

Índice

1.1. Introdução.....	2
1.2. Localização, Rasante e Perfil Transversal.....	3
1.3. Geologia e Fundações	3
1.4. Descrição da Solução Apresentada.....	4
1.5. Condicionamentos de Projecto, Critérios de Verificação da Segurança	5
1.6. Modelos e Métodos de Cálculo	8
1.7. Processos Construtivos.....	8

1.1. Introdução

Para efeito de conclusão do Mestrado em Engenharia Civil, foi proposto o desenvolvimento, pelo Departamento de Engenharia Civil, de um dos três Trabalhos Finais de Mestrado: Projecto, Estágio ou Dissertação.

Neste sentido, a preferência recaiu naturalmente sobre a elaboração de um Projecto. O gosto pela matéria e a “curiosidade” de perceber a dificuldade e pontos críticos de um projecto de execução de estruturas em betão armado e pré-esforçado foram determinantes para a escolha deste como modalidade de finalização do mestrado.

Ao elaborar um projecto podemos aplicar os conhecimentos adquiridos nas Unidades Curriculares ministradas durante o curso de Engenharia Civil, bem como aprofundar diversos *softwares* técnicos, essenciais à vida profissional de um Engenheiro.

O Projecto permite conciliar de forma criativa as matérias teóricas e o seu desenvolvimento prático. Obtemos assim uma perfeita integração teórico-prática que permitirá num futuro profissional dissipar certas dúvidas relacionadas com a prática profissional.

É importante referir que a supervisão deste Projecto por parte de um orientador com vasta experiência na área de Estruturas, dará segurança na elaboração do projecto e alertará para os desafios profissionais, apoiando na sua transposição.

Sabendo que este trabalho, por um lado é académico e por isso há certos aspectos que têm que estar presentes (nomeadamente a introdução e conclusão) por outro lado é um projecto de execução e por isso este trabalho segue uma lógica. Por isso este trabalho divide-se em duas partes fundamentais: as peças escritas e as peças desenhadas. As peças escritas são os documentos que descrevem e justificam as opções tomadas pelo projectista quer ao nível de acções quer ao nível de opções estruturais e de armaduras. As peças escritas dividem-se em três partes fundamentais: a memória descritiva, a memória justificativa e os anexos de cálculo.

As peças desenhadas são parte fundamental do projecto não só porque esquematizam as opções do projectista mas também porque são estas peças que vão ser consultadas em obra e por isso necessitam de ser claras, concisas e esclarecedoras.

O objectivo que nos propomos será o de conceber um projecto de execução o mais próximo possível ao real, tendo em conta que este será de âmbito académico.

1.2. Localização, Rasante e Perfil Transversal

A P.I. 14 destina-se a servir a auto-estrada A2, transpondo superiormente o Restabelecimento 14 (EN 395).

A intersecção da auto-estrada com o restabelecimento 14 situa-se ao km 10+929.078 do Sublanço e ao km 0+070.392 do Restabelecimento, no ponto de coordenadas $M = -7305.06483$ e $P = -277366.15505$, às cotas 70.3922 m e 61.6987 m da A2 e do restabelecimento, respectivamente, segundo um ângulo de viés de 76.453 graus.

No que respeita ao sublanço, a obra desenvolve-se segundo uma clotóide de parâmetro 400, inscrevendo-se, em perfil longitudinal, num trainel com 0,50 % de inclinação.

Transversalmente o tabuleiro apresenta uma plataforma com 36,70 m de largura em todo o seu desenvolvimento. Para além de uma junta longitudinal de 0,02 m de abertura, esta largura comporta, em cada sentido de circulação, meio separador central com 1,99 m, uma berma interior com 4,75 m, uma faixa de rodagem de 7,50 m, uma berma exterior de 3,00 m e um conjunto elevado com 1,10 m de largura, formado pelo perfil metálico de segurança e delineador, passeio e viga de bordadura de 0,25 m, que suporta o guarda corpos metálico.

A sobrelevação das faixas de rodagem é igual do lado do intradorso e extradorso, com valor variável entre 3,57 % e 5,37 %.

O tapete betuminoso tem 0,08 m de espessura e a elevação mínima dos passeios é de 0,23 m em relação à superfície de betão do tabuleiro. Os passeios são sempre sobreelevados a 2,5% para o interior do tabuleiro.

