Pontes

Ponte sobre o rio Arade

Elaborado por:

DANIEL DIAS DA COSTA

FERNANDO MARQUES

LUÍS GUICHARD CASTRO

RODRIGO FALCÃO MOREIRA

0. Índice

1. Enquadramento Histórico 3
2. Condicionamentos geotécnicos e geotectónico, portuários e hidráulicos, urbanísticos 7
3. Solução estrutural adoptada 10
3.1. Aspectos gerais 10
3.2. As fundações 13
3.3. Pilares de transição 15
3.4. As torres 16
3.5. O tabuleiro da ponte 19
3.6. Suspensão 24
3.7. Viadutos de acesso 25
3.8. Os encontros 26
4. Construção 27
5. Observação 28
6. Duração dos trabalhos e entrada em serviço 29
7. Quantidades de materiais consumidos na obra 30
8. Ensaios dinâmicos 31
9. Bibliografia consultada 34

1. Enquadramento Histórico

O Rio Arade é utilizado desde tempos muito antigos. A prová-lo, nas grutas da Velha da Castanha e de Ibnemar, junto ao rio, foram encontrados machados de pedra da época da Pré-História.

Foi através do rio que a região transportou as suas riquezas e fez trocas comerciais com outras regiões mais afastadas, quer nacionais, quer estrangeiras. Muitos povos subiram e desceram o rio, trocando produtos de que esta região precisava por outros aqui abundantes.

Já os Fenícios, povo de navegadores e comerciantes do Mediterrâneo, se estabeleceram junto à foz do rio, onde encontraram um refúgio seguro ("Arvad", na sua língua, que parece estar na origem do nome "Arade").

A presença dos Romanos no rio Arade é fácil de demonstrar pelos achados que se fizeram, quando se procedeu à dragagem do rio. Encontraram-se: ânforas, moedas... Também na Ilha do Rosário se encontraram vestígios de ânforas.

Os Muçulmanos tiveram muita influência: na nossa língua, na arquitectura, (o Castelo de Silves foi construído pelos Muçulmanos), na agricultura com a introdução de novas culturas e com novas técnicas de irrigação.

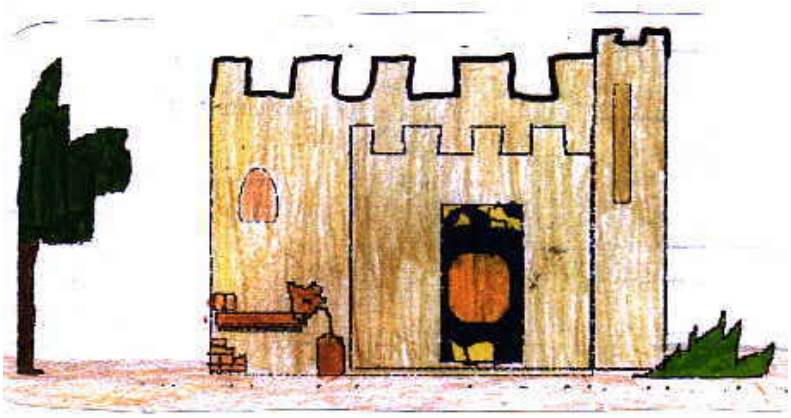

Figura 1.1 – Castelo de Silves (ilustração)

O rio Arade, para além de boa via de comunicação, foi também palco de muitas lutas pela conquista da região. Em 1189, D. Sancho I, por terra, e os Cruzados, vindos pelo mar e subindo pelo rio Arade, conquistaram Silves aos Mouros. Depois de conquistada por D. Sancho I, Silves ainda voltou a pertencer aos Muçulmanos e, só no reinado de D. Afonso III, passou a ser definitivamente dos Portugueses.

A pouco e pouco, Silves foi perdendo a sua importância, porque o rio ficou assoreado e deixou de ser navegável, passando, então, a ser o porto na Mexilhoeira da Carregação (o nome indica: Carregação - "para carregar").

Nesse tempo, para circular entre Portimão e Ferragudo, tinha que se atravessar o rio numa barca. Ainda hoje há um sítio que se chama LARGO da BARCA, de onde partia a Barca para fazer esse transporte. Com a continuação do assoreamento do rio e a construção da Ponte Rodoviária, Portimão passou a ser o principal local de embarque das riquezas da região.

Aqui chegavam e daqui partiam navios nacionais e estrangeiros, carregando laranja, madeira, cortiça, figo, amêndoa, alfarroba, sardinha, sal, etc. Estes produtos iam abastecer o mercado nacional e eram também exportados directamente para Inglaterra, Bélgica, França, Alemanha e Holanda.

Surgiu, nos finais do século 19, a necessidade de desenvolver a Vila Nova de Portimão, facilitando a comunicação entre terras e pessoas de ambas as margens.

Figura 1.2 – Vila Nova de Portimão

Há mais de um século, em Abril de 1876, foi inaugurada a primeira ponte sobre o rio Arade em Portimão.

Esta obra consistiu, na altura, em algo de muito caro. Então, o Visconde de Bibar, pessoa influente, prestou a ajuda económica necessária à sua construção. Foi desta forma erguida a primeira ponte rodoviária que facilitou as deslocações entre as duas margens do rio Arade, conduzindo a um rápido crescimento do comércio e indústria da região.

Esta obra beneficiou, durante largo tempo, todo o Algarve.

Figura 1.3 – Primeira ponte sobre o rio Arade

A segunda Ponte a ser construída foi a Ponte Ferroviária, inaugurada em 1922. É uma ponte muito bonita, sendo feita em ferro e assente sobre pilares de pedra.

Figura 1.4 – Ponte ferroviária de Portimão

Figura 1.5 – Ponte ferroviária de Portimão (outra vista)

No entanto, a partir dos anos 70, com o crescer constante do tráfego automóvel, rapidamente se tornou uma barreira, sendo responsável pelo estrangulamento do Algarve em duas partes – uma entre Espanha e Portimão e outra entre Portimão e Sagres.

Esta constrição existente no Algarve, em especial no Verão, originava, consequentemente, enormes filas de tráfego na totalidade do dia. Desta forma, milhares de pessoas vindas do Sotavento pela E.N.125 em direcção às praias, a Lagos e à costa vicentina, aguardavam ao longo de horas a travessia do rio e da cidade. Instalava-se assim o caos. Por outro lado, eram por demais evidentes os prejuízos que eram causados por esta situação às populações locais e ao comércio.

Mas não só aos nacionais eram causados os prejuízos. Também milhares de veraneantes estrangeiros eram prejudicados. Acabou, assim, por se tornar necessária a construção de uma nova ponte e de uma infraestrutura rodoviária cuidada que permitisse evitar, em Portimão, todo o tráfego cujo destino se situava para lá da cidade.

Para a resolução da situação descrita foi construída uma Variante à actual E.N.125, paralela à costa sul algarvia, desde as imediações do Hotel Penina até próximo da passagem de nível de Estômbar. Essa Variante obrigou à construção de duas obras de arte, sendo a do Arade, o alvo deste estudo, de extensão muito significativa.

De referir também que a Variante referida atravessa vales aluvionares da ribeira de Boina e do rio Arade a cerca de 1km a norte de Portimão.

