

# Estudo e Acompanhamento de Projeto de Estabilidade

Relatório de Estágio para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Ramo de Construções

Luís Miguel Flor Silva

Orientador: Vítor Jorge Mota de Carvalho

Co-Orientador: Duarte Barroso Lopes

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Outubro de 2014



## **Agradecimentos**

A elaboração deste trabalho representa o final de uma fase marcante na minha vida, o qual não teria sido possível realizar sem a contribuição de algumas pessoas e entidades. Utilizando este espaço, expresso os seguintes agradecimentos:

À Masterprojetos – soluções integradas e, em particular ao Eng<sup>o</sup> Nuno Gonçalves, pela oportunidade concedida em poder realizar o Estágio Curricular, por todo o apoio, material e logístico, que me foi concedido e por todos os conhecimentos técnicos que me foram transmitidos e ao Eng<sup>o</sup> Vítor Carvalho por me receber sob orientação;

Ao meu co-orientador de estágio, o Eng<sup>o</sup> Duarte Lopes, pela disponibilidade e paciência que apresentou no momento em que precisei mais e por todos os conhecimentos técnicos, rigor, críticas e sugestões que me transmitiu;

Aos meus amigos e colegas de curso, particularmente à Ana Ramos, ao Hugo Matos, à Vera Azevedo à Helena Agante, ao Rui Seabra e ao Vitor Pascoal por toda a ajuda e companheirismo que me ofereceram ao longo de toda a minha vida académica;

Ao meu pai, Avelino, à minha mãe, Emília e ao meu irmão, Pedro, por todo o apoio, carinho e paciência que desde sempre tiveram comigo ao longo de toda a minha vida académica, e não só;

Por fim e com especial destaque o meu agradecimento à minha namorada Maria João, por toda a paciência e carinho que me confortou nas alturas mais atarefadas e por toda a força moral e persistência que me transmitiu.



## **Palavras chave**

Projeto; Estabilidade; Cypecad

## **Resumo**

O trabalho foi desenvolvido na empresa Masterprojetos – soluções integradas, através da elaboração e desenvolvimento do projeto de estabilidade de um edifício de cinco pisos, em que um deles se encontra enterrado. Este edifício incorpora um bloco de habitação multifamiliar e um bloco de habitação unifamiliar e comércio. Tanto o edifício como a empresa estão localizados no Peso da Régua.

O trabalho pode-se dividir em duas partes:

Numa primeira parte estão descritas as funções desempenhadas e contextualizada a metodologia de trabalho. Nesta parte está ainda descrita a ferramenta de trabalho Cypecad, a qual não houve oportunidade de aprender a usar durante o meu percurso académico e desenvolveu-se capacidades de maneira autodidata. São ainda referidos alguns softwares disponíveis no mercado, para o mesmo ramo de atividade.

Numa segunda parte encontram-se descritos os pressupostos considerados no pré-dimensionamento do edifício assim como os elementos utilizados para a formulação do modelo de cálculo. Estão ainda feitas algumas verificações analíticas para a validação do modelo tido em conta para o dimensionamento. Estabeleceu-se também uma comparação entre as soluções obtidas através do software Cypecad e através do cálculo analítico para uma laje maciça.

No final estão descritas as conclusões que foram obtidas, das quais se salientam a atenção que é necessário ter, quando se utiliza softwares de cálculo automático, quanto à introdução de dados e soluções que se obtêm, assim como a poupança de tempo que este tipo de ferramenta proporciona. É de referir também neste ponto as oportunidades que o estágio me proporcionou, como a visita de alguns locais de obras, as atividades de medição e orçamento de obra e acompanhamento de projetos de outras especialidades como redes prediais, térmica, acústica e ITED (infra-estruturas de Telecomunicações em Edifícios).



## **Keywords**

Project; Stability; Cypecad

## **Abstract**

The work was developed in the company Masterprojetos - soluções integradas through the design and development the stability of a building with five floors, one of which is underground. This building incorporates a multifamily and a single-family housing block and services. Both buildings and company are located in Peso da Régua.

The work can be divided into two parts:

In the first part , are described the duties functions performed and contextualized the work methodology. It is still described the working tool Cypecad, which i had no chance to learn how to use during my academic graduation and developed skills as an autodidact. Are still referred to some software available on the market for the industry .

In the second part the assumptions considered in the preliminary design of the building as well as the elements used for the formulation of the model calculation are described. Are still made some analytical checks to validate the model taken into account for the design. Have also established a comparison between the solutions obtained by the Cypecad software and through the analytical calculation of a massive slab.

At the end are described findings that were obtained, of which i underline the attention that you need, when using automatic calculation softwares, as the introduction of data and solutions obtained, as well as the saving time that this type of tools provides. It is also worth mentioning at this point the opportunities that internship given me, as a visit of some local work places, measurement activities for budget and monitoring projects for differents specialties such as building networks, termal, acoustics and ITED (Telecommunications Infrastructures).



# Índice

Agradecimentos.....	III
Resumo .....	V
Abstract.....	VII
1 Introdução .....	11
1.1 Objetivos e Âmbito .....	11
1.2 Organização .....	12
2 Estágio curricular .....	13
2.1 Entidade de acolhimento .....	13
2.2 Atividades desenvolvidas.....	14
2.3 Metodologia de Trabalho.....	14
3 Estado da Arte.....	15
3.1 Cypecad.....	15
3.2 Regulamentação.....	17
3.3 Outros Softwares .....	19
3.3.1 ROBOT .....	19
3.3.2 SAP2000.....	20
3.4 Considerações Finais .....	21
4 Caso de Estudo.....	22
4.1 Descrição do Caso de Estudo.....	22
4.1.1 Apresentação .....	22
4.1.2 Descrição da estrutura.....	24
4.2 Pré-Dimensionamento .....	24
4.2.1 Normas Consideradas .....	24
4.2.2 Materiais Utilizados .....	24
4.2.3 Ações .....	25
4.2.3.1 Ações permanentes.....	25
4.2.3.2 Ações variáveis .....	26
4.2.3.3 Sismo.....	26
4.2.3.4 Vento.....	27
4.2.4 Pré-Dimensionamento.....	27
4.2.4.1 Lajes .....	27
4.2.4.1.1 Lajes de vigotas Pré-esforçadas.....	27
4.2.4.1.2 Lajes maciças .....	28
4.2.4.1.3 Lajes de escadas .....	29
4.2.4.2 Vigas .....	29
4.2.4.3 Pilares .....	30

4.2.4.4	Muros de contenção e suporte de terras .....	31
4.3	Dimensionamento .....	32
4.3.1	Dados geométricos de grupos e plantas .....	33
4.3.2	Ações consideradas .....	34
4.3.3	Cálculo da ação do vento.....	36
4.3.4	Cálculo da ação do sismo.....	36
4.3.5	Combinação de ações.....	37
4.3.6	Considerações para o cálculo de impulsos nos muros.....	38
4.3.7	Lajes consideradas no Modelo de cálculo .....	40
4.3.7.1	Lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas.....	40
4.3.7.1.1	Armadura de distribuição da lajeta de compressão .....	42
4.3.7.1.2	Tarugos .....	42
4.3.8	Elementos de fundação .....	43
4.4	Resultados e Discussão .....	43
4.4.1	Pilares .....	43
4.4.2	Vigas .....	45
4.4.3	Lajes .....	46
4.4.3.1	Lajes de vigotas pré-esforçadas.....	46
4.4.3.2	Lajes maciças .....	46
4.4.4	Sapatas interligadas por vigas de fundação .....	47
4.4.5	Escadas .....	49
4.4.6	Muros de contenção .....	50
4.5	Aspetos Singulares.....	51
4.5.1	Caixa de escadas .....	51
4.5.2	Vigas .....	53
4.5.3	lajes maciças .....	54
4.5.4	Sapatas .....	61
4.5.5	Muros de contenção .....	63
5	Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	65
6	Bibliografia.....	67
	Anexo I – Lajes, Elementos a), b) e c).....	69
	Anexo II – Exemplo de Ficha Técnica de Laje .....	73

## **Índice de figuras**

Figura 2.1 - Logótipo da empresa acolhedora .....	13
Figura 3.1 – Logotipo da empresa Cype software .....	15
Figura 3.2 - Exemplo de projeção 3D, adaptado de manual de utilizador Cypecad .....	16
Figura 3.3 - Menu de seleção de normas e parâmetros base para o projeto, adaptado de manual do utilizador Cypecad .....	17
Figura 3.4 - Menu de seleção de normas e parâmetros para o cálculo da ação do vento, adaptado de manual do utilizador Cypecad.....	18
Figura 3.5 – Menu de seleção de normas e parâmetros para o cálculo da ação dos sismos, adaptado de manual do utilizador Cypecad .....	18
Figura 3.6 – Tipos de cálculo ROBOT, (Tavares 2013).....	19
Figura 3.7 – Template SAP2000, (Tavares 2013).....	20
Figura 4.1 – Planta de implantação dos edifícios A e B com junta de dilatação, (sem escala), ver legenda figura 4.2.....	22
Figura 4.2 – Legenda da planta de implantação dos edifícios A e B, figura 4.1 .....	23
Figura 4.3 – Alçado principal dos edifícios em estudo, A e B ( Orientação a Oeste ), (sem escala) .....	23
Figura 4.4 - Modelo global representativo do edifício .....	32
Figura 4.5 – Exemplo de introdução de níveis no software Cypecad .....	33
Figura 4.6 – Cargas no modelo de cálculo, ( planta do R/C ), (sem escala) .....	35
Figura 4.7 – Impulsos Muro Posterior M1, (sem escala) .....	38
Figura 4.8 - Impulsos Muro Lateral M2, (sem escala).....	39
Figura 4.9 - Impulsos Muro Perimetral M4, (sem escala).....	40
Figura 4.10 - Pormenor laje a) LA1 e b) LA2, (sem escala).....	41
Figura 4.11 - Pormenor 1, (sem escala).....	45
Figura 4.12 – Verificação da deformação de vigotas, Piso 1, adaptado de ficheiro de resultados Cypecad, (sem escala).....	46
Figura 4.13 – Viga de fundação VFE, (sem escala).....	47
Figura 4.14 – Planta de fundações e vigas de fundações, (sem escala).....	48
Figura 4.15 – Pormenor de escadas interiores da habitação unifamiliar, (sem escala).....	49
Figura 4.16 – Pormenor de armaduras do muro de contenção M1, (sem escala).....	50
Figura 4.17 – Planta da cave, marcado a verde o elemento adaptado, (sem escala).....	51
Figura 4.18 – Modelo 3D usado no cálculo da estrutura, adaptado de Cypecad .....	52
Figura 4.19 – Armaduras ponderadas para as paredes da caixa de elevador, adaptado das peças desenhadas, (sem escala).....	52
Figura 4.20 – Pormenor da solução de uma, pórtico 23 do rés-do-chão, adaptado dos resultados, (sem escala).....	53
Figura 4.21 – Pormenor da solução final da mesma viga observada na figura 4.20, (sem escala)..	54
Figura 4.22 – Solução de armadura superior da laje maciça LM1, Piso 1, calculada pelo software Cypecad, (sem escala).....	54
Figura 4.23 - Solução final da laje LM1, Piso 1, através do cálculo analítico, (sem escala).....	60



## **Índice de tabelas**

Tabela 2.1 – Vídeos consultados para aprendizagem.....	14
Tabela 4.1 - Largura de banda, ação do vento, (metros).....	27
Tabela 4.2 - Quadro de secções arbitradas de pilar .....	30
Tabela 4.3 - Dados geométricos de grupos e plantas.....	33
Tabela 4.4 – Ações consideradas em cada planta .....	34
Tabela 4.5 - Dados de lajes introduzidas no Cypecad.....	40
Tabela 4.6 – Quadro de pilares.....	44
Tabela 4.7 –Armaduras obtidas pelo modelo de cálculo e ponderadas.....	53
Tabela 4.8 - Elementos de fundação dado obtidos com o software Cypecad .....	61
Tabela 4.9 - Elementos de fundação final .....	62
Tabela 4.10 – Solução de armaduras do muro posterior com ação sísmica ativa.....	63
Tabela 4.11 - Solução de armaduras do muro posterior sem a ação sísmica ativa.....	64



## **Listagem de Siglas e Acrónimos**

### Siglas:

BIM - Building Information Modeling;

CAD – Computer Aided Design;

EC1 – Eurocódigo 1 – Acções em Estruturas;

EC2 – Eurocódigo 2 – Projeto de Estruturas de Betão;

ITED - Infra-estruturas de Telecomunicações em Edifícios;

LA – Laje aligeirada;

LM – Laje maciça;

M1 – Muro de contenção 1;

REAE – Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios;

REBAP - Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado;

RGEU - Regulamento Geral das Edificações Urbanas;

RSA - Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes;

### Acrónimos:

$AC$  - Área da secção da laje;

$A_E$  – Acção sísmica;

$A_s$  – Área útil de armadura;

$A_s$  – Área da secção da armadura;

$A_{sl}$  – Armadura da malha electrossoldada em A400.

$A_{s_{máx}}$  – Área da secção da armadura;

$A_{s,tarugo}$  – Armadura do tarugo;

$b$  – Largura considerada;

$b_t$  – Largura média da zona tracionada da secção;

$d$  – Altura útil da secção;

$EI$  – Rigidez à flexão;

$f_{cd}$  – Valor da tensão de rotura do betão à compressão;

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

$f_{syd}$  – Valor da tensão de cedência do aço;

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

$G_k$  – Acção permanente;

$h$  – Espessura da laje;

$l_i$  – Vão equivalente da laje;

$M_{rd}$  – Valor do momento resistente;

$M_{sd}$  – Valor do momento flector de cálculo;

$Q_k$  – Acção variável;

$V_{rd}$  – Esforço transversal resistente;

$\gamma_c$  – Coeficiente parcial relativo ao betão;

$\gamma_s$  – Coeficiente parcial relativo ao aço das armaduras para betão armado ou pré-esforçado;

$\eta$  – Coeficiente que toma os valores indicados no artigo 89º do Rebap. ;

$\gamma_G$  – Coeficiente parcial de segurança das acções permanentes;

$\gamma_{Q,1}$  – Coeficiente parcial de segurança da acção variável principal;

$\gamma_{Q,i}$  – Coeficiente parcial de segurança das acções variáveis de acompanhamento;

$\gamma_{AE}$  - Coeficiente parcial de segurança da acção sísmica;

$\Psi_{p1}$  - Coeficiente de combinação da acção variável principal;

$\Psi_{ai}$  - Coeficiente de combinação das acções variáveis de acompanhamento;

$\mu$  - Valor reduzido do valor de cálculo do momento flector resistente;

$\omega$  - Percentagem mecânica de armadura;

$\rho$  - Percentagem de armadura longitudinal de tração;



# **1 Introdução**

## **1.1 OBJETIVOS E ÂMBITO**

O presente documento refere-se ao Relatório do Estágio Curricular realizado na entidade acolhedora Masterprojetos – soluções integradas, no âmbito da unidade curricular DIPRE do 2º ano do Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Construções, de modo a obter o grau de “Mestre” em Engenharia Civil.

O estágio teve como objetivo consolidar conhecimentos adquiridos ao longo das aulas das várias unidades curriculares do mestrado, de maneira a assumir as devidas competências no futuro. Outro objetivo importante é a aplicação na prática dos conceitos de maneira a efetuar uma transição para o mundo do trabalho. Neste caso outro ponto importante a ter como objetivo é a entrada em contacto com a abordagem profissional de problemas, mais concretamente em situação de projeto. Este estágio tem ainda por objetivo potenciar a aquisição de competências profissionais, nomeadamente com softwares de cálculo automático e de desenho computadorizado.

Com a inserção em ambiente profissional pretende-se ainda ganhar competências sociais e de comunicação que se considera serem bastante importantes para o desempenho profissional futuro.

Dentro deste contexto também ganhar competências e metodologias de abordagem para lidar com clientes e outros profissionais da área, ou ligados direta ou indiretamente à mesma.

Para esse efeito, foi proposta uma apresentação do caso de estudo de um projeto de estabilidade de um edifício, que prevê habitação multifamiliar e unifamiliar, para melhor descrever o tipo de trabalho feito durante o estágio. Foi analisado o enquadramento local e as soluções construtivas mais vulgarmente praticadas na região, nomeadamente através de um projeto de estabilidade, que a entidade acolhedora esteve encarregue. Sendo o projeto de estabilidade referente a uma obra de construção nova de um edifício de habitação com um bloco multifamiliar e outro unifamiliar e de comércio.

Ainda deixar nota de outras atividades em que tive envolvimento ao longo destes tempos de estágio na entidade acolhedora.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO

Este Relatório de Estágio encontra-se dividido em cinco capítulos, com alguns deles subdivididos em subcapítulos, nos quais consta a descrição de todo o trabalho desenvolvido e realizado no âmbito do Estágio Curricular realizado na empresa Masterprojetos – soluções integradas.

No Capítulo 1, introduz-se uma breve exposição do conteúdo do documento, apresentando-se os objetivos que se pretende alcançar, a sua justificação e o âmbito, assim como o conteúdo que vai ser abordado no presente documento.

No Capítulo 2, é apresentada a entidade acolhedora, as atividades desenvolvidas e as ferramentas de trabalho utilizadas ao longo do estágio, nomeadamente o software de cálculo automático Cypecad. É ainda abordada a metodologia de trabalho na entidade.

O Capítulo 3 incluiu o estado da arte com uma apresentação do software Cypecad e a regulamentação constante na base de dados do mesmo. É ainda feita uma breve referência a outros softwares existentes no mercado assim como algumas considerações associadas ao uso deste tipo de ferramentas de cálculo automático.

O Capítulo 4 contém o caso objeto de estudo onde irão ser apresentados todos os elementos relacionados com o mesmo, as considerações feitas, as opções tomadas e todos os elementos que detalham a solução. São ainda apresentadas as singularidades e dificuldades encontradas.

No Capítulo 5 são sintetizadas as conclusões obtidas ao longo do período de estágio assim como os desenvolvimentos e preocupações futuras.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta-se a bibliografia consultada para a escrita deste relatório de estágio.

## **2 Estágio curricular**

### **2.1 ENTIDADE DE ACOLHIMENTO**

O local de trabalho foi um gabinete de projetos ligados à área de arquitetura e engenharia, que se dedica à prestação de serviços e apoio técnico, à indústria, empresas de construção civil, obras públicas e clientes particulares, designado de MASTERPROJETOS – soluções integradas, com sede na Avenida Dr. Antão de Carvalho nº 11, 1ºC, Peso da Régua.

Na figura 2.1 pode-se observar o logótipo do gabinete.



Figura 2.1 - Logótipo da empresa acolhedora

O gabinete iniciou a sua atividade no início do ano 2014, sendo que a minha chegada coincidiu praticamente com o início de atividade da empresa. Apesar do recente início de atividade, a empresa conta com profissionais experientes e capazes que já contavam com vários anos de experiência em outras empresas do mesmo ramo.

