

Centro Comercial em Matosinhos



Miguel Pereira¹



Sofia Barros²



Joana Teixeira³

RESUMO

Foi recentemente inaugurado em Matosinhos o centro comercial Mar Shopping junto à loja IKEA com uma área de construção de 167500m², cuja forma em planta é sensivelmente quadrada com lados de 200m.

A sua estrutura é quase na totalidade em betão armado, à excepção da cobertura que é mista em aço e betão.

A malha estrutural de 16x8m pretendida pelo Dono de Obra, em conjunto com a necessidade de libertar os tectos para passagem das instalações, conduziu a uma solução peculiar para as lajes estruturais. Estas são fungiformes com espessuras entre 0,25m e 0,35m com capitéis de geometria tronco-piramidal de dimensões em planta 10x4m alongados na direcção do maior vão.

A solução modular adoptada para os capitéis minimizou os trabalhos de cofragem e escoramento em lajes, permitindo um elevado ritmo de construção.

O edifício foi dividido em 8 corpos estruturais independentes com juntas de dilatação posicionadas maioritariamente fora dos pilares, sensivelmente a uma distância de 25% do vão, mediante a materialização de rótulas nas lajes, com capacidade de deslocamentos relativos no seu plano.

O artigo pretende descrever as principais soluções estruturais desta obra, bem como os processos adoptados para a sua construção.

PALAVRAS-CHAVE

Mar Shopping Centro Comercial IKEA Matosinhos

¹ Afaconsult, 4400-492 Vila Nova de Gaia, Portugal. miguel.pereira@afaconsult.com

² Afaconsult, 4400-492 Vila Nova de Gaia, Portugal. sofia.barros@afaconsult.com

³ Afaconsult, 4400-492 Vila Nova de Gaia, Portugal. joana.teixeira@afaconsult.com

1. INTRODUÇÃO

Em 2006 o Inter IKEA Centre Group decidiu apostar no mercado português de grandes superfícies comerciais através da construção de um shopping em Matosinhos acoplado à loja IKEA já construída. Com abertura prevista para o Outono de 2008, O Mar Shopping será o primeiro centro comercial a ser construído na Península Ibérica em que a principal loja âncora é uma loja IKEA.

2. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O edifício que incorpora o centro comercial é composto por 4 pisos e engloba 167500m² de área de construção, dos quais 81000 m² são de estacionamento e 86500m² de áreas comerciais, dos quais 67500m² são de lojas.

Além do volume principal que compreende 4 pisos e apresenta uma forma em planta basicamente trapezoidal, com dimensões de 206 metros nas frentes Poente e Nascente, 170 metros na frente Sul e 200 metros na frente Norte, prevê-se ainda mais dois volumes de forma rectangular: o primeiro, com cerca de 80x50m², apresenta também 4 pisos e comunica com o volume principal a Norte Nascente, enquanto o segundo, com 65x70m², se posiciona a sul do volume principal e é composto por apenas 3 pisos.

Os pisos -2 e -1 são basicamente destinados a estacionamento para visitantes, incorporando ainda zonas destinadas a estacionamento para trabalhadores, recepção de mercadorias, recolha de lixos e áreas técnicas. Enquanto o piso -2 é totalmente enterrado, o piso -1 é apenas parcialmente enterrado, sendo que os terrenos envolventes do edifício se situam maioritariamente a cotas próximas do piso -1. Os acessos de veículos ao edifício são estabelecidos ao nível destes dois pisos através de arruamentos e túneis.

Os pisos 0 e 1 incluem, além das zonas de mall, uma praça de alimentação, as lojas âncora e satélite e zona de cinemas. A loja âncora de maior dimensão, que será um hipermercado, situa-se no piso 0 e possui zona de armazenagem e cais de descarga próprios com acesso directo a partir do exterior estabelecido através de um pequeno viaduto.

No topo Norte, o edifício é separado da Loja do IKEA, que foi construída previamente, por uma junta de dilatação. Nesta zona e ao nível dos pisos de estacionamento, a comunicação entre os dois edifícios é praticamente limitada por paredes e portas corta-fogo, sendo que ao nível do piso -1 se estabelece o acesso pedonal principal comum aos dois complexos.