Figura 1.6 – Pontes antigas e nova ponte sobre o rio Arade

Esta ponte consistiu num projecto do Engenheiro Civil Armando Rito, tendo sido construída pela empresa Conduril. Os tirantes responsáveis pela sustentação do tabuleiro foram executados pela Freyssinet.

2. Condicionamentos geotécnicos e geotectónico, portuários e hidráulicos, urbanísticos

A obra atravessa uma baixa aluvionar com formações e areias lodosas, areias silto-argilosas e cascalheiras de grande espessura, assumindo, na quase totalidade da largura do Vale do Arade, numa extensão de 2km, possanças de cerca de 40 metros de espessura.

Claramente que esta constituição é responsável por uma baixa capacidade de suporte, tendo sido obtidos valores de SPT inferiores a 9. Desta forma, foi necessário o recurso a técnicas especiais de execução e de consolidação, tendo sido construídos aterros com alturas superiores a 4m (que também sofreram assentamentos apreciáveis).

Figura 2.1 – Exemplo dos aterros construídos

As fundações da estrutura tiveram assim de atingir grande profundidade, assentando nos calcários jurássicos, depois de saneada a sua parte superior que se apresenta nalgumas zonas muito alterada e fracturada com intercalações argilosas.

Foi necessário executar as fundações com equipamentos adequados às profundidades de cerca de 40 metros (em algumas situações particulares) e também à camada de cascalheira com 7 metros de espessura. Foi utilizado um tubo moldador metálico recuperável.

Como se sabe, esta zona é de grande risco sísmico, até porque é provável a existência de uma falha ao longo do leito do Arade, no contacto entre o Jurássico e o Miocénico. Sendo esta zona uma das de maior risco sísmico do país, associada ainda

à grande espessura dos aluviões, as fundações tiverem de ser dimensionadas com grande margem de segurança.

A ponte sobre o Arade situa-se numa zona em que estão previstas extensas obras de regularização e aproveitamento do estuário até Silves, tornando o rio navegável para embarcações de recreio e de apoio a instalações industriais e agrícolas.

Foi efectuado um plano de regularização do Arade, o qual foi tido em atenção no dimensionamento da ponte, pela alteração substancial das condições de fundação de uma das torres.

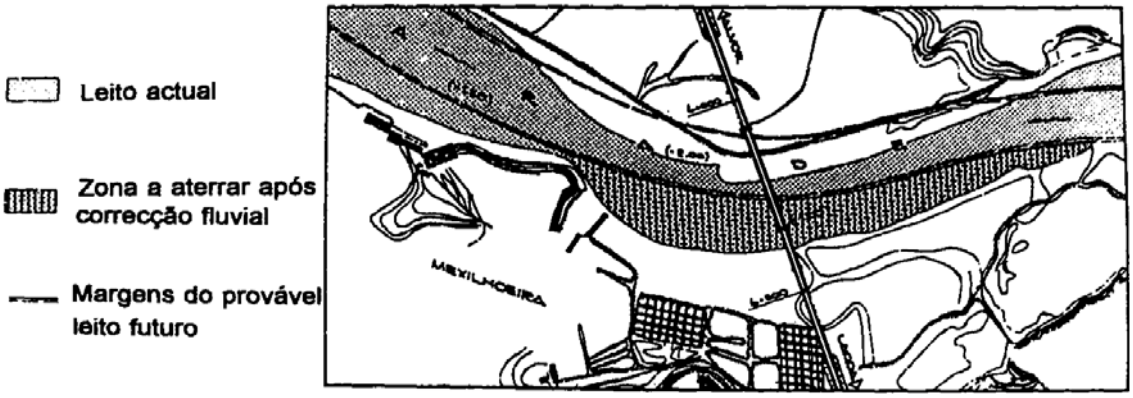

Figura 2.2 – Plano de regularização do Arade

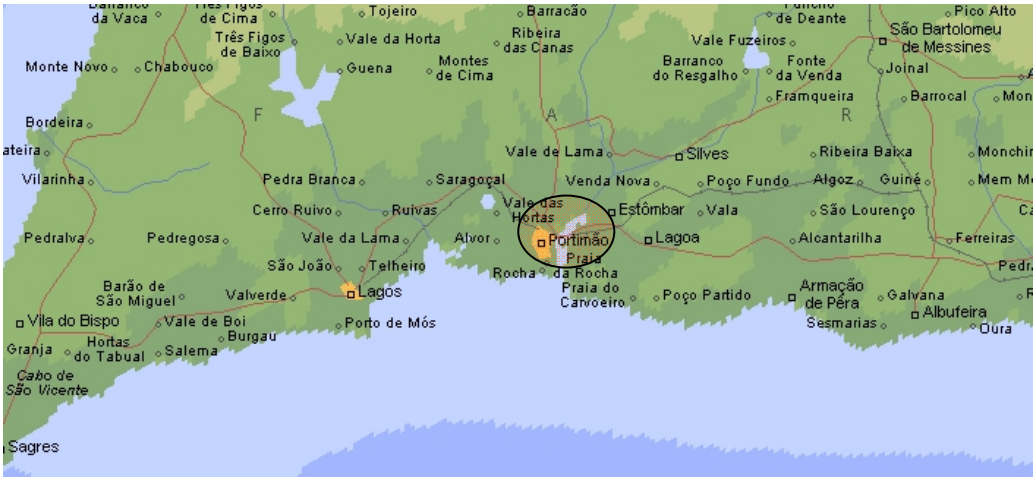

Figura 2.3 – Localização de Portimão no mapa de Portugal

Foi imposto um gabarit mínimo de 6,00m acima do N.M.P.M.A.V., incluindo neste a correcção barométrica. A zona de atravessamento está sujeita à maré, pelo que foi necessário que as cotas da rasante nos acessos à ponte se situassem num valor tal

que permitisse garantir ao ponto mais baixo da plataforma e aos seus sistemas de drenagem uma cota superior a +2,07m.

Esta restrição da cota levou a que se condicionasse a extensão dos viadutos de acesso pois foi necessário garantir que estes últimos, as faces inferiores do tabuleiro e os aparelhos de apoio não ficariam submersos.

Como na altura do projecto da ponte sobre o Arade se previa, a execução de duas vias marginais ao estuário do Arade, tornou-se necessário garantir um gabarit suficiente para a passagem dessas duas vias sob o seu tabuleiro.

De seguida, apresenta-se um mapa com os usos do solo, no qual se identifica a presença da influência das marés e ainda a bacia hidrográfica do Arade.

