

Concepção, Projecto e Construção da Ponte Internacional de Quintanilha



José J. O. Pedro¹



António Reis²



Pedro Reis³

RESUMO

A Ponte Internacional de Quintanilha, no final do troço do IP4 entre Bragança e a fronteira, é uma obra promovida pela Estradas de Portugal, EPE, no âmbito de um convénio com as autoridades rodoviárias espanholas. Localiza-se próximo da povoação de Quintanilha, sobre o Rio Maços que delimita a fronteira entre os dois países. O atravessamento do vale e do rio à cota pretendida e o perfil rodoviário do IP4, com duas faixas de rodagem com duas vias em cada sentido, conduz a um tabuleiro com cerca de 600 m de comprimento total e 18.5 m de largura, e pilares de 45 m de altura máxima.

Neste artigo são caracterizados os condicionamentos e as opções de projecto associadas às soluções propostas na fase de Estudo Prévio, e apresentados os principais aspectos da solução projectada na fase de Projecto de Execução, referindo-se nomeadamente: 1) a opção por uma modelação estrutural com cinco vãos principais de 80 m, executados por avanços sucessivos com betonagem e pré-esforço “in-situ”; 2) o funcionamento estrutural e a opção de ligação dos pilares ao tabuleiro; 3) o dimensionamento do tabuleiro, dos pilares, dos encontros e das fundações; e 4) o faseamento construtivo.

São também apresentados os principais aspectos da construção que decorreu nos anos de 2006 e 2007, referindo-se nomeadamente: 1) à construção das fundações directas junto das margens do rio com recurso a contenções metálicas circulares; 2) à construção do tabuleiro e as soluções de travamento provisório do tabuleiro em consola aos pilares; 3) ao estudo e controlo geométrico do tabuleiro na fase construtiva; e 4) à operação de fecho central com imposição de um deslocamento longitudinal.

PALAVRAS-CHAVE

Ponte, tabuleiro em caixão, construção por avanços sucessivos.

¹ Eng. Civil, GRID, SA. Professor Auxiliar do DEC, Instituto Superior Técnico, Lisboa. jose.pedro@grid.pt

² Director Técnico, GRID, SA. Professor Catedrático do DEC, Instituto Superior Técnico, Lisboa. antonio.reis@grid.pt

³ Eng. Civil, Construtora do Tâmega. pedro_reis@ctamega.pt

1. INTRODUÇÃO

A Ponte Internacional de Quintanilha é uma obra construída em 2006 e 2007 no final do IP4, sobre o Rio Maças que faz fronteira com Espanha, próximo da povoação de Quintanilha. O atravessamento do vale e do rio é feito a cerca de 50 m de altura, com um tabuleiro de 595 m de comprimento e 18.5 m de largura.

2. CONDICIONAMENTO E CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

2.1 A topografia do local

A ponte internacional de Quintanilha sobre o rio Maças situa-se no concelho de Bragança a cerca de 1 km da povoação da Quintanilha. Trata-se de uma região com morfologia relativamente acidentada, recortada por diversas linhas de água afluentes do rio Maças. O local de atravessamento do vale é relativamente plano na sua zona central e possui vertentes rochosas bastante inclinadas, em espacial do lado português (Fig. 1).

2.2 O traçado rodoviário

A obra de arte especial insere-se numa directriz constituída inicialmente por um troço recto, seguida por uma curva circular com 700 m de raio e 751.296 m de desenvolvimento. Na transição destes troços existe uma clotoíde com parâmetro $A = 235$ e 78.9 m de desenvolvimento. O perfil longitudinal sobre a obra de arte é um trainel com 3% de inclinação e 794 m de desenvolvimento.

O perfil transversal é constituído por duas faixas de rodagem de 8.0 m, que incluem duas vias de 3.5 m e uma berma lateral de 0.5 m, um separador central de 1.0 m e dois passeios laterais de 0.75 m de largura útil, o que conduz a uma largura total de tabuleiro de 18.5 m.

