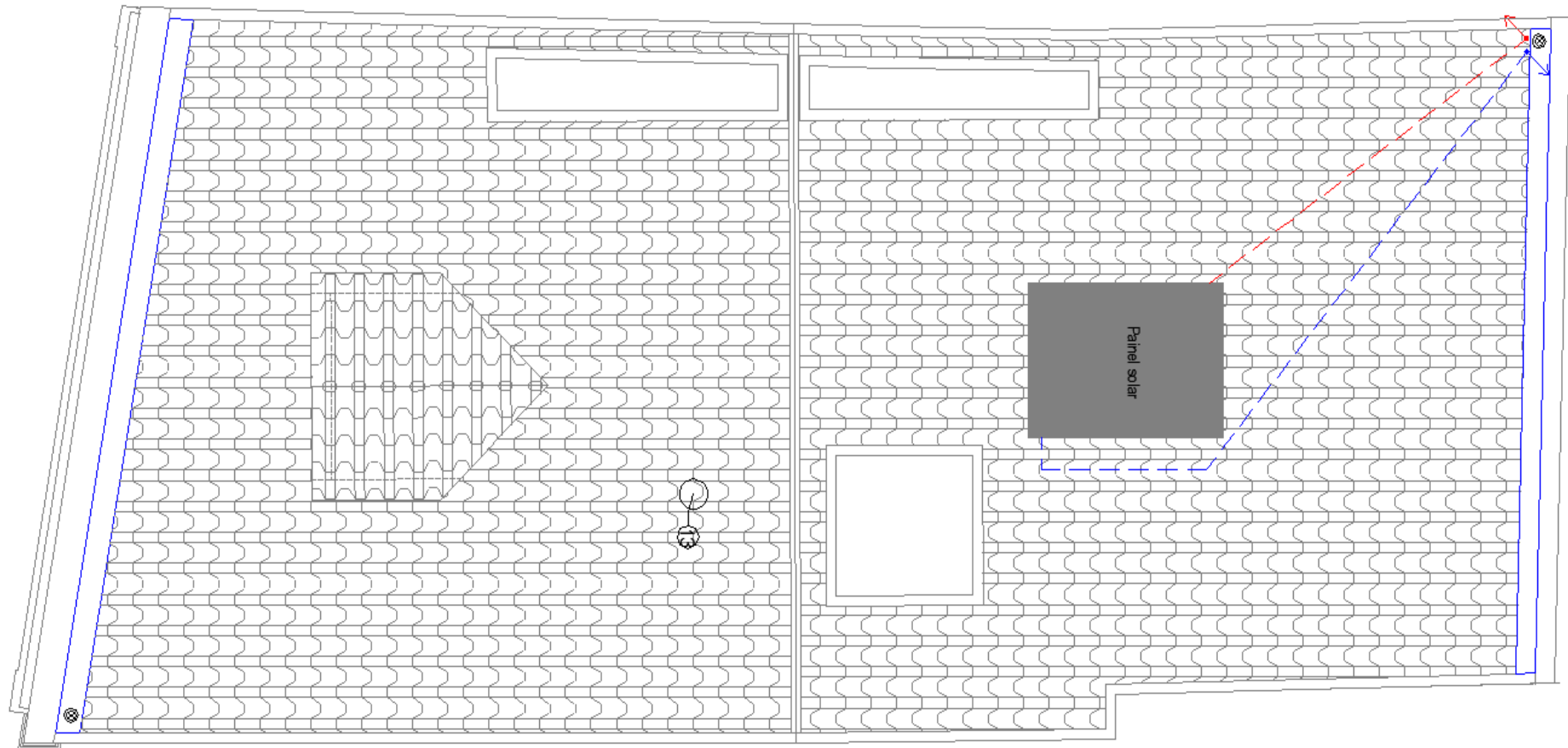
Planta de piso 1:

















Planta de piso 2:



Planta de cobertura:



Simbologia da rede:

SÍMBOLO	LEGENDA
	Rede de Água Fria
	Rede de Água Quente
	Rede de circulação do fluido termico dos painéis
	Contador
	Válvula de Seccionamento Geral
	Válvula de Retenção
	Válvula de Seccionamento
	Bomba
	Caldeira/Esquentador
	Caixa de distribuição em PEX
	Prumada ascendente com mudança de piso
	Prumada descendente com mudança de piso
	Débitos
	Misturadoras