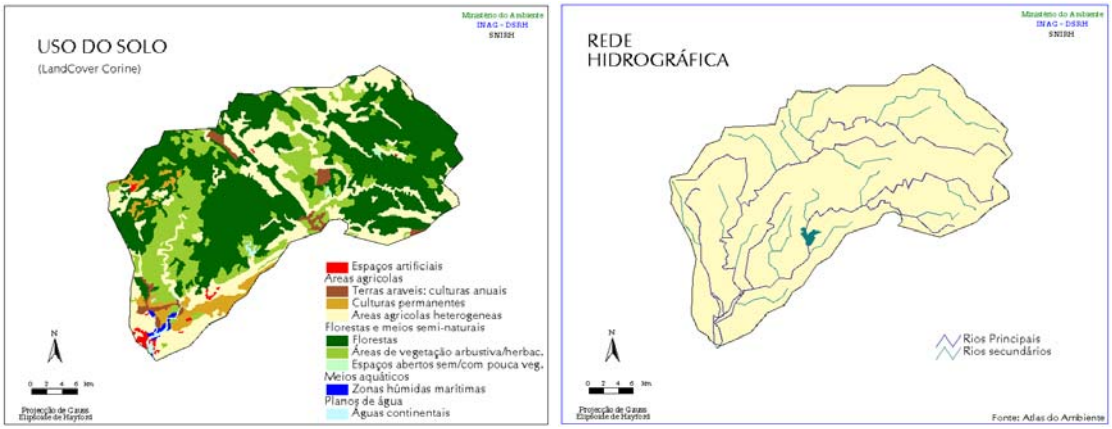

Figura 2.4 – Mapa de usos do solo e bacia hidrográfica do rio Arade

A ponte insere-se, assim, numa zona de expansão turística, urbana e industrial.

3. Solução estrutural adoptada

3.1. Aspectos gerais

Como se depreende, os condicionamentos atrás descritos limitaram de forma significativa os vãos e os processos construtivos a utilizar na execução dos tabuleiros, sendo imperativo a não utilização de cavaletes com apoio ao solo.

Uma das imposições no processo construtivo consistiu, ainda, na limitação ao mínimo dos trabalhos dentro de leito do rio (de referir que o processo construtivo a ser adoptado também influencia de forma significativa os vãos adoptados).

Após diversos estudos, tornou-se economicamente mais vantajosa a utilização do processo de construção de tabuleiros tramo a tramo sobre cimbre autoportante e autolançável, em combinação com o processo de construção de tabuleiros por avanços sucessivos em consolas simétricas.

Foi, assim, adoptada a solução de construção de uma ponte atirantada, de suspensão total, contínua nos dois viadutos de acesso em ambas as margens do rio. Esta solução conjugou os dois processos construtivos já referidos.

Foi também possível, pela solução adoptada, respeitar todos os condicionamentos de projecto, nomeadamente os de natureza portuária e os decorrentes da posterior regularização do rio e reduzir ainda os prazos de construção da obra.

Pode mesmo afirmar-se que, na definição da geometria da ponte, para além das condições de natureza estrutural e técnica, foram também tidas em atenção as considerações de ordem estética. Procurou-se, desta forma, valorizar e integrar a obra de arte na vasta zona estuarina do Arade, não ferindo a paisagem.

O aspecto estético assumiu nesta obra uma importância exacerbada pelos lençóis de água, pelas terras inundáveis com as suas salinas e os montes de vegetação, bem como pela expansão urbana e industrial que se previa à data de projecto.

Figura 3.1 – Salinas junto à ponte do Arade

Para cumprir os objectivos foi adoptado um tabuleiro muito esbelto e arqueado, suspenso de torres pouco altas, através de um sistema de tirantes brancos com ligação em sela, o qual permitiu dar um tratamento estético às linhas de ancoragem.

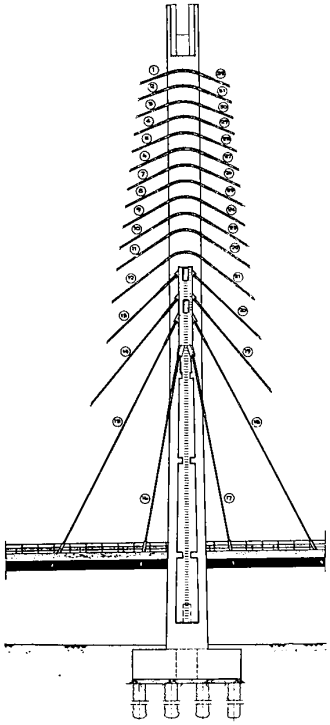

Figura 3.2 – Suspensão

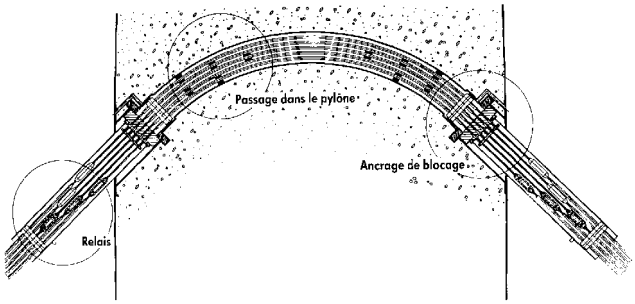

Figura 3.3 – Selas dos tirantes

A ponte tem cerca de 850 metros de extensão, sendo constituída por um tabuleiro contínuo em betão armado pré-esforçado. Uma das originalidades, na concepção estrutural, reside no facto de estes 850 metros aliarem a suspensão total à ausência de qualquer ligação rígida impeditiva de deslocamentos, em qualquer direcção horizontal. Apenas dispõe de amortecedores de oscilações. Consegue-se, desta forma, que a obra se torne praticamente isolada das acções sísmicas, funcionando como um pêndulo livre, capaz de oscilar em qualquer direcção.

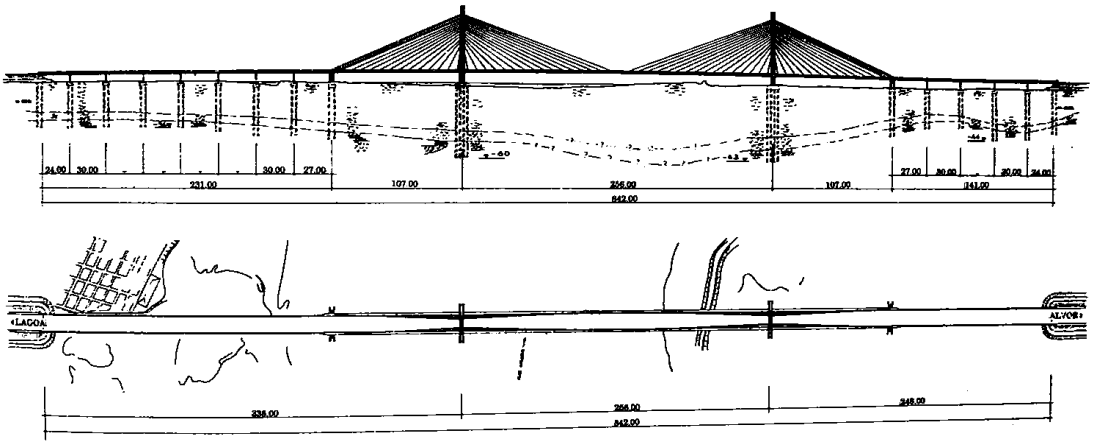

Figura 3.4 – Alçado e planta da ponte e viadutos de acesso

Figura 3.5 – Aspecto actual da obra

O tabuleiro é contínuo, em betão armado pré-esforçado. A ponte, propriamente dita, apresenta um comprimento total de 470 metros, repartidos em três tramos, sendo que os dois extremos apresentam-se com 107,00 metros de comprimento e o vão intermédio, maior, com cerca de 256,00 metros.

As torres apresentam uma configuração em Y invertido, de forma semelhante às torres encontradas na ponte internacional sobre o Guadiana (um projecto do Engenheiro Câncio Martins).