Figura 1. Perspectiva da obra em Junho de 2008.

3. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO

3.1 Superestrutura em betão armado

Dadas as dimensões do edifício em planta e tendo em conta razões de ordem económica, optou-se por uma divisão em 8 corpos estruturais independentes, separados por juntas de dilatação, com dimensões máximas em planta na ordem dos 90m. Com vista a uma melhor integração das juntas na Arquitectura e a uma distribuição regular de esforços nas lajes para cargas verticais, optou-se por dois tipos de juntas: os 2 corpos que constituem os volumes secundários são separados dos corpos do volume principal por juntas de dilatação com duplicação de pilares, enquanto as juntas entre os 6 corpos do volume principal são instaladas fora dos pilares mediante a materialização de rótulas nas lajes, com capacidade de deslocamentos relativos no seu plano.

A estabilidade dos vários corpos estruturais perante as acções horizontais é garantida pelos núcleos de escadas e elevadores, pelas paredes de contenção periféricas e pelos pilares, embora estes com menor preponderância. Uma vez que, por razões de funcionalidade do edifício, os núcleos são maioritariamente posicionados na periferia dos corpos, revelou-se necessário prever algumas paredes alongadas, procurando deste modo aproximar mais os centros de rigidez e geométricos dos pisos. Efectivamente, verifica-se que estas paredes reduzem significativamente os efeitos de torção resultantes das acções horizontais.

Embora o desnível de terras entre as diversas frentes do edifício não seja significativo, as juntas de dilatação interiores não permitem a transmissão de esforços no plano das lajes, impedindo que os impulsos de terras sejam auto-equilibrados. Como tal, os elementos verticais mais rígidos, tais como os núcleos e as paredes alongadas, terão ainda que suportar esta solicitação.

O maior desafio deste projecto residiu na solução estrutural a adoptar para as lajes. A malha regular para os pilares de 16x8m pretendida pelo Dono de Obra, bem como o reduzido prazo estipulado para a Empreitada de Estruturas (8,5 meses), exigiam uma solução de execução rápida e com rigidez e capacidade resistente suficientes para fazer face aos vãos pretendidos.

Foram estudadas em fase de Estudo Prévio soluções de pré-fabricação e de lajes pré-esforçadas betonadas “in situ”, tendo sido ambas abandonadas devido à dificuldade de adaptação às várias irregularidades existentes (negativos, escadas rolantes, pilares desviados da malha regular, etc.) no caso da primeira solução, e devido a limitações de obra, tal como o reduzido tempo disponível para a sua preparação e execução, no caso da segunda.

Tendo em conta estas condicionantes e ainda a procura por uma solução esteticamente agradável que vencesse os vãos de 16m com a maior “leveza” possível, optou-se por lajes fungiformes com espessuras entre 0,25m e 0,35m, consoante as acções aplicadas, sobre capitéis de geometria tronco-piramidal, rectangulares em planta e alongados na direcção do maior vão. Os capitéis têm uma espessura variável de 0,55m sobre os pilares até 0,10m nas extremidades e dimensões em planta de 10x4m.



Figura 2. Lajes com capitéis tronco-piramidais.

Devido à necessidade de conferir maior rigidez em zonas junto de aberturas irregulares com grandes dimensões e nos vãos extremos, substitui-se, nestas zonas, os capitéis por bandas contínuas com 3,0m de largura e 0,55m de altura sob a laje.

De modo a assegurar, sempre que possível, uma distribuição uniforme de esforços nas lajes ao longo de todo o edifício, optou-se por posicionar as juntas de dilatação a uma distância dos pilares igual a 20%-25% do vão – 4,00m na direcção dos vãos de 16m e 1,70m na direcção dos vãos de 8m – o que conduz a uma semelhança quase perfeita entre os diagramas de momentos flectores das zonas com e sem juntas. Para impedir eventuais assentamentos verticais diferenciais entre lajes de corpos estruturais adjacentes foram introduzidos ferrolhos que atravessam as juntas de dilatação, sendo encamisados apenas numa das extremidades para permitir o livre movimento de encurtamento e dilatação das lajes.



Figura 3. Junta de dilatação das lajes.

