



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Civil



“Acompanhamento da construção de um edifício de escritórios – Torre Ocidente do Centro Comercial Colombo”

António José Damas Sampaio
Bacharel em Engenharia Civil

Relatório de Estágio para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil

Documento Final

Co-Orientador ISEL:
Eng.º João Carlos Barata

Co-Orientador MEEC:
Eng.º Rui Santos Paiva

Júri:

Presidente - Eng.ª Cristina Machado
Orientador - Eng.º João Carlos Barata
Orientador - Eng.º Rui Santos Paiva
Arguente - Eng.º Carlos Ferraz

Novembro de 2009

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e namorada por todo o apoio e incentivo presente ao longo da minha formação e em concreto no período de estágio e na elaboração do relatório do mesmo;

Ao orientador da MOTA-ENGIL Engenharia e Construção, SA, Engenheiro Rui Santos Paiva por tão bem me ter recebido na sua equipa e disponibilizar os elementos e meios necessários à realização deste relatório;

Ao orientador do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Engenheiro João Carlos Barata, pela disponibilidade e aconselhamento prestado na elaboração deste documento;

A toda equipa da MOTA-ENGIL Engenharia e Construção, SA presente na construção das torres Ocidente e Oriente do Centro Comercial Colombo e em concreto ao Engenheiro Hugo Pereira e o Encarregado Geral, Sr. Torres Lima pelos conselhos, orientação e ajuda, os quais ajudaram a aprofundar os meus conhecimentos no universo da Engenharia Civil.

RESUMO

O presente relatório de estágio tenta traduzir quatro meses de estágio académico realizado na construção da Torre Ocidente do Centro Comercial Colombo expondo quer o trabalho realizado, quer as matérias analisadas e estudadas ao longo deste período. Este estágio foi cumprido no âmbito do Trabalho Final de Mestrado do curso de Engenharia Civil, no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

A empreitada poder-se-á dividir em duas partes distintas: o reforço do núcleo central da estrutura ao nível dos pisos previamente erigidos, sendo os seus elementos constituintes em betão armado; e a estrutura dita elevada, na qual o núcleo central tem o seu desenvolvimento até à cobertura do edifício, enquanto a periferia é constituída por vigas e pilares metálicos, em conjunto com lajes colaborantes. É, na sua essência, uma estrutura mista.

Dado que ocorreu um período de aproximadamente 15 anos entre a construção do Centro Comercial e as torres, existiu a oportunidade de complementar e ajustar o comportamento estrutural das torres, reforçando desta forma o embasamento das mesmas. Este reforço consistiu na construção de novos elementos verticais (paredes), devidamente ligadas ao ensoleiramento geral da estrutura conjunta e dispostas de forma a conferir maior capacidade resistente ao efeito da acção sísmica.

Embora o início da construção do esqueleto da estrutura elevada estivesse prevista para estar incluído no período de estágio, isso não se verificou. Foi contudo, analisado durante o seu período, o método construtivo a ser usado (pouco usual em Portugal para a construção de edifícios) e o projecto de estabilidade da mesma, assim como alguns dos elementos que a constituem.

Está incluído também neste relatório, a descrição de trabalhos análogos ao âmbito do Trabalho Final de Mestrado executado ao longo do período de estágio.

ABSTRACT

The following report tries to transmit the four months of work experience placement performed at the construction of Torre Ocidente in Centro Comercial Colombo exposing the work done and the subjects analyzed and studied along this period. This work experience placement was fulfilled in the scope of the Civil Engineer Master's Degree Final Work, in Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

The work order may be divided in two distinct parts: the reinforcement of the structural central nucleus at the floors previously erected, with his constituent elements made in reinforced concrete; and the high structure, in which the central nucleus has a development until the roof covering, while the periphery is made by steel beams and columns, together with collaborating slabs. It is, in his essence, a composite structure.

Considering that there was a period of approximately fifteen years, between the construction of the shopping center and the towers, there was the opportunity to complete and adjust the structural performance of the towers, reinforcing the sole plate of them. This reinforcement consists in the construction of new vertical elements (walls), properly linked to the foundation mat of the jointed structure and disposed to give a greater resistance capacity to the seismic action.

Although the construction's beginning of the high structure skeleton was predicted to be included in the work experience placement period, that didn't occurred. It was however, analyzed during this period, the constructive method to be used (rarely used in the building construction in Portugal) and the stability project, as well as some of the constituent elements.

It is also included in this report, the description of analogous work to the Master's degree Final Work executed along the work experience period.

PALAVRAS-CHAVE

Demolições

Reforço

Estrutura Mista

Cofragem Deslizante

Edifício

KEY-WORDS

Demolition

Reinforcement

Composite Structure

Sliding Formwork

Building

NOTAÇÃO

MEEC – Mota-Engil Engenharia e Construção, SA;

CCC – Centro Comercial Colombo;

ISO – International Organization for Standardization;

EN – Norma europeia;

NP - Norma Portuguesa;

m – metro;

cm – centímetro;

mm – milímetro;

bar – pressão barométrica;

seg - segundos

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1 ENQUADRAMENTO	7
1.2 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	8
1.3 DESCRIÇÃO DO ESTÁGIO.....	9
1.4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	10
2. DESCRIÇÃO GERAL DA OBRA	11
3. REFORÇO DA ESTRUTURA	13
3.1 ESTALEIRO	14
3.2 TRABALHOS DE DEMOLIÇÃO	17
3.3 FURAÇÕES	19
3.4 ARMAÇÃO	21
3.5 COFRAGEM	22
3.6 BETONAGEM	23
3.7 LIGAÇÕES METÁLICAS.....	26
3.8 NOVAS PEÇAS METÁLICAS.....	28
4. ESTRUTURA ELEVADA	29
4.1 GENERALIDADES DA ESTRUTURA ELEVADA	33
4.1.1 MATERIAIS.....	36
4.1.2 ACÇÕES CONSIDERADAS EM PROJECTO	37
4.1.3 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.....	37
4.2 COFRAGEM DESLIZANTE.....	39
4.2.1 SISTEMAS DE DESLIZE	39
4.2.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO	40
4.2.3 ELEMENTOS CONSTITUINTES.....	41
4.2.4 ORGANIZAÇÃO DO DESLIZE	44
4.2.5 COLOCAÇÃO DE ARMADURAS E DE BETÃO.....	45

4.2.6 VELOCIDADE DO DESLIZE	47
4.3 LAJES COLABORANTES	49
5. TRABALHOS ADICIONAIS À EMPREITADA DA CONSTRUÇÃO DA TORRE ...	52
5.1 IMPERMEABILIZAÇÃO DE CAVES – TORRE ORIENTE	53
5.2 ACOMPANHAMENTO A VISTORIAS – TORRE ORIENTE	55
5.3 RECTIFICAÇÃO DOS PLINTOS – TORRE ORIENTE	56
5.4 BETONILHA	58
6. CONCLUSÕES.....	60
6.1 EXPERIÊNCIA ADQUIRIDA.....	60
6.2 PROBLEMAS E SOLUÇÕES (DURANTE O REFORÇO).	61
6.3 ACOMPANHAMENTO POSTERIOR AO PERÍODO DE ESTÁGIO.....	65
6.4 ANÁLISE CRÍTICA.....	69
7. BIBLIOGRAFIA.....	70
8. GLOSSÁRIO	71

ÍNDICE DE IMAGENS

Imagem 1 – Localização da Torre Ocidente.....	12
Imagens 2 e 3 – Via vicinal, divisória e armazenamento de ferro.....	14
Imagem 4 – Limite do Estaleiro (lado do estacionamento).....	15
Imagens 5 e 6 – Condução de ar.....	16
Imagem 7 – Equipamento ascensional	16
Imagens 8 e 9 – Armação das paredes e pormenores de cofragem	17
Imagens 10 e 11 – Manutenção de armaduras em vigas e picagem de lajes	18
Imagens 12 e 13 – Picagem de elemento horizontal e corte da chapa constituinte da laje colaborante	18
Imagens 14 e 15 – Furação e disposição de ferrolhos.....	19
Imagem 16 – Máquina carotadora	20
Imagem 17 – Mesa de Corte e Dobragem de ferro	21
Imagens 18 e 19 – Armação de paredes	21
Imagens 20 e 21 – Cofragem de elementos e sistema de escoramento	22
Imagem 22 – Descofragem de parede.....	22
Imagens 23, 24 e 25 – Autobetoneira, Camião-bomba e mangueira.....	23
Imagens 26 e 27 – Agulhas vibradoras e betonagem da parede do alinhamento da caixa dos elevadores	23
Imagens 28, 29 e 30 – Enchimento do molde, apiloamento e medição da diferença de cotas.....	24
Imagens 31, 32 e 33 – Enchimento dos moldes, vibração e provetes.....	25
Imagem 34 – Remoção das vigas metálicas.....	26
Imagens 35, 36 e 37 – Elemento de ligação metálico e soldagem em viga metálica... 26	
Imagens 38, 39 e 40 – Peça metálica em U e sua aplicação em vigas e pilares.....	27
Imagens 41, 42 e 43 – Novos elementos metálicos e respectiva aparafusagem.....	28
Imagens 44 – Disposição de vigas no período pré-betonagem de lajes.....	35
Imagens 45 e 46 – Macaco Hidráulico e Tubo	42

Imagens 47 e 48 – Chapa Haircol, Malhasol e Conectores metálicos.....	50
Imagens 49 e 50 – Disposição das caixas de espera (durante a execução do núcleo de betão armado) e pormenor da ligação laje colaborante-núcleo central	51
Imagens 51 e 52 – Infiltrações patentes e disposição de camadas.....	53
Imagens 53 e 54 – Camada de malhasol e aplicação da camada de betão.....	54
Imagens 55 e 56 – Aspecto final da intervenção e sistema de escoamento.....	54
Imagens 57 e 58 – Maciços danificados	56
Imagens 59 e 60 – Demolição do elemento e disposição da armadura	57
Imagens 61 e 62 – Cofragem e betonagem do maciço	57
Imagens 63 e 64 – Novo maciço e aplicação de tela impermeabilizante.....	57
Imagem 65 – Cobertura inicial e remoção de inertes	58
Imagem 66 – Trabalhos de remoção de inertes e roofmate	59
Imagens 67 e 68 – Equipamento utilizado e maciço de espera.....	59
Imagem 69 – Camada de betonilha	59
Imagens 70 e 71 – Pilar do alinhamento 13 e espaço diminuto em causa	61
Imagens 72 e 73 – Elemento vertical descascado e acabamento da caixa.....	62
Imagens 74 e 75 – Vistas superior e lateral da estrutura de andaimes no interior da caixa de elevadores.....	63
Imagens 76 e 77 – Armadura de espera exposta e material destinado à estrutura da cofragem deslizante.....	65
Imagens 78 e 79 – Localização de uma das gruas-torre e construção do maciço.....	66
Imagem 80 – Processo de betonagem	66
Imagem 81 – Perspectiva geral do estaleiro na fase anterior ao arranque do deslize .	67
Imagem 82 – 19/10/2009.....	68
Imagem 83 – 2/11/2009.....	68
Imagem 84 - 10/11/2009 (Dia 0)	68
Imagem 85 – 11/10/2009 (Dia 1)	68
Imagem 86 – 13/11/2009 (Dia 3)	68
Imagem 87 – 18/11/2009 (Dia 7)	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do Centro Comercial Colombo na cidade de Lisboa.....	11
Figura 2 - Gráfico representativo da relação Custo-Prazo para diferentes tipos de estruturas.....	29
Figuras 3 e 4 – Sistemas de suporte de cofragem	40
Figura 4 – Macaco hidráulico e suas componentes	42
Figura 5 – Corte da Plataforma e elementos constituintes da cofragem deslizante.....	43
Figura 6 – Representação do endurecimento de camadas em função do tempo.....	46
Figura 7 – Disposição de elementos numa laje mista	50
Figura 8 – Representação esquemática da disposição de camadas.....	54

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Comparações na Gestão de Obra entre diferentes tipos de Estruturas	30
Quadro 2 – Comparação nas características de fundações entre diferentes tipos de Estruturas	30
Quadro 3 – Comparação das características de revestimento entre os diferentes tipos de Estruturas	31
Quadro 4 – Comparação das características de especialidades e de protecções contra fogo entre diferentes tipos de Estruturas.....	31
Quadro 5 – Comparação entre os Prazos e o Custo Financeiro associado aos diferentes tipos de Estruturas	32

1. INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

O presente documento consiste no relatório de estágio incluído no Trabalho Final de Mestrado e correspondente aos trabalhos desenvolvidos na empresa Mota-Engil Engenharia e Construções, S.A. pelo aluno estagiário António José Damas Sampaio, entre 6 de Março e 6 de Julho de 2009.

O âmbito do estágio consistiu:

- No acompanhamento da construção da Torre Ocidente localizada sobre o Centro Comercial Colombo e dos diversos métodos construtivos utilizados;
- Na análise de problemas e dificuldades construtivas existentes, enunciando soluções válidas e as efectivamente aplicadas;
- No desenvolvimento de actividades de apoio em trabalhos afectos à obra.

Deste modo pretendo consolidar os conhecimentos adquiridos no Mestrado em Engenharia Civil, de forma a assumir, no futuro, as devidas competências.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O presente capítulo pretende transmitir as condições da realização do estágio.

No capítulo 2, deste relatório, procede-se a uma descrição geral do empreendimento onde decorreu a experiência final formativa e no capítulo 3 aborda-se a descrição de trabalhos para reforço da estrutura.

No capítulo 4 expõem-se o procedimento e metodologia para a construção da estrutura elevada.

No quinto capítulo, apresentam-se os trabalhos realizados afectos à obra em questão.

O sexto capítulo inclui as principais conclusões do estágio, problemas encontrados e soluções, o contacto com a obra após o período de estágio, bem como uma análise das contingências da experiência formativa.

1.3 DESCRIÇÃO DO ESTÁGIO

O estágio consistiu no acompanhamento da equipa técnica da empresa Mota-Engil Engenharia e Construções, S.A., liderada pelo Director de Obra Eng.º Rui Santos Paiva. Os métodos utilizados para elaborar este relatório foram os seguintes:

- Contacto visual directo;
- Registo fotográfico e escrito;
- Informação transmitida pela equipa envolvida;
- Consulta de informação facultada do projecto;
- Pesquisa pessoal;
- Participação nos trabalhos desenvolvidos;
- Estudo dos vários projectos de estruturas.