Os tirantes brancos encontram-se uniformemente repartidos com afastamentos regulares, no tabuleiro, de 8,00 metros.

A transição da ponte para os viadutos de acesso é conseguida mediante dois pilares de transição que também servem para ancorar os três tirantes de retenção.

3.2. As fundações

As fundações das torres e dos pilares possuem estacas de 1,10 metros de diâmetro, cravadas nos calcários. Nas torres, apresentam-se encimadas por maciços de encabeçamento pré-esforçados por barras e ligados por vigas transversais, também pré-esforçadas, destinadas a dar rigidez ao conjunto e a absorver as componentes horizontais das reacções dos fustes maciços.

Dada a natureza problemática do solo de fundação, as estacas atingem profundidades elevadas, em média cerca de 50 metros, atingindo um máximo de 63 metros.

Como forma de melhorar a condição das fundações, logo após a cravação e execução das estacas, procedeu-se a uma injecção com calda de cimento.

Como se sabe, certas partes das fundações e da infraestrutura encontram-se sujeitas à acção das águas do estuário, tendo sido construídas com betão da classe B30 BD2.1, fabricado com cimento de alto-forno.

Na sua execução, foi utilizado o método do tubo moldador recuperável com extracção dos terrenos, usando para tal máquinas “Benotto”.

Figura 3.6 – Execução das fundações com máquinas “Benotto”

Foram efectuados pelo LNEC ensaios de carga horizontal nas estacas das torres, nas quais foram colocados tubos de inclinómetro e células extensométricas.

Com o objectivo de garantir uma boa fundação das estacas no maciço calcário, o pé das mesmas foi injectado com calda de cimento (a uma pressão de 6,00kg/cm^2).

A fim de se dar início à execução das estacas dos encontros, foi necessário proceder-se à consolidação dos lodos, para o que foram realizados geodrenos verticais e aterros de pré-carga para acelerar a consolidação. O tempo de consolidação foi cerca de 6 meses.

Para a execução dos maciços de encabeçamento das estacas, foram utilizadas ensecadeiras de estacas-prancha metálicas, devidamente entivadas.

Figura 3.7 – Ensecadeiras utilizadas para a execução dos maciços de encabeçamento das estacas

3.3. Pilares de transição

Os pilares de transição são ocos e de betão armado, cheios de betão simples, com peso suficiente para equilibrar a parcela da reacção negativa do tabuleiro, sob acção das sobrecargas.

Também permitem, como já referido, a fixação dos tirantes de ancoragem dos topos das torres, através de dispositivos que neles ancoram o tabuleiro.

É ainda neles que se situam dispositivos de amortecimento lateral do tabuleiro para as acções sísmicas e o da margem direita aloja o dispositivo fusível para as acções horizontais longitudinais correntes.

A sua execução obedeceu aos processos construtivos correntes.

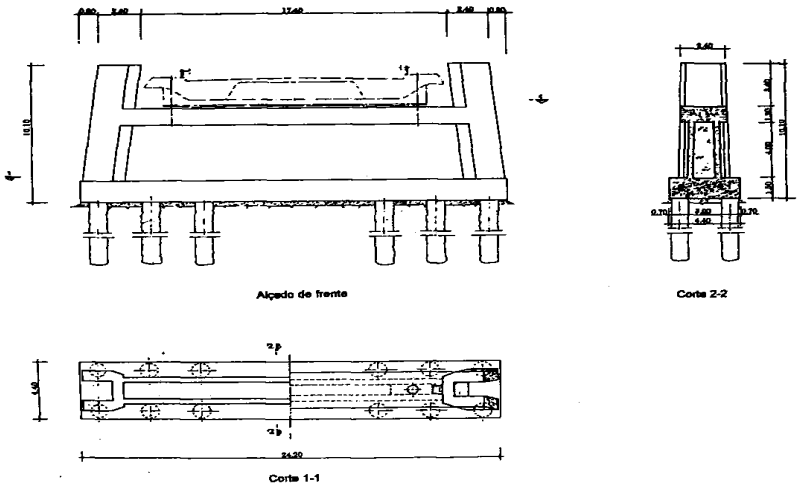

Figura 3.8 – Pilares de transição

3.4. As torres

A concepção da forma das torres, em Y invertido, resultou de considerações estruturais. Possui, igualmente, um aspecto visual bem integrado na obra conferindo, simultaneamente, grande firmeza a toda a estrutura. Foram concebidas com betão da classe B35.1.

As torres são pouco altas, com cerca de 62 metros.

A definição do traçado das linhas de ancoragem nas torres e no tabuleiro, conjugada com a cor branca dos tirantes, a geometria das torres e esbelteza da plataforma, permitiram definir superfícies com a forma de velas enfunadas que transmitem uma sensação de grande leveza.

As torres apresentam-se ocas e visitáveis em toda a sua altura. A torre da margem esquerda, situada a 70m dentro do leito do rio, necessitou de uma ilha artificial protegida com enrocamento.

Apresentam-se, seguidamente, alguns alçados e cortes transversal e longitudinal das torres.