Pela sua especificidade, optou-se por uma solução estrutural diferente para os pisos 0 e 1 do corpo estrutural mais destacado a Norte. A necessidade de remoção de alguns pilares da malha de 16x8m para acesso de camiões no piso -1, bem como de adoptar cargas de dimensionamento superiores às restantes zonas, conduziu à adopção de uma solução de bandas maciças contínuas pré-esforçadas com 3,0m de largura orientadas na direcção do maior vão, onde se apoiam lajes maciças unidireccionais. A altura total das bandas é de 0,70m no piso 0 e de 0,90m no piso 1.

O sistema de pré-esforço adoptado foi o de bainhas achatadas com 2cm de altura, tendo permitido explorar os benefícios do pré-esforço aderente e ainda a maximização das flechas dos traçados dos cabos.



Figura 4. Sistema de pré-esforço com bainhas achatadas.

Nos quadros 1 e 2 apresenta-se, para as zonas tipo de cada piso, um resumo das acções aplicadas, das quantidades e custos referentes respectivamente da solução de projecto e da solução de lajes maciças com funcionamento unidireccional apoiadas em bandas pré-esforçadas na direcção do maior vão. O custo das várias soluções refere-se exclusivamente à estrutura dos pisos e foi obtido com base nos custos unitários reais da empreitada.

Quadro 1. Quantidades e custos da solução em betão armado com capitéis tronco-piramidais.

<i>Piso</i>	<i>G+Q</i> [kN/m ²]	<i>Q/(G+Q)</i> [%]	<i>Vol. betão</i> [m ³ /m ²]	<i>Aço em varão</i> [kg/m ²]	<i>Aço de pré-esforço</i> [kg/m ²]	<i>Custo total</i> [€m ²]
-1	14.7	34%	0.35	48.9	-	61
0	25.2	40%	0.45	67.5	-	82
1	18.4	27%	0.40	55.2	-	69

Quadro 2. Quantidades e custos da solução com bandas pré-esforçadas.

<i>Piso</i>	<i>G+Q</i> [kN/m ²]	<i>G/(G+Q)</i> [%]	<i>Volume betão</i> [m ³ /m ²]	<i>Aço em varão</i> [kg/m ²]	<i>Aço de pré-esforço</i> [kg/m ²]	<i>Custo total</i> [€m ²]
-1	13.5	37%	0.30	26.5	5.3	63
0	23.2	43%	0.37	51.3	5.9	89
1	16.8	30%	0.33	27.2	5.9	68

Do ponto de vista económico é de realçar uma proximidade entre os custos de ambas as soluções, com uma ligeira vantagem no caso da solução de projecto que apresenta um custo médio de 70 €/m², contra os 74 €/m² da solução pré-esforçada. Note-se que, no caso da solução de bandas pré-esforçadas seria ainda possível economizar no dimensionamento dos pilares e fundações, devido à redução da acção do peso próprio, que se traduz numa redução do esforço axial em 8% ao nível das fundações, resultando porém numa diminuição no custo destes elementos de apenas 1 €/m².

Note-se que a solução pré-esforçada se torna mais competitiva para relações $G/(G+Q)$ baixas, onde os efeitos da alternância de sobrecargas são mais reduzidos. Para estas situações o pré-esforço pode ser dimensionado para equilibrar quase a totalidade das acções aplicadas, conduzindo a uma poupança significativa na armadura passiva quando comparado com uma solução sem pré-esforço.

Contudo, o factor preponderante na escolha da solução estrutural para as lajes foi o prazo de construção. A data de abertura do centro comercial pretendida pelo Dono de Obra conduziu a um planeamento global com sobreposição da fase final do projecto com o início da obra. Consequentemente, o tempo disponível para preparação da obra foi muito reduzido. Deste ponto de

vista, a solução de projecto afigurou-se com a mais vantajosa, uma vez que, além de eliminar os trabalhos referentes à colocação e esticamento dos cabos de pré-esforço, permite também a preparação da obra num menor espaço de tempo, devido à dispensa da realização de projectos específicos de preparação de pré-esforço.

Como vantagens adicionais das duas soluções salienta-se ainda a versatilidade para passagem de tubagens e caminhos técnicos em ambas as direcções no caso da solução de projecto e o melhor comportamento em serviço, nomeadamente ao nível do controlo das deformações e fendilhação do betão, no caso da solução com bandas pré-esforçadas.