A equipa de trabalho é composta por um engenheiro civil, uma arquiteta e uma desenhadora. Existem colaboradores externos que dão apoio na área dos levantamentos topográficos, projeto de térmica, acústica, gás e ITED (infra-estruturas de Telecomunicações em Edifícios). A empresa para além de realizar projectos de construção de moradias unifamiliares, de edifícios habitacionais multifamiliares e comerciais, armazéns agrícolas, também faz projetos para a legalização de habitações, terrenos e outros projetos de alteração de moradias, edifícios habitacionais e comerciais.



Figura 2.2 – Fachada do edifício do escritório da empresa acolhedora

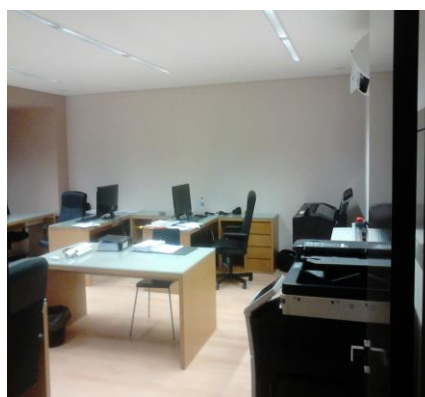


Figura 2.3 – Ambiente de trabalho

## 2.2 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Durante o período de estágio foi praticado um horário de trabalho com entrada às 9h da manhã e saída às 6h da tarde. Neste período fez parte das funções colaborar e realizar projetos de estabilidade e de redes prediais assim como auxiliar e efetuar medições em locais onde existiam projetos ou estudos em curso como foi o caso do processo de licenciamento de um estabelecimento de alojamento local no Peso da Régua. Tive também oportunidade de realizar atividades de medição e orçamentação em projetos para concurso que decorriam no gabinete, como foi o caso do projeto de construção do novo estádio municipal de São João da Pesqueira.

Integrado no ambiente profissional do gabinete, começou o contacto com o enquadramento legal e a legislação aplicável em processos de legalização e licenciamento de edifícios e terrenos.

È de referir também que fui sendo envolvido na discussão de soluções e trabalhos que os colaboradores externos efetuavam para o gabinete.

## 2.3 METODOLOGIA DE TRABALHO

Como as minhas funções foram mais direcionadas para a realização de projetos de estabilidade com recurso ao software de cálculo automático Cypecad, tive de iniciar a aprendizagem do mesmo de forma autodidática.

Para começar a manusear o software de maneira mais ágil, comecei por recorrer aos vídeos de tutoriais disponibilizados na página web da topinformática, fornecedor do software. Pesquisei também por vídeos no youtube, consultar tabela 2.1, assim como recorri a fóruns na Internet para ter ideia de opiniões e encontrar sítios com informações úteis.

Após começar a realização de projetos mais simples fui usando o manual do utilizador, também disponibilizado na página web da topinformática, para ir tirando dúvidas mais complicadas assim como aprender os procedimentos a aplicar em projetos mais complexos.

Em resumo pode-se dizer que a minha aprendizagem foi baseada em reproduzir por mim o que o manual de utilizador sugeria como exemplo e fazer por mim os exemplos dos vídeos do youtube que visualizei.

Tabela 2.1 – Vídeos consultados para aprendizagem

Endereço	Descrição
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=cE12swJ0WN0">https://www.youtube.com/watch?v=cE12swJ0WN0</a>	Vídeo utilizado para aprendizagem de introdução de elementos de fundação e edição dos mesmos;
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=L6avO2IM65k">https://www.youtube.com/watch?v=L6avO2IM65k</a> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=Qfy-AcGMQRo">https://www.youtube.com/watch?v=Qfy-AcGMQRo</a>	Vídeos utilizados para aprendizagem de criação de projetos no software Cypecad;
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=6e2RZ6IVmM4">https://www.youtube.com/watch?v=6e2RZ6IVmM4</a>	Vídeo utilizado para aprendizagem de introdução de vigas e panos de laje;
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=jt4VKZPH5Po">https://www.youtube.com/watch?v=jt4VKZPH5Po</a>	Vídeo utilizado para aprendizagem de introdução de vigas e panos de laje;

## **3 Estado da Arte**

### **3.1 CYPECAD**

Este é um software de cálculo automático de estruturas que é desenvolvido e comercializado por uma empresa espanhola “CYPE Ingenieros S.A.”. A primeira versão para o sistema operativo Windows surgiu em 1997, tendo ao longo do tempo sofrido sucessivas atualizações e melhorias.



Figura 3.1 – Logótipo da empresa Cype software

O Cypecad foi essencialmente criado para realizar o dimensionamento e análise estrutural de elementos de betão armado e mistos em edifícios. Especificamente, permite introduzir elementos estruturais com as seguintes características em termos de material:

- Pilares e vigas em betão armado ou em perfis metálicos;
- Paredes em betão armado;
- Muros em betão armado, com ou sem impulsos horizontais, ou ainda em alvenaria;
- Lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas, lajes maciças, lajes aligeiradas e lajes mistas. .

A introdução de dados é gráfica, permitindo selecionar:

- Sapatas isoladas, combinadas e contínuas;
- Maciços de encabeçamento de estacas;
- Lajes de função;
- Lintéis e vigas de fundação;
- Muros de cave;
- Paredes resistentes e pilares;
- Placas de amarração;
- Vigas embebidas e altas;
- Lajes maciças, fungiformes (maciças ou aligeiradas), alveoladas, mistas e de vigotas;
- Escadas.

( fonte: <http://www.topinformatica.pt/index.php?cat=49&item=396> )

Este software foi concebido de maneira a otimizar o processo de elaboração de projetos de edifícios com a tipologia de elementos referidos. O ambiente do Cypecad caracteriza-se pela introdução gráfica de dados, o que permite uma poupança no tempo disponibilizado para a realização de projetos.

Esta poupança deve-se, em grande parte, ao facto de quase toda a utilização do programa ser feita com o rato, sendo mínima a utilização de teclado. Com o auxílio de ferramentas CAD, o projetista introduz com o rato os respetivos elementos no sitio correto de cada planta e no andar correspondente.

Ou seja a introdução de dados é relativamente prática de se fazer porque o software Cypecad dispõe os menus de forma intuitiva e sequencial, facilitando a agilidade do processo.

É possível ainda acompanhar a evolução da introdução da estrutura de maneira mais perceptível e realista, pois o software Cypecad gera automaticamente os elementos em 3D.

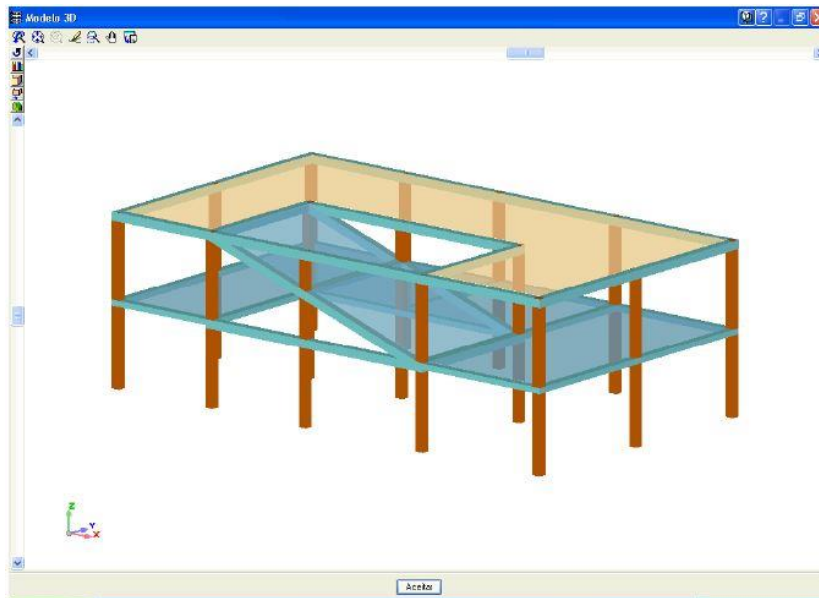


Figura 3.2 - Exemplo de projeção 3D, adaptado de manual de utilizador Cypecad

Quanto às verificações regulamentares que são necessárias efetuar, o Cypecad possui uma base de dados com diversos códigos e regulamentos da construção que são possíveis de adotar mediante a necessidade do utilizador.

### 3.2 REGULAMENTAÇÃO

Do ponto de vista da regulamentação o software Cypecad oferece grande variedade de opções, sendo também possível escolher regulamentações diferentes. Explicando melhor quando criada uma obra escolhe-se uma regulamentação de base para alguns elementos como demonstra a figura 3.3.

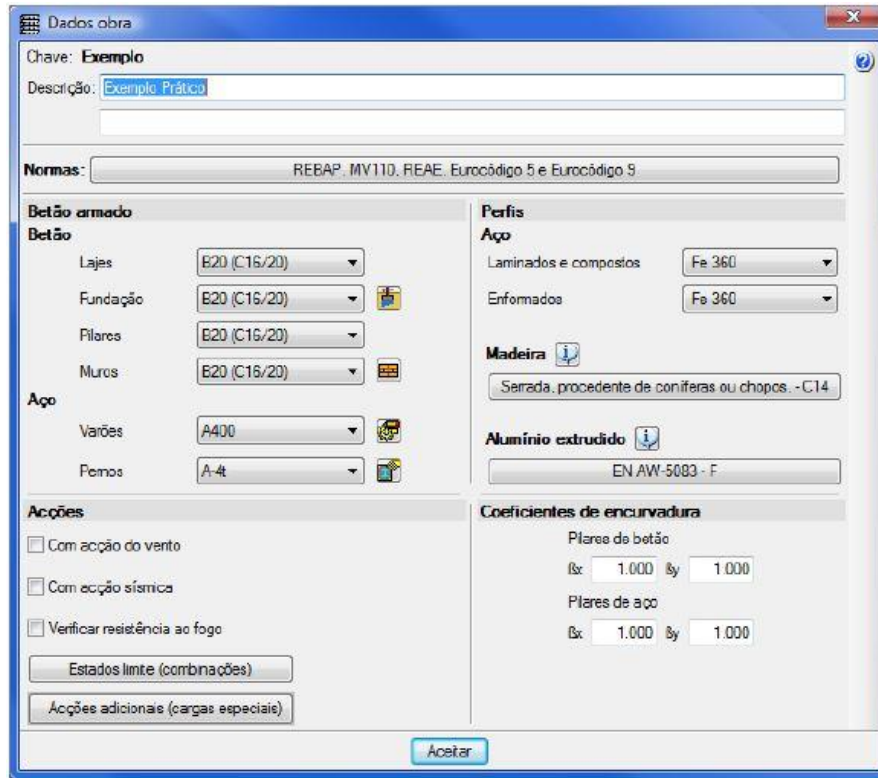


Figura 3.3 - Menu de seleção de normas e parâmetros base para o projeto, adaptado de manual do utilizador Cypecad

Depois de selecionar as normas de modo geral como demonstra a figura anterior, é possível também escolher a normalização aplicável conforme as ações consideradas. Na figura 3.4 podemos ver para a ação do vento as opções possíveis de selecionar. Podemos ver também que dentro das normas aplicáveis a Portugal é possível escolher entre Eurocódigo 1 e RSA.

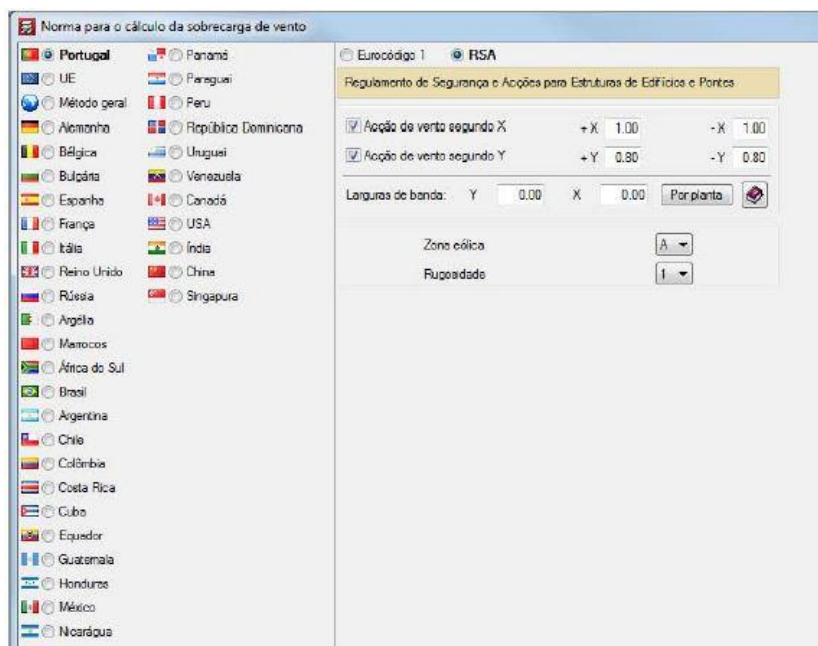


Figura 3.4 - Menu de seleção de normas e parâmetros para o cálculo da ação do vento, adaptado de manual do utilizador Cypecad

Do mesmo modo a seleção de normas para a ação do sismo segue a mesma possibilidade, dando ao projetistas a opção de seleccionar o cálculo mediante as normas mais adequadas ao caso em estudo.

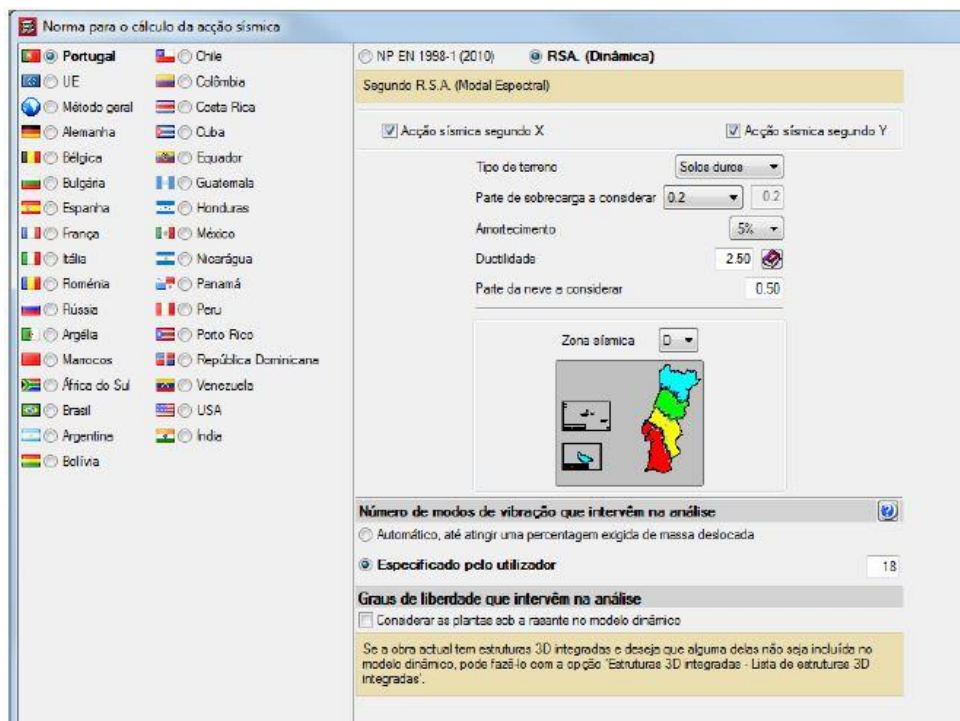


Figura 3.5 – Menu de seleção de normas e parâmetros para o cálculo da ação dos sismos, adaptado de manual do utilizador Cypecad

Também é possível escolher normas de vários países diferentes como é observável nas figuras anteriores, oferecendo a possibilidade do projetista poder utilizar o software Cypecad para efetuar projetos para vários países respeitando a normalização local.

### 3.3 OUTROS SOFTWARES

Sendo que o meu estágio foi vocacionado para o cálculo de estruturas com o auxílio de um software de cálculo automático, Cypecad, não poderia de deixar de referir que no mercado existem outros softwares de cálculo automatizado de estruturas. Sendo que entre eles destaco o ROBOT e o SAP2000.

#### 3.3.1 ROBOT

Primeiramente designado de Robot Millenium, este software foi criado apartir da tese de doutoramento de André Niznik, no Instituto Francês de Engenharia Civil de Toulouse, França, em 1983. Começou por ser comercializado pela empresa Francesa “Robot Diffusion” sendo que em 2000 foi criada a versão em ambiente Windows - Robot Millenium. Entretanto a empresa Norte Americana “Autodesk” adquiriu os direitos de comercialização do programa Robot Millenium, e integrou-o com outros softwares de engenharia, os quais já comercializava, num conceito Building Information Modeling (BIM). (Tavares 2013)

O Autodesk Robot Structural Analysis é um software de cálculo automático que ecfetua a análise estrutural com interface tridimensional. Utiliza o método dos elementos finitos e permite fazer análises lineares e não-lineares estáticas e dinâmicas. Assim como o Cypecad, possibilita a realização das verificações regulamentares de acordo com vários códigos de construção que dispõe na sua base de dados, dos quais se podem realçar os Eurocódigos. Tem pré-definidos modelos de cálculo para diferentes tipos de elementos estruturais, bi ou tridimensionais. Os graus de liberdade dos modelos varia em função do tipo de elemento estrutural que se pretende analisar (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Tipos de cálculo ROBOT, (Tavares 2013)

### 3.3.2 SAP2000

O software foi criado na Universidade da Califórnia, em Berkeley, através da pesquisa de Edward L. Wilson. Ashraf Habibullah criou a “CSI Computers & Structures, inc.”, em 1975, empresa que viria a difundir a comercialização do software.

O SAP2000 é um programa de análise estrutural com interface tridimensional. Usa o método dos elementos finitos, permitindo efetuar análises lineares e não-lineares estáticas e dinâmicas. Possibilita a realização de verificações regulamentares de acordo com os vários códigos de construção que dispõe na sua base de dados, dos quais se podem realçar os Eurocódigos. O software vem pré-definido com “templates” para diversos tipos de elementos estruturais, bi ou tridimensionais. Os graus de liberdade, dos “templates”, varia em função do tipo de elemento estrutural que se pretende analisar (Figura 3.7).

A modelação estrutural pode ser efetuada no próprio programa ou através da importação de um ficheiro em formato “dxf”, ou seja vindo de um programa de desenho assistido por computador, como por exemplo o conhecido Autocad.