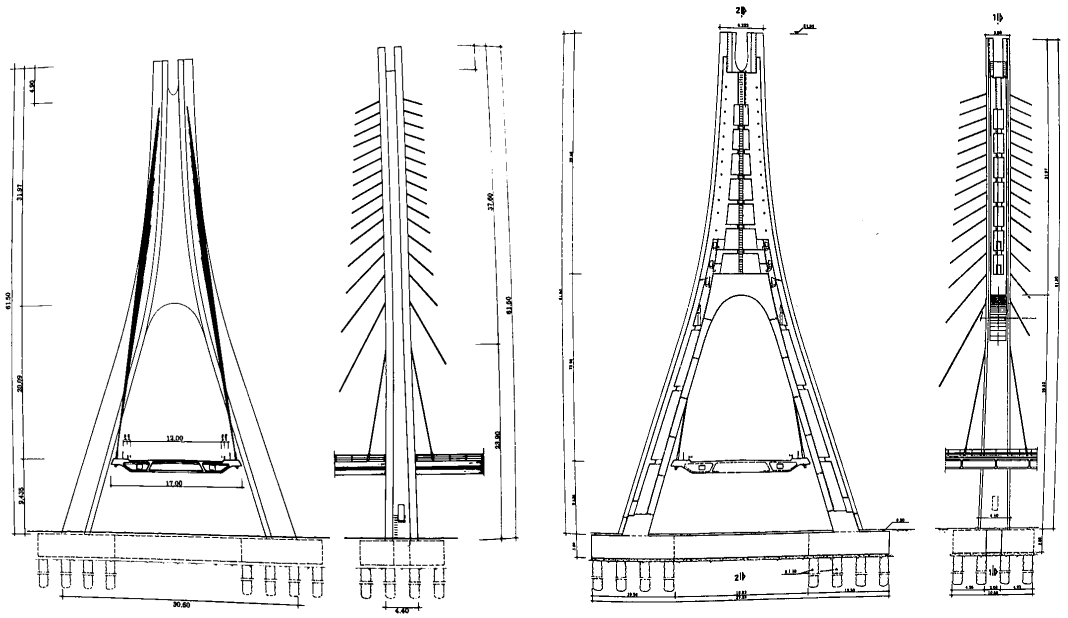

Figura 3.9 – Alçado e cortes transversal e longitudinal das torres

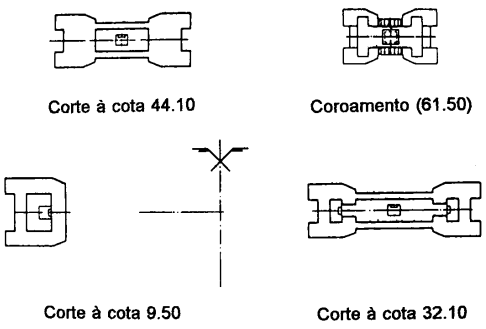

Figura 3.10 – Corte transversal das torres

Na execução das torres, foram utilizadas cofragens auto-eleváveis que serviram também de plataforma para a execução dos trabalhos de montagem de armaduras, aplicação de barras de pré-esforço junto às cabeças dos tirantes e betonagens. No que respeita às armaduras, foram aplicados acopladores na união topo a topo dos varões longitudinais.

De forma a garantir não só a sua geometria como a evitar esforços de tracção nas faces exteriores das "pernas" das torres, foi concebido um sistema de contraventamento desses elementos estruturais com elementos metálicos standardizados.

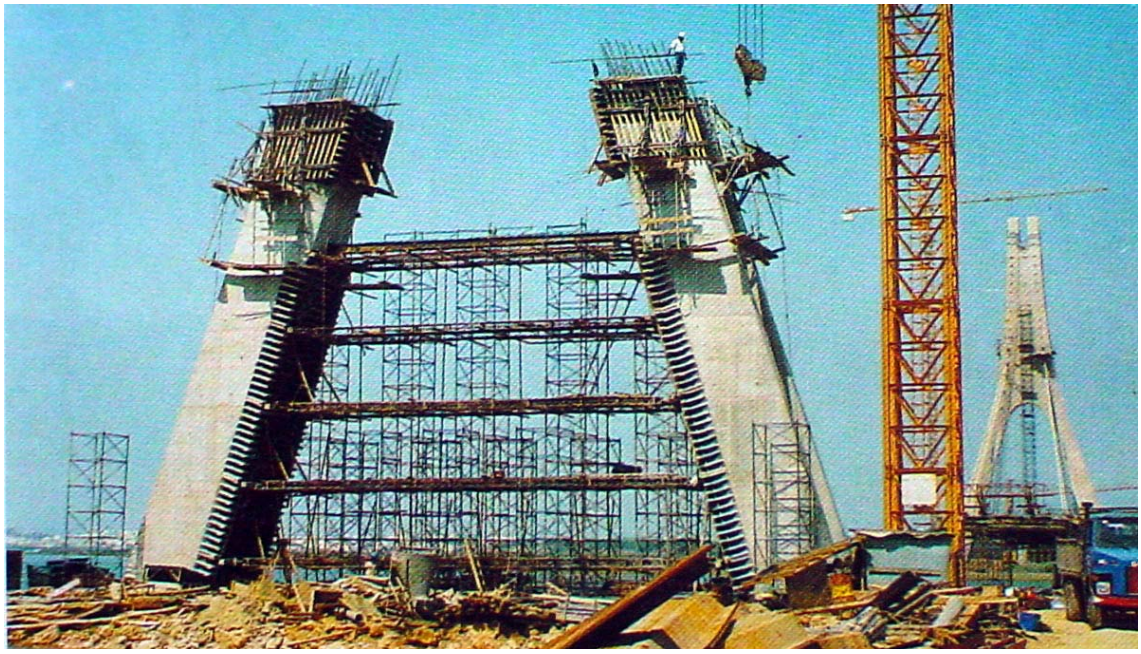

Figura 3.11 – Contraventamento de uma das torres em fase de construção

Na torre da margem esquerda, foi concebido um sistema de contraventamento que permitiu dar início à construção do tabuleiro bastante mais cedo. Este consistiu na utilização de escoras de travamento das “pernas” da torre que suportaram também o contraventamento da parte restante das ditas “pernas” e do arco.

Após a montagem das escoras, foi possível dar início aos trabalhos de execução do tabuleiro. De referir, ainda, que as escoras foram colocadas em carga através de macacos hidráulicos.

Figura 3.12 – Escoras de travamento das “pernas” da torre da margem esquerda

Foi necessário um controle rigoroso da verticalidade e da geometria das torres, durante a sua construção. Este foi efectuado por métodos topográficos.

As selas foram pré-montadas em estaleiro, tendo sido facilitada a sua colocação.

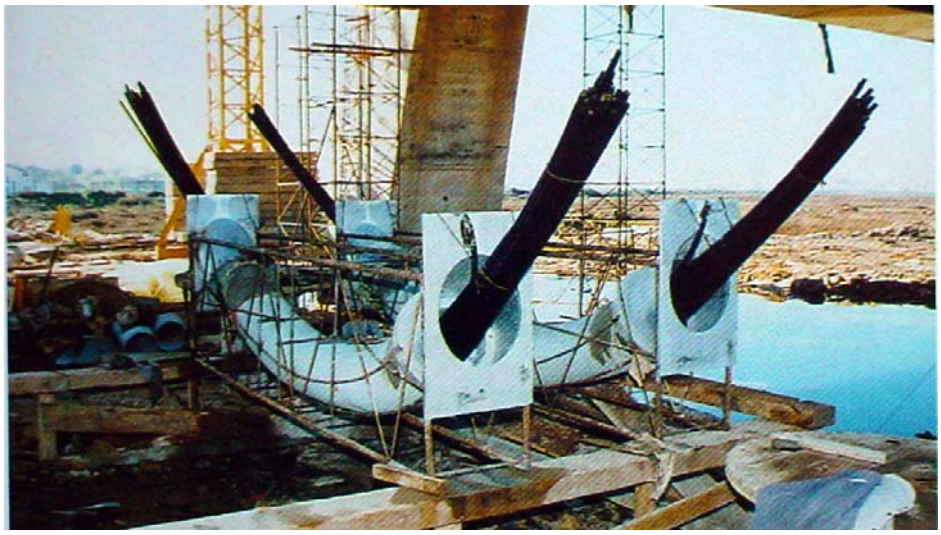

Figura 3.13 – Selas pré-montadas

3.5. O tabuleiro da ponte

O tabuleiro da ponte é constituído por uma plataforma de betão armado pré-esforçado, dotada de duas nervuras longitudinais tubulares que conferem secção e rigidez necessárias para resistir aos esforços de flexão e compressão a que está sujeito.

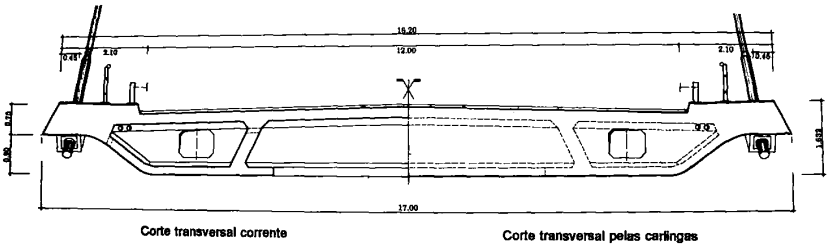

Figura 3.14 – Corte transversal do tabuleiro da ponte

Possui carlingas pré-esforçadas espaçadas de 4,00 metros, encontrando-se os tirantes ancorados em faixas maciças, contínuas longitudinalmente, dimensionadas para dissiparem grandes forças concentradas nas ancoragens.

