

Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos

NUNO ALBERTO VIEIRA GOMES

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
Mestre em Engenharia Civil — Especialização em Estruturas

Orientador: Professor Doutor Nelson Vila Pouca

Co-Orientador: Engenheiro José Carlos Basto Lino

Junho de 2011

Mestrado Integrado em Engenharia Civil 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

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

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

Trabalho submetido a discussão pública no dia 26 de Julho de 2011 na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

CONSTITUIÇÃO DO JÚRI

PRESIDENTE DO JÚRI

Professor Doutor António Abel Henriques

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ARGUENTE

Professor Doutor Rui Manuel Carvalho Marques de Faria

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ORIENTADOR

Professor Doutor Nelson Saraiva Vila Pouca

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

CO-ORIENTADOR

Engenheiro José Carlos Basto Lino

NEWTON - Consultores de Engenharia, Lda.

Aos meus Pais e Filipa

“O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano”

Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

É com elevada consideração e respeito que agradeço ao Professor Nelson Vila Pouca, toda a disponibilidade, dedicação e estímulo na orientação deste trabalho.

Ao Engenheiro José Lino, co-orientador deste trabalho, agradeço todo o acompanhamento, disponibilidade e estímulo na orientação deste trabalho e ainda a possibilidade de o poder realizar no seio da empresa Newton Consultores de Engenharia Lda., o que permitiu não só o contacto com o mundo do trabalho mas também adquirir conhecimentos práticos e teóricos de projectista.

Agradeço a todos os colaboradores da empresa Newton, onde fui recebido de braços abertos, sempre disponíveis para me tirar dúvidas e aconselhar no que fosse necessário. Destes saliento a Eng.^a Eulália Soares, o Eng.^o Pedro Taveira, o Eng.^o Luís Rodrigues, a Eng.^a Marta Loureiro, o Eng.^o Nuno Inácio e o Eng.^o Marcelo Soares, por toda a colaboração quer ao nível da engenharia propriamente dita como em todos os outros domínios em que requisitei ajuda, desde programas de cálculo automático a programas de desenho.

A todos os meus colegas e amigos de faculdade, agradeço os momentos bem passados ao longo destes anos de estudo, que proporcionaram muitos dos melhores momentos por mim vividos, destes saliento o Pedro Gabriel, Ricardo Rocha, João Leonardo, Pedro Albuquerque, Jorge Cordeiro, Benjamim Nogueira e o Hugo Vasconcelos. Desejo felicidades e votos de sucesso profissional a todos.

A todos os meus amigos de infância agradeço todo o estímulo e confiança depositada em mim.

À minha namorada, Filipa, agradeço a paciência para me aturar nos meus piores momentos, quando nem eu me tolerava.

De forma muito especial agradeço aos meus pais, Joaquim Gomes e Maria Gorete Vieira pela educação que me deram, por me terem proporcionado todas as condições para poder chegar a este patamar na minha vida e por terem confiado nas minhas decisões e opções.

RESUMO

O projecto de estruturas, na actualidade, não dispensa a utilização de meios automáticos de cálculo, dimensionamento e desenho que simplificam as tarefas de rotina e aumentam a precisão, o que potencia análises mais realistas obtendo, consequentemente, soluções mais seguras e económicas.

O PAC-Pórticos é um programa de cálculo, dimensionamento e desenho automático, que possui uma algoritmia robusta assente na regulamentação nacional de estruturas de betão armado e pré-esforçado, REBAP, e é vocacionado para o estudo de estruturas porticadas, isoladas ou integradas em edifícios, permitindo de forma sugestiva e simples o estudo completo de todos os seus elementos (vigas, pilares e sapatas), percorrendo todas as fases de desenvolvimento de um projecto de estruturas desde o cálculo passando pelo dimensionamento e acabando nos desenhos.

Este trabalho consiste na adaptação do PAC-Pórticos aos novos códigos. Esta adaptação visa dotar o programa da possibilidade de escolha do método de dimensionamento segundo a actual regulamentação, segundo o Eurocódigo 2, ou segundo a mais económica das duas.

Para se realizar esta adaptação começou por se efectuar uma comparação dos diversos elementos estruturais ao nível dos seus critérios de dimensionamento, das limitações máximas e mínimas e das disposições construtivas presentes respectivamente no REBAP e no Eurocódigo 2.

Seguidamente procedeu-se ao estudo das rotinas e sub-rotinas presentes na algoritmia de dimensionamento segundo o REBAP existentes no PAC-Pórticos, com vista a preparar o pseudo código de suporte que recriasse os critérios de dimensionamento presentes no Eurocódigo 2.

Para finalizar recorreu-se a um projecto realizado na Newton, Consultores de Engenharia, e através do programa de cálculo, PAC-Pórticos testaram-se os novos critérios de dimensionamento presentes no Eurocódigo 2, escolhendo diferentes elementos estruturais para realizar uma pequena comparação.

PALAVRAS-CHAVE: ALGORITMIA, DIMENSIONAMENTO, REGULAMENTOS, REBAP, EUROCÓDIGO 2

ABSTRACT

The structural design, at present, needs the use of automated means of calculation, design and drawing to simplify routine tasks and improve accuracy. This allows more realistic analysis, therefore, safer and more economical solutions.

The PAC-Pórticos is an automatic calculation, design, and drawing program, which has a robust algorithm based on the national building regulations of reinforced and pre-stressed concrete, REBAP, for the study of frame structures, isolated or integrated into buildings, which allows, suggestive and simple study of all its elements (beams, columns and foundations), covering all phases of the project and finishing in the drawings.

This work is the adaptation of the PAC-Pórticos to the new regulations, that will provide the choice of design details according to current regulations to Eurocode 2, or according to the most economical of the two..

To perform this adaptation we started by making a comparison of the various structural elements in terms of its design criteria, maximum and minimum limitations and the design criteria present in REBAP and Eurocode 2, respectively.

After the study of the routines of the design algorithms by REBAP, present in the program, to prepare the pseudo code to support routines that recreate the criteria for design details present on Eurocode 2.

Finally, on a project carried out by Newton, Engineering Consultants, with the calculation program, PAC-Pórticos, we have tested the new design criteria present in Eurocode 2, choosing different structural elements to make a comparison.

KEYWORDS: ALGORITHMS, DESIGN, REGULATIONS, REBAP, EUROCODE 2.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Introdução histórica.....	1
1.2. Aspectos e Objectivos Gerais	2
1.3. Newton, Consultores de Engenharia, Lda.	3
2. PAC-PÓRTICOS, PROGRAMA DE CALCULO ESTRUTURAL	5
2.1. Descrição Geral	5
2.2. Menu Dimensionamento	6
2.2.1. Vigas.....	7
2.2.2. Pilares	10
2.2.3. Sapatas	16
2.2.4. Lajes.....	23
2.3. Desenho / CAD	27
2.3.1. Port – DXF.....	28
2.3.2. Rpg – DXF.....	29
2.3.3. Sap – DXF	30
3. REGULAMENTOS E DEFINIÇÕES	31
3.1. REBAP.....	31
3.2. Eurocódigo 2	32
3.3. Comparação entre regulamentos.....	33
3.3.1. Vigas.....	33
3.3.2. Vigas-parede	43
3.3.3. Pilares	48
3.3.4. Paredes.....	51
3.3.5. Fundações	53
3.3.6. Lajes Maciças	59

3.3.7.	Lajes Aligeiradas	64
3.3.8.	Lajes Fungiformes	67
3.3.9.	Fendilhação.....	71
3.3.10.	Modelo de Escoras e Tirantes.....	75
3.3.11.	Punçoamento	79
3.4.	Conclusões e notas retiradas sobre as comparações realizadas.	88
3.4.1.	Vigas.....	88
3.4.2.	Pilares	91
4.	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO NO PAC-PÓRTICOS.....	93
4.1.	Critérios de dimensionamento automático segundo o REBAP e o EC 2.	93
4.1.1.	Critérios de dimensionamento – Rotinas e Sub-Rotinas.	94
4.1.2.	Diferenças entre Sub-Rotinas REBAP vs. EC2.....	96
5.	APLICAÇÃO A UM PROJECTO JÁ REALIZADO PELA NEWTON.101	
5.1.	Projecto de um edifício administrativo de uma unidade industrial	101
5.2.	Esforços e Deformadas Obtidos através do PAC-Pórticos.....	102
5.2.1.	Estrutura Global, Pórtico PORT4 e respectivas Secções dos elementos estruturais	102
5.2.2.	Acções	103
5.2.3.	Deformadas no Pórtico PORT4.....	106
5.2.4.	Diagramas envolventes de esforços.....	109
5.3.	Dimensionamento do Pórtico – Vigas	113
5.3.1.	Dimensionamento REBAP	113
5.3.2.	Dimensionamento EC2.....	117
5.4.	Dimensionamento do Pórtico – Pilares	122
5.4.1.	Dimensionamento segundo REBAP	122
5.4.2.	Dimensionamento segundo Eurocódigo 2.	125
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	129
BIBLIOGRAFIA.....		131
7.	ANEXOS.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Menu Dimensionamento	6
Figura 2 – Menu Vigas – Armadura/Secção	7
Figura 3 – Ficheiro *.ARM	7
Figura 4 – Menu Vigas - Dimensionamento/CAD	8
Figura 5 – Menu Vigas – Dimensionamento - Cálculo	8
Figura 6 – Menu Vigas – Medição	9
Figura 7 – Exemplo de um ficheiro do tipo *.MED	9
Figura 8 – Menu Pilares	10
Figura 9 – Menu Pilares - Mobilidade	10
Figura 10 – Menu Pilares - Malha	11
Figura 11 – Menu Pilares – Dados Gerais	12
Figura 12 – Combinações de acções.....	13
Figura 13 – Menu Pilares – Dimensionamento - Cálculo.....	14
Figura 14 – Disposição de armaduras em Pilares	14
Figura 15 – Ficheiro tipo *.RPG	15
Figura 16 – Menu Sapatas	16
Figura 17 – Menu Sapatas - Dimensionamento.....	16
Figura 18 – Menu Sapatas – Dados Gerais.....	17
Figura 19 – Menu Sapatas – Tipo de sapata	18
Figura 20 – Menu Sapatas – Editar Sapatas	19
Figura 21 – Ficheiro tipo *.RSG	22
Figura 22 – Menu Lajes.....	23
Figura 23 – Menu Lajes – Carga/Pórtico	24
Figura 24 – Menu Lajes - Plantas	25
Figura 25 – Menu Lajes – Legendas.....	26
Figura 26 – Menu Desenho/CAD – Port->DXF.....	27
Figura 27 – Menu Desenho/CAD – Rpg->DXF.....	27
Figura 28 – Menu Desenho/CAD – Sap->DXF.....	27
Figura 29 – Exemplo de um ficheiro *.DXF referente a um Pórtico – Vigas	28
Figura 30 – Exemplo de um Ficheiro tipo *.DXF referente a Pilares	29
Figura 31 - Exemplo de um Ficheiro tipo *.DXF referente a Sapatas.....	30
Figura 32 – Comprimentos de amarração em armaduras inferiores.	37
Figura 33 – Esforços de Torção	41
Figura 34 – Distribuição da armadura em apoios indirectos.....	42
Figura 35 – Difusão da compressão causada pela reacção da estaca a 45º.....	54
Figura 36 – Armadura Ortogonal em sapatas circulares	55
Figura 37 – Força de tracção considerando o efeito das fendas inclinadas.....	56
Figura 38 – Sapatas fundadas em rocha	57
Figura 39 – Armaduras de momentos flectores Negativos	62
Figura 40 – Armadura de bordo livre	63
Figura 41 – Armadura de bordo livre	63
Figura 42 – Dimensões das nervuras	65
Figura 43 – Dimensões das nervuras	65
Figura 44 – Armadura da lajeta.....	66
Figura 45 – Pórticos equivalentes - REBAP	68
Figura 46 – Pórticos equivalentes - EC2.....	68

Figura 47 – Armaduras em pilares de canto ou bordo	69
Figura 48 – Tirantes – Força de tracção	76
Figura 49 – Nós comprimidos sem tirantes	77
Figura 50 – Nós sujeitos a compressão e tracção com tirantes amarrados numa direcção	77
Figura 51 – Nós sujeitos a compressão e tracção amarrados em mais que uma direcção.	78
Figura 52 – Perímetro de controlo - REBAP	81
Figura 53 – Perímetros de controlo – EC2	81
Figura 54 – Perímetro de controlo junto a aberturas.....	81
Figura 55 – Perímetros de controlo junto a um bordo livre ou a um canto	81
Figura 56 – Perímetro de controlo para espessuras variáveis sem degraus.....	82
Figura 57 – Perímetro de controlo para secções variáveis com degraus.....	82
Figura 58 – Pilar interior com reacção excêntrica em relação aos dois eixos	84
Figura 59 – Pilar de bordo, em que há excentricidade na direcção perpendicular ao bordo da laje....	85
Figura 60 – Valores aproximados de β	86
Figura 61 – Disposições da armadura de punçoamento.....	87
Figura 62 – Perímetro a partir do qual já não é necessária armadura de punçoamento.....	87
Figura 63 – Disposições da armadura de punçoamento.....	87
Figura 64 – Critérios de dimensionamento de Vigas	94
Figura 65 – Critérios de dimensionamento de Pilares.	95
Figura 66 – Edifício administrativo de uma ETAR.....	101
Figura 67 – Estrutura Global e Identificação dos Pórticos.	102
Figura 68 – Alçado nº4	102
Figura 69 – Pórtico PORT4, secções	103
Figura 70 – Repartição das cargas aplicadas nas lajes do primeiro piso.	103
Figura 71 – Repartição das cargas aplicadas nas lajes do segundo piso.	104
Figura 72 – Acção G.....	104
Figura 73 – Acção Q.....	105
Figura 74 – Acção Vento X.....	105
Figura 75 – Acção Sísmica.....	106
Figura 76 – Deformada devido à acção G.....	106
Figura 77 – Deformada devido à acção Q.....	107
Figura 78 – Deformada devido à acção do Vento na direcção X.....	107
Figura 79 – Deformada devido à acção Sísmica	108
Figura 80 – Envolvente de Momentos Flectores 1º Piso – Vigas	109
Figura 81 – Envolvente de Momentos Flectores 2º Piso – Vigas	109
Figura 82 – Envolvente de Esforço Transverso 1º Piso - Vigas.....	110
Figura 83 – Envolvente de Esforço Transverso 2º Piso – Vigas.....	110
Figura 84 – Numeração das barras do pórtico PORT4.....	111
Figura 85 – Esforços finais nas barras para uma combinação de acções.....	111
Figura 86 – Envolvente de Esforço Transverso - Pilares	112
Figura 87 – Envolvente de Momentos Flectores - Pilares.....	112
Figura 88 – Ficheiro *.DXF – REBAP - Armaduras Vigas.....	116
Figura 89 – Ficheiro *.DXF – EC2 - Armaduras Vigas.	121
Figura 90 – Planta Estrutural – Projecção dos Pilares.....	122
Figura 91 – Ficheiro *.DXF referente aos Pilares do Pórtico PORT4 – REBAP.....	124
Figura 92 – Ficheiro *.DXF referente aos Pilares do Pórtico PORT4 – EC2.	127

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Taxas de armaduras Longitudinais	88
Quadro 2 – Espaçamentos máximos de armaduras longitudinais – REBAP	89
Quadro 3 – Taxas de armaduras transversais, Estribos.....	90
Quadro 4 – Espaçamentos máximos de armaduras transversais, cintas.....	92

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

GERAIS:

EC2	Eurocódigo 2.
REBAP	Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado.

VIGAS, VIGAS-PAREDE E LAJES:

η	Coeficiente relacionado com o tipo de aço utilizado. (REBAP)
$\left(\frac{l}{d}\right)^*$	Relação vão/altura útil teórica. (EC2).
$\left(\frac{l}{d}\right)$	Relação Vão/altura útil limite. (EC2).
A_{alma}	Armadura de alma. (REBAP).
A_c	Área da secção de betão.
A_{ct}	Área de betão traccionado, imediatamente antes da primeira fenda
$A_{s,dbmín}$	Armadura de alma mínima em vigas-parede. (EC2).
$A_{s,máx}$	Área máxima de armaduras (REBAP) e (EC2).
$A_{s,mín}$	Área mínima de armaduras (REBAP) e (EC2).
$A_{s,surf}$	Armadura de superfície. (EC2).
A_{sl}	Armaduras longitudinais de torção. (REBAP) e (EC2).
A_{st}	Armaduras transversais de torção. (REBAP) e (EC2).
$A_{sw,mín}$	Área mínima de armaduras de esforço transverso existente no comprimento s
A_{sw}	Área de armaduras de esforço transverso existente no comprimento s .
$T_{Rd,c}$	Momento Torsor de fendilhação. (EC2).
$T_{Rd,máx}$	Valor de cálculo do momento torsor resistente. (EC2)
T_{Rd}	Momentos Torsor resistente. (REBAP).
T_{cd}	Capacidade resistente à torção da secção de betão.
T_{ld}	Momento Torsor resistente referente as armaduras longitudinais de torção. (REBAP).
T_{td}	Momento Torsor resistente referente as armaduras transversais de torção. (REBAP).
V_{Ed}	Esforço Transverso actuante. (EC2).
$V_{Rd,c}$	Esforço Transverso resistente da secção de betão. (EC2).
$V_{Rd,máx}$	Esforço Transverso resistente máximo, limitado pela resistência das escoras. (EC2).
$V_{Rd,s}$	Esforço Transverso resistente referente a armaduras de esforço transversal. (EC2).
V_{Rd}	Esforço Transverso resistente (REBAP)
V_{Sd}	Esforço Transverso actuante. (REBAP).

V_{cd}	Esforço Transverso resistente da secção de betão. (REBAP)
V_{wd}	Esforço Transverso resistente referente às armaduras de esforço transverso. (REBAP).
a_l	Distância de translação do diagrama de momentos flectores
b_{eff}	Largura do banzo (EC2)
b_t	Largura média da zona traccionada.
b_w	Largura da alma da secção. (REBAP) e (EC2).
f_{cteff}	Valor médio da resistência do betão à tracção à data em que se prevê que se possam formar as primeiras fendas.
f_{cd}	Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão.
f_{ck}	Valor característico da tensão de rotura do betão aos 28 dias.
f_{ctm}	Valor médio da tensão de rotura do betão à tracção simples.
f_{syd}	Valor de cálculo da tensão de cedência do aço. (REBAP).
f_{yd}	Valor de cálculo da tensão de cedência do aço. (EC2).
f_{yk}	Valor característico da tensão de cedência do aço.
k_c	Coeficiente que tem em conta a distribuição de tensões na secção, imediatamente antes da fendilhação e da variação do braço do binário.
k_l	Coeficiente para o caso de lajes fungiformes em que o vão é superior a 8,5m, e que suportam divisórias que possam ser danificadas por flechas excessivas. (EC2)
k_t	Coeficiente para o caso de secções em T com uma relação entre a largura do banzo e a largura da alma superior a 3. (EC2)
$k_{\sigma s}$	Coeficiente de relação para os níveis de tensão. (EC2)
l_0	Vão teórico. (REBAP).
l_i	Vão equivalente. (REBAP)
$s_{b,máx}$	Espaçamento longitudinal máximo de varões inclinados.
$s_{l,máx}$	Espaçamento longitudinal máximo entre armaduras de esforço transverso.
$s_{t,máx}$	Espaçamento transversal máximo entre ramos de estribos.
u_{ef}	Perímetro da linha média da secção oca eficaz. (REBAP)
$\rho_{w,min}$	Taxa mínima de armaduras de esforço transverso. (EC2)
ρ_w	Taxa de armaduras de esforço transverso. (REBAP)
σ_s	Tensão nas armaduras de tracção
τ_1 e τ_2	Valores de tensão tabelados, Quadros VI e VII. (REBAP)
b	Largura do banzo (REBAP)
d	Altura útil da secção
k	Coeficiente que considera o efeito das tensões não uniformes auto-equilibradas.

s	Espaçamento entre varões.
ρ	Taxa de armadura (REBAP) e (EC2)

PILARES, PAREDES E FUNDAÇÕES:

A_{sh}	Armadura Horizontal em paredes. (REBAP) e (EC2)
A_{sl}	Armaduras Longitudinais. (REBAP) e (EC2).
A_{st}	Armaduras Transversais. (REBAP) e (EC2).
A_{sv}	Armadura Vertical em paredes. (REBAP) e (EC2).
s_l	Espaçamento de armaduras longitudinais. (REBAP) e (EC2).
s_t	Espaçamento de armaduras transversais. (REBAP) e (EC2).

FENDILHAÇÃO:

S_{rm}	Distância média entre fendas. (REBAP).
$S_{rm\acute{a}x}$	Distância máxima entre fendas. (EC2).
W_k	Largura da abertura de fendas. (REBAP) e (EC2).
W_m	Valor médio da largura das fendas. (REBAP).
ε_{cm}	Extensão média do betão entre fendas. (EC2).
ε_{sm}	Extensão média das armaduras. (REBAP) e (EC2)

1.

INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA

Desde os primórdios da humanidade que a evolução, invenção e desenvolvimento estão inerentes à própria condição humana. Os primeiros dispositivos que surgiram para ajudar o homem a calcular têm a sua origem perdida nos tempos, como é o caso do ábaco e do quadrante. Os antigos gregos chegaram a desenvolver uma espécie de computador, datado do primeiro século a.C. e descoberto num velho barco grego na ilha de Antikythera, em 1901, constituído por engrenagens de metal e ponteiros [1]. Com o avanço tecnológico ao longo dos tempos, o surgimento das duas grandes guerras mundiais (grandes avanços tecnológicos com propósitos bélicos) e com junção de ideias, ao longo do tempo, aos poucos, chegou-se à construção do computador digital.

Nos primeiros tempos da computação propriamente dita os programas eram escritos em código de máquina e colocados directamente no computador por meio de cabos e fios. Por exemplo: 0000 0001 0110 1110. Percebeu-se claramente que os programas em código de máquina eram extremamente difíceis de editar e modificar, e quase impossíveis de se compreender. A comunidade computacional logo entendeu que era necessário inventar uma notação simbólica para tornar os programas mais fáceis de escrever. A busca de linguagens que pudessem permitir que os algoritmos fossem expressos em termos análogos à ideia elaborada na mente do programador fez com que aparecessem os primeiros compiladores e comesçassem a surgir as chamadas linguagens de alto nível [1].

Um procedimento efectivo é uma sequência finita de instruções que podem ser executadas por um agente computacional, seja ele homem ou não. Esse procedimento efectivo também é chamado de algoritmo. A descrição finita do algoritmo deve ser feita através de uma determinada linguagem. Esta linguagem algorítmica deve pertencer a um conjunto não ambíguo de uma linguagem natural, tal como Francês ou Inglês, ou de uma linguagem artificial como FORTRAN ou LISP [1].

Muitas das áreas científicas associaram-se quase imediatamente a estes avanços tecnológicos. A Engenharia Civil, rapidamente implementou diversos programas de cálculo automático para estruturas entre os quais o PAC-Pórticos que iremos tratar mais à frente.

Já na área da Engenharia Civil, o cálculo (não automático) de estruturas remonta a épocas distantes (Mesopotâmia e antigo Egito). Com o aparecimento do cálculo de estruturas surgiram os regulamentos.

Inicialmente os regulamentos de cálculo de estruturas eram nacionais, com diferenças de país para país conforme a experiência e conhecimento de cada dos seus intervenientes.

Em Portugal, e mais propriamente o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, REBAP, foi publicado no Decreto-Lei nº 349-C/83, de 30 de Julho e evoluiu do decreto nº 47723, de 20 de Maio de 1967

Com a globalização surgiu a necessidade da uniformização das regulamentações, no nosso caso, na União Europeia, deu-se o aparecimento dos Eurocódigos.

1.2. ASPECTOS E OBJECTIVOS GERAIS

Este trabalho assenta as suas bases numa comparação entre o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado nacional ainda em vigor e a Norma Europeia que está em fase de implementação na actualidade. Esta comparação tem ainda uma vertente informatizada. Nos dias de hoje as empresas deixaram de trabalhar apenas dentro de portas (no seu próprio país) e começaram a expandir-se Europa fora. Surge então, a necessidade de Regulamentações Universais de forma a uniformizar a construção. Desse modo, surge a necessidade de actualizar ou acrescentar a hipótese de incluir nos programas de cálculo uma regulamentação uniformizada, sendo isso possível com a implementação dos Eurocódigos.

Este trabalho assenta mais propriamente na parte de dimensionamento de peças de betão armado cujas regulamentações nacionais e normas europeias são respectivamente o REBAP e o EC2.

O Programa de cálculo no qual se vai trabalhar, o PAC-Pórticos, começou a ser comercializado em 1991, tendo sido criado e estruturado por um dos seus principais autores, o Eng.º José Carlos Lino, sócio gerente da empresa Newton, Consultores de Engenharia, e co-orientador desta tese.

1.3. NEWTON, CONSULTORES DE ENGENHARIA, LDA.

Este trabalho foi realizado em ambiente empresarial mais propriamente na **NEWTON, Consultores de Engenharia, Lda.**

A NEWTON constituiu-se no final de 1990 com base num grupo de engenheiros civis que alia uma vasta experiência no campo da investigação científica e da docência universitária à capacidade de resposta concreta e eficaz às exigências actuais da engenharia civil.

Dispõe de uma particular especialização no domínio da consultoria e do projecto de estruturas de betão armado e pré-esforçado, estruturas metálicas, engenharia sísmica, cálculo automático, métodos de análise estrutural (elementos finitos) e análise experimental (comportamento das estruturas).

Nos primeiros anos de actividade do gabinete foi dada prioridade ao sector dos edifícios e aos trabalhos de consultoria de estruturas especiais, tendo sido preparados os meios humanos e materiais que permitem actualmente dar uma resposta pronta e qualificada ao projecto e controlo de qualidade das obras de engenharia de estruturas.

A credibilidade conquistada pela **NEWTON – Consultores de Engenharia, Lda.** tem-se traduzido na consulta e adjudicação de obras tão diversificadas como: pontes e viadutos, túneis, estádios, piscinas, auditórios, estações de tratamento, edifícios técnicos e industriais, edifícios habitacionais, obras para as quais os quadros técnicos da Newton apresentam currículo compatível e se sentem especialmente vocacionados.

Além desta especialização na área da Engenharia Estrutural, a **NEWTON – Consultores de Engenharia, Lda.** tem vindo a assumir progressivamente o papel de coordenador de todas as especialidades, procurando servir de interlocutor qualificado perante as equipas de arquitectura e do dono de obra.

Por dispor nos seus quadros de especialistas nestes diferentes domínios, desenvolveu os seus próprios programas de cálculo automático, fruto de vários anos de investigação científica e de prática profissional, assegurando simultaneamente a máxima eficiência no dimensionamento estrutural.

O desenvolvimento do departamento de *software* de cálculo de Estruturas na Newton, traduziu-se na comercialização de cerca de 300 licenças da aplicação **PAC-PÓRTICOS**.

2.

PAC-PÓRTICOS, PROGRAMA DE CALCULO ESTRUTURAL

2.1. DESCRIÇÃO GERAL

O projecto de estruturas não dispensa actualmente a utilização de meios automáticos de cálculo, dimensionamento e desenho que permitam uma simplificação das tarefas de rotina e a possibilidade de proceder a análises mais realistas obtendo, consequentemente, soluções mais seguras e económicas.

O programa **PAC-PÓRTICOS, Projecto de Pórticos Assistido por Computador**, destinado ao estudo de estruturas porticadas, isoladas ou integradas em edifícios, permite que, de uma forma sugestiva e simples, se proceda ao estudo completo de todos os elementos, (vigas, pilares e sapatas), percorrendo todas as fases do projecto de estruturas (cálculo, dimensionamento e desenhos) [2].

As fases de introdução de dados são facilitadas através do apoio em meios gráficos de visualização, permitindo a sua rápida e eficaz verificação, reduzindo-se a possibilidade de erros e, consequentemente, ganhando tempo de projecto e confiança nos resultados. Todos os dados são fornecidos mediante o preenchimento de menus, adequados a cada caso sendo, sempre que possível, imediatamente convertidos numa representação gráfica, seja na geometria, secções, acções, posicionamento de pórticos em planta, etc. [2].

Os cálculos assentam em algoritmos robustos, fiáveis e elaborados de acordo com a Regulamentação Portuguesa e com a documentação técnica normalmente aplicável a nível Nacional.

Os resultados são apresentados de forma a permitirem uma fácil interpretação, através de saídas gráficas e numéricas, nomeadamente no que se refere a deformadas e diagramas de esforços, igualmente úteis para a constituição da parte escrita das memórias descritivas.

O programa dispõe ainda de um conjunto de opções destinadas à criação de desenhos de pormenor que, no ambiente de um programa de CAD, poderão ser visualizados, eventualmente tratados e impressos. Podem ser obtidas plantas estruturais, desenhos de vigas, em alçado e corte, sapatas e quadro de pilares, com um elevado grau de pormenorização e detalhe [2].

O programa **PAC-PÓRTICOS** foi desenvolvido por especialistas nos domínios do Cálculo Automático, Estruturas de Betão e Engenharia Sísmica, assegurando-se a assistência por parte dos autores, quer no que respeita às dificuldades que surjam na utilização corrente, quer para a exploração de todas as suas potencialidades, quer ainda para a sua adequação, mediante a elaboração de protocolos individuais, às necessidades específicas dos utilizadores.

No âmbito deste trabalho pretende-se contribuir para a evolução do programa com vista à sua adequação às novas técnicas e regulamentações e à introdução de melhoramentos.

Depois de realizada a instalação do PAC-Pórticos e iniciada a utilização surge um menu geral bastante intuitivo e constituído por menus particulares como o Menu Ficheiros, Menu Dados, Menu Acções Horizontais, Menu Pórtico, Menu Dimensionamento, Menu Opções e um Menu de Ajuda.

No âmbito deste trabalho, adaptação de critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2, será aprofundado apenas o Menu referente ao dimensionamento de elementos estruturais.

No ponto seguinte, mostrasse o funcionamento do Menu Dimensionamento, com algumas ilustrações e breves explicações, desde a sua vertente de cálculo de armaduras e secção até a capacidade de desenho com elaboração de ficheiros de formato *.DXF a serem utilizados num *software* de CAD.

2.2. MENU DIMENSIONAMENTO

Este menu diz respeito ao dimensionamento de Vigas, Pilares, Sapatas e Lajes fungiformes como ilustrado na Figura 1.

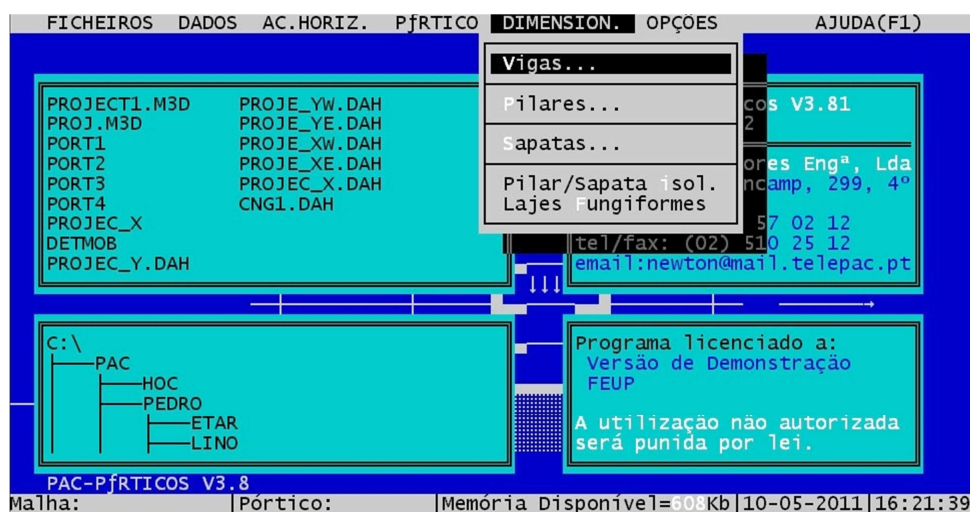


Figura 1 – Menu Dimensionamento

2.2.1.VIGAS

No presente capítulo apresenta-se o menu destinado ao dimensionamento das Vigas dos pórticos, sendo constituído pelas três seguintes opções:

- **Seleccionar** – Onde se procede à selecção do pórtico em causa.
- **Armadura/Secção** – Onde se procede ao cálculo e se pode ver o ficheiro com os resultados do mesmo. Em cada tramo da viga é calculada a área de armadura nas secções extremas e na secção de maior momento positivo, sendo constituído um ficheiro do tipo *.ARM, com as dimensões da secção, distância às extremidades da barra, valor do momento máximo e momento reduzido, bem como a armaduras de tracção e compressão.

A Figura 2 mostra a opção de cálculo e visualização de área de armadura de flexão das vigas.

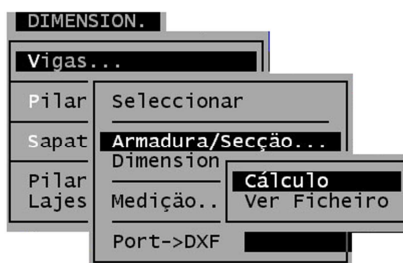


Figura 2 – Menu Vigas – Armadura/Secção

A Figura 3 mostra o ficheiro do tipo *.ARM devolvido pelo PAC-Pórticos ao utilizador após a realização do cálculo, na opção Ver Ficheiro.

Pórtico PORT4							
CALCULO DA ARMADURA DAS VIGAS DE SECCAO RECT. A FLEXAO SIMPLES							
Materiais : Aço A 500 e Betão B 35							
d1 = .04 (m) d2 = .04 (m) B*H (cm2)							
X= Distância da secção à extremidade esquerda da barra (m)							
As1 = Armadura de traccão (cm2)							
As2 = Armadura de compressao (cm2)							
BARRA	B * H	X	Msd (KN*m)	Mred	As1 e	As2	
3	20 40	0.00	-100.08	0.193	7.39	0.00	
3	20 40	0.60	85.08	0.164	6.12	0.00	
3	20 40	3.00	-45.77	0.088	3.12	0.00	
9	20 60	0.00	-64.58	0.051	2.77	0.00	
9	20 60	0.00	48.18	0.038	2.05	0.00	
9	20 60	3.65	-76.96	0.061	3.32	0.00	
13	20 60	0.00	-90.02	0.072	3.91	0.00	
13	20 60	2.83	75.24	0.060	3.24	0.00	
13	20 60	5.65	-72.45	0.058	3.12	0.00	
6	20 50	0.00	-74.77	0.088	3.98	0.00	
6	20 50	0.00	69.92	0.083	3.71	0.00	
6	20 50	2.80	-13.27	0.016	0.68	0.00	
10	20 50	0.00	-37.31	0.044	1.94	0.00	
10	20 50	0.73	13.28	0.016	0.68	0.00	
10	20 50	3.65	-49.86	0.059	2.61	0.00	
14	20 50	0.00	-68.26	0.081	3.62	0.00	
14	20 50	2.83	63.06	0.075	3.34	0.00	
14	20 50	5.65	-39.11	0.046	2.04	0.00	

Figura 3 – Ficheiro *.ARM

- **Dimensionamento/CAD**

A opção, ilustrada na Figura 4, tem como objectivo o dimensionamento e pormenorização das vigas em betão armado, através do dimensionamento das secções das vigas, à flexão e ao esforço transverso e da preparação dos elementos principais necessários ao desenho das vigas.

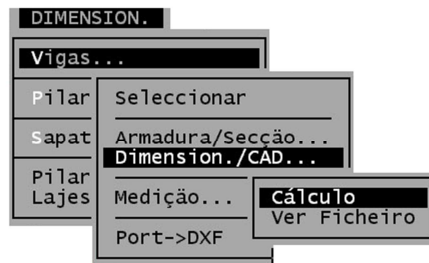


Figura 4 – Menu Vigas - Dimensionamento/CAD

Como resultado do cálculo é criado um ficheiro, de extensão *.VCD, com uma organização como mostrado na Figura 5.

EXEMPLO DE FICHEIROS - VIGAS							
BARRA	TIPO	A1	A2	A Vao	A3	A4	
	ARM.	d1	d2	-----	d3	d4	
PISO = 1 []							
4	AS	2ø16+ 3ø20 2.25	2ø16+ 1ø20 2.75	2ø16+ 0ø 0 -----	2ø16+ 1ø20 2.65	2ø16+ 3ø20 2.20	
	AI	0ø 0+ 0ø 0 .00	0ø 0+ 0ø 0 .00	5ø16+ 0ø 0 -----	0ø 0+ 0ø 0 .00	3ø16+ 0ø 0 .90	
	EST.	ø 8 // .200 1.55 (2)	ø 0 //0.000 00.00	ø 6 // .200 ----- (2)	ø 0 //0.000 00.00	ø 8 // .150 1.80 (2)	
.250 .250 1 1 0 0							

Num-comp. b x h	MOMENTOS			TRANSVERSOS		
	Ext.Esq.	Vao	Ext.Dir.	Ext.Esq.	Vao	Ext.Dir.
Asd - Armadura de calculo				Asw/s- Armadura de calculo		
As - Armadura adoptada				As/s - Armadura adoptada		
PISO= 1						
4 (6.00)	12.93	8.42	13.07	.0472	.0250	.0581
.25 x .50	13.44	10.05	13.44	.0500	.0280	.0667

Figura 5 – Menu Vigas – Dimensionamento - Cálculo

A informação contida neste ficheiro, que pode ser modificada com um editor de texto, vai ser usada directamente na elaboração do ficheiro *.DXF para o desenho das vigas.

- **Medição**

A Figura 6 mostra o menu referente à medição da área de cofragem, volume de betão e peso do aço.

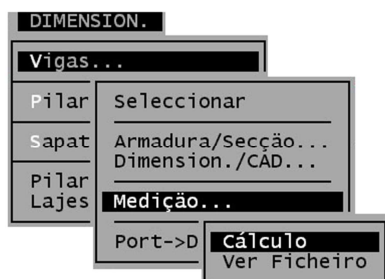


Figura 6 – Menu Vigas – Medição

Como resultado obtém-se um ficheiro *.MED que contém aquelas informações por piso e na globalidade, ilustrado na Figura 7

Pértico PORT4												
QUADRO DE MEDICAO DE BETAO E ACO EM VIGAS												
Piso	Betao (m3)	Cofr. (m2)	Varoes Longitud.						Estribos			Kg/ m3
			10	12	16	20	25	32	6	8	10	
1	1.4	16.0	0.0	52.3	29.0	0.0	0.0	0.0	14.3	0.0	0.0	70.5
2	1.2	14.5	0.0	60.8	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	60.1
Total	3.	31.	0.	113.	29.	0.	0.	0.	26.	0.	0.	66.
Total de Varoes Longitudinais= 142.									Total Estr.= 26.			

Figura 7 – Exemplo de um ficheiro do tipo *.MED

- **Port→DXF**

Esta opção destina-se à criação do ficheiro *.DXF para o desenho das vigas de um pórtico e será tratada mais à frente no Capítulo 2.3, Desenho/CAD.

2.2.2. PILARES

O menu referente ao dimensionamento de Pilares, apresentado na Figura 8, é constituído por quatro opções, Mobilidade, Dimensionamento, Medição e Rpg-DXF.

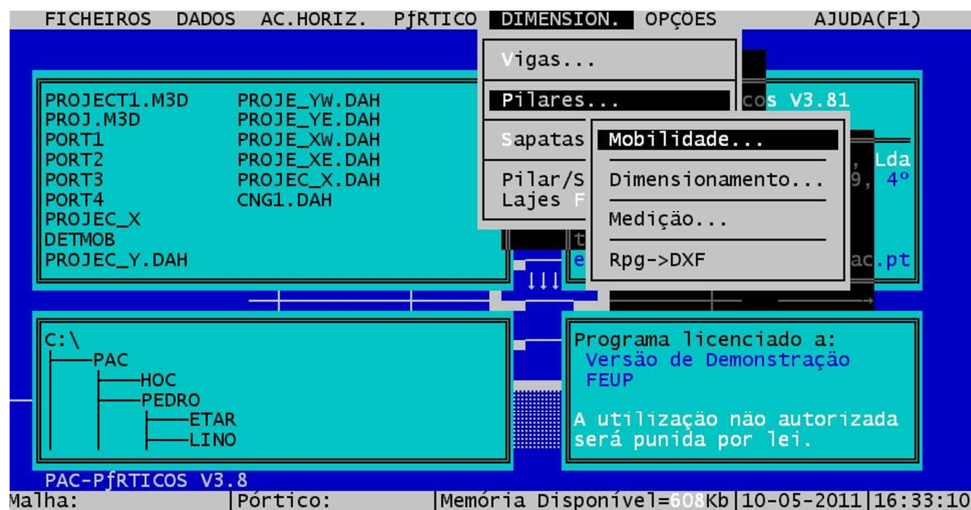


Figura 8 – Menu Pilares

- **Mobilidade**

Esta secção trata a encurvadura em pilares definindo-os como nós móveis ou nós fixos e possuiu 3 subsecções relativas aos Dados, ao Cálculo e uma opção de visualização do ficheiro, como representado na Figura 9.



Figura 9 – Menu Pilares - Mobilidade

- **Dimensionamento**

O menu dimensionamento divide-se também ele em Dados, Cálculo e Ver Ficheiro. Segue-se uma breve descrição a estes submenus.

- Dados

Neste submenu temos as opções Ficheiros, Título, Malha, Dados Gerais e Combinações. As opções Ficheiros e Título não representam, no âmbito deste trabalho, significância, não sendo por isso analisados.

Analisaremos então, de seguida, as opções Malha, Dados Gerais e Combinações.

- Malha

Permite definir a malha de pilares do edifício e posicionar os pórticos em planta bem como proceder a posteriores alterações como ilustrado na Figura 10.

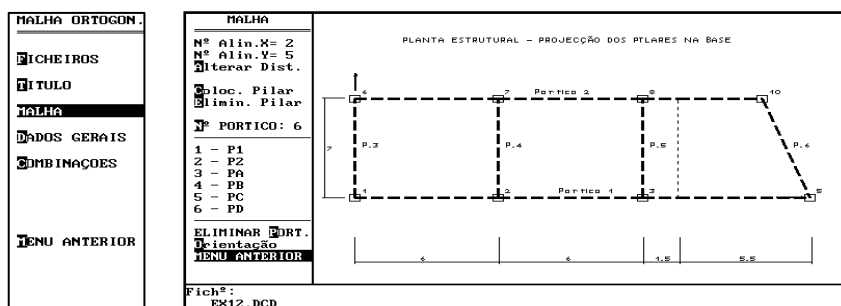


Figura 10 – Menu Pilares - Malha

Este menu permite alterações na malha utilizando as seguintes opções:

- Alterar Distâncias.

Permite modificar a distância entre os alinhamentos, anteriormente definida ou definida por defeito.

Estas distâncias têm, obrigatoriamente, de estar em correspondência com as distâncias entre pilares que foram adoptadas na preparação dos dados dos pórticos.

- Colocar Pilar

Esta opção permite definir em que pontos da malha existem pilares que se pretendem calcular.

- Eliminar Pilar

Permite anular pontos de malha que tenham sido seleccionados com a opção Colocar Pilar.

- Nº Pórtico

Esta opção destina-se à definição dos pórticos que se pretendem envolver no cálculo dos pilares, devendo ser repetida para cada um dos pórticos a considerar.

- Lista de Pórticos

À medida que se introduzem os pórticos vai-se criando uma lista, visível no ecrã, com os respectivos nomes. Pode modificar-se a sua posição em planta de modo igual ao utilizado para a sua introdução inicial.

- Eliminar Pórtico

Elimina pórticos que tenham sido introduzidos com a opção do número anterior.

- Orientação

Com a opção Orientação define-se a orientação da malha de forma a ficar de acordo com a que foi adoptada na geração dos pórticos.

▪ Dados Gerais

Este menu permite a escolha dos materiais a adoptar, betão e aço, ainda segundo o REBAP, bem como a mobilidade da estrutura, espaçamentos máximos (smax) e ainda Diâmetros mínimos e máximos como mostrado pela Figura 11.

MALHA ORTOGON.	DADOS GERAIS	BETÃO	AÇO
FICHEIROS TÍTULO MALHA DADOS GERAIS COMBINAÇÕES MENU ANTERIOR	Betão : B 25 Aço : A 400 Mobilidade 1: Nós Móveis 2: Nós Móveis 1 smax : .3 2 smin : 12 3 smax : 25 MENU ANTERIOR	Betão : B 25 B15 B20 B25 B30 B35 B40 B45 B50 B55 MENU ANTERIOR	 Aço : A 400 A235 A400 A500 MENU ANTERIOR

Figura 11 – Menu Pilares – Dados Gerais

▪ Combinações

Esta opção permite a introdução e alteração dos elementos necessários à constituição da matriz de combinação das acções a utilizar no cálculo dos pilares, como demonstrado na Figura 12.