2.3 As condições de fundação

O reconhecimento geológico de superfície e a prospecção com sondagens à rotação, ensaios “*in situ*” e ensaios de laboratório, permitiu a caracterização das condições geológico-geotécnicas ocorrentes, na zona de implantação da obra de arte.

No vale ocorrem à superfície depósitos de cobertura silto-argilosos que resultaram da alteração superficial do maciço rochoso xisto-grauváquico que se encontra subjacente. No leito menor do rio Maças encontram-se aluviões constituídos por calhaus rolados e seixos de natureza quartzítica.



Figura 1. Vista geral do vale e da encosta do lado português, com a povoação de Quintanilha ao fundo



Figura 2. Vista geral do vale de Espanha para Portugal e do Rio Maças na zona de atravessamento

O complexo rochoso xisto-grauváquico aflora em ambas as vertentes do vale do rio Maças, sendo constituído essencialmente por xistos argilosos e xistos grafitosos com algumas intercalações de grauvaques e filamentos de quartzo. Assim, as fundações dos pilares e encontros são directas no substrato xisto-grauváquico, com profundidades entre 4 e os 8 m.

2.4 O enquadramento paisagístico e a inserção na envolvente

A obra de arte localiza-se numa zona típica de paisagem transmontana, de indiscutível beleza natural. A altura que se encontra o tabuleiro e a dimensão global da obra conduz a que tenha grande impacto na paisagem envolvente. O estudo do enquadramento paisagístico para quem vê a obra de longe e a inserção na envolvente próxima são determinantes. A obra não deve “fechar” o vale com múltiplos pilares, sendo a transparência da mesoestrutura determinante na integração paisagística da solução. Por outro lado, a proximidade com um parque existente na margem do rio determina que a localização dos pilares seja criteriosamente estudada para melhor se inserir nesta envolvente (Fig. 2).

2.5 Concepção estrutural

Os condicionamentos identificados suportaram o desenvolvimento no Estudo Prévio de duas soluções estruturais para uma obra com cerca de 600 m de comprimento e 50 m de altura em relação ao leito menor do rio Maças. Adoptou-se por uma modelação com vãos tipo de 80 m de forma a evitar um número excessivo de pilares por razões estruturais, construtivas, económicas, estéticas e ambientais.

Tendo em conta a grandeza dos vãos, as soluções em viga contínua ou em pórtico, de betão armado pré-esforçado ou em estrutura mista aço-betão, afiguravam-se as mais indicadas. Embora as soluções de betão sejam mais tradicionais, poderia existir uma vantagem económica associada à uma solução mista, para vãos até 80 m, dada a rapidez e facilidade de execução desta solução, em especial no caso da montagem da estrutura metálica do tabuleiro ser feita por lançamento incremental. Foram, deste modo, apresentadas as seguintes duas soluções no Estudo Prévio (Fig. 3) [1]:

- Solução A: com um tabuleiro de betão armado pré-esforçado em caixão monocelular, com uma repartição de vãos: $60 + 80 + 80 + 80 + 80 + 80 + 60 + 45 + 30 = 595$ m, executado por avanços sucessivos.
- Solução B: com um tabuleiro misto constituído por duas vigas treliçadas de altura variável, sobre as quais se apoia uma laje de betão armado com a mesma repartição de vãos e executado por lançamento incremental da estrutura metálica seguida de betonagem in-situ da laje, em troços de com uma estrutura de suporte da cofragem apoiado nas vigas metálicas.

A Comissão de Apreciação do EP escolheu a Solução A para desenvolver na fase de Projecto de Execução.

3. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

3.1 Modelação e funcionamento estrutural

A modelação estrutural desenvolvida no Projecto de Execução foi a da Solução A do Estudo Prévio, constituída por um tabuleiro com 5 vãos interiores de 80 m apoiado em seis pilares do fundo do vale, aproximadamente da mesma altura. Na encosta Este o tabuleiro reduz progressivamente os vãos para 60, 45 e 30 m, apoiando-se nos pilares P7 e P8 (Figura 3) [2]

A estrutura é porticada de betão armado pré-esforçado, formada pelo tabuleiro e os quatro pilares centrais, que contribuem para a absorção das forças sísmicas longitudinais. Os pilares P1 e P6, têm aparelhos de apoio móveis unidireccionais, assim como os dois pilares P7 e P8 e dois encontros. Deste modo, todos os pilares e encontros funcionam para absorção de reacções verticais e horizontais transversais sob as acções sísmicas transversais e do vento.

Esta concepção permite reduzir a rigidez geral da estrutura na direcção longitudinal, o que conduz a forças e momentos sísmicos menores ao nível das infra-estruturas, tendo em conta a redução da frequência própria de vibração longitudinal da superestrutura. Para reduzir eventuais danos em pilares sob as acções de sismos de grande intensidade colocaram-se quatro aparelhos de amortecimento sísmico na ligação do tabuleiro aos encontros, que limitam os deslocamentos longitudinais e consequentemente os esforços introduzidos no fuste dos pilares.

3.2 Tabuleiro

As características gerais do tabuleiro de betão armado pré-esforçado, longitudinal e transversalmente, são as seguintes (Fig. 4) [2]:

- secções transversais em caixão monocelular de altura variável entre 4.7 m sobre os pilares P1 a P6 e 2.6 m no meio dos vãos, e nos tramos betonados com cimbra ao solo;
- almas de inclinação constante e de espessura variável entre 0.55 m e 0.40 m, e banzo inferior