O pré-esforço longitudinal é diminuto, pois o tabuleiro já se encontra pré-esforçado na sua extensão pela componente horizontal das forças de tracção nos tirantes sendo, inclusivamente, na maior parte dos casos, centrado exceptuando nas

zonas onde se estabelece a continuidade com os viadutos e no meio vão central. Nestas zonas, é reforçado por cabos.

O tabuleiro apresenta uma configuração em cunha nos bordos e colocaram-se as faces das nervuras laterais arredondadas, de forma a evitar ou minimizar a formação de turbilhões e o aparecimento de grandes forças de sustentação e de torção.

A construção do tabuleiro da ponte foi efectuada pelo recurso ao método de avanços sucessivos em consola utilizando, para tal, carrinhos de avanço “travellers”.

Deu-se início à execução do tabuleiro com a construção dos primeiros 9,5 metros, os quais foram betonados com cimbre apoiado no maciço de encabeçamento das estacas das torres. De seguida, suspendeu-se o tabuleiro no primeiro conjunto de tirantes, após o que se procedeu à montagem dos “travellers”. Concluídas estas operações, deu-se início ao ciclo de betonagens.

Figura 3.15 – Construção do tabuleiro

Ao nível do tabuleiro, as cabeças dos tirantes distam 8,00 metros entre si, isto é, duas aduelas de 4 metros cada, pelo que o ciclo era constituído pela betonagem de

dois pares de aduelas e a colocação com a sequência que será, seguidamente, descrita:

1 – betonagem de uma aduela sem tirante;
2 – aplicação de pré-esforço nas barras longitudinais do tabuleiro;
3 – avanço dos carrinhos;
4 – montagem de armaduras e ajuste de cofragens;
5 – betonagem da aduela seguinte;
6 – aplicação de pré-esforço nas barras longitudinais do tabuleiro;
7 – avanço dos carrinhos;
8 – betonagem de carlinga à frente da aduela anterior e respectivo pré--esforço;
9 – aplicação de tirantes;
10 – inicia-se novo ciclo com a betonagem da aduela seguinte que não é atirantada.

O tempo de realização deste ciclo foi de duas semanas.

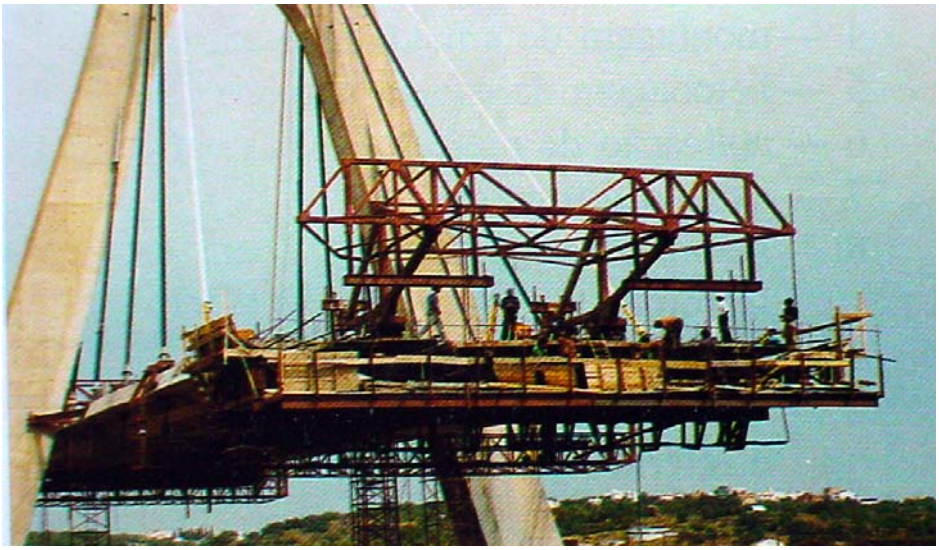

Figura 3.16 – Um dos carrinhos de avanços utilizados na betonagem do tabuleiro

Figura 3.17 – Construção do tabuleiro em fase mais adiantada

Procedeu-se a controlos topográficos de nivelamento antes e depois de cada uma das fases atrás descritas, sempre imediatamente antes do nascer do sol.

Para a aplicação de tirantes foi utilizada a técnica inovadora de isotensão entre os "strands" de um mesmo tirante, técnica que se revelou eficaz.

Figura 3.18 – Técnica de isotensão entre os "strands" de um mesmo tirante

Visto tratar-se de um tabuleiro de suspensão total, tornou-se necessário proceder-se à concepção e montagem, na fase construtiva, de um dispositivo de amarração do

tabuleiro às torres. Este dispositivo tinha por objectivo impedir os movimentos horizontais, permitindo, no entanto, os movimentos verticais do tabuleiro.

Figura 3.19 – Dispositivo provisório de amarração do tabuleiro às torres

Os fechos, tanto os laterais como o central, foram executados com a plataforma inferior dos “travellers” e com perfis metálicos ancorados à parte superior do tabuleiro, de modo a evitar deslocamentos diferenciais.

Houve ainda necessidade de estudar um betão com características especiais para a zona dos fechos, dado que se pretendia aplicar, nessa zona, o pré-esforço necessário ao cabo de 12 horas.

3.6. Suspensão

A suspensão, como já se indicou, é feita pelo recurso a múltiplos cabos repartidos, sendo triangulada e total.

Com este tipo de suspensão, conseguem-se atingir numerosas vantagens, tais como o facto de a suspensão lateral triangulada permitir aligeirar os tabuleiros e, simultaneamente, uma economia considerável na simplificação dos detalhes estruturais.

A altura do tabuleiro (transversal) deixa, praticamente, de ser dependente do vão, podendo utilizar-se alturas úteis reduzidas.

Por outro lado, a suspensão por cabos múltiplos repartidos confere uma maior segurança e ainda maior facilidade na substituição dos cabos, sem interrupção da circulação do trânsito.

Por fim, a suspensão total evita momentos negativos nos apoios do tabuleiro na zona das torres e permite deslocamentos verticais e horizontais significativos nas torres e suas fundações sob acção dos sismos (sem introdução de esforços significativos). De salientar que para um peso total de cerca de 300.000 kN apenas se geram reacções máximas horizontais, pela acção do sismo, de 6.760 kN e 13.880 kN longitudinalmente e transversalmente, respectivamente.

Aliás, como já referido, na margem direita existe um encontro fusível, instalado num dos pilares de transição, o qual amarra a estrutura para acções horizontais até certo grau de intensidade, findo o qual liberta a estrutura, passando esta a funcionar como um pêndulo praticamente desligado das acções sísmicas.

Os tirantes são constituídos por cordões de aço de 15,2 mm de diâmetro, autoprotegidos, com tripla protecção e de cor branca. Este revestimento foi desenvolvido especialmente para esta obra.