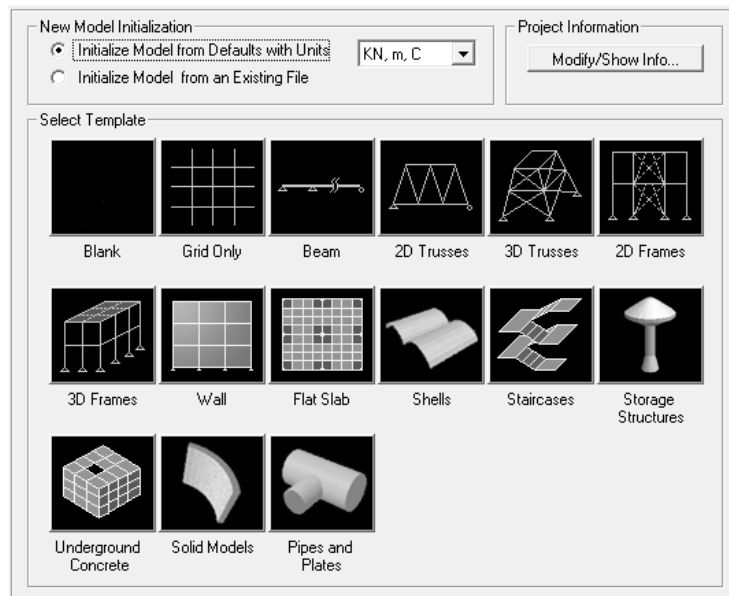


Figura 3.7 – Template SAP2000, (Tavares 2013)

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do momento em que apareceu no mercado nacional ofertas de softwares de cálculo automático de estruturas, estas foram-se multiplicando, contando já com ofertas de peso como é o caso do CYPE, ROBOT, SAP2000, REVIT e TRICALC.

Hoje em dia a aplicação destas ferramentas é quase inevitável, pois existe a exigência de se realizar projetos seguros e económicos. Esta exigência surge no sentido de da otimização de tempo que estes softwares proporcionam, ou seja reduzir custos e ganhar tempo são vistos como uma meta em cada projeto.

É necessário referir que os programas de cálculo de estruturas por vezes são vocacionados para facilitar a introdução de dados e apresentar resultados com um bom acabamento, mas no entanto por vezes dificultam a validação de resultados e são muito fechados quanto aos procedimentos que utilizam. Estas facilidades que os softwares oferecem por vezes são levam o utilizador a adotar opções de cálculo por defeito que têm influência nos resultados. Quando o utilizador revela alguma inexperiência pode levar a adoção de resultados menos corretos.

É importante referir que por entre estes softwares é verificada uma dispersão de resultados, facto que deve ser alvo de cuidada ponderação aquando do uso deste tipo de ferramentas.

## 4 Caso de Estudo

### 4.1 DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

#### 4.1.1 APRESENTAÇÃO

O presente caso de estudo refere-se ao Projeto de Estabilidade da obra de construção de um edifício de habitação multifamiliar e comércio que se pretende levar a efeito, no Gaveto das Ruas Pedro Verdial e Vila Franca, concelho do Peso da Régua.

O projeto de estruturas foi executado em concordância com o projeto de arquitetura. Este projeto de arquitetura foi externo ao gabinete, pelo que só se executou projetos de especialidade.

É de referir que o presente caso em estudo contempla o projeto de estabilidade de dois elementos diferentes, um edifício de habitação multifamiliar ( A ) e um edifício de comércio e habitação unifamiliar ( B ) separados por uma junta de dilatação e partilhando a mesma cave.



Figura 4.1 – Planta de implantação dos edifícios A e B com junta de dilatação, (sem escala), ver legenda figura 4.2

LEGENDA

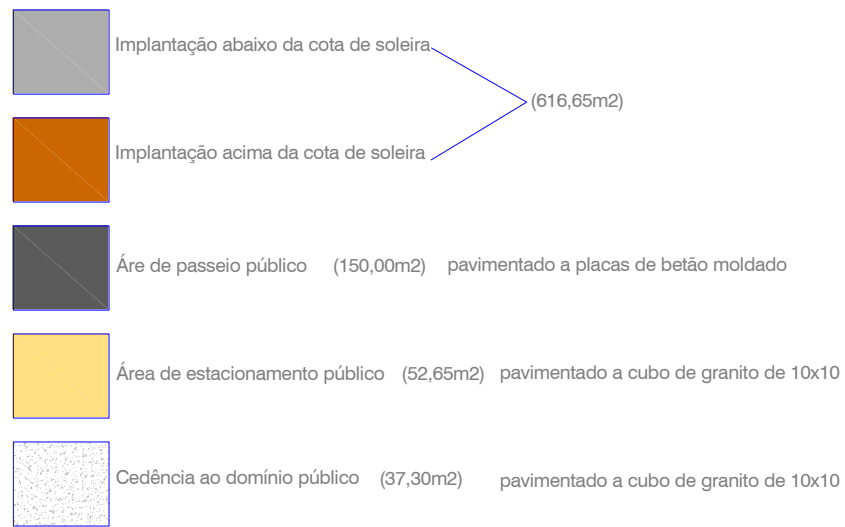


Figura 4.2 – Legenda da planta de implantação dos edifícios A e B, figura 4.1

O edifício de habitação multifamiliar ( A ) é composto por cave, rés-do-chão e 4 pisos elevados, sendo que o último apenas tem a utilidade de albergar a casa das máquinas do poço de elevador e garantir o acesso à cobertura a partir da caixa de escadas. Quanto ao outro edifício ( B ) é composto por cave (partilhada com o edifício A ), rés-do-chão e 2 pisos elevados. Como condicionante principal para execução do projeto de estabilidade, teve-se em conta a colocação dos vários elementos estruturais inerentes ao dimensionamento.

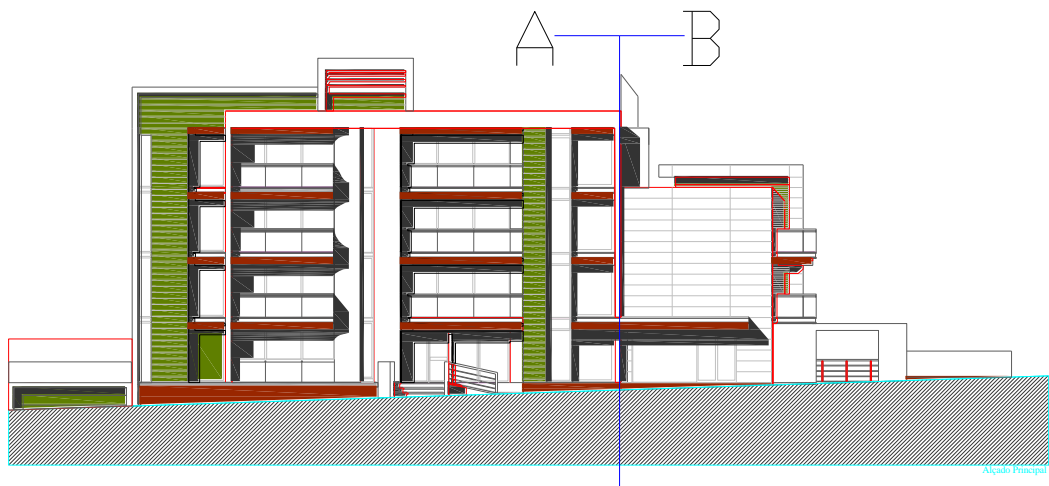


Figura 4.3 – Alçado principal dos edifícios em estudo, A e B ( Orientação a Oeste ), (sem escala)

#### 4.1.2 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

A estrutura do edifício baseia-se numa estrutura porticada composta por lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas e lajes maciças que transmitem as suas cargas a um conjunto de vigas e que por sua vez transmitem as mesmas às fundações através de pilares.

Foram ainda previstos um conjunto de muros para contenção de terrenos adjacentes à área de cave e propriedade vizinha.

As fundações são feitas através de sapatas isoladas, conjuntas e corridas, lintéis e vigas de fundação. As soluções adotadas neste projeto têm como objetivo dotar a estrutura com um bom grau de segurança, quer durante a fase de execução, quer durante a fase de utilização.

## 4.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

### 4.2.1 NORMAS CONSIDERADAS

Em termos de regulamentação e normas consideradas tomou-se em conta o seguinte:

- REBAP.;
- Betão: Eurocódigo 2;
- Aços Enformados: Eurocódigos 3 e 4;
- Aços Laminados e compostos: REAE;
- Vento: Eurocódigo 1: Acções em Estruturas – Parte 1-4: Acções Gerais – Acções de vento;
- Sismo: RSA. (Dinâmica), segundo R.S.A. (Modal Espectral);
- Categoria de utilização: A. Domésticos e residenciais.

### 4.2.2 MATERIAIS UTILIZADOS

- Betão – Para todos os elementos estruturais da obra: C20/25;  $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ ;  $\gamma_c = 1.50$
- Aços em varões: Para todos os elementos estruturais da obra: A400;  $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$ ;  $\gamma_s = 1.15$

### 4.2.3 AÇÕES

#### 4.2.3.1 Ações permanentes

As ações permanentes tidas em conta tiveram por base as características dos materiais e seus respectivos pesos próprios segundo as especificações das tabelas técnicas e de fabricantes.

As ações permanentes:

Peso específico do betão armado.....	25.00 $kN/m^3$
Peso próprio das paredes divisórias e revestimentos.....	2.50 $kN/m^2$
Peso próprio de guarda corpos.....	3.50 $kN/m^2$
Peso das paredes exteriores.....	10.00 $kN/m^2$
Peso das paredes exteriores com aberturas.....	7.50 $kN/m^2$
Peso próprio de platibandas.....	2.00 $kN/m^2$
Peso próprio de terras e canteiros.....	7.50 $kN/m^2$

#### 4.2.3.2 Ações variáveis

As ações variáveis tidas em conta no âmbito do presente projeto são as descritas no Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA).

##### Sobrecarga em pavimentos:

Em geral.....2.00 kN/m<sup>2</sup>

##### Sobrecarga em escadas:

Em geral.....3.00 kN/m<sup>2</sup>

##### Sobrecarga em coberturas planas acessíveis:

Em geral.....1.00 kN/m<sup>2</sup>

##### Sobrecarga em varandas:

Faixa de 1 m a partir da extremidade.....5.00 kN/m<sup>2</sup>

Restante.....2.00 kN/m<sup>2</sup>

#### 4.2.3.3 Sismo

A análise da ação sísmica no dimensionamento da estrutura do edifício em questão foi realizada com o software de cálculo automático Cypecad e teve em consideração os pressupostos e o disposto na norma RSA, pelo método de cálculo “Análise modal espectral”.

A estrutura localiza-se na zona sísmica D, com os parâmetros sismo tipo 1 de 1.6 e sismo tipo 2 de 2.5. Devido ao fato de não existirem informações sobre as características do solo de fundação considerou-se o tipo de terreno como solo duro, o qual deverá ser confirmado pelo técnico de obra aquando da abertura de fundações.

Para efeitos de cálculo adotou-se também uma importância de obra de categoria II e admitindo que a estrutura é concebida como sendo de ductibilidade média.

#### 4.2.3.4 Vento

A análise da ação do vento no dimensionamento da estrutura do edifício em questão foi realizada com o software de cálculo automático Cypecad e teve em consideração os pressupostos e o disposto no Eurocódigo 1: Acções em estruturas, parte 1-4: Acções gerais- Acções do vento.

A estrutura localiza-se na zona A, correspondente a uma velocidade de base de 27 m/s, e em terreno de categoria III.

Foi considerado ainda os seguintes coeficientes de cargas:

+X: 0.95                      -X: 0.95

+Y: 0.95                      -Y: 0.95

Para efeitos de cálculo considerou-se ainda as seguintes larguras de bandas:

Tabela 4.1 - Largura de banda, ação do vento, (metros)

Plantas	Largura de banda Y	Largura de banda Y
Cobertura 4	8.40	3.10
Cobertura 1, Cobertura 2 e Cobertura 3	15.75	22.25
Piso 1, Piso 2 e Piso 3	15.75	30.95
R/C	0	0

#### 4.2.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

##### 4.2.4.1 Lajes

###### 4.2.4.1.1 Lajes de vigotas Pré-esforçadas

O pré-dimensionamento das lajes foi feito de maneira a assegurar a segurança exigida pelo regulamentos, quer para os estados limites últimos quer para os estados limite de utilização.

As lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas tidas em consideração foram pré-dimensionadas com o auxílio do software de cálculo automático disponibilizado pela Presdouro no seu website (<http://www.presdouro.pt/lajes/>).

Devido às utilizações previstas para o edifício, na fase de pré-dimensionamento, partiu-se logo do princípio de dividir as lajes em dois tipos, de vigota dupla e de vigota simples. Posto isto partiu-se para o pré-dimensionamento adotando o critério de pré-dimensionar segundo o maior vão verificado em cada zona, zona de vigota dupla ou zona de vigota simples.

Sendo que:

- Vão máximo de vigota dupla.....6,60 m
- Vão máximo de vigota simples.....5,00 m

Para o cálculo da espessura mínima da laje, seguiu-se o disposto no art. 102º do REBAP.

$$\frac{l_i}{h} \leq 30 \times \eta \quad (1)$$

Em que:

h – espessura da laje;

$l_i = \alpha \times l$  – vão equivalente da laje, sendo que l o vão teórico e  $\alpha$  um coeficiente cujos valores são dados no quadro XV deste mesmo artigo;

$\eta$  – coeficiente que toma os valores indicados no artigo 89º.

A partir desta equação e tendo em conta o maior vão obteve-se um valor mínimo de espessura de laje de 22 cm.

Tendo em conta as condicionantes arquitetónicas e o pré-dimensionamento que o software de cálculo automático do website da PRESDOURO, partiu-se para o cálculo no Cypecad com uma espessura de laje de 28 cm, 24+4, o que cumpre a espessura mínima calculada.

#### 4.2.4.1.2 Lajes maciças

Para o cálculo da espessura mínima das lajes maciças, de varanda, seguiu-se também o disposto no art. 102º do REBAP, equação 1.

Neste pré-dimensionamento, por uma questão de garantir a mesma espessura em todas as lajes, optou-se por efetuá-lo para o vão maior que se verificava.

Assim sendo:

- $l = 2.15$  m
- $l_i = 2.4 \times 2.15 = 5.16$  m
- $\eta = 1.0$

A partir da equação e tendo em conta o maior vão obteve-se um valor mínimo de espessura de laje de 18 cm, valor de partida para o cálculo no software Cypecad.

#### 4.2.4.1.3 Lajes de escadas

Para o cálculo da espessura mínima das lajes maciças de escada, seguiu-se também o disposto no art. 102º do REBAP, equação 1.

Neste pré-dimensionamento, por uma questão de garantir a mesma espessura em todas as lajes, optou-se por efetuá-lo para o vão maior que se verificava.

Assim sendo:

- $l=2.8$  m
- $l_i= 1.0 \times 2.80 = 2.80$  m
- $\eta= 1.0$

A partir da equação e tendo em conta o maior vão obteve-se um valor mínimo de espessura de laje de 10 cm.

Tendo em conta as condicionantes arquitetónicas e o pré-dimensionamento, partiu-se para o cálculo no Cypecad com uma espessura de laje de 15 cm, o que cumpre a espessura mínima calculada.

#### 4.2.4.2 Vigas

A altura mínima das vigas foi calculada pela fórmula que se encontra no art. 89º do REBAP.

$$\frac{l_i}{h} \leq 20 \times \eta \quad (2)$$

Em que:

$h$  – espessura da laje;

$l_i = \alpha \times l$  – vão equivalente da viga, sendo que  $l$  o vão teórico e  $\alpha$  um coeficiente cujos valores são dados no quadro XIII deste mesmo artigo;

$\eta$  – coeficiente que toma os valores indicados no artigo 89º.

A partir desta equação e tendo em conta o maior vão obteve-se um valor mínimo de altura de viga de 40 cm.

Para introdução das vigas no software Cypecad aplicou-se o critério de partir com uma secção de 30x40 cm em vigas de bordadura e uma secção de 30x50cm para vigas interiores onde se verifica concorrência de lajes.

Devido a imposições de arquitetura foram também previstas vigas embebidas em que o critério foi partir com uma secção de 50x28 cm.

A aplicação destes critérios advém da utilização de um processo iterativo, por tentativas, com o software Cypecad.

#### 4.2.4.3 Pilares

Seguindo o mesmo processo de interatividade com o software Cypecad, também os pilares foram pré-dimensionados arbitrando secções sob os seguintes critérios:

- Pilares de canto: secção aumenta de dois em dois pisos;
- Pilares centrais: secção aumenta em todos os piso;
- Pilares de medianeira: secção aumenta piso sim piso não.

É de referir que a secção considerada para ponto de partida foi 30x30 cm, sendo que os critérios anteriormente referidos foram aplicados no sentido das coberturas para a fundação.

Como tal partiu-se das seguintes secções para introdução no Cypecad:

Tabela 4.2 - Quadro de secções arbitradas de pilar

Quadro de secções de pilar arbitradas, ( valores em cm)									
Pilares	P5, P6, P22, P23	P8, P9, P17	P1, P2, P3, P10, P11, P19,P20, P28	P7, P16, P27, P31	P12, P13	P14	P15, P18, P21, P24, P26, P29, P30	P4	P25
Cob.3	-	-	-	-	30x30	-	-	-	-
Cob.2	-	-	30x30	30x30	30x30	30x30	30x30	30x75	30x110
Piso 3/ Cob.1	30x30	30x30	30x30	30x30	30x35	30x30	30x30	30x75	30x110
Piso 2	30x30	30x30	30x30	30x35	30x40	35x30	35x30	30x75	30x110
Piso 1	30x30	35x30	30x35	30x35	30x45	40x30	40x30	30x75	30x110
R/C	35x30	35x30	30x35	30x40	30x50	45x30	30x45	30x75	30x110

Sendo que estes pilares se distribuem como:

- Pilares centrais – P12, P13, P14, P15, P18, P21, P24, P26, P29, P30,
- Pilares de medianeira – P4, P7, P16, P25, P27, P31,
- Pilares de canto – P1, P2, P3, P10, P11, P19, P20, P28,
- Pilares de canto, bloco baixo – P5, P6, P22, P23,
- Pilares de medianeira, bloco baixo – P8, P9, P17.

#### 4.2.4.4 Muros de contenção e suporte de terras

Inserido num critério de tentativas e sendo coerente face as dimensões dos muros de contenção e aos volumes de terras a conter arbitrou-se as secções que viriam a ser confirmadas ou apuradas mediante as soluções que o software Cypecad viesse a dar.