MALHA ORTOGON.		COMBINAÇÕES									
FICHEIROS		Nº Acções/X: 4									
TÍTULO		Nº Acções/Y: 4									
MALHA		Nº COMBIN: 16									
DADOS GERAIS				Direcção X				Direcção Y			
COMBINAÇÕES				Ac 1	Ac 2	Ac 3	Ac 4	Ac 1	Ac 2	Ac 3	Ac 4
				1.5	1.5	.6	0	1.5	1.5	0	0
				1.5	1.5	-.6	0	1.5	1.5	0	0
				1.5	1.5	0	0	1.5	1.5	.6	0
				1.5	1.5	0	0	1.5	1.5	-.6	0
				1.5	.6	1.5	0	1.5	.6	0	0
				1.5	.6	-1.5	0	1.5	.6	0	0
				1.5	.6	0	0	1.5	.6	1.5	0
				1.5	.6	0	0	1.5	.6	-1.5	0
				1	.2	0	1.5	1	.2	0	-.45
				1	.2	0	1.5	1	.2	0	-.45
MENU ANTERIOR		ELIMINAR									
		Nº COMB/IMP: 4									
		MENU ANTERIOR									
		Fich: EX12.DCD									

Figura 12 – Combinações de acções.

- Nº Acções/X e Nº Acções/Y

Define o nº de acções com que foram calculados os pórticos paralelos à direcção X e os pórticos paralelos à direcção Y.

- Nº Combinações

Permite a introdução dos coeficientes de combinação das acções, em número igual a Nº Acções/X + Nº Acções/Y por cada combinação.

- Eliminar

Permite eliminar combinações introduzidas no ponto anterior.

- Nº Combinações/IMP

Com este comando define-se o número de combinações que se pretende imprimir.

- Cálculo

Este menu, representado pela Figura 13 permite o cálculo dos pilares pertencentes aos pórticos do edifício e à visualização do ficheiro de resultados necessários ao desenho num *software* CAD.



Figura 13 – Menu Pilares – Dimensionamento - Cálculo

Como resultado são produzidos dois ficheiros um com extensão *.RPS e outro *.RPG.

O ficheiro *.RPS apresenta os esforços considerados para cada pilar, resultantes do cálculo dos pórticos planos que concorrem nesse pilar, bem como as respectivas combinações.

O ficheiro *.RPG, que servirá de base para a construção do ficheiro *.DXF relativo ao quadro de pilares, contém a informação mais relevante relativa ao dimensionamento dos pilares bem como à armadura a adoptar. A área de aço adoptada, que poderá ser realizada com varões de dois diâmetros, e as cintas poderão ser modificadas pelo utilizador, de modo que o ficheiro *.DXF que posteriormente for criado já incluirá essas alterações. Os números m e n, servem para caracterizar a posição da armadura na secção indicando, respectivamente, o número de varões, do primeiro e segundo diâmetro, a colocar em cada uma das faces paralelas à direcção x, como indicado, em baixo, na Figura 14.

As dimensões da secção são definidas pelas variáveis h e b, em que no caso de se igualar a dimensão h do pilar igual a zero, este será desenhado com uma secção circular com diâmetro igual a b.

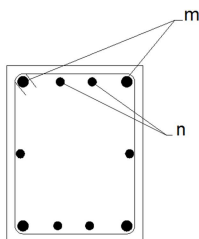


Figura 14 – Disposição de armaduras em Pilares

- Ver Ficheiro

Permite a visualização do ficheiro *.RPG, como ilustrado na Figura 15.

hoc

PILARES - ANALISE DA ENCURVADURA			B35	A500
----------------------------------	--	--	-----	------

PORTICOS									
DIRECÇÃO x (Nos Moveis)					DIRECÇÃO y (Nos Moveis)				
DESIGNAÇÃO	PONTOS DA MALHA				DESIGNAÇÃO	PONTOS DA MALHA			
PORT1	2 4				PORT7	9 17 25 41			
PORT2	9 10 12 13 15 16				PORT8	2 10 18			
PORT3	17 18 19 20 23				PORT9	19 43			
PORT4	28 29 30 31 32				PORT10	4 12 20 28 44			
PORT5	37 38				PORT11	13 29 37 45			
PORT6	41 43 44 45 46 47 48				PORT12	30 38 46			
					PORT13	15 23 31			
					PORT14	16 32 48			

COMBINAÇÕES								
	DIRECÇÃO X				DIRECÇÃO Y			
	Ac. 1	Ac. 2	Ac. 3	Ac. 4	Ac. 1	Ac. 2	Ac. 3	Ac. 4
Comb. nº 1	1.4	1.5	0.9	0.0	1.4	1.5	0.0	0.0
Comb. nº 2	1.4	1.5	-0.9	0.0	1.4	1.5	0.0	0.0
Comb. nº 3	1.4	1.5	0.0	0.0	1.4	1.5	0.9	0.0
Comb. nº 4	1.4	1.5	0.0	0.0	1.4	1.5	-0.9	0.0
Comb. nº 5	1.4	1.0	1.5	0.0	1.4	1.0	0.0	0.0
Comb. nº 6	1.4	1.0	-1.5	0.0	1.4	1.0	0.0	0.0
Comb. nº 7	1.4	1.0	0.0	0.0	1.4	1.0	1.5	0.0

PILAR P	b(m)	h(m)	l(m)	àlx	â2x	etax	lox(m)	Lambdax	àly	â2y	etay	loy(m)	Lambday	
PT. da MALHA- 2	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAx ----	EXCTx (cm)	ETâx ----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm²)	LOCAL ----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.63	1.24	5.79	66.8	1.00	0.27	1.19	5.54	95.9	
Combinacao 6	164.	28.3	34.9	1.9	3.2	1.00	7.58	1.00	9.66	164.	47.4	19.1	8.87	Ext.Dir
Combinacao 2	166.	21.4	29.5	2.0	3.4	1.00	7.58	1.00	9.66	166.	42.1	19.4	7.96	Ext.Dir
Combinacao 4	167.	10.5	20.1	6.0	7.3	1.00	7.58	1.00	9.66	167.	32.7	23.4	7.15	Ext.Dir
Combinacao 7	143.	10.0	19.2	-4.7	-3.3	1.00	7.58	1.00	9.66	143.	30.0	17.1	5.63	Ext.Dir
As,calc= 8.87 cm2 (1.48%) : As,min= 3.60 cm2: As,ef= 4120+ 0i 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (i 6af. de0.20m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.63	0.37	1.15	3.85	44.4	0.27	0.08	1.05	3.53	61.1	
Combinacao 4	48.	33.1	25.2	5.2	3.8	1.00	4.47	1.00	5.11	48.	35.2	7.6	6.52	Ext.Esq
Combinacao 2	48.	34.6	28.3	3.3	1.8	1.00	4.47	1.00	5.11	48.	36.8	5.7	6.47	Ext.Esq
Combinacao 6	48.	34.4	29.4	3.1	1.7	1.00	4.47	1.00	5.11	48.	36.5	5.5	6.39	Ext.Esq
Combinacao 3	46.	33.1	25.2	1.4	-0.1	1.00	4.47	1.00	5.11	46.	35.1	3.7	5.87	Ext.Esq
As,calc= 6.52 cm2 (1.09%) : As,min= 3.60 cm2: As,ef= 4116+ 0i 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (i 6af. de0.19m)														

Figura 15 – Ficheiro tipo *.RPG

- **Medição**

Nesta opção é contabilizada a área de cofragem, volume de betão e peso do aço referentes ao pilar.

Como resultado obtém-se um ficheiro *.MED, idêntico ao produzido no menu vigas, mas que contem as informações por pilar e na globalidade dos pilares.

- **Rpg->DXF**

Nesta opção procede-se à criação do ficheiro *.DXF para o desenho do quadro de pilares.

Esta opção será analisada posteriormente no capítulo referente ao Desenho/CAD, mais propriamente no Capítulo 2.3 deste trabalho.

2.2.3.SAPATAS

Descreve-se de seguida a utilização da opção SAPATAS, ilustrada através da Figura 16, que se destina ao dimensionamento e medição das sapatas isoladas correspondentes a uma malha de pilares previamente calculada.



Figura 16 – Menu Sapatas

- Dimensionamento

Nesta opção, ilustrada com a Figura 17, possibilita-se o dimensionamento das sapatas isoladas de um edifício, a partir dos ficheiros representativos de uma malha de pilares já calculados.



Figura 17 – Menu Sapatas - Dimensionamento

As opções Ficheiros, Titulo e Seleccionar não apresentam interesse no âmbito deste trabalho, por isso não foram analisadas.

Seguidamente vamos retratar sucintamente os menus Dados Gerais, Cálculo Global, Editar Sapatas e ainda os menus com numeração de 1 a 4, respectivamente Dimensões, Pórticos, Pts. Malha e Grupos.

- Dados Gerais

DADOS GERAIS
Betão : B25
Aço : A400
T. Calc: 300
k(esbel): 3
Tipo de Sapat: + ECONÓMICA
Nº Combin. = 16
Diferença: 10%
MENU ANTERIOR

Figura 18 – Menu Sapatas – Dados Gerais

Neste submenu, ilustrado na Figura 18, surge a possibilidade de alterar os dados necessários para o cálculo global das sapatas, a efectuar posteriormente.

Todos os factores deste menu servem para condicionar o cálculo de todas sapatas, excepto daquelas em que o utilizador introduzir individualmente, através da opção Editar SAPATAS (a descrever posteriormente), poderão ser efectuadas alterações aos factores referidos.

Para se poderem distinguir, na planta de fundação, quais as sapatas que foram individualmente alteradas, daquelas que ainda estão sujeitas aos dados gerais, optou-se por referenciá-las em planta utilizando as seguintes cores:

Amarelo - sapata sujeita aos dados gerais.

Verde - sapata alterada individualmente.

As duas primeiras opções, correspondentes à escolha do betão e do aço, já foram anteriormente descritas.

Tensões de Cálculo

Nesta opção pode alterar-se a tensão de cálculo do terreno, em kPa, que servirá para comparar com as tensões que surgem na base da sapata, face aos esforços majorados provenientes do pilar mais o peso também majorado da própria sapata. Esta tensão de cálculo deverá corresponder, na maioria dos casos, à tensão de segurança afectada de um coeficiente de minoração, normalmente igual a 1.5.

k (esbelteza)

Serve esta opção para alterar a esbelteza da sapata.

O valor deste parâmetro deverá estar compreendido entre 1 (sapata muito rígida) e 6 (sapata muito flexível), sendo o seu significado representado pela seguinte expressão:

$$H_u = (B_{sapata} - B_{pilar}) / k$$

E em que:

H_u - Altura útil da sapata

B_{sapata} - Maior dimensão em planta da sapata

B_{pilar} - Dimensão em planta do pilar, correspondente a B_{sapata}

Tipo de Sapata

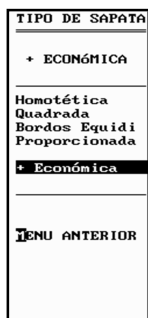


Figura 19 – Menu Sapatas – Tipo de sapata

Neste menu, ilustrado pela Figura 19, pode escolher-se o tipo de sapata que se deseja para os dados gerais, implicando um pré-dimensionamento das suas dimensões, de acordo com a opção pretendida.

A última opção deste menu, “+ Económica”, corresponde à escolha automática do tipo de sapata, de entre as primeiras 4 opções, cujo pré-dimensionamento apresente um volume de betão menor.

Número de Combinações

Este item, não pode ser alterado, e indica o número total de combinações utilizadas nos pilares, e que, por pilar, servirão para pré-dimensionar um número igual de sapatas, das quais resultará uma sapata cujas dimensões sejam envolventes de todas estas.

Diferença

Esta opção serve para estipular a diferença percentual utilizada na opção de Grupos.

▪ Cálculo Global

A escolha desta opção acciona imediatamente o dimensionamento de todas as sapatas.

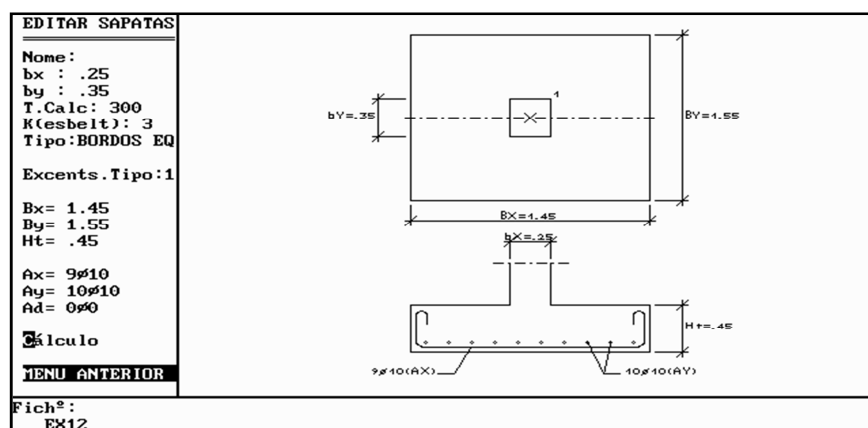
Após este cálculo, todas as sapatas, aparecerão no ecrã, já com as suas novas dimensões e armaduras adequadas.

Fruto deste cálculo, podem surgir em algumas sapatas erros ou impossibilidades de pré-dimensionamento devido a esforços superiores às capacidades resistentes do terreno, o que implica que essas sapatas ou pilares apareçam desenhadas a vermelho:

▪ Editar Sapatas

Nesta opção pode analisar-se individualmente uma sapata, seleccionando-a e proceder à alteração de todos os parâmetros que a ela estão atribuídos, bem como ao seu cálculo individual.

Assim que se selecciona a sapata que se deseja editar, surge o menu da Figura 20 – Menu Sapatas –



Editar Sapatas.

Figura 20 – Menu Sapatas – Editar Sapatas

Neste menu pode visualizar-se uma planta e correspondente corte esquemático da sapata em causa, bem como confirmar ou alterar todas as dimensões, armaduras e parâmetros referidos a este ponto da malha.

Nome

Permite editar o nome da sapata que surgirá no ficheiro de resultados e mais tarde no desenho em CAD.

bx e by

Permite editar as dimensões do pilar.

Estas opções permitem alterar, expressamente para esta sapata, os valores da tensão de cálculo, da esbeltez e do tipo de sapata, já referidos em DADOS GERAIS.

Nota: caso a dimensão b_y do pilar seja nula, o programa interpreta esse facto como sendo um pilar circular de diâmetro igual a b_x .

Tensões de cálculo, K (esbelteza) e Tipo

Estas opções permitem alterar, expressamente para essa sapata, os valores da tensão de cálculo, da esbelteza e do tipo de sapata, já referidos em DADOS GERAIS.

Na última destas opções, surge um tipo de sapata que não foi apresentada em Dados Gerais, a sapata do tipo condicionada, que permite limitar pelo menos uma das dimensões em planta B_x e B_y .

Se eventualmente se condicionarem as duas dimensões de modo que, se torne impossível o seu dimensionamento por insuficiência de secção, a sapata será desenhada a vermelho e o correspondente erro será assinalado.

d_x e d_y

Nestas opções pode dar-se um valor para as excentricidades do eixo do pilar, relativamente ao centro de gravidade da sapata.

Estes valores têm que ser sempre positivos e, para o mesmo tipo de sapata, obrigam a que quer as armaduras, quer a altura sejam dimensionadas para atender às excentricidades impostas.

B_x , B_y e H_t

Estas opções permitem acertar as dimensões da sapata para outros valores, diferentes dos ditados pelo cálculo, podendo ser gravados no ficheiro *.RSG, para posterior listagem e desenho em CAD.

No entanto, e contrariamente ao tipo de sapata "condicionada" apresentada anteriormente, essas alterações são imediatamente desfeitas caso se proceda a um novo cálculo, pelo que não são condicionantes do dimensionamento, mas apenas ajustes das dimensões resultantes desse cálculo.

A_x e A_y

Nestas opções pode editar-se os valores escolhidos para as armaduras A_x (paralela ao eixo x) e A_y (paralela ao eixo y) aparecendo estas armaduras esquematicamente desenhadas.

A_d

Esta opção permite incluir uma armadura superior, que será esquematicamente desenhada quando diferente de zero.

Cálculo

Esta opção acciona o cálculo da sapata em causa, redesenhando-a no caso de os seus parâmetros serem alterados.

- Dimensões

Esta opção do menu das sapatas, liga ou desliga a escrita, sobre a planta de fundações que aparece no ecrã, dos valores das dimensões em planta das sapatas.

Nota: No canto superior esquerdo do ecrã aparece sempre a percentagem de área coberta pelas sapatas, que corresponde à razão do somatório das áreas em planta das sapatas com a área total da malha do edifício, acrescida das parcelas de áreas de sapatas do contorno que se situam fora das fronteiras da malha.

- Pórticos

Com este item, pode-se ligar ou desligar o desenho da disposição dos diversos pórticos existentes na malha, bem como a escrita do seu número de ordem.

- Pontos de Malha

Esta opção liga/desliga a escrita no canto superior direito de cada pilar do número do ponto da malha que lhe corresponde, sendo esses números desenhados com a mesma cor da sapata em causa.

- Grupos

A escolha deste item, permite ligar ou desligar a opção Grupos.

Com esta opção, pretende-se a escolha e agrupamento de forma automática das sapatas que sejam idênticas, com uma margem de erro no máximo igual à definida em Dados Gerais na opção Diferença.

Esta opção é útil na medida em que, face a um elevado número de pilares, se pode resumir a escolha e desenho a um número restrito de sapatas, que simplificará as operações de montagem e reduzirá a possibilidade de se cometerem erros.

A escolha das sapatas constituintes de cada grupo é regida pelos seguintes critérios:

1º) As dimensões b_x e b_y dos respectivos pilares terão que ser iguais.

2º) As sapatas não serem excêntricas.

3º) Relativamente à sapata envolvente de um grupo, todas as restantes possuam dimensões B_x , B_y e H_t que não sejam inferiores, cada uma delas, mais que o permitido pela percentagem definida em Dados Gerais.

Se esta opção estiver accionada, sempre que se escolher a opção Cálculo Global o agrupamento criterioso das sapatas será efectuado de novo, e será apresentado no canto superior direito do ecrã o número máximo de grupos que se determinou, bem como a percentagem que foi utilizada na quantificação do erro de aproximação.

No canto inferior esquerdo de cada sapata surge desenhada a letra S, seguida do número do grupo a que essa sapata pertence.

Em cada grupo existe uma sapata cujas dimensões são envolventes de todas as pertencentes a esse mesmo grupo, e que aparecerá desenhada a traço cheio, enquanto todas as restantes do mesmo grupo serão desenhadas a tracejado.

Se esta opção de grupos estiver desligada, no momento da gravação do ficheiro de resultados *.RSG, só serão gravadas as sapatas envoltentes de cada um dos grupos existentes, aparecendo, no entanto, junto a cada uma delas, os números dos pontos da malha das sapatas que também pertencem a esse grupo.

Inversamente, no momento da leitura de uma malha de sapatas, em que no ficheiro *.RSG estejam discriminados grupos, serão lidas apenas as sapatas envoltentes de cada um dos grupos, sendo as restantes alteradas de modo a ficarem com todos os parâmetros idênticos aos das sapatas que lhes deram origem.

- Ver Ficheiro

Esta opção permite a visualização do ficheiro de resultados do cálculo das sapatas *.RSG, como ilustrado na Figura 21, para confirmação dos valores que foram definidos e alterados.

A edição de todos os parâmetros constituintes deste ficheiro, pode ser feita nesse ponto de "Dimensionamento".

Convém notar que o ficheiro de desenho das sapatas, será construído através dos valores existentes neste ficheiro.

hoc

DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS	B35	A500
----------------------------	-----	------

SAPATA

Dimensões do Pilar bx= 0.20 m by= 0.60 m		Coeficiente de esbeltez k=3.0		Pt. Malha:12	
COMBINAÇÃO		N (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Tens. Calc. (kPa)
Combinação 1		541.7	4.0	1.3	300.0
Combinação 2		541.7	4.0	1.3	300.0
Combinação 3		545.5	4.0	-39.7	300.0
Combinação 4		537.9	4.0	42.4	300.0
Combinação 5		492.4	3.3	1.2	300.0
Combinação 6		492.4	3.3	1.2	300.0
Combinação 7		501.8	3.3	-101.4	300.0
Combinação 8		483.0	3.3	103.8	300.0
Combinação 9		328.1	2.1	-91.6	300.0
Combinação 10		306.6	2.1	93.1	300.0
Combinação 11		328.1	2.1	-91.6	300.0
Combinação 12		306.6	2.1	93.1	300.0
Combinação 13		353.1	2.1	-307.0	300.0
Combinação 14		353.1	2.1	-307.0	300.0
Combinação 15		281.5	2.1	308.5	300.0
Combinação 16		281.5	2.1	308.5	300.0

Sapata Homotética (+ Económica)

Excentricidades em relação ao C da sapata

Bx (m)	By (m)	Ht (m)	Armadura (cm ²)		Tensão de Referência (kPa)	Tensão Tangencial (kPa)
			Ax	Ay		
1.00	3.00	0.85	2.6	7.7	299.0	149.5
Armadura adoptada:			15110	7112	Arm. Sup.: Ad# 01 0	

Nota : A altura foi condicionada pelo 'Corte em Viga Larga'

Figura 21 – Ficheiro tipo *.RSG

- Medição

Nesta opção procede-se à medição quer de betão quer de aço, de todas as sapatas existentes no ficheiro *.RSG, apresentando ainda subtotaís para diferentes diâmetros de armaduras, semelhante ao anteriormente ilustrado nas vigas e repetido para os pilares.

- Sap-> DXF

Esta opção destina-se à criação do ficheiro *.DXF para o desenho das Sapatas.

Esta opção será analisada posteriormente no ponto referente ao Desenho/CAD, mais propriamente no ponto 2.3 deste capítulo.

2.2.4.LAJES

Como ilustrado na Figura 22, o Menu Plantas/Lajes pertence ao Menu MALHA 3D.

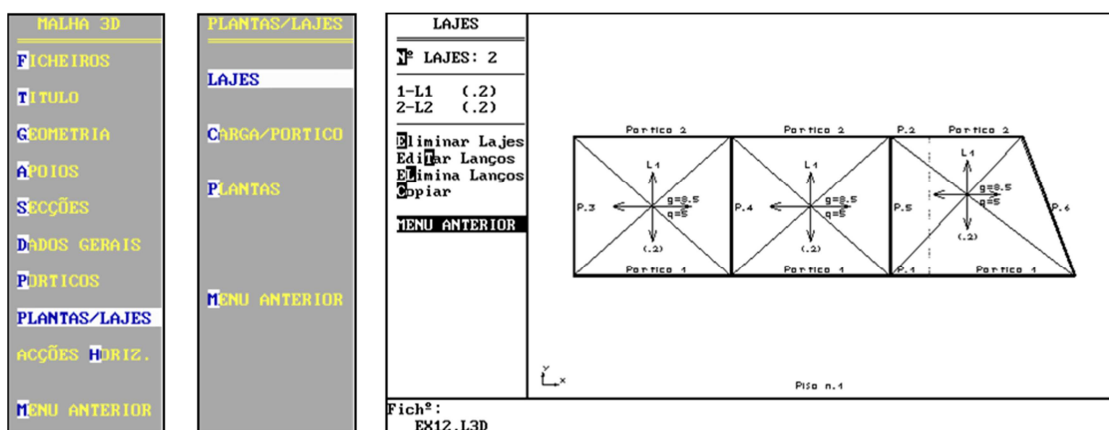


Figura 22 – Menu Lajes

O Menu Plantas/Lajes possibilita a caracterização das lajes em termos das suas espessuras, cargas e posicionamento em planta. Neste menu surge apenas uma janela principal que comporta sempre uma planta, com visualização dos lanços referentes às lajes definidas. Este Menu encontra-se dividido em Menu Lajes, Menu Carga/Pórtico e Menu Plantas, que serão sucintamente apresentados em seguida.

- Lajes

O Menu Lajes encontra-se dividido nas seguintes opções:

- Nº Lajes

Nesta opção caracterizam-se os diversos tipos de laje através do seu nome, espessura e cargas, a que se segue a localização dos painéis a realizar com a laje definida. Os painéis são definidos seleccionando-se com o cursor dois vértices, diagonalmente opostos, da área em planta onde se pretende considerar o painel.

Para a escolha das extremidades da diagonal referida, só se permite a movimentação para nós reais da estrutura de pilares e vigas, assim, na situação particular de uma laje em consola, sem vigas de bordadura, nunca seria possível a definição duma diagonal.

Sempre que a definição dessas diagonais não seja possível com os nós existentes há que previamente definir barras fictícias que apenas servirão como apoio à diagonal, e que, logo após à definição desses lanços, podem voltar a ser eliminadas.

- Eliminar Lajes

Permite retirar um tipo de laje anteriormente introduzido, eliminando os lanços por ela constituídos.

- Editar Lanços

Ao accionar esta opção podem percorrer-se os lanços já definidos, seleccionar um deles e redefinir a laje a que pertence e o tipo de apoio nos bordos.

- Eliminar Lanços

Permite eliminar um lanço de uma laje, anteriormente definido.

- Copiar

Permite copiar todas as configurações dos lanços do piso corrente para um outro piso, mudando automaticamente a planta corrente para a do piso de destino da cópia. Esta cópia é sempre realizada, mas apenas são validadas as duplicações que sejam compatíveis, ou seja as que se referem a zonas com geometria e características idênticas nos dois pisos.

- **Carga/Pórtico**

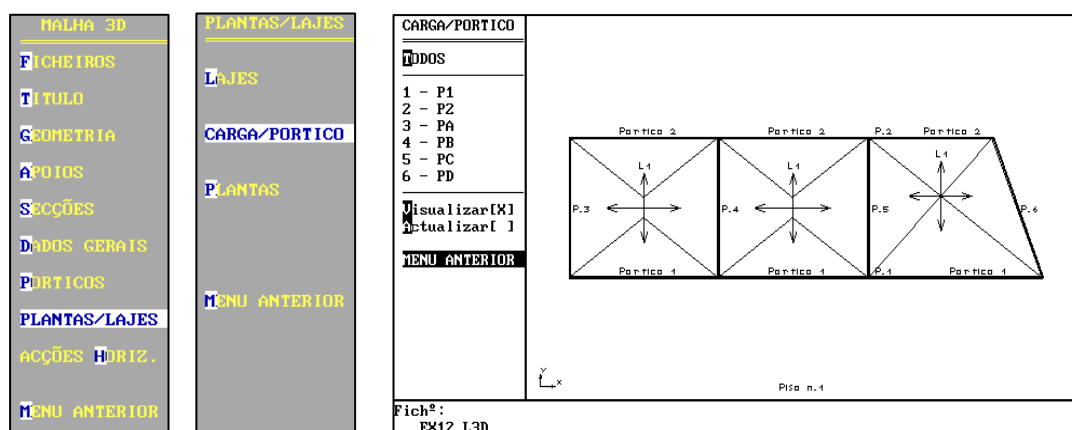


Figura 23 – Menu Lajes – Carga/Pórtico

Nesta opção é feita a visualização, em planta, do esquema de distribuição das cargas das lajes pelas vigas sob a forma de áreas de influência, como ilustrado na Figura 23.

Atenção:

1. As lajes são consideradas apoiadas apenas nas vigas que exteriormente definem o lanço, pelo que se este tiver sido definido contendo no seu interior um ou mais tramos de vigas estas não serão solicitadas pela laje.

2. Outras cargas nos pórticos, nomeadamente o peso próprio das vigas ou os pesos de paredes, devem ser incluídas em EntradaDados ou através de uma carga fictícia na laje.

- Visualizar

Estando esta opção activa, é possível visualizar as cargas que aos pórticos estão a ser atribuídas, mediante a escolha do pórtico desejado de entre a lista de pórticos presente no ecrã, definidos previamente. No ecrã surge o pórtico seleccionado como uma representação da acção permanente, e depois a sobrecarga.

- Actualizar

Opção em tudo idêntica à anterior, só que enquanto a anterior apresenta as cargas verticais no ecrã, esta, quando activada, grava-as nos ficheiros de dados dos pórticos. Esta actualização pode ser efectuada pórtico a pórtico, escolhendo o pórtico desejado na lista presente no ecrã, ou através da opção TODOS, em que a actualização se processará sucessivamente para todos eles.

No momento de gravação de cada uma das acções, se eventualmente já existirem outras acções no ficheiro do pórtico que se está a actualizar, o programa apresenta um aviso que possibilita o cancelamento da operação, a substituição das duas primeiras acções pelas actuais ou o acrescento destas duas acções, após a última acção desse pórtico.

- **Plantas**

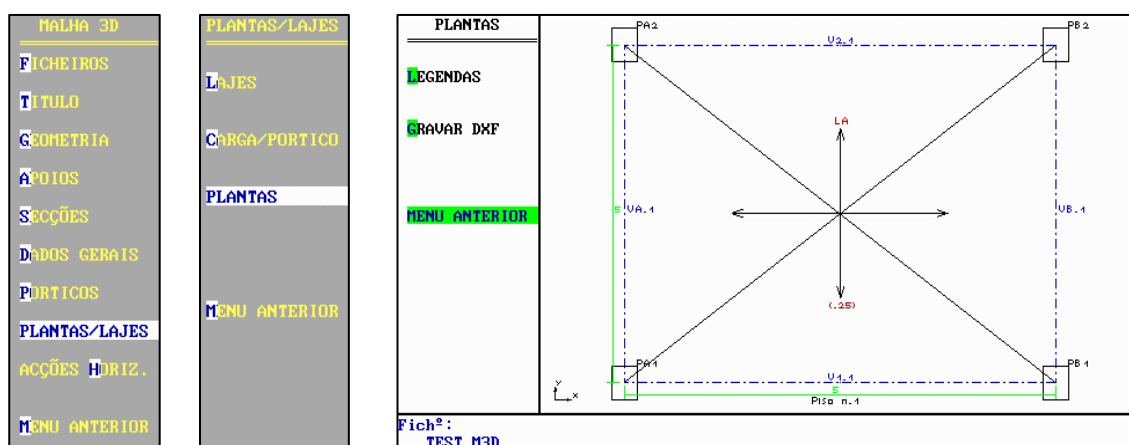


Figura 24 – Menu Lajes - Plantas

Nesta opção é possível configurar as plantas estruturais de modo a adequá-las ao esquema estrutural, como ilustrado na Figura 24, criando de seguida um ficheiro, do tipo *.DXF, para posterior edição por uma aplicação de CAD, com produção de desenho em "plotter" ou impressora.

À semelhança dos três menus anteriores, este surge com uma visualização por planta, incluindo todas as referências e notações gráficas de uma planta estrutural, tais como: a secção dos elementos verticais à escala; os elementos horizontais, referidos pelo seu eixo a traço-ponto; a legendagem de todas as peças; as diagonais das lajes; e o esquema de lançamento da sua armadura.

- Legendas

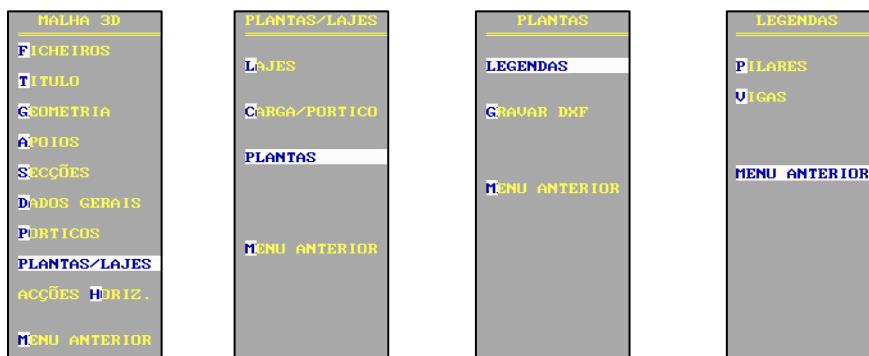


Figura 25 – Menu Lajes – Legendas

Neste menu, ilustrado pela Figura 25, é possível alterar os textos que legendam cada elemento estrutural, alterando os valores que lhes são atribuídos por defeito.

Atenção: as alterações produzidas nesta opção não têm efeitos de visualização imediata, só se tornando efectivos quando se abandona este menu e se passa para o menu principal de PLANTAS.

2.3. DESENHO / CAD

As três seguintes figuras, nomeadamente Figura 26, Figura 27 e Figura 28, representam as três opções que integram este menu e têm como objectivo a preparação de ficheiros DXF, através dos quais com um programa de CAD, permitem o desenho das vigas, pilares e sapatas. Em anexo encontram-se alguns exemplos dos ficheiros *.DXF devolvidos pelo PAC-Pórticos de forma a melhor ilustrar esta excelente funcionalidade.



Figura 26 – Menu Desenho/CAD – Port->DXF



Figura 27 – Menu Desenho/CAD – Rpg->DXF



Figura 28 – Menu Desenho/CAD – Sap->DXF

Neste capítulo, faz-se ainda a apresentação de um ficheiro de configuração em que se definem parâmetros gerais a usar na preparação dos ficheiros de desenho.

2.3.1. PORT – DXF

Nesta opção procede-se à criação do ficheiro *.DXF para o desenho das vigas.

Para a sua utilização é necessário ter presente o ficheiro de dados do pórtico e o correspondente ficheiro *.VCD e ainda o ficheiro de configuração PORTDXF.CFG, resultando o ficheiro *.DXF.

Todas as informações pertinentes contidas no ficheiro *.VCD, geradas automaticamente na sequência do cálculo ou introduzidas através de um editor, são incluídas no desenho.

Como ilustrado na Figura 29, o PAC-Pórticos está preparado para posicionar a laje na face superior ou inferior da viga, bem como permite seleccionar o tipo de laje que se pretende utilizar, maciça, aligeirada com blocos paralelos ao plano ou aligeirada com os blocos perpendiculares ao plano.

O Anexo A1 mostra o ficheiro *.DXF, referente a um Pórtico, completo e à escala.

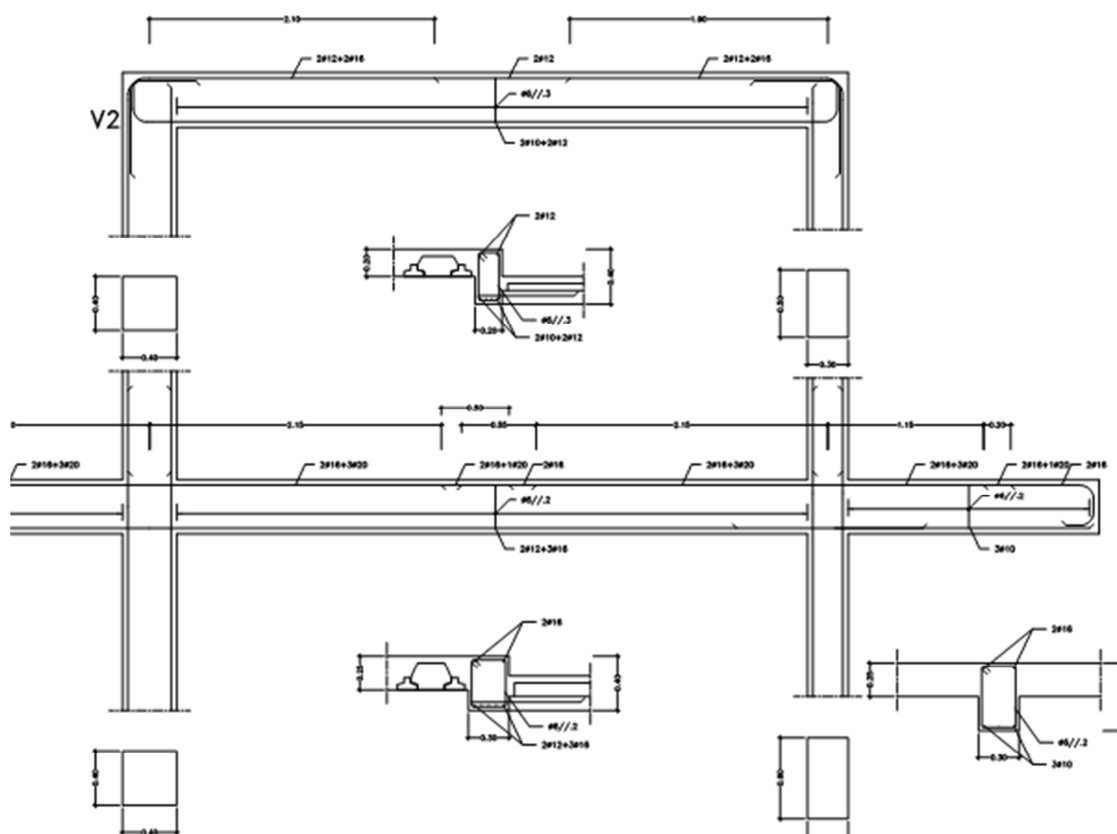


Figura 29 – Exemplo de um ficheiro *.DXF referente a um Pórtico – Vigas

2.3.2.RPG – DXF

Nesta opção procede-se à criação do ficheiro *.DXF para o desenho do quadro de pilares.

Para a sua utilização é necessário ter presente o ficheiro *.RPG, resultado da opção ENCURVGLOBAL, originando o correspondente ficheiro *.DXF.

Todos os elementos, relativos às secções, armaduras e posicionamento dos pilares, contidos em *.RPG, gerados automaticamente ou introduzidos num editor, são incluídos no desenho.

A Figura 30 mostra um exemplo de um ficheiro tipo *.DXF produzido pelo PAC-Pórticos.

O Anexo A2 mostra o ficheiro *.DXF, referente a Pilares, completo e à escala.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Piso 2						
Piso 1						
Fundação						

Figura 30 – Exemplo de um Ficheiro tipo *.DXF referente a Pilares

2.3.3. SAP – DXF

Esta opção destina-se à criação do ficheiro *.DXF para o desenho das Sapatas.

Para a sua utilização é necessário ter presente o ficheiro *.RSG, resultado da opção SAPATAS, originando um correspondente ficheiro *.DXF.

Neste desenho representam-se os cortes de todas as sapatas existentes no ficheiro *.RSG, com pormenorização das dimensões, armaduras e títulos. A Figura 31 ilustra um pequeno excerto desse ficheiro.

Como os ficheiros de malha que deram origem aos ficheiros de resultados de pilares (*.RPG) e de sapatas (*.RSG) têm o mesmo nome, e para que no momento de criação do ficheiro de extensão DXF para o desenho das sapatas, este se pudesse distinguir do de mesmo nome para o desenho dos pilares, optou-se por acrescentar a esse nome do ficheiro DXF, a letra "S", simbologia de "Sapatas".

O Anexo A3 mostra o ficheiro *.DXF, referente a Sapatas, completo e à escala.

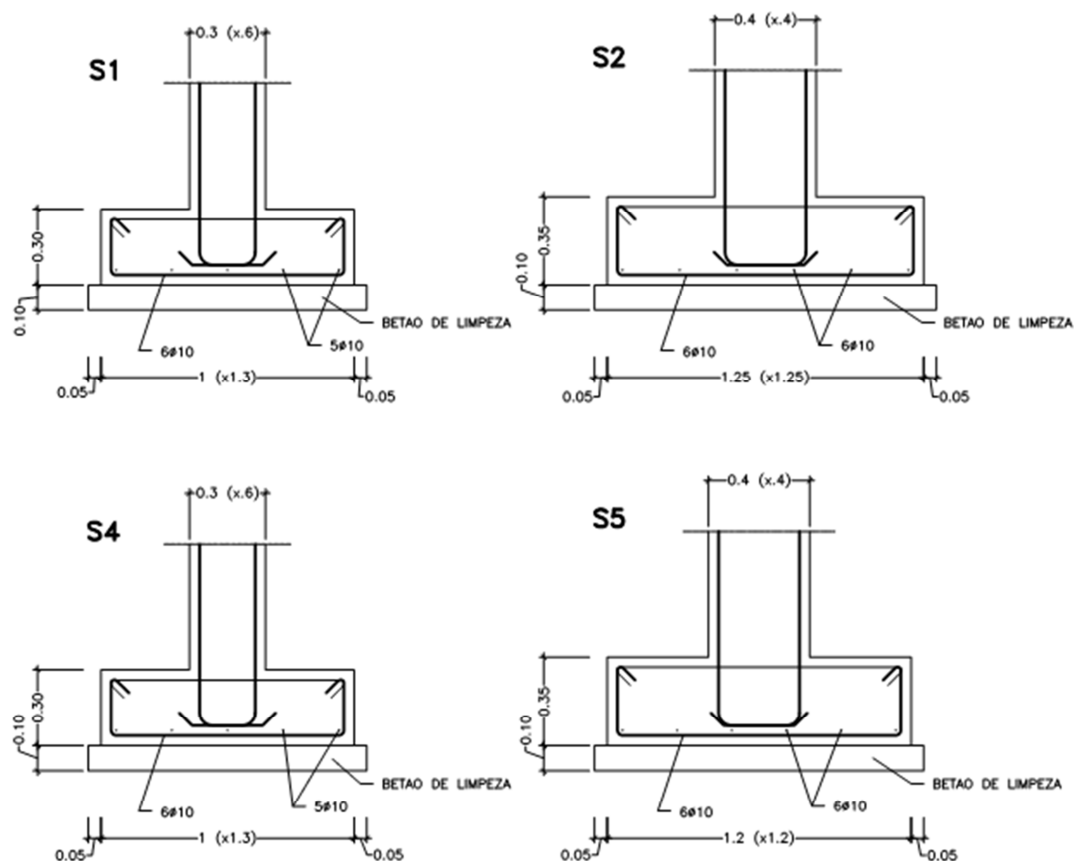


Figura 31 - Exemplo de um Ficheiro tipo *.DXF referente a Sapatas

3.

REGULAMENTOS E DEFINIÇÕES

3.1. REBAP

O Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado publicado no Decreto-Lei n.º 349-C/83 surge como evolução do decreto n.º 47723, de 20 de Maio de 1967. A necessidade de remodelar a regulamentação nacional sobre estruturas de betão armado publicada em 1967 surgiu face ao desenvolvimento técnico entretanto verificado e com o aparecimento do Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, RSA, que estabelecia novas condições gerais a observar na verificação de segurança de todos os tipos de estruturas, independentemente da natureza dos materiais constituintes [3]. O REBAP foi elaborado pela subcomissão específica da Comissão de Instituição e Revisão dos Regulamentos Técnicos do Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes com base em estudos e propostas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que participou também de forma muito activa nos trabalhos daquela subcomissão.

Quanto ao campo de aplicação do Regulamento, para além do dimensionamento e pormenorização de betão armado e pré-esforçado, este trata também os problemas associados à fadiga e os aspectos relativos ao comportamento das estruturas sob a acção dos sismos, com maior desenvolvimento aos capítulos relativos a disposições construtivas, execuções e controlo. A não inclusão no Regulamento de regras específicas para estruturas em que se utilizem betões leves ou muito densos, estruturas mistas, certos tipos de estruturas pré-esforçadas e relativamente a estruturas sujeitas a acções térmicas intensas, deve-se ao facto da pequena importância que tais técnicas assumiam no país na altura em que o regulamento foi redigido e publicado.

Este trabalho incidirá mais sobre o Capítulo XI do REBAP relativo a disposições construtivas em elementos estruturais.

3.2. EUROCÓDIGO 2

Os Eurocódigos devem contribuir para a criação e funcionamento do mercado interno de produtos, construção e serviços de engenharia, eliminando as disparidades que dificultam a sua livre circulação dentro da Comunidade. Além disso, pretendem uniformizar os níveis de segurança na construção civil na Europa.

Será obrigatório que todos os Estados-Membros aceitem os Eurocódigos, uma vez que as normas nacionais de aplicação dos Eurocódigos passarão a ser a especificação técnica padrão em todos os contratos de obras e serviços públicos.

No que ao Eurocódigo 2 diz respeito trata-se de um código referente a Projecto de estruturas de betão subdividido em quatro partes, em que a Parte 1-1 é relativa a regras gerais e regras para edifícios, a Parte 1-2 é referente a regras gerais de resistência ao fogo, a Parte 2 trata de pontes de betão e finalmente a Parte 1-3 relacionada com estruturas de reservatórios e de contenção.

Quanto ao campo de aplicação do Eurocódigo não existe uma subtracção de certos casos específicos como no caso do REBAP em relação a betões leves ou muito densos ou mesmo relativamente a estruturas sujeitas a acções térmicas intensas.

Este trabalho incidirá mais sobre o Capítulo 9 do Eurocódigo 2 Parte 1-1, relativo a Disposições construtivas de elementos estruturais.