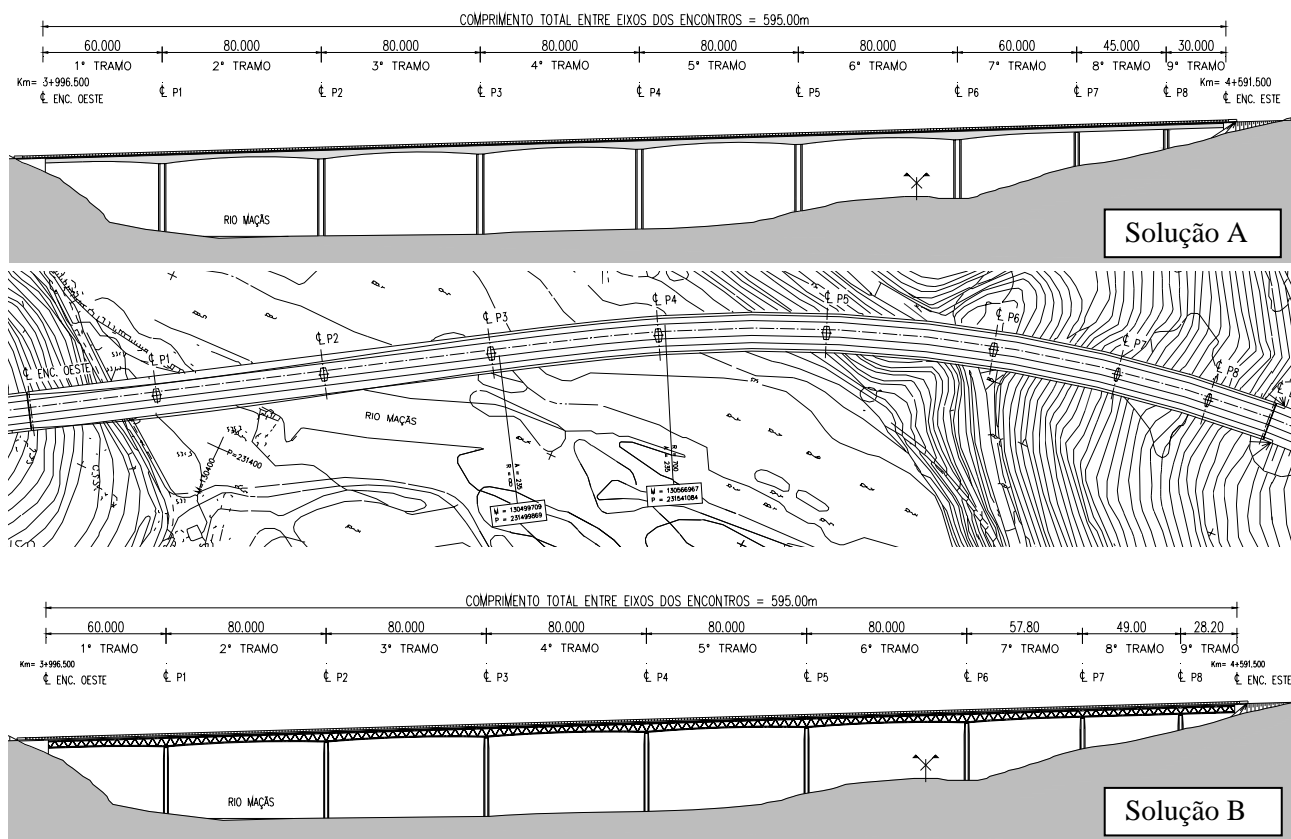


Figura 3. Alçado e planta das soluções apresentadas na fase de Estudo Prévio

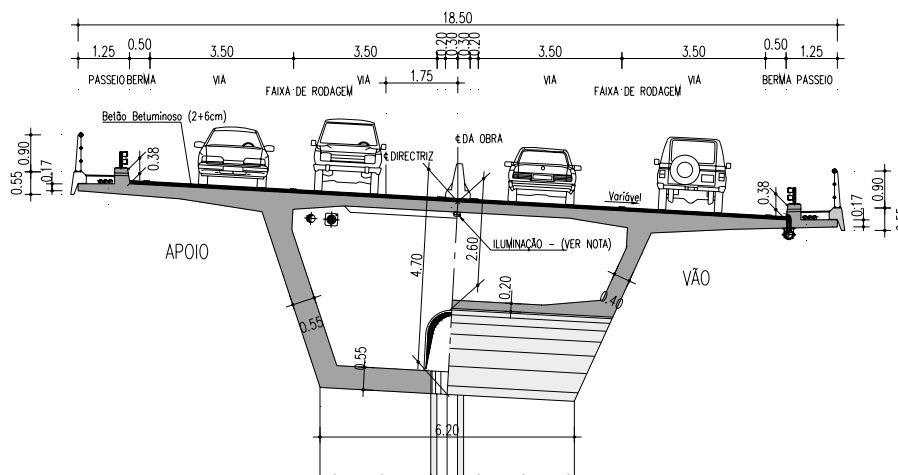


Figura 4. Secção transversal tipo do tabuleiro

também com espessura variável de 0,55 m sobre os pilares P1 a P6, reduzindo-se até 0,20 m de espessura no meio dos vãos;

- laje superior do tabuleiro constituída por consolas de 4,5 m com 0,5 m de espessura no arranque e 0,17 m de espessura na extremidade; e banzo superior entre almas com espessura variável de 0,4 m na ligação às almas até 0,25 m no meio da laje;
- largura do banzo inferior variável entre 6,2 m no arranque das consolas e 7,9 m no meio dos vãos; esquadro na ligação das almas ao banzo inferior com 1,7 m de comprimento;
- diafragmas compostos por duas paredes de 0,7 m de espessura no prolongamento das paredes laterais dos pilares P2 a P5, com uma abertura inferior para circulação interior e superior para passagem de serviços;
- diafragma único de 1,4 m de espessura sobre pilares com aparelhos de apoio, também com uma abertura inferior para circulação interior, e superior para passagem de serviços;
- carlingas de 0,7 m de espessura nas extremidades do tabuleiro para apoio nos encontros.