Como ponto de partida arbitrou-se as seguintes secções para os diferentes muros de contenção:

Muro posterior:

- 0 m – 6.70 m – 60 cm
- 6.70 m – 9.55 m – 40 cm
- 9.55 m – 10.90 – 30 cm

Muro lateral

- 0 m – 6.70 m – 60 cm

Muro da cave

- 0 m – 3.55 m – 30 cm

### 4.3 DIMENSIONAMENTO

A análise estrutural consistiu na elaboração de um modelo global representativo do edifício, figura 4.4, usando o software de cálculo automático Cypecad 2013, da empresa CYPE Ingenieros, S.A., com morada na Av. Eusebio Sempere, 5, 03003 Alicante, Espanha, e com a licença eletrónica número 86165.

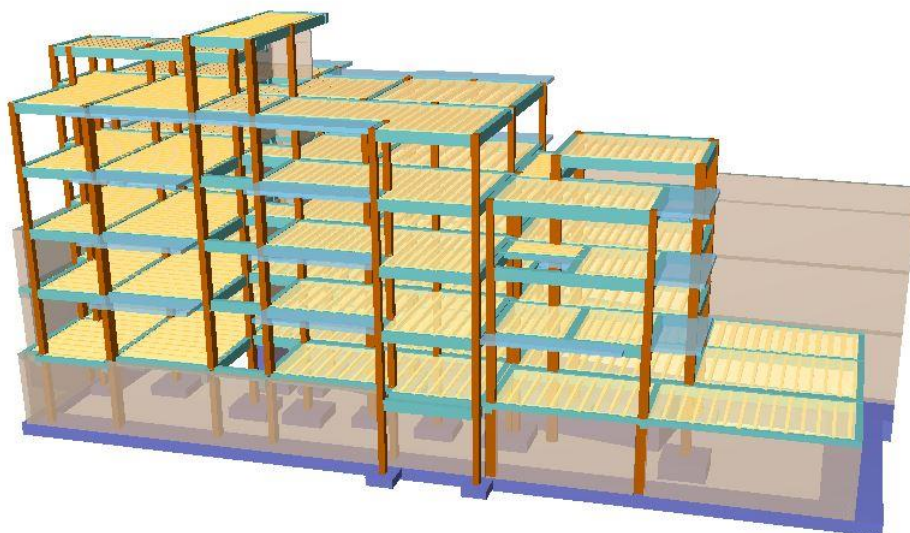


Figura 4.4 - Modelo global representativo do edifício

O dimensionamento foi realizado com base nos critérios estabelecidos no R.E.B.A.P. e Eurocódigo 2, sendo o mesmo realizado diretamente no Cypecad.

#### 4.3.1 DADOS GEOMÉTRICOS DE GRUPOS E PLANTAS

De maneira a otimizar o processo de cálculo, previamente definiu-se o número de níveis a criar com a respetiva correspondência de pé-direitos, conforme demonstra a figura 4.5, figura esta retirada do ficheiro de cálculo do projeto.

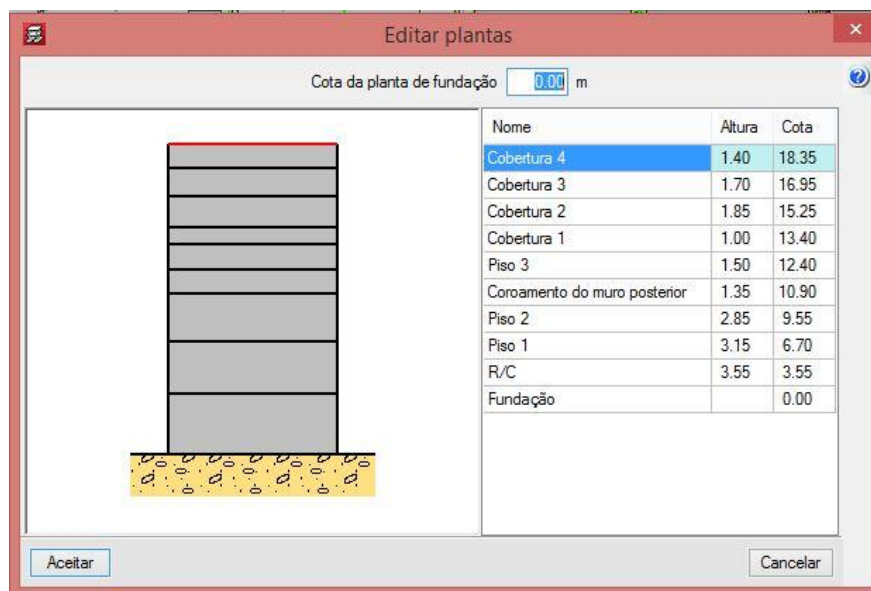


Figura 4.5 – Exemplo de introdução de níveis no software Cypecad

Este é um processo importante pois além de otimizar o cálculo, permite ainda, depois, distribuir as ações e introduzir os elementos estruturais.

Tabela 4.3 - Dados geométricos de grupos e plantas

Grupo	Nome do grupo	Altura (m)	Cota (m)
9	Cobertura 4	1.40	18.35
8	Cobertura 3	1.70	16.95
7	Cobertura 2	1.85	15.25
6	Cobertura 1	1.00	13.40
5	Piso 3	1.50	12.40
4	Coroamento do muro posterior	1.35	10.90
3	Piso 2	2.85	9.55
2	Piso 1	3.15	6.70
1	R/C	3.55	3.55
0	Fundação		0.00

#### 4.3.2 AÇÕES CONSIDERADAS

Para o cálculo e dimensionamento da estrutura é necessário introduzir as ações comuns na planta de um determinado piso ou nível, como tal na tabela 4.4 pode-se observar a correspondência entre as ações consideradas e a respetiva planta/nível.

Tabela 4.4 – Ações consideradas em cada planta

Planta/nível	Sobrecarga ( $kN/m^2$ )	Revest. Paredes div. ( $kN/m^2$ )
Cobertura 4	1.0	1.5
Cobertura 3	1.0	1.5
Cobertura 2	1.0	1.5
Cobertura 1	1.0	1.5
Piso 3	2.0	2.5
Coroamento muro posterior	0.0	0.0
Piso 2	2.0	2.5
Piso 1	2.0	2.5
R/C	2.0	2.5
Fundação	0.0	0.0

Foram ainda introduzidas algumas cargas aplicadas em vigas ou panos de laje de maneira aos esforços introduzidos no modelo de cálculo corresponderem o mais possível à realidade. As cargas adicionadas para além das acima referidas foram as seguintes:

- Cargas lineares na zona de canteiros:  $7.50\ kN/m$
- Sobrecarga aplicada em panos de laje com circulação:  $2.00\ kN/m^2$
- Carga aplicada em vigas com panos de alvenaria sem aberturas:  $10.00\ kN/m$
- Carga aplicada em vigas com panos de alvenaria com aberturas:  $7.50\ kN/m$
- Cargas resultantes do peso próprio de platibandas aplicadas em vigas:  $2.00\ kN/m$
- Sobrecarga aplicada na extremidade das varandas:  $5.00\ kN/m$
- Cargas linear devido a parede de marquises na extremidade de varandas:  $3.50\ kN/m$

Na figura 4.6 é possível observar a aplicação de algumas destas cargas no modelo de cálculo introduzido no software Cypecad.

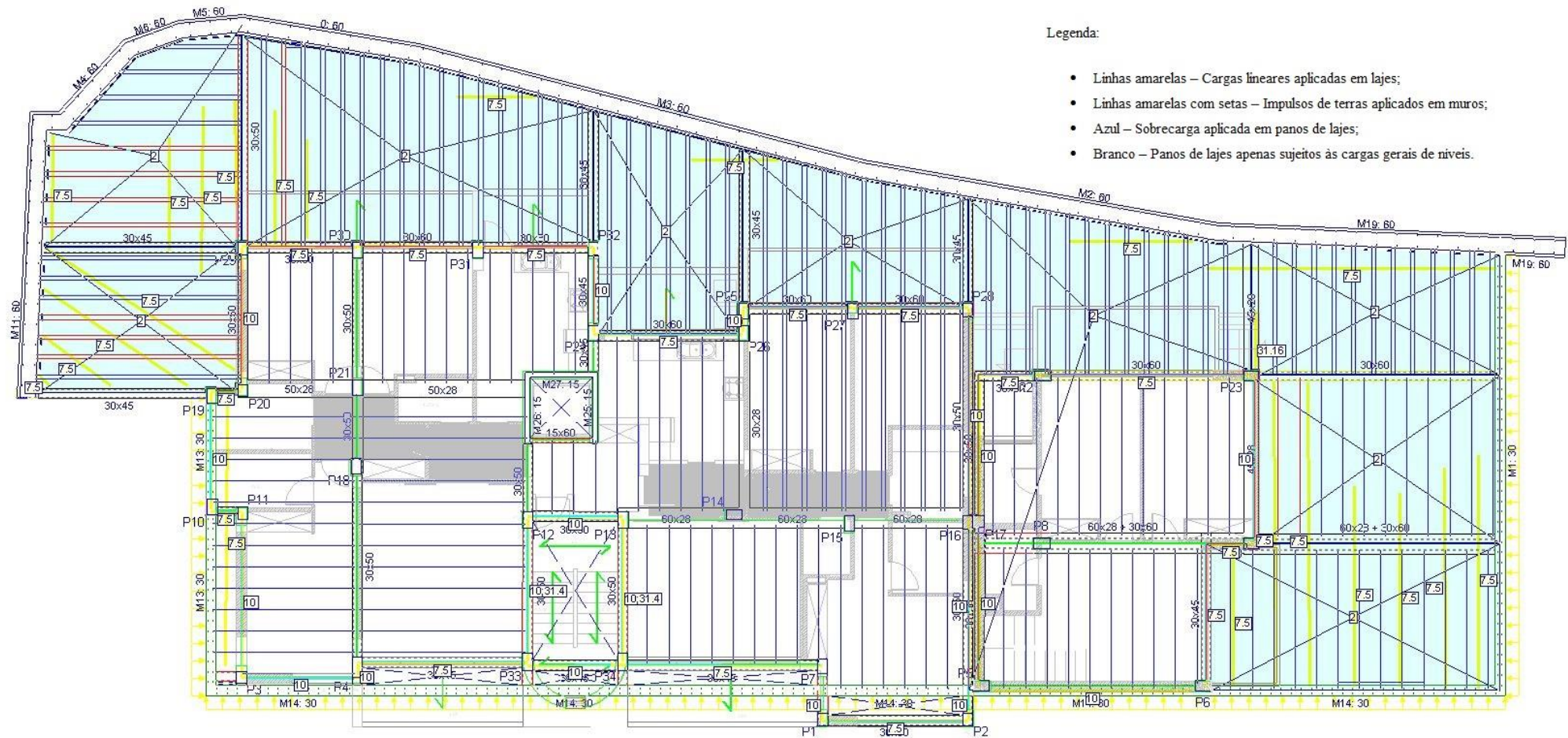


Figura 4.6 – Cargas no modelo de cálculo, ( planta do R/C ), (sem escala)

#### 4.3.3 CÁLCULO DA AÇÃO DO VENTO

Aquando da introdução do modelo de cálculo no software Cypecad, em termos de ação do vento considerou-se o Eurocódigo 1: Acções em Estruturas, Parte 1-4: Acções gerais – Acções de vento. Na introdução de dados teve-se em conta os seguintes parâmetros:

- Zona: A (27 m/s)
- Sem coeficiente direcional
- Categoria do terreno: III
- Período de serviço (anos) : 50
- Tipo de terreno: Plano, ( em ambas as direções, transversal (X) e longitudinal (Y)

Além das larguras em planta anteriormente referidas também se considerou a não realização da análise dos efeitos de segunda ordem.

#### 4.3.4 CÁLCULO DA AÇÃO DO SISMO

Aquando da introdução do modelo de cálculo no software Cypecad, em termos de ação sísmica considerou-se aplicado o R.S.A. . Na introdução de dados teve-se em conta os seguintes parâmetros:

- Norma utilizada: RSA. ( Dinâmica ), segundo R.S.A. (Modal Espectral)
- Método de cálculo: Análise modal espectral (RSA. Dinâmica), Artigo 30.2)
- Zona sísmica (RSA. Dinâmica), Artigo 28): D
- Tipo de terreno (RSA. Dinâmica), Artigo 29.2): Solos Duros
- Ductibilidade (RSA. Dinâmica), Artigo 30.3) h: 2.50
- Amortecimento (RSA. Dinâmica), Artigo 12.3) x: 5
- Número de modos: 18
- Fração de sobrecarga: 0.50
- Fração de sobrecarga de neve: 0.50
- Critério de armadura a aplicar por ductilidade: Ductilidade normal

Além destes parâmetros não se considerou a realização da análise dos efeitos de segunda ordem.

#### 4.3.5 COMBINAÇÃO DE AÇÕES

Para as distintas situações de projeto, as combinações de ações serão definidas de acordo com os seguintes critérios estabelecidos pelo Eurocódigo 2 e aplicados pelo software Cypacad:

- Combinações fundamentais
  - Com coeficientes

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki} \quad (3)$$

- Sem coeficientes

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki} \quad (4)$$

- Combinações sísmicas
  - Com coeficientes

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{AE} A_E + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki} \quad (5)$$

- Sem coeficientes

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{AE} A_E + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki} \quad (6)$$

Em que :

$G_k$  – Ação permanente;

$Q_k$  – Ação variável;

$A_E$  – Ação sísmica;

$\gamma_G$  – Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes;

$\gamma_{Q,1}$  – Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal;

$\gamma_{Q,i}$  – Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento;

$\gamma_{AE}$  – Coeficiente parcial de segurança da ação sísmica;

$\Psi_{p1}$  – Coeficiente de combinação da ação variável principal;

$\Psi_{ai}$  – Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento.

#### 4.3.6 CONSIDERAÇÕES PARA O CÁLCULO DE IMPULSOS NOS MUROS

Neste projeto estão previstos muros de contenção e suporte de terras em betão armado em que no seu dimensionamento se partiu do pressuposto que nos muros que contêm as terras de terrenos adjacentes existe um maciço rochoso aos 3.5 m de profundidade. Devido ao fato de não existirem informações sobre as características do solo, a existência e a posição exata deste maciço rochoso deverá ser confirmada pelo técnico de obra aquando do início dos trabalhos de contenção.

Para o cálculo e análise de elementos de contenção de terras dividiu-se as contenções em Muro Posterior, que contém as terras em relação à propriedade localizada nas traseiras da edificação, Muro Lateral, que contém as terras em relação à propriedade vizinha e Muro Perimetral que contém as terras em volta do perímetro da cave.

Assim sendo considerou-se no modelo de cálculo para cada elemento de contenção o seguinte:

- Muro Posterior M1
- Uma situação de maciço terroso
- Com rocha: Cota: 7.40 m
- Com maciço terroso: 10.90 m
- Ângulo do talude: 0.00 graus
- Densidade aparente:  $18.00 \text{ kN/m}^3$
- Densidade submersa:  $11.00 \text{ kN/m}^3$
- Ângulo de atrito interno: 30.00 graus
- Evacuação por drenagem: 100.00%

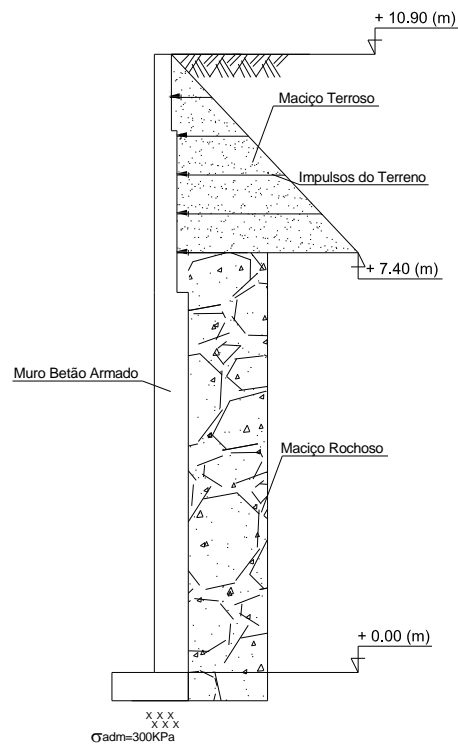


Figura 4.7 – Impulsos Muro Posterior M1, (sem escala)

### Muro Lateral

- Uma situação de maciço terroso
- Com rocha: Cota: 2.70 m
- Com maciço terroso: 6.70 m
- Ângulo do talude: 0.00 graus
- Densidade aparente:  $18.00 \text{ kN/m}^3$
- Densidade submersa:  $11.00 \text{ kN/m}^3$
- Ângulo de atrito interno: 30.00 graus
- Evacuação por drenagem: 100.00%

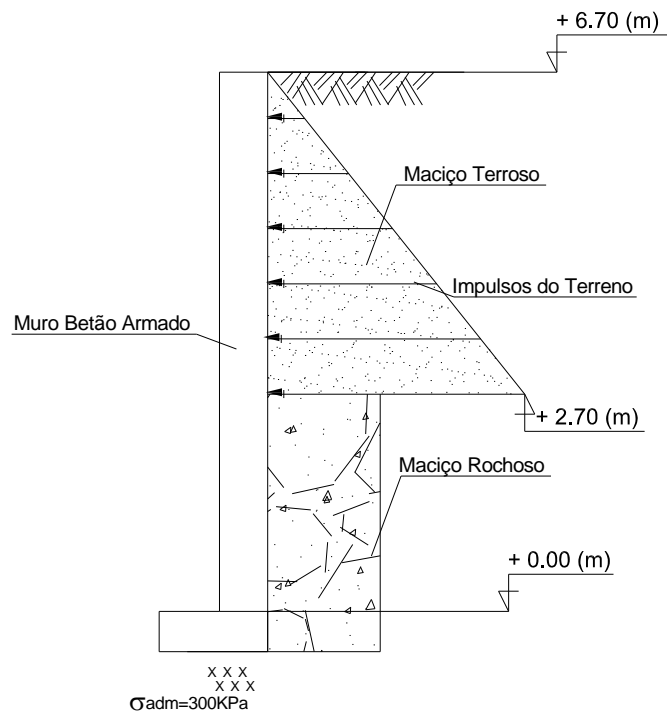


Figura 4.8 - Impulsos Muro Lateral M2, (sem escala)

### Muro Perimetral

- Uma situação de maciço terroso
- Com maciço terroso: 3.55 m
- Ângulo do talude: 0.00 graus
- Densidade aparente:  $18.00 \text{ kN/m}^3$
- Densidade submersa:  $11.00 \text{ kN/m}^3$
- Ângulo de atrito interno: 30.00 graus
- Evacuação por drenagem: 100.00%

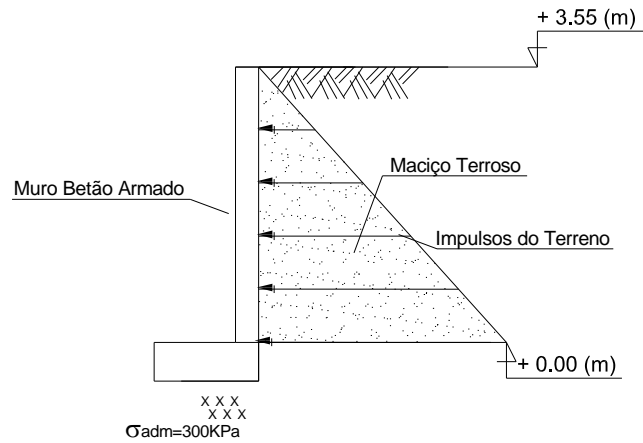


Figura 4.9 - Impulsos Muro Perimetral M4, (sem escala)

#### 4.3.7 LAJES CONSIDERADAS NO MODELO DE CÁLCULO

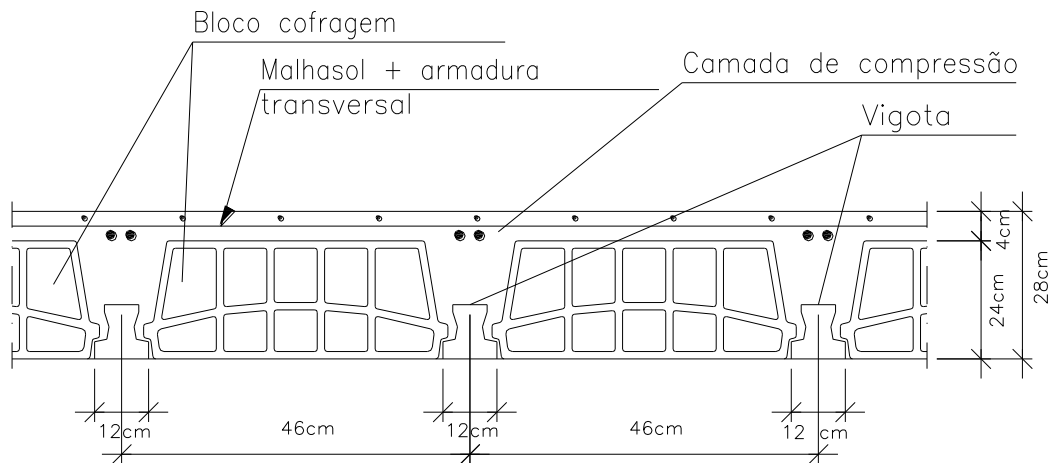
##### 4.3.7.1 Lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas

Para introduzir os panos de laje no software, e respeitando o pré-dimensionamento, considerou-se dois de tipo de laje diferentes, laje LA1 e LA2. Na tabela 4.5 pode-se observar as propriedades mecânicas das lajes introduzidas. Nas figuras 4.10, a) e b), pode-se observar pormenores com as características geométricas das lajes.