As ancoragens no tabuleiro são reguláveis e as torres possuem selas para passagem dos cabos. Também estas foram especialmente desenvolvidas para esta obra e para este sistema de atirantamento.

3.7. Viadutos de acesso

Para acesso à ponte foram construídos dois viadutos, um com 231,00 metros, na margem esquerda e outro com 141,00 metros, na margem direita.

Os viadutos têm tabuleiros contínuos, com vãos correntes de 30,00 metros e vãos extremos de 24,00 e 27,00 metros, respectivamente do lado dos encontros e do lado da ponte. Têm, para além disso, continuidade estrutural com o tabuleiro da ponte, pelo que a obra dispõe apenas de duas juntas nas suas extremidades sobre os encontros.

O tabuleiro é constituído por duas vigas largas longitudinais, aligeiradas por intermédio de moldes cilíndricos perdidos, estanques, ligadas entre si na face superior por uma laje, o que permitiu executar o tabuleiro com um cimbre autoportante e autolancável inferior, de concepção muito simples. É em betão armado pré-esforçado na direcção longitudinal e armado na direcção transversal, de geometria semelhante à do tabuleiro da ponte.

Foi utilizado betão da classe B35.1.

Os pilares são elípticos e assentam nos maciços de betão armado. Assentam num maciço de três estacas de 1,00m de diâmetro por pilar. As estacas atingem uma profundidade média de 40m.

Nas fundações e partes da estrutura sujeitas à acção da água, foi utilizado betão da classe B30 BD2.1, fabricado com cimento de alto-forno.

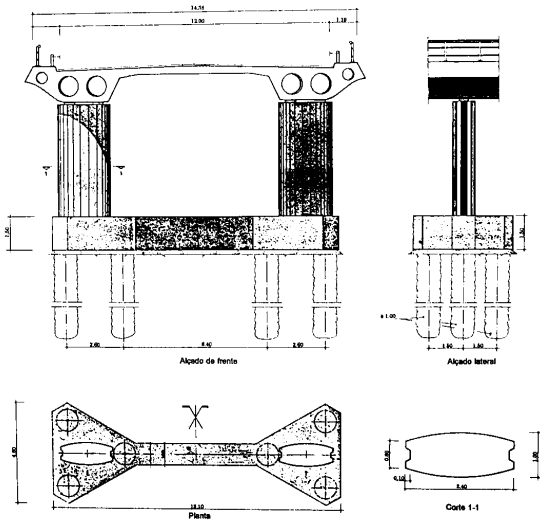

Figura 3.20 – Pilares dos viadutos de acesso

3.8. Os encontros

Os encontros são peças simples, em betão armado, fundadas também em estacas de 1,00 metros de diâmetro.

Devido à concepção já descrita, apenas têm de resistir a esforços verticais e, na ocorrência de um sismo, a esforços transversais de muito baixo valor que serão transmitidos aos amortecedores existentes.

Os estribos são visitáveis para trabalhos de manutenção e reparação dos aparelhos de apoio, de amortecimento e das juntas.

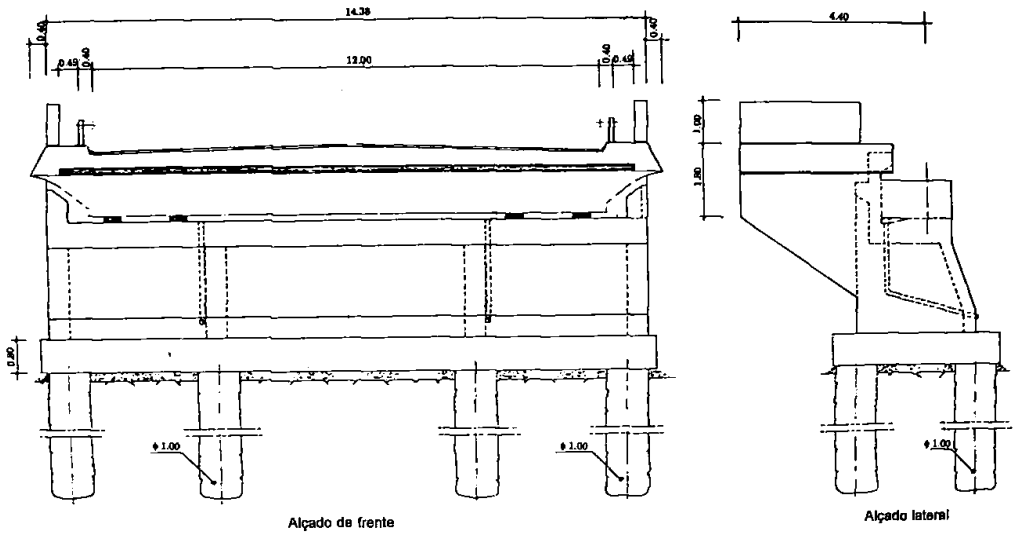

Figura 3.21 – Encontros

4. Construção

A construção da ponte decorreu sem incidentes ou alterações significativos, tendo os fechos sido realizados no dia e hora previstos.

A obra foi concluída seis meses antes do prazo contratual, embora com reforço das equipas e equipamentos e por meio da utilização de um segundo jogo de cimbres.

Toda a estrutura foi betonada “in situ” e os viadutos construídos tramo a tramo, com um cimbre de corrediça inferior, autoportante e autolançável, que apoiava apenas nos pilares. As torres foram construídas com cofragens trepantes em contraplacado por troços de 3m e para uma delas foi necessário construir uma ilha artificial, no leito principal do Arade.

O tabuleiro foi construído por aduelas de 4m de comprimento, betonadas “in situ” pelo processo dos avanços sucessivos em consola.

Devido à esbelteza do tabuleiro, a definição das cotas de betonagem das aduelas foi muito delicada e objecto de permanente afinação. De facto, na altura da betonagem da aduela de fecho do vão central, com 2m de extensão, e antes da instalação do último par de tirantes de um dos meios tabuleiros, o desnível entre os dois lados era de 90cm.

Figura 4.1 – Desnível entre os dois lados antes da betonagem da aduela de fecho do vão central

5. Observação

A ponte foi sujeita a um cuidadoso plano de instrumentação, tendo-se mantido em permanente observação durante a sua construção. Essa observação foi planeada para ser mantida durante, pelo menos, 10 anos com o fito de se aperfeiçoar técnicas e testar teorias de comportamento.

Foi também sujeita a um extenso programa de ensaios estáticos e dinâmicas ao longo de três dias, nos quais se verificou elevada concordância entre os resultados medidos e os previstos pelos modelos de cálculo.

6. Duração dos trabalhos e entrada em serviço

A Variante de Portimão foi consignada em Novembro de 1987, tendo-se iniciado os trabalhos de construção da ponte no ano seguinte, em Abril de 1988, e betonado o fecho central na noite de 31 de Julho de 1991. Os ensaios de recepção realizaram-se em Agosto e a obra foi inaugurada em 13 de Setembro de 1991.

7. Quantidades de materiais consumidos na obra

Betão:

Fundações	8000 m^3
Torres e pilares	2800 m^3
Tabuleiro	8800 m^3

Aço de pré-esforço:

Em barras	125 ton
Em cordão (tabuleiro)	190 ton
Em cordão (tirantes)	290 ton

Aço passivo:

Fundações	300 ton
Tabuleiro, torre e pilares	1400 ton

8. Ensaios dinâmicos

Em Agosto de 1991, o LNEC procedeu a uma série de ensaios dinâmicos da ponte sobre o rio Arade integrados nos ensaios de carga da mesma.