1.4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O grupo empresarial privado Mota-Engil, que conta com mais de 60 anos de actividade, integra um conjunto alargado e multi-sectorial de negócios, englobando três grandes áreas de negócios – Engenharia e Construção, Ambiente e Serviços e Concessão de Transportes. Desenvolve ainda actividades na área do Turismo, no sector da Industria e Energia e na área da Hotelaria e Restauração.

A MEEC desenvolve a sua actividade no mercado da Construção Civil e Obra Públicas em Portugal, sendo da mesma forma responsável pela construção de grandes projectos de engenharia tanto a nível nacional como a nível internacional. No seio desta empresa estão inseridos vários segmentos especializados – como por exemplo Fundações Especiais, Agregados e Geotecnia – que, para além das suas actividades principais, cobrem todo o espectro da engenharia e da construção.

2. DESCRIÇÃO GERAL DA OBRA

O local onde decorreu o estágio é a Torre Ocidente, implantada sobre o Centro Comercial Colombo, na cidade de Lisboa, freguesia de Carnide, estando o edifício do Centro Comercial limitado pelas Avenidas Lusíada, Norton de Matos e dos Condes de Carnide. A Torre Ocidente é um edifício com uma área de implantação de cerca de 2050 m².

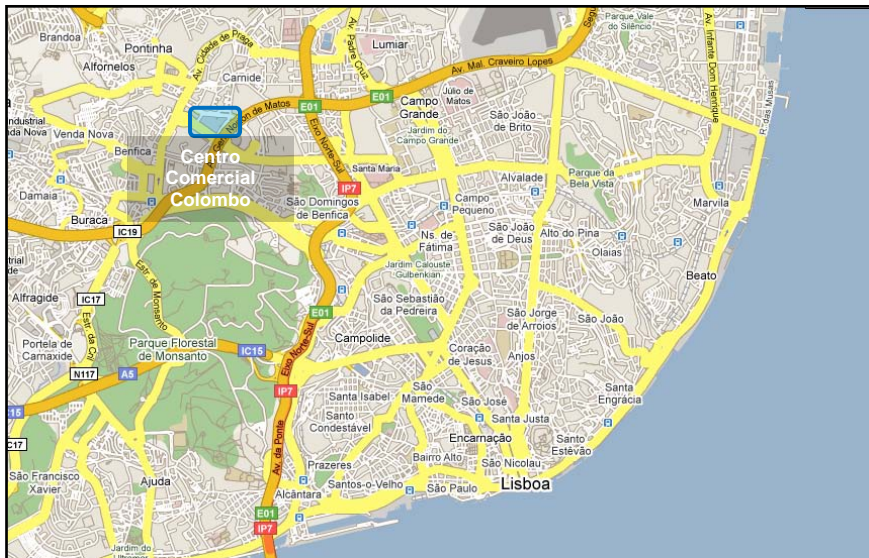


Figura 1 – Localização do Centro Comercial Colombo na cidade de Lisboa (fonte: GoogleMaps)

A empreitada em estudo contempla a execução da estrutura de uma torre de 14 pisos a construir a partir da cobertura do CCC, incluindo as ligações e demolições ao nível do Centro Comercial, necessárias para garantir a ligação das duas estruturas.

O edifício desenvolve-se a partir de um embasamento de 7 pisos, sendo 3 deles enterrados, sob uma forma geométrica rectangular de 64 x 32 m, com o canto do lado sudeste em redondo com um raio de 12m. O lado de maior dimensão tem desenvolvimento paralelo à Avenida Lusíada.



Imagem 1 – Localização da Torre Ocidente (fonte: GoogleMaps)

A estrutura original, base da torre a edificar, foi erigida no ano de 1995, incluída no projecto do CCC, sendo que a distribuição dos elementos estruturais – pilares metálicos, paredes de betão e vigas principais dos pisos – já estava definida. Os elementos verticais da Torre estão, obrigatoriamente, implantados na continuidade dos já existentes.

Na concepção global da estrutura e no dimensionamento dos seus elementos consideraram-se, para além dos aspectos da segurança estrutural e economia, as indicações mais recentes em termos de qualidade do comportamento estrutural e de durabilidade.

A Torre Ocidente apresenta um núcleo central com sensivelmente 25 x 14m de área, em betão armado. A restante área será em estrutura metálica, com lajes mistas de chapa tipo Haircol 59S e lâmina de betão C25/30 armado.

A concessão da obra da estrutura elevada foi colocada em concurso público, sendo adjudicada ao consórcio MEEC / Martifer S.A., responsável pela denominada superestrutura da Torre Ocidente. Para a empreitada de reforço estrutural, a adjudicação foi, igualmente, atribuída à MEEC, tendo sido adjudicado, em regime de subempreitada, à empresa Martifer S.A. a responsabilidade pelas ligações metálicas e colocação/remoção de elementos metálicos.

3. REFORÇO DA ESTRUTURA

Ao reforço do núcleo central da Torre Ocidente do CCC estiveram associados trabalhos de demolição de elementos da estrutura já existente (quer em betão armado, quer em alvenaria), execução de paredes em betão armado, tal como a remoção, colocação e reforço de elementos metálicos. Foi feito este acréscimo de elementos de forma a conferir à estrutura suficiente capacidade resistente ao efeito da acção sísmica para suporte da nova torre a edificar.

A fundação de todo o edifício do CCC, e conseqüentemente da Torre Ocidente, é em ensoleiramento geral, com 3 metros de espessura (situado à cota 70 acima do nível médio das águas do mar).

Ao nível da fundação (ensoleiramento geral) foram executados furos (com diâmetro Φ 40 mm) na base das paredes de forma a executar a ligação entre as paredes e a fundação a erigir. A zona de ligação foi demolida, sendo aplicada, posteriormente, no interior dos furos um produto de aderência (resina epoxy).

O número total de paredes executadas é de 7, estando 4 delas dispostas na direcção Este-Oeste (numeradas segundo os eixos 12,13,14 e 15) e 3 na direcção Norte-Sul (com a designação B, B.1 e C). Estas são constituídas por betão armado, com os pilares adjacentes constituídos por perfis metálicos que, à semelhança das vigas, estão embebidos em betão.

A parede do eixo 15 tem desenvolvimento até ao piso -1, enquanto a parede do eixo 12 sofre uma redução da sua extensão no piso -1, terminando a mesma no piso 0. As restantes paredes têm o seu desenvolvimento desde o ensoleiramento geral até à cobertura.

A disposição das paredes do núcleo central, a erigir nos diferentes pisos, está patente em peças desenhadas presentes no Anexo I, (PD 1 a PD 7).

O projecto para esta obra foi elaborado pelo gabinete de projecto TAL Projecto - Projecto, Estudos e Serviços de Engenharia, Lda., com base no Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP).

3.1 ESTALEIRO

A entrada de materiais e equipamento no estaleiro, para a empreitada de reforço da estrutura, foi feita através do cais de descarga localizado ao nível do piso -3, sendo o acesso processado pela ala Oeste, utilizando uma via de circulação interior existente e usualmente utilizada para abastecimento ao CCC.

O armazenamento de ferro foi assegurado num espaço adjacente à entrada dos materiais, sendo criada para o efeito, uma divisória em painéis de rede, restringindo desta forma a largura da via vicinal. Para corte e moldagem de ferro, permanecia em obra uma mesa que assegurava a realização destes trabalhos. Este espaço albergava também os contentores para remoção de entulhos.



Imagens 2 e 3 – Via vicinal, divisória e armazenamento de ferro.

Para armazenamento de taipais e material destinado à cofragem dos elementos, foi retirada área aos parques de estacionamento contíguos à obra, localizados na zona Norte da área de intervenção. A divisória foi feita em placas de contraplacado de madeira.



Imagem 4 – Limite do Estaleiro (lado do estacionamento).

O fornecimento de betão foi assegurado recorrendo a betão “pronto”, devido às reduzidas dimensões do estaleiro.

Foram considerados cuidados acrescidos com os acessos ao estaleiro, nomeadamente nas portas já existentes, devido à proximidade da área comercial, com vista a impedir a entrada de pessoas estranhas ao serviço. Garantiu-se de igual modo, nos pisos superiores, que poeiras e detritos inerentes à obra não interferissem com o normal funcionamento das actividades relacionadas com o CCC e circulação de transeuntes.

No estaleiro estavam incorporados a ferramentaria, dois vestiários, duas instalações sanitárias e refeitório.

A maior dificuldade presente nesta obra foi a ausência de condições que permitissem o transporte de material, equipamentos e detritos de piso para piso. Para remoção de detritos, por exemplo, foi encontrada a solução de aproveitar as condutas de ar condicionado (desactivadas) existentes para vazar o entulho existente. A recepção desse mesmo entulho ficou localizada no piso -3, para contentores de recolha presentes no cais de entrada da obra.



Imagens 5 e 6 – Conduto de ar

O transporte de ferro, moldes para cofragem e equipamentos foi inicialmente executado de forma manual, o que significava a perda de rendimento da mão-de-obra ao longo do tempo de obra. Foi posteriormente criada uma abertura localizada no espaço ocupado por uma caixa de elevadores, de forma a criar um sistema de elevação de materiais.



Imagem 7 – Equipamento ascensional

3.2 TRABALHOS DE DEMOLIÇÃO

Devido à proximidade dos trabalhos da área comercial, tiveram que ser consideradas alterações no planeamento. Assim sendo, os trabalhos de demolição (em concreto a piquetagem e trabalhos recorrendo a berbequins hidráulicos) foram executados em horário anterior (0-9 horas) ao período de serviço das áreas comerciais.

As demolições nos trabalhos de reforço foram cumpridas através de maquinaria eléctrica e hidráulica, instrumentos que funcionavam por meio de corte e desmantelamento.

Existiram dificuldades inerentes ao número de redes de serviço das denominadas especialidades (abastecimento de água e saneamento, telecomunicações, electricidade, ar condicionado, entre outras). Algumas das redes tiveram de ser desactivadas, outras houve, em que cuidados extra (molde na cofragem - negativos) tiveram que se acrescentar.



Imagens 8 e 9 – Armação das paredes e pormenores de cofragem

Sempre que esteve prevista a manutenção das armaduras em elementos, os volumes de betão armado em que estas estivessem integradas eram demolidos com a utilização de martelos pneumáticos, garantindo a integridade das armaduras e a sanidade do betão remanescente. Quando não fossem aproveitadas as armaduras existentes os elementos eram cortados com serras de disco diamantado.



Imagens 10 e 11 – Manutenção de armaduras em vigas e picagem de lajes

Nas faces de betão demolido que ficam em contacto com o novo betão foram removidos os pinos de forma a deixar expostas as superfícies dos inertes (o trabalho de picagem).



Imagens 12 e 13 – Picagem de elemento horizontal e corte da chapa constituinte da laje colaborante

3.3 FURAÇÕES

A ligação entre a estrutura de betão armado existente e os novos elementos foi assegurada através de varões de ferro, denominados por ferrolhos, de diâmetro Φ 32 mm, com uma inclinação de 10° com a horizontal, os quais ficaram 500 mm inseridos nos elementos antigos e 500 mm presentes nos novos elementos.



Imagens 14 e 15 – Furação e disposição de ferrolhos

Antes da execução dos furos das paredes existentes, foi efectuada uma sondagem de forma a identificar a posição das armaduras existentes por picagem superficial. No fim das furações as zonas com armaduras expostas foram preenchidas com Grout.

Foram igualmente efectuados furos Φ 40 mm para selagem de varões Φ 32 mm, das paredes de reforço ao nível do piso -3.

De forma a manter redes de serviço das especialidades descritas no capítulo anterior, optou-se em certas localizações pela execução de furos recorrendo a máquinas carotadoras. Tal decisão envolve um maior número de equipamento e mão-de-obra a um espaço de si já restrito, tornando em certas ocasiões inviável o recurso a esta técnica.



Imagem 16 – Máquina carotadora

A disposição dos furos executados ao nível do ensoleiramento geral, do piso -3, está presente no Anexo I (PD 8).

3.4 ARMAÇÃO

A classe de aço empregue nesta empreitada é a A500 NR.

Os trabalhos de armação das paredes incluíam trabalhos de corte, moldagem e colocação de ferro. Como já foi referido, o corte e moldagem dos ferros foi efectuado em estaleiro.



Imagem 17 – Mesa de Corte e Dobragem de ferro



Imagens 18 e 19 – Armação de paredes

Foram utilizadas neste reforço estrutural cerca de 105 toneladas de aço (nesta contabilização está excluído o peso dos perfis metálicos).

3.5 COFRAGEM

A cofragem dos elementos foi feita com a utilização de taipais metálicos, sendo ocasionalmente utilizados painéis e peças em madeira para delimitar a forma dos elementos.



Imagens 20 e 21 – Cofragem de elementos e sistema de escoramento

O sistema de escoramento dos elementos foi efectuado com recurso a prumos.

A descofragem dos elementos era executada no dia seguinte à betonagem, pois desta forma evitava-se a sobrelotação do espaço devido aos taipais e rentabiliza-se o equipamento.

O número de “negativos” na cofragem para atravessamento de condutas e tubagem existente e a existir implicaram trabalhos adicionais, os quais originaram atrasos pontuais na empreitada e diminuiu o rendimento da mão-de-obra.

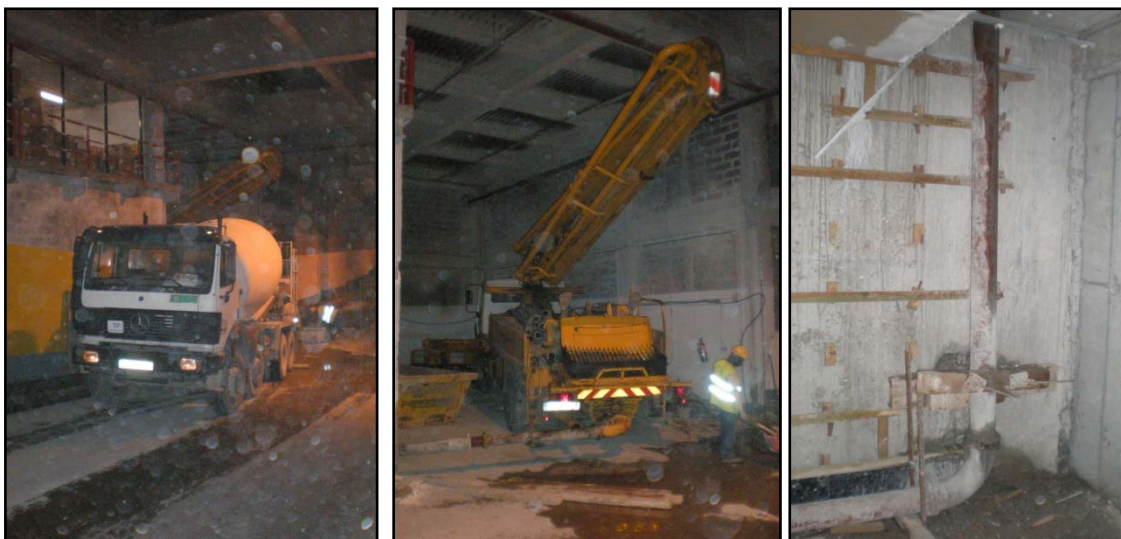


Imagem 22 – Descofragem de parede

3.6 BETONAGEM

O Betão utilizado é da classe C35/45, com uma classe de exposição XC.