3.2 Cobertura

A solução estrutural adoptada para a cobertura resulta da necessidade, quer de reduzir o número de pilares ao nível do piso 1, passando estes a estar dispostos numa malha regular de 16,0x16,0m, quer de facilitar a sua construção. Foi então adoptada uma solução em laje mista de betão armado e chapa de aço colaborante com 0,13m de espessura assente sobre uma malha de perfis metálicos. As madres de apoio da laje em perfis laminados IPE300 estão afastadas 2.67 m entre si e apoiam-se em “vigas secundárias” simplesmente apoiadas com 800mm de altura e vãos de 16,0m, dispostas em alinhamentos afastados de 8.0 m. Por sua vez, as “vigas secundárias” apoiam-se nas “vigas principais” contínuas com 1000mm de altura que, também com vãos de 16,0m, se dispõem apenas nos alinhamentos dos pilares. Pela melhor capacidade de aprovisionamento, as vigas principais e secundárias são compostas por perfis restituídos soldados.



Figura 5. Estrutura metálica da cobertura.

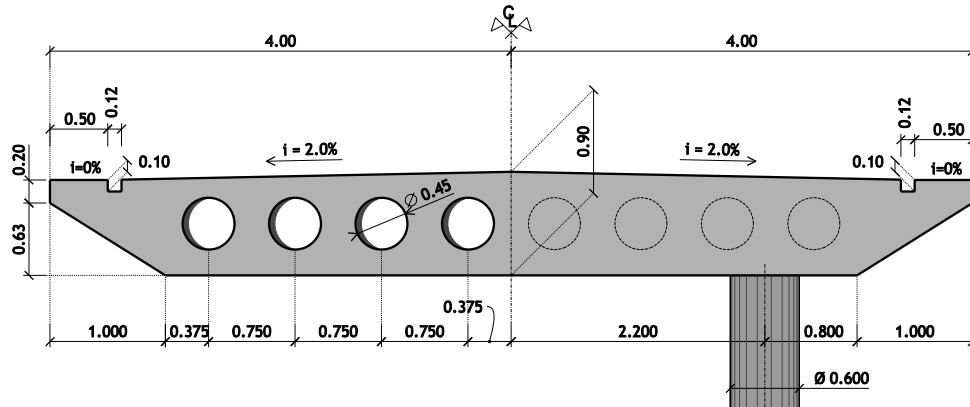
A utilização de lajes mistas com chapa de aço colaborante afigura-se interessante não só do ponto de vista de construção, uma vez que dispensa as cofragens durante a betonagem da laje, mas também em termos de resistência e deformabilidade das vigas metálicas, que, mediante a ligação com conectores, podem ser dimensionadas como vigas mistas, tirando-se partido do comportamento plástico do aço e betão em estado limite último. Paralelamente, a laje assegura ainda a transmissão das acções horizontais para os elementos verticais, dispensando os travamentos em cruz, e funciona como contraventamento do banzo comprimido dos perfis sujeitos a momentos positivos.

Como solução especial, e por razões arquitectónicas, prevê-se a supressão de alguns pilares junto a clarabóias resultando em consolas de vão excessivo. Nestas zonas adopta-se um sistema de atirantamento da cobertura com recurso a tirantes ligados aos perfis da cobertura e a mastros.

3.3 Viaduto de acesso ao cais de descarga

O acesso ao cais de descarga exclusivo do hipermercado é estabelecido a partir de um pequeno viaduto que se desenvolve desde um encontro em cofre perdido ao nível do arruamento localizado a Sul/Nascente do edifício à cota 45.15 até a uma plataforma à cota 48.10 pertencente ao corpo estrutural posicionado mais a Sul. Longitudinalmente o viaduto apresenta a seguinte modelação de vãos: 16.0m + 2x20.0m + 12.0m.

Os apoios intermédios são materializados por pares de pilares circulares afastados de 4,40m com ligação monolítica ao tabuleiro. O tabuleiro é constituído por uma laje maciça de betão armado com altura máxima de 0,90m, aligeirada com tubos circulares de 0,45m de diâmetro.