Tabela 4.5 - Dados de lajes introduzidas no Cypecad

Nome	Peso Próprio ( $kN/m^2$ )	$EI$ ( $kN.m^2/m$ )	$M_{rd}$ ( $kN.m/m$ )	$M_{fctk}$ ( $kN.m/m$ )	$V_{rd}$ ( $kN/m$ )
LA1	3.716	23563	77.8	44.7	33.7
LA2	3.416	28597	66.4	38.8	53.9

a)



b)

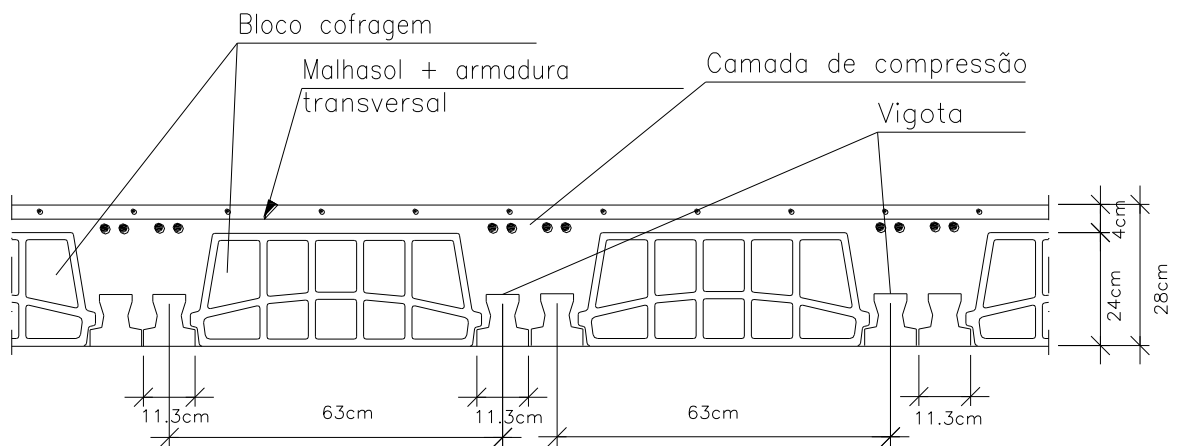


Figura 4.10 - Pormenor laje a) LA1 e b) LA2, (sem escala)

Posteriormente estes dois tipos de lajes foram subdivididas, e numeradas em várias lajes, conforme as peças desenhadas e apresentadas no Anexo I.

#### 4.3.7.1.1 Armadura de distribuição da lajeta de compressão

De acordo com as fichas técnicas das lajes consideradas, anexo II, e com a tabela de área de varões de malha electrossoldada do REBAP, resultam as armaduras de distribuição a seguir referidas.

Laje tipo LA1:

- Transversal com as vigotas: 188mm<sup>2</sup>/m para aço A400
- Alinhamento das vigotas: 94mm<sup>2</sup>/m para aço A400

Isto conduziu à seleção de uma malha AQ 50 para as lajes desta tipologia que representa uma quantidade de armadura de 196mm<sup>2</sup>/m, o que verifica a armadura necessária.

Laje tipo LA2:

- Transversal com as vigotas: 166mm<sup>2</sup>/m para aço A400
- Alinhamento das vigotas: 83mm<sup>2</sup>/m para aço A400

Isto conduziu à seleção de uma malha AQ 50 para as lajes desta tipologia que representa uma quantidade de armadura de 196mm<sup>2</sup>/m, o que verifica a armadura necessária.

#### 4.3.7.1.2 Tarugos

As lajes aligeiradas estão armadas numa única direção, pelo que, segundo o REBAP artº 114.2, se prevê a disposição de nervuras transversais de solidarização.

Segundo este mesmo artigo respeitou-se as seguintes disposições:

- Largura da nervura  $\geq 5 \text{ cm}$
- Distância entre eixos  $\leq 10 \times a \text{ espessura da laje}$
- Altura das nervuras  $\geq 0.8 \times a \text{ espessura da laje}$

Para o cálculo das armaduras dos tarugos:

$$A_{s, \text{tarugo}} = \frac{1}{2} A_{sl} \times d \quad (7)$$

Em que:

- $A_{s, \text{tarugo}}$  – armadura do tarugo (cm<sup>2</sup>);
- $A_{sl}$  – armadura da malha electrossoldada em A400 (cm<sup>2</sup>);
- $d$  – afastamento dos tarugos (cm)

Obs: Quando se verifica a utilização de uma malha electrossoldada A500 é necessário fazer a respetiva conversão para uma malha A400.

#### 4.3.8 ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO

Dada a inexistência de relatório geotécnico para o lote em causa adotou-se genericamente uma tensão admissível de 0.300 MPa. Este valor justifica-se através da relação com obras vizinhas próximas em que se adotou este valor como referência, no entanto o mesmo deve ser confirmado em obra aquando da abertura dos caboucos das fundações.

O dimensionamento das fundações foi efetuado com o software Cypecad, sendo posteriormente homogeneizadas de maneira a simplificar o mais possível o processo construtivo do edifício. Esta homogeneização consistiu em testar no softwares as secções pretendidas para os respetivos elementos a modificar como se explica no ponto de singularidades e dificuldades encontradas.

### 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.4.1 PILARES

Após o cálculo da estrutura os resultados foram analisados, sendo que se verificou a armadura dos pilares, efetuando-se no software o reforço de armadura nos pilares considerados mais sensíveis, pilares centrais que são sujeitos a maiores esforços. Os pilares de canto, são os mais vulneráveis à ação sísmica devido aos efeitos torsionais e os pilares centrais os mais suscetíveis de sofrer ações mecânicas imprevistas que o software não tem em consideração, como por exemplo ações devidas a circulação de veículos na garagem. Por este motivo, devem ser dotados de uma reserva suplementar de resistência, para que se deformem sem perda da mesma assim como suportem melhor os impactos em caso de choques.

As disposições de armaduras adotadas destinam-se a dotar os pilares de uma reserva suficiente de ductilidade que pode ser essencial se ocorrerem desvios relativamente à resposta estrutural prevista.



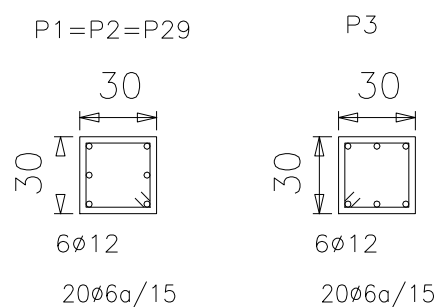


Figura 4.11 - Pormenor 1, (sem escala)

#### 4.4.2 VIGAS

As disposições relativas a dimensões mínimas, foram em geral estabelecidas de modo a evitar uma excessiva concentração de armaduras, por insuficiência de secção, nas zonas de maior sensibilidade estrutural.

A distância entre varões deve permitir a betonagem e a compactação do betão. Situação que é automaticamente verificada pelo software Cypecad.

Na análise de todos os pórticos concluiu-se que estes apresentavam condições para a execução da estrutura, pelo que só se procedeu a correções em casos pontuais da maneira apresentada mais à frente no ponto 4.5.2.

#### 4.4.3 LAJES

##### 4.4.3.1 Lajes de vigotas pré-esforçadas

Conforme o exposto no ponto 4.2.4.1.1 utilizou-se lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas. Esta escolha foi condicionada por questões de arquitetura e processos construtivos. Na escolha da espessura da laje, geralmente esta é condicionada pelas deformações em serviço, portanto teve-se o cuidado de verificar se as lajes escolhidas verificavam a deformação regulamentar.

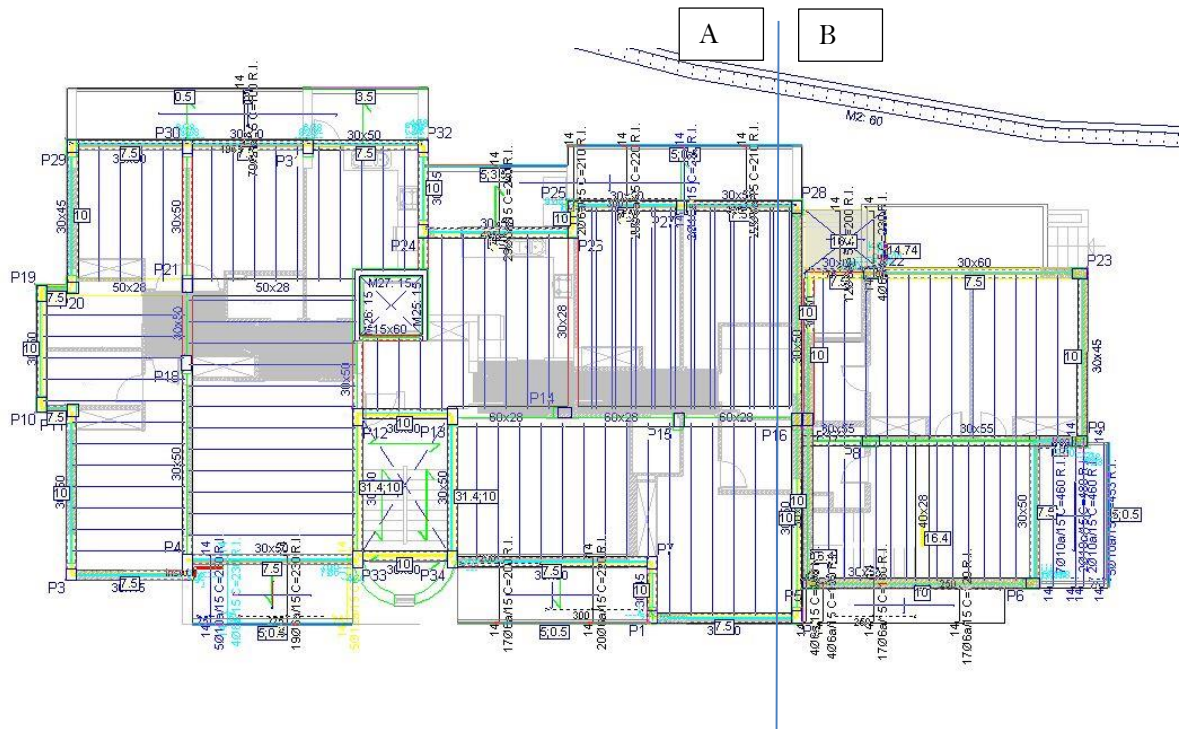


Figura 4.12 – Verificação da deformação de vigotas, Piso 1, adaptado de ficheiro de resultados Cypecad, (sem escala)

Como podemos observar na figura 4.12 as vigotas das lajes no piso 1 não apresentam deformações excessivas, caso contrário as linhas de vigota apareceriam a vermelho, e em todos os restantes pisos também se encontrava verificada a deformação de lajes.

##### 4.4.3.2 Lajes maciças

Podemos observar que as lajes, em todos os pisos, têm uma espessura mínima utilizada de 20 cm, que corresponde a todas as lajes de varanda. No entanto quanto às armaduras estas serão abordadas mais a frente em 4.5.3, pois constituíram um ponto de dificuldade e discussão, 4.5.

#### 4.4.4 SAPATAS INTERLIGADAS POR VIGAS DE FUNDAÇÃO

Relativamente aos resultados obtidos pelo programa a única alteração efetuada refere-se ao tipo de viga utilizada, pois para pilares diferentes por vezes a viga também diferia. Uniformizou-se então a viga a adotar pelo lado da segurança, ou seja, escolheu-se a viga que maior secção e armadura apresentava e mais vezes ocorria.

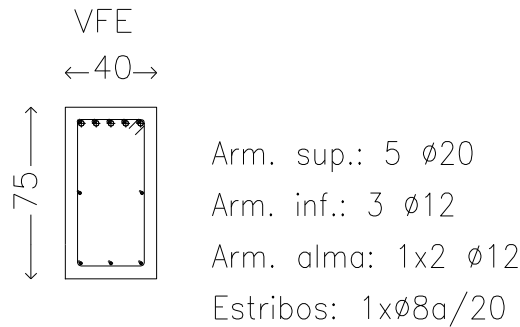


Figura 4.13 – Viga de fundação VFE, (sem escala)

As sapatas interligadas por vigas de fundação permitem a absorção de qualquer possível assentamento diferencial entre sapatas e permitem uma maior economia na sua dimensão, pois os momentos fletores base passaram a ser absorvidos pelas vigas de fundação.

A adoção de vigas de fundação interligando sapatas é uma boa prática de construção sendo que neste caso foram utilizadas de maneira a aliviar os esforços na fundação dos muro de contenção de terras, posterior e lateral. O pretendido foi criar um efeito de alavanca no muro de forma a tentar distribuir as ações que daí advirem.

Pode-se observar a tentativa de dispersão dos efeitos das ações oriundas dos muros através da distribuição e localização das vigas de fundação, Figura 4.14.

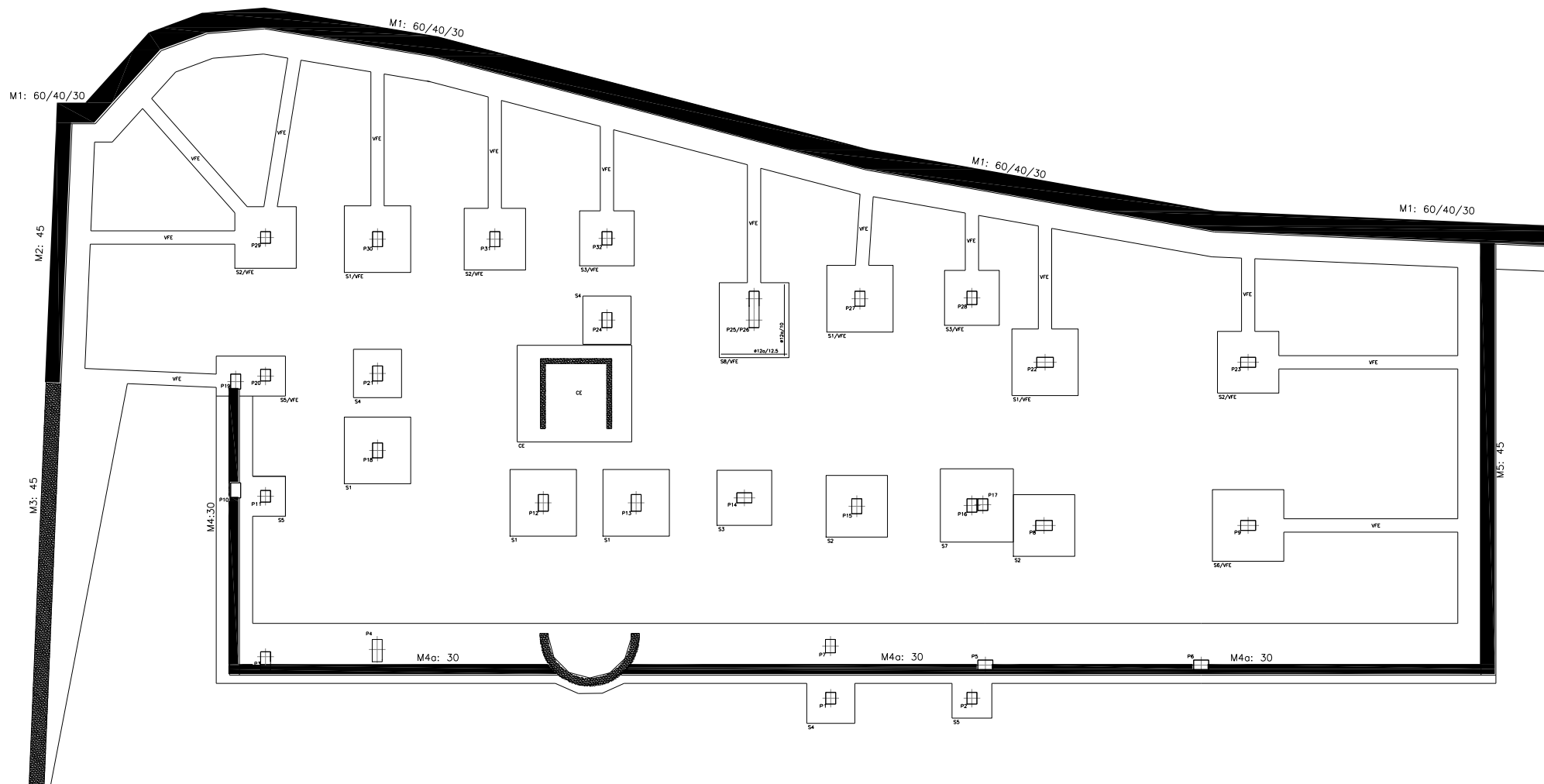


Figura 4.14 – Planta de fundações e vigas de fundações, (sem escala)

4.4.5 ESCADAS

Nas escadas obteve-se 3 tipos de escadas, as escadas da habitação coletiva, as escadas interiores da habitação unifamiliar e as escadas exteriores de acesso à habitação unifamiliar. A pormenorização desses lanços resultou da solução fornecida pelo software Cypecad segundo o procedimento descrito no pré-dimensionamento, ver ponto 4.2.4.1.3.