O transporte de betão até ao estaleiro foi efectuado recorrendo a camiões-betoneira. Para assegurar o transporte de betão para os pisos superiores, recorreu-se a camiões com bomba, utilizando mangueiras de transporte para o efeito.



Imagens 23, 24 e 25 – Autobetoneira, Camião-bomba e mangueira

O saneamento do betão foi feito com recurso a vibradores, equipamento colocado dentro dos moldes com betão, de modo a acelerar a arrumação dos inertes (impedindo assim a formação de “chochos”).



Imagens 26 e 27 – Agulhas vibradoras e betonagem da parede do alinhamento da caixa dos elevadores

Eram efectuados dois ensaios para averiguar quanto à qualidade do betão utilizado em obra, a saber:

- Ensaio de abaixamento (Slump test);
- Ensaios de resistência à compressão (aos 7 e 21 dias).

Ensaio de Abaixamento

Princípio: o betão fresco é colocado e compactado no interior de um molde com a forma tronco-cónica. Subindo o cone, removendo-o por completo, o abaixamento do betão estabelece a medida da sua consistência.

Tempos de aplicação: a operação de desmoldagem demora cerca de 10 seg, através de um movimento firme para cima, garantindo que não sejam transmitidos movimentos torsionais ou laterais à amostra. Executar toda a operação desde o enchimento à remoção do balde, sem interrupções, durante 150 seg.

Procedimento: (1) toma-se uma amostra representativa da amassadura; (2) enchimento do molde em três camadas apiloadas com 25 pancadas e regularização superficial da 3ª camada; (3) levantamento do molde e medição da diferença entre a altura do molde e o cota mais alta do provete que abaixou.

Este ensaio só se considera verdadeiro caso se verifique um abaixamento verdadeiro, no qual o betão permaneça substancialmente intacto e simétrico. Caso o provete se deforme deve colher-se outra amostra e repetir-se o procedimento. Se em dois ensaios consecutivos se verificar deformação de uma porção de betão da massa do provete, o betão não apresenta a plasticidade e coesão adequadas ao ensaio.



Imagens 28, 29 e 30 – Enchimento do molde, apiloamento e medição da diferença de cotas

Ensaio de compressão

Para a determinação do valor da resistência característica abaixo do qual se espera que ocorra 5% da população de todos os possíveis resultados da resistência relativos ao volume de betão em consideração, eram efectuados ensaios em betão endurecido, segundo a NP EN 12390.

Estes ensaios eram efectuados em laboratório credenciado para o efeito, sendo a preparação do provete realizada em obra, seguindo a NP EN 12390-2 – Parte 2: Execução e cura de provetes para ensaios de resistência mecânica.



Imagens 31, 32 e 33 – Enchimento dos moldes, vibração e provetes

3.7 LIGAÇÕES METÁLICAS

Os trabalhos relacionados com o reforço, tratamento ou acrescento das peças metálicas couberam à empresa Martifer, empresa em regime de subempreitada para a obra de reforço da estrutura.



Imagem 34 – Remoção das vigas metálicas

A ligação das vigas metálicas de reforço foi efectuada por meio de soldaduras junto às aberturas executadas nas lajes existentes às vergas de betão armado existentes.



Imagens 35, 36 e 37 – Elemento de ligação metálico e soldagem em viga metálica

A estrutura existente é constituída por uma estrutura metálica embebida em betão. É composta por perfis metálicos do tipo:

- HEB 180;
- IPE 240 A;
- IPE 270 A;
- HE 450 A;
- HE 280 A;

- HE 500 AA;
- UNP 160.

Nos pilares já existentes, sendo estes incorporados nas paredes a executar, foram aplicados parafusos ao longo do perfil desde a fundação até ao topo da parede de reforço. Estes têm as diâmetro M20 e são da classe 5.6.

Existia igualmente um reforço metálico nos pilares e vigas já existentes, com peças metálicas em forma de U, de diâmetro Φ 32 mm, de forma a incrementar a sua capacidade resistente.



Imagens 38, 39 e 40 – Peça metálica em U e sua aplicação em vigas e pilares

3.8 NOVAS PEÇAS METÁLICAS

Foram incorporadas à estrutura novas vigas metálicas (perfis IPE 270), ao nível do piso -2 e piso -1, sendo executadas as necessárias soldaduras e aparafusagem para encaixe das novas vigas metálicas.

Os novos perfis, as barras e as chapas eram em aço S275JR segundo a norma NP-EN 10025, tendo em consideração as características do aço.

Para os parafusos galvanizados, o aço empregue foi da classe 8.8, com porcas da classe 8 e anilhas em aço duro S275 ou superior.



Imagens 41, 42 e 43 – Novos elementos metálicos e respectiva aparafusagem

A localização das novas peças metálicas encontra-se disposta em peça desenhada presente no Anexo I.

4. ESTRUTURA ELEVADA

A estrutura elevada da Torre Ocidente tem particularidades e métodos não muito usuais no mercado da construção civil em Portugal. É destinado um subcapítulo respeitante às generalidades do projecto da estrutura elevada. Os subsequentes subcapítulos focam o processo de construção do núcleo central da torre, em betão armado, recorrendo ao método da cofragem deslizante, e as características e génese das lajes colaborantes utilizadas para a estrutura mista.

No caso de edifícios, é impossível decidir se uma estrutura mista é melhor ou pior que uma estrutura em betão. O que pode ser estudado neste tipo de comparação é a análise custo-benefício associado à estrutura. Combinando as vantagens quer dos elementos metálicos, quer do betão, é criada uma boa relação custo-prazo.

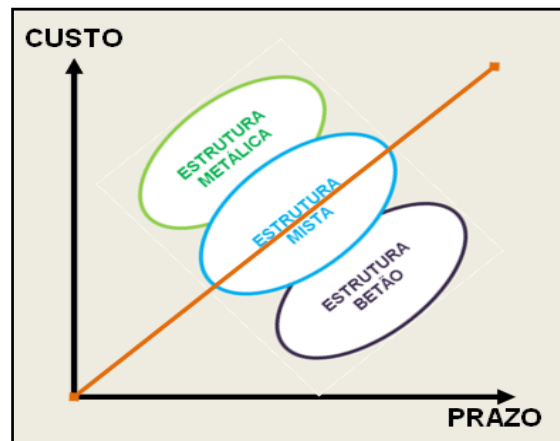


Figura 2 - Gráfico representativo da relação Custo-Prazo para diferentes tipos de estruturas

Em seguida, apresentam-se quadros comparativos entre a construção de edifícios de estruturas mistas e de edifícios de estruturas de betão, extraídos da monografia sobre Estruturas Mistas patente na bibliografia.

EDIFÍCIOS DE ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIOS DE ESTRUTURAS DE BETÃO
Gestão de obra	
Execução em fábrica; Apenas montagem em obra	Execução predominantemente em estaleiro
Obra “seca”	Obra com recurso a muita água
Grande precisão dimensional	Menor precisão dimensional
Estaleiro diminuto (material chega quando necessário, sem grandes necessidades de armazenamento)	Estaleiro de maiores dimensões para matérias-primas e armazenamento;
Grande precisão quantitativa dos materiais	Maior dificuldade de precisão de materiais
Simplificação do estaleiro (minimização ou exclusão de escoramento na execução das lajes)	Estaleiro mais completo, uso de escoramentos com prumos na execução de lajes

Quadro 1 – Comparações na Gestão de Obra entre diferentes tipos de Estruturas

EDIFÍCIOS DE ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIOS DE ESTRUTURAS DE BETÃO
Fundações	
Soluções económicas	Soluções dispendiosas
Leveza estrutural	Grande peso estrutural
Menor transmissão de cargas às fundações	Fundações mais solicitadas
40 a 80 Kg/m ² (vigas e pilares)	250 a 350 Kg/m ² (vigas e pilares)

Quadro 2 – Comparação nas características de fundações entre diferentes tipos de Estruturas

EDIFÍCIOS DE ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIOS DE ESTRUTURAS DE BETÃO
Revestimentos	
Minimização de argamassas de regularização em pisos e paredes, devido ao rigor dos níveis	Necessidade de maior espessura de revestimento em lajes e paredes, de forma a colmatar as imperfeições
Facilita o uso de materiais complementares pré-fabricados (por exemplo: painéis de parede, forros, outros)	Necessita aplicação de elementos de regularização antes da fixação dos revestimentos

Quadro 3 – Comparação das características de revestimento entre os diferentes tipos de Estruturas

EDIFÍCIOS DE ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIOS DE ESTRUTURAS DE BETÃO
Instalações eléctricas, hidráulicas e protecção contra fogo	
Pilares e vigas podem ser furados na fábrica ou em obra	Dificuldade de execução de furos em pilares e vigas (necessidade de maior rigor de planeamento em projecto)
Facilidade de passagem de tubagens, permite alterar as instalações em obra	Impossibilidade de alteração após a execução da estrutura
Necessita protecções contra fogo mais sofisticadas	Protecção contra fogo simplificada

Quadro 4 – Comparação das características de especialidades e de protecções contra fogo entre diferentes tipos de Estruturas

EDIFÍCIOS DE ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIOS DE ESTRUTURAS DE BETÃO
Prazos e Custo Financeiro	
Simultaneidade de execução da estrutura, fundações e outros elementos	Dependência de terminar as fundações para iniciar a construção da estrutura
Prazos finais reduzidos (rapidez de utilização)	Prazos alargados que incrementam os custos
Retorno mais rápido do investimento	-

Quadro 5 – Comparação entre os Prazos e o Custo Financeiro associado aos diferentes tipos de Estruturas

A soma das pequenas economias podem originar um decréscimo no custo final da construção na ordem 8 a 10%, isto se não ocorrem grandes custos de transporte de materiais e equipamentos.

Outras vantagens ainda associadas ao uso de estruturas mistas, não contabilizáveis numa comparação directa, apenas através da análise de projecto a projecto, serão as seguintes:

- Aumento da área líquida com aumento de valor venal e locativo;
- Aumento dos espaçamentos entre pilares, com um acréscimo da área útil;
- Maior facilidade de manutenção (maior acessibilidade aos elementos estruturais);
- Diminuição de patologias no decorrer do tempo;

4.1 GENERALIDADES DA ESTRUTURA ELEVADA

Na estrutura de cada um dos novos pisos distinguem-se duas áreas com características distintas: a zona central que inclui os núcleos de acessos verticais, formadas por paredes verticais, lajes e vigas em betão armado; e a área restante, envolvendo a zona central, na qual os pilares e vigas são metálicos, e as lajes são mistas, compostas por chapas metálicas perfiladas, colaborantes, e por uma camada de betão vazada sobre ela.

Na zona central, as características geométricas mantêm-se entre o piso 2 e o piso 10, deixando de existir, acima desse nível, os dois núcleos centrais que envolvem as chaminés técnicas. Algumas paredes verticais de betão terminam no piso 14 enquanto as outras se prolongam até ao nível da cobertura da área técnica. A laje desta cobertura apoia sobre as paredes que a atingem e, por meio de vigas, sobre alguns pilares que serão constituídos no topo das paredes. Importa referir, pela sua importância para o comportamento global do conjunto das paredes, a existência de vários lintéis de betão armado que ligam as paredes entre si. Convém, da mesma forma, referir que é devido àquele conjunto de paredes que as forças horizontais consideradas (vento e sismo) actuando no edifício são transmitidas às fundações.

Conforme anteriormente referido, os pilares metálicos estão implantados a eixo dos pilares nos pisos inferiores. Existem pilares nas fachadas, afastados entre si de 4,0 m em quase todo o desenvolvimento das fachadas planas, e com uma distribuição regular no troço de fachada curvo, e 6 pilares no interior do edifício. Ao nível do piso 11 as posições de alguns dos pilares alteram-se. Os pilares da fachada sudeste deslocam-se 0,50 m para o interior do edifício; os pilares da fachada Noroeste recuam cerca de 4,0 m e, devido ao desaparecimento de uma zona de pisos no canto Oeste, alguns pilares terminam nesse nível e outros surgem daí para cima, acompanhando o desenvolvimento da nova extensão da fachada curva. Naturalmente que com estas mudanças nas posições dos pilares, surjam pilares acima do piso 11 que não têm continuidade nos pisos inferiores. Estes ficam apoiados sobre vigas, razão pela qual no piso 11 se registam vigas de maior dimensão. Também nos níveis dos pisos 13 e 14 estão visíveis alterações na distribuição dos elementos estruturais relativamente ao que se passa nos pisos inferiores. Neste caso essas mesmas alterações são devidas a duas circunstâncias:

- A existência de uma área circular situada no canto Sudeste do edifício, em que não existe laje no piso 14, estando a respectiva cobertura (metálica) colocada

acima da restante área do piso. Trata-se de uma área com cerca de 11,20 m de raio;

- Ao facto de uma parte da cobertura da área técnica exceder os limites da zona central (suportada por paredes de betão), o que criou a necessidade de colocar pilares metálicos apoiados nas vigas metálicas do piso 14. Sobre estes pilares apoiam vigas metálicas que suportam a área daquela cobertura, sendo constituída por uma laje mista.

Abstraindo as diferenças resultantes das variações nas posições dos pilares, à qual se fez referência, as estruturas dos diferentes pisos tem constituição idêntica. Na maior parte da área dos pisos as lajes mistas apoiam numa série de vigas paralelas, transversais ao edifício e afastadas de si 4,0 metros. Estas vigas ligam-se, nas extremidades, aos pilares das fachadas, aos pilares interiores, às paredes de betão ou às vigas longitudinais que ligam os pilares interiores entre si. São na maioria dos casos constituídas por perfis IPE 600, quando vencem vãos de 12,0 m e por perfis IPE 500 quando, situadas na faixa central do edifício, vencem vãos de 8,0 m. As vigas longitudinais onde elas apoiam e que também vencem vãos de 8,0 m são igualmente perfis IPE 600.