O enchimento dos passeios é obtido com betão de agregados leves; esse enchimento é limitado exteriormente pela viga de bordadura e, na parte interior, pelo soco de apoio do perfil de segurança, que é betonado em 2ª fase. Incorporados em cada passeio estão previstos dois tubos de PVC com 10,0 cm de diâmetro e três tubos de PVC com 4,0 cm de diâmetro, os quais se destinam à eventual passagem de cabos. O revestimento dos passeios é constituído por um reboco liso esquadrelado com 0,02 m de espessura.

1.3. Geologia e Fundações

Foi realizada, na zona da passagem inferior, uma campanha geotécnica constituída por 3 sondagens para caracterização das camadas litológicas existentes (sondagens S54, S55 e S56), tendo-se realizado ensaios de penetração dinâmica tipo SPT no interior dos furos das sondagens.

De acordo com os resultados dos ensaios SPT, as camadas adequadas para fundação dos elementos de suporte da obra de arte (onde se obteve 60 pancadas no ensaio de penetração), encontram-se a cerca de 15 m de profundidade.

Face a estes resultados foram consideradas fundações indirectas para os pilares e encontros com estacas moldadas de betão armado com 0,80 m de diâmetro nos pilares e 1,00

m de diâmetro nos encontros, que penetram nas camadas de silte argiloso de consistência dura a rija (N(SPT) = 60) cerca de 5ϕ .

1.4. Descrição da Solução Apresentada

A passagem inferior é constituída por dois tabuleiros independentes, compreendendo cada um deles, um sentido de circulação da auto-estrada.

Os tabuleiros são estruturas contínuas de três tramos, em betão armado pré-esforçado longitudinalmente, formados por uma laje nervurada com quatro nervuras. Estas nervuras apoiam em duas fiadas de pilares circulares e em dois encontros perdidos. Têm ligação monolítica aos pilares, e nos encontros apoiam na carlinga que por sua vez descarrega em aparelhos de apoio de neoprene cintado ancorados. O comprimento total da obra, igual a 38,0 m ao eixo, é distribuído por um vão central de 17,0 m e dois laterais de 10,5 m.

A largura total do tabuleiro é de 39,34 m, subdividida em duas superestruturas com 19,66m e separadas por uma junta longitudinal de 0,02 m. As nervuras dos tabuleiros têm 0,90 m de altura e 1,30 m de base, e são ligadas entre si por uma laje de 0,25 m de espessura e 3,00 m de vão, que se prolonga lateralmente em consolas de espessura variável, com 0,25 m no encastramento nas nervuras e 0,15 m na extremidade. Uma vez que obra de arte está inscrita numa clotóide e as nervuras são rectas, a curvatura do tabuleiro é feita variando o balanço das consolas laterais, obtendo-se o valor mínimo de 0,85m e máximo de 1,10 m, no tabuleiro do intradorso.

Os pilares são em betão armado, em número de quatro por linha de apoio e por tabuleiro, e têm secção circular constante de 0,80 m de diâmetro. São ligados monoliticamente ao tabuleiro e ao maciço de encabeçamento de estacas, que tem $3,60 \times 1,20 \text{ m}^2$ de dimensões em planta e 1,40 m de altura. Transversalmente os maciços estão ligados entre si por uma viga com $0,80 \times 1,40 \text{ m}^2$ de secção.

Os encontros são perdidos, constituídos por sete montantes com secção rectangular de $1,55 \times 0,60 \text{ m}^2$, dispostos ortogonalmente à viga de estribo. Todos os montantes são ligados monoliticamente à viga de estribo, que tem 0,60 m de altura e ao maciço de encabeçamento de estacas, contínuo para todos os montantes. As estacas são colocadas por forma a, sempre que possível, ficarem com o seu eixo coincidente com a face do montante. O maciço de encabeçamento tem 1,40 m de altura.

Os encontros estão providos de batentes em neoprene destinados a amortecer eventuais choques provenientes das acções horizontais de natureza dinâmica.