3.4 Passadiço de ligação ao parque de estacionamento exterior

Este passadiço de ligação entre o piso 0 e o núcleo de escadas do parque de estacionamento exterior tem um comprimento total de 29,8m e apresenta uma largura variável entre 5.0m junto ao edifício e 2.4m junto ao núcleo.

A sua estrutura é composta por uma laje mista de betão armado com chapa de aço colaborante ao nível do piso de circulação e por uma chapa sandwich ao nível da cobertura, apoiadas em vigas metálicas transversais em ambos os níveis, que por sua vez se apoiam em duas treliças laterais tipo “Warren”.

As treliças apoiam numa viga do lado do edifício e no núcleo de escadas exterior, sendo travadas na direcção transversal em ambas extremidades e fixas na direcção longitudinal apenas do lado do edifício. O núcleo de escadas apoia apenas uma das treliças, sendo a excentricidade daí resultante absorvida por um par de tirantes inclinados que suspendem a outra treliça.

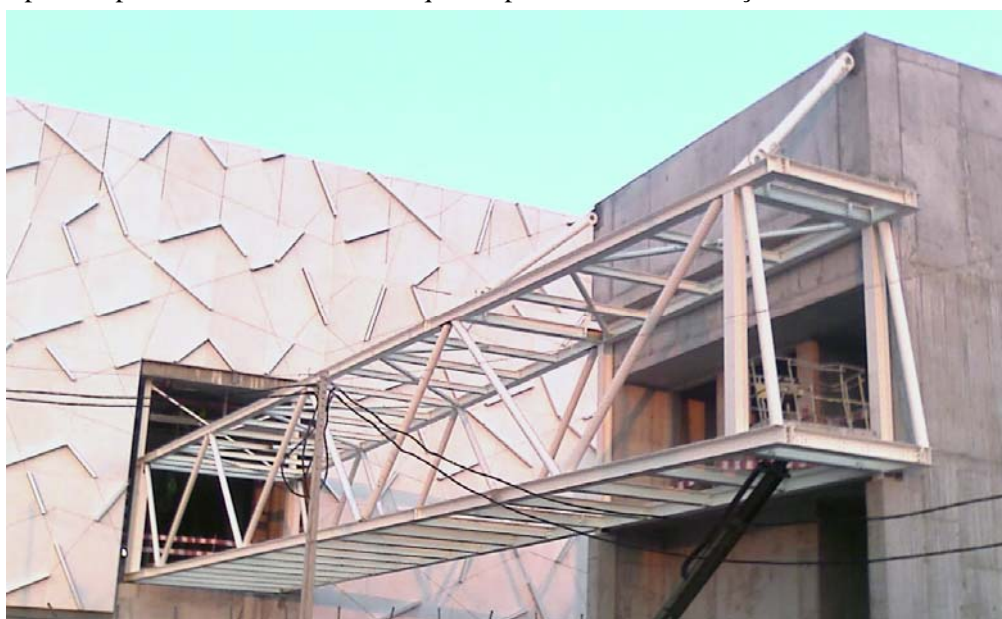


Figura 7. Estrutura do passadiço.

4. MODELOS DE CÁLCULO

A determinação de esforços e deformações dos vários elementos estruturais foi efectuada recorrendo a modelos globais de cada corpo estrutural compostos por elementos finitos de casca no caso das lajes e paredes estruturais e barras no caso dos pilares e vigas.

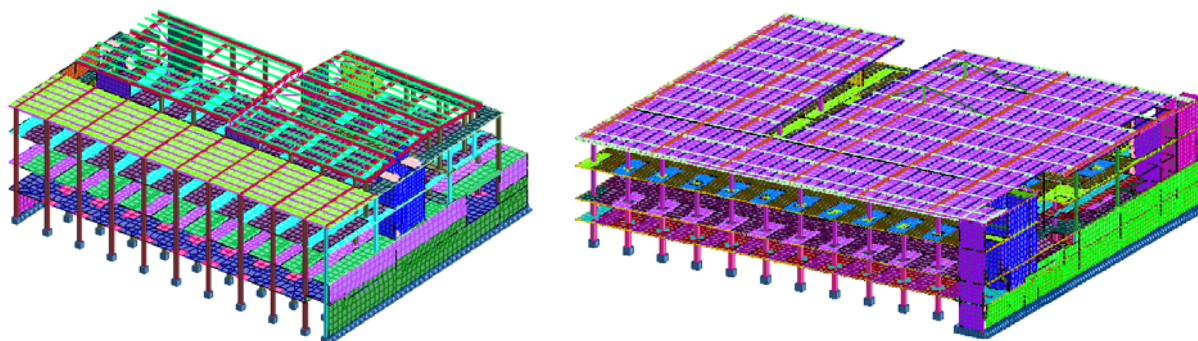


Figura 8. Modelos de cálculo de 2 corpos estruturais.