Em todas estas vigas foram introduzidas aberturas circulares com 390 mm de diâmetro, centradas na alma, com localizações condicionadas pela implantação das condutas de ar condicionado. Devido à redução local da resistência causada pelas aberturas, houve necessidade da colocação de chapas de reforço alinhadas com as vigas. Procurou-se, de forma a simplificar a execução, que estas chapas fossem colocadas sob o banzo inferior do perfil IPE.

É essencial referir, que nos banzos inferiores dos perfis metálicos das vigas, são soldados os conectores para assegurar a ligação mecânica às lajes mistas. Constituem-se, portanto, as vigas mistas aço-betão.

Com o objectivo de melhorar as condições de estabilidade lateral das vigas, especialmente no período que antecede a betonagem das lajes, previu-se a colocação de travamentos ligando-as umas às outras em secções afastadas de 4,0 m.



Imagens 44 – Disposição de vigas no período pré-betonagem de lajes (fonte: Eng.º Hugo Pereira, Mota-Engil)

No piso 11, em que sobre algumas vigas apoiam pilares dos pisos superiores, os perfis IPE não foram suficientes para suportar os acréscimos de esforços provocados por essas cargas adicionais. Usaram-se então, perfis do tipo HEA e HEB 600, nalguns casos duplicados e em aço de alta resistência. Nota-se, também, que alguns dos reforços a colocar nos alinhamentos das aberturas das almas deixaram de estar soldados aos banzos inferiores e passaram a ser formados por chapas soldadas lateralmente às almas por cima e por baixo das aberturas.

No piso 14, onde voltam a existir pilares apoiados sobre vigas, existem também vigas em perfil H.

Quanto ao piso 14 terá que se referir o facto de as vigas que constituem a sua estrutura terem, na generalidade, dimensões superiores às vigas dos outros pisos. Essas dimensões justificam-se pelas maiores cargas verticais que actuam nesse piso, razão pela qual a própria laje tem 16 cm de espessura, enquanto as lajes dos outros pisos têm apenas 15 cm. Uma parte da área do piso 14 será ocupada com equipamento pesado (carga distribuída equivalente igual a $7,5 \text{ kN/m}^2$), havendo ainda a notar a existência de alguns pilares que suportam a cobertura apoiados em vigas deste piso. A altura máxima das vigas deste piso é de 700 mm, encontrando-se vários perfis HEB 700 em aço de alta resistência e uma viga composta formada por chapas do mesmo aço. Optou-se pela construção de uma viga composta, porque os perfis laminados com 700 mm de altura máxima mais correntemente disponíveis no mercado não suportam os esforços a que a viga ficará sujeita. É de mencionar ainda a existência de vigas perpendiculares às fachadas, colocadas a meio dos intervalos de 4,0 m, com o intuito de suportarem os caminhos de rolamento dos bailêus de limpeza das fachadas.

A cobertura do espaço circular situado acima do piso 13 é constituída por 16 vigas principais radiais em perfil IPE 600 apoiadas nos pilares de periferia, e ligadas no centro a uma peça soldada que assegura a continuidade de todas elas simultaneamente. Entre essas vigas estão colocadas as madres que dão apoio ao revestimento superior da cobertura, o qual é constituído por chapas metálicas no círculo central, e por uma laje de betão numa coroa circular com 3,20 m de altura.

4.1.1 MATERIAIS

No fabrico das estruturas metálicas foram empregues os seguintes materiais:

- Perfis, barras e chapas, em geral – Aço S275 JR e Aço S355 JR;
- Tubos, em geral – Aço S275 JOH e Aço S355 JOH;
- Parafusaria em geral – Classes 8.8 e 10.9;
- Porcas – Classes 8 e 10;
- Anilhas – Aço duro (S355 ou dureza superior);
- Conectores – Aço com características adequadas à soldadura por fusão local através de chapas metálicas perfiladas colaborantes (espessura 0,88 e 1,2 mm). Tensão de cedência mínima – 355 N/mm².

As lajes mistas dos pisos são compostas por:

- Chapas metálicas perfiladas do tipo WARD 80 com 1,2 mm de espessura galvanizadas em ambas as faces;
- Betão C25/30. Classe de exposição I;
- Armaduras em aço A500 NR (varões) ou em rede electrosoldada de aço A500 NL.

Quanto aos elementos de betão armado – paredes, pilares e lajes – previu-se que fossem compostos por:

- Armaduras em aço A500 NR;
- Betão C30/37 nas paredes do núcleo;

- Betão C25/30 nos restantes elementos.

4.1.2 ACÇÕES CONSIDERADAS EM PROJECTO

ACÇÃO DO VENTO

A acção do vento é condicionante apenas para as estruturas de cobertura leve acima do piso 14 e da pala que acompanha a periferia desse mesmo piso. Atribuiu-se o valor da pressão dinâmica do vento, tendo em conta que o edifício se localiza na zona B do território nacional, que a rugosidade aerodinâmica é do tipo II e que aqueles elementos construtivos se situam a uma altura de cerca de 145 m acima do solo. Nestas circunstâncias a pressão dinâmica resultante toma o valor de $2,0 \text{ kN/m}^2$.

ACÇÃO SÍSMICA

A acção sísmica não é condicionante para o dimensionamento das estruturas dos pisos, visto que ela é integralmente absorvida pelo núcleo central de betão. No dimensionamento deste é importante notar que o edifício se localiza na zona de maior sismicidade do território nacional (zona A) e que o terreno de fundação é do tipo II.

4.1.3 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento das vigas e pilares foi efectuado de modo a que suportem as acções referidas no subcapítulo anterior, usando os métodos de verificação de segurança preconizados no Eurocódigo 4: Dimensionamento de Estruturas mistas de Aço e Betão, para as vigas mistas, e no Eurocódigo 3 "Dimensionamento de Estruturas Metálicas, para os pilares e para as vigas que não se consideram mecanicamente solidarizadas com as lajes. O dimensionamento das lajes mistas baseou-se nas tabelas do fornecedor das chapas perfiladas colaborantes.

Com o intuito de simplificar o processo de fabrico e montagem da estrutura, procurou-se utilizar ligações simples, do tipo rotuladas, entre as vigas e os pilares. Esse critério foi, de uma forma geral, respeitado em todas as vigas, quer nas que suportam directamente as lajes mistas, quer nas vigas longitudinais ao edifício onde apoiam as vigas transversais. Estas últimas ficam, desta forma, simplesmente apoiadas nos pilares interiores do edifício.

Os pilares foram calculados como peças lineares sujeitas fundamentalmente a esforços de compressão, mas que resistem igualmente aos momentos flectores que lhe são transmitidos pelas vigas. Tais momentos ocorrem devido à excentricidade dos pontos de apoio das vigas relativamente aos eixos dos pilares.

O facto de a estrutura de cada piso estar ligada ao núcleo central constituído por paredes de betão armado e tendo em conta que este possui uma rigidez muito superior ao conjunto dos pilares metálicos, leva a admitir que:

- 1) Todas as forças horizontalmente aplicadas ao edifício são absorvidas e transmitidas às fundações pelo núcleo central de betão armado;
- 2) A transmissão das forças horizontais ao núcleo é feita através das lajes mistas dos pisos, que se comportam para esse efeito como diafragmas indeformáveis, compatibilizando em cada piso os deslocamentos horizontais e a rotação em torno do eixo vertical;
- 3) Durante o período de construção e enquanto não forem betonadas as lajes são colocadas diagonais de contraventamento provisório, constituídas por tubos, conjuntamente com as vigas, transmitem as forças horizontais aos núcleos;
- 4) A estrutura metálica comporta-se como uma estrutura de nós fixos.

Na análise do comportamento das vigas face às combinações de acções que definem os E.L. Últimos admitiu-se, nos termos do EC3 e EC4, a possibilidade de plastificação das secções críticas.

Quanto às verificações respeitantes aos E.L. Segurança elas consistiram, essencialmente, na limitação dos valores das flechas das vigas, tendo em conta os limites estabelecidos no EC3.

Nas lajes mistas previu-se a utilização da chapa colaborante proposta nos desenhos fornecidos pelo Dono de Obra, sobre a qual se verte o betão da classe C25/30. Para além de uma malha anti-fissuração foram colocados varões de reforço sobre os apoios nas vigas, dimensionados para resistirem aos momentos negativos.

4.2 COFRAGEM DESLIZANTE

Para a execução dos elementos verticais, além do emprego de cofragens tradicionais, utilizadas em elementos de relativa pequena altura (inferiores a 15 m), recorre-se à cofragem por meio de moldes trepantes ou deslizantes para elementos com um maior desenvolvimento.

Este tipo de cofragem é utilizado no âmbito de obras com determinado monolitismo segundo o desenvolvimento vertical, podendo no entanto ter uma secção horizontal variável. A espessura dos elementos poderá ser constante em função da altura.

É em seguida descrito com pormenor, o processo construtivo por meio do deslize utilizado nas torres Ocidente e Oriente do CCC.

4.2.1 SISTEMAS DE DESLIZE

Foi no ano de 1930 que a empresa alemã Siemens - Bau Union desenvolveu um sistema de cofragens deslizantes. Este sistema foi evoluindo, sendo em 1969 adquirida esta tecnologia, denominada de Siemcrete, por parte da empresa portuguesa Engil.

A patente deste sistema é actualmente detida pela DYWIDAG Slipform Systems.

A Engil, pioneira em Portugal no uso das cofragens deslizantes, tem ao longo de anos construído com recurso ao deslize um número de obras onde foi possível aplicar o sistema, tais como em silos, chaminés, pilares de pontes, caixas de escada e elevadores entres outras estruturas.

Nas décadas de 70 e 80 esta tecnologia teve maior relevância no conjunto de obras executadas pela Engil, já que foram construídos muitos silos para armazenamento de cereais, bem como, em consequência do aumento das linhas de produção de cimenteiras onde os vários tipos de silo destinados a armazenamento de cimento, clinker, carvão e cinzas, assim como as chaminés executadas com recurso a este método.

A finalidade deste sistema tem como base o aumento da produtividade e a redução do tempo de execução por sistematização de tarefas e de trabalho contínuo, atingindo os propósitos quando o método é utilizado correctamente, obtendo assim estruturas de betão continuas sem juntas de construção.

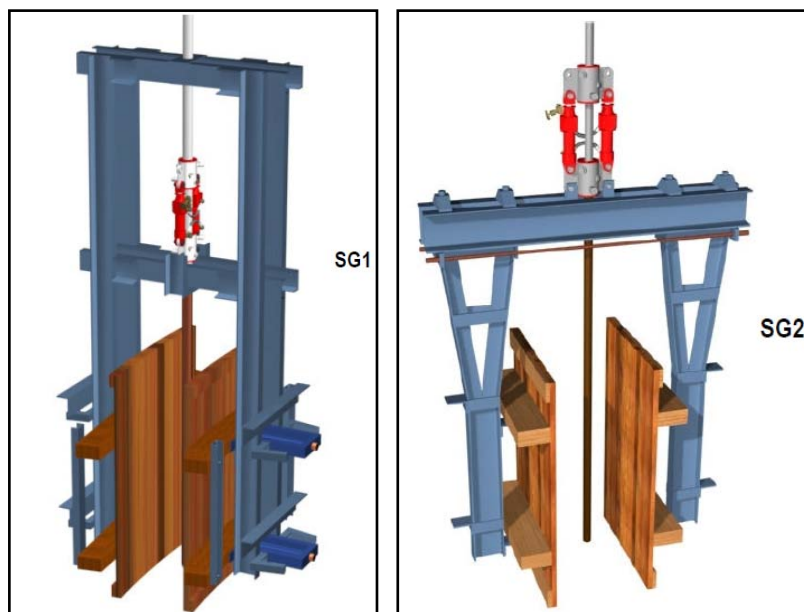
A MEEC possui dois sistemas, denominados de SG1 e SG2. O sistema SG1 pode deslizar elementos de parede com variação de forma (seja essa forma cónica, hiperbólica ou quadrada) e permite também a redução de espessura das paredes de betão. O sistema SG2, menos robusto, é utilizado para deslizar elementos de forma e espessura constantes. Na construção do núcleo central das torres sobre o CCC foram utilizados ambos os sistemas.

4.2.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Na base da estrutura a ser erigida por deslize é montada uma cofragem de pequena altura (cerca de 1,25 m), alinhando o princípio das paredes a executar.

Aproximadamente no eixo das paredes, são dispostos varões ou tubos, consoante a robustez solicitada pela obra a executar e que são utilizados para fixar os macacos que mobilizam a cofragem, bem como os apoios da estrutura através das cabeças de fixação do sistema hidráulico.

A estrutura de suporte da cofragem é formada por cavaletes distanciados de 1,5 a 2,5 m.



Figuras 3 e 4 – Sistemas de suporte de cofragem (fonte: *Cofragens Deslizantes em chaminés e pilares de pontes, Janeiro 2006*)

É nestes cavaletes que são montados os dispositivos de elevação, sendo constituídos por dois cilindros hidráulicos e por duas cabeças de fixação, permitindo somente o

movimento ascensional. Todos os dispositivos estão ligados entre si, e por sua vez a um centro de comando onde se localizam as bombas hidráulicas. A pressão nos circuitos de ligação varia entre os 170 e os 200 bar.

A velocidade de deslize está dependente unicamente do tempo de presa do betão, podendo em casos normais de execução e através de pequenos acréscimos de aproximadamente 6 cm atingir uma velocidade de 24 cm/hora. Cada movimento ascensional é executado num curto espaço de tempo (cerca de 2 a 3 minutos), exigindo controlo da altura e do nivelamento da cofragem.

Os dispositivos de elevação apoiam-se nos tubos de ascensão que estão alojados em cavidades definidas por bainhas alojadas no betão moldado, estando esses mesmos dispositivos apoiados lateralmente nas zonas onde a resistência está garantida pelo endurecimento do betão. Os tubos podem ser recuperados durante ou no fim do deslize.

4.2.3 ELEMENTOS CONSTITUINTES

É feita em seguida uma breve descrição sobre algumas das peças constituintes da cofragem deslizante.