3.3. COMPARAÇÃO ENTRE REGULAMENTOS

Neste ponto procedeu-se a uma comparação entre artigos do REBAP e do Eurocódigo 2, com vista a identificar diferenças significativas quer ao nível de valores de cálculo quer ao nível dos valores máximos e mínimos regulamentares e disposições construtivas. Esta comparação foi realizada através de tabelas, com o intuito de tornar a comparação mais visual e de fácil compreensão. Estas tabelas encontram-se mais à frente neste trabalho, intituladas de tabelas comparativas estando divididas por tipos de elementos estruturais que por sua vez estão fragmentadas em artigos para simplificar a comparação.

Os elementos estruturais a comparar referem-se a estruturas Porticadas e são as vigas, vigas-parede, pilares, paredes, sapatas e lajes, em que estas últimas estão subdivididas em lajes maciças, lajes aligeiradas e lajes fungiformes. São também comparados alguns casos particulares nomeadamente a fendilhação, o modelo de escoras e tirantes e o punçoamento. Vai ser dada especial atenção às Vigas e Pilares. Na comparação final deste trabalho é avaliado um pórtico constituído por estes dois elementos estruturais.

Todas as imagens inseridas nas tabelas comparativas referentes ao Eurocódigo são pertencentes ao mesmo.

3.3.1. VIGAS

3.3.1.1. Vigas segundo REBAP

O REBAP define as disposições relativas a elementos estruturais no capítulo XI, já dentro deste capítulo, o Subcapítulo A trata o elemento estrutural Vigas, desenvolvendo uma enumeração de artigos que tratam casos específicos. Neste tópico vamos apenas identificar e interpretar de forma sucinta alguns dos artigos e excepções consideradas fundamentais no âmbito deste trabalho.

- Artigo 87º - Vão teórico.
O vão teórico deve ser estabelecido segundo as condições de apoio.
- Artigo 88º - Largura do banzo comprimido das vigas em T.
As larguras calculadas não podem exceder a largura real do banzo.
- Artigo 89º - Altura mínima.
Deve ser cumprido o articulado neste artigo, a menos que em casos especiais com justificações estipuladas nos artigos 72º e 73º, referente à deformação.
- Artigo 90º - Armadura longitudinal mínima e máxima.
Este artigo trata as áreas mínimas e máximas regulamentares de armadura longitudinal numa viga.
- Artigo 91º - Espaçamento máximo dos varões da armadura longitudinal.
Neste artigo o REBAP estipula espaçamentos máximos obtidos através de formulações referentes aos artigos da fendilhação.
- Artigo 92º - Interrupção da armadura longitudinal
A armadura longitudinal de tracção das vigas só pode ser interrompida desde que garanta a absorção das forças de tracção correspondentes a um diagrama obtido por translação.

- Artigo 93º - Armadura longitudinal nos apoios.
Este capítulo menciona, para situações de apoios, os comprimentos mínimos de amarração ou de continuidade de armaduras. Deve ser complementado com os artigos 81º e 82º referentes à definição do comprimento de amarração.
- Artigo 94º - Armadura de esforço transverso.
As vigas devem ser armadas ao longo de todo o vão com estribos que abranjam a totalidade da sua altura, os quais devem envolver as armaduras longitudinais de tracção e compressão.
- Artigo 95º - Armadura de torção.
A armadura transversal de torção deve ser constituída por cintas fechadas por meio de emendas executadas de acordo com o artigo 84º, referente a emenda de varões.
Os varões da armadura longitudinal de torção devem ser dispostos ao longo do contorno interior das cintas, devendo existir pelo menos um varão em cada vértice do contorno.
- Artigo 96º - Armadura de alma.
Nas vigas com altura superior ou igual a 1 metro deve ser disposta uma armadura de alma constituída por varões longitudinais colocados junto das faces laterais da viga e distribuídos ao longo da altura da secção transversal, de preferência na sua zona traccionada.
- Artigo 97º - Armadura de ligação dos banzos à alma.
Em vigas com banzos, comprimidos ou traccionados devem dispor-se armaduras de ligação entre os banzos e a alma, distribuídas ao longo dos banzos perpendicularmente aos planos de união paralelos ao plano de flexão da viga. Estas armaduras deverão assegurar a absorção das forças longitudinais desenvolvidas por acção do esforço transverso ao longo daqueles planos de união.
Nos casos em que os banzos sejam betonados conjuntamente com a alma, poderá dispensar-se o dimensionamento específico desta armadura, desde que a área da sua secção não seja inferior a metade da área total da secção dos estribos e tenha o mesmo espaçamento destes.
- Artigo 98º - Armadura de suspensão. Apoios indirectos.
O apoio de uma viga secundária numa viga principal- apoio indirecto-, quando haja interpenetração das duas vigas, deve realizar-se por meio de armaduras de suspensão constituídas por estribos adicionais da viga principal, cuja secção seja suficiente para absorver a força de apoio da viga secundária. Estes estribos devem ser distribuídos na zona de intersecção das duas vigas e estender-se ao longo da viga principal.
- Artigo 99º - Armadura para absorção de forças de desvio.
As forças que se originam em zonas de mudança de direcção dos esforços internos de compressão ou de tracção e que são dirigidas para o exterior dos elementos (forças de desvio) devem ser convenientemente absorvidas por armaduras.

3.3.1.2. Vigas segundo EC2

No Eurocódigo 2 o capítulo referente às disposições construtivas relativas a elementos estruturais e regras particulares encontra-se identificado como Ponto 9 e as vigas encontram-se descritas no ponto 9.2.

Neste tópico vamos apenas identificar e interpretar de forma sucinta alguns dos artigos, excepções e especificações sobre o elemento estrutural Vigas presentes Eurocódigo 2 e consideradas fundamentais no âmbito deste trabalho

- 9.2.1 – Armaduras longitudinais
 - 9.2.1.1 – Áreas mínimas e máximas de armadura.

As secções com uma quantidade de armadura inferior à armadura mínima deverão ser consideradas como não armadas

A área de armaduras quer de tracção quer de compressão não deverá ser superior à armadura máxima excluindo zonas de sobreposição de armaduras.

Em elementos secundários, para os quais se poderá aceitar um certo risco de rotura frágil a armadura mínima poderá ser considerada como 1,2 vezes a área exigida pela verificação em relação ao estado limite último.
 - 9.2.1.2 – Outras disposições construtivas

Nas vigas que constituem uma construção monolítica com os seus apoios, mesmo que o cálculo tenha sido realizado para a hipótese de apoios simples, a secção de apoio deverá ser dimensionada para um momento flector correspondente a um encastramento parcial de valor pelo menos igual a β_1 do momento flector máximo do vão.
 - 9.2.1.3 – Dispensa das armaduras longitudinais de tracção.

Deverão utilizar-se, em todas as secções, armaduras suficientes para resistir à envolvente da força de tracção actuante, incluindo o efeito das fendas inclinadas nas almas e nos banzos.
 - 9.2.1.4 – Amarração de armaduras inferiores em apoios extremos.

A área da armadura inferior nos apoios de extremidade considerados no cálculo com grau de encastramento fraco ou nulo deveser, pelo menos, β_2 da área de armadura existente no vão.
 - 9.2.1.5 – Amarração de armaduras inferiores em apoios intermédios.

Aplica-se a área de armadura especificada anteriormente em 9.2.1.4.

As armaduras necessárias para resistir a eventuais momentos positivos (por exemplo, assentamento do apoio, explosão, etc.) deverão ser especificadas nos documentos contratuais. Estas armaduras deverão ser contínuas, o que poderá ser realizado por meio de varões sobrepostos.
- 9.2.2 – Armaduras de esforço transverso.

A armadura de esforço transverso deverá formar um ângulo entre 45° e 90° com o eixo longitudinal do elemento estrutural.

Os estribos devem ser amarrados eficazmente. Permite-se a emenda por sobreposição do ramo próximo da face de uma alma desde que a armadura não tenha que resistir à torção.
- 9.2.3 – Armaduras de torção.

As cintas de torção deverão ser fechadas e amarradas por meio de sobreposições ou de ganchos e formar um ângulo de 90° com o eixo do elemento estrutural.

▪ 9.2.4 – Armaduras de pele.

Em certos casos poderá ser necessário utilizar armaduras de pele para controlar a fendilhação ou para assegurar uma resistência adequada ao destacamento do betão de recobrimento.

▪ 9.2.5 – Apoios indirectos.

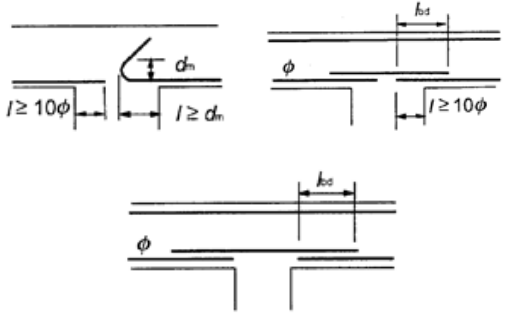
Quando uma viga é apoiada por outra viga e não por uma parede ou pilar, devera utilizar-se uma armadura dimensionada de modo a resistir à reacção mútua. Esta armadura é adicional à armadura necessária por outros motivos. Esta regra aplica-se também a uma laje não apoiada na parte superior de uma viga.

A armadura de suspensão no cruzamento das duas vigas deverá ser constituída por estribos envolvendo a armadura principal do elemento de apoio.

3.3.1.3. Tabela comparativa de Vigas

Neste tópico vamos proceder a uma comparação, entre REBAP e EC2, fragmentada por artigos referentes ao elemento estrutural Vigas.

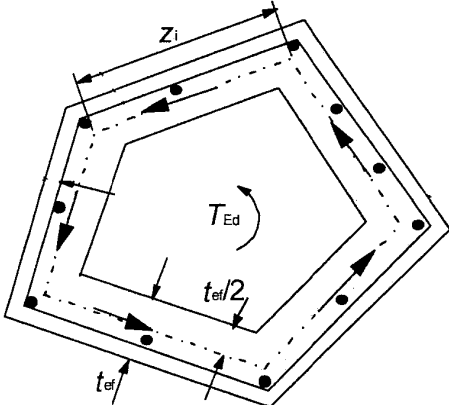
QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS																							
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2																					
Largura do banzo b(REBAP) ;beff(EC2)	$b = b_w + 2 \cdot \left(\frac{1}{10} \cdot l_0\right) \text{ Vigas T}$ $b = b_w + \left(\frac{1}{10} \cdot l_0\right) \text{ Vigas L}$	$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$																					
Altura Mínima h	$\frac{l_i}{h} \leq 20 \cdot \eta$ Afectação de paredes divisórias: $\frac{l_i}{h} \leq \frac{120}{h_i} \cdot \eta$	A altura mínima é definida através da altura útil, d, segundo a seguinte expressão: $\left(\frac{l}{d}\right) = \left(\frac{l}{d}\right)^* \cdot k_t \cdot k_l \cdot k_{\sigma_s}$																					
Armaduras Longitudinais Mínimas e Máximas	$\rho = \frac{A_{s,min}}{b_t \cdot d} \cdot 100$ $\rho \geq \begin{cases} 0,25 \rightarrow A235 \\ 0,15 \rightarrow A400 \\ 0,12 \rightarrow A500 \end{cases}$ $A_{s,máx} = 0,04 \cdot A_c$ <i>Nota: só estão mencionadas armaduras máximas e mínimas, a armadura de cálculo será determinada recorrendo a tabelas/ábacos de cálculo.</i>	$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$ $\rho = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot 100$																					
		<table><tr><th colspan="5">ρ</th></tr><tr><th colspan="2">Betão</th><th>C20/25</th><th>C25/30</th><th>C30/37</th></tr><tr><td rowspan="2">Aço</td><th>S400</th><td>0,143</td><td>0,169</td><td>0,1885</td></tr><tr><th>S500</th><td>0,1144</td><td>0,1352</td><td>0,1508</td></tr></table>			ρ					Betão		C20/25	C25/30	C30/37	Aço	S400	0,143	0,169	0,1885	S500	0,1144	0,1352	0,1508
		ρ																					
		Betão		C20/25	C25/30	C30/37																	
Aço	S400	0,143	0,169	0,1885																			
	S500	0,1144	0,1352	0,1508																			
Para o controlo da fendilhação:																							
$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$ $A_{s,máx} = 0,04 \cdot A_c \quad (NA)$ <i>Nota: Os valores de ρ foram determinados apenas para facilitar a comparação entre regulamentos.</i>																							

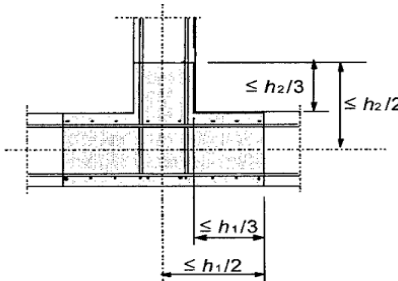
QUADRO COMPARATIVO REBAP vs. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS													
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2											
Espaçamentos Máximos de armaduras Longitudinais	Limitações mencionadas no REBAP relativas ao espaçamento máximo de armaduras longitudinais, são referentes ao controlo de fendilhação: <table border="1"> <tr> <th rowspan="2">Ambiente</th><th colspan="2">Tipo de aço</th></tr> <tr> <th>A400</th><th>A500</th></tr> <tr> <td>Pouco Agressivo</td><td>12.5</td><td>10</td></tr> <tr> <td>Moderadamente Agressivo</td><td>7.5</td><td>5</td></tr> </table> <i>Nota: os valores estão em cm.</i>	Ambiente	Tipo de aço		A400	A500	Pouco Agressivo	12.5	10	Moderadamente Agressivo	7.5	5	Em secções rectangulares pelo menos um varão em cada canto. $s \leq 35cm$ Limitação relativa a fendilhação, nos casos em que seja necessário, recorrendo a tabelas do EC2. (Ver mais a frente capítulo referente a fendilhação).
Ambiente	Tipo de aço												
	A400	A500											
Pouco Agressivo	12.5	10											
Moderadamente Agressivo	7.5	5											
Comprimento de amarração das armaduras inferiores nos apoios	Em apoios com liberdade de rotação ou encastramento fraco deve medir-se o comprimento de amarração a partir da face interior do apoio, em apoios directos a partir de 1/3 da largura do apoio. Os comprimentos de amarração devem ser determinados segundo art.º 81º e 82º, para uma força de: $F_s = V_{sd} \cdot \frac{a_l}{d}$ Contudo os comprimentos de amarração em apoios directos podem ser reduzidos de 1/3, cumprindo os mínimos definidos no art.82º. Deverá chegar aos apoios pelo menos ¼ da Armadura máxima a ½ vão.	A força de tracção a amarrar poderá ser determinado aplicando a regra de translação, indicada nas imagens da Figura 32. $F_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{a_l}{z} + N_{Ed}$  Figura 32 – Comprimentos de amarração em armaduras inferiores. Deverá chegar aos apoios pelo menos 25% da armadura máxima a ½ vão.											
Armadura Superior, em casos de cálculo como simplesmente apoiadas em construções monolíticas.	O REBAP menciona no art.74º a necessidade de armaduras secundárias nos nós. O REBAP menciona no capítulo relativo a estruturas de ductilidade melhorada, art.143º - vigas de pórticos, que em zonas de nós a armadura numa face não deve ser inferior a 50% da armadura na face oposta. $A_{s,superior} = 50\% \cdot A_{s,inferior}$	O Eurocódigo explicita que nestes casos, em vigas deverá existir uma armadura de pelo menos: $A_{s,apoio} = \beta_1 \cdot A_{s,máxvão}$ $\beta_1 = 0,15 \rightarrow$ Anexo Nacional Português. Esta armadura terá sempre que cumprir a armadura mínima estipulada anteriormente.											

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS																					
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2																			
Comprimento de amarração de armaduras superiores nos apoios	Nos apoios de encastramento os comprimentos de amarração, $l_{b,net}$, deverão ser efectuados a partir da face interior do apoio, à menor das seguintes distancias: $x = \begin{cases} largura\ do\ apoio \\ 2 \cdot d \end{cases}$	No Eurocódigo2 não são referidas as distâncias a partir de onde deverão ser efectuados os comprimentos de amarração respectivos a armaduras superiores. O ponto 8.4 do Eurocódigo 2 trata as amarrações de armaduras longitudinais, em que o comprimento de amarração de cálculo é dado por l_{bd}.																			
Armadura de esforço transverso (A_{sw})	$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \cdot 100$	$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha}$																			
	Taxas mínimas de armadura transversal: $\rho_w \geq \begin{cases} 0,16 \rightarrow A235 \\ 0,10 \rightarrow A400 \\ 0,08 \rightarrow A500 \end{cases}$	$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot 100$																			
	Esforço transversal resistente: $V_{rd} = V_{cd} + V_{wd}$ $V_{rd} \leq \tau_2 \cdot b_w \cdot d$	Taxas mínimas de armadura transversal: <table><tr><th colspan="4">pw,mín</th></tr><tr><th>Betão</th><th>C20/25</th><th>C25/30</th><th>C30/37</th></tr><tr><td rowspan="2">Aço</td><td>S400</td><td>0,08944</td><td>0,100</td><td>0,1095</td></tr><tr><td>S500</td><td>0,07155</td><td>0,080</td><td>0,0876</td></tr></table>			pw,mín				Betão	C20/25	C25/30	C30/37	Aço	S400	0,08944	0,100	0,1095	S500	0,07155	0,080	0,0876
	pw,mín																				
	Betão	C20/25	C25/30	C30/37																	
Aço	S400	0,08944	0,100	0,1095																	
	S500	0,07155	0,080	0,0876																	
Esforço resistente da secção de betão: $V_{cd} = \tau_1 \cdot b_w \cdot d$	Estribos verticais: $V_{rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$ $V_{rd,s} \leq V_{rd,m\acute{a}x} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \vartheta_1 \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$																				
Esforço resistente referente às armaduras de esforço transverso: $V_{wd} = 0,9d \frac{A_{sw}}{s} f_{syd} (1 + \cot \alpha) \sin \alpha$ τ_1 e τ_2, São valores tabelados, Quadro VI e VII do REBAP, respectivamente.	Estribos inclinados: $V_{rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$ $V_{rd,s} \leq V_{rd,m\acute{a}x}$ $V_{rd,m\acute{a}x} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \tan \theta)}{(1 + \cot^2 \theta)}$ Esforço resistente da secção de betão: $V_{rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$ $V_{rd,c} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$																				

QUADRO COMPARATIVO REBAP vs. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Espaçamentos máximos de armaduras de esforço transverso	1- Zona onde: $V_{sd} \leq \frac{1}{6} \cdot \tau_2 \cdot b_w \cdot d$ $s \leq 0,9 \cdot d \rightarrow \text{com o máximo de } 30\text{cm}$	O espaçamento longitudinal máximo entre armaduras de esforço transverso não deverá ser superior a $s_{l,máx}$. $s_{l,máx} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$
	2- Zona onde: $\frac{1}{6} \cdot \tau_2 \cdot b_w \cdot d < V_{sd} \leq \frac{2}{3} \cdot \tau_2 \cdot b_w \cdot d$ $s \leq 0,5 \cdot d \rightarrow \text{com o máximo de } 25\text{cm}$	O espaçamento longitudinal máximo de varões inclinados não deverá ser superior a $s_{b,máx}$. $s_{b,máx} = 0,6 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$
	3- Zona onde: $V_{sd} > \frac{2}{3} \cdot \tau_2 \cdot b_w \cdot d$ $s \leq 0,3 \cdot d \rightarrow \text{com o máximo de } 20\text{cm}$	O espaçamento transversal máximo entre ramos de estribos não deverá ser superior a $s_{t,máx}$. $s_{t,máx} = 0,75 \cdot d \leq 600\text{mm}$
Translação do diagrama para resistir a envolvente das forças de tracção	1- Zona onde: $V_{sd} \leq \frac{2}{3} \cdot \tau_2 \cdot b_w \cdot d$ $al = d \rightarrow \text{Estribos verticais}$ $al = 0,75 \cdot d \rightarrow \text{Estribos verticais com varões inclinados a } 45^\circ$ $al = 0,5 \cdot d \rightarrow \text{Estribos a } 45^\circ$ 2- Zona onde: $V_{sd} > \frac{2}{3} \cdot \tau_2 \cdot b_w \cdot d$ Os valores anteriores são todos reduzidos em $0,25 \cdot d$	1- Com armadura de esforço transverso: $al = z \cdot (\cot \theta - \cot \alpha) / 2$ 2- Sem armadura de esforço transverso: $al = d$

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Armaduras de Torção longitudinais e transversais (A_{sl} e A_{st})	Valor de cálculo do momento torsor resistente, T_{rd}, é dado pelo menor valor das seguintes expressões: $T_{rd} = T_{cd} + T_{td}$ $T_{rd} \leq 2 \cdot \tau_2 \cdot h_{ef} \cdot A_{ef}$ $T_{rd} = T_{ld}$ $T_{cd} = 2 \cdot \tau_1 \cdot h_{ef} \cdot A_{ef}$ $T_{ld} = 2 \cdot A_{ef} \cdot \frac{A_{sl}}{u_{ef}} f_{syd}$ $T_{td} = 2 \cdot A_{ef} \cdot \frac{A_{st}}{s} f_{syd}$	Armaduras Longitudinais: $\frac{\sum A_{sl} \cdot f_{yd}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k} \cdot \cot \theta$ $\sum A_{sl} = \frac{T_{Ed} \cdot u_k \cdot \cot \theta}{2 \cdot A_k \cdot f_{yd}}$
	Os termos T_{cd}, T_{ld} e T_{td} dependem da geometria da secção e ainda, respectivamente, da classe do betão, da armadura transversal de torção e da armadura longitudinal de torção.	Tensão tangencial numa parede de uma secção: $\tau_{t,i} \cdot t_{ef,i} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k}$ $V_{Ed,i} = \tau_{t,i} \cdot t_{ef,i} \cdot z_i$
	Para associações entre esforços de flexão e torção consideram-se as armaduras separadamente.	A resistência máxima é limitada pela resistência das escoras, que não será ultrapassada se for satisfeita a seguinte condição: $\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,máx}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,máx}} \leq 1,0$ $T_{Rd,máx} = 2 \cdot v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$
		$V_{Rd,máx} \rightarrow$ Capítulo referente ao esforço transversal.

QUADRO COMPARATIVO REBAP vs. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Armaduras de Torção longitudinais e transversais (A_{sl} e A_{st}) (continuação)	Para esforço de torção circular associado a esforço transversal, consideram-se as seguintes alíneas: a) V_{cd} e T_{cd} são dados por: - No caso de $\tau_v + \tau_T \leq \tau_1$: $V_{cd} = \tau_1 \cdot \left(\frac{\tau_v}{\tau_v + \tau_T} \right) \cdot b_w \cdot d$ $T_{cd} = 2 \cdot \tau_1 \cdot \left(\frac{\tau_T}{\tau_v + \tau_T} \right) \cdot h_{ef} \cdot A_{ef}$ - No caso de $\tau_v + \tau_T > \tau_1$: $V_{cd} = \tau_1 \cdot b_w \cdot d$ $T_{cd} = 0$ Em que: $\tau_v = \frac{V_{sd}}{b_w \cdot d} \text{ e } \tau_T = \frac{T_{sd}}{2 \cdot h_{ef} \cdot A_{ef}}$ b) As condições limites para os valores de cálculo do esforço transversal e tissor resistentes são: $V_{rd} = \tau_2 \cdot \left(\frac{\tau_v}{\tau_v + \tau_T} \right) \cdot b_w \cdot d$ $T_{rd} = 2 \cdot \tau_2 \cdot \left(\frac{\tau_T}{\tau_v + \tau_T} \right) \cdot h_{ef} \cdot A_{ef}$	Para secções cheias, aproximadamente rectangulares será necessário apenas a armadura mínima se for satisfeita a seguinte condição: $\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} \leq 1,0$ $T_{Rd,c} = T_{Ed} \text{ com } (\tau_{ti} = f_{ctd})$ $V_{Rd,c} \rightarrow$ capítulo referente ao esforço transversal A Figura 33 demonstra os esforços provocados numa secção sujeita a efeitos de torção.  Figura 33 – Esforços de Torção
Espaçamentos máximos da armadura de Torção	Armaduras longitudinais: $s_l \leq 35cm$ Armaduras transversais: $s_t \leq \frac{1}{8} \cdot u_{ef}$ $s_t \leq 30 \text{ cm}$	Armaduras longitudinais: Pelo menos um varão em cada canto da secção, sendo os restantes distribuídos ao longo do contorno interno das cintas com um espaçamento nunca superior a: $s_l \leq 35cm$ Referente a armaduras transversais: $s_t \leq \frac{u_{ef}}{8}$

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Armadura de alma ou de pele (A_{alma}; $A_{s,surf}$)	A armadura de alma deverá ser constituída do mesmo aço que o da armadura longitudinal e colocada ao longo da altura da secção transversal, de preferência na zona traccionada, em ambas as faces da viga, em vigas de altura superior a 1m. $A_{alma} \geq 4\% \cdot A_{sl}, \text{ por face}$	Deverá utilizar-se armadura de pele para resistir ao destacamento do Betão quando a armadura principal for constituída por: - Varões de $\phi > 32mm$ - Agrupamento de varões: $\phi_{eq} > 32mm$ $A_{s,surf} \geq A_{s,surf,min}$ $A_{s,surf,min} \geq 0,01 \cdot A_{ct,ext}$ Em que: $A_{ct,ext}$ é a área de betão traccionado exterior às cintas..
Ligação Banzo-Alma	$V_{sd} = \frac{A_s}{s} \cdot f_{syd} \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$	$\frac{A_{sf}}{s_f} \cdot f_{yd} \geq v_{Ed} \cdot \frac{h_f}{\cot \theta_f}$ Para impedir o esmagamento das escoras comprimidas no banzo, deverá ser satisfeita a seguinte condição: $v_{Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f$
Apoios Indirectos	$V_{wd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{syd} (1 + \cot \alpha) \sin \alpha$ Esta armadura, estribos por metro, deverá ser totalmente distribuída na zona de intersecção das duas vigas, que se estenderá ao longo da viga principal, para ambos os lados de uma distancia, x, de: $x \geq \begin{cases} b_2/2 \\ h_1/2 \end{cases}$ Sendo b_2 largura da viga secundaria e h_1 a altura da viga principal.	$V_{rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$ Esta armadura, estribos por metro, deverá ser totalmente distribuída na zona de intersecção das duas vigas, como ilustrado na Figura 34.  Figura 34 – Distribuição da armadura em apoios indirectos

3.3.2.VIGAS-PAREDE

3.3.2.1. Vigas-parede segundo REBAP

Dentro do Capítulo XI do REBAP, o Subcapítulo G trata o elemento estrutural Vigas-Parede, dentro deste subcapítulo são enumerados um conjunto de artigos referentes a casos específicos. Neste tópico vamos apenas identificar e interpretar de forma sucinta alguns dos artigos e excepções.

- **Artigo 128º - Generalidades.**
Para que uma viga seja considerada uma viga parede tem que obedecer a relações entre o vão teórico e a altura para diferentes condições de apoio (ver tabela comparativa).
- **Artigo 129º - Vão teórico. Espessura mínima.**
O vão teórico a considerar no dimensionamento das vigas-parede deve ser definido pelo menor dos seguintes valores: a distância entre eixos dos apoios; o vão livre aumentado de 15%.
A espessura mínima das vigas parede não deve ser inferior a 10 cm.
- **Artigo 130º - Dimensionamento ao momento flector.**
Nos casos correntes, para verificação da segurança das vigas-parede em relação ao momento flector, basta em geral calcular a secção da armadura principal necessária para resistir aos momentos actuantes de cálculo, que podem ser determinados como se de vigas de geometria usual se tratassem com as mesmas condições de apoio e sujeitas às mesmas acções. A secção de armadura pode ser obtida por uma expressão simplificada, (ver tabela comparativa).
- **Artigo 131º - Dimensionamento em relação ao esforço transversal.**
As condições expressas neste artigo visam limitar as tensões nas bielas comprimidas de betão, particularmente nas zonas de apoio da viga-parede, e são complementadas pelas disposições específicas relativas a armaduras de alma.
- **Artigo 132º - Distribuição da armadura principal.**
Este artigo indica como devem ser distribuídas as armaduras de flexão em vigas-parede.
A armadura principal deverá manter-se constante ao longo dos vãos e a partir das faces interiores dos apoios e deve ser dimensionada para pelo menos 80% da tracção máxima no vão.
- **Artigo 133º - Armadura de alma.**
Deve dispor-se uma armadura de alma em malha quadrada.
Os varões verticais devem ser estribos envolvendo a armadura principal inferior e os varões horizontais cintas envolvendo os varões verticais extremos.
Nas zonas dos apoios as armaduras de alma devem ser reforçadas tanto na vertical como na horizontal.
- **Artigo 134º - Armadura de suspensão. Apoios indirectos.**
As vigas principais são dimensionadas para absorver a totalidade das cargas suspensas, ou forças de apoio das vigas secundárias.
Nas zonas de apoios indirectos a armadura da alma das vigas secundárias deve ser dimensionada quer na vertical quer na horizontal para absorver pelo menos 80% do valor de cálculo das suas reacções de apoio.

No Eurocódigo 2 as disposições construtivas relativas a elementos estruturais e regras particulares encontram-se identificadas no Ponto 9 e as vigas-parede estão descritas no Ponto 9.7 que se encontra resumido em apenas 3 alíneas, enumeradas em baixo na caixa de texto.

- (1) - As vigas parede deverão, normalmente, dispor, junto de cada face, uma armadura de rede ortogonal de armaduras, (ver tabela comparativa).
- (2) - A distância entre dois varões adjacentes não deverá exceder 2 vezes a espessura da viga-parede ou 30 cm.
- (3) - A armadura correspondente aos tirantes considerados no modelo de calculo devera ser totalmente amarrada para equilíbrio no nó, por dobragem de varões, laços em U ou por meio de dispositivos de amarração, a não ser que exista comprimento de amarração suficiente entre o nó e a extremidade da viga que possibilitem comprimento de amarração igual ou superior a l_{bd} .

3.3.2.3. Tabela comparativa de Vigas-parede

Neste tópico vamos proceder a uma comparação entre regulamentos fragmentada por artigos referentes ao elemento estrutural Vigas-Parede.

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS-PAREDE		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Considerações gerais	Para que uma viga seja considerada como viga-parede, as relações entre o vão teórico e a altura da secção são: 1 – Vigas simplesmente apoiadas: $\frac{l_0}{h} \leq 2,0$ 2 – Vigas contínuas I) Vãos extremos: $\frac{l_0}{h} \leq 2,5$ II) Vãos intermédios: $\frac{l_0}{h} \leq 3,0$ 3 – Vigas em consola: $\frac{l_0}{h} \leq 1,0$	O Eurocódigo considera como Viga-parede todo elemento de viga cujo vão é inferior a 3 vezes a altura total da secção transversal da viga, isto é: $l_0 \leq 3,0 \cdot h$

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS-PAREDE		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Dimensionamento ao momento flector	$A_s = \frac{M_{Sd}}{f_{syd} \cdot z}$ z, pode assumir valores em função do vão, l, e da altura, h, para os seguintes casos: 1 – Vigas simplesmente apoiadas: $z = \begin{cases} 0,15 \cdot (l + 3 \cdot h) \rightarrow \text{quando } l \leq \frac{l}{h} < 2 \\ 0,6 \cdot l \rightarrow \text{quando } \frac{l}{h} \leq l \end{cases}$ 2 – Vigas contínuas de vãos extremos e apoios de continuidade: $z = \begin{cases} 0,1 \cdot (2 \cdot l + 2,5 \cdot h) \rightarrow \text{quando } l \leq \frac{l}{h} < 2,5 \\ 0,45 \cdot l \rightarrow \text{quando } \frac{l}{h} \leq l \end{cases}$ 3 – Vigas contínuas de vãos intermédios e apoios não adjacentes aos vãos extremos: $z = \begin{cases} 0,15 \cdot (l + 2 \cdot h) \rightarrow \text{quando } l < \frac{l}{h} \leq 3 \\ 0,45 \cdot l \rightarrow \text{quando } \frac{l}{h} \leq l \end{cases}$ 4 – Vigas em consola: $z = \begin{cases} 0,15 \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot h) \rightarrow \text{quando } 0,5 < \frac{l}{h} \leq l \\ 1,2 \cdot l \rightarrow \text{quando } \frac{l}{h} \leq 0,5 \end{cases}$	O Eurocódigo 2 não especifica um cálculo de armadura para cada condição de apoio como faz o REBAP. No Eurocódigo 2 para o elemento vigas-parede o cálculo de armaduras principais é feito utilizando o método de escoras e tirantes.

QUADRO COMPARATIVO REBAP vs. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS-PAREDE		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Espaçamentos e disposição de armadura principal	As armaduras principais em Viga-parede são dispostas a partir do bordo inferior, com uma altura de: 1 – Momentos Positivos: $\begin{cases} 0,25 \cdot h - 0,05 \cdot l \rightarrow h \leq l \\ 0,2 \cdot l \rightarrow h > l \end{cases}$ 2 – Momentos Negativos: $\begin{cases} \text{entre } 0,2 \cdot h \text{ e } 0,8 \cdot h \rightarrow l > h \\ 0,6 \cdot l \text{ a partir de } 0,2 \cdot l \rightarrow l \leq h \end{cases}$ $\frac{1}{2}$ da Armadura do vão pode ser interrompida à menor das seguintes distâncias, à face do apoio: $\begin{cases} 0,4 \cdot h \\ 0,4 \cdot l \end{cases}$ Quando em consola, a armadura principal deve ter secção constante ao longo do vão numa banda de altura: $\begin{cases} h - 0,8 \cdot l \rightarrow 0,5 < \frac{l}{h} \leq 1 \\ 1,2 \cdot l \rightarrow \frac{l}{h} \leq 0,5 \end{cases}$ Limite inferior a $0,8 \cdot l$ do bordo inferior da viga.	O Eurocódigo não especifica nada em concreto relacionado com as armaduras principais em Vigas-parede, menciona apenas que a distância entre dois varões adjacentes da rede ortogonal disposta em cada face da viga não deverá ser superior ao menor dos seguintes valores: $\begin{cases} 2 \cdot \text{espessura da viga} \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – VIGAS-PAREDE		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Armadura de alma	As taxas mínimas são de: $\rho \geq \begin{cases} 0,1\% \rightarrow A235 \\ 0,05\% \rightarrow A400 \text{ ou } A500 \end{cases}$ Os varões suplementares horizontais devem dispor-se numa banda adjacente à banda da armadura principal e com a altura desta, devem ainda prolongar-se para além da face do apoio de um comprimento não inferior ao menor dos seguintes valores: $0,3 \cdot h$ e $0,3 \cdot l$. Os varões suplementares verticais devem dispor-se numa banda com largura, contada a partir da face do apoio, não inferior a menor das seguintes: $0,2 \cdot h$ e $0,2 \cdot l$; tais varões devem prolongar-se, a partir da face inferior da viga de um comprimento não inferior a: $0,5 \cdot h$ e $0,5 \cdot l$	$A_{s,dbmín} = 0,1\% \cdot A_c$ $A_{s,dbmín} \geq 150 \text{ mm}^2/\text{m}$ $s \leq \begin{cases} 2 \cdot \text{espessura da viga} \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$
Dimensionamento ao esforço transversal	A segurança das vigas-parede em relação ao esforço transversal considera-se em geral suficiente desde que se verifique a seguinte condição: $V_{sd} \leq \frac{1}{3} \cdot \tau_2 \cdot b \cdot h$ - No caso de $h > l$, então $h = l$. - No caso de apoios directos, é necessário verificar que o valor de cálculo da reacção de apoio não excede os seguintes valores: - Apoios extremos: $0,8 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot a$ - Apoios intermédios: $1,2 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot a$ A verificação anteriormente referida pode ser dispensada quando o elemento de apoio se prolongar por toda a altura da Viga-parede e tiver espessura superior à espessura daquela.	O Eurocódigo 2 trata o elemento estrutural vigas-parede com o modelo de escoras e tirantes, para o dimensionamento das armaduras longitudinais e transversais.

3.3.3. PILARES

3.3.3.1. Pilares segundo REBAP.

Dentro do Capítulo XI do REBAP, o Subcapítulo E trata o elemento estrutural pilares, dentro deste subcapítulo desenvolve-se uma enumeração de artigos que tratam casos específicos relativos ao elemento estrutural pilares, tais como:

- Artigo 120º - Dimensões mínimas.
A dimensão mínima da secção transversal dos pilares não deve ser inferior a 20 cm. Nas secções ocas, a espessura mínima das paredes não deve ser inferior a 10 cm.
A esbelteza dos pilares não deve exceder os 140.
- Artigo 121º - Armadura longitudinal.
As áreas mínimas de armaduras longitudinais estão referenciadas mais a frente na tabela comparativa de pilares.
A armadura longitudinal deve compreender. No mínimo, 1 varão junto de cada ângulo da secção (saliente ou reentrante) e 6 varões no caso de secções circulares ou assimiláveis.
Os diâmetros mínimos e os espaçamentos mínimos estão expressos na tabela comparativa de pilares mais à frente.
- Artigo 122º - Armadura transversal.
Os pilares devem possuir armadura transversal destinada a cintar o betão e a impedir a encurvadura dos varões da armadura longitudinal.

3.3.3.2. Pilares segundo EC2

No Eurocódigo 2 as disposições construtivas relativas a elementos estruturais e regras particulares encontra-se identificado como Ponto 9 em que as vigas-parede estão descritas no ponto 9.5, com os seguintes artigos:

- 9.5.1 – Generalidades
Esta secção refere-se a pilares cuja maior dimensão h não é superior a 4 vezes a menor dimensão b .
- 9.5.2 – Armaduras longitudinais
As armaduras longitudinais máximas e mínimas estão expressas na tabela comparativa de pilares.
Nos pilares com secção transversal poligonal deverá colocar-se pelo menos um varão em cada ângulo. O número de varões longitudinais num pilar circular não deverá ser inferior a 4.
- 9.5.3 – Armaduras transversais
Os diâmetros mínimos dos varões das cintas estão expressos segundo as condições na tabela comparativa de pilares. O diâmetro dos fios de redes electrossoldadas utilizadas como armaduras transversais não deverá ser inferior a 5 mm.
As armaduras transversais deverão ser convenientemente amarradas.
A definição de espaçamentos encontra-se nas tabelas comparativas.

3.3.3.3. Tabela comparativa de Pilares

Neste tópico vamos proceder a uma comparação entre regulamentos fragmentada por artigos referentes ao elemento estrutural Pilares.

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PILARES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Dimensões mínimas (b, h)	$\begin{cases} b \geq 20 \text{ cm} \\ h \geq 20 \text{ cm} \end{cases}$ Em secções em T ou L a menor dimensão pode ir até aos 15cm. Nas secções ocas a espessura mínima das paredes não deve ser inferior a 10 cm. Em qualquer caso a esbelteza não deverá ser inferior a: $\lambda \leq 140.$	$h \leq 4 \cdot b$
Armaduras longitudinais mínimas e máximas ($A_{sl,min}$; $A_{sl,máx}$)	$A_{sl,min} \geq \begin{cases} 0,008 \cdot A_c \rightarrow A235 \\ 0,006 \cdot A_c \rightarrow A400 \text{ e } A500 \end{cases}$ Em condições onde o betão é por si só resistente então: $A_{sl,min} \geq \begin{cases} 0,004 \cdot A_c \rightarrow A235 \\ 0,003 \cdot A_c \rightarrow A400 \text{ e } A500 \end{cases}$ $A_{sl,máx} \leq 0,08 \cdot A_c$	$A_{sl,min} \geq \begin{cases} 0,10 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} \\ 0,002 \cdot A_c \end{cases}$ $A_{sl,máx} \leq \begin{cases} 0,04 \cdot A_c - \text{zonas correntes} \\ 0,08 \cdot A_c - \text{zonas de emenda} \end{cases}$
Espaçamentos máximos e diâmetros mínimos de armaduras longitudinais (s_l)	Pelo menos um varão em cada ângulo da secção, seja saliente ou reentrante, mínimo de 6 varões no caso de secções circulares Secções circulares: $\begin{cases} \phi_{min} \geq 12mm \rightarrow A235 \\ \phi_{min} \geq 10mm \rightarrow A400 \text{ ou } A500 \end{cases}$ Em secções rectangulares em que as suas dimensões sejam inferiores a 40cm poderão colocar-se apenas varões nos cantos. $s_l \leq 30cm$	Pelo menos um varão em cada ângulo da secção, seja saliente ou reentrante, mínimo de 4 varões no caso de secções circulares. $\phi_{min} \geq 8 \text{ mm}$ O anexo nacional Português estipula: $\phi_{min(PT)} \geq 10 \text{ mm}$ Em secções rectangulares em que as suas dimensões sejam inferiores a 40cm poderão colocar-se apenas varões nos cantos. $s_l \leq 30cm$

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PILARES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Armadura transversal	Os diâmetros dos varões das cintas (armaduras transversais) variam consoante o diâmetro dos varões da armadura longitudinal, em que: $\phi_{A_{sl}} \leq 20 \text{ mm} \rightarrow \phi_{A_{st}} \geq 6 \text{ mm}$ $\phi_{A_{sl}} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow \phi_{A_{st}} \geq 8 \text{ mm}$	O Eurocódigo estipula uma regra para o cálculo do diâmetro das cintas, que vai cair dentro do estipulado no REBAP, a regra do EC2 é: $\phi_{cintas} \geq \frac{1}{4} \cdot \phi_{A_{sl}}$
Espaçamentos das armaduras transversais ou cintas	$s \leq \begin{cases} 12 \cdot \phi_{A_{sl}} \\ \text{menor dimensão do pilar} \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$ Cada varão longitudinal deverá ser abraçado pelas cintas formando um ângulo inferior a: $\alpha \leq 135^\circ$	$s \leq \begin{cases} 20 \cdot \phi_{A_{sl}} \\ \text{menor dimensão do pilar} \\ 40 \text{ cm} \end{cases}$ Estas dimensões deverão ser reduzidas de 0,6 para: 1- Secções localizadas a uma distância não superior à maior dimensão do pilar acima ou abaixo de uma viga ou laje. 2- Zonas de emendas por sobreposição, se $\phi_{A_{sl}} \geq 14 \text{ mm}$. São necessários, no mínimo 3 varões transversais igualmente espaçados no comprimento de sobreposição. 3- Mudanças de direcção (alterações da secção do pilar), o espaçamento das cintas deverá ser calculado tendem em consideração as forças transversais resultantes. Estes efeitos poderão ser ignorados se a mudança de direcção for igual ou inferior a 1 para 12. 4- Numa zona de compressão nenhum varão deverá estar a mais de 15 cm de um varão devidamente cintado.

3.3.4. PAREDES

3.3.4.1. Paredes segundo REBAP

Dentro do Capítulo XI do REBAP, o Subcapítulo F trata o elemento estrutural Paredes, neste subcapítulo desenvolve-se uma enumeração de artigos que tratam os seus casos específicos, como:

- Artigo 123º - Generalidades.
Consideram-se como paredes os elementos laminares sujeitos a esforços de compressão, associados ou não à flexão, e cuja largura exceda 5 vezes a espessura.
As disposições referidas nos artigos 124º e 127º são aplicáveis a todos os tipos de paredes, no entanto, paredes de contraventamento ou destinadas a resistir a forças aplicadas no seu plano exigem disposições construtivas complementares.
- Artigo 124 – Espessura mínima.
A espessura mínima não deve ser inferior a 10 cm e a sua esbelteza não deve exceder 120.
- Artigo 125º - Armadura vertical.
As secções mínimas e máximas de armadura estão definidas na tabela comparativa.
Os varões da armadura vertical devem ser distribuídos pelas duas faces da parede.
- Artigo 126º - Armadura horizontal.
As paredes devem dispor de armaduras horizontais colocadas junto de ambas as faces, exteriormente à armadura vertical.
- Artigo 127º - Armadura de cintagem.
Quando a secção total de armadura vertical exceder 2% da secção da parede, esta armadura deve ser convenientemente cintada.

3.3.4.2. Pareces segundo EC2

No Eurocódigo 2 as disposições construtivas relativas a elementos estruturais e regras particulares encontra-se identificado como Ponto 9 em que as vigas-parede estão descritas no ponto 9.6.

- 9.6.1 – Generalidades.
A quantidade de armadura poderá ser obtida a partir de um modelo de escoras e tirantes.
No caso de paredes sujeitas predominantemente à flexão transversal ao seu plano, aplicam-se as regras relativas a lajes.
- 9.6.2 – Armaduras verticais.
A área de armadura deverá estar compreendida entre a área máxima e mínima.
- 9.6.3 – Armaduras horizontais.
Deverão dispor-se armaduras horizontais, paralelas aos paramentos da parede e bordos livres, por face.
- 9.6.4 – Armaduras transversais.
Em qualquer parte da parede onde a área total de armadura vertical nas duas faces for superior a 2% da área da secção de betão, deverão ser dispostas armaduras transversais sob a forma de estribos.