Tendo em conta a distribuição irregular dos elementos de contraventamento em planta e altura considerou-se que o critério preconizado no REBAP [1] para classificação da mobilidade lateral da estrutura não seria adequado para este projecto. Sendo assim recorreu-se ao critério previsto em [2] onde é indicado que os efeitos de encurvadura global de uma estrutura são desprezáveis sempre que os momentos de 2ª ordem resultantes do modo global de encurvadura sejam iguais ou inferiores a 10% dos de 1ª ordem. A expressão que define os momentos de 2ª ordem é dada pela 'Eq. (1)'.

$$M_{Ed} = \frac{M_{0Ed}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_B}} \quad (1)$$

De acordo com o apresentado anteriormente uma estrutura será de nós fixos sempre que, de acordo com a 'Eq. (2)' o coeficiente de carga crítica (N_B/N_{Ed}) correspondente ao modo global de encurvadura seja inferior a 11.

$$\frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_B}} \leq 1.10 \Leftrightarrow \frac{N_B}{N_{Ed}} \geq 11 \quad (2)$$

No cálculo do coeficiente de carga crítica da estrutura foi tida em conta a redução da rigidez dos elementos em betão armado devido à fendilhação das secções e à fluência mediante a consideração do módulo de elasticidade efectivo.

5. PROCESSOS CONSTRUTIVOS

5.1 Escavação geral e contenção periférica

Na generalidade dos terrenos em causa a escavação pôde ser realizada com recurso a taludes, com a excepção do lado Nascente do lote, onde, à altura dos trabalhos, estava já construída uma via de acesso à Loja IKEA, adjacente ao limite de escavação. Junto à extremidade Norte do edifício encontravam-se também já construídos dois túneis sob o arruamento destinados ao acesso de veículos ao parque de estacionamento do centro comercial.

Ao contrário dos terrenos mais a Sul, que são de natureza residual originados pela decomposição da rocha-mãe, junto aos túneis identificou-se a presença do maciço rochoso a uma cota elevada. Sendo assim, adoptaram-se duas soluções distintas para a contenção do arruamento existente: desde o limite Sul do terreno até intersecção com os túneis adoptou-se uma solução do tipo "Berlim" com ancoragens provisórias, e desde os túneis até à extremidade Norte do edifício uma solução de escavação em rocha praticamente na vertical com a posterior construção de um muro de suporte com sapata no tardoz.

Tendo em conta a largura reduzida disponível no tardo para a sapata do muro, optou-se pela sua estabilização até à construção das lajes de piso com ancoragens provisórias.



Figura 9. Contenção tipo Berlim com ancoragens provisórias.

5.2 Capitéis

Tendo em conta a geometria pouco vulgar dos capitéis, a definição de um processo construtivo adequado para a sua construção revelou-se crucial para o bom andamento da obra. A solução a adoptar deveria tirar partido do elevado número de repetição de capitéis de forma idêntica (558 capitéis iguais) e ainda permitir a optimização de prazos e meios de construção.

O projecto de concurso previa duas soluções possíveis para a sua construção: a moldagem “in situ” ou a pré-fabricação. No caso da segunda solução, para minimizar o peso dos elementos pré-fabricados, propôs-se reduzir a sua espessura na zona central para 0,30m. Na zona de ligação ao pilar deveria ser deixado um negativo para passagem da armadura do pilar. Os capitéis seriam içados a partir de ganchos ancorados no betão, e posteriormente colocados sobre os pilares, onde deveriam ser escorados. Proceder-se-ia então à montagem das cofragens da laje, apenas nas zonas exteriores aos capitéis, já que os próprios serviriam também de molde. Após a betonagem da laje, as escoras sob os capitéis poderiam ser removidas simultaneamente com a restante cofragem.