Cofragem deslizante propriamente dita

É constituída pela superfície cofrante e por cambotas. A superfície cofrante poderá ser de diferentes materiais: madeira, metálica ou mista, sendo esta uma estrutura de madeira forrada a chapa na zona de contacto com o betão. A superfície de contacto com maior utilização é a mista.

Cavaletes

Cada cavalete tem dois montantes e a distância entre ambos está dependente da espessura do elemento a cofrar.

A principal diferença

Macacos hidráulicos

É através dos macacos hidráulicos que o conjunto de cofragem sobe pelos tubos, pois estes dispositivos estão solidários com os cavaletes.

Um macaco integra no seu conjunto, além de outros acessórios, dois grupos de maxilas, um superior e outro inferior que irão funcionar alternadamente por acção da pressão do óleo, e de dois dispositivos hidráulicos.

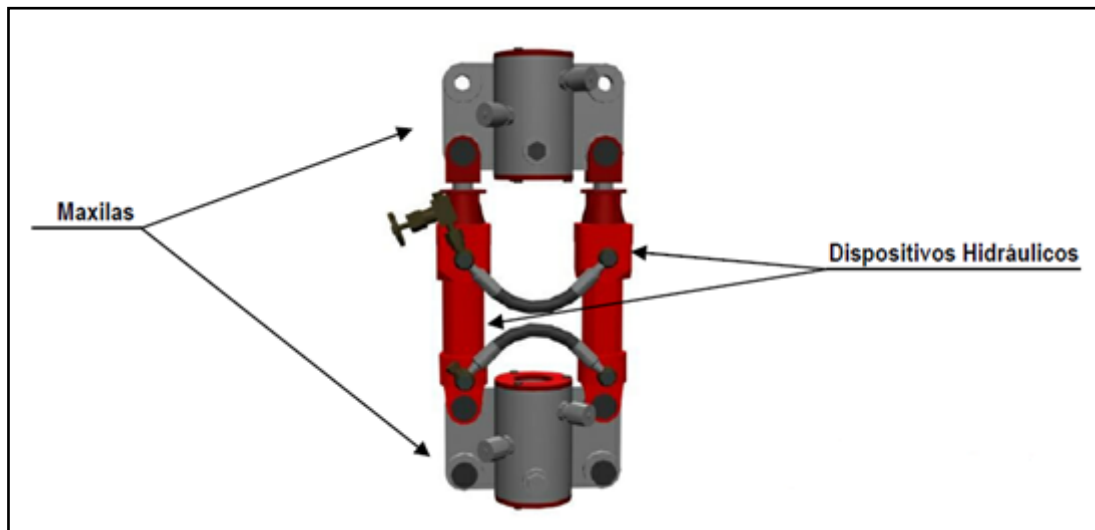
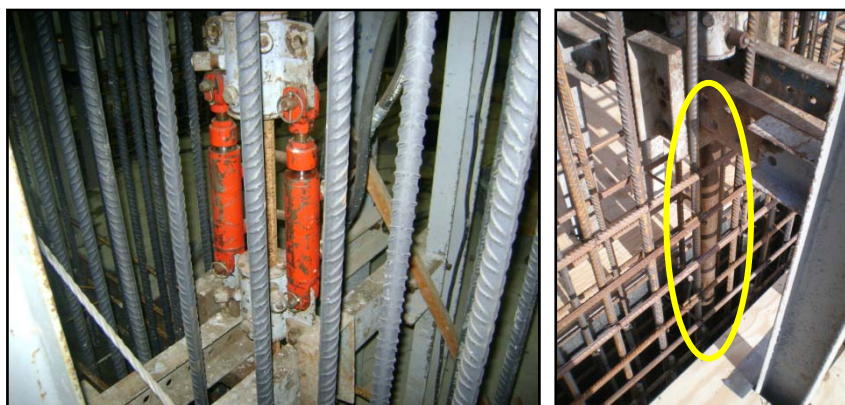


Figura 4 – Macaco hidráulico e suas componentes (fonte: *Cofragens Deslizantes em chaminés e pilares de pontes, Janeiro 2006*)

Tubos

O diâmetro dos tubos pode variar entre os 25 a 48 mm, enquanto o seu comprimento alterna entre 1,5 a 4,0 m. É neles que toda a estrutura se irá apoiar.

Prevêm-se cuidados acrescidos em relação às juntas dos tubos de forma a evitar movimentos horizontais.



Imagens 45 e 46 – Macaco Hidráulico e Tubo

Bainhas para protecção dos tubos

São empregues para os casos onde ocorre recuperação dos tubos. São fixas estas bainhas aos cavaletes, forçando-as a deslizar conjuntamente com a cofragem.

Plataformas de trabalho

Estas unidades servem, tal como o nome indica, para a montagem de armaduras, para a colocação de negativos para as aberturas (caso estas existam), para a betonagem e todos os trabalhos complementares a este tipo de processo.

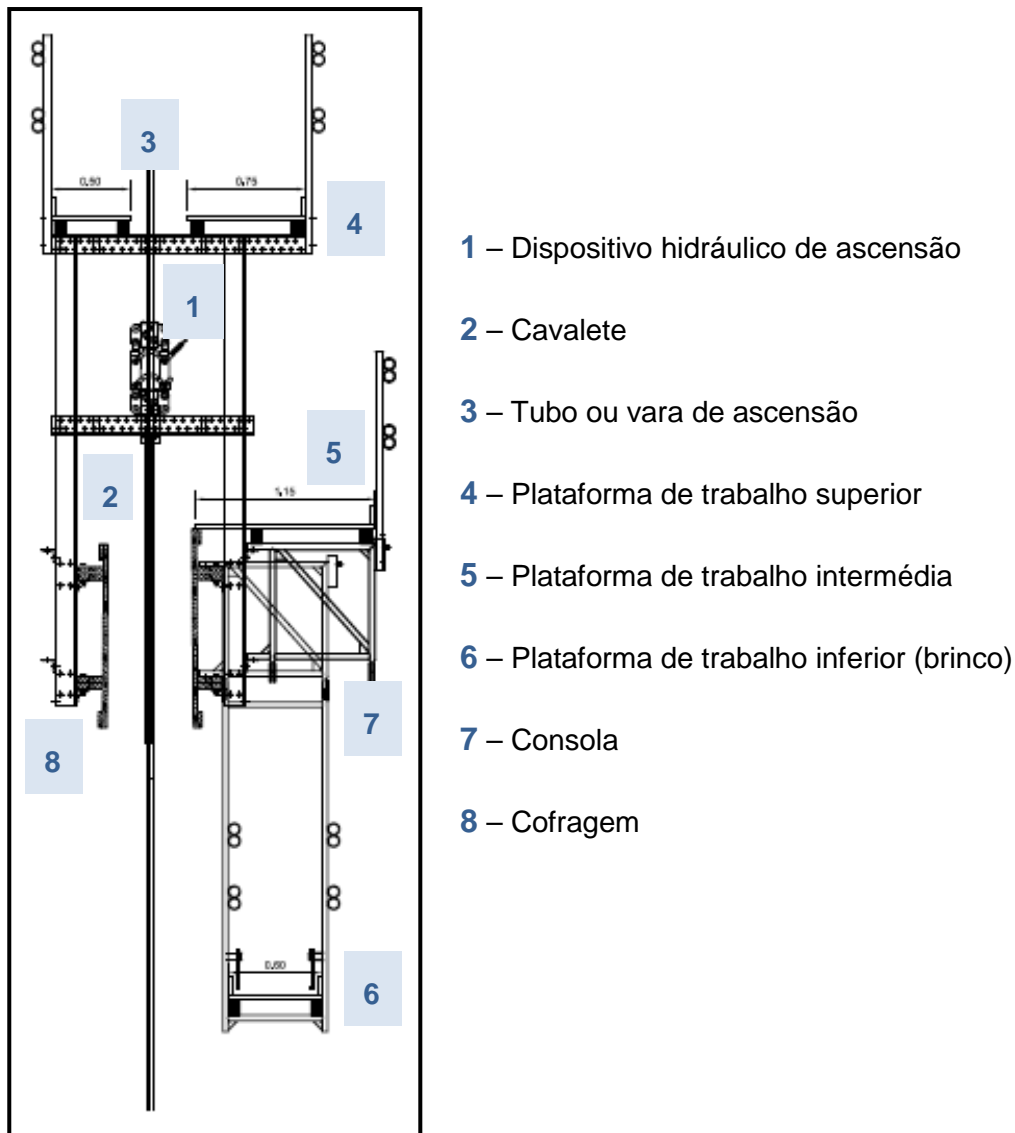


Figura 5 – Corte da Plataforma e elementos constituintes da cofragem deslizante (fonte: *Cofragens Deslizantes em chaminés e pilares de pontes, Janeiro 2006*)

4.2.4 ORGANIZAÇÃO DO DESLIZE

As tarefas incluídas na execução deste método, são efectuadas com recurso a essencialmente três plataformas de trabalho.

- Plataforma intermédia e superior
- Acesso de equipamentos, materiais e mão-de-obra;
- Colocação e distribuição de armaduras e betão;
- Localização do comando central do sistema hidráulico que dirige os macacos hidráulicos;
- Localização de alvos controladores da verticalidade da estrutura.
- Plataforma inferior
- Afagamento e acabamento do betão deslizado;
- Recuperação de negativos (quando existem).

Montagem da cofragem deslizante

A disposição dos elementos constituintes e as diversas etapas na montagem deste método, deverão seguir o seguinte procedimento:

- Implantação e nivelamento geral da base de apoio da cofragem;
- Montagem e fixação de painéis de cofragem;
- Incorporação dos cavaletes e de postos de elevação;
- Montagem dos circuitos hidráulicos;
- Posicionamento dos alvos para raios laser, para controlo da verticalidade e geometria dos elementos;
- Verificação geral das operações acima descritas e ensaio dos circuitos hidráulicos.

Deslize da cofragem

Após a colocação da cofragem e da instalação do equipamento de apoio, inicia-se a execução do deslize.

No princípio do deslize procede-se ao enchimento do molde em camadas de aproximadamente 25 cm de espessura. Após a verificação da presa da primeira camada de betão colocado no molde, é efectuada uma subida da cofragem em três a quatro incrementos, perfazendo a altura da primeira camada de betão. É nivelada à posteriori a cofragem, sendo esta fase repetida ao longo do desenvolvimento do elemento deslizado.

Os alvos laser acompanham o deslize e a sua localização mantém-se inalterável, decidida no início da subida da cofragem, de forma a possibilitar um rigoroso controlo da verticalidade da construção.

4.2.5 COLOCAÇÃO DE ARMADURAS E DE BETÃO

As armaduras deverão ser atempadamente preparadas de forma a não ocorrem condicionalismos na velocidade do deslize, embora os cruzamentos e empalmes de varões tenham que ser realizados “in situ”. Os varões são transportados para a plataforma superior, caso seja possível, para posterior colocação.

O betão deverá ser colocado em camadas de pequena espessura, devendo ficar 5 cm abaixo do bordo superior da cofragem.

A espessura das camadas têm em geral ter entre 25 a 30 cm pelas seguintes razões:

- Monolitismo da construção;
- Para que seja reduzida ao mínimo possível a força de atrito exercida pelo betão;
- Por forma a que não se verifiquem deformações no betão após a descofragem, garantido assim suficiente capacidade resistente.

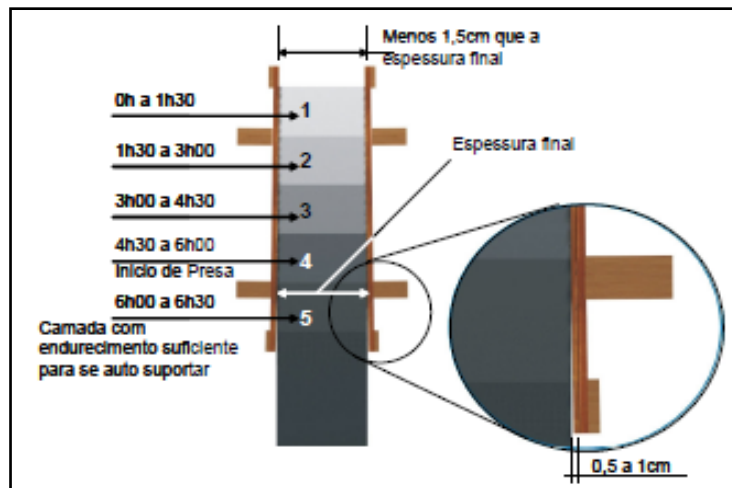


Figura 6 – Representação do endurecimento de camadas em função do tempo (fonte: *Cofragens Deslizantes em chaminés e pilares de pontes, Janeiro 2006*)

Consistência do betão

O tipo de betão a ser empregue deverá ser plástico de forma a possibilitar uma fácil colocação e vibração. Esta trabalhabilidade não deverá ser obtida à custa de uma alta relação A/C pois implicaria uma fraca resistência inicial, o que não deverá ocorrer devido às razões anteriormente enunciadas.

Sendo o betão um dos elementos mais importantes para a otimização de resultados, estão descritas em seguida algumas das etapas ao qual está sujeito:

Produção

De forma a garantir a uniformidade das características, a produção do betão deverá ser executada em centrais devidamente testadas e certificadas.

Transporte

Caso o betão não seja fabricado no estaleiro da obra, o transporte terá de ser assegurado por meio de autobetoneras para garantir as boas características deste material na altura de descarga.

Elevação do Betão

A escolha do equipamento a utilizar neste processo está directamente ligada à altura, acessibilidades, prazos de execução e segurança pretendidas ou exigidas para cada

obra. Os equipamentos a utilizar na ascensão do betão podem ser grua torre, grua móvel ou guincho eléctricos.

Vibração do betão

A vibração do betão poderá ser feita com recurso a agulhas vibradoras com um critério de selecção em relação à sua secção, tendo em conta a espessura da parede a betonar e ao espaçamento entre as armaduras utilizadas. Deverá ser posta de parte a hipótese de utilização de vibradores de cofragem.

O modo de vibrar é similar à vibração de um elemento parede, sendo neste caso necessário que a frequência de vibração seja mais alta, com o propósito de evitar os fenómenos de ressonância que se verificariam nos elementos da cofragem deslizante.

Acabamento

As paredes descofradas serão regularizadas por afagamento, possibilitando um acabamento final isento de fissuras finas. As zonas porosas são tratadas como reparações, picando o betão até ser atingido o betão são, preenchendo-se o vazio por argamassas não retrácteis de alta resistência.