3.3.4.3. Tabela comparativa de Paredes

Neste tópico vamos proceder a uma comparação entre regulamentos fragmentada por artigos referentes ao elemento estrutural Paredes.

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PAREDES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Espessura mínima	Espessura mínima $\geq 0,10m$ $\lambda \leq 120$	$h \geq 4 \cdot b$ Em que b é a espessura.
Armadura vertical	$A_{sv,min} \geq \begin{cases} 0,004 \cdot A_c \rightarrow A235 \\ 0,003 \cdot A_c \rightarrow A400 \text{ e } A500 \end{cases}$ $A_{sv,max} \leq 0,04 \cdot A_c$	$A_{sv,min} \geq 0,002 \cdot A_c \rightarrow A.N.$ $A_{sv,max} \leq \begin{cases} 0,04 \cdot A_c \rightarrow \text{zonas correntes} \\ 2 \cdot 0,04 \cdot A_c \rightarrow \text{zonas de emenda} \end{cases}$
Espaçamentos máximos e disposição da armadura vertical	Varões distribuídos pelas 2 faces com espaçamento limitado com o menor dos seguintes valores: $s \leq \begin{cases} 2 \cdot b \\ 30cm \end{cases}$	$1/2 \cdot A_{sv}$ - Por face $s \leq \begin{cases} 3 \cdot b \\ 40cm \end{cases}$
Armadura horizontal mínima	$A_{sh,min} \geq \begin{cases} 0,001 \cdot b \cdot a \rightarrow A235 \\ 0,0005 \cdot b \cdot a \rightarrow A400 \text{ e } A500 \end{cases}$	$A_{sh,min} \geq \begin{cases} 25\% \cdot A_{sv} \\ 0,001 \cdot A_c \end{cases}$
Espaçamentos e disposição da armadura horizontal	$s \leq 30cm$	$s \leq 40cm$
Armadura de cintagem	Se a armadura total for superior a 2% da área de betão, então é necessária armadura de cintagem, com espaçamentos menores ou iguais ao menor dos seguintes valores: $s \leq \begin{cases} 16 \cdot \phi_v \\ 2 \cdot b \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$	Se a armadura total for superior a 2% da área de betão, então é necessária armadura de cintagem, de acordo com as regras de pilares, com espaçamentos menores ou iguais a: $s \leq 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$

3.3.5. FUNDAÇÕES

3.3.5.1. Fundações segundo REBAP

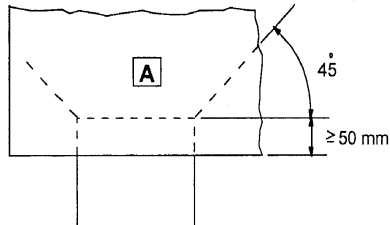
O REBAP trata as fundações como se de lajes maciças se tratassem. As lajes maciças estão descritas no capítulo XI, subcapítulo B.

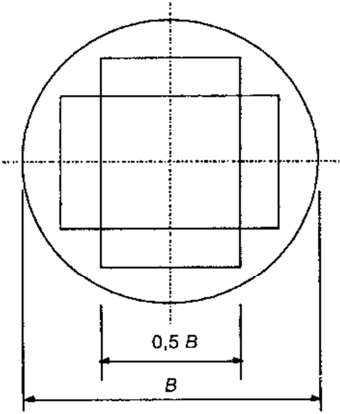
3.3.5.2. Fundações segundo EC2

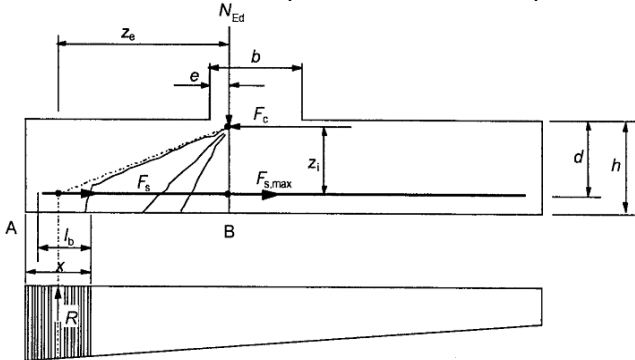
No Eurocódigo 2 as disposições construtivas relativas a elementos estruturais e regras particulares encontra-se identificado como Ponto 9 em que as vigas-parede estão descritas no ponto 9.8.

- 9.8.1 – Encabeçamento de estacas.
Deverá ser tomado em consideração o desvio de implantação previsto para a estaca em obra.
A armadura deverá ser calculada ou pelo método de escoras e tirantes ou pelo método de flexão, conforme for apropriado.
A armadura principal de tracção resistente deverá ser concentrada nas zonas traccionadas entre estacas.
- 9.8.2 – Sapatas de pilares ou paredes.
 - 9.8.2.1 – Generalidades.
A armadura principal de sapatas circulares poderá ser ortogonal e concentrada no meio da sapata numa largura de $50\% \pm 10\%$ do diâmetro desta. Neste caso as partes não armadas do elemento deverão ser consideradas, para efeitos de cálculo, como de betão simples.
No caso dos efeitos das acções causarem tracção na face superior da sapata, as resultantes tensões de tracção deverão ser verificadas e equilibradas por armaduras.
 - 9.8.2.2 – Amarração dos varões.
A força de tracção na armadura é determinada a partir das condições de equilíbrio e tendo em conta o efeito das fendas inclinadas.
- 9.8.3 – Vigas de equilíbrio.
Poderão utilizar-se vigas de equilíbrio para equilibrar a excentricidade do carregamento das fundações. As vigas deverão ser calculadas para resistir aos momentos flectores e aos esforços transversos resultantes.
As vigas de equilíbrio deverão também ser calculadas para uma carga mínima se puderem ser solicitadas por equipamento de compactação.
- 9.8.4 – Sapatas de pilares fundados em rocha.
As armaduras transversais adequadas deverão ser adoptadas para resistir às forças de tracção transversal na sapata. Estas armaduras poderão ser distribuídas uniformemente ao longo da altura e com a direcção da força de tracção transversal.
- 9.8.5 - Estacas moldadas.
Esta secção destina-se a estacas armadas executadas por furação.
É importante que a armadura, gaiolas e qualquer peça embebida sejam pormenorizadas de forma a não prejudicar a betonagem.

3.3.5.3. Tabela comparativa de Fundações

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – FUNDAÇÕES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Encabeçamento de Estacas	O REBAP propõe que as fundações sejam tratadas como lajes maciças.	A distância entre o bordo da estaca e o bordo do encabeçamento deverá ser tal que as forças de ligação no encabeçamento possam ser convenientemente amarradas. A armadura principal de tracção deverá estar concentrada nas zonas traccionadas entre estacas, deverão utilizar-se varões com: $\phi_{min} \geq 8 \text{ mm}$ O anexo Nacional estipula: $\phi_{min(PT)} \geq 10 \text{ mm}$ Se a área desta armadura for pelo menos igual à armadura mínima, poderão dispensar-se os varões distribuídos na face inferior do elemento. Além disso, os lados e a face superior do elemento poderão não ser armados desde que não haja risco de desenvolvimento de tensões de tracção nessas zonas do elemento. Poderão utilizar-se varões transversais soldados para efectuar a amarração da armadura de tracção, neste caso estes varões poderão ser considerados como parte da armadura transversal. Poderá considerar-se que a compressão causada pela reacção da estaca se difunde a 45° a partir do bordo da mesma, como ilustrado na Figura 35. Esta compressão poderá ser tomada em consideração no cálculo do comprimento de amarração como factor benéfico, pois aumenta a capacidade de amarração.  Figura 35 – Difusão da compressão causada pela reacção da estaca a 45°

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – FUNDAÇÕES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Sapatas de Pilares ou Paredes	O REBAP propõe que as fundações sejam tratadas como lajes maciças.	A armadura principal deverá ser amarrada segundo os requisitos dispostos nos pontos 8.4 e 8.5, com diâmetros nunca inferiores a: $\phi_{\min} \geq 8 \text{ mm}$ O anexo Nacional estipula: $\phi_{\min(PT)} \geq 10 \text{ mm}$ A armadura principal das sapatas circulares poderá ser ortogonal e concentrada no meio da sapata, como ilustrado na Figura 36 numa largura de: $50\% \pm 10\% \cdot \text{diâmetro da sapata}$  Figura 36 – Armadura Ortogonal em sapatas circulares Neste caso, as partes não amarradas deverão ser consideradas para efeitos de cálculo como de betão simples. No caso dos efeitos das acções provocarem tracções na face superior da sapata, estas, deverão ser verificadas e equilibradas por armaduras.

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – FUNDAÇÕES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Amarração dos varões	O REBAP propõe que as fundações sejam tratadas como lajes maciças.	A força de tracção na armadura é determinada a partir das condições de equilíbrio e considerando o efeito das fendas inclinadas, ver Figura 37. A força de tracção, F_s, numa secção à distância, x, deverá ser amarrada no betão antes dessa mesma distância, a partir do bordo da sapata.  Figura 37 – Força de tracção considerando o efeito das fendas inclinadas A força de tracção a amarrar é: $F_s = R \cdot z_e / z_i$, em que: R – resultante das pressões do terreno a distancia x z_e – binario das forças exteriores. z_i – binario das forças interiores. N_{Ed} – Força vertical da pressao do terreno. F_c – Força de compressão correspondente a $F_{s,máx}$ Como simplificação poderá ser admitido que: $z_e = 0,15 \cdot b$ $z_i = 0,9 \cdot d$ Se o comprimento de amarração não for suficiente para amarrar F_s então os varões deverão ser dobrados para cima. O valor mínimo de x é determinante, como simplificação poderá adoptar-se: $x_{min} = h/2$

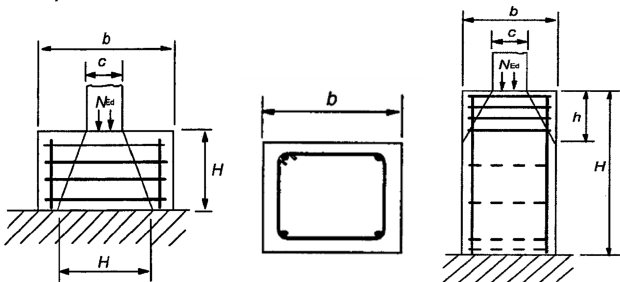
QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – FUNDAÇÕES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Vigas de Equilíbrio	O REBAP propõe que as fundações sejam tratadas como lajes maciças.	Poderão utilizar-se vigas de equilíbrio para equilibrar a excentricidade do carregamento das fundações. As vigas deverão ser calculadas para resistir aos momentos flectores e aos esforços transversos resultantes. Deverão utilizar-se varões com um diâmetro mínimo para as armaduras de flexão: $\phi_{\min} \geq 8 \text{ mm}$ <i>O anexo Nacional estipula: $\phi_{\min(PT)} \geq 10 \text{ mm}$</i> As vigas de equilíbrio deverão também ser calculadas para uma carga mínima de q_1 se puderem ser solicitadas por equipamento de compactação, em que: $q_1 = 10 \text{ kN/m} \text{ (valor recomendado)}$
Sapatas de Pilares fundadas em rocha	O REBAP propõe que as fundações sejam tratadas como lajes maciças.	As armaduras transversais adequadas deverão ser adoptadas para resistir as forças de tracção transversal na sapata, quando, no estado último, a pressão do terreno é superior a q_2. Estas armaduras poderão ser distribuídas uniformemente ao longo da altura h com a direcção da força de tracção transversal, como ilustrado na Figura 38. Os valores recomendados para q_2 e $\phi_{\min}$ são: $q_2 = 5 \text{ MPa}$ $\phi_{\min} \geq 8 \text{ mm}$ <i>O anexo Nacional estipula: $\phi_{\min(PT)} \geq 10 \text{ mm}$</i> A força de tracção transversal F_s, poderá ser calculada da seguinte forma: $F_s = 0,25 \cdot \left(1 - \frac{c}{h}\right) \cdot N_{Ed}$ Em que h é o menor dos valores b e H. 

Figura 38 – Sapatas fundadas em rocha

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – FUNDAÇÕES										
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2								
Estacas moldadas	O REBAP propõe que as fundações sejam tratadas como lajes maciças.	Este capítulo refere-se apenas a estacas armadas executadas por furação A fim de permitir uma boa betonagem em torno das armaduras da estaca, é importante que todas as armaduras e quaisquer peças embebidas estejam pormenorizadas de forma a não prejudicar a betonagem. O seguinte quadro relaciona as áreas de armaduras mínimas longitudinais em estacas com a secção da estaca para estacas executadas por furação e betonadas <i>in situ</i>.								
		<table><tr><th>Secção da Estaca A_c</th><th>Área mínima de armaduras Longitudinais, $A_{S,bpmin}$</th></tr><tr><td>$A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$</td><td>$A_s \geq 0,005 \cdot A_c$</td></tr><tr><td>$0,5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1,0\text{m}^2$</td><td>$A_s \geq 25 \text{ cm}^2$</td></tr><tr><td>$A_c > 1,0 \text{ m}^2$</td><td>$A_s \geq 0,0025 \cdot A_c$</td></tr></table>	Secção da Estaca A_c	Área mínima de armaduras Longitudinais, $A_{S,bpmin}$	$A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,005 \cdot A_c$	$0,5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1,0\text{m}^2$	$A_s \geq 25 \text{ cm}^2$	$A_c > 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,0025 \cdot A_c$
		Secção da Estaca A_c	Área mínima de armaduras Longitudinais, $A_{S,bpmin}$							
		$A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,005 \cdot A_c$							
		$0,5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1,0\text{m}^2$	$A_s \geq 25 \text{ cm}^2$							
$A_c > 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,0025 \cdot A_c$									
Esta armadura deverá ser distribuída ao longo da periferia da secção. As estacas deverão ter no mínimo 6 varões longitudinais, com uma distância livre entre varões medido a partir da periferia da estaca de 200mm e um diâmetro mínimo de varões de 16mm										
$s \leq 200mm$										
$\phi_{min} \geq 16 \text{ mm}$										

3.3.6. LAJES MACIÇAS

3.3.6.1. Lajes Maciças segundo REBAP

Dentro do Capítulo XI do REBAP, o Subcapítulo B trata o elemento estrutural Lajes Maciças, dentro deste subcapítulo desenvolve-se uma enumeração de artigos.

- Artigo 100º - Generalidades.
Consideram-se como lajes elementos laminares planos sujeitos principalmente à flexão transversal ao seu plano e cuja largura exceda 5 vezes a sua espessura.
- Artigo 101º - Vão teórico.
Os critérios a considerar no dimensionamento de lajes devem ser estabelecidos de acordo com os critérios de vigas, estipulados no artigo 87º.
- Artigo 102º - Espessura mínima.
Os critérios de espessura mínima em lajes estão explícitos na tabela comparativa do elemento.
- Artigo 103º - Laje armada numa só direcção sujeita a cargas concentradas.
A menos de uma análise mais rigorosa, os momentos flectores máximos e esforços transversos devido a cargas concentradas podem ser calculados assimilando a laje a uma viga com os mesmos vãos mas com uma largura b_m .
- Artigo 104º - Armadura Principal mínima.
A percentagem de armadura principal das lajes não deve ser inferior aos valores indicados no artigo 90º para as vigas.
- Artigo 105º - Espaçamento máximo dos varões da armadura principal.
Condições expressas na tabela comparativa do elemento.
- Artigo 106º - Interrupção da armadura principal. Armadura nos apoios.
Os critérios a respeitar para a interrupção das armaduras principais e para o prolongamento das mesmas até aos apoios e sua amarração são idênticos aos estipulados para as vigas.
- Artigo 107º - Armadura de esforço transversal.
Condições expressas na tabela comparativa do elemento.
- Artigo 108º - Armadura de distribuição das lajes armadas numa só direcção.
Nas lajes maciças armadas numa só direcção devem ser colocadas armaduras de distribuição. Na face oposta à aplicação das cargas a armadura deve ser disposta transversalmente ao vão.
- Artigo 109º - Armadura nos bordos livres.
Ao longo dos bordos livres das lajes deve dispor-se uma armadura constituída, no mínimo por 2 varões, 1 em cada aresta, e uma armadura transversal ao bordo envolvendo a primeira.
- Artigo 110º - Armadura de punçoamento.
O punçoamento é, neste trabalho, tratado num capítulo isolado mais a frente.
- Artigo 111º - Armadura das lajes armadas numa só direcção sujeita a cargas concentradas.
As armaduras devem ser dispostas numa faixa de largura igual a $0,5 \cdot b_m$.

3.3.6.2. Lajes Maciças segundo EC2

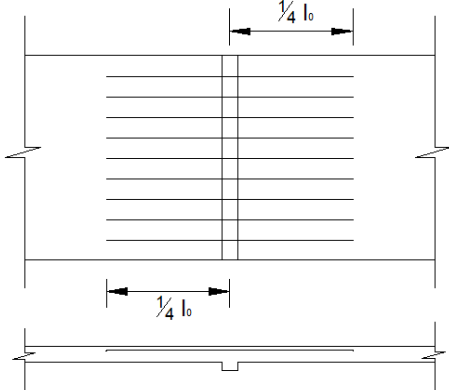
No Eurocódigo 2 as disposições construtivas relativas a elementos estruturais e regras particulares encontra-se identificado como Ponto 9 em que as Lajes Maciças estão descritas no ponto 9.3.

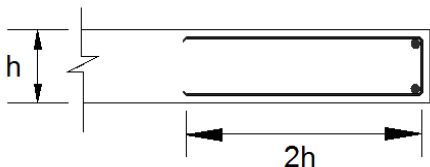
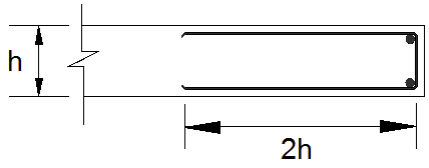
Esta secção aplica-se a lajes maciças armadas numa só direcção e em duas direcções para as quais b e l_{eff} não são inferiores a $5 \cdot h$.

- 9.3.1 – Armaduras de flexão.
 - 9.3.1.1 – Generalidades.
As áreas mínimas e máximas de armaduras são tratadas como se de vigas de 1 m se tratasse.
Nas lajes armadas numa só direcção, deverão utilizar-se armaduras transversais de distribuição correspondentes pelo menos a 20% da armadura principal.
 - 9.3.1.2 – Armaduras das lajes junto dos apoios.
Nas lajes simplesmente apoiadas, metade da armadura do vão deverá ser prolongada até ao apoio e aí ser amarrada convenientemente.
 - 9.3.1.3 – Armaduras de canto.
Se as disposições construtivas num apoio forem tais que o levantamento de um canto da laje seja impedido, deverão dispor-se armaduras adequadas. O Eurocódigo é omissivo em relação a quantidades e disposições destas armaduras.
 - 9.3.1.4 – Armaduras nos bordos livres.
Ao longo de um bordo livre, a laje deverá, ter armaduras longitudinais e transversais.
- 9.3.2 – Armadura de esforço transversal.
Uma laje com armadura de esforço transversal deverá ter uma espessura pelo menos igual a 20 cm.

3.3.6.3. Tabela comparativa de Lajes Maciças

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – LAJES MACIÇAS																					
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2																			
Vão teórico	art. 87º - critérios de vigas	Controlo da deformação: $\left(\frac{l}{d}\right) = \left(\frac{l}{d}\right)^* \cdot k_T \cdot k_L \cdot k\sigma_s$																			
Espeçura mínima da laje	$h \geq \begin{cases} 5\text{ cm} \rightarrow \text{terraços não acessíveis} \\ 7\text{ cm} \rightarrow \text{cargas distribuídas} \\ 10\text{ cm} \rightarrow \text{cargas concentradas} \\ 12\text{ cm} \rightarrow \text{cargas concentradas elevadas} \\ 15\text{ cm} \rightarrow \text{lajes funijiformes} \end{cases}$ Relativamente a deformação: i) Geral: $\frac{l_i}{h} \leq 30 \cdot \eta$ ii) Nos casos em que a deformada afecta paredes divisórias: $\frac{l_i}{h} \leq \frac{180}{l_i} \cdot \eta$	Critérios de vigas Controlo da deformação: Se $\rho \leq \rho_0$ $\left(\frac{l}{d}\right)^* = k \cdot \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2} \right]$ Se $\rho \leq \rho_0$ $\left(\frac{l}{d}\right)^* = k \cdot \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right]$ $\left(\frac{l}{d}\right) = \left(\frac{l}{d}\right)^* \cdot k_T \cdot k_L \cdot k\sigma_s$																			
Armadura principal	(art.90º) - vigas em que $b=1m$. $\rho = \frac{A_{s,min}}{b \cdot d} \cdot 100$ $\rho \geq \begin{cases} 0,25 \rightarrow A235 \\ 0,15 \rightarrow A400 \\ 0,12 \rightarrow A500 \end{cases}$ $A_{s,m\acute{a}x} = 0,04 \cdot A_c$	Critério de vigas para $b=1m$. $A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d$ $A_{s,min} \geq 0,0013 \cdot b \cdot d$ <table><tr><th colspan="5">ρ</th></tr><tr><th>Betão</th><th></th><th>B20/25</th><th>B25/30</th><th>B30/37</th></tr><tr><td rowspan="2">Aço</td><td>S400</td><td>0,143</td><td>0,169</td><td>0,189</td></tr><tr><td>S500</td><td>0,114</td><td>0,135</td><td>0,151</td></tr></table> Para o controlo da fendilhação: $A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{cteff} \cdot A_{ct}$ $A_{s,m\acute{a}x} = 0,04 \cdot A_c \quad (\text{NA})$	ρ					Betão		B20/25	B25/30	B30/37	Aço	S400	0,143	0,169	0,189	S500	0,114	0,135	0,151
ρ																					
Betão		B20/25	B25/30	B30/37																	
Aço	S400	0,143	0,169	0,189																	
	S500	0,114	0,135	0,151																	

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – LAJES MACIÇAS		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Espaçamentos dos varões da armadura principal	$s_{l,m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 1,5 \cdot h \\ 35 \text{ cm} \end{cases}$ O espaçamento máximo não deve também ser superior a duas vezes os valores indicados no art.91º para vigas (fendilhação)	Zonas correntes: $s_{l,m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 3 \cdot h \\ 40 \text{ cm} \end{cases}$ Zonas de cargas concentradas ou $M_{m\acute{a}x}$: $s_{l,m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 2 \cdot h \\ 25 \text{ cm} \end{cases}$
Interrupção da armadura Principal. Armadura nos apoios	CrITÉRIOS idênticos aos das vigas Deverá chegar aos apoios no mínimo $\frac{1}{2}$ da armadura máxima a meio vão. No REBAP não são mencionadas as armaduras de canto.	Deverá chegar aos apoios no mínimo $\frac{1}{2}$ da armadura máxima a meio vão. O Eurocódigo menciona apenas que devem ser colocadas armaduras de canto quando necessárias, para evitar o levantamento dos cantos.
Armaduras de distribuição	$A_d \geq 20\% \cdot A_{sl}$	$A_d \geq 20\% \cdot A_{sl}$
Espaçamentos da armadura de distribuição	$s_{m\acute{a}x} \leq 35 \text{ cm}$	Zonas correntes: $s_{l,m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 3,5 \cdot h \\ 45 \text{ cm} \end{cases}$ Zonas de cargas concentradas ou $M_{m\acute{a}x}$: $s_{l,m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 3 \cdot h \\ 40 \text{ cm} \end{cases}$
Armadura de momentos negativos	Desenvolvimento da armadura negativa a $\frac{1}{4}$ do vão teórico, como ilustrado na Figura 39.  Figura 39 – Armaduras de momentos flectores Negativos	Desenvolvimento a $0,2 \cdot$ vão adjacente medido a partir da face do apoio. Se os Momentos negativos não forem considerados no cálculo, esta armadura deverá ser dimensionada para resistir pelo menos a: $25\% \cdot M_{m\acute{a}x_{v\grave{a}o}}$ se apoio for de continuidade $15\% \cdot M_{m\acute{a}x_{v\grave{a}o}}$ se for apoio extremo.

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – LAJES MACIÇAS		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Espaçamentos das armaduras de esforço transversal.	As distâncias entre os varões da armadura de esforço transversal devem, no máximo, ser as seguintes: - Na direcção do vão: $s_{m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 1,2 \cdot d \rightarrow \alpha = 45^\circ \\ 0,9 \cdot d \rightarrow \alpha = 90^\circ \end{cases}$ - Na direcção transversal do vão: $s_{m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 1,5 \cdot d \\ 60 \text{ cm} \end{cases}$	As distâncias entre os varões da armadura de esforço transversal devem, no máximo, ser as seguintes: - Na direcção do vão: $s_{m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 0,75d(1 + \cot \alpha) \rightarrow \text{estribos} \\ d \rightarrow \text{varões inclinados} \end{cases}$ - Na direcção transversal do vão: $s_{m\acute{a}x} \leq 1,5 \cdot d$
Armadura de bordo livre e respectivo espaçamento	Como ilustrado na Figura 40 a armadura de bordo deverá ser constituída por: 2 Varões, 1 junto de cada aresta, e uma armadura transversal ao bordo com um comprimento de $2 \cdot h$.  Figura 40 – Armadura de bordo livre $A_{s,t} \geq \begin{cases} 0,05 \cdot d \\ 0,025 \cdot d \end{cases}$ $A_{s,t}$ – armadura transversal ao bordo $s_{A_{s,t}} \leq 35 \text{ cm}$	2 Varões, 1 junto de cada aresta, e uma armadura transversal ao bordo com um comprimento de $2 \cdot h$, como ilustrado na Figura 41.  Figura 41 – Armadura de bordo livre

3.3.7. LAJES ALIGEIRADAS

3.3.7.1. Lajes Aligeiradas segundo REBAP

Dentro do Capítulo XI do REBAP, o Subcapítulo C trata o elemento estrutural Lajes Aligeiradas, dentro deste subcapítulo desenvolve-se uma enumeração de artigos que tratam casos específicos relativos ao elemento estrutural.

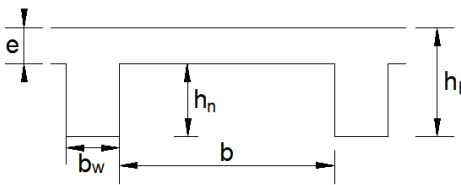
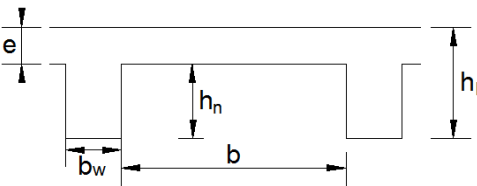
- Artigo 112º - Generalidades
Este capítulo é aplicável a lajes essencialmente constituídas por nervuras dispostas numa ou em duas direcções ortogonais, solidarizadas por uma lajeta de compressão.
- Artigo 113º - Vão Teórico. Espessura mínima.
Este artigo remete para os artigos referentes aos mesmos casos para lajes maciças.
- Artigo 114º - Largura e espaçamento das nervuras
As dimensões mínimas e máximas das nervuras estão expressas na tabela comparativa.
- Artigo 115º - Espessura mínima da lajeta.
As limitações relativas a espessura da lajeta encontram-se expressas na tabela comparativa.
- Artigo 116º - Armadura das nervuras.
As armaduras longitudinais e de esforço transversal das nervuras devem satisfazer os critérios estipulados para vigas.
- Artigo 117º - Armadura mínima da lajeta.
A lajeta deve ser armada nas duas direcções com varões cujo espaçamento não exceda 25 cm.

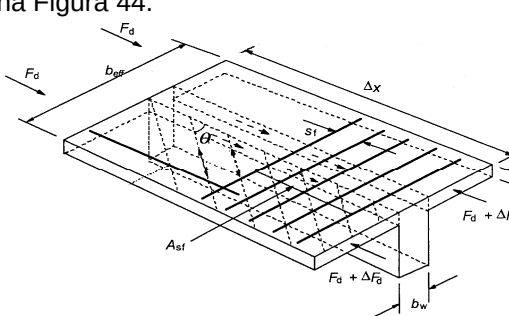
3.3.7.2. Lajes Aligeiradas segundo EC2.

No Eurocódigo 2 as disposições construtivas relativas a elementos estruturais e regras particulares encontram-se identificadas na secção 9, sendo que nesta secção não existe qualquer menção a lajes aligeiradas.

A única referência encontrada no Eurocódigo 2 acerca de lajes aligeiradas situa-se no capítulo 5 referente a Análise Estrutural dentro do subcapítulo 5.3, no ponto 5.3.1 – Modelos estruturais para análise global, todo o conteúdo retratado neste subcapítulo referente a lajes aligeiradas encontra-se retratado na tabela comparativa relativa a lajes aligeiradas.

3.3.7.3. Tabela comparativa de Lajes Aligeiradas

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – LAJES ALIGEIRADAS		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Generalidades	Os condicionamentos especificados para lajes aligeiradas justificam que se possam determinar os esforços actuantes considerando o elemento como laje e determinar os esforços resistentes como se de um conjunto de vigas em T se tratasse.	Os condicionamentos especificados para lajes aligeiradas justificam que se possam determinar os esforços actuantes considerando estes elementos como lajes e determinar os esforços resistentes como se tratasse de um conjunto de vigas em T.
Vão teórico	O vão teórico a considerar em lajes aligeiradas deve estar de acordo com os critérios de lajes maciças, art. 101º que por sua vez assenta nos critérios de vigas art. 87º.	Controlo da deformação: $\left(\frac{l}{d}\right) = \left(\frac{l}{d}\right)^* \cdot k_T \cdot k_L \cdot k_{\sigma_s}$
Largura e espaçamentos das nervuras principais e secundárias	A Figura 42, demonstra os constituintes das lajes aligeiradas, desde a espessura da lajeta, a largura da zona aligeirada, largura das nervuras, altura das nervuras e altura total da laje, e as suas dimensões mínimas e máximas e estão tratadas em baixo.  Figura 42 – Dimensões das nervuras Nervuras principais: $\begin{cases} b_w \geq 5 \text{ cm} \\ s \leq 80 \text{ cm} \end{cases}$ Nervuras Secundarias: $\begin{cases} b_w \geq 5 \text{ cm} \\ b \geq 10 \cdot h_l \\ h_n \geq 0,8 \cdot h_l \end{cases}$	O EC2 apenas menciona dimensões necessárias a cumprir para que a lajeta e as nervuras transversais tenham rigidez de torção suficiente de modo a serem tratadas como elementos de barra. A Figura 43 demonstra os constituintes das lajes aligeiradas, constituintes esses que serão limitados inferior e superiormente seguidamente.  Figura 43 – Dimensões das nervuras $b \leq 1,5 \text{ m}$ $h_n \leq 4 \cdot b_w$ $s \leq 10 \cdot h_l$ $b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – LAJES ALIGEIRADAS		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Espessura da lajeta	$e \geq \begin{cases} 5 \text{ cm} \rightarrow \text{sem blocos} \\ 4 \text{ cm} \rightarrow \text{com blocos e } s \geq 50 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \rightarrow \text{com blocos e } s < 50 \text{ cm} \end{cases}$ Em caso de cargas de valor elevado será necessário aumentar a espessura da lajeta.	$e \geq \begin{cases} 1/10 \cdot s \\ 5 \text{ cm} \end{cases}$ Se a laje possuir blocos de cofragem incorporados é possível diminuir o mínimo de 5 cm para 4 cm.
Armadura das nervuras	As armaduras longitudinais e armaduras de esforço transverso, nas nervuras principais, devem satisfazer as condições impostas nas vigas. As nervuras transversais de solidarização das lajes armadas numa só direcção, ou nervuras secundárias, devem ser armadas longitudinalmente com varões colocados junto a face oposta à actuação das cargas e com uma secção no mínimo de: $A_{sl,t} \geq 10\% \cdot A_{sl}$ As nervuras secundárias, ou tarugos, devem também possuir estribos convenientemente espaçados $A_{sl,t}$ → Armadura das nerv. secundárias A_{sl} → Armadura das nerv. principais	O Eurocódigo 2 considera que estes elementos são tratados como um conjunto de vigas em T. Podemos, então, usar os critérios de armaduras para vigas.
Armadura da Lajeta	A lajeta de uma laje aligeirada deve ser armada nas duas direcções com um espaçamento máximo em ambas as direcções de: $s \leq 25 \text{ cm}$ $A_{s,lajeta} \geq \#/0.25$ O espaçamento das armaduras paralelas as armaduras principais pode ser aumentado para 35 cm $(s \leq 35 \text{ cm})$	O tratamento como vigas em T, menciona uma armadura transversal por unidade de comprimento de forma a impedir o corte na ligação alma-banzo, neste caso específico nervura-lajeta, como ilustrado na Figura 44.  Figura 44 – Armadura da lajeta $\frac{A_{sf}}{s_f} \cdot f_{yd} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{\cot \theta_f}$

3.3.8. LAJES FUNGIFORMES

3.3.8.1. Lajes Fungiformes segundo REBAP

Dentro do Capítulo XI do REBAP, o Subcapítulo D trata o elemento estrutural Lajes Fungiformes, dentro deste subcapítulo desenvolve-se uma enumeração de artigos que tratam casos específicos relativos ao elemento estrutural.

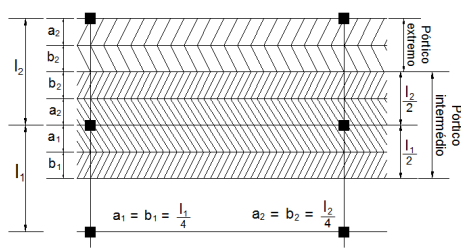
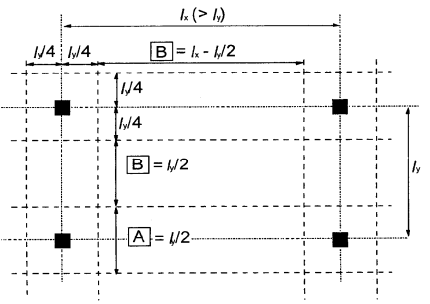
- Artigo 118º - Generalidades
Consideram-se lajes fungiformes as lajes contínuas apoiadas sobre pilares.
São aplicadas a este tipo de lajes adaptações convenientes relativas a lajes maciças e aligeiradas.
- Artigo 119º - Determinação de esforços.
Neste tipo de laje os esforços actuantes são determinados por um processo simplificado, intitulado Método dos Pórticos equivalentes que consiste em considerar a estrutura, constituída pela laje e pelos pilares de apoio, dividida em 2 conjuntos independentes de pórticos em direcções ortogonais.

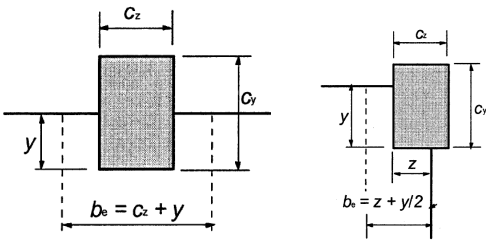
3.3.8.2. Lajes Fungiformes segundo EC2

No Eurocódigo 2 as disposições construtivas relativas a elementos estruturais e regras particulares encontra-se identificado como Ponto 9 em que as Lajes Fungiformes estão descritas no ponto 9.4.

- 9.4.1 - Laje na Zona de pilares interiores.
A disposição das armaduras em lajes fungiformes reflecte o seu comportamento em serviço. De uma forma geral, resulta numa concentração de armaduras na zona dos pilares. Na tabela comparativa do elemento é feita referência a disposição de armaduras.
- 9.4.2 - Laje na zona de pilares de bordo ou de canto.
As armaduras necessárias à transmissão de momentos flectores da laje para um pilar de bordo ou canto, deverão ser perpendiculares ao bordo e colocadas na largura efectiva b_e .
- 9.4.3 – Armaduras de punçoamento.
As regras de disposição de armaduras de punçoamento encontram-se referenciadas no capítulo referente ao punçoamento como um caso particular. Quando necessárias armaduras de punçoamento estas devem ser colocadas entre a área carregada e um perímetro exterior, cuja distância é referenciada na tabela comparativa de punçoamento.

3.3.8.3. Tabela comparativa de lajes fungiformes

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – LAJES FUNGIFORMES																				
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2																		
Generalidades	Consideram-se lajes fungiformes, lajes contínuas directamente apoiadas em pilares, armadas em duas direcções, e que podem, ou não ser aligeiradas nas zonas centrais dos vãos.	Consideram-se lajes fungiformes, lajes contínuas directamente apoiadas em pilares, armadas em duas direcções, e que podem, ou não ser aligeiradas nas zonas centrais dos vãos.																		
Determinação de esforços	A determinação de esforços neste tipo de lajes é efectuada através do método dos Pórticos equivalentes, em que: a) Cada pórtico é constituído por uma fila de pilares e por travessas de troços de laje adjacentes a essa fila, porém, para a determinação dos esforços devido a forças horizontais, a rigidez a considera para estas travessas deve ser reduzida em 50% do seu valor. b) As cargas actuates de cada pórtico são as correspondentes à largura das travessas, não se considerando qualquer repartição das cargas entre pórticos ortogonais. c) Os momentos flectores determinados nas travessas devem ser distribuídos, nas suas faixas central e lateral de acordo com a Figura 45 e com o seguinte quadro: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Momentos Flectores</th><th>Faixa Central</th><th>Faixa Lateral</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Positivos</td><td>55%</td><td>45%</td></tr> <tr> <td>Negativos</td><td>75%</td><td>25%</td></tr> </tbody> </table>  Figura 45 – Pórticos equivalentes - REBAP	Momentos Flectores	Faixa Central	Faixa Lateral	Positivos	55%	45%	Negativos	75%	25%	As lajes fungiformes deverão ser analisadas utilizando o método de grelhas, dos elementos finitos, das charneiras plásticas ou dos pórticos equivalentes, Figura 46. A análise por pórticos equivalentes consiste em dividir a estrutura longitudinal e transversalmente em pórticos constituídos por pilares e troços de laje compreendidos entre as linhas médias de painéis adjacentes. A rigidez dos elementos poderá ser calculada a partir das secções transversais brutas. Para cargas verticais, a rigidez poderá basear-se na largura total dos painéis, enquanto para cargas horizontais, deverá ser utilizado 40% desse valor para traduzir a maior flexibilidade das ligações entre pilares e lajes fungiformes. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Momentos Flectores</th><th>Faixa sobre Pilares</th><th>Faixa Central</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Positivos</td><td>50% - 70%</td><td>50% - 30%</td></tr> <tr> <td>Negativos</td><td>60% - 80%</td><td>40% - 20%</td></tr> </tbody> </table> Quando os capitéis têm largura $> l_y/3$, ou quando a largura das faixas sobre os pilares for diferente de $0,5 \cdot l_x$ poderá considerar-se a largura das faixas sobre os pilares igual à largura dos capitéis, as faixas centrais deverão ser ajustadas.  Figura 46 – Pórticos equivalentes - EC2	Momentos Flectores	Faixa sobre Pilares	Faixa Central	Positivos	50% - 70%	50% - 30%	Negativos	60% - 80%	40% - 20%
Momentos Flectores	Faixa Central	Faixa Lateral																		
Positivos	55%	45%																		
Negativos	75%	25%																		
Momentos Flectores	Faixa sobre Pilares	Faixa Central																		
Positivos	50% - 70%	50% - 30%																		
Negativos	60% - 80%	40% - 20%																		

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – LAJES FUNGIFORMES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Disposição de armaduras	O REBAP não faz referência a diferentes tipos de disposições de armaduras para as faixas consideradas na determinação de esforços, faixa central e lateral, respectivamente, sugerindo que a armadura seja disposta uniformemente pela respectiva faixa para os esforços determinados anteriormente. Neste tipo de lajes, (fungiformes) é necessário ter em especial atenção ao fenómeno do punçoamento que será tratado separadamente mais a frente.	O Eurocódigo 2 refere pormenores de disposição de armaduras para os seguintes casos: 1) Laje na zona de pilares interiores: i) A disposição das armaduras nas lajes fungiformes deverá reproduzir o seu comportamento em serviço. De uma forma geral, resulta numa concentração das armaduras na zona dos pilares. ii) Deverá adoptar-se uma armadura superior com 50% da armadura total necessária para resistir ao momento negativo, e ser disposta numa largura de cada lado do pilar de $l/8$, em que $l \rightarrow$ largura do painel de laje iii) Deverá adoptar-se uma armadura inferior de pelo menos 2 varões em cada direcção ortogonal, esta armadura deverá atravessar o pilar. 2) Laje na zona de pilares de bordo ou de canto: i) As armaduras perpendiculares a um bordo livre, necessárias à transmissão de momentos flectores da laje para um pilar de bordo ou de canto, deverão ser colocadas na largura efectiva, b_e, Representada na Figura 47.  Figura 47 – Armaduras em pilares de canto ou bordo Neste tipo de lajes, (fungiformes) é necessário ter em especial atenção ao fenómeno do punçoamento que será tratado separadamente mais a frente.

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – LAJES FUNGIFORMES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Disposição irregular dos pilares	O REBAP é omissivo em relação à disposição irregular de pilares em lajes fungiformes.	1 - Quando não é possível analisar de forma razoável uma laje fungiforme pelo método dos pórticos equivalentes, poderá utilizar-se o método das grelhas ou outro método elástico. Neste caso, será normalmente suficiente o seguinte método simplificado: i) Analisar a laje com carga total: $\gamma_Q \cdot Q_k + \gamma_G \cdot G_k$ ii) Os momentos a meio vão e sobre os pilares deverão ser majorados para ter em conta os efeitos padrão de carregamento. Carregar-se um tramo crítico (ou vários) com: $\gamma_Q \cdot Q_k + \gamma_G \cdot G_k$ e a restante laje com: $\gamma_G \cdot G_k$ (alternância de sobrecargas). No caso de haver uma diferença significativa na carga permanente dos tramos, $\gamma_G = 1$ para os tramos não carregados. iii) Os efeitos deste carregamento particular poderão depois ser aplicados de forma semelhante a outros tramos e pilares críticos. 2 – Deverão aplicar-se as limitações específicas relativas a transferência de momentos para os pilares de bordo e canto especificados anteriormente: 3 – A não ser que haja vigas de bordo devidamente dimensionadas a torção, os momentos transferidos aos pilares de bordo ou canto deverão ser limitados ao momento resistente de uma secção rectangular igual a: $0,17 \cdot b_e \cdot d \cdot f_{ck}$

3.3.9. FENDILHAÇÃO

3.3.9.1. Fendilhação segundo REBAP

A fendilhação no REBAP é tratada no capítulo IX-Verificação da segurança em relação aos estados limites de utilização, Subcapítulo B- Fendilhação, são mencionados os seguintes artigos:

- Artigo 67º - Agressividade do ambiente e sensibilidade das armaduras à corrosão.
Os ambientes classificam-se do ponto de vista da sua agressividade como Pouco agressivos, moderadamente agressivos e muito agressivos, consoante a sua humidade relativa e presença de agentes corrosivos.
Do ponto de vista da sensibilidade à corrosão, consideram-se como muito sensíveis as armaduras de pré-esforço e como pouco sensíveis as armaduras ordinárias.
- Artigo 68º - Estados limites de fendilhação a considerar.
Este artigo estabelece um estado limite de fendilhação por forma a assegurar a conveniente durabilidade das estruturas.
No caso de armaduras ordinárias o estado limite a considerar reflecte-se numa limitação da abertura de fendas consoante as combinações de acções e a classificação do ambiente.
No caso de armaduras de pré-esforço os estados limites a considerar são o da descompressão e a limitação de abertura de fendas mais apertada.
- Artigo 69º - Estado limite de descompressão.
O estado limite de descompressão é definido em relação a fibra extrema da secção de modo a assegurar que, para a combinação de acções em causa, as armaduras de pré-esforço se situem em zona comprimida.
- Artigo 70º - Estado limite de largura de fendas.
Este artigo determina com recurso a cálculos expressos na tabela comparativa a largura de fendas prevista.
- Artigo 71º - Verificação da tensão máxima de compressão.
Esta verificação que consiste numa limitação da tensão de compressão visa obviar a eventual fendilhação longitudinal do betão ou a deformação excessiva devida à fluência.

3.3.9.2 Fendilhação segundo EC2

O Eurocódigo trata a fendilhação no capítulo 7 - Estados limites de utilização, dentro do capítulo 7, no subcapítulo 7.3 -Controlo da fendilhação, através dos seguintes pontos:

- 7.3.1 – Generalidades.

A fendilhação deve ser limitada de modo a que não prejudique o funcionamento ou a durabilidade da estrutura.

As fendas poderão ser provocadas não só pela flexão, esforço transversal ou tracção resultantes de acções directas, bem como pelas deformações impostas mas também pela retracção plástica ou reacções químicas expansivas internas do betão endurecido.

Deverá definir-se um valor limite de abertura de fendas considerando a função e a natureza da estrutura.

- 7.3.2 – Armaduras mínimas.