O modelo estrutural de cada escada corresponde a numa laje armada em uma só direção, simplesmente apoiada, solicitada por cargas verticais. De maneira a tipificar o tipo de solução oferecida pelo software Cypecad só se apresenta na figura 4.15 o desenho de solução da escada interior da habitação unifamiliar, por ser mais complexa.

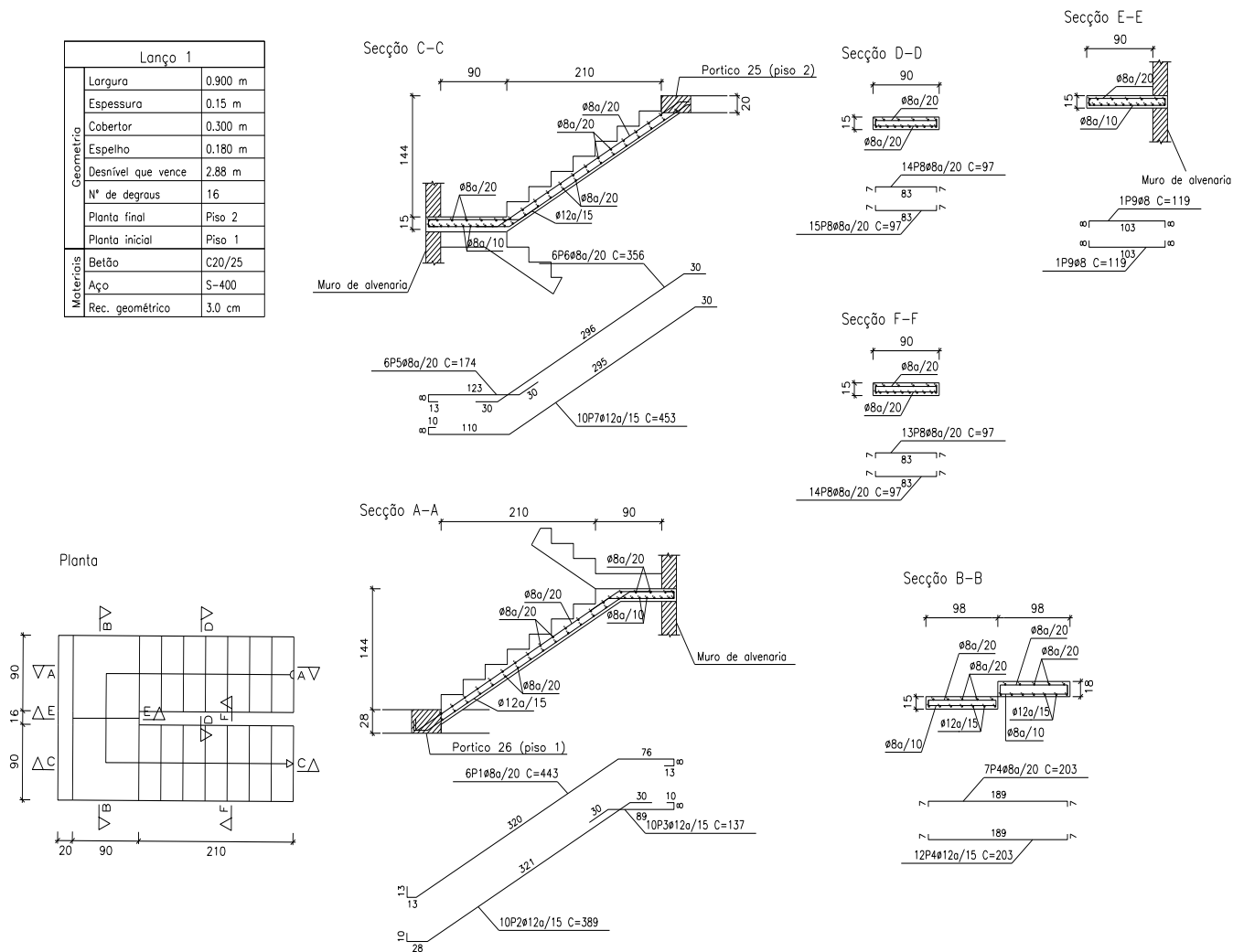


Figura 4.15 – Pormenor de escadas interiores da habitação unifamiliar, (sem escala)

#### 4.4.6 MUROS DE CONTENÇÃO

Para calcular as armaduras dos muros de contenção definiu-se no software Cypecad os impulsos atuantes, as cotas e o tipo de terreno entre outros parâmetros anteriormente referidos.

Adotou-se a armadura que o programa forneceu, na pormenorização das armaduras dos muros de contenção, salvo alguns ajustes justificados pelo referido no ponto de singularidades e dificuldades encontradas. De maneira a tipificar o tipo de solução que o software Cypecad oferece, pode-se observar na figura 4.16 as armaduras do muro M1. Sendo de referir que este muro M1 se encontra localizado e assinalado na figura 4.14.

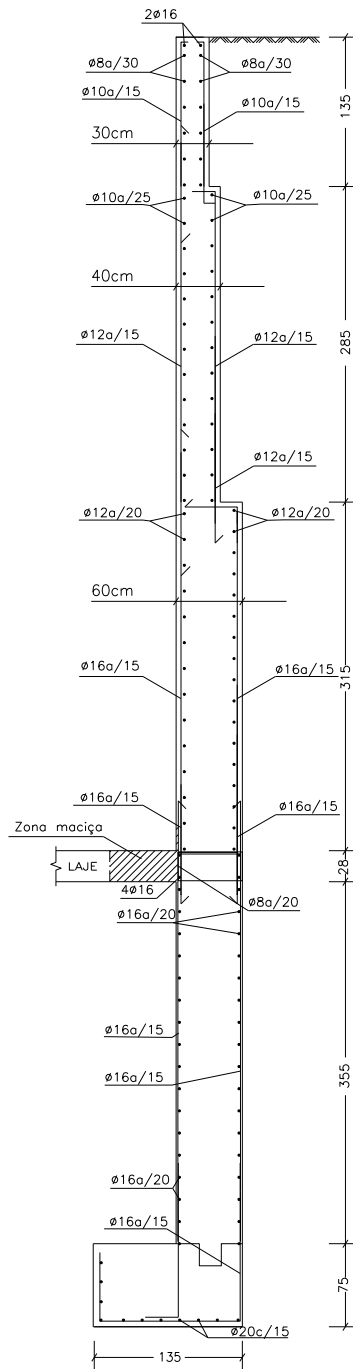


Figura 4.16 – Pormenor de armaduras do muro de contenção M1, (sem escala)

## 4.5 ASPETOS SINGULARES

Ao longo do desenvolvimento do projeto verificaram-se algumas singularidades e dificuldades que me fizeram adaptar e melhorar a minha capacidade de resolução de problemas, o que me fez evoluir. Fazem parte destas algumas particularidades do projeto, dificuldades com o software Cypecad e ainda algumas dúvidas quanto aos resultados obtidos. Estas dificuldades e particularidades foram ultrapassadas através de algumas adaptações ao modelo de cálculo, versatilidade de soluções, de alguns cálculos extra e ainda de experiências e testes extra conforme o que a seguir vai ser exposto.

### 4.5.1 CAIXA DE ESCADAS

Este edifício prevê uma caixa de escadas com uma parede de forma circular, esta completamente fechada ao nível da cave, sendo que a partir do rés-do-chão até à cobertura 1 é aberta a meio, passando a ser composta por dois arcos conforme a arquitetura.

No desenvolvimento do modelo de cálculo com o software Cypecad, houve alguns problemas que se levantaram relacionados com a geometria da caixa de escadas. Com esta geometria era difícil posicionar os elementos de forma circular, agravados pelo aviso de erro, de sobreposição de elementos, que o software Cypecad sinalizava impedindo a continuidade dos trabalhos. Na figura 4.17 pode-se observar a configuração ao nível da cave, assim como assinalado o elemento em análise neste ponto.

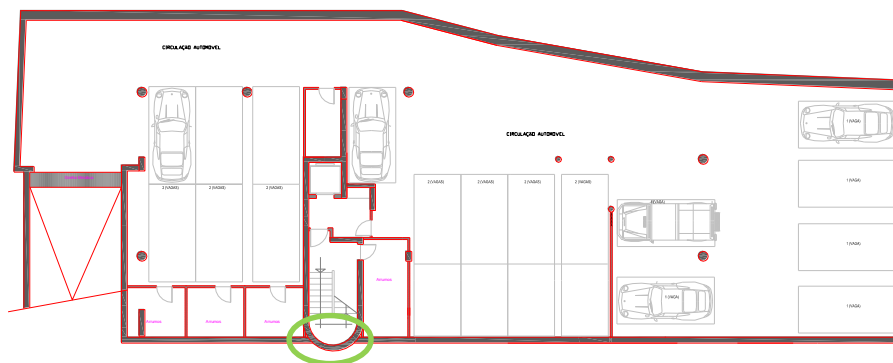


Figura 4.17 – Planta da cave, marcado a verde o elemento adaptado, (sem escala)

Por dificuldade de inserção do elemento no Cypecad, e de maneira a otimizar o tempo gasto, optou-se por fazer uma adaptação do modelo estrutural conforme demonstra a figura 4.18. A opção foi manter o muro da cave corrido ligado ao pórtico da caixa de escadas por duas vigas, para o cálculo do modelo, e considerar e ponderar uma armadura posteriormente com base na armadura obtida no troço de muro na zona de adaptação.

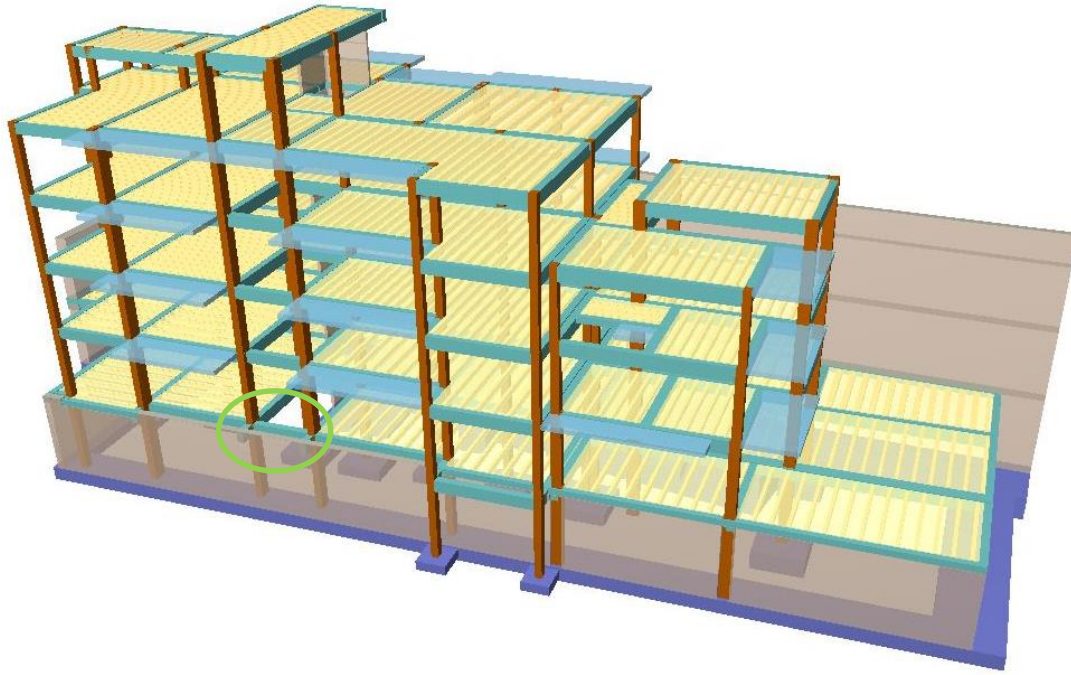
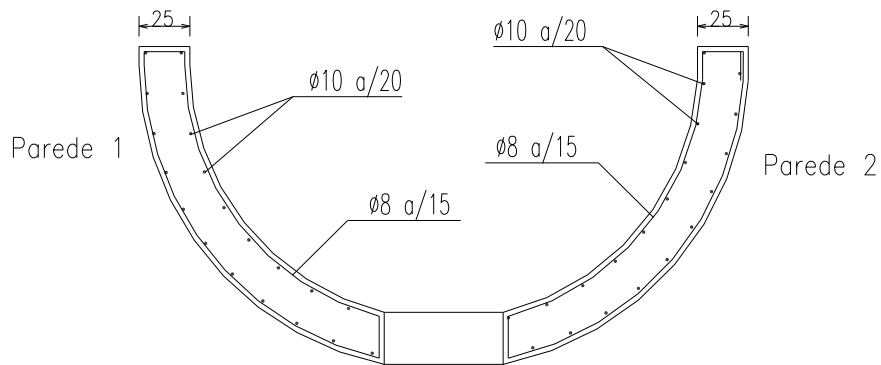


Figura 4.18 – Modelo 3D usado no cálculo da estrutura, adaptado de Cypecad

Esta parede, não constando da solução e desenhos fornecidos pelo software, foi posteriormente desenhada e concebida aquando da análise de resultados e composição das peças desenhadas.



Do r/chão e termina na cobertura 1

Figura 4.19 – Armaduras ponderadas para as paredes da caixa de escada, adaptado das peças desenhadas, (sem escala)

Na tabelas 4.7 pode-se observar as diferenças da quantidade de armadura entre o muro da cave na secção fictícia e o que realmente foi ponderado como solução para as paredes da caixa de elevador.

Muro da cave na zona de adaptação do modelo de cálculo:

Tabela 4.7 – Armaduras obtidas pelo modelo de cálculo e ponderadas

Posição	As calculado	As $cm^2/m$	As ponderado	As $cm^2/m$
Vertical	Φ12//15	7.54	Φ10//20	3.93
Horizontal	Φ10//20	3.93	Φ8//15	3.35

Estas diferenças devem-se ao fato de o modelo considerar a ação de cargas superior ao que se irá verificar na realidade assim como à diferença de secção do muro, visto o muro previsto no modelo de cálculo ter 30 cm de espessura enquanto que as paredes ponderadas têm 25 cm de espessura. Isto representa uma redução de armadura, entre o modelo de cálculo e o adotado, de cerca de 36,5%.

#### 4.5.2 VIGAS

Efetuando o cálculo da estrutura com o software Cypecad requer alguns cuidados na utilização dos resultados obtidos. Neste ponto podemos ver algumas situações pontuais que requer atenção e interpretação de resultados, ou seja existe a necessidade de serem efetuados alguns arranjos nas soluções obtidas. Na figura 4.20 podemos observar o resultado obtido para uma das vigas, e verifica-se que o software Cypecad apresenta uma viga com dois ferros na armadura inferior.

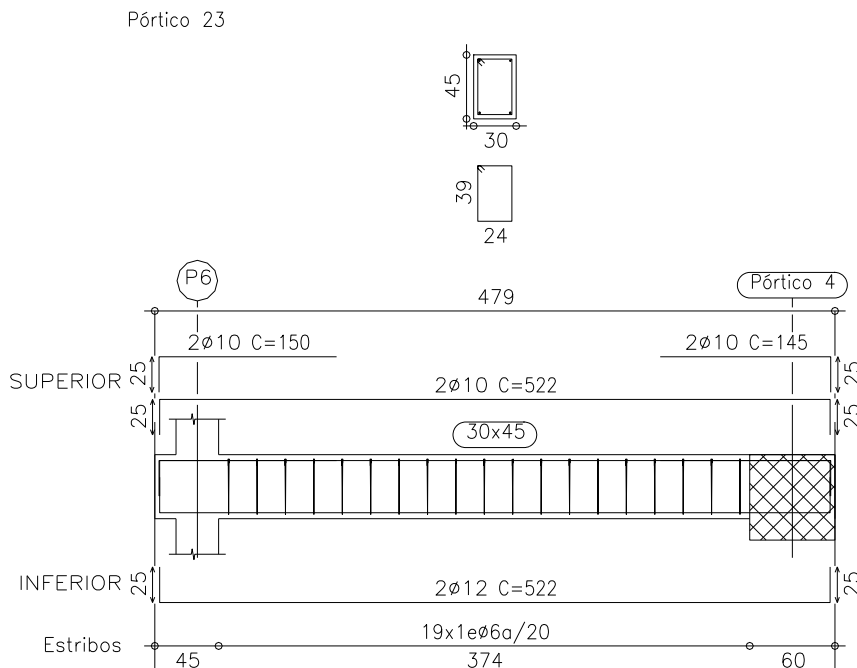


Figura 4.20 – Pormenor da solução de uma viga, pórtico 23 do rés-do-chão, adaptado dos resultados, (sem escala)

Como prática de estar pelo lado da segurança achou-se por bem prever sempre pelo menos 3 ferros na armadura inferior de tal forma que se procedeu ao acréscimo de um ferro na armadura inferior como se pode ver na figura 4.21.

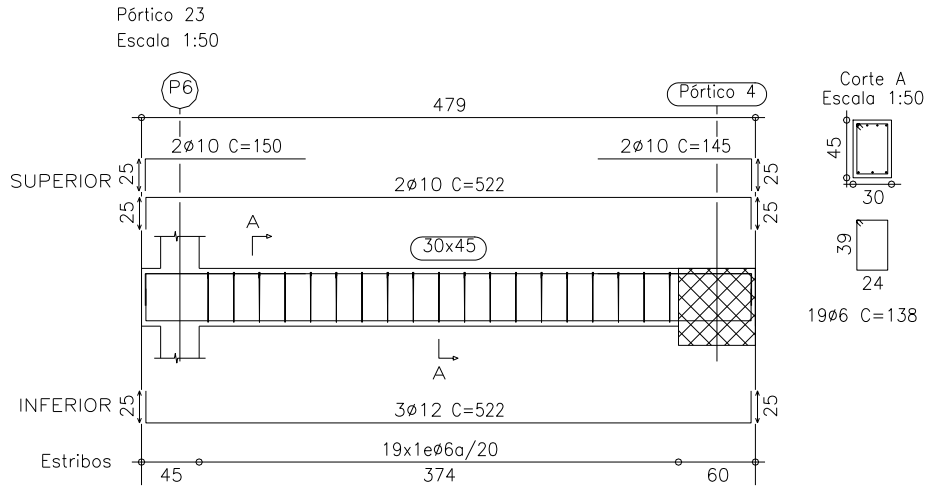


Figura 4.21 – Pormenor da solução final da mesma viga observada na figura 4.20, (sem escala)

#### 4.5.3 LAJES MACIÇAS

Assim como o que se sucede com as vigas, a solução que o software Cypcad apresenta para as lajes maciças também foi alvo de alguns cuidados, sendo que neste caso procedeu-se ao cálculo analítico das lajes.