Cura

Após a descofragem, de forma a continuar o processo de endurecimento do betão, devem ser tomadas medidas para o seu tratamento, para permitir a hidratação sem que ocorram fenómenos de retracção. Essas medidas passam pela irrigação da parede com a frequência necessária e pela aplicação de compostos de cura que formem membranas protectoras.

4.2.6 VELOCIDADE DO DESLIZE

A velocidade mínima do deslize é condicionada pela não aderência do betão à cofragem e, em caso extremo, pela garantia de não deformabilidade do betão recém descofrado. A temperatura ambiente torna-se assim um factor preponderante na escolha do número de elevações a efectuar por hora.

Outro importante ponto tem a ver com o delinear as diferentes equipas de trabalho, tendo em consideração que o método da cofragem deslizante exige um trabalho contínuo, realizado por turnos. Para o controlo da velocidade da cofragem é utilizado um varão de aço liso que se faz penetrar no betão repetidamente até localizar a fronteira entre o betão em fase final de presa e o betão em início de endurecimento.

Para a garantia de qualidade de obra, são considerados cuidados a ter com a cofragem deslizante, tais como:

Tolerâncias

- Nivelamento geral da totalidade do sistema;
- Verticalidade de qualquer ponto da estrutura em relação ao ponto correspondente da base. O controlo deste tipo de desvio é feito com recurso aos já referidos aparelhos laser.

Paragem e arranques de betonagem

A este sistema de cofragem está associada uma betonagem contínua, garantido assim um comportamento monolítico da estrutura, com uma superfície bastante homogénea e regular. Consideram-se no entanto, situações que exigem a interrupção da cofragem.

- Interrupções inesperadas (causadas por factores externos fortuitos)
 - Incidentes no funcionamento do equipamento;
 - Falta de materiais;
 - Falta de equipas de trabalho;
 - Condições climatéricas adversas.
- Interrupções planeadas
 - Desmobilização da cofragem para variação da secção a deslizar (caso a secção seja variável);
 - Elevação da grua torre (caso exista).

4.3 LAJES COLABORANTES

As lajes dos pisos da estrutura elevada são efectuadas com recurso a cofragens perdidas. Estas após a betonagem das lajes, ficam solidárias com as mesmas, pelo que não são reutilizadas.

As principais vantagens da utilização deste tipo de lajes em comparação com as lajes em betão são:

- Lajes mistas - chapas caneladas, apoiadas directamente nas vigas, que servem para revestimento do betão;
- Grande rigor de nivelamento;
- Disponibilização quase imediata dos pavimentos para outras operações;
- Grande velocidade da construção;
- Escadas pré-fabricadas de fácil montagem.

As cofragens estruturais têm a função de aligeiramento ou confinamento, são geralmente em materiais de menor resistência que o betão estrutural (por exemplo o betão "leve"). Têm da mesma forma uma contribuição activa para a resistência da peça após o endurecimento do betão.

As chapas de aço galvanizado têm funções semelhantes às pré-lajes: cofragem, armadura e acabamento. As suas nervuras permitem aumentar a área de armadura e aumentar a superfície de aderência.

O aço das chapas perfiladas normalmente utilizadas em lajes mistas apresenta tensões de cedência entre 235 e 460 MPa. Existem diversos tipos de perfis, com espessuras a variar entre 0.7 e 1.5 mm, normalmente protegidas contra a corrosão através do processo de galvanização.

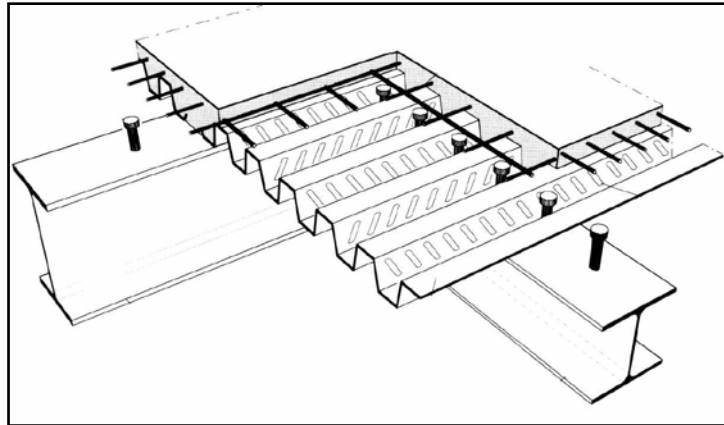
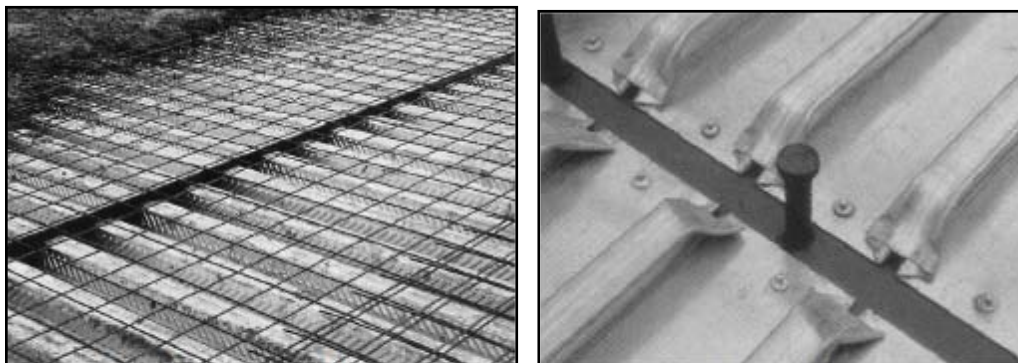


Figura 7 – Disposição de elementos numa laje mista (fonte: *Estruturas mistas Aço-Betão, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra*)

Em relação aos conectores, refira-se que o material de que são feitos têm que ser de uma qualidade compatível com o desempenho que lhe é exigido e com o método de fixação ao aço estrutural. As propriedades mecânicas dos aços dos conectores obedecem aos seguintes requisitos:

- A relação entre a tensão última f_u e a tensão de cedência f_y não deve ser inferior a 1.2;
- O alongamento na rotura num comprimento inicial de $5.65 \times \sqrt{A_0}$ (em que A_0 é a área da secção transversal inicial) não deve ser inferior a 12%.



Imagens 47 e 48 – Chapa Haircol, Malhasol e Conectores metálicos (fonte: *Estruturas mistas Aço-Betão, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra*)

Os conectores de esforço transversal constituem a forma mais corrente de ligação aço-betão numa peça mista. O mais utilizado, o conector circular de cabeça, é ilustrado na figura seguinte. O seu diâmetro é variável, entre 13 a 25 mm, enquanto que o seu

comprimento h pode variar entre 65 e 100 mm, embora por vezes possam ser mais compridos. A resistência ao corte deste tipo de conectores é da ordem dos 150 kN.

As principais vantagens deste tipo de conector são:

- Soldadura fácil e rápida;
- Não constituem um obstáculo importante à disposição das armaduras das lajes de betão armado;
- Possuem resistência e rigidez ao corte igual em qualquer direcção normal ao seu eixo.

Do ponto de vista das exigências funcionais de resistência ao fogo, isolamento acústico e sonoro, este tipo de soluções apresenta bons resultados, embora tenha que se recorrer a pinturas de protecção que encarecerem esta técnica. Outro aspecto que pode ser relevante é o facto de a laje em conjunto com os perfis conduzirem a uma altura algo considerável, o que em conjunto com os acabamentos e instalações suspensas podem limitar um pé-direito já de si reduzido e desajustado às exigências actuais. Outra questão relevante é a dimensão dos trabalhos de remoção dos pavimentos de madeira e a provável necessidade de escoramento das paredes de alvenaria durante o processo. Esta razão torna impraticável a sua realização em edifícios habitados.

Para assegurar a ligação entre lajes e o núcleo em betão armado na torre Ocidente, foram utilizadas caixas com armadura de espera de dois tipos:

- Caixas de continuidade RSH 12/15 para as lajes maciças do interior do núcleo;
- Caixas de continuidade SWQ 12/15 para as lajes colaborantes.



Imagens 49 e 50 – Disposição das caixas de espera (durante a execução do núcleo de betão armado) e pormenor da ligação laje colaborante-núcleo central (fonte: Eng.º Hugo Pereira, Mota-Engil)

5. TRABALHOS ADICIONAIS À EMPREITADA DA CONSTRUÇÃO DA TORRE

Durante o período de estágio foram realizados trabalhos análogos às actividades de reforço da Torre Ocidente na Torre Oriente.

Incluem-se nestes trabalhos: a remoção de inertes, *roofmate* e protecção à cobertura da torre Ocidente para posterior utilização da mesma como suporte da base de trabalhos; os denominados “trabalhos a mais” da torre Oriente; e substituição dos maciços de suporte aos carris de transporte do baileú (empreitadas da MEEC).

5.1 IMPERMEABILIZAÇÃO DE CAVES – TORRE ORIENTE

De forma a poderem ser utilizadas as caves na Torre Oriente, foi necessário rectificar o pavimento de forma a assegurar que não ocorressem infiltrações por ascensão ao nível do ensoleiramento geral. Estas caves estão localizadas sob o cais de descarga de lixos, e a água utilizada para limpeza deste espaço invadia recorrentemente as divisórias inferiores, através de plataformas metálicas localizadas ao nível da laje, como posteriormente se veio a verificar.

Após os trabalhos de limpeza desta área, foi colocada uma camada inicial de inertes de média e grossa dimensão para assegurar a circulação de água entre os mesmos. Sobre esta camada, foram aplicadas uma camada de geotêxtil, uma camada impermeabilizante e rede metálica. Após isso foi, colocada uma camada de betão considerada para o pavimento. Foram criadas caleiras para assegurar o escoamento de águas residuais.

Não foi, por decisão do Dono de Obra, efectuada qualquer intervenção ao nível das paredes, sendo sim, aplicada uma tela impermeabilizante ao nível das plataformas metálicas, conforme indicam as imagens.



Imagens 51 e 52 – Infiltrações patentes e disposição de camadas



Imagens 53 e 54 – Camada de malhasol e aplicação da camada de betão



Imagens 55 e 56 – Aspecto final da intervenção e sistema de escoamento

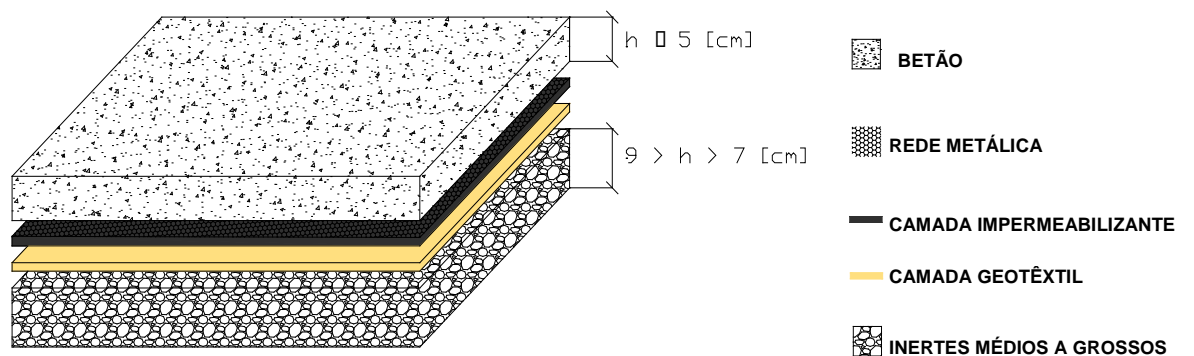


Figura 8 – Representação esquemática da disposição de camadas

5.2 ACOMPANHAMENTO A VISTORIAS – TORRE ORIENTE

Na fase de acabamentos da Torre Oriente, procedeu-se às várias vistorias para aferir quanto à qualidade dos trabalhos, acompanhando desta forma a entidade fiscalizadora. Estes incidiam sobretudo nos trabalhos realizados nos corredores de áreas comuns de circulação, localizados no núcleo central, nas instalações sanitárias, escadas de serviço e coberturas.

Posteriormente eram comunicadas, quer à direcção de obra, quer às equipas de trabalho as rectificações a considerar.

5.3 RECTIFICAÇÃO DOS PLINTOS – TORRE ORIENTE

Para suporte dos carris de sustentação ao equipamento, destinado à limpeza de envidrados ao longo dos pisos, foram criados pequenos maciços em betão armado. Estes porém, durante as primeiras utilizações, verificaram roturas quer por efeitos de corte, quer por esmagamento. Tal veio a verificar-se devido a um incorrecto dimensionamento dos mesmos.

A solução encontrada passou pela demolição e rectificação dos maciços, com um acréscimo de dimensões e uma diferente disposição de varões de ferro.

Como se trata da cobertura do edifício, teve que se garantir a impermeabilização da mesma, de forma a não ocorrerem infiltrações para os pisos inferiores. Cuidados acrescidos tiveram que ser considerados na demolição dos maciços, de forma a não danificar a laje de cobertura.

As operações foram dificultadas pois o equipamento, embora inactivo, estava localizado sob os carris e impossibilitava a remoção destes. Uma outra dificuldade inerente à ordem de trabalhos foi o transporte de materiais e equipamento para a cobertura. Este foi feito através do elevador de serviço do edifício, estando este devidamente protegido para o efeito. Foi da mesma forma garantida a protecção do pavimento e das áreas interiores por onde circularam equipamentos e equipas de trabalho.



Imagens 57 e 58 – Maciços danificados



Imagens 59 e 60 – Demolição do elemento e disposição da armadura



Imagens 61 e 62 – Cofragem e betonagem do maciço



Imagens 63 e 64 – Novo maciço e aplicação de tela impermeabilizante

5.4 BETONILHA

De forma a antecipar a ordem de trabalhos e reduzir o número de actividades excessiva na cobertura do piso 2 da Torre Ocidente, optou-se pela remoção dos inertes e da manta de geotêxtil existente sobre a camada de tela impermeabilizante.

Aplicou-se sobre a tela uma camada de betonilha, para que desta forma estivessem criadas as condições, para estabelecer um estaleiro de montagem, para a estrutura da cofragem deslizante e que para posteriormente fosse facilitada a remoção da laje de cobertura, que passa a ter um diferente desígnio, passando a ser a laje de transição do piso 1 Mezzanine para o piso 2.