Os materiais a adoptar na construção da PI 14 são:

- Betão da classe C25/30 na execução das estacas, maciços de encabeçamento e nos encontros;
- Betão da classe C30/37 na elevação dos pilares e tabuleiro;
- Betão da classe C12/15 na regularização de fundações;
- Aço da classe A500NR nos varões de aço das armaduras ordinárias;

e. Aço da classe 1860/1670 nas armaduras de pré-esforço.

A continuidade das faixas de rodagem dos tabuleiros será assegurada por juntas comerciais estanques e de boa qualidade, devendo ser do tipo transflex ou equivalente. O Adjudicatário proporá à Fiscalização o tipo de junta que pretende adoptar, reservando-se a esta o direito da sua aceitação.

As guardas de segurança para peões são constituídas por corrimão de aço moldado a frio suportado por montantes de aço aparafusados às vigas de bordadura. As guardas serão metalizadas e pintadas, de preferência com uma cor clara. Essa cor será escolhida pela Fiscalização, sob proposta do Adjudicatário.

Os perfis de segurança existentes ao longo dos passeios para protecção das bermas terão fixações espaçadas de 2,0 m.

O tabuleiro está dotado dos dispositivos de drenagem necessários para evitar que se formem sobre eles toalhas de águas nocivas quer à sua conservação quer ainda à segurança da circulação rodoviária. Estas águas serão encaminhadas para o exterior do tabuleiro por intermédio de tubos de queda em polietileno com 10,0 cm de diâmetro que serão fixados aos pilares, por forma a evitar a queda directa de água sobre o restabelecimento.

Todas as superfícies em contacto com o terreno, excepto os maciços de encabeçamento das estacas, serão pintadas com “flintkote”.

Como é usual neste tipo de obras, também esta está dotada de acrotérios, de caixas de visita na extremidade dos passeios e de lajes de aproximação no tardo dos encontros.

1.5. Condicionamentos de Projecto, Critérios de Verificação da Segurança

Os principais factores que condicionaram o projecto da obra foram os seguintes:

- Implantação dos elementos de suporte do tabuleiro sem colidir com os “gabarits” previstos no traçado da via inferior (restabelecimento 14 (EN395));
- Obrigatoriedade de conter no tabuleiro quer o perfil transversal previsto para a auto-estrada A2, quer os passeios, separador central e dispositivos de segurança;
- Harmonização do conjunto com a topografia local; e consideração das condições geológicas e geotécnicas, disponíveis aquando da realização deste projecto.

Por outro lado, considerou-se a obra englobada na classe I, sendo as acções de projecto as estipuladas no RSA (Regulamento de Segurança e Acções em Estruturas de Edifícios e Pontes) para viadutos desta classe e para a zona territorial em que se localizam. Tratando-se de uma obra em betão armado e pré-esforçado, adoptaram-se as disposições do REBAP (Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado) na verificação das peças. Relativamente aos betões, consideraram-se as disposições da ENV 206.

Consideram-se as seguintes acções na obra de arte:

Acções permanentes:

- Peso próprio + restante carga permanente.
- Retracção (assimilada a uma variação uniforme de temperatura de -15° C).
- Fluência

Acções variáveis:

- Sobrecarga uniforme + linear.
- Veículo tipo.
- Variação uniforme de temperatura ($\pm 15^\circ \text{C}$).
- Variação diferencial de temperatura ($\pm 5^\circ \text{C}$, positiva na face superior do tabuleiro).
- Acção sísmica (zona sísmica A).

Para todas as peças pré-esforçadas garantiu-se a verificação do estado limite de descompressão para as combinações quase permanentes de acções. As acções acima referidas foram combinadas, para a verificação deste estado limite, de acordo com a seguinte regra de combinação:

$$S_{qp} = \gamma_g S_G + \sum \gamma_{pi} S_{pi}$$

com os seguintes factores de combinação:

- peso próprio + restante carga permanente	$\gamma_g=1,0$
- pré-esforço	$\gamma_g=1,0$
- variação de temperatura	$\gamma_p=0,3$
- sobrecargas	$\gamma_p=0,2$

A segurança de todos os elementos estruturais foi verificada para os estados limites últimos de resistência, tendo sido fixadas para as secções condicionantes das peças as seguintes condições:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \text{ e } V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

em que M_{Sd} e V_{Sd} designam, respectivamente, os momentos flectores e os esforços transversos actuantes de cálculo (para as secções e combinações abaixo indicadas) e M_{Rd} e V_{Rd} os seus valores resistentes de cálculo.