O projectista contou com a ajuda do LNEC na elaboração de estudos sísmicos, sendo uma das componentes desse estudo a análise modal, onde eram determinadas as configurações e as frequências dos principais modos de vibração.

O objectivo principal destes ensaios dinâmicos consistiu na obtenção experimental dessas configurações e frequências, e na sua confrontação com os valores numéricos do estudo sísmico, de forma a validar o modelo numérico utilizado.

O modelo numérico elaborado pelo LNEC em 1980 consistiu num modelo global da estrutura, com a ajuda do método dos elementos finitos tridimensionais de uma das torres e de um troço do tabuleiro com 24m de extensão e ainda com a ajuda de um modelo físico simplificado das torres.

Na modelação da acção sísmica, foi tida em conta a influência dos terrenos.

Por fim, foi obtida a resposta dinâmica da ponte por análise modal estocástica para a qual foram utilizados 80 modos de vibração, base deformável e os espectros obtidos na análise dinâmica dos terrenos.

A campanha de ensaios decorreu em Agosto de 1991. A metodologia consistiu na utilização da excitação ambiente.

Não se julga fundamental mais pormenorização dos procedimentos experimentais e numéricos, pelo que se apresentam a comparação dos resultados obtidos.

	Modos Analíticos		*Modos Experimentais*	
Ordem	*Frequência*	*Configuração*	*Frequência*	*Amortecimento*
1	0.277	1.º Transversal	0.249	2.44%
2	0.372	1.º Vertical	0.360	1.35%
3	0.505	2.º Vertical + 1.º Long.	0.502	1.03%
4	0.754	3.º Vertical	0.751	0.73%
5	0.755	2.º Transversal	—	—
6	0.878	4.º Vertical + 2.º Long	0.868	0.61%
7	0.956	5.º Vertical	0.944	0.56%
8	0.956	1.º Torção	1.034	0.49%
9	1.118	6.º Vertical	—	—
10	1.376	7.º Vertical	1.401	0.35%
11	1.422	3.º Transversal	—	—
12	1.450	2.º Torção	1.56 a 1.60	—
13	1.492	Vertical – tramo lateral	1.517	0.67%
14	1.582	Vertical – tramo lateral	1.529	0.79%

Quadro 8.1 – Comparação entre os modos determinados analiticamente e os observados experimentalmente (ensaios ambientes)

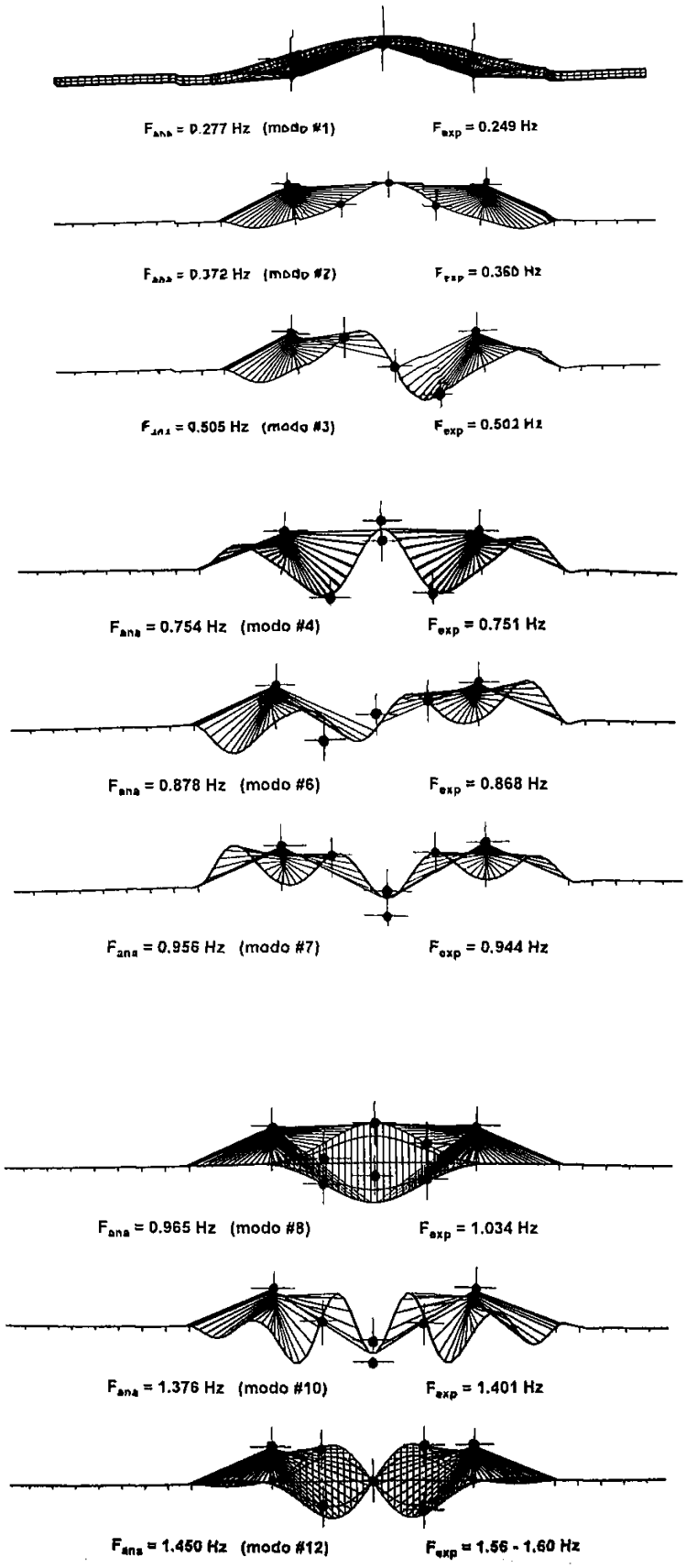

Figura 8.1 – Frequências e configurações dos modos de vibração analíticos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 12 e respectivas estimativas experimentais

Após a realização dos ensaios dinâmicos da ponte sobre o rio Arade e a subsequente análise dos resultados identificaram-se nove configurações modais, respectivas frequências e respectivos amortecimentos.

Face ao muito bom ajustamento entre os modelos analíticos e os resultados experimentais dos ensaios dinâmicos, pode concluir-se que o modelo analítico representa fidedignamente a realidade. Além disso, a boa correlação entre as frequências previstas para os tirantes e as observadas durante o ensaio indica que os valores dos esforços axiais destes tirantes estão de acordo com os previstos pelo projecto.

9. Bibliografia consultada

- João Almeida, Luís Oliveira Santos - “Pontes atirantadas do Guadiana e do Arade” – LNEC

- http://atelier.hannover2000.mct.pt/~pr387/index.html

- http://www.geocities.com/baetaoliveira/hist.html

- http://www.freyssinet.pt/

- http://www.cm-portimao.pt

- http://www.clcc.pt/historia.htm

- http://snirh.inag.pt/