A camada de betonilha consistia numa mistura de areia, cimento e fibra de vidro, com uma espessura a variar entre os 5 e os 10 cm, consoante as pendentes localizadas na cobertura. Existiam obstáculos pontuais, como os maciços de espera que continham pilares metálicos, que eram necessários contornar.



Imagem 65 – Cobertura inicial e remoção de inertes



Imagem 66 – Trabalhos de remoção de inertes e roofmate



Imagens 67 e 68 – Equipamento utilizado e maciço de espera contendo pilar metálico



Imagem 69 – Camada de betonilha

6. CONCLUSÕES

6.1 EXPERIÊNCIA ADQUIRIDA

Existe um conjunto de conhecimentos que apenas a convivência num local de trabalho pode fornecer. Alguns deles estão aqui enumerados.

A comunicação entre as pessoas em obra é essencial, seja entre as equipas de trabalho no local, a comunicação com a sede ou com elementos externos à empresa, como por exemplo subempreiteiros, fiscalização, fornecedores, motoristas e outros. A quebra dessa relação pode levar a descoordenações ou atrasos, o que encarece a obra.

É necessário assegurar as condições mínimas de higiene, saúde e segurança dos trabalhadores de forma a obter a máxima produtividade destes. Sempre que se justifique e que haja condições para tal, deverá existir em estaleiro um vestiário, um refeitório devidamente equipado, um balneário e um posto médico, como era o caso da obra visada.

As condições de segurança devem de estar asseguradas não só pela entidade fiscalizadora, mas também pela entidade executante ao longo da duração da empreitada. As dificuldades inerentes às demolições, tal como a presença quase constante de poeiras, agravam as condições de trabalho, mas uma selecção criteriosa da sequência de trabalhos diminuiu as probabilidades de ocorrência de acidentes de trabalho.

É fulcral a existência de materiais e equipamentos adequados á especificidade das obras em curso, bem como a verificação, com regularidade, do seu adequado funcionamento destes, antes da sua utilização. Pode dar-se como exemplo, a verificação dos vibradores para a betonagem.

6.2 PROBLEMAS E SOLUÇÕES (DURANTE O REFORÇO).

No período de reforço da estrutura, foi possível identificar alguns problemas associados à execução dos trabalhos.

Problema: Espaçamento diminuto entre o pilar do alinhamento 14 e a parede de alvenaria do C.C.C.

Soluções consideradas: a) alterações ao projecto; b) recurso a taipais de madeira, c) demolição do elemento em alvenaria.

A solução escolhida recaiu sobre a opção b), devido à menor espessura dos taipais, em alternativa à solução a), a qual foi inviabilizada por parte do projectista. A solução c) não era viável, pois implicava custos adicionais não considerados em projecto.

Houve dificuldades com a construção dos elementos 13 e 14, ao nível do piso 0, pois o espaçamento entre a face Este dos pilares embebidos em betão e o limite da parede de alvenaria do edifício, era reduzido, tendo em conta ainda que esse elemento sofria um acréscimo de armadura e no projecto de execução deveria ter sido considerada a espessura dos taipais. Contíguo à parede de alvenaria, existiam envidrados de dimensões consideráveis (3x2 m), que não poderiam ser retirados e exigia cuidados redobrados na execução dos trabalhos.



Imagens 70 e 71 – Pilar do alinhamento 13 e espaço diminuto em causa

Problema: Demolição dos alinhamentos verticais no interior da caixa dos elevadores.

Soluções consideradas: a) Demolição com recurso a máquinas carotadoras; b) Picagem do betão nos elementos com recurso a martelos eléctricos, e corte de armaduras com uso de disco diamantado.

A escolha da demolição por método de picagem foi a solução escolhida devido principalmente ao custo da empreitada, que teria que ser efectuada em regime de subempreitada por falta de mão-de-obra especializada e de equipamento. O facto de ser utilizadas máquinas carotadoras iria também criar poucas condições de higiene e de segurança, devido à necessidade de emprego de água no manuseamento do equipamento e aparecimento de resíduos líquidos em obra.

A picagem dos elementos com recurso a martelos eléctricos trouxe também um acréscimo de custo, visto que os trabalhos tiveram que ser efectuados em horário nocturno de forma a não coincidir com o horário de funcionamento do C.C.C. A picagem dos elementos era feita no sentido descendente, como medida de segurança, enquanto o corte da armadura desses mesmos elementos era executada, após exposta, no sentido ascendente.

A remoção de entulhos foi feita de forma rápida e com recurso a pouca mão-de-obra, enquanto que o recurso a máquinas carotadoras implicaria um sistema de bombagem para drenagem de águas.



Imagens 72 e 73 – Elemento vertical descascado e acabamento da caixa de elevador

Problema: Segurança nos trabalhos de demolição no interior da caixa dos elevadores.

Soluções: a) Colocação de andaimes no interior da caixa, sendo estes sujeitos a reforço e ajustes de forma a conferir estabilidade; b) Recurso a cintos de segurança e cordas.

Apesar de apresentar um maior custo o aluguer de andaimes para execução de trabalhos, o recurso à utilização de cintos de segurança e de um sistema de suspensão foi preterido pois traria menor rendimento às equipas. Foi assegurada a montagem à medida que os trabalhos assim o exigiam, cabendo esta decisão não só à MEEC, como também à entidade fiscalizadora.

Foram feitos ajustes e correcções às peças da estrutura auxiliar de trabalho, de forma a estar sempre garantida a estabilidade da mesma e evitar assim quedas em altura.



Imagens 74 e 75 – Vistas superior e lateral da estrutura de andaimes no interior da caixa de elevadores

Problema: Execução de trabalhos com lojas contíguas.

Soluções: a) Desactivação da loja; b) Criação de uma barreira adicional (em MDF).

Este problema localizou-se ao nível do piso 1, na construção das paredes dos alinhamentos 14, 15 e D.1. Tal verificou-se pois as vibrações e poeiras resultantes dos trabalhos perturbaram o normal funcionamento das lojas e existia o risco de danificar a estrutura (em placas de gesso cartonado) que continha as lojas.

Foi considerada a hipótese de desactivar a loja, opção recusada pelo Dono de Obra.

Optou-se, deste modo, pela criação de uma barreira adicional, com protecção do sistema de ventilação de forma a poderem ser realizados os trabalhos sem interferências com a loja.

6.3 ACOMPANHAMENTO POSTERIOR AO PERÍODO DE ESTÁGIO

Após a conclusão do estágio, foram-me permitidas visitas à construção da torre Ocidente para acompanhamento da mesma, na fase de construção do seu núcleo central.

Como vim a confirmar, todas as actividades de preparação (na qual se inclui a descrita no subcapítulo 5.4) e o devido planeamento, foram fulcrais para a rápida implantação do estaleiro e de todas as actividades acessórias à montagem da estrutura da cofragem deslizante.

Foi destruída a estrutura – constituída por betão de fraca resistência – acima da laje de cobertura do piso 2, que albergava os varões de ferro utilizados para fazer o empalme com os varões da estrutura a erigir. Foram utilizados acopoladores mecânicos, pois não existia comprimento de amarração suficiente, sendo este equipamento utilizado também para o desfasamento da zona de empalme.



Imagens 76 e 77 – Armadura de espera exposta e material destinado à estrutura da cofragem deslizante (*fonte: Eng.º Hugo Pereira, Mota-Engil*)

Para a elevação do equipamento e de materiais, recorreu-se à implantação de duas guas-torre. Existiam uma série de condicionantes, devidamente consideradas na fase de planeamento, entre as quais: a não interferência com a estrutura do CCC, túneis de acesso à estação de Metropolitano e das redes de especialidades subterrâneas (localização dos respectivos maciços para suporte de reacções); e a reduzida dimensão do estaleiro, que implicava o garantir das condições de circulação ao restante equipamento e mão-de-obra.

Foi considerada a implantação de duas guas-torre para a construção da torre Ocidente.



Imagens 78 e 79 – Localização de uma das gruas-torre e construção do maciço de suporte (fonte: Eng.º Hugo Pereira, Mota-Engil)

O rendimento teórico retratado no subcapítulo 4.2.2 (24 cm/hora), numa fase inicial, foi díspar daquilo que se passou na realidade não só devido às condições climáticas, mesmo embora fossem empregues adjuvantes de forma a acelerar a presa do betão, mas não por se tratar de um valor teórico e não ser igualmente exequível numa obra desta envergadura.

A estrutura em betão armado tinha um desenvolvimento médio de 1,30 m por turno.

A betonagem da estrutura era executada com recurso a balde de cerca de 1m^3 de volume (ver imagem 80).

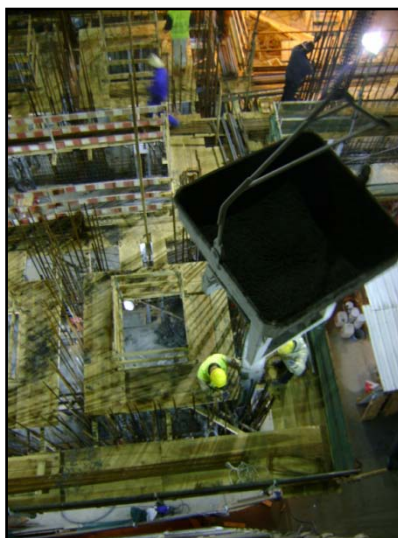


Imagem 80 – Processo de betonagem

A envergadura da estrutura de suporte à cofragem deslizante é superior à utilizada na torre Oriente, que estava dividida em duas fases distintas.



Imagem 81 – Perspectiva geral do estaleiro na fase anterior ao arranque do deslize

Para a construção do núcleo central, os recursos humanos aumentaram para cerca de 50 trabalhadores (Direcção de Obra, fiscalização, equipas de trabalho, manobreadores) em dois turnos de trabalho, com 12 horas de duração, com as devidas pausas consideradas. Tornou-se uma actividade ininterrupta, onde qualquer atraso, como o do transporte de betão, por exemplo, implicava uma redução do rendimento.

O quadro disposto em seguida, tenta traduzir através de fotografias o progresso do deslize durante o período que antecedeu o arranque e os 8 primeiros dias de deslize.

REGISTO FOTOGRÁFICO – DESLIZE DO NÚCLEO



Imagem 82 – 19/10/2009



Imagem 83 – 02/11/2009



Imagem 84 - 10/11/2009 (Dia 0)



Imagem 85 – 11/11/2009 (Dia 1)



Imagem 86 – 13/11/2009 (Dia 3)

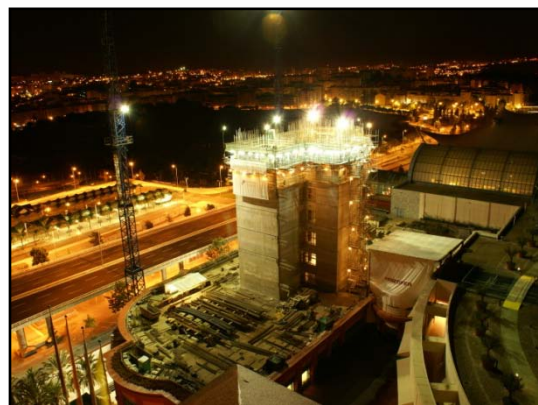


Imagem 87 – 18/11/2009 (Dia 7)

6.4 ANÁLISE CRÍTICA

Estou em crer que os objectivos deste Trabalho Final de Mestrado a que me propus foram alcançados.

A permanência em obra durante o horário laboral, das 8h às 19 h durante 5 dias por semana, foi determinante para poder acompanhar os trabalhos e todas as actividades associadas.

Do ponto de vista dos temas analisados, espero que estes tenham sido expostos de uma forma clara, sucinta e prática.

Devido a factores exteriores, tais como a adjudicação da empreitada da estrutura elevada da Torre Ocidente ter sido adiada para o mês de Setembro, fora do período de estágio, não me foi permitido acompanhar a totalidade do planeamento e trabalhos relacionados com a construção da mesma. Ainda que tenha visitado a obra visada posteriormente, o estudo prévio das técnicas, as instruções e elementos fornecidos pela equipa técnica que estiveram na construção da Torre Oriente (com estrutura idêntica à torre Ocidente) permitiram-me aceder ao conhecimento dos trabalhos associados à sua construção.

Creio ser importante permitir aos alunos que estão em fase final de mestrado, e que se preparam para ingressar no mercado de trabalho, o contacto directo com empresas de engenharia, independentemente do ramo escolhido. No meu caso foi bastante proveitoso, obtive conhecimentos que considero únicos, pus em prática a instrução facultada na minha entidade de ensino e ganhei relações interpessoais que pretendo alicerçar. Foi a experiência que me faz asseverar que é no seio da engenharia civil que pretendo ter sucesso.

7. BIBLIOGRAFIA

- “Cofragens deslizantes em Chaminés e Pilares de Pontes” – Eng.º António Tomar Nogueira; Janeiro de 2006; MEEC
- “Estruturas Mistas” – Monografia da autoria de Mário Fernandes, Patrícia Carvalho, Ricardo Gouveia, Rute Rodrigues; Construlink Press
- Googlemaps
- “Estruturas Mistas Aço-Betão” – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
- Todos os elementos presentes em anexo foram cedidos pela Direcção de Obra

8. GLOSSÁRIO

Aço - Liga metálica de ferro e carbono, que conforme o processo de fabrico e arrefecimento ganha resistência diferente, é muito utilizado na construção civil, tanto em ferramentas como em elementos de construção.

Adjudicar - Atribuição por via oficial de um trabalho a uma entidade, de acordo com um contrato assinado.

Armadura - Elemento executado em varões de aço, que são cortados montados e atados, para aplicação em peças de betão.

Autobetoneira - Betoneira instalada sobre um veículo motorizado, servindo para a produção e transporte de betão.

Banzo - Termo que define as abas de uma viga metálica, zona da viga resistente aos momentos flectores.

Caderno de encargos - Documento de um projecto no qual se enumera as obrigações das partes e condições técnicas para a execução da obra.

Cavalete - Armação triangular que serve de suporte a objectos aos quais se pretende a uma determinada cota.

Cofragem - Molde de madeira, cartão, plástico ou chapas metálicas, utilizado para colocação de betão, de modo que este mantenha a forma determinada durante o processo de endurecimento.

Cone de Abrams - Molde metálico troncocónico, com 30cm de altura, utilizado em ensaio de determinação da consistência do betão.

Costura - Marca que se forma entre duas betonagens de um pilar ou parede. Termo que refere a união entre duas peças metálicas com soldadura.