Se requerido o controlo da fendilhação, será necessária uma quantidade mínima de armaduras aderentes para limitar a fendilhação nas zonas traccionadas. Esta quantidade poderá ser calculada através de uma formulação expressa na tabela comparativa.

- 7.3.3 – Controlo da fendilhação sem cálculo directo.

Como simplificação o controlo da fendilhação pode ser assegurado recorrendo a tabelas limitando o diâmetro ou o espaçamento dos varões em função da tensão no aço.

- 7.3.4 – Cálculo da largura de fendas.

A largura de fendas poderá ser calculada através de uma formulação expressa na tabela comparativa.

3.3.9.2. Tabela comparativa relativa à Fendilhação

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – FENDILHAÇÃO		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Largura de abertura de fendas, W_k	$W_k = 1,7 \cdot W_m$ $W_m = S_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$	$W_k = S_{r,m\acute{a}x} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$
Extensão média	$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \left[1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right]$ Sendo: $\sigma_s \rightarrow$ Tensão no aço (secção fendilhada) $E_s \rightarrow$ Módulo de elasticidade do aço $\sigma_{sr} \rightarrow$ Tensão na armadura para o esforço que provoca a fendilhação. $\beta_1 \rightarrow$ Coeficiente dependente das características de aderência: $\beta_1 = \begin{cases} 1 & \rightarrow \text{alta aderência} \\ 0,5 & \rightarrow \text{aderência normal} \end{cases}$ $\beta_2 \rightarrow$ Coeficiente de permanência ou repetição de acções: $\beta_2 = \begin{cases} 1 & \rightarrow C. Raras \\ 0,5 & \rightarrow C. F \text{ ou } C. P. \end{cases}$	$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s}$ Sendo: $\sigma_s \rightarrow$ tensão no aço (Secção fendilhada) $\alpha_e = E_s/E_{cm}$ $k_t \rightarrow$ Coeficiente em função da duração do carregamento. $k_t = \begin{cases} 0,6 & \rightarrow \text{acções de curta duração} \\ 0,4 & \rightarrow \text{acções de longa duração} \end{cases}$ $f_{ct,eff} = f_{ctm} \rightarrow$ Após os 28 dias. $f_{ct,eff} = f_{ctm(t)} \rightarrow$ Antes dos 28 dias. $\rho_{p,eff} = \frac{(A_s + \xi_1^2 \cdot A_p')}{A_{c,eff}}$ $\xi_1 -$ Coeficiente corrigido da resistência de aderência, em que ξ, é um valor tabelado, quadro 6.2 do EC2. $\xi_1 = \sqrt{\xi \cdot \frac{\phi_s}{\phi_p}}$ $A_s -$ Área de armadura ordinária. $A_p' -$ Área de armadura pré ou pós-tensionada existente em $A_{c,eff}$. $A_{c,eff} -$ Área efectiva de betão traccionado que envolve as armaduras, com uma altura de: $h_{c,ef} \leq \begin{cases} 2,5 \cdot (h - d) \\ (h - x)/3 \\ h/2 \end{cases}$

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – FENDILHAÇÃO		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Distância entre fendas	$S_{rm} = 2 \cdot \left(c + \frac{s}{10} \right) + \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \frac{\phi}{\rho_r}$ Sendo: η_1 - Um coeficiente relativo a aderência das armaduras. η_2 - Um coeficiente dependente da distribuição de tensões de tracção na secção. ρ_r - Uma taxa de armadura. c - O recobrimento das armaduras. s - O espaçamento. A_s - Área de armadura. A_{cr} - Área de betão traccionado envolvente da armadura, em que: $\eta_1 = \begin{cases} 0,4 \rightarrow \text{varões de alta aderência} \\ 0,8 \rightarrow \text{varões de aderência normal} \end{cases}$ $\eta_2 = 0,25 \cdot \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2 \cdot \varepsilon_1}$ ε_1 - extensão superior da secção fendilhada ε_2 - extensão inferior da secção fendilhada $\rho_r = \frac{A_s}{A_{c,r}}$ $s \leq 15 \cdot \phi$ Quando o espaçamento excede este valor adopta-se para efeitos de cálculo $15 \cdot \phi$.	Para armaduras com $s \leq 5 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right)$: $S_{r,m\acute{a}x} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi}{\rho_{p,eff}}$ c – recobrimento da armadura longitudinal. k_1 – coeficiente relativo à aderência das armaduras: $k_1 = \begin{cases} 0,8 - \text{alta aderência} \\ 1,6 - \text{baixa aderência} \end{cases}$ k_2 – coeficiente relativo à distribuição das extensões: $k_2 = \begin{cases} 0,5 - \text{Flexão} \\ 1,6 - \text{Tracção simples} \end{cases}$ Nos casos de tracção excêntrica ou para zonas localizadas, deverão usar-se valores intermédios de k_2, calculados pela relação: $k_2 = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{(2 \cdot \varepsilon_1)}$ Em que ε_1 é a maior e ε_2 é a menor extensão de tracção nas fibras extremas, calculadas para a secção fendilhada. Os valores de k_3 e k_4 são 3.4 e 0.425, respectivamente. Para armaduras com $s \leq 5 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right)$: $S_{r,m\acute{a}x} = 1,3 \cdot (h - x)$ No caso de elementos armados em 2 direcções ortogonais, quando o ângulo das tensões principais e as armaduras for $>15^\circ$: $S_{r,m\acute{a}x} = \frac{1}{\frac{\cos \theta}{S_{r,m\acute{a}x,y}} + \frac{\sin \theta}{S_{r,m\acute{a}x,z}}}$ No caso de paredes sujeitas a uma contracção térmica precoce, onde A_s, não satisfaz os requisitos de armadura mínima à fendilhação e com base encastrada numa sapata betonada previamente, então: $S_{r,m\acute{a}x} = 1,3 \cdot h$ h - altura da parede

3.3.10. MODELO DE ESCORAS E TIRANTES

3.3.10.1. Modelo de Escoras e Tirantes segundo REBAP

O REBAP apenas trata o modelo de escoras e tirantes no subcapítulo H referente a consolas curtas do capítulo XI. Este subcapítulo trata muito ao de leve o modelo de escoras e tirantes como critério de dimensionamento das consolas curtas. As disposições e formulações deste modelo encontram-se referenciadas na tabela comparativa relativa ao modelo de escoras e tirantes.

3.3.10.2. Modelo de Escoras e Tirantes segundo EC2

O modelo de escoras e tirantes é tratado no Eurocódigo 2 no capítulo 6 referente aos estados limites últimos, mais propriamente dentro do subcapítulo 6.5 – Projecto com modelos de escoras e tirantes.

- 6.5.1 – Generalidades.

Quando existe uma distribuição não linear de extensões, poderão utilizar-se modelos de escoras e tirantes.

- 6.5.2 – Escoras.

O valor de cálculo da resistência de uma escora de betão poderá ser calculada conforme referenciado na tabela comparativa.

- 6.5.3 – Tirantes.

O valor de cálculo da resistência deverá ser limitado de acordo com as características do material.

As armaduras deverão ser devidamente amarradas nos nós.

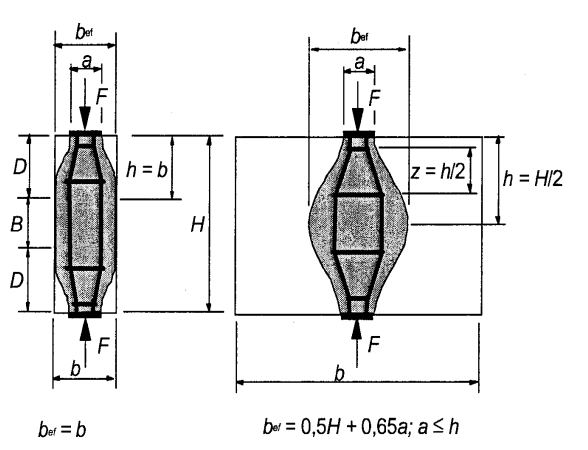
As disposições das armaduras dos tirantes para os diferentes casos estão mencionadas na tabela comparativa que se segue.

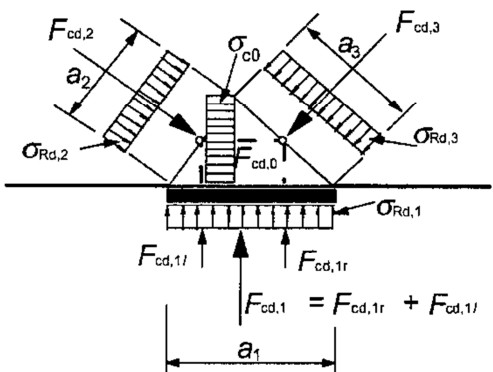
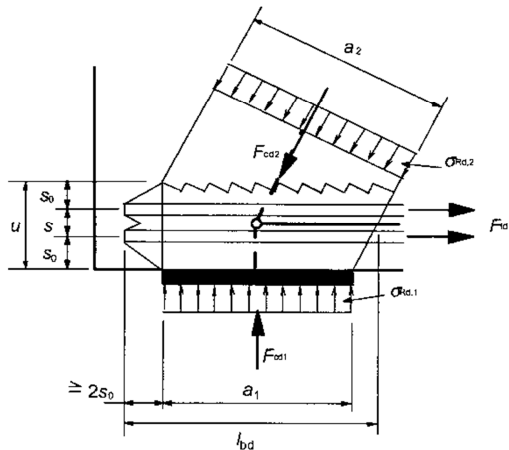
- 6.5.4 – Nós.

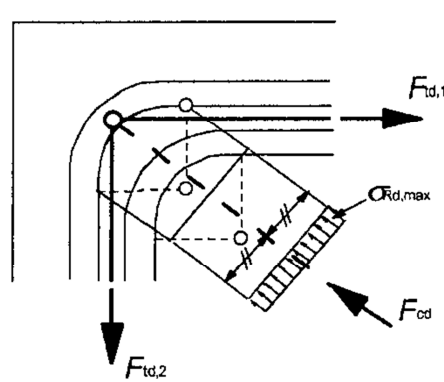
As regras relativas aos nós aplicam-se também as regiões em que as forças concentradas são transmitidas a um elemento mas que não são calculadas pelo método das escoras e tirantes.

Os valores de cálculo das tensões de compressão no interior dos nós poderão ser determinados consoante referido na tabela comparativa para os diferentes tipos de nós.

3.3.10.3. Tabela comparativa relativa ao Modelo de Escoras e Tirantes

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – MODELO DE ESCORAS E TIRANTES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Escoras	A força de compressão na biela de betão, F_{cSd}, deve satisfazer a seguinte condição: $F_{cSd} \leq \frac{1}{2} \cdot \tau_2 \cdot b \cdot d$	O valor de cálculo da resistência das escoras de betão é limitado a: $\sigma_{Rd,m\acute{a}x} \leq f_{cd} \rightarrow \text{Sem tracção transversal}$ $\sigma_{Rd,m\acute{a}x} \leq 0,6 \cdot \nu' \cdot f_{cd} \rightarrow \text{Com tracção transversal}$ Em que: $\nu' = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$
Tirantes	A secção de armadura que constitui o tirante, A_s, é determinada pela seguinte expressão: $A_s = \frac{F_{sSd}}{f_{syd}}$ Em que: $F_{sSd} \rightarrow$ Força no tirante, correspondente a F_{sd} (força aplicada) considerando o coeficiente de segurança γ_f.	A armadura necessária para resistir as forças deverá ser distribuída ao longo de um determinado comprimento ver figura 41  Figura 48 – Tirantes – Força de tracção A força de tracção T poderá ser obtida pelas expressões: a) Regiões de descontinuidade parcial, $b \leq \frac{H}{2}$: $T = \frac{1}{4} \cdot \frac{b-a}{b} \cdot F$ b) Regiões de descontinuidade total, $b > \frac{H}{2}$: $T = \frac{1}{4} \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \frac{a}{h}\right) \cdot F$

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – MODELO DE ESCORAS E TIRANTES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Nós	O REBAP é omissivo em relação aos nós de união entre escoras e tirantes	a) Nós comprimidos sem tirantes: $\sigma_{Rd,m\acute{a}x} = k_1 \cdot v' \cdot f_{cd}$  Figura 49 – Nós comprimidos sem tirantes
		b) Nós sujeitos a compressão e tracção com tirantes amarrados numa direcção: $\sigma_{Rd,m\acute{a}x} = k_2 \cdot v' \cdot f_{cd}$  Figura 50 – Nós sujeitos a compressão e tracção com tirantes amarrados numa direcção

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – MODELO DE ESCORAS E TIRANTES		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Nós (continuação)	O REBAP é omissivo em relação aos nós de união entre escoras e tirantes	c) Nós sujeitos a compressão e tracção com tirantes amarrados em mais que uma direcção: $\sigma_{Rd,max} = k_3 \cdot v' \cdot f_{cd}$  Figura 51 – Nós sujeitos a compressão e tracção amarrados em mais que uma direcção. Os valores de k_1; k_2; k_3 são 1, 0,85 e 0,75 respectivamente e estão referenciados no A.N. Todos os valores de cálculo da tensão de compressão, a), b) e c), poderão ser aumentados em 10% nos seguintes casos: - Quando assegurada uma compressão triaxial. - Todos os ângulos entre escoras e tirantes são $\geq 55^\circ$. - As tensões são uniformes e o nó é cintado. - A armadura encontra-se disposta em várias camadas - O nó está confinado de forma fiável por uma disposição particular de apoio ou por atrito. - Os nós em compressão triaxial poderão ser verificados através das expressões: $f_{ck,c} = f_{ck} \cdot \left(1 + 5 \cdot \frac{\sigma_2}{f_{ck}}\right) \rightarrow \sigma_2 \leq 0,05 \cdot f_{ck}$ $f_{ck,c} = f_{ck} \cdot \left(1 + 5 \cdot \frac{\sigma_2}{f_{ck}}\right) \rightarrow \sigma_2 \leq 0,05 \cdot f_{ck}$ Com um máximo de: $\sigma_{Rd,max} = k_4 \cdot v' \cdot f_{cd} \rightarrow \text{com } k_4 = 3 \rightarrow A.N.$

3.3.11. PUNÇOAMENTO

3.3.11.1. Punçoamento segundo REBAP

O punçoamento no REBAP é tratado no capítulo VII – Verificação da segurança em relação aos estados limites últimos de resistência, no subcapítulo C – Esforços Resistentes, artigo 54º- Punçoamento. Neste artigo é tratado o punçoamento ao nível do dimensionamento da armadura necessária para resistir ao efeito de punçoamento em questão, e algumas regras de disposição de armaduras que se complementam no artigo 110º-Armadura de Punçoamento, artigo este que se encontra inserido no capítulo XI, subcapítulo B referente a Lajes maciças.

O dimensionamento da armadura de punçoamento e as suas disposições construtivas encontram-se definidos na tabela comparativa relativa ao punçoamento.

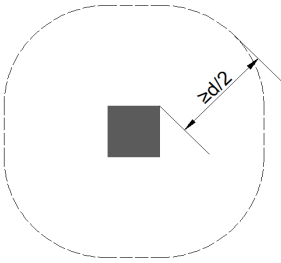
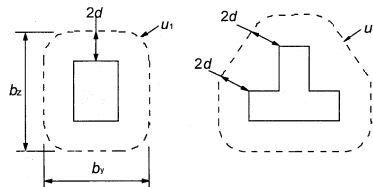
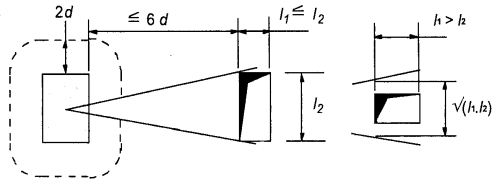
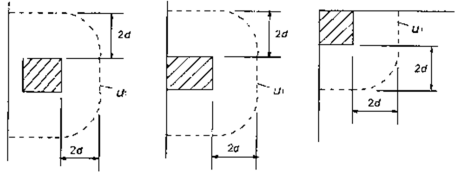
3.3.11.2. Punçoamento segundo EC2

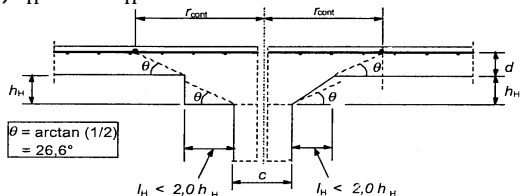
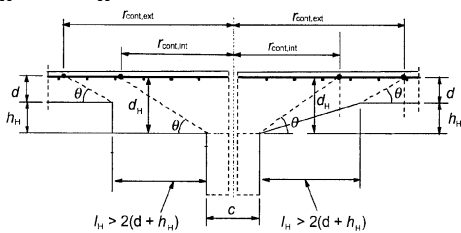
O punçoamento é tratado no subcapítulo 6.4 dentro do capítulo 6 referente aos estados limites últimos.

- 6.4.1 – Generalidades.
As regras indicadas nesta secção abrangem o punçoamento de lajes maciças, lajes aligeiradas com zonas maciças sobre pilares e fundações.
- 6.4.2 – Distribuição das acções e primeiro perímetro de controlo.
Nesta secção são definidos os perímetros de controlo para diferentes áreas carregadas.
- 6.4.3 – Verificação da resistência ao punçoamento.
Este capítulo trata diferentes verificações ao nível das resistências máximas permitidas.
- 6.4.4 – Resistência ao punçoamento de lajes e sapatas de pilares sem armadura de punçoamento.
Este capítulo define a resistência máxima ao punçoamento do elemento sem armaduras de punçoamento.
- 6.4.5 – Resistência ao punçoamento de lajes e de sapatas de pilares com armadura de punçoamento.
Este capítulo define a resistência máxima ao punçoamento do elemento com armaduras de punçoamento.

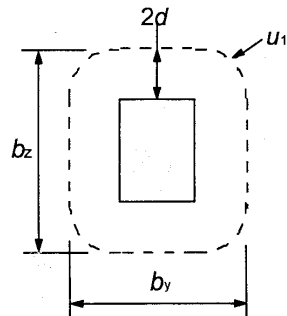
3.3.11.3. Tabela comparativa relativa ao Punçoamento

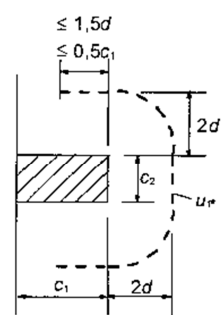
QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PUNÇOAMENTO		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Generalidades	A determinação do esforço resistente de punçoamento pode ser efectuado de acordo com as seguintes regras, desde que as forças não actuem na proximidade de outras forças concentradas, em zonas onde o esforço transversal tenha valores importantes e ainda desde que a área carregada não diste menos de 5d de um bordo livre.	O punçoamento pode resultar de uma carga concentrada ou reacção aplicada a uma área relativamente pequena ($A_{carregada}$; A_{load}). A resistência ao punçoamento deverá ser verificada na face do pilar e no 1º perímetro de controlo, (u_1). Se for necessária a armadura, deverá determinar-se outro perímetro de controlo, ($u_{out,eff}$), a partir do qual já não é necessária armadura de punçoamento.
Esforço Transverso resistente sem armaduras de punçoamento	$V_{Rd,1} = v_{Rd} \cdot u$ $v_{Rd} = \eta \cdot \tau_1 \cdot d$ Em que: u – perímetro do contorno crítico de punçoamento definido a uma distância não inferior a $d/2$ $\eta = (1,6 - d) \geq 1,0$ τ_1 - Tensão tabelada (quadro VI REBAP).	Para Lajes: $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}$ $v_{Rd,c} \geq (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp})$ $v_{Rd,m\acute{a}x} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd}$ Para Sapatas: $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot \frac{2 \cdot d}{a}$ $v_{Rd,c} \geq v_{\min} \cdot \frac{2 \cdot d}{a}$ $v_{Rd,m\acute{a}x} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd}$ Em que: $v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$ a – Distância da periferia do pilar ao perímetro de controlo considerado.
Esforço Transverso resistente com armaduras de punçoamento	$V_{Rd,2} = \frac{4}{3} \cdot V_{wd}$ V_{wd} – Calculado para uma tensão f_{syd}, mas não excedendo 350 MPa. $V_{Rd,2} \leq 1,6 \cdot V_{Rd,1}$	$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1} \sin \alpha$ Em que: A_{sw} – Área de armadura por perímetro s_r - Espaçamento radial dos perímetros $f_{ywd,ef}$ - Valor de calculo da tensão efectiva de cedência das armaduras, dada por: $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d \leq f_{ywd}$

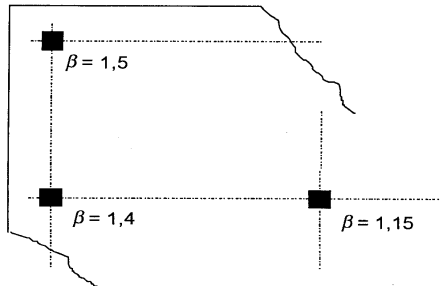
QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PUNÇOAMENTO		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
1º Perímetro de controlo, em secções de altura constante.	O REBAP define apenas a distância mínima para o perímetro de controlo crítico de punçoamento, definido por uma linha fechada envolvendo a área carregada a uma distância não inferior a $d/2$ e cujo perímetro é mínimo, como ilustrado na Figura 52.  Figura 52 – Perímetro de controlo - REBAP	O Eurocódigo define diversos perímetros de controlo consoante as situações a abordar: O 1º perímetro de controlo, u_1, é definido a uma distância $2d$ da área carregada, como ilustrado na Figura 53.  Figura 53 – Perímetros de controlo – EC2 Nos casos em que a força concentrada seja equilibrada por uma pressão elevada, ou pelos efeitos de uma acção a uma distância não inferior a $2d$, deverão ser considerados perímetros de controlo inferior a $2d$. Para áreas carregadas junto a aberturas, se a menor distância entre o contorno da área carregada, e o bordo da abertura não for superior a $6d$, não será considerada a parte do perímetro entre as duas tangentes a abertura traçadas a partir do centro da área carregada, como ilustrado na seguinte figura.  Figura 54 – Perímetro de controlo junto a aberturas Os perímetros de controlo para áreas carregadas junto a um bordo livre ou a um canto deverão ser definidos como mostra a Figura 55.  Figura 55 – Perímetros de controlo junto a um bordo livre ou a um canto

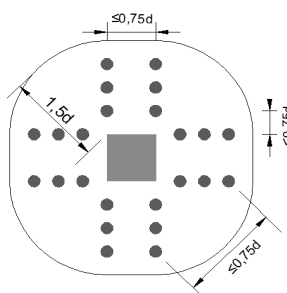
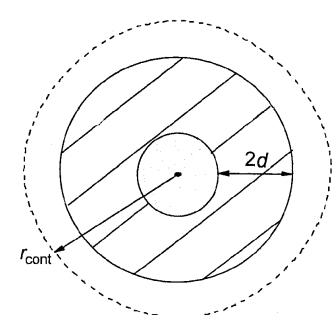
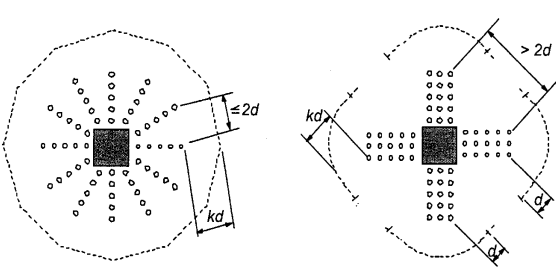
QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PUNÇOAMENTO		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
1º Perímetro de controlo em secções de altura variável ou capiteis	O REBAP é omissivo em relação a este caso específico.	Para espessuras variáveis sem degraus, d, para efeito de cálculo dos perímetros de controlo é a altura na zona da área carregada, ver Figura 56. No caso de lajes sobre capiteis circulares para os quais: 1) $l_H < 2 \cdot h_H$  Figura 56 – Perímetro de controlo para espessuras variáveis sem degraus Então é necessário verificar as tensões de punçoamento na secção de controlo exterior ao capitel. A distância do perímetro de controlo ao baricentro da área carregada é: a) – Capitel circular: $r_{\text{cont}} = 2 \cdot d + l_H + 0,5 \cdot c$ b) – Capitel rectangular: $r_{\text{cont}} \leq \begin{cases} 2 \cdot d + 0,56 \cdot \sqrt{l_1 \cdot l_2} \\ 2 \cdot d + 0,69 \cdot l_1 \end{cases}$ As dimensões, l_1 e l_2, ver Figura 57, são respectivamente: $l_1 = c_1 + 2 \cdot l_{H1}; \quad l_2 = c_2 + 2 \cdot l_{H2}; \quad l_1 \leq l_2$ 2) $l_H > 2 \cdot h_H$  Figura 57 – Perímetro de controlo para secções variáveis com degraus a) No caso de secções rectangulares aplicam-se as verificações também no interior do capitel com $d = d_H$, de acordo com a figura. b) No caso de pilares circulares: $r_{\text{cont,ext}} = 2 \cdot d + l_H + 0,5 \cdot c$ $r_{\text{cont,int}} = 2 \cdot (d + h_H) + 0,5 \cdot c$

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PUNÇOAMENTO														
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2												
Verificação de Segurança ao punçoamento	A verificação de segurança deverá satisfazer, ao longo do perímetro crítico: $v_{Rd} \geq v_{Sd}$	No perímetro do pilar (u_0), não deverá exceder o valor máximo da tensão de punçoamento: $v_{Ed} \leq v_{Rd,máx}$												
	No caso de a força actuar sem excentricidade relativamente a área carregada, v_{Sd} pode ser considerado constante ao longo do contorno critico: $v_{Sd} = \frac{V_{Sd}}{u}$	É necessária armadura de punçoamento no 1º perímetro de controlo, (u_1), quando não se verifica a seguinte condição: $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$												
	No caso de a força actuar excentricamente, v_{Sd} é variável ao longo do contorno crítico de punçoamento, considerando-se os seguintes valores para a verificação de segurança:	A tensão v_{Ed} é calculado da seguinte forma: $v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d}$												
	1) Área carregado de contorno circular: $v_{Sd} = \frac{V_{Sd}}{u} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot e }{d_0}\right)$	Em que: β – Coeficiente de majoração relativo à excentricidade da carga. u_0 - Perímetro de controlo do pilar Pilar de bordo: $u_0 = c_2 + 3 \cdot d \leq c_2 + 2 \cdot c_1$ Pilar de canto: $u_0 = 3 \cdot d \leq c_1 + c_1$												
	2) Área carregada de contorno rectangular: $v_{Sd} = \frac{V_{Sd}}{u} \left(1 + 1,5 \cdot \frac{2 \cdot e_x + e_y }{\sqrt{b_x \cdot b_y}}\right)$	No caso da reacção de apoio ser excêntrica: 1) Pilar interior com reacção excêntrica em relação a um eixo: a) Pilares rectangulares: $\beta = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1}$ k - Relação entre as dimensões do pilar:												
Em que: V_{Sd} - Esforço de cálculo. v_{Sd} - Esforço por unidade de comprimento do perímetro e – Excentricidade de V_{Sd} . d_0 – Diâmetro do contorno crítico b_x e b_y – Dimensões do contorno crítico paralelas aos lados da área carregada.	<table><tr><td>c_1/c_2</td><td>$\leq 0,5$</td><td>1,0</td><td>,0</td><td>$\geq 3,0$</td></tr><tr><td>k</td><td>0,45</td><td>0,60</td><td>0,70</td><td>0,80</td></tr></table>				c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	,0	$\geq 3,0$	k	0,45	0,60	0,70	0,80
c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	,0	$\geq 3,0$										
k	0,45	0,60	0,70	0,80										

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PUNÇOAMENTO		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Verificação de Segurança ao punçoamento	Só é necessário considerar o punçoamento nos seguintes casos: 1) – A área carregada é circular e o seu diâmetro é $\leq 3,5 \cdot d$. 2) – A área carregada é rectangular e o seu perímetro $\leq 11 \cdot d$, nem excede duas vezes a relação entre comprimento e largura. 3) – Áreas carregadas com outras formas – analogias com as regras anteriores Se a área carregada for rectangular alongada, pode considerar-se punçoamento apenas nos cantos, com troços de contorno crítico com um comprimento total de: $\text{comprimento} \leq \begin{cases} 11 \cdot d \\ 6 \cdot a + 3 \cdot d \end{cases}$ Em que: a - menor dimensão da área carregada.	W_1 – Distribuição de tensões tangenciais: $W_i = \int_0^{u_i} e \cdot dl$ dl – comprimento elementar do contorno. e – distancia de dl ao eixo em torno do qual actua o momento M_{Ed}. $W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 4c_2 \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2\pi \cdot d \cdot c_1$ b) Pilares circulares: $\beta = 1 + 0,6 \cdot \pi \cdot \frac{e}{D + 4 \cdot d}$ Em que: D - Diâmetro do pilar circular e – Excentricidade da carga aplicada $e = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}}$ 2) Pilar interior com reacção excêntrica em relação aos dois eixos: a) Pilares rectangulares: $\beta = 1 + 1,8 \cdot \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2}$ Em que: e_z e e_y - Excentricidades segundo os eixos z e y, respectivamente. b_z e b_y – Dimensões do perímetro de controlo, ilustradas na Figura 58.  Figura 58 – Pilar interior com reacção excêntrica em relação aos dois eixos

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PUNÇOAMENTO		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Verificação de Segurança ao punçoamento		b) Pilares circulares: $\beta = 1 + 0,6 \cdot \pi \cdot \frac{e}{D + 4 \cdot d}$ Em que: D - Diâmetro do pilar circular e – Excentricidade da carga aplicada $e = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}}$, com M_{Ed} sendo a resultante entre $M_{Ed,x}$ e $M_{Ed,y}$ 3) Pilar de bordo, em que há excentricidade na direcção perpendicular ao bordo da laje e não há excentricidade na direcção paralela ao bordo, poderá considerar-se o esforço de punçoamento uniformemente distribuído ao longo do perímetro de controlo reduzido (u_1^*), como representado na Figura 59.  Figura 59 – Pilar de bordo, em que há excentricidade na direcção perpendicular ao bordo da laje Quando existe excentricidade nas duas direcções ortogonais: $\beta = \frac{u_1}{u_1^*} + k \cdot \frac{u_1}{W_1} \cdot e_{par}$ Em que: e_{par} - Excentricidade na direcção paralela ao bordo da laje resultante de um momento em torno de um eixo perpendicular ao bordo da laje. k - Relação entre as dimensões do pilar, com a relação c_1/c_2 substituída por $c_1/(2 \cdot c_2)$. W_1 – calculado para o 1º perímetro de controlo. $W_1 = \frac{c_2^2}{4} + c_1 \cdot c_2 + 4c_1 \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot c_2$

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PUNÇOAMENTO		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Verificação de Segurança ao punçoamento		No caso da excentricidade na direcção perpendicular ao bordo da laje não ser dirigida para o interior, aplica-se a expressão: $\beta = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1}$ No calculo de W_1, a distancia, e, deverá ser medida a partir do centro de gravidade do perímetro de controlo. 4) Pilar de canto em que a excentricidade é dirigida para o interior da laje, admite-se que o esforço de punçoamento é uniformemente distribuído ao longo do perímetro de controlo reduzido. O valor de β poderá então ser considerado igual a: $\beta = \frac{u_1}{u_1^*}$ No caso de a excentricidade ser dirigida para o exterior, aplica-se a expressão: $\beta = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1}$ 5) No caso de estruturas em que a estabilidade lateral não depende do funcionamento de pórticos formados por lajes e pilares, em que os vãos dos tramos adjacentes não diferem mais de 25%, poderão utilizar-se os valores aproximados, como representado na Figura 60. - Pilar de canto - $\beta = 1,5$ - Pilar de bordo - $\beta = 1,4$ - Pilar interior - $\beta = 1,15$  Figura 60 – Valores aproximados de β Estes valores aproximados de β, são referenciados no Anexo Nacional.

QUADRO COMPARATIVO REBAP VS. EUROCÓDIGO 2 – PUNÇOAMENTO		
ARTIGOS	REBAP	EUROCÓDIGO 2
Disposições da armadura de punçoamento	A armadura de punçoamento, constituída por estribos ou varões inclinados, deve ser distribuída em toda a zona da laje ou sapata compreendida entre o contorno da área directamente carregada e um contorno exterior a este, situado à distância de $1,5 \cdot d$. Os varões que constituem esta armadura não devem ser afastados entre si mais de $0,75 \cdot d$ em qualquer direcção, como ilustrado na Figura 61.  Figura 61 – Disposições da armadura de punçoamento No caso de varões inclinados, a distância que define o contorno exterior deve ser referida aos pontos em que os varões intersectam o plano médio da laje, além disso, só devem ser considerados como eficazes os varões que atravessam a zona da laje ou sapata directamente carregada	 Figura 62 – Perímetro a partir do qual já não é necessária armadura de punçoamento O perímetro a partir do qual já não é necessária armadura de punçoamento, representado na Figura 62, é dado por: $u_{out,ef} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d}$ O valor de k a utilizar num determinado país poderá ser dado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado é de 1,5.  Figura 63 – Disposições da armadura de punçoamento A Figura 63 ilustra a disposição de armaduras de punçoamento.

3.4. CONCLUSÕES E NOTAS RETIRADAS SOBRE AS COMPARAÇÕES REALIZADAS.

Neste subcapítulo são apresentados de forma sucinta algumas das conclusões retiradas, aquando da realização das tabelas comparativas, consideradas importantes no âmbito deste trabalho, ao nível do dimensionamento e disposições construtivas nos elementos estruturais constituintes de um pórtico, mais propriamente vigas e pilares.

3.4.1. VIGAS

ARMADURAS LONGITUDINAIS.

ARMADURAS MÍNIMAS.

O REBAP calcula as armaduras mínimas recorrendo a uma taxa de armadura estipulada consoante a qualidade do aço, ver Quadro 1, não possuindo na sua formulação qualquer alusão à qualidade do betão, apenas à sua secção. A taxa de armadura é determinada da seguinte forma:

$$\rho = \frac{A_{s,min}}{b_t \cdot d} \cdot 100 \quad (1)$$

O Eurocódigo 2 não recorre a taxas de armaduras, calculando a armadura mínima da seguinte forma:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d \quad (2)$$

Porém, para facilitar a comparação entre valores de armaduras mínimas, foram calculadas taxas mínimas de armaduras segundo o EC2. A taxa de armadura segundo o EC2, já entra com a classe do betão, sendo calculada da seguinte forma:

$$\rho = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot 100 \quad (3)$$

Verificou-se que para betões de classe C20/25 o EC2 dava taxas de armaduras ligeiramente mais baixas que o REBAP, mas para betões de classes superiores, nomeadamente C25/30 e C30/37 o EC2 aconselha valores de armaduras mínimas superiores às estipuladas no REBAP.

REBAP	EUROCÓDIGO 2			
$\rho \geq \begin{cases} 0,25 \rightarrow A235 \\ 0,15 \rightarrow A400 \\ 0,12 \rightarrow A500 \end{cases}$	ρ			
	Betão	C20/25	C25/30	C30/37
	Aço	S400	0,143	0,169
		S500	0,1144	0,1352

Quadro 1 – Taxas de armaduras Longitudinais

ARMADURAS MÁXIMAS.

No que toca a armaduras máximas o REBAP e o Eurocódigo 2 não diferem no seu cálculo, considerando ambos os mesmos valores regulamentares máximos, em que consideram a armadura máxima menor ou igual a 4% da secção de betão.

ESPAÇAMENTOS MÁXIMOS DE ARMADURAS LONGITUDINAIS.

O REBAP limita o espaçamento máximo de armaduras longitudinais recorrendo aos artigos referentes a fendilhação, em que:

Ambiente	Tipo de aço	
	A400	A500
Pouco Agressivo	12.5cm	10cm
Moderadamente Agressivo	7.5cm	5cm

Quadro 2 – Espaços máximos de armaduras longitudinais – REBAP

O Eurocódigo limita o espaçamento máximo a 35 centímetros mas possui também limitações de espaçamentos referente à fendilhação mas tratados separadamente.

Concluiu-se então que o Eurocódigo, apenas ao nível das disposições construtivas simples, permite espaçamentos maiores entre varões longitudinais.

ARMADURAS SUPERIORES EM CONSTRUÇÕES MONOLÍTICAS.

O REBAP diz que numa viga de pórtico a armadura longitudinal numa dada face não deverá ser inferior a 50% da armadura da face oposta.

O Eurocódigo para estes casos estipula um coeficiente β_1 com valores definidos nos Anexos Nacionais, em que para Portugal o seu valor é de 15%.

O dimensionamento segundo o REBAP para estes casos resulta em maior quantidade de área de armadura em relação ao Eurocódigo 2.

ARMADURAS DE ESFORÇO TRANSVERSO, ESTRIBOS.**ARMADURAS MÍNIMAS.**

Mais uma vez o REBAP associa a armadura transversal mínima a uma taxa de armadura transversal definindo valores para cada tipo de aço.

$$\rho_w \geq \begin{cases} 0,16 & \rightarrow A235 \\ 0,10 & \rightarrow A400 \\ 0,08 & \rightarrow A500 \end{cases} \quad (4)$$

Por sua vez o Eurocódigo calcula a taxa mínima de armadura transversal considerando a classe do betão e do aço, de acordo com a seguinte fórmula:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot 100 \quad (5)$$

Foram calculados valores de referência de taxas mínimas de armaduras transversais para 3 classes de betão e para 2 classes de aço, respectivamente C20/25, C25/30, C30/37, S400 e S500, para facilitar a comparação.

Verificou-se que para betões de classe C20/25 o EC2 dava taxas de armaduras transversais ligeiramente mais baixas que o REBAP, para betões de classe C25/30 as taxas mínimas de armadura são exactamente iguais, mas para betões de classes superiores, nomeadamente C30/37 o EC2 aconselha valores de áreas de armaduras transversais mínimas superiores as estipuladas no REBAP.

REBAP	EUROCÓDIGO 2			
$\rho \geq \begin{cases} 0,16 \rightarrow A235 \\ 0,10 \rightarrow A400 \\ 0,08 \rightarrow A500 \end{cases}$	pw,mín			
	Betão	C20/25	C25/30	C30/37
	Aço	S400	0,08944	0,100
		S500	0,07155	0,080
			0,1095	0,0876

Quadro 3 – Taxas de armaduras transversais, Estribos

ARMADURAS TRANSVERSAIS DE CÁLCULO

O cálculo de estribos segundo o REBAP e segundo o EC2 são semelhantes, as diferenças acabam por se acentuar no cálculo da capacidade resistente total, no cálculo da capacidade resistente da secção de betão e no cálculo do limite da capacidade resistente para que não se dê o esmagamento das escoras.

O REBAP considera a capacidade resistente total da secção de betão armado a soma da capacidade resistente da secção de betão e a capacidade resistente dos estribos.

Por sua vez o EC2 considera a capacidade resistente total como a capacidade resistente dos estribos

ESPAÇAMENTOS LONGITUDINAIS MÁXIMOS DE ARMADURAS DE ESFORÇO TRANSVERSO.

O REBAP limita o espaçamento dos estribos consoante o valor do esforço transversal de cálculo, como demonstrado nas tabelas comparativas, em que no caso mais desfavorável o espaçamento máximo está limitado a $0,3 \cdot d$, com um máximo de 20 cm e no caso mais favorável limitado a $0,9 \cdot d$, com um máximo de 30cm.

O EC2 por sua vez não estipula o espaçamento longitudinal máximo consoante os valores de esforço transversal, pelo menos não directamente, mas sim através do seguinte cálculo:

$$s_{l,m\acute{a}x} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) \quad (6)$$

Verificou-se que para vigas altas os espaçamentos máximos segundo o Eurocódigo assumem valores elevados, chegando a ultrapassar o dobro do valor definido pelo REBAP.

3.4.2. PILARES

ARMADURAS LONGITUDINAIS.

ARMADURAS MÍNIMAS.

O REBAP calcula as áreas mínimas de armaduras longitudinais em pilares através de uma relação com a secção de betão do pilar, esta relação varia consoante a classe do aço, podendo estas serem reduzidas a metade quando a secção de betão é por si só resistente, como ilustrado na tabela comparativa referente a Pilares.

O EC2 calcula a armadura longitudinal mínima através do maior valor de duas fórmulas, uma com uma relação entre o esforço axial actuante e a tensão de cedência do aço a utilizar, outra através de uma relação com a secção de betão do pilar, esta ultima muito semelhante à do REBAP.

Realizando uma pequena comparação, para o caso hipotético de uma secção em que o betão não é por si só resistente e para um aço A400, verificamos que o REBAP estipula uma área mínima 3 vezes superior à calculada segundo o EC2.

$$\frac{REBAP}{EC2} \rightarrow \frac{A_{s,min}}{A_{s,min}} = \frac{0.006 \cdot A_c}{0.002 \cdot A_c} = 3 \quad (7)$$

ARMADURAS MÁXIMAS.

No que toca a áreas de armaduras máximas o REBAP estipula um único valor regulamentar máximo definido como sendo 8% da secção de betão, incluindo nas zonas de sobreposição de armaduras.

O Eurocódigo define dois valores regulamentares máximos, um em zona corrente e outro em zona de emendas de armaduras, o primeiro está definido como sendo 4% da área de secção de betão (metade do estipulado pelo REBAP) e em zona de emendas como sendo 8% da área de secção de betão (igual ao estipulado pelo REBAP).

DIÂMETROS MÍNIMOS DE ARMADURAS LONGITUDINAIS.

O REBAP estipula diâmetros mínimos consoante a classe do aço a utilizar para um aço A235 o diâmetro mínimo é de 12mm para um aço de A400 ou A500 o diâmetro mínimo é de 10mm.

O EC2 estipula apenas um diâmetro mínimo de varões longitudinais em pilares não podendo ser inferior a varões de 8mm. O EC2 remete ainda para os anexos nacionais a definição do diâmetro mínimo em pilares, neste caso, o anexo nacional Português impõe o diâmetro mínimo de varões longitudinais em pilares como 10mm.

ESPAÇAMENTOS MÁXIMOS DE ARMADURAS LONGITUDINAIS.

Ao nível da definição de espaçamentos máximos o REBAP e o EC2 estão em consonância considerando ambos um valor regulamentar máximo de 30 cm, e nos casos de secções em que as suas dimensões sejam inferiores a 40 cm é apenas necessário colocar varões nos cantos.

O REBAP menciona ainda que todos os varões longitudinais devem estar devidamente abraçados pelas cintas formando um ângulo não superior a 135°, porém esta regra poderá ser dispensada no caso dos varões se encontrarem a menos de 15 cm de um varão que cumpra a tal condição.

O Eurocódigo 2 estipula que em zona de compressão nenhum varão deverá estar mais afastado do que 15 cm de um varão devidamente cintado, em semelhança com o REBAP.

ARMADURA TRANSVERSAL, CINTAS.

DIÂMETROS MÍNIMOS DE ARMADURAS TRANSVERSAIS.

O REBAP e o EC2 estipulam os mesmos diâmetros mínimos para armaduras transversais em pilares, sendo que o diâmetro mínimo de armaduras transversais deverá ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro das armaduras longitudinais a cintar.

ESPAÇAMENTOS MÁXIMOS DE ARMADURAS TRANSVERSAIS.

Realizando uma pequena comparação, considerando as regras definidas para este artigo nas tabelas comparativas, verificou-se que o EC2 permite espaçamentos máximos regulamentares maiores que o REBAP, com uma diferença percentual entre os 25% e os 40%, como é possível visualizar no Quadro 4.

REBAP	EC2	Diferença percentual
$12 \cdot \phi_{Asl}$	$20 \cdot \phi_{Asl}$	$\frac{20 - 12}{20} \cdot 100 = 40\%$
30 cm	40 cm	$\frac{40 - 30}{40} \cdot 100 = 25\%$

Quadro 4 – Espaçamentos máximos de armaduras transversais, cintas.

4.

CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO NO PAC-PÓRTICOS

4.1. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO AUTOMÁTICO SEGUNDO O REBAP E O EC 2.

Os critérios de dimensionamento utilizados, até à data, no programa de cálculo e dimensionamento automático de estruturas PAC-Pórticos estão baseados na Regulamentação nacional de estruturas de betão armado e pré-esforçado, REBAP. Este trabalho consiste na tentativa de adaptar o mesmo programa a um possível dimensionamento segundo a regulamentação europeia que entrará em vigor num futuro próximo. Esta adaptação do código tem como objectivo principal dotar o programa PAC-Pórticos com a possibilidade de escolha entre qual dos regulamentos a utilizar ou qual o mais económico. Posteriormente estará ainda programada uma inserção de diferentes anexos nacionais respectivos a diferentes países pertencentes à união europeia e utilizadores do Eurocódigo por forma a uniformizar o programa de cálculo automático PAC-Pórticos e permitir a sua utilização fora do território Nacional.