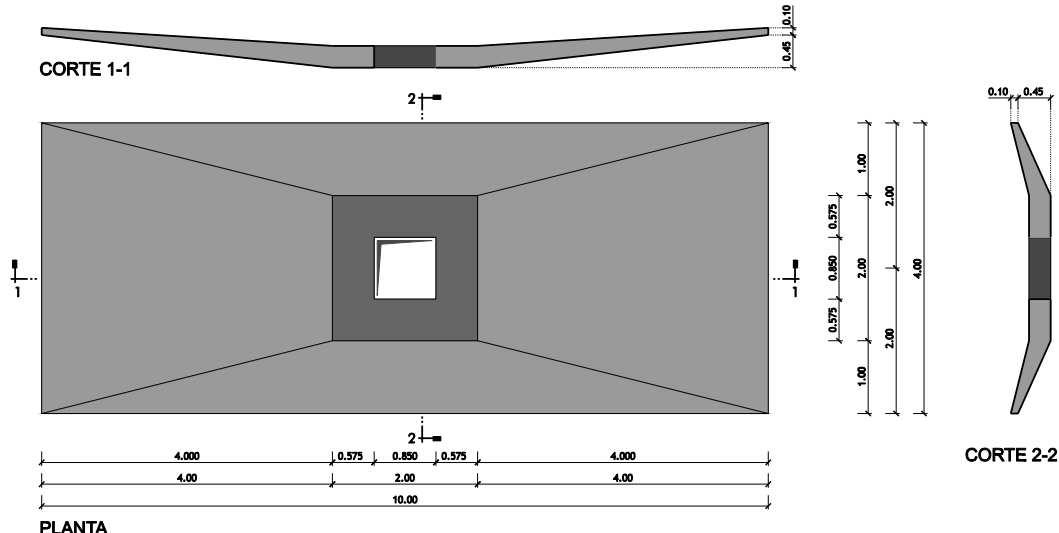


Figura 10. Geometria proposta para o capitel pré-fabricado.

Foi efectuada a verificação de segurança do capitel em fase de construção, tendo-se revelado necessário o reforço de armaduras para fazer face às acções resultantes das condições de elevação e escoramento propostas.

A opção final do Empreiteiro foi pela solução de moldagem “in situ”. Para tal, foram produzidos alguns moldes de cofragem iguais, que foram reutilizados para construção dos vários capitéis. A betonagem foi realizada numa primeira fase até à face inferior da laje. Além dos estribos preconizados foi ainda imposta uma classificação da superfície superior do capitel moldado como rugosa de acordo com [2] (saliências com pelo menos 3 mm espaçadas de aproximadamente 40 mm) para permitir melhor aderência à laje betonada em 2.ª fase.

Alguns dias após a betonagem dos capitéis os moldes iam sendo removidos para que pudessem ser reutilizados noutros capitéis, deixando-se porém um pós-escoramento até à betonagem da laje.



Figura 11. Construção de um capitel.

A solução estrutural adoptada para as lajes, bem como para seu processo construtivo, revelaram-se uma escolha acertada, tendo permitido imprimir um ritmo de construção assinalável, chegando-se a atingir ritmos de betonagem de lajes de 7000m² por semana.

6. CONCLUSÕES

As estratégias de projecto adoptadas para responder às diversas exigências programáticas do empreendimento, bem como ao desafio de permitir a realização da Empreitada num curto espaço de tempo revelaram-se adequadas. Nomeadamente, a solução pouco vulgar de capitéis tronco-piramidais alongados na direcção do maior vão mostrou-se bastante interessante para a malha de pilares de 16x8m.

O dimensionamento das vigas da cobertura como mistas em aço e betão revelou-se também ajustada para os vãos e acções pretendidos, nomeadamente no caso das madres, para as quais a inércia aumenta aproximadamente 4 vezes quando considerado o efeito do banzo efectivo de betão.

REFERÊNCIAS

- [1] DL n.º 349-C/83. 1983, Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado. Lisboa: Porto Editora
- [2] prEN 1992-1-1. 1993, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General Rules for Buildings. Brussels: CEN