A modelação das aduelas dos tramos executados por avanços sucessivos consistiu em:

- aduela de arranque com 7,5 m;
- 1 aduela de 4,75 m para cada lado do pilar;
- 6 aduelas de 5,0 m para cada lado do pilar;
- aduelas de fecho com 3,0 m.

O pré-esforço longitudinal de consola é constituído por 4 cabos por cada aduela (2 por alma), com potência média útil a longo prazo não inferior a 2900 e 1850 kN/cabo, e potência útil sobre a secção do pilar de 3200 e 2050 kN/cabo, durante a construção.

Os cabos de pré-esforço longitudinal de continuidade dos tramos tipo de 80 m são constituídos por 6 cabos por alma com potência útil final não inferior a 2900 kN e 6 cabos no banzo inferior com potência útil final não inferior a 1000 kN. Além destes cabos de continuidade existem selas de desvio e ancoragens que permitem a instalação de cabos exteriores adicionais, em caso de necessidade de reforço da estrutura ou substituição de algum dos cabos aderentes.

3.3 Pilares e encontros

Os pilares P1 a P6 são tubulares de geometria simples para facilitar a execução. Possuem secção transversal constante, definindo uma envolvente com 3,7 m na direcção longitudinal e 6,2 m na direcção transversal, de forma a terem a rigidez e resistência necessária na fase construtiva de avanços sucessivos e, em serviço, no caso de uma ocorrência sísmica. Os pilares P7 e P8 são igualmente

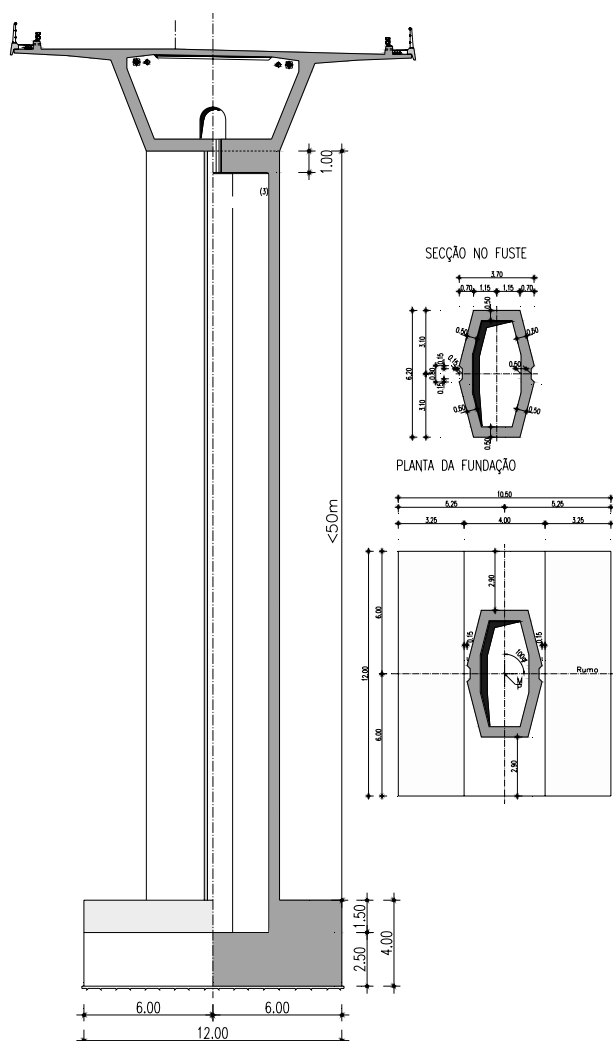


Figura 5. Pilares P2 a P5

tubulares, com a mesma forma exterior que os pilares principais, mas com 2.7 m de largura, o que permite a utilização de parte dos moldes dos pilares mais altos (Fig. 5).

As paredes dos pilares têm paredes com espessura constante de 0.5 m. Todos os pilares possuem uma zona maciça no topo de 1.0 m ou 2.0 m, consoante se trate de pilares monolíticos ou com aparelhos de apoio, para degradação das cargas transmitidas pelo tabuleiro. As fundações dos pilares são directas, com sapatas isoladas de $12 \times 10.5 \text{ m}^2$ (P1 a P6) ou $8.5 \times 5.5 \text{ m}^2$ (P7 e P8).