Cura - Fase de endurecimento do betão após a presa.

Desentaipar - Retirar taipais; descofrar paredes e maciços de betão.

Dobragem - Termo aplicado ao trabalho executado sobre varões de aço para armaduras em peças de betão.

Empreitada - Acordo existente entre o dono de obra e o executante de modo a ser executado determinado trabalho, mediante um pagamento, sendo estas operações, alvo de legislação própria, que legaliza as situações do acordo.

Encarregado - Operário que tem como função dirigir os operários de uma obra.

Ensoleiramento geral - Elemento estrutural de betão que constitui uma base ou fundação contínua, destinada a evitar assentamentos, é uma laje de grande superfície e espessura reduzida quando comparado com a dimensão do edifício.

Esqueleto - Estrutura de um edifício.

Estaleiro - Designação do local onde se armazenam máquinas, ferramentas e materiais, onde se fazem trabalhos preparatórios, onde se encontram serviços de pessoal e de apoio à obra.

Estribo - Peça de varão de aço utilizada para ligar transversalmente armaduras de uma peça de betão, dando resistência ao esforço transversal e para manter as peças, quando da betonagem da peça. Termo utilizado normalmente para vigas e cintas.

Fresa - Equipamento com engrenagem motora, constituída por cortador rotativo, destinada a desbastar ou cortar metais e outros materiais.

Gancho - Ferramenta utilizada por o armador de ferro para torcer e atar o arame queimado nas ataduras das armaduras.

Ignifugação - Tratamento dado aos materiais de modo a aumentar a sua resistência ao fogo, melhorando a classe de classificação. Pode ser temporária ou permanente, devendo constar da certificação.

Lintéis - Vigas de pequena dimensão, de ferro, madeira ou betão armado, destinada a vencer vãos de portas ou janelas, com pequenas cargas. *É normalmente um elemento estruturante.*

Presca - Tipo de fenómeno termoquímico do qual se dá o endurecimento de uma mistura de água com aglomerantes, no betão, alvenarias e massas de revestimento.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I – Peças Desenhadas do Projecto de Execução da Torre Ocidente	3
PD 1 – PAREDES AO NÍVEL DA FUNDAÇÃO – PISO -3 (EST.3010.1.213)	4
PD 2 – PAREDES AO NÍVEL DA LAJE DO PISO -2 (EST.3010.1.214)	5
PD 3 – PAREDES AO NÍVEL DA LAJE DO PISO -1 (EST.3010.1.215)	6
PD 4 – PAREDES AO NÍVEL DA LAJE DO PISO 0 (EST.3010.1.216)	7
PD 5 – PAREDES AO NÍVEL DA LAJE DO PISO 0 Mezz (EST.3010.1.217.B)	8
PD 6 – PAREDES AO NÍVEL DA LAJE DO PISO 1 (EST.3010.1.218.C)	9
PD 7 – PAREDES AO NÍVEL DA LAJE DO PISO 1 Mezz (EST.3010.1.219)	10
PD 8 – FUROS A EXECUTAR NA FUNDAÇÃO – PISO -3 (EST.3010.1.212)	11
ANEXO II – Projecto de Execução do Deslize	12
ÁREAS DAS PLATAFORMAS	13
LIGAÇÕES ENTRE PAINÉIS	15
PD 9 – PLANTA GERAL	16

ANEXO I – Peças Desenhadas do Projecto de Execução da Torre Ocidente

NOTA: As iniciais PD traduzem as palavras Peças Desenhadas.

PD 1 – PAREDES AO NÍVEL DA FUNDAÇÃO – PISO -3 (EST.3010.1.213)

PD 2 – PAREDES AO NIVEL DA LAJE DO PISO -2 (EST.3010.1.214)

PD 3 – PAREDES AO NIVEL DA LAJE DO PISO -1 (EST.3010.1.215)

PD 4 – PAREDES AO NIVEL DA LAJE DO PISO 0 (EST.3010.1.216)

PD 5 – PAREDES AO NIVEL DA LAJE DO PISO 0 Mezz (EST.3010.1.217.B)

PD 6 – PAREDES AO NIVEL DA LAJE DO PISO 1 (EST.3010.1.218.C)

PD 7 – PAREDES AO NIVEL DA LAJE DO PISO 1 Mezz (EST.3010.1.219)

PD 8 – FUROS A EXECUTAR NA FUNDAÇÃO – PISO -3 (EST.3010.1.212)

ANEXO II – Projecto de Execução do Deslize

ÁREAS DAS PLATAFORMAS

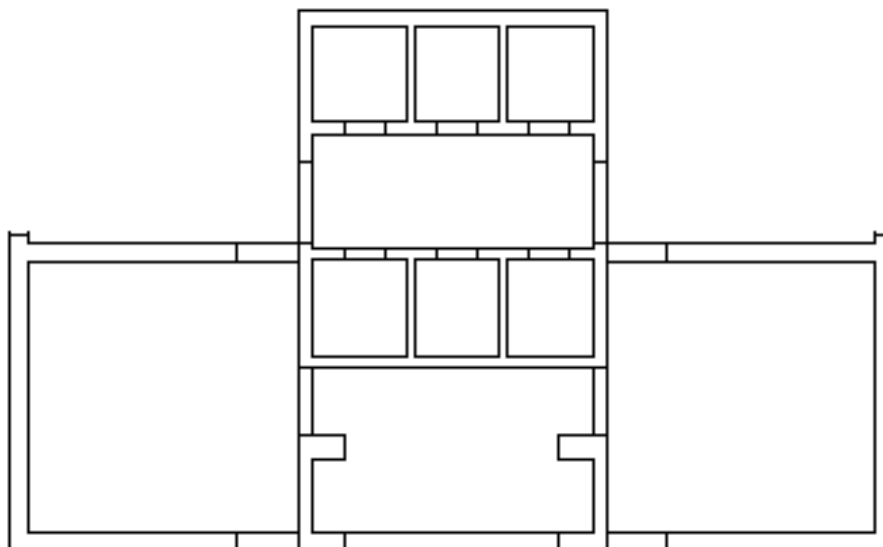


Figura 1 – Perímetro a cofrar

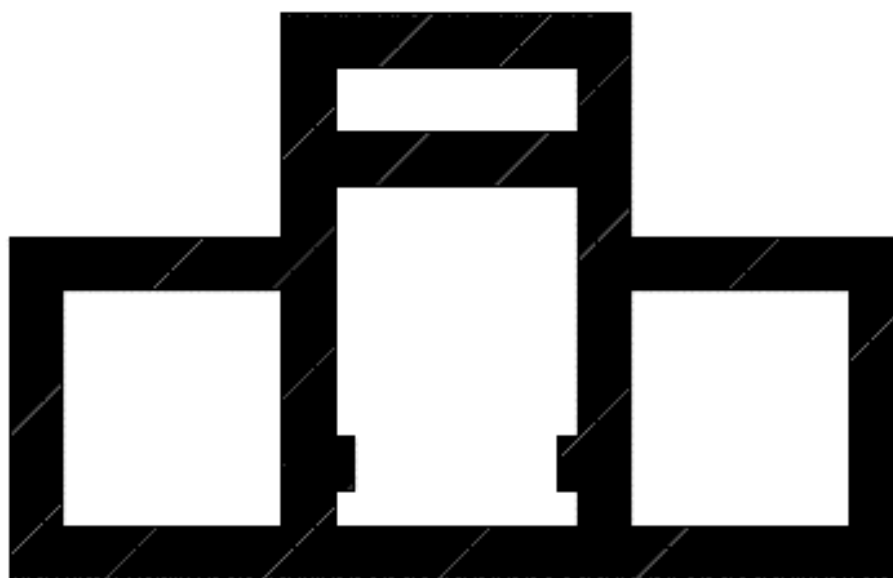


Figura 2 – Plataformas superiores

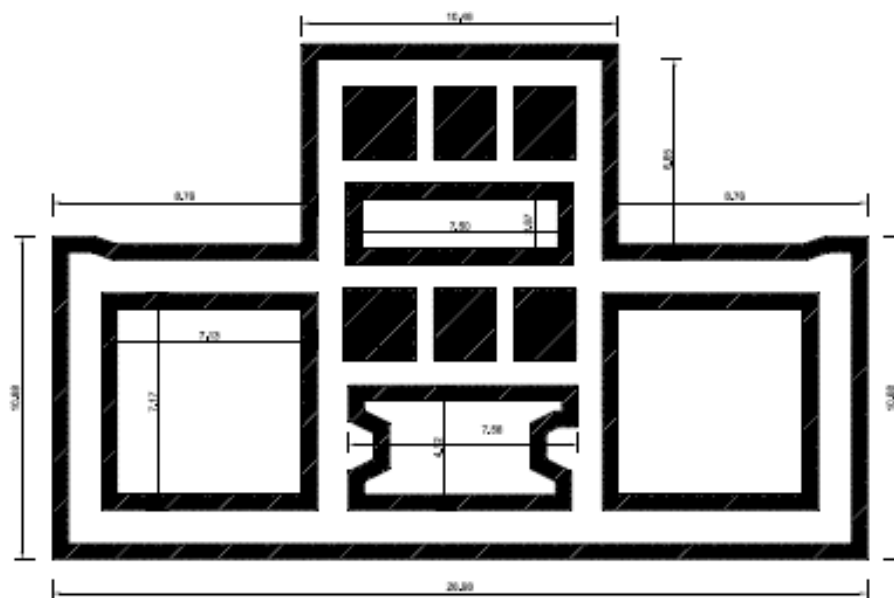


Figura 3 – Plataformas inferiores (de brincos)

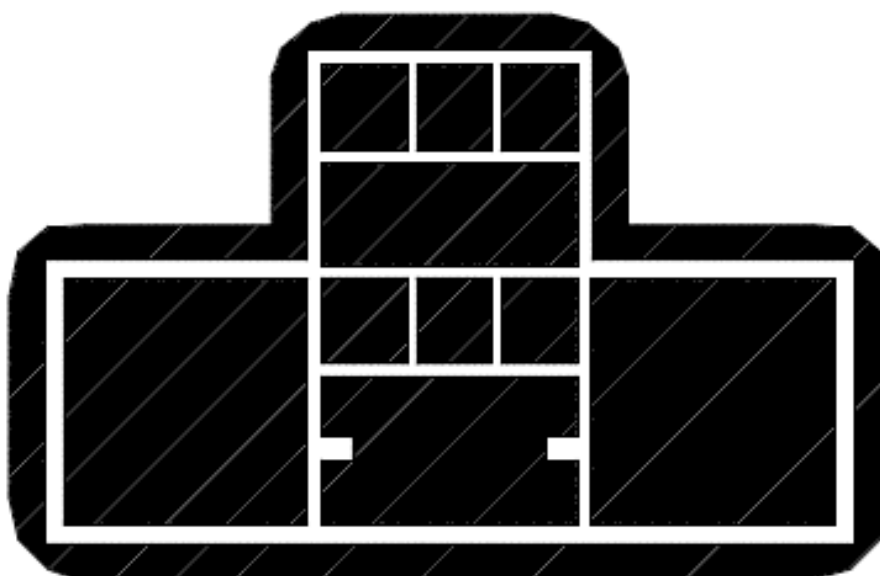


Figura 4 – Plataformas intermédias

	ÁREA CONSIDERADA	UNIDADE
Perímetro	260,00	m
Plataforma superior	166,50	m ²
Plataforma inferior	121,40	
Plataforma intermédia	307,10	

Tabela 1 – Dimensões das plataformas

LIGAÇÕES ENTRE PAINÉIS

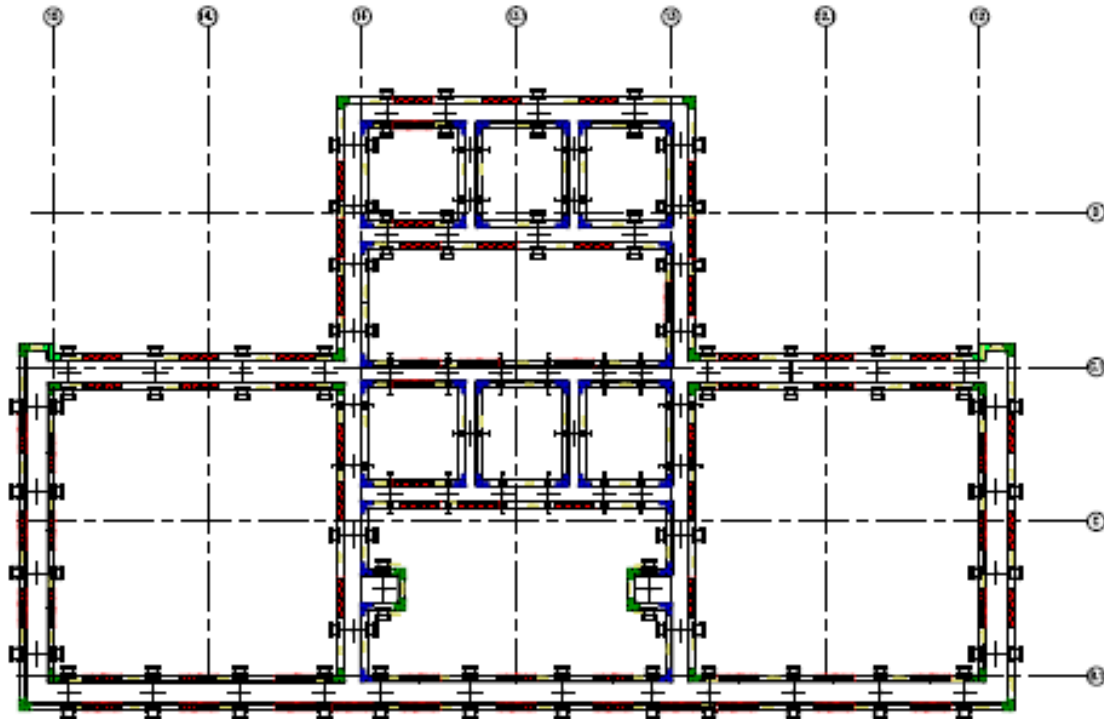


Figura 5 – Disposição das ligações entre painéis





	UNIDADES	LEGENDA
Chapas de canto Tipo I	144	
Chapas de canto Tipo II	88	
Chapas de canto Tipo III	8	
Moldura de empalme (1,00 m)	146	

Tabela 2 – Elementos constituintes das ligações entre painéis

PD 9 – PLANTA GERAL