A problemática com este elemento encontra-se no tipo de solução devolvida. Ou seja, como podemos observar na figura 4.22, o software calcula as armaduras necessárias, mas quando apresenta a solução nota-se que não se trata de uma solução dita homogénea.

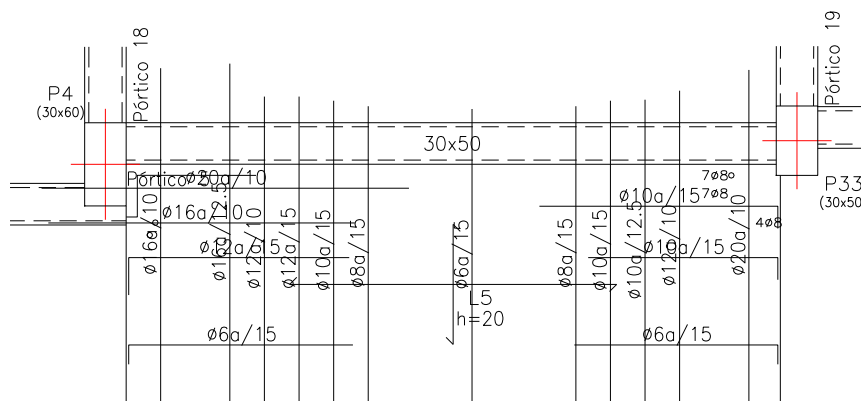


Figura 4.22 – Solução de armadura superior da laje maciça LM1, Piso 1, calculada pelo software Cypcad, (sem escala)

Verificando esta solução procedeu-se ao cálculo da armadura da consola, sendo este realizado de forma a verificar a segurança em relação ao Estado Limite Último flexão e esforço transverso. Como tal procedeu-se à verificação da espessura mínima da laje, seguindo o disposto no art. 102º do REBAP.

$$\frac{l_i}{h} \leq 30 \times \eta \quad (8)$$

Após validada a espessura, efetuou-se o cálculo da armadura construtiva necessária para resistir aos esforços de flexão com recurso às fórmulas simplificadas para elementos sujeitos à flexão simples segundo o REBAP.

$$\mu = \frac{Msd^-}{bd^2 \times fcd} \quad (9)$$

$$\omega = \mu \times (1 + \mu) \quad (10)$$

$$As^- = \frac{\omega \times b \times d \times fcd}{f_{syd}} \quad (11)$$

Em que:

$\mu$  – valor reduzido do valor de cálculo do momento flector resistente;

$\omega$  – percentagem mecânica de armadura;

Msd – momento flector de cálculo (kN.m);

b – largura considerada (1m);

d – altura útil da laje (d= h-a , com a = 0.03m) (m);

fcd – tensão de rotura do betão à compressão (KPa);

f<sub>syd</sub> – tensão de cedência do aço (KPa);

As – área útil de armadura.

De acordo com o REBAP Art.º 104 a armadura principal mínima deve respeitar o seguinte valor:

$$\rho = \frac{As}{b_t d} \times 100 \Rightarrow As_{mín} = \frac{\rho b_t d}{100} \quad (12)$$

Em que:

$\rho$  – percentagem de armadura longitudinal de tração, aplicado a este caso estudo  $\rho$  toma o valor de 0.15, correspondente a um aço A400;

$As$  – área da secção da armadura ( $m^2$ );

$b_t$  – largura média da zona tracionada da secção (m);

$d$  – altura útil da secção ( $d = h - a$  com  $a_{recobrimento} = 0.03m$ ) (m).

De acordo com o Rebap Art.º 90.2 a armadura principal máxima deve respeitar o seguinte valor:

$$As_{m\acute{a}x} \leq 4\% \times AC \Rightarrow As_{m\acute{a}x} \leq 0.04 \times b \times h \quad (13)$$

Em que:

$As_{m\acute{a}x}$  – área da secção da armadura ( $m^2$ );

$AC$  - área da secção da laje ( $m^2$ );

Com estas expressões efetuou-se o cálculo analítico da armadura da laje referida na figura 4.20 e homogeneizando as lajes com a mesma dimensão obteve-se a solução presente na figura 4.19.

Cálculo para a laje LM1 presente na figura 4.22:

- Cargas permanentes

$$\text{Peso próprio do betão: } 0.2 \times 25 = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Revestimentos: } 1 \text{ kN/m}^2$$

- Sobrecargas:

$$\text{Faixa de 1 metro: } 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Restante: } 2 \text{ kN/m}^2$$

- Carga pontual na extremidade:

$$0.5 \text{ kN/m}$$

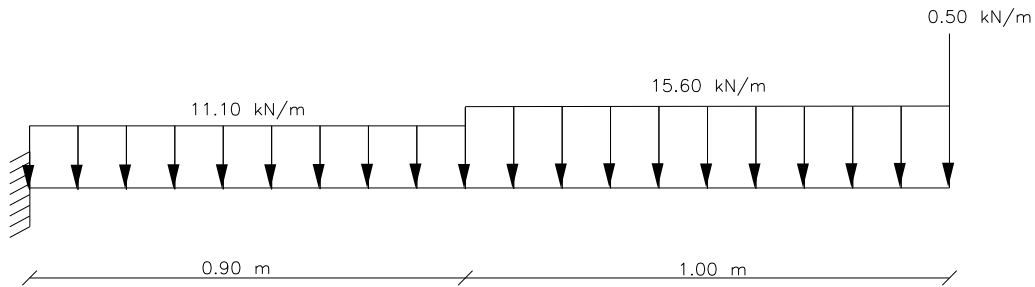
- Carga uniformemente distribuída na faixa de 1 m a partir da extremidade

$$P_1 = 1.35 \times (5 + 1) + 1.5 \times 5 = 15.60 \text{ kN/m}$$

- Carga uniformemente distribuída no restante

$$P_2 = 1.35 \times (5 + 1) + 1.5 \times 2 = 11.10 \text{ kN/m}$$

- Cálculo do momento flector na varanda



$$\sum M_{\text{apoio}} = 11.1 \times 0.9 \times \frac{0.9}{2} + 15.6 \times 1.4 + 0.5 \times 1.9 = 27.29 \text{ kN.m}$$

- Cálculo das armaduras

$$\mu = \frac{27.29}{1 \times 0.17^2 \times 13300} = 0.071$$

$$\omega = 0.071 \times (1 + 0.071) = 0.076$$

$$As^- = \frac{0.076 \times 1 \times 0.16 \times 13300}{343000} = 0.000501 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$As^- = 5.01 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$As_{\text{mín}} = \frac{0.15 \times 1 \times 0.17}{100} = 0.000255 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$As_{\text{mín}} = 2.55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$As_{\text{máx}} \leq 0.04 \times 1 \times 0.20 = 0.008 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$As_{\text{máx}} \leq 80.0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Consultando as tabelas de varões esta área requer uma armadura de Ø10//12.5 que representa uma área de aço de 6.28 cm<sup>2</sup>/m para a solução de armadura superior.

Para armadura inferior obteve-se a seguinte armadura:

$$As^+ = \frac{1}{5} \times As^- = \frac{1}{5} \times 6.28 = 1.27 \text{ cm}^2/m$$

Como  $As^+ \leq As_{\text{mín}}$  deve adotar-se a armadura correspondente a  $As_{\text{mín}}$ , que consultando as tabelas de varões esta área requer uma armadura de Ø8//17.5 que representa uma área de aço de  $2.87 \text{ cm}^2/m$  para a solução de armadura inferior.

No entanto por razões de facilitar o processo construtivo optou-se por homogeneizar as lajes maciças com a mesma dimensão, sendo que a armadura foi ponderada pela varanda mais esforçada.

Cálculo para a laje mais esforçada de mesma dimensão que a presente na figura 4.21:

- Cargas permanentes

$$\text{Peso próprio do betão: } 0.2 \times 25 = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Revestimentos: } 1 \text{ kN/m}^2$$

- Sobrecargas:

$$\text{Faixa de 1 metro: } 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Restante: } 2 \text{ kN/m}^2$$

- Cargas pontuais na extremidade:

$$\text{Sobrecarga em guardas e parapeitos - } 0.5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Peso próprio de paredes - } 3.5 \text{ kN/m}$$

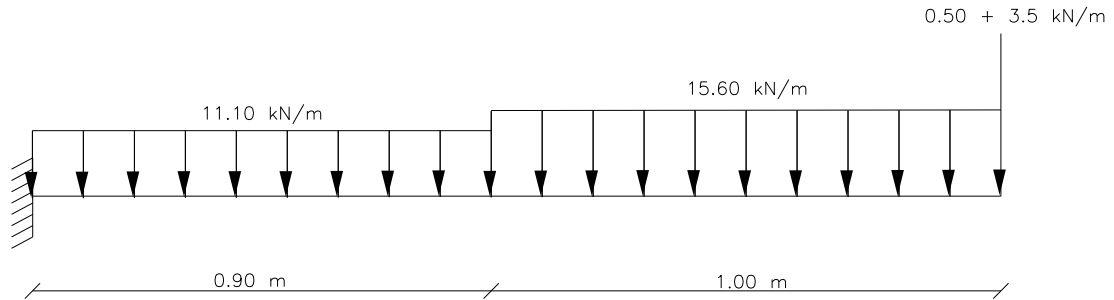
- Carga uniformemente distribuída na faixa de 1 m a partir da extremidade

$$P_1 = 1.35 \times (5 + 1) + 1.5 \times 5 = 15.60 \text{ kN/m}$$

- Carga uniformemente distribuída no restante

$$P_2 = 1.35 \times (5 + 1) + 1.5 \times 2 = 11.10 \text{ kN/m}$$

- Cálculo do momento flector na varanda



$$\sum M_{apoio} = 11.1 \times 0.9 \times \frac{0.9}{2} + 15.6 \times 1.4 + 4 \times 1.9 = 33.94 \text{ kN.m}$$

- Cálculo das armaduras

$$\mu = \frac{33.94}{1 \times 0.17^2 \times 13300} = 0.0883$$

$$\omega = 0.0883 \times (1 + 0.0883) = 0.0961$$

$$As^- = \frac{0.0961 \times 1 \times 0.17 \times 13300}{343000} = 0.000634 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$As^- = 6.34 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$As_{mín} = \frac{0.15 \times 1 \times 0.17}{100} = 0.000255 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$As_{mín} = 2.55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$As_{máx} \leq 0.04 \times 1 \times 0.20 = 0.008 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$As_{máx} \leq 80.0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Consultando as tabelas de varões esta área requer uma armadura de  $\varnothing 12//15$  que representa uma área de aço de  $7.54 \text{ cm}^2/m$  para a solução de armadura superior.

Para armadura inferior obteve-se a seguinte armadura:

$$As^+ = \frac{1}{5} \times As^- = \frac{1}{5} \times 7.54 = 1.51 \text{ cm}^2/m$$

Como  $As^+ \leq As_{\min}$  deve adotar-se a armadura correspondente a  $As_{\min}$ , que consultando as tabelas de varões esta área requer uma armadura de  $\varnothing 8//17.5$  que representa uma área de aço de  $2.87 \text{ cm}^2/m$  para a solução de armadura inferior.

No entanto por razões de facilitar o processo construtivo optou-se por homogeneizar as lajes maciças com a mesma dimensão, sendo que a armadura foi ponderada pela varanda mais esforçada.

## LM1

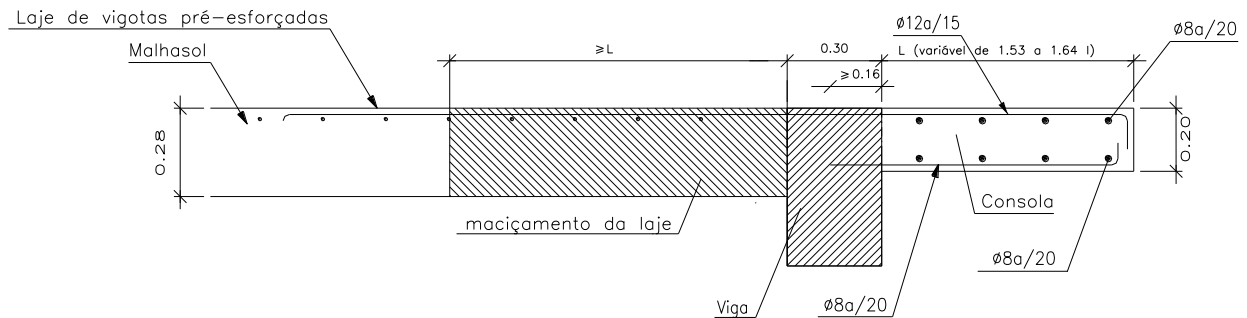


Figura 4.23 - Solução final da laje LM1, Piso 1, através do cálculo analítico, (sem escala)

Comparando a armadura superior calculada analiticamente, figura 4.23, com a armadura superior calculada pelo software Cypecad, figura 4.22, percebe-se a dificuldade em compreender qual a armadura a considerar, constituindo isto, portanto, um ponto que levantou dificuldades de interpretação e de adoção da solução sendo necessário o cálculo auxiliar das armaduras. Do mesmo modo verifica-se que comparando as soluções, o Cypecad oferece uma solução em média cerca de 19% superior à de cálculo analítico para este caso.

#### 4.5.4 SAPATAS

O software neste ponto particular devolve uma solução com várias secções de sapatas diferentes entre os pilares, isto representa uma dificuldade posteriormente em obra. Como se pode observar na tabela 4.8 para um projeto deste tipo, relativamente grande, obteve-se várias soluções de sapatas para os pilares considerados.

Tabela 4.8 - Elementos de fundação obtidos com o software Cypecad

Referências	Dimensões (cm)	Altura (cm)	Armadura inf. X	Armadura inf. Y
P1	125x125	40	6Ø12//19	6Ø12//19
P2	115x115	40	6Ø12//19	6Ø12//19
P9	215x215	80	8Ø20//27	8Ø20//27
P11	105x105	40	5Ø12//19	5Ø12//19
P12	200x200	55	10Ø16//20	10Ø16//20
P13	200x200	55	17Ø12//11	17Ø12//11
P14	165x165	45	12Ø12//13	12Ø12//13
P15, P23	185x185	50	15Ø12//12	15Ø12//12
P18, P30	195x195	50	6Ø20//12	6Ø20//30
P20	115x115	40	6Ø12//19	6Ø12//19
P21	145x145	40	6Ø16//25	6Ø16//25
P22	200x200	55	7Ø20//30	7Ø20//30
P24	135x135	40	5Ø16//29	5Ø16//29
P27	195x195	55	10Ø16//20	10Ø16//20
P28	160x160	45	12Ø12//13	12Ø12//13
P29	175x175	45	14Ø12//12	14Ø12//12
P31	185x185	50	9Ø16//20	9Ø16//20
P32	150x150	40	6Ø16//26	6Ø16//26
(P16-P17)	220x220	55	21Ø12//10	21Ø12//10
(P25-P26)	130x445	100	21Ø20//21	8Ø20//16

De maneira a simplificar as soluções e peças desenhadas fez-se uma homogeneização de sapatas reduzindo-as, tanto quanto possível, a um número de secções mais restrito. Esta homogeneização foi feita através da análise de soluções obtidas, assim como através de vários testes efetuados. Estes testes consistiram em mudar manualmente a secção de algumas sapatas para as desejadas e em seguida fazendo correr novamente o software Cypecad para a verificação de segurança. Posteriormente o quadro de sapatas é editado nas peças finais para a sua versão final conforme se pode ver na tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Elementos de fundação final

Referências	Pilares	Dimensões (cm)	Altura (cm)	Armadura inf. X	Armadura inf. Y
S1	P12, P13, P18	200x200	55	Ø16//17.5	Ø16//17.5
S2	P8, P15	185x185	55	Ø12//10	Ø12//10
S3	P14	165x165	50	Ø12//12	Ø12//12
S4	P1, P21, P24	145x145	50	Ø12//12	Ø12//12
S5	P2, P11	120x120	50	Ø12//17.5	Ø12//17.5
S7	(P16-P17)	220x220	75	Ø16//17.5	Ø16//17.5
S1/VFE	P22, P27, P30	200x200	75	Ø16//17.5	Ø16//17.5
S2/ VFE	P23, P29, P31	185x185	75	Ø12//10	Ø12//10
S3/ VFE	P28, P32	165x165	75	Ø12//12	Ø12//12
S5/ VFE	P20	120x120	75	Ø12//17.5	Ø12//17.5
S6/ VFE	P9	215x215	75	Ø16//17.5	Ø16//17.5
S8/ VFE	P25, P26	210x225	75	Ø12//12.5	Ø12//10
CE	CE	345x290	60	Ø12//12.5	Ø12//12.5

Como se pode observar, a partir da solução obtida inicialmente, é possível reduzir a variedade de secções de sapatas simplificando as soluções de projeto.

#### 4.5.5 MUROS DE CONTENÇÃO

Sendo os muros de contenção de uma envergadura considerável, estes foram alvo de particular atenção e foram feitos alguns testes e experiências de maneira a consolidar a solução adotada.

Tendo em particular atenção o muro posterior, de maior dimensão, efetuaram-se alguns testes e experiências, sendo de referir que primeiro tomou-se a opção de avaliar o impacto da ação sísmica na solução de armadura calculada pelo software Cypecad. Como tal após efetuar-se uma cópia do ficheiro de cálculo do software Cypecad efetuou-se o cálculo da estrutura com a opção da ação sísmica ativada. Dividindo os muros em troços, pela sua geometria, verificou-se as soluções de armadura presentes na tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Solução de armaduras do muro posterior com ação sísmica ativa

Elemento	Secção	Posição	Solução	Área $cm^2/m$
Muro posterior troço recto	60	V	Ø25//20	24,54
		H	Ø12//15	7,54
	40	V	Ø20//20	15,71
		H	Ø16//10	20,11
	30	V	Ø16//30	6,7
		H	Ø20//20	15,71
Muro posterior troço curvo	60	V	Ø20//25	12,57
		H	Ø12//15	7,54
	40	V	Ø16//25	8,04
		H	Ø12//25	4,52*
	30	V	Ø16//30	6,7
		H	Ø10//25	3,14
Muro lateral	45	V	Ø20//25	12,57
		H	Ø12//25	4,52*
Muro da garagem	30	V	Ø16//30	6,7
		H	Ø16//25	8,04

\* Ligeiras discrepâncias verificadas na comparação de soluções de armadura dos muros.