Após extensivo estudo dos critérios de dimensionamento do PAC-Pórticos segundo o REBAP, procedeu-se à estruturação dos critérios de dimensionamento segundo o EC2 e recriaram-se as tabelas e ábacos de betão armado recorrendo à ferramenta EXCEL, com vista à obtenção de resultados comparativos PAC(REBAP) com PAC(EC2), tendo em consideração os prazos de entrega desta dissertação.

No ponto seguinte vamos mostrar graficamente a estrutura e organização da algoritmia relativa aos critérios de dimensionamento do PAC-Pórticos.

4.1.1. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO – ROTINAS E SUB-ROTINAS.

4.1.1.1. Vigas

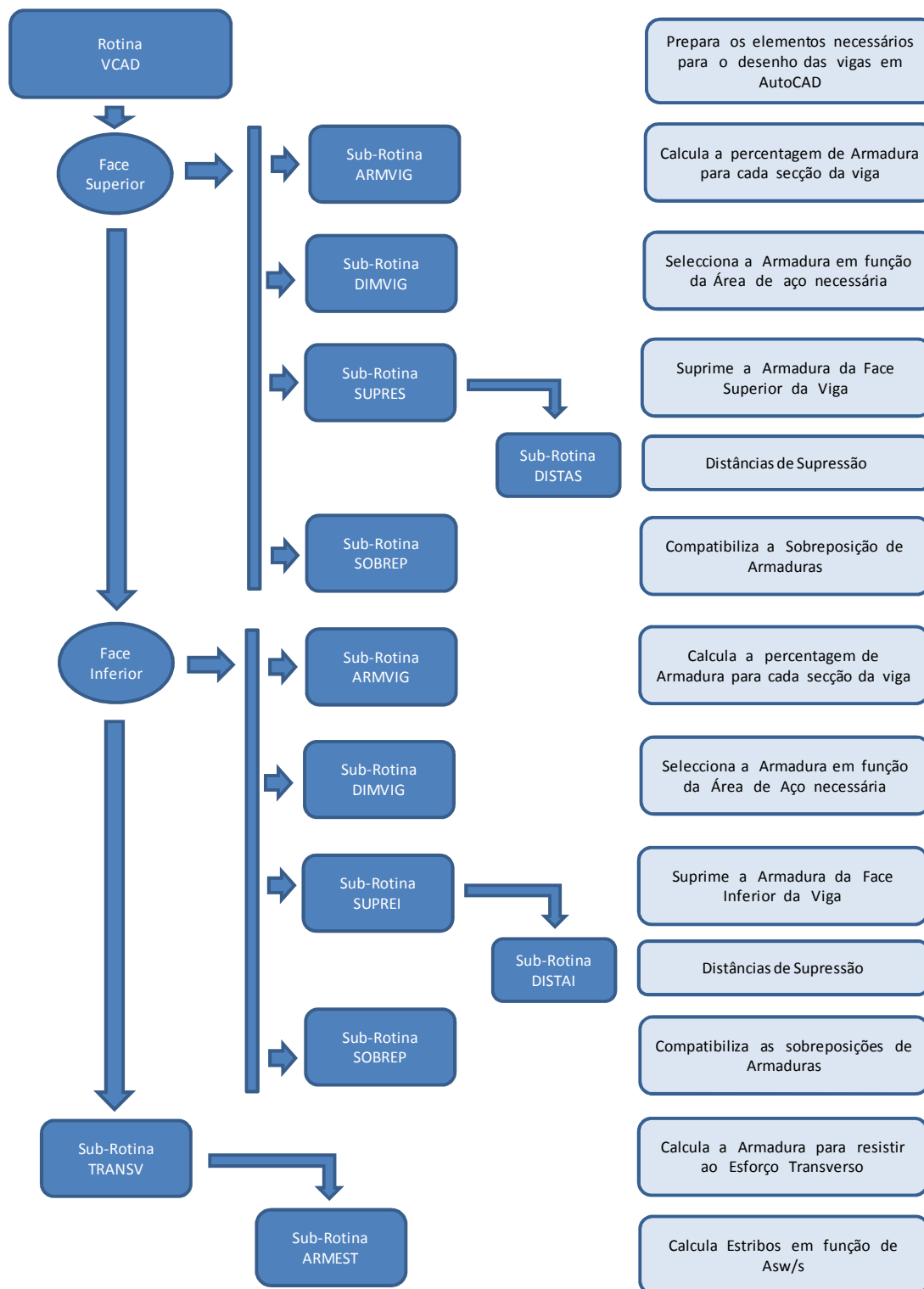


Figura 64 – Critérios de dimensionamento de Vigas

4.1.1.2. Pilares

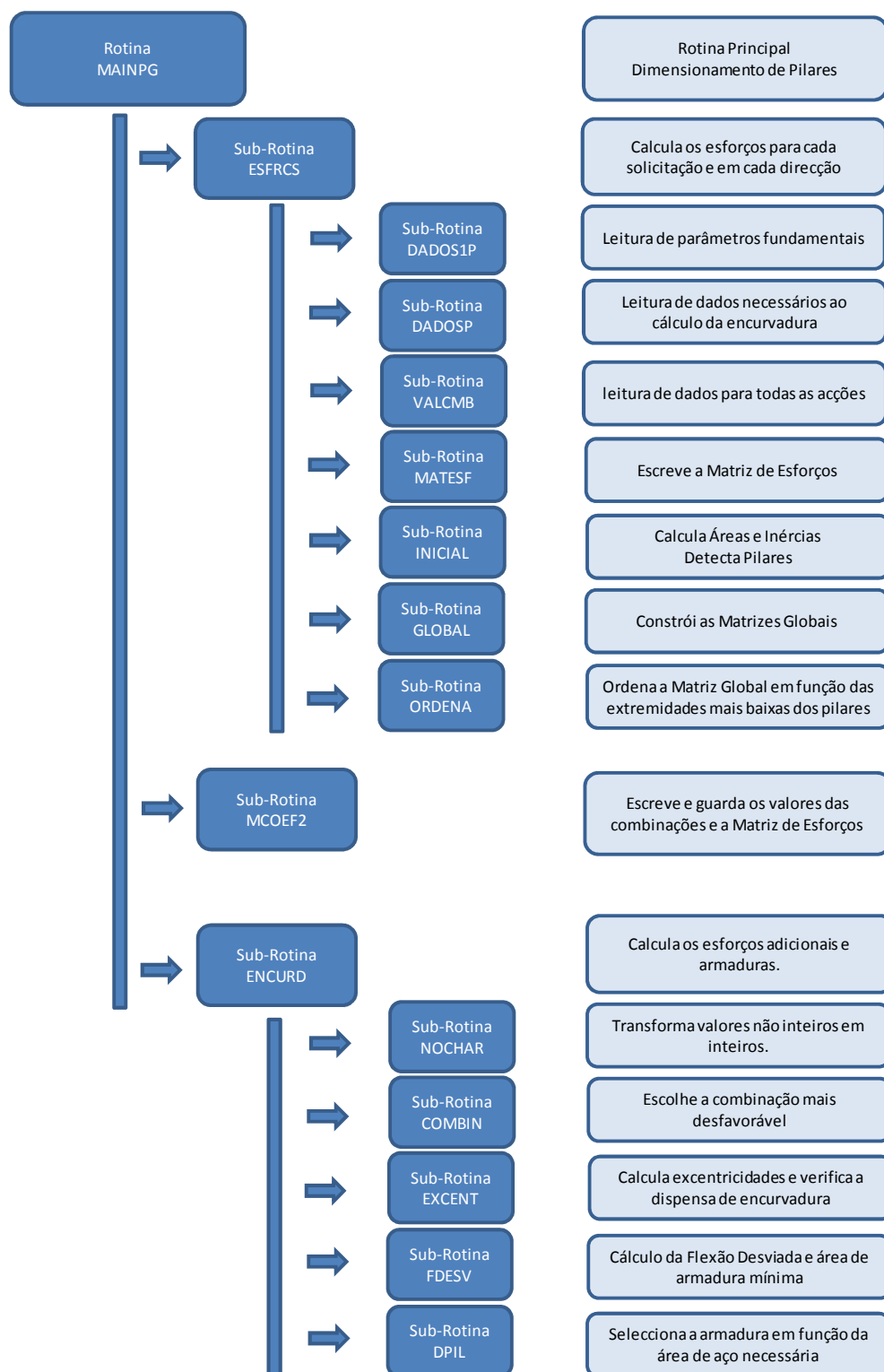


Figura 65 – Critérios de dimensionamento de Pilares.

4.1.2.DIFERENÇAS ENTRE SUB-ROTINAS REBAP VS. EC2

4.1.2.1. Vigas

As alterações realizadas no algoritmo já existente do PAC-Pórticos não foram extensas pois trata-se de um código assente em condições coerentes e devidamente fundamentadas. Apenas se realizaram umas ligeiras alterações nas divergências entre REBAP e EC2, identificadas nas tabelas comparativas (Capítulo 3). Essas diferenças notaram-se mais numas sub-rotinas do que noutras, mais concretamente nas Sub-rotinas ARMVIG, que trata o cálculo de áreas de armaduras mínimas, máximas e de cálculo, DIMVIG que trata de definir o número de varões e respectivos diâmetros para as áreas de armaduras calculadas em ARMVIG e dispõe os varões nas secções, ARMEST que calcula as áreas de armaduras transversais mínimas máximas e de cálculo e TRANSV que trata de seleccionar o número de ramos e diâmetros dos varões para as áreas calculadas em ARMEST.

A Rotina principal de dimensionamento, VCAD, encontra-se dividida entre Face Superior da Viga, Face Inferior da Viga e Esforço Transverso.

Para a Face Superior da Viga encontramos as seguintes sub-rotinas:

- ARMVIG

Esta sub-rotina calcula a percentagem de armadura mínima, máxima e de cálculo para vigas usando expressões simplificadas expressas no livro de Betão Armado, esforços normais e de flexão, recentemente deu-se o aparecimento das novas tabelas e ábacos de dimensionamento de acordo com o Eurocódigo 2, realizadas pelos Professores Helena Barros e Joaquim Figueiras.

As alterações realizadas ao nível desta rotina assentam nas diferenças entre as tabelas e ábacos recentes e os anteriores que consiste numa pequena alteração relativa a um coeficiente de 0,85 que representaria a fadiga do betão ao longo do tempo ($0,85 \cdot f_{cd}$) e que o Eurocódigo 2 não o considera (f_{cd}) e nos valores mínimos regulamentares de armaduras.

No que à face superior da viga diz respeito esta sub-rotina é chamada 3 vezes por forma a uniformizar armaduras nos apoios entre diferentes tramos de viga.

- DIMVIG

Nesta sub-rotina trata-se a selecção de armadura (diâmetros e número de varões) a utilizar na secção da viga para a quantidade de aço calculado em ARMVIG.

As principais diferenças nesta Sub-Rotina relativa aos diferentes regulamentos consistem basicamente na diferença de limites máximos e mínimos de espaçamentos entre armaduras e espaçamentos máximos permitidos.

- SUPRES

As diferenças regulamentares dos diferentes regulamentos em questão relativas à supressão de armaduras superiores residem nos diferentes comprimentos de amarração dos varões longitudinais calculados, na Sub-Rotina DISTAS.

- DISTAS

A Sub-Rotina DISTAS, chamada pela Sub-Rotina SUPRES, calcula as distâncias de supressão de armaduras Superiores

- SOBREP

Esta Sub-Rotina compatibiliza a sobreposição de armaduras, verificando a sobreposição e interrupção das mesmas, de acordo com os regulamentos expressos anteriormente, no capítulo 3.

Para a Face Inferior da Viga encontramos as seguintes Sub-Rotinas:

- ARMVIG

Esta Sub-Rotina calcula, como mencionado anteriormente, a percentagem de armadura mínima, máxima e de cálculo para vigas usando expressões simplificadas.

No que à face inferior diz respeito esta sub-rotina apenas é chamada 2 vezes para garantir a uniformização da armadura que se estende até ao apoio de ambos os lados do apoio.

- DIMVIG

Nesta Sub-Rotina trata-se a selecção de armadura (diâmetros e número de varões) a utilizar na secção da viga para a quantidade de aço calculado em ARMVIG, de forma idêntica ao realizado para a face superior da viga

- SUPREI

As diferenças regulamentares relativas à supressão de armaduras inferiores residem nos diferentes comprimentos de amarração dos varões longitudinais calculados pelos diferentes regulamentos em questão, na Sub-Rotina DISTAI.

- DISTAI

A Sub-Rotina DISTAI, chamada pela Sub-Rotina SUPREI, calcula as distâncias de supressão de armaduras Inferiores de acordo com os regulamentos presentes no capítulo 3.

- SOBREP

Esta Sub-Rotina compatibiliza a sobreposição de armaduras, verificando a sobreposição e interrupção das mesmas, de acordo com os regulamentos expressos anteriormente, no capítulo 3.

Para o Esforço Transverso encontramos as seguintes Sub-Rotinas:

- TRANSV

Calcula a área de armadura de cálculo necessária para resistir ao esforço transverso, área essa que será posteriormente transformada em estribos, com diâmetros e espaçamentos definidos na Sub-Rotina ARMEST. Nesta Sub-rotina há grandes alterações, ao nível dos critérios existentes e os novos a implementar, no cálculo do esforço resistente da secção de betão e no cálculo da armadura de estribos mínima e de cálculo, como é possível confirmar nas tabelas comparativas presentes no capítulo 3.

- ARMEST

A Sub-Rotina ARMEST é chamada pela Sub-Rotina TRANSV e define diâmetros e espaçamentos dos estribos de acordo com as regulamentações.

4.1.2.2. Pilares

A Rotina principal de dimensionamento, **MAINPG**, encontra-se dividida em 3 rotinas denominadas **ESFRCS**, **MCOEF2** e **ENCURD**, que se encontram também divididas noutras sub-rotinas que serão sucintamente explicadas no seguimento deste subcapítulo.

Rotina ESFRCS.

Esta rotina calcula os esforços para cada solicitação e em cada direcção que actuam no pilar. Por forma a realizar o cálculo de esforços de forma metódica e organizada, recorre-se a outras sub-rotinas na rotina ESFRCS que são, por ordem de chamada, as seguintes:

- DADOS1P

Esta sub-rotina procede a leitura dos parâmetros fundamentais, entre eles o número de elementos, nós, etc.

- DADOSP

Esta sub-rotina realiza a leitura dos dados necessários para a análise de encurvadura. Entre estes dados encontrar-se-ão as leituras das propriedades das secções, leituras das barras da estrutura, leitura das coordenadas de cada nó, leitura dos comprimentos de cada elemento, etc.

- VALCMB

Esta sub-rotina realiza leitura dos ficheiros (.DIR) para cada pórtico, com uma leitura dos esforços para todas as acções, identificando e adaptando os esforços quando são casos de lajes fungiformes.

- MATESF

Esta sub-rotina ordena os esforços e realiza a Matriz de esforços correspondentes aos elementos.

- INICIAL

Esta sub-rotina calcula áreas e inércias das barras, faz a detecção dos elementos verticais (Pilares).

- GLOBAL

Esta sub-rotina constrói as Matrizes Globais.

- ORDENA

Esta sub-rotina ordena a Matriz Global em função das cotas das extremidades mais baixas dos pilares, identificando-os pelas ordenadas.

A Rotina MCOEF2 funciona apenas como escrita e armazenamento de dados que serão necessários posteriormente na Sub-Rotina ENCURD.

Rotina ENCURD

Esta sub-rotina, calcula os esforços adicionais referentes à encurvadura e realiza o cálculo das armaduras recorrendo, para isso, as seguintes sub-rotinas:

- NOCHAR

Esta sub-rotina possui pouco interesse no âmbito desta tese, pois a sua funcionalidade resume-se à transformação de valores para números inteiros.

- COMBIN

Esta sub-rotina calcula os valores de esforços e áreas de armaduras de cálculo para todas as combinações, recorrendo à sub-rotina FDESV, quando necessário, para o cálculo da área de armadura de cálculo para uma dada combinação.

- EXCENT

Esta sub-rotina verifica as dispensas ao cálculo da encurvadura. Calcula as excentricidades regulamentares e os esforços adicionais. Calcula ainda os momentos actuantes nas secções críticas.

- FDESV

Esta sub-rotina diz respeito ao cálculo da flexão composta desviada, devolvendo ao utilizador os valores das áreas de armadura de cálculo e mínimas, recorrendo às Sub-Rotinas auxiliares FCOMP e ARMIN.

A Sub-rotina auxiliar FCOMP realiza um cálculo à flexão composta, já com a excentricidade global.

A Sub-rotina auxiliar ARMIN realiza o cálculo das áreas de armaduras mínimas regulamentares.

- DPIL

Selecciona a armadura em função da área de aço necessária e a disposição desejada, distribuindo os varões pelas faces do pilar consoante a distribuição escolhida e/ou a direcção condicionante ou principal.

Dimensiona as cintas e o seu espaçamento.

Calcula o centro de gravidade da armadura.

Nota: Os anexos A4 e A5 mostram duas rotinas de dimensionamento, segundo REBAP e segundo o EC2, respectivamente.

5.

APLICAÇÃO A UM PROJECTO JÁ REALIZADO PELA NEWTON

5.1. PROJECTO DE UM EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL

O projecto no qual vai ser realizada a comparação de critérios de dimensionamento em alguns elementos estruturais refere-se ao edifício administrativo de uma estação de tratamento de águas residuais, identificada pelas imagens da Figura 66. Será estudado um pórtico do edifício administrativo.

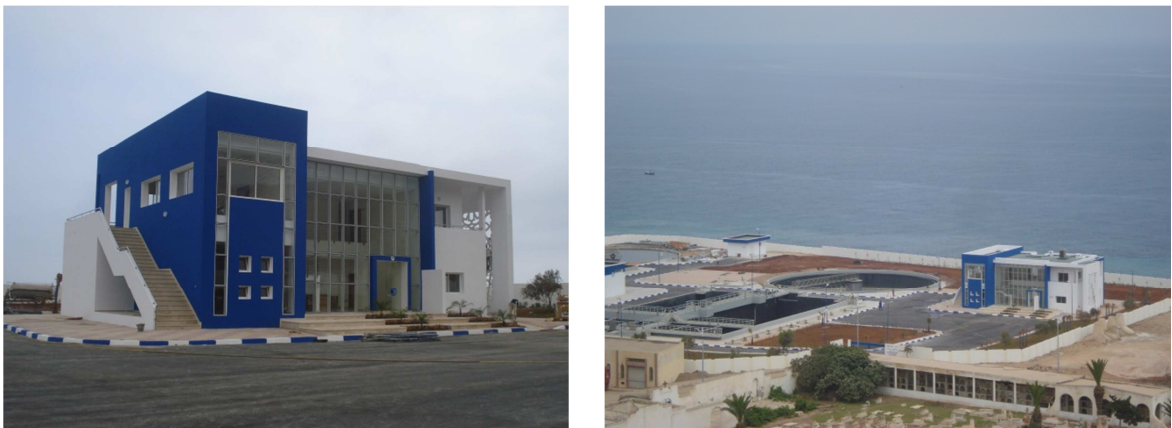


Figura 66 – Edifício administrativo de uma ETAR

5.2. ESFORÇOS E DEFORMADAS OBTIDOS ATRAVÉS DO PAC-PÓRTICOS

5.2.1. ESTRUTURA GLOBAL, PÓRTICO PORT4 E RESPECTIVAS SECÇÕES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A Figura 67 representa a identificação dos pórticos na janela central, a estrutura global na janela no canto inferior esquerdo e alçado 4 na janela do canto inferior direito. A Figura 68 representa o alçado 4 e a Figura 69 mostra as secções dos elementos estruturais do pórtico PORT4. Foi escolhido este pórtico devido às vigas possuírem diferentes secções.

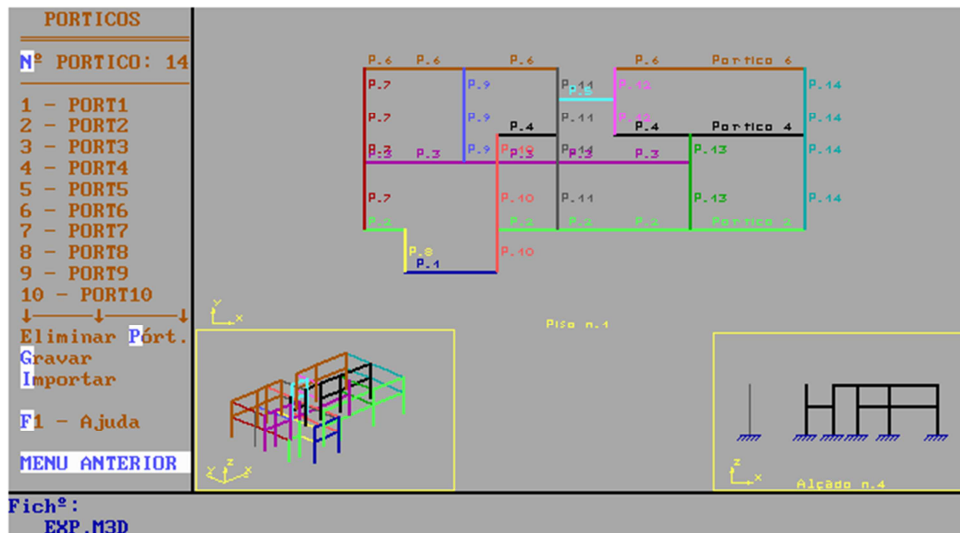


Figura 67 – Estrutura Global e Identificação dos Pórticos.

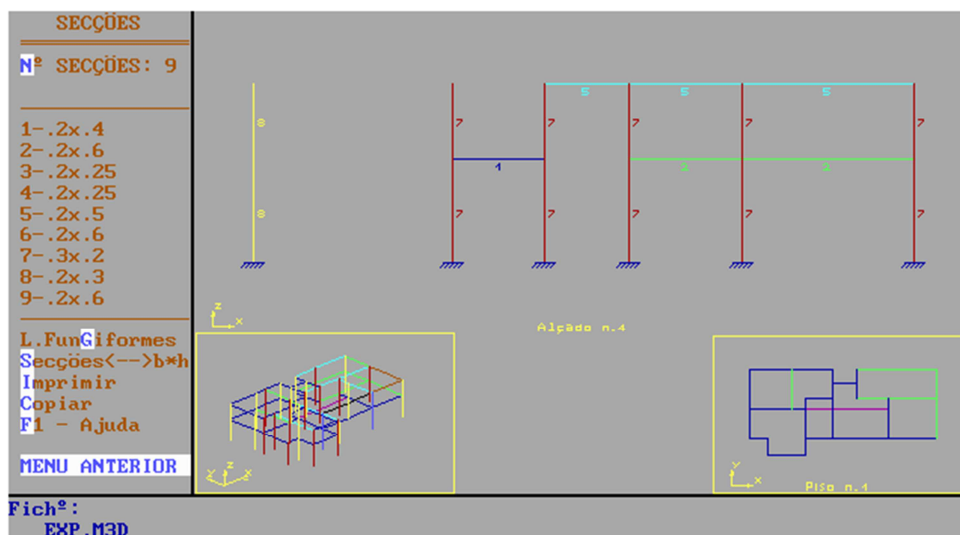


Figura 68 – Alçado nº4

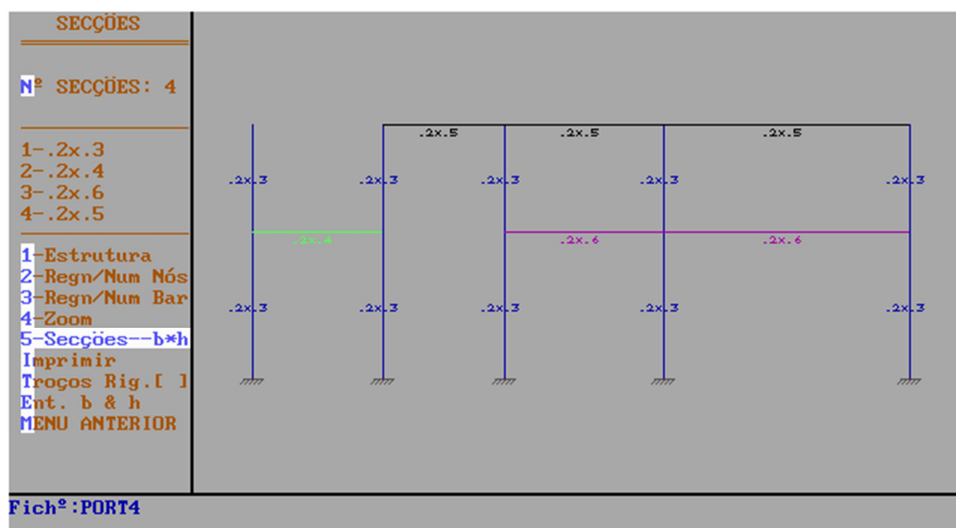


Figura 69 – Pórtico PORT4, secções

5.2.2. ACÇÕES

Neste ponto iremos mostrar as acções actuantes no pórtico mais concretamente as acções G, Q, Vento na direcção X e acção Sísmica.

5.2.2.1. Repartição das cargas uniformes aplicadas nas lajes nas vigas em que se apoiam

- LAJES DO PRIMEIRO PISO

A Figura 70 mostra a repartição das cargas uniformes aplicadas nas lajes do primeiro piso para as vigas.

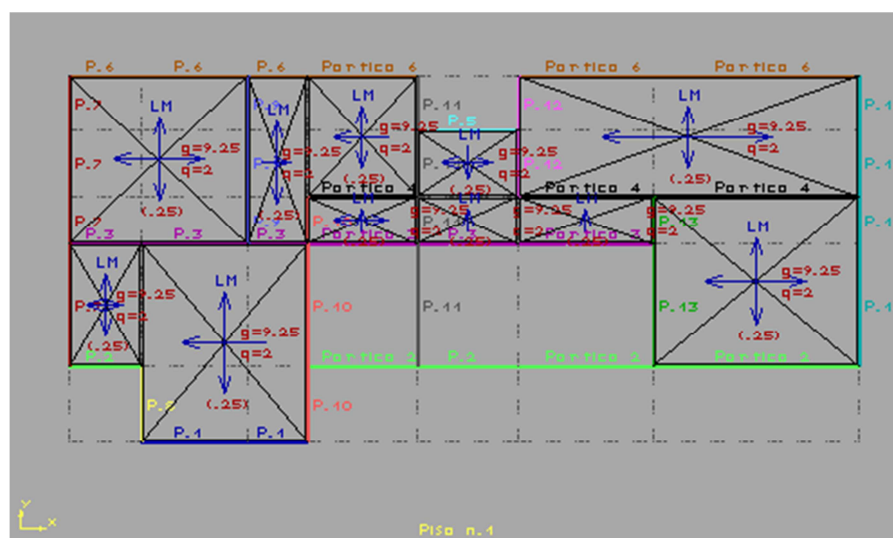


Figura 70 – Repartição das cargas aplicadas nas lajes do primeiro piso.

- LAJES DO SEGUNDO PISO

A Figura 71 é análoga à anterior mas referente ao segundo piso.

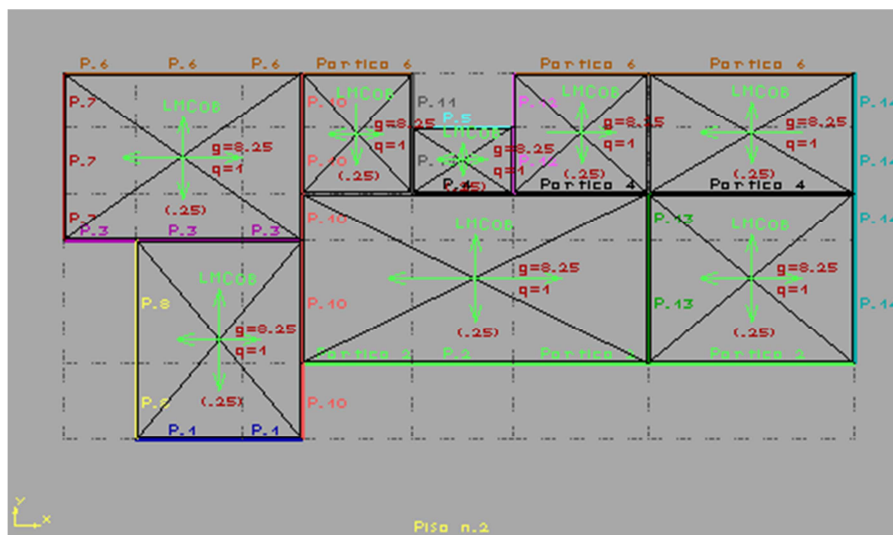


Figura 71 – Repartição das cargas aplicadas nas lajes do segundo piso.

5.2.2.2. Acção G

Nesta secção encontram-se representadas, na Figura 72, as cargas permanentes associadas ao peso próprio dos elementos estruturais, nomeadamente lajes e vigas.

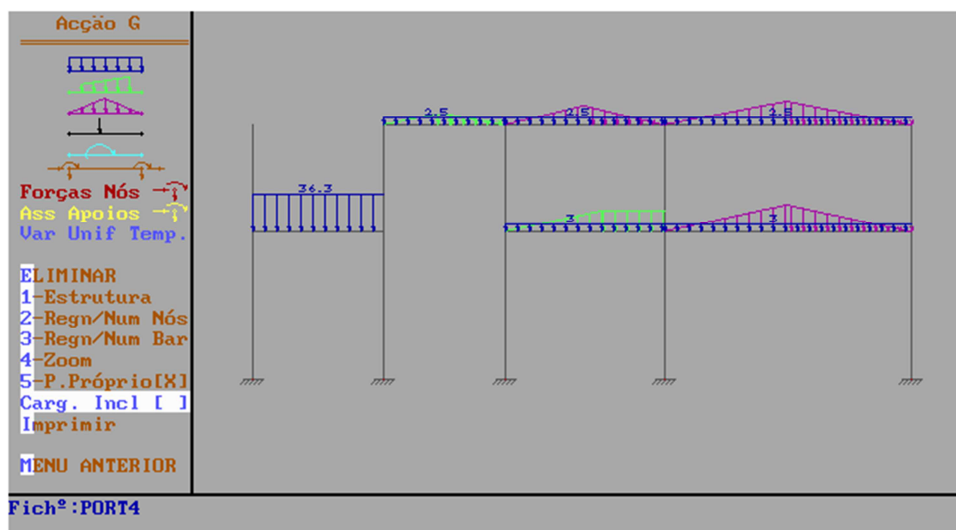


Figura 72 – Acção G

5.2.2.3. Acção Q

Nesta secção encontram-se representadas, na Figura 73, as cargas associadas às sobrecargas nas lajes.

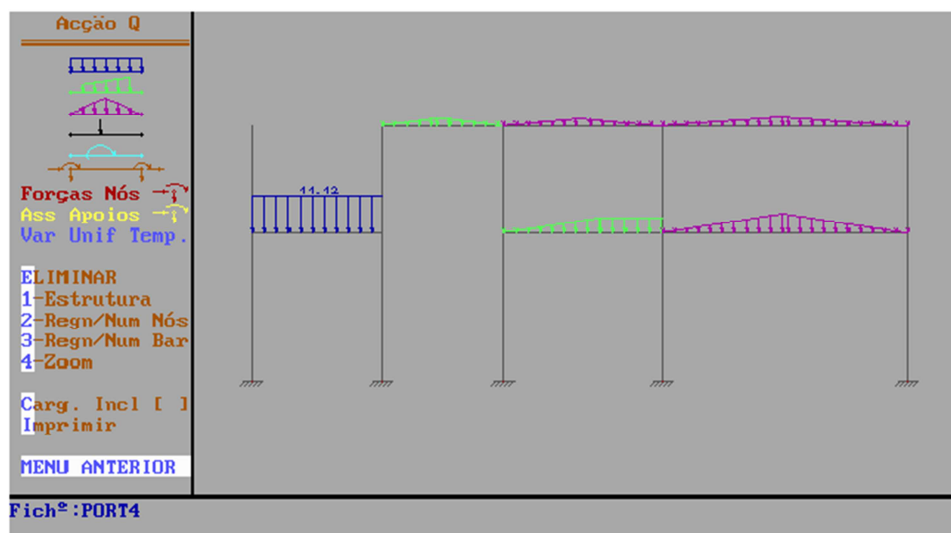


Figura 73 – Acção Q

5.2.2.4. Acção Vento X

Após o cálculo estático de estruturas tridimensionais de edifícios sob acções horizontais, obtiveram-se os seguintes resultados para o Vento, ver Figura 74.

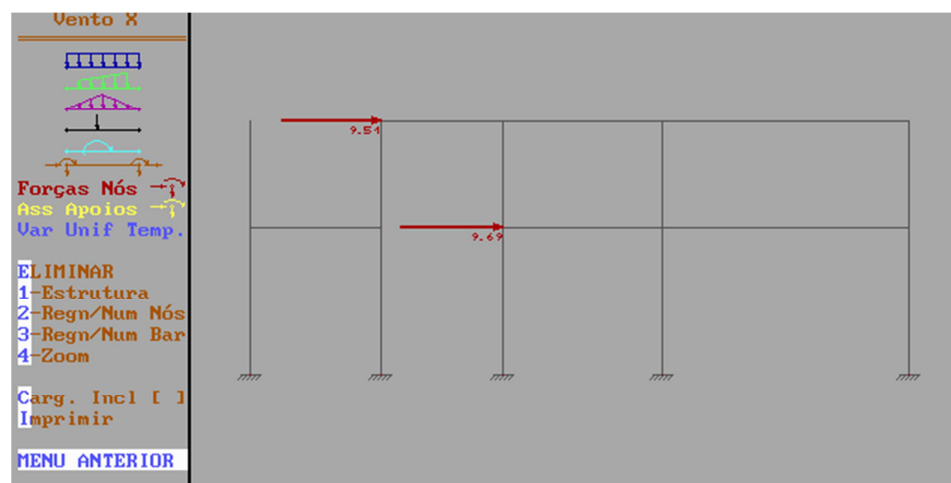


Figura 74 – Acção Vento X

5.2.2.5. Acção Sísmica

Após o cálculo dinâmico de estruturas tridimensionais com recurso a um modelo de 3 graus de liberdade por piso, obtiveram-se os seguintes resultados para o Sismo, ver Figura 75.

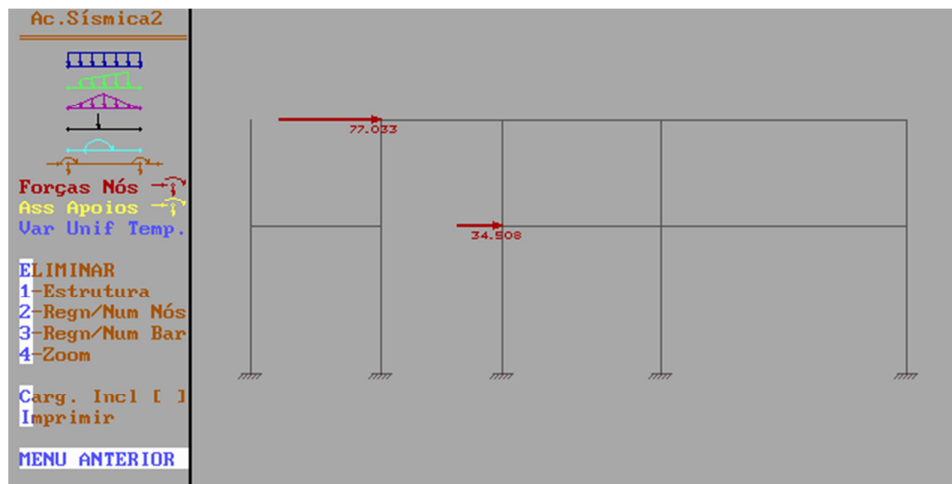


Figura 75 – Acção Sísmica

5.2.3. DEFORMADAS NO PÓRTICO PORT4

As Figuras 76, 77, 78 e 79 mostram as deformadas devidas às acções G, Q, Vento X e acção sísmica respectivamente.

5.2.3.1. Deformada devido a acção G

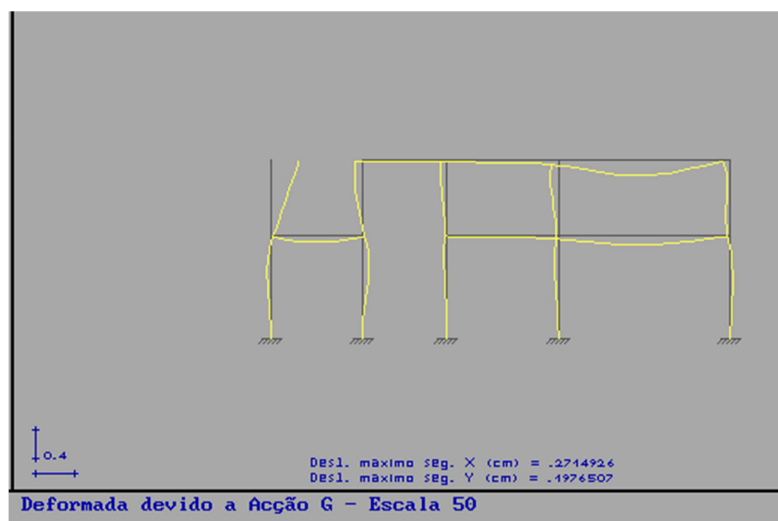


Figura 76 – Deformada devido à acção G

5.2.3.2. Deformada devido a acção Q

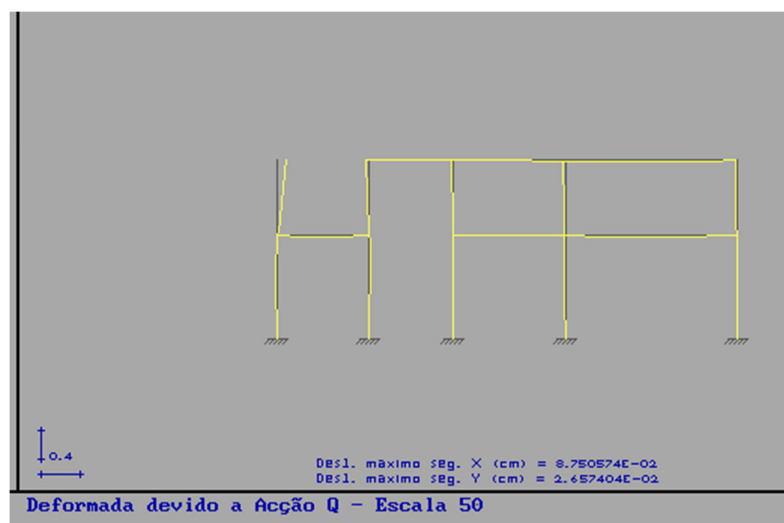


Figura 77 – Deformada devido à acção Q

5.2.3.3. Deformada devido a acção Vento X.

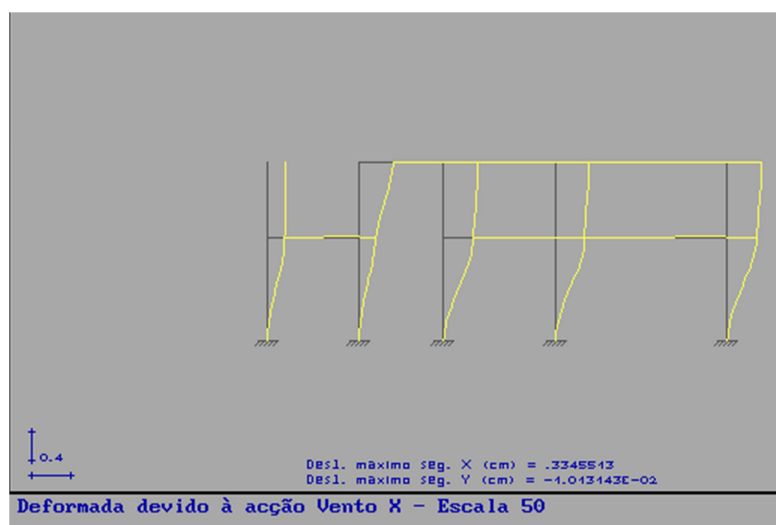


Figura 78 – Deformada devido à acção do Vento na direcção X

5.2.3.4. Deformada devido a acção sísmica

A deformada devido à acção sísmica encontra-se a uma menor escala devido aos seus maiores deslocamentos que os anteriores casos de carga, não sendo necessário o recurso a escalas elevadas para conseguir perceber o funcionamento do pórtico.

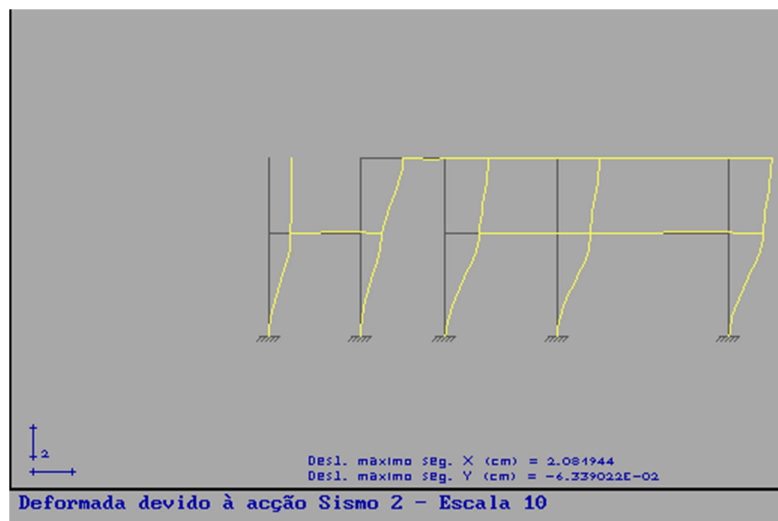


Figura 79 – Deformada devido à acção Sísmica

5.2.4. DIAGRAMAS ENVOLVENTES DE ESFORÇOS.

Neste ponto mostram-se os diagramas envoltentes das combinações de acções definidas, devolvidos pelo PAC-Pórticos para cada piso para Vigas e Pilares, ilustrados pelas Figuras.