Estas acções foram combinadas de acordo com as seguintes regras de combinação:

A) Acção base da combinação: sobrecargas

$$S_d = \gamma_g \times S_G + \gamma_q \times S_Q + \sum (\gamma_{pi} \times S_{pi})$$

com os seguintes valores dos coeficientes de segurança conforme a acção era favorável ou desfavorável à segurança:

- peso próprio	$\gamma_g=1,0$ ou $1,5$
- restante carga permanente	$\gamma_g=1,0$ ou $1,5$
- retracção	$\gamma_g=0,9$ ou $1,2$
- pré-esforço	$\gamma_g=0,9$ ou $1,2$
- variação de temperatura	$\gamma_p=0$ ou $0,9$
- sobrecargas	$\gamma_p=0$ ou $1,5$

B) Acção base da combinação: sismo

$$S_d = \gamma_g \times S_G + \gamma_q \times S_E + \sum (\gamma_{pi} \times S_{pi})$$

com os seguintes valores dos coeficientes de segurança:

- peso próprio + restante carga permanente	$\gamma_g=1,0$
- retracção	$\gamma_p=0,9$ ou $1,2$
- pré-esforço	$\gamma_g=0,9$ ou $1,2$
- variação de temperatura	$\gamma_p=0$ ou $0,3$
- sismo	$\gamma_p=1,5$

A segurança dos pilares e encontros foi verificada em relação aos estados limites últimos de resistência, utilizando no cálculo combinações de acções idênticas às consideradas na análise do tabuleiro. Refira-se que, para a combinação de acções em que a acção dos sismos é a variável de base, foi adoptado um coeficiente de comportamento $\eta=2,0$ (relativo a peças de ductilidade normal) no dimensionamento dos pilares.

O acréscimo de impulso activo devido ao sismo foi considerado no dimensionamento dos contrafortes dos encontros.

A segurança exterior das fundações foi verificada através da comparação entre as tensões actuantes e as tensões admissíveis do horizonte de fundação.

A segurança dos aparelhos de apoio foi verificada por tensões admissíveis.

1.6. Modelos e Métodos de Cálculo

A determinação dos valores característicos dos esforços nos vários elementos constituintes da obra de arte e dos deslocamentos, devidos a solicitações estáticas, foi efectuada por meio de modelos de pórtico plano e de grelha, os quais foram resolvidos automaticamente em computador através do programa SAP2000. Os efeitos do sismo foram determinados por intermédio de uma análise dinâmica e recorrendo aos espectro de resposta do RSA.

Salienta-se que face aos resultados obtidos para as frequências próprias de vibração da estrutura e às características das acções sísmica tipo 1 e tipo 2 previstas no RSA se verificou que a acção sísmica tipo 2 é aquela que claramente condiciona os valores dos esforços de cálculo.

1.7. Processos Construtivos

Os processos de execução das fundações, encontros e pilares são os usuais em viadutos de betão armado, pelo que não lhes faremos referência especial.

1.8. Regulamentos, Normas e Documentos Técnicos

- Regulamento de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP)
- Regulamento de Segurança e Acções para Edifícios e Pontes (RSA)

1.9. Lista de Peças Desenhadas

1. Traçado A2 – Restabelecimento 14
Plantas e Perfis Longitudinais
2. Dimensionamento Geral
Planta, Alçado e Corte
3. Planta de Fundações
4. Encontro Norte – Dimensionamento
Plantas, Alçados Frontal e Corte
5. Encontro Norte – Dimensionamento
Plantas, Alçados Frontal e Corte
6. Tabuleiro
Dimensionamento
7. Encontro
Armaduras
8. Pilares
Dimensionamento e Armaduras

9. Armaduras
Tabuleiro e Carlinga
10. Drenagem do Tabuleiro e Acrotérios
Pormenores
11. Guarda Metálica, Viga Bordadura, Caixa de Visita e Lancil
12. Guarda de Segurança
Pormenores
13. Delineadores Unidireccionais
Pormenores
14. Dispositivo Antiencadeamento
Pormenores