Com o mesmo ficheiro de cópia repetiu-se o cálculo da estrutura, mas desta vez com a opção de ação sísmica desativada e obtiveram-se as seguintes armaduras visíveis na tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Solução de armaduras do muro posterior sem a ação sísmica ativa

Elemento	Secção	Posição	Solução	Área $cm^2/m$
Muro posterior troço recto	60	V	Ø25//20	24,54
		H	Ø12//25	7,54
	40	V	Ø20//20	15,71
		H	Ø16//10	20,11
	30	V	Ø16//30	6,7
		H	Ø20//20	15,71
Muro posterior troço curvo	60	V	Ø20//25	12,57
		H	Ø12//15	7,54
	40	V	Ø16//25	8,04
		H	Ø12//15	7,54*
	30	V	Ø16//30	6,7
		H	Ø10//25	3,14
Muro lateral	45	V	Ø20//25	12,57
		H	Ø12//15	7,54*
Muro da garagem	30	V	Ø16//30	6,7
		H	Ø16//25	8,04

\* Ligeiras discrepâncias verificadas na comparação de soluções de armadura dos muros.

A partir das diferenças entre as duas soluções, com e sem ação sísmica, notaram-se só umas ligeiras discrepâncias na solução de armadura, assinaladas com asterisco.

Como curiosidade podemos notar que as únicas diferenças encontradas verificam uma maior quantidade de armadura na opção em que a ação sísmica foi desativada.

## **5 Conclusões e desenvolvimentos futuros**

Uma das conclusões que se pode tirar do trabalho desenvolvido é a economia de tempo e recursos que este tipo de software de cálculo automático de estruturas proporciona, tornando-os uma ferramenta de trabalho indispensável. Como este tipo de ferramentas podemos otimizar soluções, pois os softwares de cálculo automático de estruturas revelam-se bastante práticos e rápidos para testar pequenas alterações, como secções de sapatas por exemplo. Mas é de ressaltar que por vezes, em estruturas mais complexas, com muitos elementos estruturais diferentes e ou alinhamentos de elementos pouco simétricos, a introdução de elementos tem de ser feita muito cuidadosamente de maneira a minimizar os erros de geometria. Pois nestas estruturas ditas mais pesadas existe a possibilidade de gerar um erro no software, podendo conduzir a perda do trabalho efetuado.

No entanto a utilização destas ferramentas requer alguns cuidados e atenção, nomeadamente na validação do modelo de cálculo e sobretudo na revisão das peças desenhadas que o software devolve como solução. Outra nota de relevo é as soluções variadas que o software devolve, sendo possível e aconselhável a uniformização do processo construtivo, considerando tanto quanto possível, um menor número de elementos com secção e solução diferentes.

Através da comparação entre as soluções que o software dá e as soluções obtidas no cálculo analítico, pode-se concluir que as soluções que o software devolve estão pelo lado da segurança. Podemos denotar isto no caso da verificação feita à laje maciça LM1, em que o Cypecad devolveu uma solução em média 19% superior à analítica. Tornando as soluções fiáveis do ponto de vista da segurança.

O período de estágio proporcionou ainda a possibilidade de desenvolver competências extra académicas, nomeadamente a aprendizagem da utilização da ferramenta de cálculo automático Cype, principalmente os módulos Cypecad e de muros em consola de betão armado e desenvolver competências na utilização do Autocad.

É de referir que também tive oportunidade de desempenhar outras funções como dimensionamento de redes prediais, atividades de medição e orçamento, visita a locais de futuras obras para fazer levantamentos de pré-existências. Pude ainda consultar, dentro do ambiente de trabalho, projetos de especialidade, nomeadamente térmica, acústica, redes de gás e ITED, (infra-estruturas de Telecomunicações em Edifícios).



## **6 Bibliografia**

- Reis, A.; Farinha, M. (2005) – Tabelas Técnicas, Edições Técnicas, Lisboa, ISBN: 972-8906-01-3.
- Betão Armado – Esforços Normais e de Flexão (Rebap 83), Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1996, ISBN – 9724911551
- NP-EN 1991-1-4 - Eurocódigo 1 – Acções em estruturas, Parte 1-4: Acções gerais – Acções do Vento, ICS – 91.010.30
- NP-EN 1992-1-2 - Eurocódigo 2 – Projecto de Estruturas de Betão; Parte 1-1: Regras Gerais e regras para edifícios, ICS –91.080.40
- REBAP; Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado; Decreto-Lei nº349-c/83, de 30 Julho e Decreto-Lei nº 128-99, de 21 Abril, Porto Editora, 2007, ISBN: 978-972-0-06806-4
- RGEU, Regulamento Geral das Edificações Urbanas, Decreto-Lei nº38382, de 7 de Agosto de 1951, Porto Editora, 2008, ISBN: 978-972-0-01309-5
- RSA; Regulamento de Segurança e Acções para estruturas de Edifícios e Pontes; Decreto-Lei nº235/83, de 31 Maio, Porto Editora, 2005, ISBN: 978-972-0-01183-1
- Azevedo, J. M.S. (2012) Critérios de Utilização de Programas de Cálculo Automático Integral na Análise e Dimensionamento Sísmico de Estruturas de Edifícios, Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto 316 páginas,
- Pirralha, A. J. L. (2010) Cálculo Automático de Estruturas. Análise Estrutural e Dimensionamento de um Edifício., Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas, Instituto superior de Engenharia de Lisboa, 66 páginas.
- Tavares, T. M. A. S. (2013) Análise Comparativa de Modelos de Cálculo Automático no Âmbito do Projeto de Estruturas, Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 153 páginas.
- Jacinto, S. P. R. (2007) Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de bacharel em Engenharia Civil, Instituto Politécnico da Guarda – Escola Superior de Tecnologia e Gestão 370 páginas.

Pandeirada, P. A. J. (2007) Relatório de Estágio submetido para ingresso na Associação Nacional de Engenheiros Técnicos, Instituto Politécnico da Guarda – Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 199 páginas.

Campeão, J.C.R. (2008) Estruturas de Edifícios – Apontamentos disponibilizados, disciplina de Estruturas de Edifícios, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Félix, C.M.S. (2011) Estruturas de Betão 1 – Apontamentos realizados durante as aulas, disciplina de Estruturas de Betão 1, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Félix, C.M.S. (2012) Estruturas de Betão 2 – Apontamentos realizados durante as aulas, disciplina de Estruturas de Betão 2, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Gorgulho, A. (2007/2008) Folhas da cadeira de Betão Estrutural II , disciplina de Betão Estrutural II, Instituto Superior Engenharia de Lisboa.

Manual do utilizador programa Cypecad, traduzido e adaptado pela Top-Infomática, Lda para a

© CYPE Ingenieros, S.A. Setembro 2013

Memória de cálculo programa Cypecad, traduzido e adaptado pela Top-Infomática, Lda. para a

© CYPE Ingenieros, S.A. Março 2013

## Anexo I – Lajes, Elementos a), b) e c)

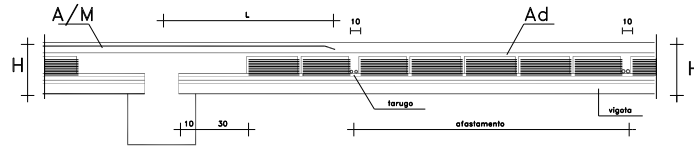
a) Quadro de lajes

LAJE	TIPO ( PRESDOURO )	H	A/M	TARUGOS	Ad	L	Pormenor
LA1	P5-BL33X24-28	24+4=28	7d 10 pml	1T/2d 10	AQ 50	0.83	P1, P5
LA2	P5-BL33X24-28	24+6=28	7d 10 pml	1T/2d 10	AQ 50	0.86	P1, P2
LA3	P5-BL33X24-28	24+4=28	7d 10 pml	2T/2d 10	AQ 50	1.01	P1, P2
LA4	P5-BL33X24-28	24+4=28	7d 10 pml	2T/2d 10	AQ 50	1.07	P1, P2, P5
LA5	2P3-BL40X24-28	24+4=28	7d 12 pml	3T/2d 10	AQ 50	1.25	P1, P5
LA6	P5-BL33X24-28	24+4=28	7d 12 pml	2T/2d 10	AQ 50	1.17	P2, P5
LA7	P5-BL33X24-25	24+4=28	7d 10 pml	1T/2d 10	AQ 50	0.98	P1
LA8	P5-BL33X24-28	24+4=28	7d 10 pml	1T/2d 10	AQ 50	0.87	P1, P2
LA9	2P3-BL40X24-28	24+4=28	7d 12 pml	3T/2d 10	AQ 50	1.20	P2
LA10	2P3-BL40X24-28	24+4=28	7d 12 pml	2T/2d 10	AQ 50	1.18	P2
LA11	2P3-BL40X24-28	24+4=28	7d 12 pml	3T/2d 10	AQ 50	1.26	P1, P2
LA12	2P3-BL40X24-28	24+4=28	7d 12 pml	3T/2d 10	AQ 50	1.32	P1, P2
LA13	2P3-BL40X24-28	24+4=28	7d 12 pml	2T/2d 10	AQ 50	1.08	P1, P2
LA14	2P3-BL40X24-25	24+4=28	7d 10 pml	2T/2d 10	AQ 50	1.07	P1, P2
LA15	2P3-BL40X24-28	24+4=28	7d 10 pml	1T/2d 10	AQ 50	0.78	P1, P2
LA16	P5-BL33X24-28	24+4=28	7d 10 pml	XX/XX XX	AQ 50	0.37	P1
LA17	P5-BL33X24-28	24+4=28	7d 10 pml	1T/2d 10	AQ 50	0.98	P1
LA18	P5-BL33X24-28	24+4=28	7d 10 pml	1T/2d 10	AQ 50	0.68	P1
LA19	P5-BL33X24-28	24+4=28	7d 10 pml	XX/XX XX	AQ 50	0.56	P1

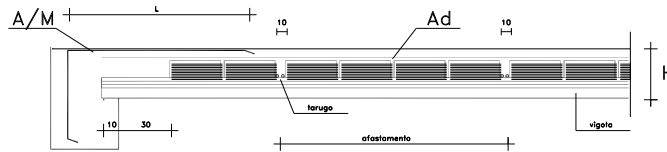
Nos elementos b) e c) são apresentados os pormenores e a identificação de lajes e pormenores em planta.

b) Pormenores construtivos das Lajes, (sem escala)

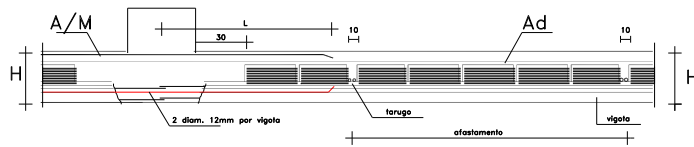
pormenor 1



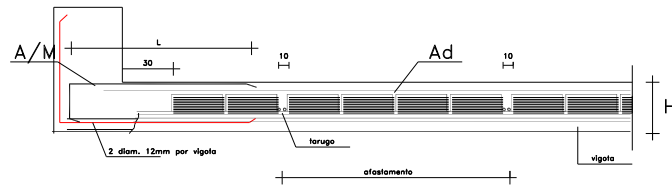
pormenor 2



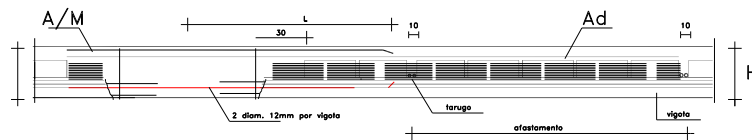
pormenor 3



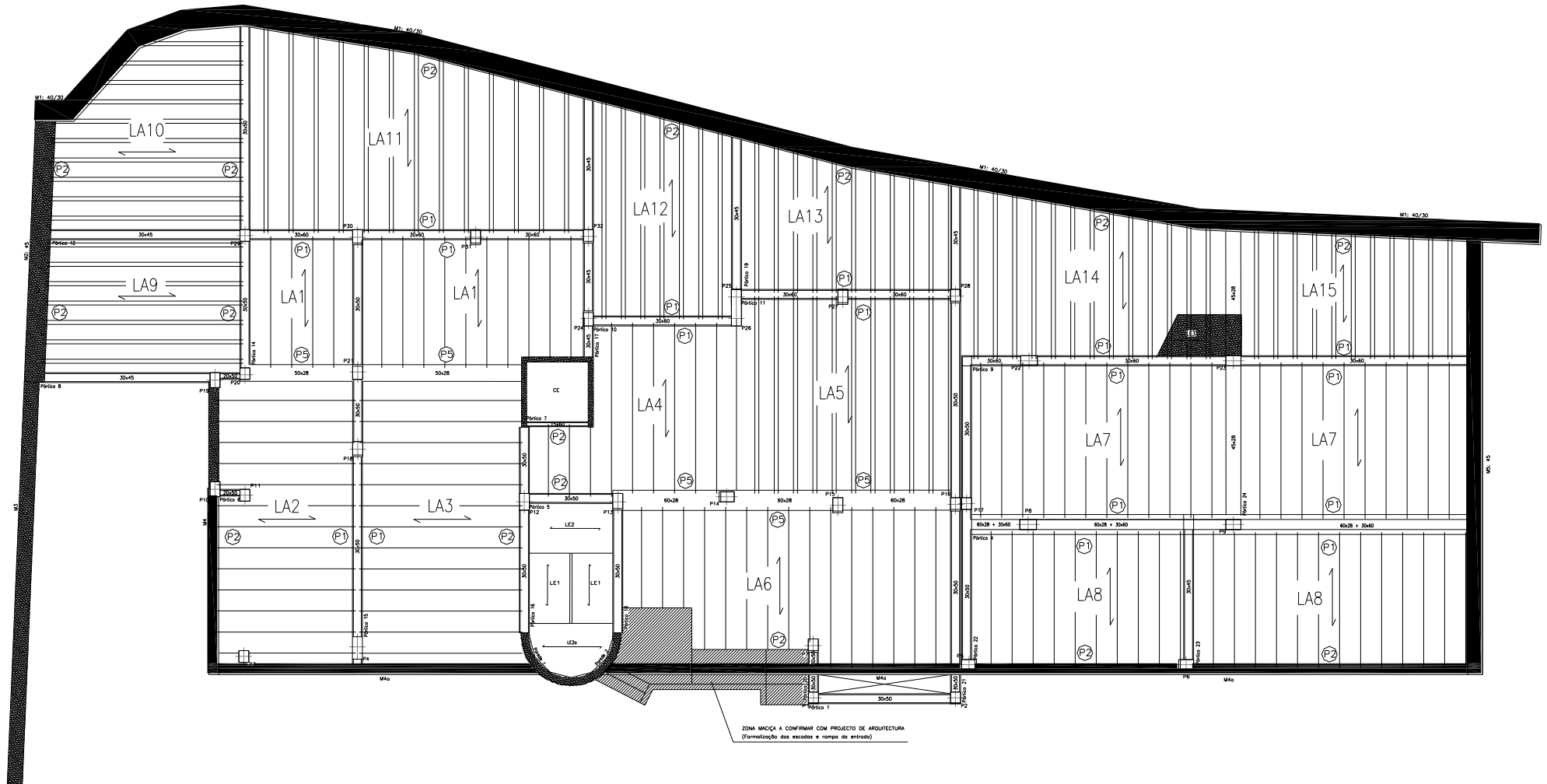
pormenor 4



pormenor 5



c) Identificação de Lajes e Pormenores na Planta do R/C, (sem escala)

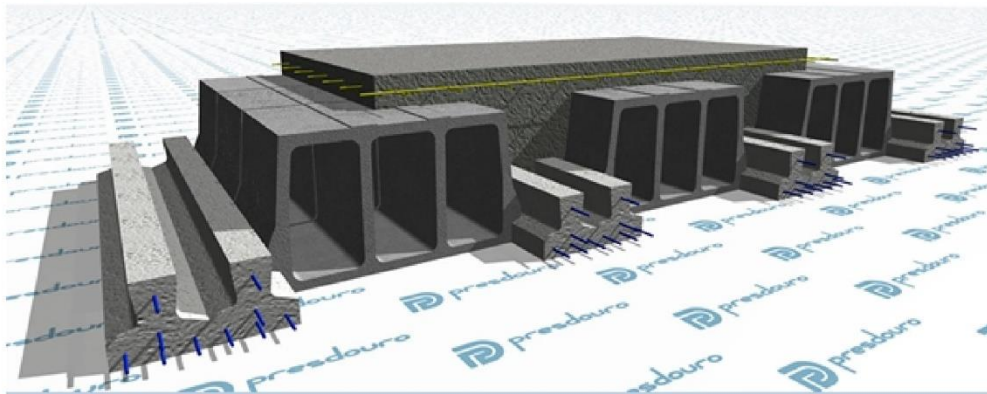




## Anexo II – Exemplo de Ficha Técnica de Laje



### Pavimento 2P3-BL40x24-28



[ ... Os dados ( MRd, VRd, Mfctk, e EI ) homologados e calculados pelo LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil, o novo Documento de Aplicação DA 35 ... ]

#### Dados Geométricos

Altura total ...	280 mm
Acima da abobadilha...	40 mm
Quantidade vigotas ...	3.19 metros /m2
Quantidade abobadilhas...	6.39 Unidades /m2
Betão enchimento...	102.5 Litros /m2
Distância entre vigotas ...	626 mm
Distância entre abobadilhas...	400 mm

#### Dados Mecânicos

Peso total ...	3.57 kN /m2
EI ...	28597 kN.m2/m
MRd ...	66.4 kN.m/m
Mfctk ...	38.8 kN.m/m
VRd ...	53.9 kN /m

Armadura de distribuição ( transversal com as vigotas ) : 166 mm<sup>2</sup>/ m para A400 ou 133 mm<sup>2</sup>/ m em A500  
 Armadura de distribuição ( alinhamento das vigotas ) : 83 mm<sup>2</sup>/ m para A400 ou 66 mm<sup>2</sup>/ m em A500  
 Custo aproximado ( valor inclui Materiais e Mão de obra para trabalhos de escoramento e montagem ) : 23,28 Euros /m<sup>2</sup>

Para mais informações não hesite contacte: PRESDOURO, SA. - Tel: 256 910 370, Fax: 256 917 125, eMail : presdouro@presdouro.pt , ou visite [www.presdouro.pt](http://www.presdouro.pt)

Documento gerado pelo software Presdouro Calc. V1.6 no dia 11,6,2014 [ 09:56:19 ]