5.2.4.1. Vigas – Diagrama de Momentos Flectores 1º Piso

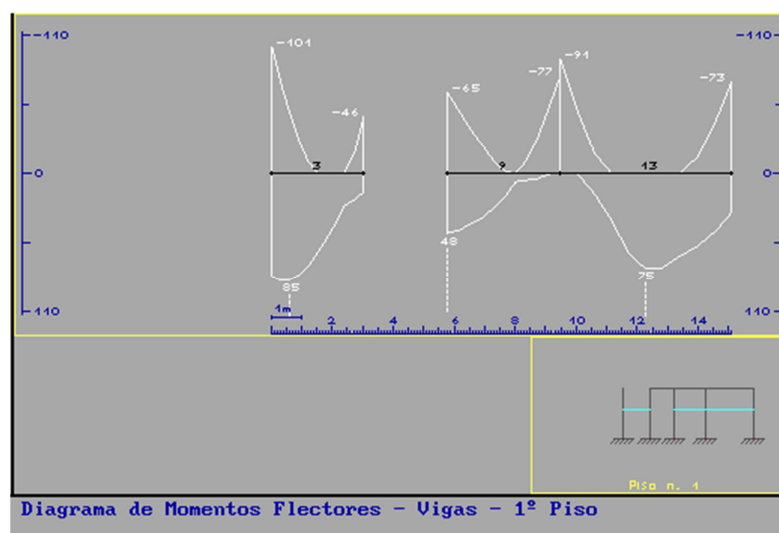


Figura 80 – Envoltente de Momentos Flectores 1º Piso – Vigas

5.2.4.2. Vigas – Diagrama de Momentos Flectores 2º Piso

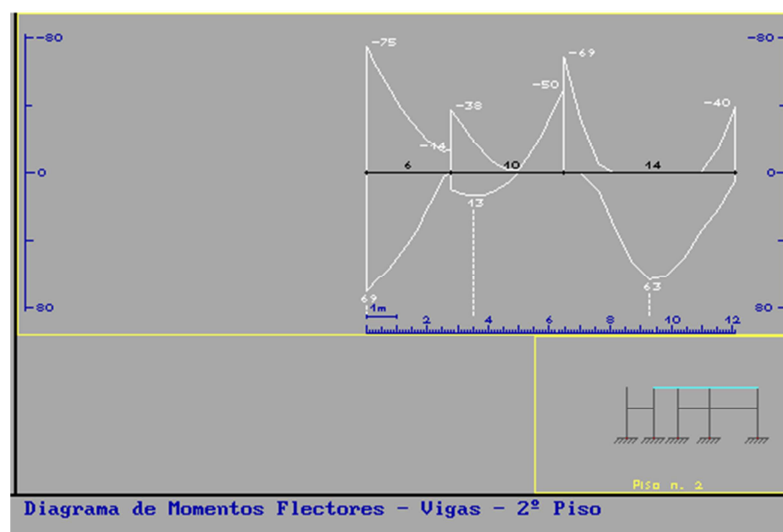


Figura 81 – Envoltente de Momentos Flectores 2º Piso – Vigas

5.2.4.3. Vigas – Diagrama de Esforço Transverso 1º Piso.

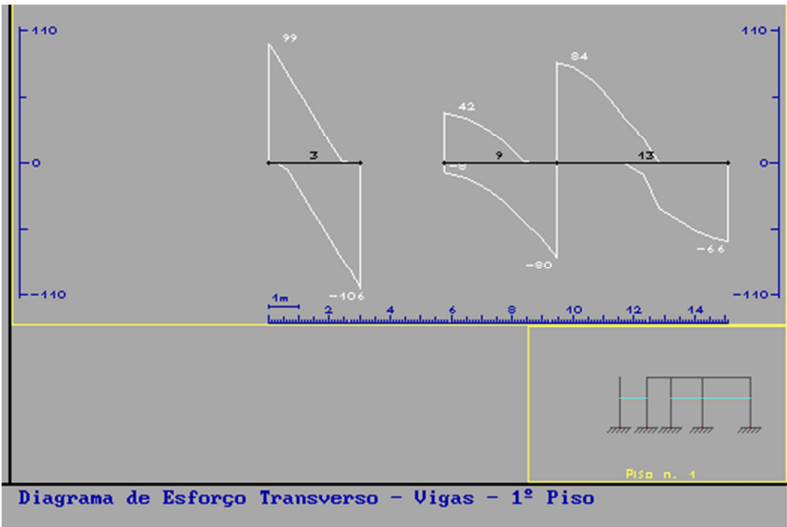


Figura 82 – Envolvente de Esforço Transverso 1º Piso - Vigas

5.2.4.4. Vigas – Diagrama de Esforço Transverso 2º Piso.

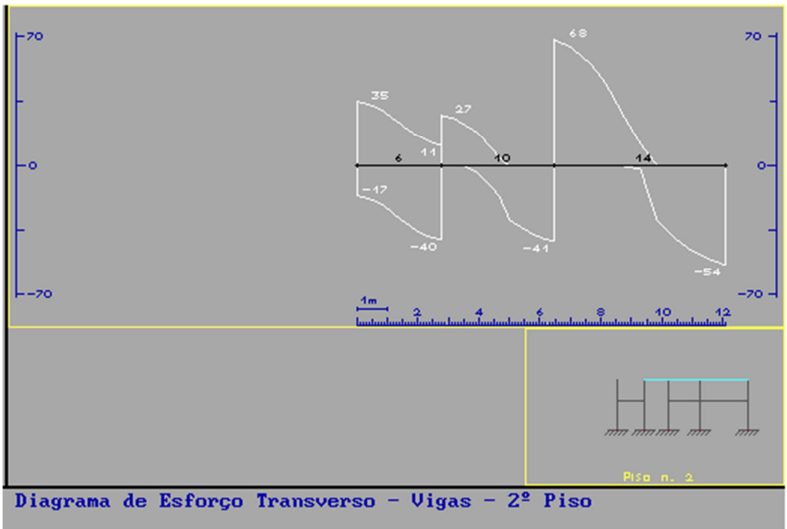


Figura 83 – Envolvente de Esforço Transverso 2º Piso – Vigas

5.2.4.5. Pilares – Valores dos Esforços Axiais

A Figura 84 mostra a numeração das barras constituintes do pórtico PORT4.

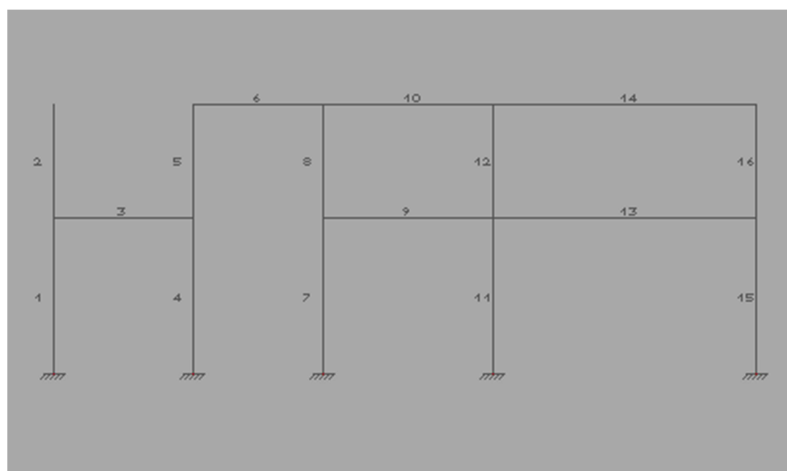


Figura 84 – Numeração das barras do pórtico PORT4

A Figura 85 mostra os valores dos esforços finais nas barras para a combinação com maiores valores de esforços axiais nos pilares.

ESFORÇOS FINAIS NAS BARRAS						
BARRA	MOMENTO		FORÇA TRANSVERSAL		FORÇA AXIAL	
	Me (KN.m)	Md (KN.m)	Ve (KN)	Vd (KN)	Ne (KN)	Nd (KN)
1	10.694	19.142	6.416	-6.416	99.173	-99.173
2	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3	-19.142	17.205	-99.173	-97.882	6.416	-6.416
4	-6.200	-14.676	-4.489	4.489	114.041	-114.041
5	-2.529	8.985	1.927	-1.927	16.159	-16.159
6	-8.985	11.242	-16.159	-17.771	-3.778	3.778
7	9.892	10.534	4.393	-4.393	71.441	-71.441
8	9.602	8.743	5.476	-5.476	42.284	-42.284
9	-20.136	59.112	-29.158	-73.605	-6.898	6.898
10	-19.985	47.419	-24.512	-39.545	1.698	-1.698
11	11.164	13.103	5.219	-5.219	265.964	-265.964
12	18.110	20.291	11.463	-11.463	107.308	-107.308
13	-90.326	23.585	-85.051	-61.426	-13.142	13.142
14	-67.710	23.614	-67.763	-52.154	13.161	-13.161
15	3.019	-3.109	-.019	.019	113.580	-113.580
16	-20.476	-23.614	-13.161	13.161	52.154	-52.154

Figura 85 – Esforços finais nas barras para uma combinação de acções

5.2.4.6. Pilares – Diagrama de Esforço Transverso

Os valores dos esforços não se encontram representados nas Figura 86 e 87, sendo possível visualizar um valor aproximado com recurso à escala no canto inferior da figura. Os valores exactos encontram-se mais à frente, no ponto 5.4 deste trabalho, referente ao dimensionamento de pilares.

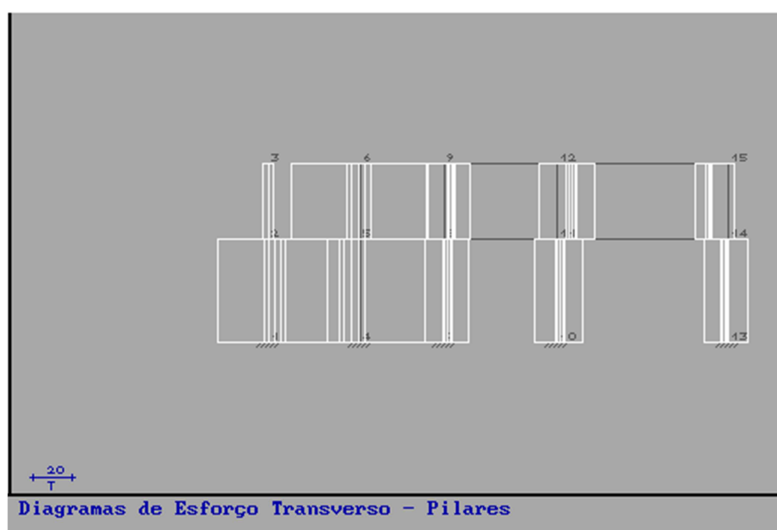


Figura 86 – Envolvente de Esforço Transverso - Pilares

5.2.4.7. Pilares – Diagrama de Momentos Flectores

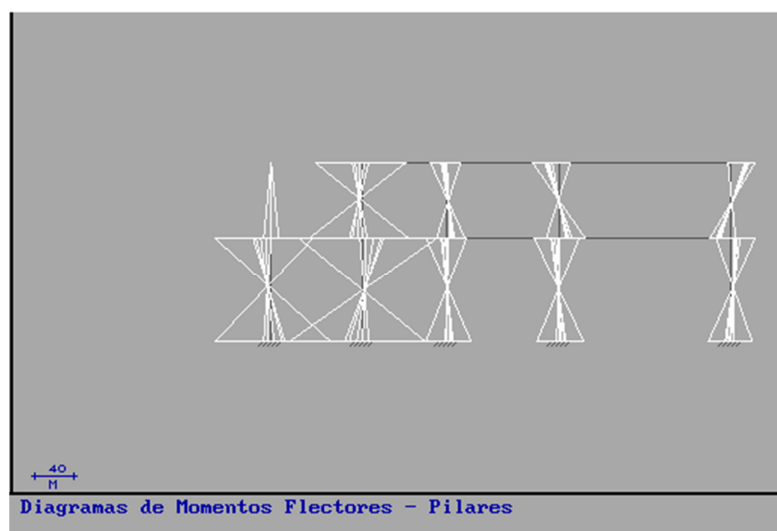


Figura 87 – Envolvente de Momentos Flectores - Pilares

5.3. DIMENSIONAMENTO DO PÓRTICO – VIGAS

5.3.1. DIMENSIONAMENTO REBAP

5.3.1.1. Ficheiro de texto com valores dos esforços e áreas de aço necessárias.

Pórtico PORT4

CÁLCULO DA ARMADURA DAS VIGAS DE SECÇÃO RECT. A FLEXÃO SIMPLES

Materiais : Aço A 500 e Betão B 35
 $d1 = .04$ (m) $d2 = .04$ (m) $B \cdot H$ (cm²)
 X = Distância da secção à extremidade esquerda da barra (m)
 $As1$ = Armadura de tracção (cm²)
 $As2$ = Armadura de compressão (cm²)

BARRA	B	H	X	Msd (KN*m)	Mred	As1	e	As2
3	20	40	0.00	-100.08	0.193	7.39		0.00
3	20	40	0.60	85.08	0.164	6.12		0.00
3	20	40	3.00	-45.77	0.088	3.12		0.00
9	20	60	0.00	-64.58	0.051	2.77		0.00
9	20	60	0.00	48.18	0.038	2.05		0.00
9	20	60	3.65	-76.96	0.061	3.32		0.00
13	20	60	0.00	-90.02	0.072	3.91		0.00
13	20	60	2.83	75.24	0.060	3.24		0.00
13	20	60	5.65	-72.45	0.058	3.12		0.00
6	20	50	0.00	-74.77	0.088	3.98		0.00
6	20	50	0.00	69.92	0.083	3.71		0.00
6	20	50	2.80	-13.27	0.016	0.68		0.00
10	20	50	0.00	-37.31	0.044	1.94		0.00
10	20	50	0.73	13.28	0.016	0.68		0.00
10	20	50	3.65	-49.86	0.059	2.61		0.00
14	20	50	0.00	-68.26	0.081	3.62		0.00
14	20	50	2.83	63.06	0.075	3.34		0.00
14	20	50	5.65	-39.11	0.046	2.04		0.00

Este ficheiro com a extensão *.ARM não possui carácter editável, apenas armazena e permite a leitura ao utilizador dos valores dos Momentos Flectores negativos nos apoios e do Momento Flector positivo máximo no vão, identificando a posição (X). Calcula os respectivos momentos reduzidos e áreas de aço necessárias a respeitar, segundo o REBAP, para os esforços aplicados. Este ficheiro acaba por ser a base do ficheiro *.VCD que será tratado no ponto seguinte com carácter editável onde já estão sugeridos diâmetros e números de varões relativos às áreas de armaduras de cálculo já considerando a armadura mínima.

5.3.1.2. Ficheiro de texto editável com as disposições de Armaduras em Vigas

Todo o dimensionamento realizado pelo PAC-Pórticos é escrito e armazenado num ficheiro de texto com extensão *.VCD, ilustrado em baixo. Este ficheiro é editável para que o utilizador possa efectuar alterações finais que ache pertinentes. Este ficheiro é a base para a criação do ficheiro de desenho com a extensão *.DXF que será tratado no ponto 5.3.1.3.

Pórtico PORT4

BARRA	TIPO ARM.	A1 d1	A2 d2	A vão -----	A3 d3	A4 d4
PISO = 1 []						
3	AS	2φ12+ 3φ16 1.65	2φ12+ 1φ16 -2.00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	3φ12+ 0φ 0 -1.05
	AI	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	4φ16+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ16+ 0φ 0 .35
	EST.	φ 6 // .150 .70 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .150 .80 (2)
9	AS	3φ12+ 0φ 0 1.50	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	4φ12+ 0φ 0 1.55
	AI	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	3φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 2.25
	EST.	φ 6 // .300 .00 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 .00 (2)
13	AS	4φ12+ 0φ 0 1.75	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	3φ12+ 0φ 0 1.55
	AI	2φ12+ 0φ 0 1.05	0φ 0+ 0φ 0 .00	3φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00
	EST.	φ 6 // .300 .00 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 .00 (2)
PISO = 2 []						
6	AS	4φ12+ 0φ 0 2.05	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00
	AI	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	4φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 .55
	EST.	φ 6 // .300 .00 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 .00 (2)
10	AS	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	4φ12+ 0φ 0 1.25
	AI	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00
	EST.	φ 6 // .300 .00 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 .00 (2)
14	AS	4φ12+ 0φ 0 1.50	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	3φ12+ 0φ 0 .65
	AI	2φ12+ 0φ 0 1.05	0φ 0+ 0φ 0 .00	3φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 .50
	EST.	φ 6 // .300 .00 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .300 .00 (2)

Num-comp. b x h	M O M E N T O S			T R A N S V E R S O S		
	Ext.Esq.	Vão	Ext.Dir.	Ext.Esq.	Vão	Ext.Dir.
	Asd - Armadura de cálculo As - Armadura adoptada			Asw/s- Armadura de cálculo As/s - Armadura adoptada		
PISO= 1						
3(3.00) .20 x .40	7.62 8.29	6.32 8.04	3.18 3.39	2.31 3.73	1.60 1.87	2.64 3.73
9(3.65) .20 x .60	3.18 3.39	2.05 3.39	3.96 4.52	1.60 1.87	1.60 1.87	1.60 1.87
13(5.65) .20 x .60	3.96 4.52	3.27 3.39	3.15 3.39	1.60 1.87	1.60 1.87	1.60 1.87
PISO= 2						
6(2.80) .20 x .50	4.07 4.52	3.78 4.52	1.95 2.26	1.60 1.87	1.60 1.87	1.60 1.87
10(3.65) .20 x .50	1.95 2.26	1.10 2.26	3.69 4.52	1.60 1.87	1.60 1.87	1.60 1.87
14(5.65) .20 x .50	3.69 4.52	3.39 3.39	2.04 3.39	1.60 1.87	1.60 1.87	1.60 1.87

O Ficheiro *.VCD, possui elevada importância pois armazena, permite a leitura e alteração dos valores obtidos pelo dimensionamento realizado pelo PAC-Pórticos e funciona como base para o desenho dos elementos estruturais Vigas do Pórtico relacionado.

5.3.1.3. Desenho em AutoCAD da disposição de Armaduras em Vigas

A capacidade de desenho que o PAC-Pórticos nos proporciona é uma ferramenta de elevada qualidade e de grande utilidade. O ficheiro de desenho com a extensão *.DXF, como mencionado anteriormente, pode ser visualizado utilizando o conhecido programa informático AutoCAD. A Figura 88 mostra o resultado final para o caso explorado neste capítulo, vigas pertencentes ao Pórtico PORT4.

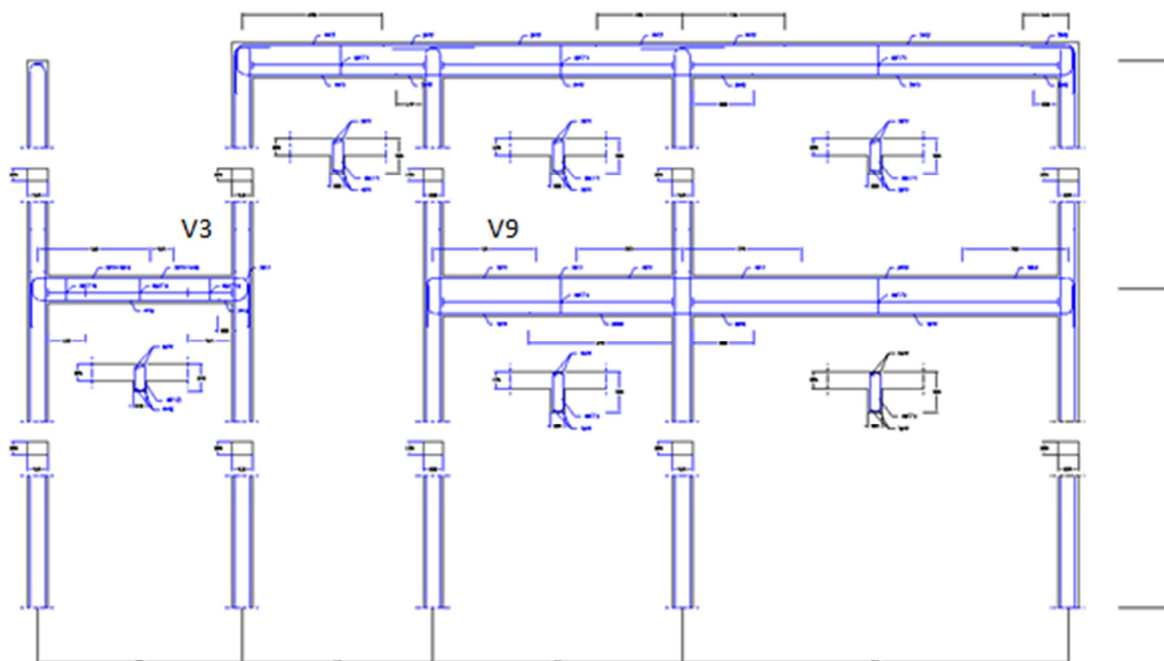


Figura 88 – Ficheiro *.DXF – REBAP - Armaduras Vigas.

Identificaram-se algumas lacunas no algoritmo de desenho que se pretende corrigir ou melhorar, entre elas, o facto de nas vigas com varões de diferentes diâmetros, o maior diâmetro não ficar obrigatoriamente nas faces exteriores da viga, ou no caso de pórticos como o que se encontra representado na Figura 88, em que não existe continuidade entre a Viga 3 e a Viga 9. O PAC-Pórticos condiciona a armadura da extremidade direita da viga 3 considerando a armadura da extremidade esquerda da viga 9 desnecessariamente. Mais à frente poderá comparar-se o ficheiro *.DXF produzido através da nova algoritmia segundo o EC2 e verificar as alterações produzidas.

Este Ficheiro *.DXF encontra-se anexado, à escala, mais propriamente no Anexo 6.

*Nota: Os ficheiro *.DXF, encontram-se em anexo para uma melhor visualização dos mesmos.*

5.3.2. DIMENSIONAMENTO EC2

5.3.2.1. Ficheiro de texto com valores dos esforços actuantes e áreas de aço necessárias.

Neste ponto será retratado o ficheiro *.ARM obtido segundo a algoritmia adaptada ao Eurocódigo 2

Pórtico PORT4 - Eurocódigo 2

CÁLCULO DA ARMADURA DAS VIGAS DE SECÇÃO RECT. A FLEXÃO SIMPLES

Materiais : Aço S500 e Betão C30/35
 d1 = .04 (m) d2 = .04 (m) B*H (cm2)
 X= Distância da secção à extremidade esquerda da barra (m)
 As1 = Armadura de tracção (cm2)
 As2 = Armadura de compressão (cm2)

BARRA	B	H	X	Msd (KN*m)	Mred	As1	e	As2
3	20	40	0.00	-100.08	0,157	7,20		0.00
3	20	40	0.60	85.08	0,133	5,99		0.00
3	20	40	3.00	-45.77	0,072	3,05		0.00
9	20	60	0.00	-64.58	0,043	2,72		0.00
9	20	60	0.00	48.18	0,032	2,01		0.00
9	20	60	3.65	-76.96	0,051	3,26		0.00
13	20	60	0.00	-90.02	0,059	3,85		0.00
13	20	60	2.83	75.24	0,050	3,19		0.00
13	20	60	5.65	-72.45	0,048	3,06		0.00
6	20	50	0.00	-74.77	0,073	3,92		0.00
6	20	50	0.00	69.92	0,068	3,65		0.00
6	20	50	2.80	-13.27	0,013	0,66		0.00
10	20	50	0.00	-37.31	0,036	1,89		0.00
10	20	50	0.73	13.28	0,013	0,66		0.00
10	20	50	3.65	-49.86	0,048	2,56		0.00
14	20	50	0.00	-68.26	0,066	3,56		0.00
14	20	50	2.83	63.06	0,061	3,27		0.00
14	20	50	5.65	-39.11	0,038	1,99		0.00

5.3.2.2. Ficheiro Editável com valores de Armaduras

Pórtico PORT4 - Eurocódigo 2

BARRA	TIPO	A1	A2	A vão	A3	A4
ARM.		d1	d2	-----	d3	d4
PISO = 1 []						
3	AS	2φ16+ 3φ12 1.65	0φ 0+ 0φ 0	2φ16+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00
	AI	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ16+ 2φ12 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ16+ 0φ 0 .35
	EST.	φ 6 // .150 .70 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .150 .80 (2)
.250 .250 1 1 0 0						
9	AS	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ16+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00
	AI	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00
	EST.	φ 6 // .250 .00 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 .00 (2)
.250 .250 1 1 0 0						
13	AS	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ16+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00
	AI	2φ12+ 0φ 0 1.05	0φ 0+ 0φ 0 .00	3φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00
	EST.	φ 6 // .250 .00 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 .00 (2)
.250 .250 1 1 0 0						
PISO = 2 []						
6	AS	4φ12+ 0φ 0 2.00	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00
	AI	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	4φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 .60
	EST.	φ 6 // .250 .00 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 .00 (2)
.250 .250 1 1 0 0						
10	AS	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	4φ12+ 0φ 0 1.50
	AI	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	0φ 0+ 0φ 0 .00
	EST.	φ 6 // .250 .00 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 .00 (2)
.250 .250 1 1 0 0						
14	AS	4φ12+ 0φ 0 1.75	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	3φ12+ 0φ 0 .75
	AI	2φ12+ 0φ 0 1.00	0φ 0+ 0φ 0 .00	3φ12+ 0φ 0 -----	0φ 0+ 0φ 0 .00	2φ12+ 0φ 0 .75
	EST.	φ 6 // .250 .00 (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 ----- (2)	φ 0 //0.000 00.00	φ 6 // .250 .00 (2)
.250 .250 1 1 0 0						

Num-comp. b x h	M O M E N T O S			T R A N S V E R S O S		
	Ext.Esq.	Vão	Ext.Dir.	Ext.Esq.	Vão	Ext.Dir.
	Asd - Armadura de cálculo As - Armadura adoptada			Asw/s- Armadura de cálculo As/s - Armadura adoptada		
PISO = 1						
3(3.00) .20 x .40	7.20 7.41	5.99 6.28	3.05 4.02	3.410 3.770	2.140 2.260	3.660 3.770
9(3.65) .20 x .60	2.72 4.02	2.01 2.26	3.26 4.02	1.890 2.260	1.890 2.260	1.890 2.260
13(5.65) .20 x .60	3.85 4.02	3.19 3.39	3.06 4.02	1.890 2.260	1.890 2.260	1.890 2.260
PISO = 2						
6(2.80) .20 x .50	3.92 4.52	3.65 4.52	1.57 2.26	1.890 2.260	1.890 2.260	1.890 2.260
10(3.65) .20 x .50	1.89 2.26	1.57 2.26	2.56 4.52	1.890 2.260	1.890 2.260	1.890 2.260
14(5.65) .20 x .50	3.56 4.52	3.27 3.39	1.99 3.39	1.890 2.260	1.890 2.260	1.890 2.260

COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS DE ARMADURAS EM VIGAS - REBAP vs.EC2

ARMADURAS LONGITUDINAIS

Ao realizar a comparação nas vigas, verificou-se que as áreas de armaduras de cálculo segundo o Eurocódigo 2 são ligeiramente mais baixas que as áreas de armaduras de cálculo segundo o REBAP. Realizou-se então uma estimativa percentual das diferenças REBAP vs. EC2.

A maior diferença verificou-se na barra 6 para $X=2.80$ com os seguintes valores:

$A_{S1} = 0.68 \text{ cm}^2 \rightarrow$ Segundo REBAP.

$A_{S1} = 0.66 \text{ cm}^2 \rightarrow$ Segundo EC2.

O que dá uma diferença na ordem dos -2.941% .

A menor diferença verificou-se na mesma barra 6 para $X=0,00$ com os seguintes valores:

$A_{S1} = 3.98 \text{ cm}^2 \rightarrow$ Segundo REBAP.

$A_{S1} = 3.92 \text{ cm}^2 \rightarrow$ Segundo EC2.

O que dá uma diferença na ordem dos -1.508% .

A média das diferenças registadas ao longo de todo o pórtico ficou-se pelos -2.078% , com um desvio padrão de 0.45% .

ARMADURAS TRANSVERSAIS

Em relação às armaduras de esforço transversal notou-se, para este caso, que o EC2 estipula uma armadura mínima superior ao REBAP o que obrigou a uma diminuição do espaçamento destas armaduras nos casos onde apenas necessitava de armadura mínima de 300 mm para 250mm, como se pode verificar no ficheiro *.VCD.

5.3.2.3. Desenho em AutoCAD da disposição de Armaduras

Neste ponto mostra-se o ficheiro *.DXF realizado através dos critérios de dimensionamento assentes no Eurocódigo 2, ilustrado na Figura 89.

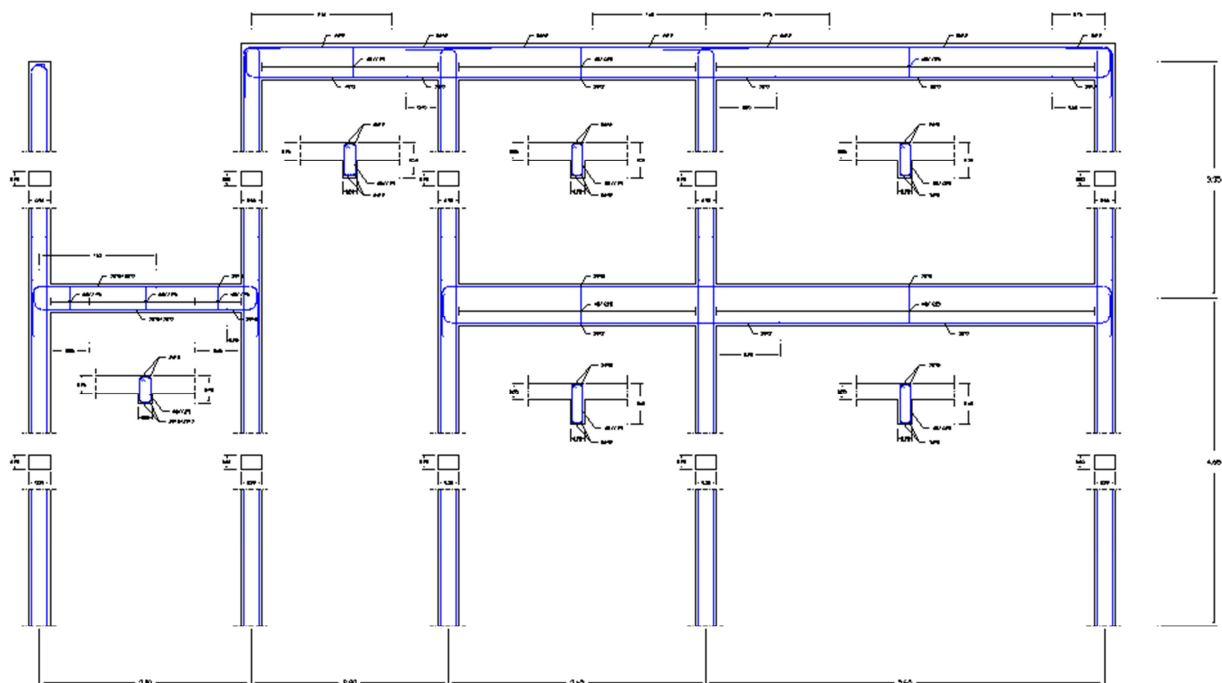


Figura 89 – Ficheiro *.DXF – EC2 - Armaduras Vigas.

Este ficheiro *.DXF encontra-se anexado, à escala, no anexo 7.

5.4. DIMENSIONAMENTO DO PÓRTICO – PILARES

5.4.1.DIMENSIONAMENTO SEGUNDO REBAP

5.4.1.1. Ficheiro de texto relativo ao dimensionamento de Pilares.

Este ficheiro devolve o dimensionamento das secções por pisos de todos os pilares, consultando a numeração da malha pode-se seleccionar apenas os elementos pertencentes ao Pórtico em análise (PORT4), como ilustrado na Figura 90, Os pontos da malha referentes ao pórtico 4 são respectivamente os pontos 28, 29, 30, 31 e 32. Para simplificação vamos considerar os Pilares P1, P2 P3, P4 e P5 para os pontos da malha 28, 29, 30, 31 e 32 respectivamente.

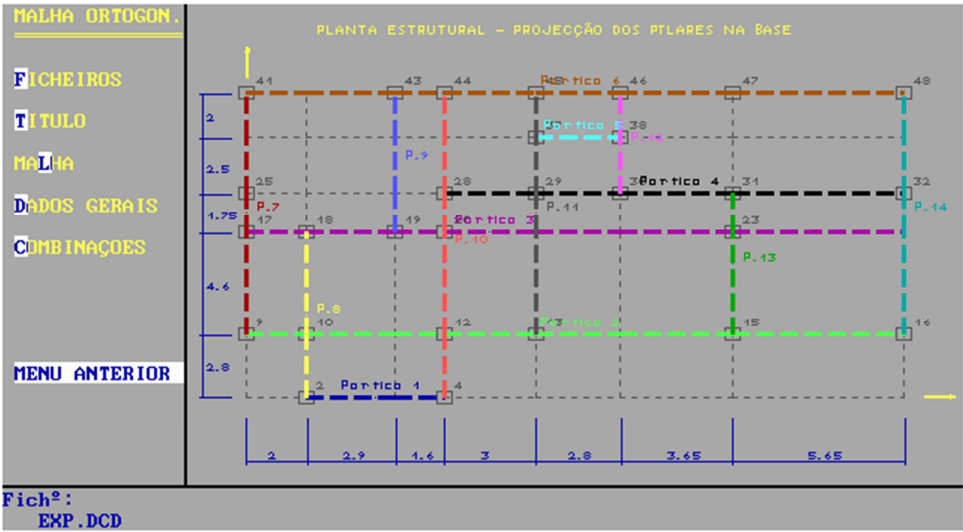


Figura 90 – Planta Estrutural – Projecção dos Pilares.

Ficheiro de texto com valores de cálculo, mínimos e efectivos de esforços e armaduras.

hoc

PILARES - ANALISE DA ENCURVADURA	B35	A500
----------------------------------	-----	------

PORTICOS			
DIRECCAO x (Nos Móveis)		DIRECCAO y (Nos Móveis)	
DESIGNACAO	PONTOS DA MALHA	DESIGNACAO	PONTOS DA MALHA
PORT1	2 4	PORT7	9 17 25 41
PORT2	9 10 12 13 15 16	PORT8	2 10 18
PORT3	17 18 19 20 23	PORT9	19 43
PORT4	28 29 30 31 32	PORT10	4 12 20 28 44
PORT5	37 38	PORT11	13 29 37 45
PORT6	41 43 44 45 46 47 48	PORT12	30 38 46
		PORT13	15 23 31
		PORT14	16 32 48

COMBINAÇÕES								
	DIRECÇÃO X				DIRECÇÃO Y			
	Ac. 1	Ac. 2	Ac. 3	Ac. 4	Ac. 1	Ac. 2	Ac. 3	Ac. 4
Comb. nº 1	1.4	1.5	0.9	0.0	1.4	1.5	0.0	0.0
Comb. nº 2	1.4	1.5	-0.9	0.0	1.4	1.5	0.0	0.0
Comb. nº 3	1.4	1.5	0.0	0.0	1.4	1.5	0.9	0.0
Comb. nº 4	1.4	1.5	0.0	0.0	1.4	1.5	-0.9	0.0
Comb. nº 5	1.4	1.0	1.5	0.0	1.4	1.0	0.0	0.0
Comb. nº 6	1.4	1.0	-1.5	0.0	1.4	1.0	0.0	0.0
Comb. nº 7	1.4	1.0	0.0	0.0	1.4	1.0	1.5	0.0

PILAR P1	b(m)	h(m)	l(m)	$\alpha 1x$	$\alpha 2x$	etax	lox(m)	Lambdax	$\alpha 1y$	$\alpha 2y$	etay	lo(m)y	Lambday	
PT. da MALHA- 28	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAX ----	EXCTx (cm)	ETAY -----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm ²)	LOCAL -----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.27	1.19	5.54	63.9	1.00	0.17	1.18	5.47	94.7	
Combinacao 6	227.	23.1	28.7	-0.5	-0.2	1.00	7.11	1.00	9.47	227.	44.9	21.6	8.25	Ext.Dir
Combinacao 2	236.	16.8	24.0	-0.5	-0.2	1.00	7.11	1.00	9.47	236.	40.7	22.5	7.61	Ext.Dir
Combinacao 7	232.	6.1	14.0	-7.7	-7.1	1.00	7.11	1.00	9.47	232.	30.6	29.1	7.71	Ext.Dir
Combinacao 4	224.	6.6	15.1	3.8	4.0	1.00	7.11	1.00	9.47	224.	31.1	25.2	6.80	Ext.Dir
As,calc= 8.25 cm ² (1.38%) : As,min= 3.60 cm ² : As,ef= 4 ϕ 20+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.20m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.27	99.00	2.08	6.97	80.5	0.17	0.02	1.03	3.44	59.6	
Combinacao 7	138.	0.0	0.0	-3.7	-3.8	1.00	10.43	1.00	4.96	138.	14.4	10.7	1.47	Ext.Dir
Combinacao 6	138.	-0.1	0.0	-0.1	0.2	1.00	10.43	1.00	4.96	138.	14.4	7.0	0.74	Ext.Dir
Combinacao 5	138.	0.1	0.0	-0.1	0.2	1.00	10.43	1.00	4.96	138.	14.4	7.0	0.74	Ext.Dir
Combinacao 4	143.	0.0	0.0	2.1	2.5	1.00	10.43	1.00	4.96	143.	14.9	9.6	1.19	Ext.Dir
As,calc= 1.47 cm ² (0.25%) : As,min= 3.60 cm ² : As,ef= 4 ϕ 12+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.14m)														

PILAR P2	b(m)	h(m)	l(m)	$\alpha 1x$	$\alpha 2x$	etax	lox(m)	Lambdax	$\alpha 1y$	$\alpha 2y$	etay	lo(m)y	Lambday	
PT. da MALHA- 29	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAX ----	EXCTx (cm)	ETAY -----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm ²)	LOCAL -----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.65	1.25	5.80	67.0	1.00	0.10	1.16	5.42	93.8	
Combinacao 5	196.	-28.2	-35.5	-0.5	-0.7	1.00	7.61	1.00	9.33	196.	50.4	19.0	9.01	Ext.Dir
Combinacao 1	203.	-21.2	-28.9	-0.5	-0.7	1.00	7.61	1.00	9.33	203.	44.4	19.7	7.98	Ext.Dir
Combinacao 7	178.	-8.7	-15.7	-8.5	-8.6	1.00	7.61	1.00	9.33	178.	29.2	25.2	7.06	Ext.Dir
Combinacao 3	192.	-9.5	-17.1	-5.3	-5.5	1.00	7.61	1.00	9.33	192.	31.7	23.4	6.73	Ext.Dir
As,calc= 9.01 cm ² (1.50%) : As,min= 3.60 cm ² : As,ef= 4 ϕ 20+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.20m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.65	0.18	1.12	3.77	43.5	0.10	0.14	1.04	3.47	60.1	
Combinacao 6	20.	-21.0	-9.6	0.6	1.6	0.00	0.00	1.00	5.01	20.	21.0	1.6	3.53	Ext.Esq
Combinacao 5	29.	7.9	16.5	0.6	1.6	1.00	4.37	1.00	5.01	29.	17.8	3.0	2.93	Ext.Dir
Combinacao 2	22.	-15.8	-4.2	0.7	1.7	1.00	4.37	1.00	5.01	22.	16.8	1.8	2.74	Ext.Esq
Combinacao 1	28.	1.5	11.5	0.7	1.7	1.00	4.37	1.00	5.01	28.	12.7	3.0	2.03	Ext.Dir
As,calc= 3.53 cm ² (0.59%) : As,min= 3.60 cm ² : As,ef= 4 ϕ 12+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.14m)														

PILAR P3	b(m)	h(m)	l(m)	$\alpha 1x$	$\alpha 2x$	etax	lox(m)	Lambdax	$\alpha 1y$	$\alpha 2y$	etay	lo(m)y	Lambday	
PT. da MALHA- 30	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAX ----	EXCTx (cm)	ETAY -----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm ²)	LOCAL -----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.23	1.19	5.51	63.6	1.00	0.24	1.19	5.52	95.5	
Combinacao 7	84.	2.9	3.9	-7.4	-6.3	1.00	7.06	1.00	9.60	84.	8.9	15.4	3.14	Ext.Esq
Combinacao 4	108.	3.2	4.2	5.7	6.1	1.00	7.06	1.00	9.60	108.	11.8	16.5	3.26	Ext.Dir
Combinacao 6	108.	9.5	9.9	0.8	1.4	1.00	7.06	1.00	9.60	108.	17.5	11.7	2.60	Ext.Dir
Combinacao 2	107.	7.1	7.8	0.8	1.4	1.00	7.06	1.00	9.60	107.	15.3	11.7	2.38	Ext.Dir
As,calc= 3.26 cm ² (0.54%) : As,min= 3.60 cm ² : As,ef= 4 ϕ 12+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.14m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.23	0.10	1.05	3.52	40.6	0.24	0.14	1.06	3.54	61.3	
Combinacao 6	62.	12.1	10.9	2.9	2.8	1.00	4.06	1.00	5.14	62.	14.7	6.1	2.08	Ext.Esq
Combinacao 2	61.	10.8	9.5	3.0	2.9	1.00	4.06	1.00	5.14	61.	13.3	6.2	1.86	Ext.Esq
Combinacao 4	59.	8.3	6.8	5.3	5.4	1.00	4.06	1.00	5.14	59.	10.7	8.4	1.91	Ext.Esq
Combinacao 7	52.	7.9	6.5	-0.9	-1.5	1.00	4.06	1.00	5.14	52.	10.0	3.6	1.09	Ext.Esq
As,calc= 2.08 cm ² (0.35%) : As,min= 3.60 cm ² : As,ef= 4 ϕ 12+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.14m)														

PILAR P4	b(m)	h(m)	l(m)	$\alpha 1x$	$\alpha 2x$	etax	lox(m)	Lambdax	$\alpha 1y$	$\alpha 2y$	etay	lo(m)y	Lambday	
PT. da MALHA- 31	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAx ----	EXCTx (cm)	ETAY -----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm ²)	LOCAL -----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.14	1.17	5.45	62.9	1.00	0.17	1.18	5.47	94.7	
Combinacao 7	282.	3.9	5.8	-10.4	-10.2	1.00	6.94	1.00	9.47	282.	25.4	36.9	8.65	Ext.Dir
Combinacao 6	262.	10.8	12.5	-1.7	-1.9	1.00	6.94	1.00	9.47	262.	30.7	26.7	6.82	Ext.Dir
Combinacao 3	287.	4.2	6.2	-7.0	-6.9	1.00	6.94	1.00	9.47	287.	26.1	34.1	7.95	Ext.Dir
Combinacao 2	274.	8.3	10.2	-1.7	-2.0	1.00	6.94	1.00	9.47	274.	29.3	27.9	6.85	Ext.Dir
As,calc= 8.65 cm ² (1.44%) : As,min= 3.60 cm ² : As,ef= 4φ20+ 0φ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (φ 6af. de0.20m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.14	0.14	1.04	3.49	40.3	0.17	0.05	1.03	3.46	59.9	
Combinacao 6	108.	21.1	23.2	-6.0	-6.8	1.00	4.03	1.00	4.99	108.	27.6	12.2	4.49	Ext.Dir
Combinacao 2	112.	19.5	21.7	-6.3	-7.1	1.00	4.03	1.00	4.99	112.	26.2	12.7	4.26	Ext.Dir
Combinacao 7	113.	15.4	17.6	-10.2	-11.4	1.00	4.03	1.00	4.99	113.	22.2	17.0	4.44	Ext.Dir
Combinacao 3	115.	16.2	18.4	-8.8	-9.9	1.00	4.03	1.00	4.99	115.	23.0	15.6	4.11	Ext.Dir
As,calc= 4.49 cm ² (0.75%) : As,min= 3.60 cm ² : As,ef= 4φ12+ 0φ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (φ 6af. de0.14m)														

PILAR P5	b(m)	h(m)	l(m)	$\alpha 1x$	$\alpha 2x$	etax	lox(m)	Lambdax	$\alpha 1y$	$\alpha 2y$	etay	lo(m)y	Lambday	
PT. da MALHA- 32	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAx ----	EXCTx (cm)	ETAY -----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm ²)	LOCAL -----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.36	1.20	5.60	64.7	1.00	0.03	1.15	5.37	93.0	
Combinacao 7	445.	-3.4	-8.8	-13.9	-15.9	1.00	7.23	1.00	9.20	445.	40.9	56.9	15.69	Ext.Dir
Combinacao 3	465.	-3.6	-9.2	-10.0	-12.1	1.00	7.23	1.00	9.20	465.	42.8	55.0	15.42	Ext.Dir
Combinacao 5	452.	-9.8	-14.5	-3.7	-5.6	1.00	7.23	1.00	9.20	452.	47.2	47.2	14.07	Ext.Dir
Combinacao 1	470.	-7.4	-12.6	-3.9	-5.9	1.00	7.23	1.00	9.20	470.	46.6	49.2	14.45	Ext.Dir
As,calc= 15.69 cm ² (2.62%) : As,min= 3.60 cm ² : As,ef= 4φ25+ 0φ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (φ 8af. de0.20m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.36	0.36	1.11	3.72	42.9	0.03	0.02	1.01	3.37	58.4	
Combinacao 7	222.	-20.3	-24.0	-18.4	-17.5	1.00	4.30	1.00	4.84	222.	33.6	28.3	8.02	Ext.Dir
Combinacao 3	230.	-21.2	-24.9	-16.2	-15.4	1.00	4.30	1.00	4.84	230.	34.8	26.5	7.63	Ext.Dir
Combinacao 5	224.	-24.1	-28.0	-11.6	-11.0	1.00	4.30	1.00	4.84	224.	37.7	21.8	7.02	Ext.Dir
Combinacao 1	231.	-23.5	-27.3	-12.2	-11.4	1.00	4.30	1.00	4.84	231.	37.2	22.6	7.04	Ext.Dir
As,calc= 8.02 cm ² (1.34%) : As,min= 3.60 cm ² : As,ef= 4φ16+ 0φ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (φ 6af. de0.19m)														

5.4.1.2. Ficheiro *.DXF relativo a Pilares

O Ficheiro mostrado na Figura 91 encontra-se, à escala, no Anexo 8.

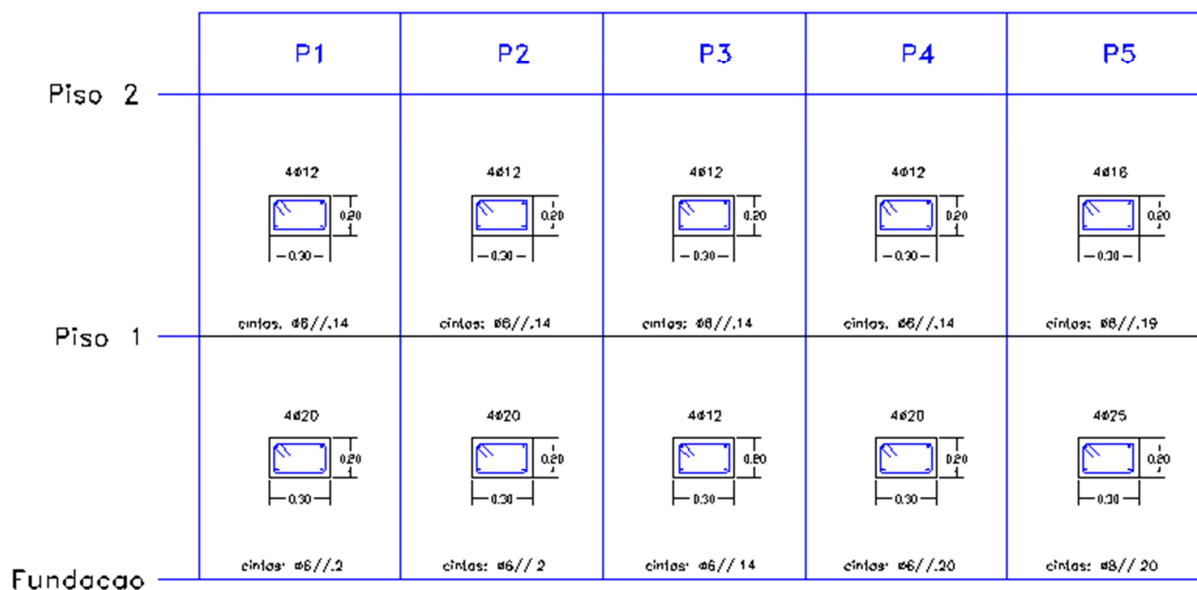


Figura 91 – Ficheiro *.DXF referente aos Pilares do Pórtico PORT4 – REBAP.

5.4.2.DIMENSIONAMENTO SEGUNDO EUROCÓDIGO 2.

O dimensionamento segundo o Eurocódigo partiu dos mesmos esforços calculados pelo PAC-Pórticos, e com os quais foi feito o dimensionamento segundo o REBAP, como aconteceu anteriormente para as vigas. Como não se realizaram atempadamente os critérios relativos a encurvadura segundo o EC2, utilizaram-se os critérios utilizados pelo PAC-Pórticos segundo o REBAP, obtendo desta forma as mesmas armaduras de cálculo, recaindo as principais diferenças neste dimensionamento sobre os diâmetros mínimos a utilizar e áreas de armaduras mínimas e máximas regulamentares, que por si só já traduzem um economia em relação aos critérios em vigor no PAC-Pórticos, como se pode observar nos subcapítulos seguintes

5.4.2.1. Ficheiro de texto relativo ao dimensionamento de Pilares.

Hoc - Eurocódigo 2

PILARES - ANALISE DA ENCURVADURA	C30/35	S500
----------------------------------	--------	------

PORTICOS							
DIRECCAO x (Nos Móveis)				DIRECCAO y (Nos Móveis)			
DESIGNACAO	PONTOS DA MALHA			DESIGNACAO	PONTOS DA MALHA		
PORT1	2	4		PORT7	9	17	25 41
PORT2	9	10	12 13 15 16	PORT8	2	10	18
PORT3	17	18	19 20 23	PORT9	19	43	
PORT4	28 29 30 31 32			PORT10	4	12	20 28 44
PORT5	37	38		PORT11	13	29	37 45
PORT6	41	43	44 45 46 47 48	PORT12	30	38	46
				PORT13	15	23	31
				PORT14	16	32	48

COMBINAÇÕES								
	DIRECCÃO X				DIRECCÃO Y			
	Ac. 1	Ac. 2	Ac. 3	Ac. 4	Ac. 1	Ac. 2	Ac. 3	Ac. 4
Comb. nº 1	1.4	1.5	0.9	0.0	1.4	1.5	0.0	0.0
Comb. nº 2	1.4	1.5	-0.9	0.0	1.4	1.5	0.0	0.0
Comb. nº 3	1.4	1.5	0.0	0.0	1.4	1.5	0.9	0.0
Comb. nº 4	1.4	1.5	0.0	0.0	1.4	1.5	-0.9	0.0
Comb. nº 5	1.4	1.0	1.5	0.0	1.4	1.0	0.0	0.0
Comb. nº 6	1.4	1.0	-1.5	0.0	1.4	1.0	0.0	0.0
Comb. nº 7	1.4	1.0	0.0	0.0	1.4	1.0	1.5	0.0

PILAR P1	b(m)	h(m)	l(m)	$\alpha 1x$	$\alpha 2x$	etax	lox(m)	Lambdax	$\alpha 1y$	$\alpha 2y$	etay	lo(m)y	Lambday	
PT. da MALHA- 28	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAX ----	EXCTx (cm)	ETAY -----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm ²)	LOCAL -----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.27	1.19	5.54	63.9	1.00	0.17	1.18	5.47	94.7	
Combinacao 6	227.	23.1	28.7	-0.5	-0.2	1.00	7.11	1.00	9.47	227.	44.9	21.6	8.25	Ext.Dir
Combinacao 2	236.	16.8	24.0	-0.5	-0.2	1.00	7.11	1.00	9.47	236.	40.7	22.5	7.61	Ext.Dir
Combinacao 7	232.	6.1	14.0	-7.7	-7.1	1.00	7.11	1.00	9.47	232.	30.6	29.1	7.71	Ext.Dir
Combinacao 4	224.	6.6	15.1	3.8	4.0	1.00	7.11	1.00	9.47	224.	31.1	25.2	6.80	Ext.Dir
As,calc= 8.25 cm ² (1.38%) : As,min= 1.20 cm ² : As,ef= 4φ20+ 0φ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (φ 6af. de0.20m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.27	99.00	2.08	6.97	80.5	0.17	0.02	1.03	3.44	59.6	
Combinacao 7	138.	0.0	0.0	-3.7	-3.8	1.00	10.43	1.00	4.96	138.	14.4	10.7	1.47	Ext.Dir
Combinacao 6	138.	-0.1	0.0	-0.1	0.2	1.00	10.43	1.00	4.96	138.	14.4	7.0	0.74	Ext.Dir
Combinacao 5	138.	0.1	0.0	-0.1	0.2	1.00	10.43	1.00	4.96	138.	14.4	7.0	0.74	Ext.Dir
Combinacao 4	143.	0.0	0.0	2.1	2.5	1.00	10.43	1.00	4.96	143.	14.9	9.6	1.19	Ext.Dir
As,calc= 1.47 cm ² (0.25%) : As,min= 1.20 cm ² : As,ef= 4φ10+ 0φ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (φ 6af. de0.14m)														

PILAR P2	b(m)	h(m)	l(m)	$\alpha 1x$	$\alpha 2x$	etax	lox(m)	Lambdax	$\alpha 1y$	$\alpha 2y$	etay	lo(m)y	Lambday	
PT. da MALHA- 29	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAx ----	EXCTx (cm)	ETAY -----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm ²)	LOCAL -----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.65	1.25	5.80	67.0	1.00	0.10	1.16	5.42	93.8	
Combinacao 5	196.	-28.2	-35.5	-0.5	-0.7	1.00	7.61	1.00	9.33	196.	50.4	19.0	9.01	Ext.Dir
Combinacao 1	203.	-21.2	-28.9	-0.5	-0.7	1.00	7.61	1.00	9.33	203.	44.4	19.7	7.98	Ext.Dir
Combinacao 7	178.	-8.7	-15.7	-8.5	-8.6	1.00	7.61	1.00	9.33	178.	29.2	25.2	7.06	Ext.Dir
Combinacao 3	192.	-9.5	-17.1	-5.3	-5.5	1.00	7.61	1.00	9.33	192.	31.7	23.4	6.73	Ext.Dir
As,calc= 9.01 cm ² (1.50%) : As,min= 1.20 cm ² : As,ef= 4 ϕ 20+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.20m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.65	0.18	1.12	3.77	43.5	0.10	0.14	1.04	3.47	60.1	
Combinacao 6	20.	-21.0	-9.6	0.6	1.6	0.00	0.00	1.00	5.01	20.	21.0	1.6	3.53	Ext.Esq
Combinacao 5	29.	7.9	16.5	0.6	1.6	1.00	4.37	1.00	5.01	29.	17.8	3.0	2.93	Ext.Dir
Combinacao 2	22.	-15.8	-4.2	0.7	1.7	1.00	4.37	1.00	5.01	22.	16.8	1.8	2.74	Ext.Esq
Combinacao 1	28.	1.5	11.5	0.7	1.7	1.00	4.37	1.00	5.01	28.	12.7	3.0	2.93	Ext.Dir
As,calc= 3.53 cm ² (0.59%) : As,min= 1.20 cm ² : As,ef= 4 ϕ 12+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.14m)														

PILAR P3	b(m)	h(m)	l(m)	$\alpha 1x$	$\alpha 2x$	etax	lox(m)	Lambdax	$\alpha 1y$	$\alpha 2y$	etay	lo(m)y	Lambday	
PT. da MALHA- 30	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAx ----	EXCTx (cm)	ETAY -----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm ²)	LOCAL -----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.23	1.19	5.51	63.6	1.00	0.24	1.19	5.52	95.5	
Combinacao 7	84.	2.9	3.9	-7.4	-6.3	1.00	7.06	1.00	9.60	84.	8.9	15.4	3.14	Ext.Esq
Combinacao 4	108.	3.2	4.2	5.7	6.1	1.00	7.06	1.00	9.60	108.	11.8	16.5	3.26	Ext.Dir
Combinacao 6	108.	9.5	9.9	0.8	1.4	1.00	7.06	1.00	9.60	108.	17.5	11.7	2.60	Ext.Dir
Combinacao 2	107.	7.1	7.8	0.8	1.4	1.00	7.06	1.00	9.60	107.	15.3	11.7	2.38	Ext.Dir
As,calc= 3.26 cm ² (0.54%) : As,min= 1.20 cm ² : As,ef= 4 ϕ 12+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.14m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.23	0.10	1.05	3.52	40.6	0.24	0.14	1.06	3.54	61.3	
Combinacao 6	62.	12.1	10.9	2.9	2.8	1.00	4.06	1.00	5.14	62.	14.7	6.1	2.08	Ext.Esq
Combinacao 2	61.	10.8	9.5	3.0	2.9	1.00	4.06	1.00	5.14	61.	13.3	6.2	1.86	Ext.Esq
Combinacao 4	59.	8.3	6.8	5.3	5.4	1.00	4.06	1.00	5.14	59.	10.7	8.4	1.91	Ext.Esq
Combinacao 7	52.	7.9	6.5	-0.9	-1.5	1.00	4.06	1.00	5.14	52.	10.0	3.6	1.09	Ext.Esq
As,calc= 2.08 cm ² (0.35%) : As,min= 1.20 cm ² : As,ef= 4 ϕ 10+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.14m)														

PILAR P4	b(m)	h(m)	l(m)	$\alpha 1x$	$\alpha 2x$	etax	lox(m)	Lambdax	$\alpha 1y$	$\alpha 2y$	etay	lo(m)y	Lambday	
PT. da MALHA- 31	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAx ----	EXCTx (cm)	ETAY -----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm ²)	LOCAL -----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.14	1.17	5.45	62.9	1.00	0.17	1.18	5.47	94.7	
Combinacao 7	282.	3.9	5.8	-10.4	-10.2	1.00	6.94	1.00	9.47	282.	25.4	36.9	8.65	Ext.Dir
Combinacao 6	262.	10.8	12.5	-1.7	-1.9	1.00	6.94	1.00	9.47	262.	30.7	26.7	6.82	Ext.Dir
Combinacao 3	287.	4.2	6.2	-7.0	-6.9	1.00	6.94	1.00	9.47	287.	26.1	34.1	7.95	Ext.Dir
Combinacao 2	274.	8.3	10.2	-1.7	-2.0	1.00	6.94	1.00	9.47	274.	29.3	27.9	6.85	Ext.Dir
As,calc= 8.65 cm ² (1.44%) : As,min= 1.20 cm ² : As,ef= 4 ϕ 20+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.20m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.14	0.14	1.04	3.49	40.3	0.17	0.05	1.03	3.46	59.9	
Combinacao 6	108.	21.1	23.2	-6.0	-6.8	1.00	4.03	1.00	4.99	108.	27.6	12.2	4.49	Ext.Dir
Combinacao 2	112.	19.5	21.7	-6.3	-7.1	1.00	4.03	1.00	4.99	112.	26.2	12.7	4.26	Ext.Dir
Combinacao 7	113.	15.4	17.6	-10.2	-11.4	1.00	4.03	1.00	4.99	113.	22.2	17.0	4.44	Ext.Dir
Combinacao 3	115.	16.2	18.4	-8.8	-9.9	1.00	4.03	1.00	4.99	115.	23.0	15.6	4.11	Ext.Dir
As,calc= 4.49 cm ² (0.75%) : As,min= 1.20 cm ² : As,ef= 4 ϕ 12+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.14m)														

PILAR P5	b(m)	h(m)	l(m)	$\alpha 1x$	$\alpha 2x$	etax	lox(m)	Lambdax	$\alpha 1y$	$\alpha 2y$	etay	lo(m)y	Lambday	
PT. da MALHA- 32	NSD (kN)	MSDx,e (kN*m)	MSDx,d (kN*m)	MSDy,e (kN*m)	MSDy,d (kN*m)	ETAx ----	EXCTx (cm)	ETAY -----	EXCTy (cm)	NSD,cr (kN)	MSDx,c (kN*m)	MSDy,c (kN*m)	As (cm ²)	LOCAL -----
Fund. - Piso 1	0.20	0.30	4.65	1.00	0.36	1.20	5.60	64.7	1.00	0.03	1.15	5.37	93.0	
Combinacao 7	445.	-3.4	-8.8	-13.9	-15.9	1.00	7.23	1.00	9.20	445.	40.9	56.9	15.69	Ext.Dir
Combinacao 3	465.	-3.6	-9.2	-10.0	-12.1	1.00	7.23	1.00	9.20	465.	42.8	55.0	15.42	Ext.Dir
Combinacao 5	452.	-9.8	-14.5	-3.7	-5.6	1.00	7.23	1.00	9.20	452.	47.2	47.2	14.07	Ext.Dir
Combinacao 1	470.	-7.4	-12.6	-3.9	-5.9	1.00	7.23	1.00	9.20	470.	46.6	49.2	14.45	Ext.Dir
As,calc= 15.69 cm ² (2.62%) : As,min= 1.20 cm ² : As,ef= 4 ϕ 25+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 8af. de0.20m)														
Piso 1 -Piso 2	0.20	0.30	3.35	0.36	0.36	1.11	3.72	42.9	0.03	0.02	1.01	3.37	58.4	
Combinacao 7	222.	-20.3	-24.0	-18.4	-17.5	1.00	4.30	1.00	4.84	222.	33.6	28.3	8.02	Ext.Dir
Combinacao 3	230.	-21.2	-24.9	-16.2	-15.4	1.00	4.30	1.00	4.84	230.	34.8	26.5	7.63	Ext.Dir
Combinacao 5	224.	-24.1	-28.0	-11.6	-11.0	1.00	4.30	1.00	4.84	224.	37.7	21.8	7.02	Ext.Dir
Combinacao 1	231.	-23.5	-27.3	-12.2	-11.4	1.00	4.30	1.00	4.84	231.	37.2	22.6	7.04	Ext.Dir
As,calc= 8.02 cm ² (1.34%) : As,min= 1.20 cm ² : As,ef= 4 ϕ 16+ 0 ϕ 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (ϕ 6af. de0.19m)														

5.4.2.2. Ficheiro *.DXF relativo a Pilares.

	P1	P2	P3	P4	P5
Piso 2					
Piso 1	cintas: Ø6//.14	cintas: Ø6//.14	cintas: Ø6//.14	cintas: Ø6//.14	cintas: Ø6//.19
Fundacao					
	cintas: Ø6//.2	cintas: Ø6//.2	cintas: Ø6//.14	cintas: Ø6//.20	cintas: Ø8//.20

Figura 92 – Ficheiro *.DXF referente aos Pilares do Pórtico PORT4 – EC2.

O ficheiro ilustrado na Figura 92 encontra-se, à escala, no anexo 9.

6.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi realizado em ambiente empresarial, mais concretamente na empresa Newton, Consultores de Engenharia, Lda. A Newton possui um ambiente profissional muito agradável e de forte espírito de camaradagem, tendo sido para mim um privilégio poder interagir com profissionais de elevada qualidade que tanto me ensinaram a nível profissional e pessoal.

Com a globalização surge a necessidade de criar normas e regulamentações uniformizadas, tornando inevitável a migração das actuais regulamentações Nacionais para os Eurocódigos. A necessidade de actualização do programa de cálculo automático, PAC-Pórticos, torna-se imperativa, procurando-se com este trabalho a adequação dos critérios de dimensionamento de estruturas porticadas, dando especial atenção às vigas, pilares e sapatas, para o Eurocódigo 2.

Para realizar essa adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 foi necessário proceder a um estudo das duas regulamentações que culminou numa análise comparativa apresentada em formato de tabelas (Capítulo 3).

Com o objectivo de estruturar um pseudo-código que recriasse os critérios de dimensionamento do EC2, procedeu-se ao estudo da robusta algoritmia já existente no PAC-Pórticos segundo o REBAP, como base de partida para a criação do pseudo-código de dimensionamento segundo o EC2.

Após estruturação dos critérios de dimensionamento segundo o EC2, com o auxílio de uma equipa de programação, a trabalhar em simultâneo no melhoramento visual do PAC-Pórticos tem sido possível introduzir a algoritmia EC2 no PAC-Pórticos. Em alguns casos, para se poderem obter resultados atempadamente tendo em conta os prazos de entrega desta dissertação, com o auxílio do EXCEL, traduziram-se os critérios de dimensionamento e recriaram-se as tabelas e ábacos de betão armado, de modo a poderem obter-se os resultados comparativos PAC(REBAP) com PAC(EC2)

Por último, procedeu-se a uma comparação concreta no dimensionamento e pormenorização (desenho) de um pórtico de um edifício com o PAC(REBAP) e com estes novos algoritmos, PAC(EC2). Detectaram-se e quantificaram-se as principais diferenças entre regulamentações no que toca ao aspecto de dimensionamento e disposição de armaduras, tendo-se concluído que acabam por assumir a sua máxima importância na quantificação das quantidades mínimas e máximas regulamentares de armaduras e espaçamentos.

Desenvolvimentos futuros:

Nos parágrafos seguintes estão destacadas algumas questões consideradas pertinentes a abordar em desenvolvimentos futuros:

- Melhoria dos algoritmos actuais do PAC-Pórticos ao nível da disposição de armaduras longitudinais, nomeadamente na optimização das dispensas de diâmetros mais elevados.
- Melhoria dos actuais algoritmos ao nível da descontinuidade dos elementos estruturais horizontais, nomeadamente optimizando as armaduras longitudinais superiores.
- Melhoria dos algoritmos de pormenorização e desenho de armaduras, nomeadamente optimização da disposição de armaduras longitudinais sobre os apoios.
- Produzir pseudo-código para realização de algoritmia para os restantes elementos estruturais (paredes, vigas-parede, fundações, lajes, etc.)
- Finalizar o pseudo-código já iniciado que visa a realização de rotinas para o cálculo da fendilhação e encurvadura de pilares segundo o EC2.

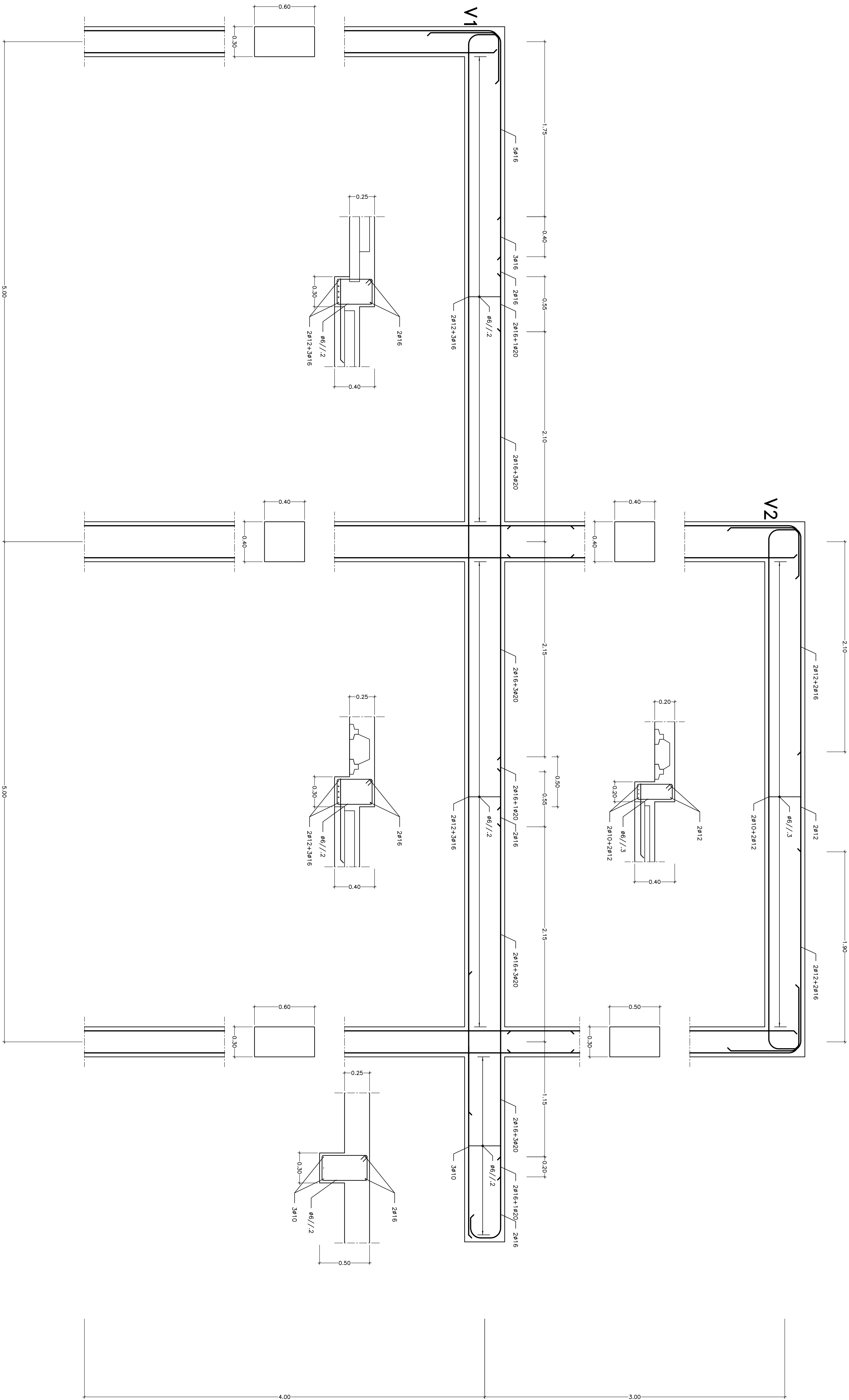
BIBLIOGRAFIA

- [1] Cléuzio Fonseca Filho, História da computação Teoria e tecnologia, LTr Editora, 2007.
- [2] Newton, consultores de Engenharia, Manual PAC-Pórticos, 1991.
- [3] Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado. Porto Editora, Portugal, decreto-lei nº 349-C/83.
- [4] Eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão, Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, Dezembro de 2004. NPEN 1992 – 1 – 1 : 2010
- [5] F. Leonhardt, E. Mönnig.Vol.1 - Princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado. In Construções de Concreto, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1977.
- [6] F. Leonhardt, E. Mönnig.Vol.2 – Casos especiais do dimensionamento de estruturas de concreto armado. In *Construções de Concreto*, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1978.
- [7] F. Leonhardt, E. Mönnig.Vol.3 - Princípios básicos sobre a amarração de estruturas de concreto armado. In Construções de Concreto, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1978.
- [8] The Institution of Structural Engineering . Standard method of detailing structural concrete, third edition, A manual of best practice. The concrete society, Junho 2006.
- [9] Pedro Jiménez Montoya, Alvaro García Meseguer, Francisco Morán Cabré, 14ª Edición baseada en la EHE ajustada al código modelo y al eurocódigo, Hormigón Armado, Editorial Gustavo Gill,SA, Barcelona 2000.
- [10] J. Calavera, Tomo I, Projecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón, INTEMAC 1999.
- [11] Joaquim Figueiras e Helena Barros, tabelas e ábacos de dimensionamento de secções de Betão solicitadas à Flexão e a Esforços Axiais segundo o Eurocódigo 2, FEUP edições 2010.
- [12] J. D'Arga e Lima, V. Monteiro e M. Mum. “Betão Armado – Esforços normais e de Flexão”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, Lisboa, 1985.
- [13] Newton, consultores de engenharia, Memoria descritiva projecto Step Al Hoceima.

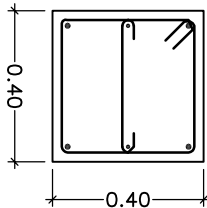
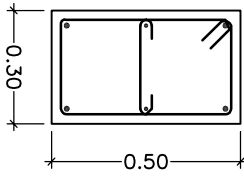
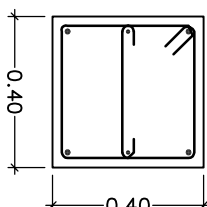
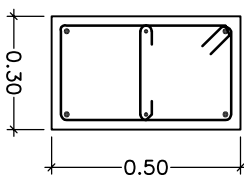
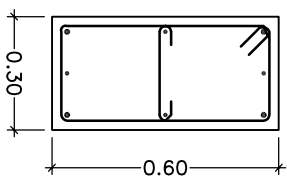
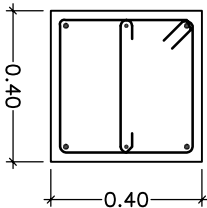
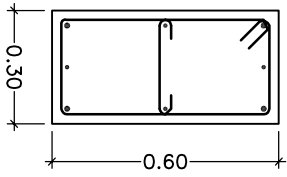
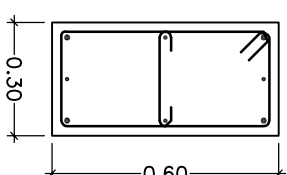
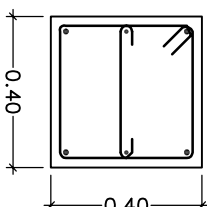
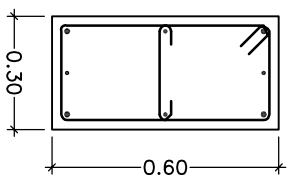
7.

ANEXOS

A1

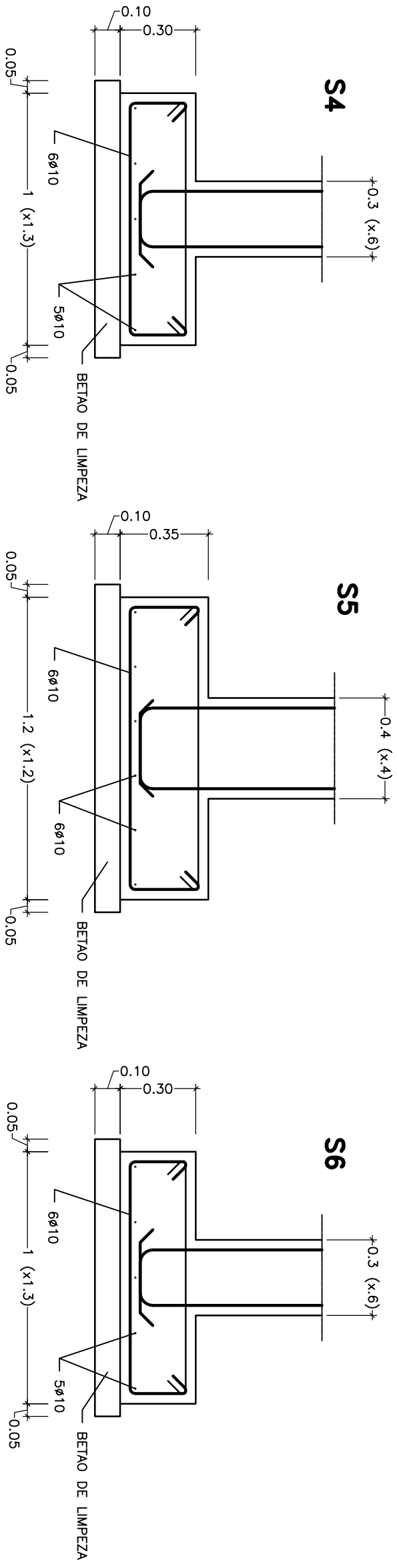
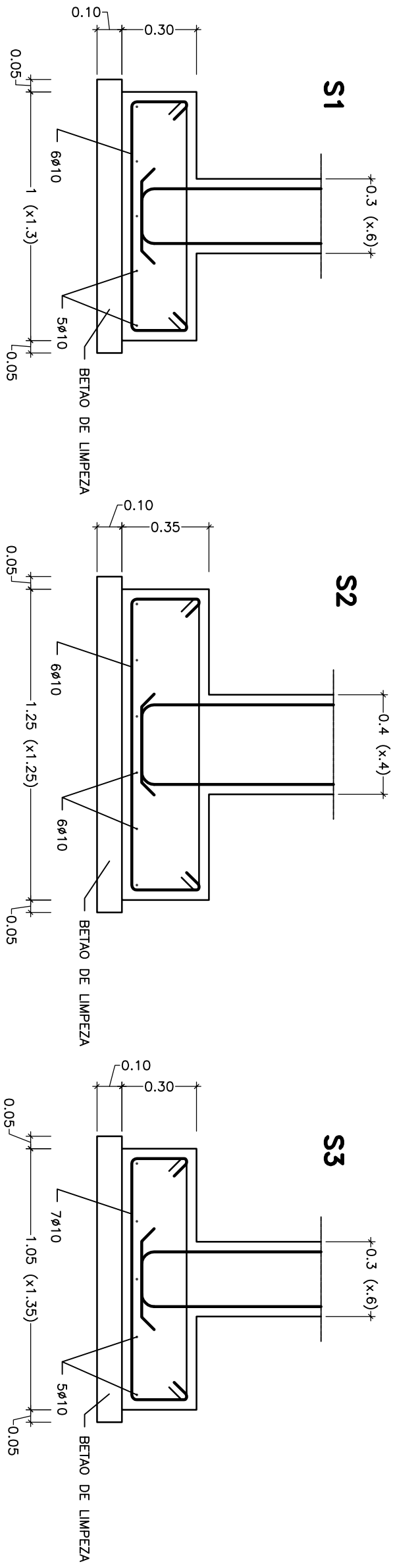


A2

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
Piso 2		4ø16+2ø12  0.40 cintas: ø6//.14	4ø16+2ø12  0.50 cintas: ø6//.14			4ø16+2ø12  0.40 cintas: ø6//.14	4ø16+2ø12  0.50 cintas: ø6//.14
Piso 1	4ø16+4ø12  0.60 cintas: ø6//.14	4ø16+2ø12  0.40 cintas: ø6//.14	4ø16+4ø12  0.60 cintas: ø6//.14	4ø16+4ø12  0.60 cintas: ø6//.14	4ø16+2ø12  0.40 cintas: ø6//.14	4ø16+4ø12  0.60 cintas: ø6//.14	

Fundação

A3



A4

```

C *****
C
C   calcula a percentagem de armadura e armadura para vigas
C   usa expressoes simplificadas
C *****
C
C   subroutine armvig(ARVCC, arvic, b, BBI, fcd, fsyd, hd, IAMIN, omegc,
#                       REC, ROLM, xmc)
C
C   -----
C   INCLUDE 'COFUNG.FOR'
C   -----
C   XM1=DIGMN(1)/(B*HD*HD*1000)
C   IAMIN=0
C   CASO DE VIGA EM T (PARA LAJES NERVURADAS)
C
C   xmc=xmc/fcd
C   IF(XMC.LE.0)GO TO 100
C   IF(IFUNG.EQ.1.AND.INERV.EQ.1)THEN
C       XMLIM=0.688*HNERV*(1-0.416*HNERV/HD)/HD
C   WRITE(13,*)'XMLIM=',XMLIM,'XMC=',XMC
C   IF(XMLIM.LE.XMC)GO TO 200
C   ENDIF
100  xmc=abs(xmc)
C   if(xmc.le..31)then
C       omegc=xmc+xmc*xmc
C       arvic=omegc*b*hd*fcd*10000/fsyd
C       arvcc=0.0
C       ARMIN=ROLM*BBI*HD*100
C
C   se IAMIN=1 armadura minima
C
C       IF(ARVIC.LT.ARMIN)THEN
C           ARVIC=ARMIN
C           IAMIN=1
C       ENDIF
C   else
C
C       omecc=(xmc-0.31)/(1.0-(rec/hd))
C       arvcc=omecc*b*hd*fcd*10000/fsyd
C       omegc=omecc+0.41
C       arvic=omegc*b*hd*fcd*10000/fsyd
C   nesta hipotese e necessario colocar armadura de compressao
C
C   endif
C   return
200  CONTINUE
C   XMRMX=0.85*HNERV*(HD-0.5*HNERV)/(HD*HD)
C   IF(XMC.GT.XMRMX)THEN
C       ARVIC=99.99
C   ELSE
C       DIVID=HD-0.5*HNERV
C       IF(DIVID.EQ.0)DIVID=.0000001
C       ARVIC=XMC*(B*HD*HD*FCD)*10000/(FSYD*DIVID)
C   ENDIF
C   WRITE(13,*)'XMRMX=',XMRMX,'ARVIC=',ARVIC
C   RETURN
C   end

```

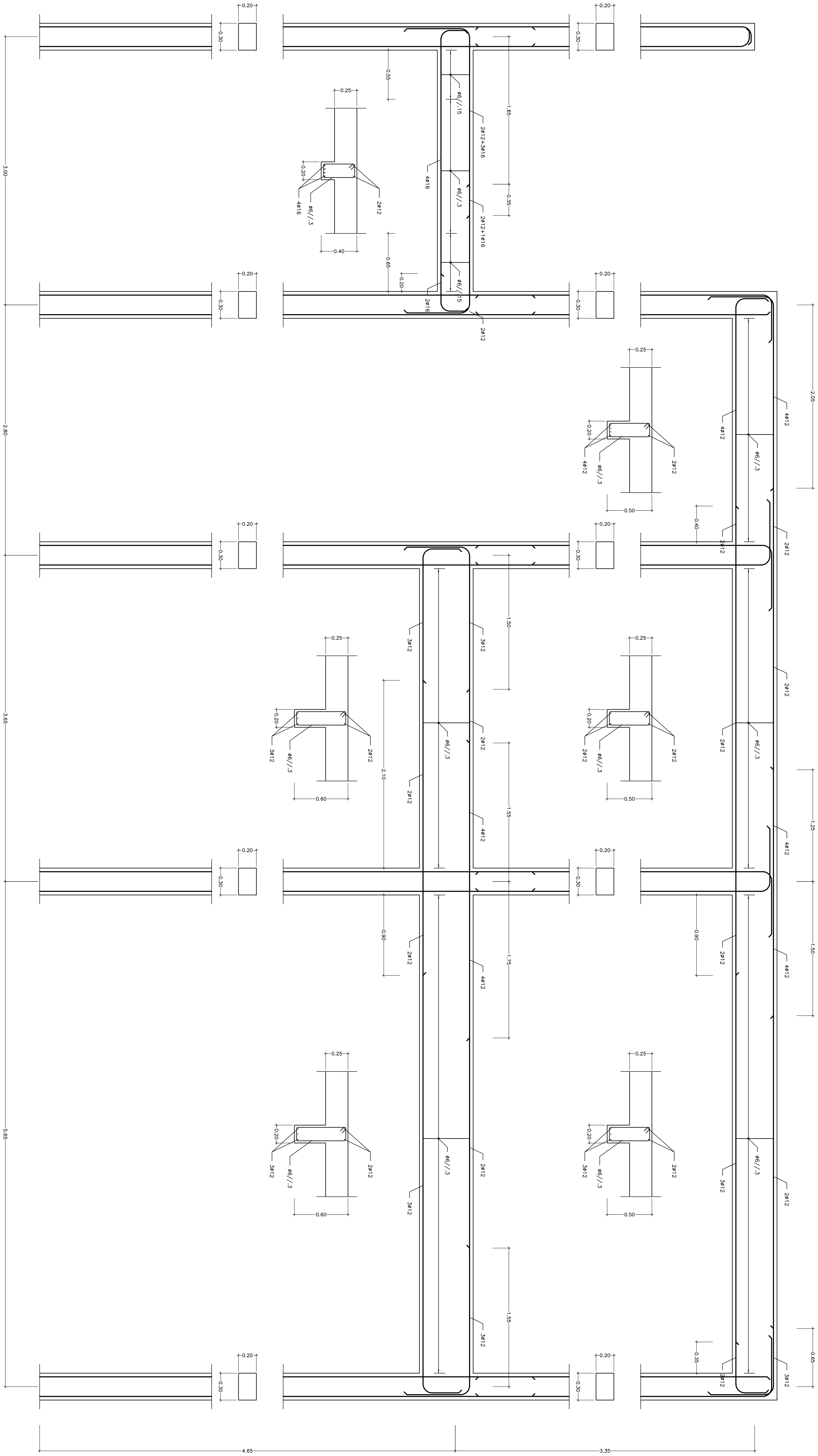
A5

```

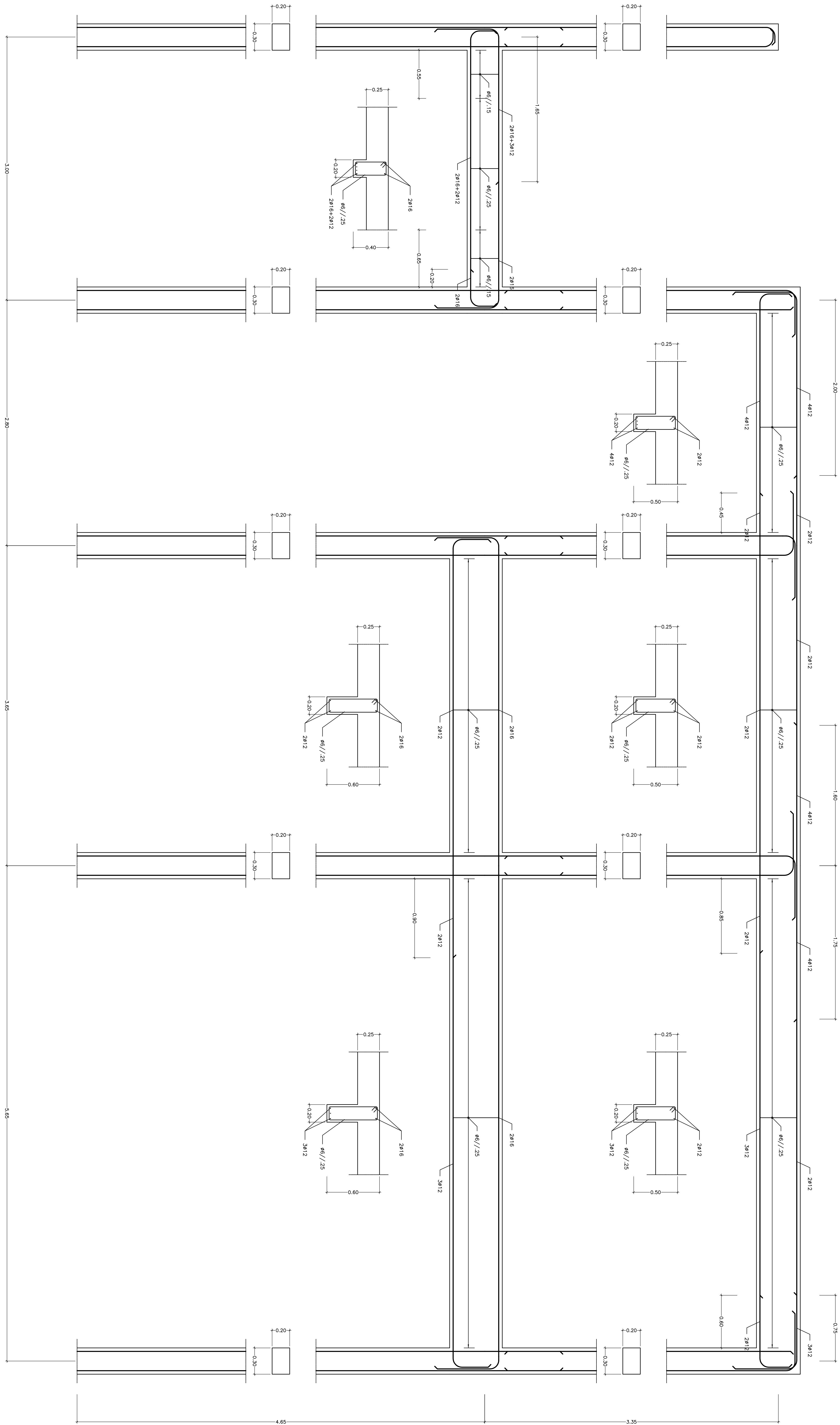
C *****
C
C   calcula a percentagem de armadura e armadura para vigas
C   usa expressoes simplificadas
C   Nuno Gomes: Segundo as novas tabelas e Abacos de dimensionamento de Betão
C   Solicitadas à Flexao e a Esforços Axiais Segundo o Eurocódigo 2.
C *****
C
C   subroutine armvig(ARVCC,arvic,b,BBI,fcd,fsyd,hd,IAMIN,omegc,
#                       REC,ROLM,xmc)
C
C   -----
C   INCLUDE 'COFUNG.FOR'
C   -----
C   XM1=DIGMN(1)/(B*HD*HD*1000)
C   IAMIN=0
C   CASO DE VIGA EM T (PARA LAJES NERVURADAS)
C
C       xmc=xmc/fcd
C       IF(XMC.LE.0)GO TO 100
C       IF(IFUNG.EQ.1.AND.INERV.EQ.1)THEN
C           XMLIM=0.81*HNERV*(1-0.416*HNERV/HD)/HD
C       WRITE(13,*)'XMLIM=',XMLIM,'XMC=',XMC
C       IF(XMLIM.LE.XMC)GO TO 200
C   ENDIF
100  xmc=abs(xmc)
    if(xmc.le..31)then
        omegc=xmc+xmc*xmc
        arvic=omegc*b*hd*fcd*10000/fsyd
        arvcc=0.0
        ARMIN=0.26*FCTM/FYK*B*HD
        IF ARMIN.LT.(0.0013*B*HD) then
            ARMIN=0.0013*B*HD
        EndIF
C
C   se IAMIN=1 armadura minima
C
C       IF(ARVIC.LT.ARMIN)THEN
C           ARVIC=ARMIN
C           IAMIN=1
C       ENDIF
C   else
C
C       omecc=(xmc-0.31)/(1.0-(rec/hd))
C       arvcc=omecc*b*hd*fcd*10000/fsyd
C       omegc=omecc+0.41
C       arvic=omegc*b*hd*fcd*10000/fsyd
C   nesta hipotese e necessario colocar armadura de compressao
C
C   endif
C   return
200  CONTINUE
    XMRMX=.HNERV*(HD-0.5*HNERV)/(HD*HD)
    IF(XMC.GT.XMRMX)THEN
        ARVIC=99.99
    ELSE
        DIVID=HD-0.5*HNERV
        IF(DIVID.EQ.0)DIVID=.0000001
        ARVIC=XMC*(B*HD*HD*FCD)*10000/(FSYD*DIVID)
    ENDIF
C   WRITE(13,*)'XMRMX=',XMRMX,'ARVIC=',ARVIC
C   RETURN
C   end

```

A6



A7

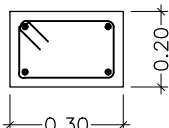
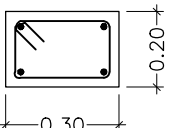
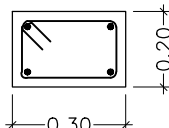
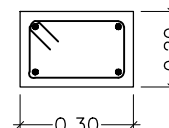
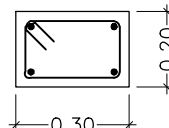
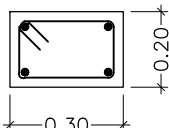
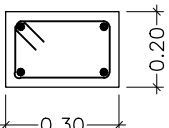
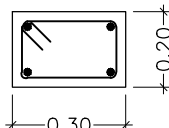
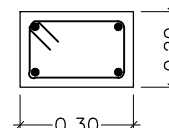
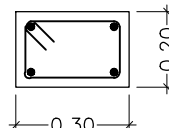


A8

Piso 2				
P1	P2	P3	P4	P5
4ø12 cintas: ø6//.14	4ø12 cintas: ø6//.14	4ø12 cintas: ø6//.14	4ø12 cintas: ø6//.14	4ø16 cintas: ø6//.19
Piso 1				
4ø20 cintas: ø6//.2	4ø20 cintas: ø6//.2	4ø12 cintas: ø6//.14	4ø20 cintas: ø6//.20	4ø25 cintas: ø8//.20

Fundação

A9

	P1	P2	P3	P4	P5
Piso 2	4ø10  cintas: ø6//.14	4ø12  cintas: ø6//.14	4ø10  cintas: ø6//.14	4ø12  cintas: ø6//.14	4ø16  cintas: ø6//.19
Piso 1	4ø20  cintas: ø6//.2	4ø20  cintas: ø6//.2	4ø12  cintas: ø6//.14	4ø20  cintas: ø6//.20	4ø25  cintas: ø8//.20
Fundação					