O encontro do lado Oeste é aparente, com cerca de 10 m de altura e dois muros de avenida, para conter as saias de aterro da plataforma rodoviária. O encontro do lado Este é perdido, com cerca de 8 m de altura e duas palas laterais para conter as saias de aterro. Ambos os encontros são constituídos por 5 gigantes de 0.40 m de espessura e largura constante. A largura da viga de estribo é condicionada pela dimensão dos amortecedores sísmicos, que ligam a carlinga de extremidade e o espelho. O espelho anterior é reforçado pelos gigantes para resistir às forças horizontais transmitidas pelos amortecedores. As fundações dos encontros e muros de ala são directas com sapatas em degraus, com 19.1 m de largura.

4. CONSTRUÇÃO

4.1 Fundações e elevação de pilares e encontros

encontros

Nas fundações directas dos pilares e encontros utilizou-se o processo construtivo constituído pelas seguintes fases: 1) Escavação até à cota de fundação; 2) Colocação do betão de limpeza e das armaduras, e 3) Betonagem das fundação, por patamares.

Na execução dos pilares mais próximos do leito do rio foi necessário utilizar uma cortina metálica exterior para efectuar a escavação até à cota de fundação. Foi utilizada uma cofragem metálica cilíndrica constituída por módulos, o que permitiu a escavação com meios mecânicos pesados do interior da sapata, em condições de perfeita segurança, e simultaneamente resolver as dificuldades associadas à cravação das tradicionais estacas pranchas num terreno rochoso (Fig. 6).

Os fustes dos pilares foram executados com dois conjuntos de cofragem metálica trepante, reutilizados em todos os pilares, com betonagens de troços com 4.5 m. Os encontros foram executados por processos tradicionais utilizando moldes com painéis metálicos.

4.2 Tabuleiro



Figura 6. Execução da escavação do pilar P1 com contenção metálica provisória e sapata do pilar P5 com ancoragens para cabos de estabilidade longitudinal e transversal da fase construtiva

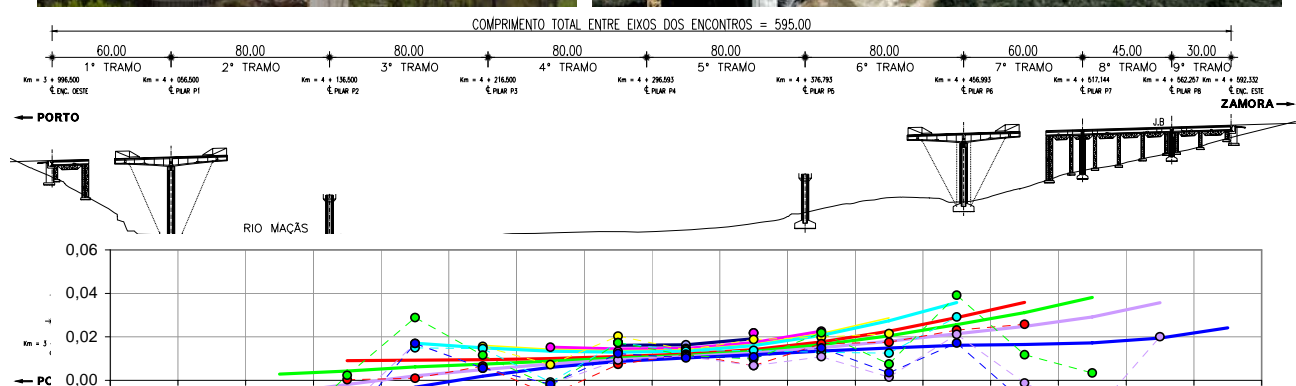
As cotas do tabuleiro em relação ao solo e a dimensão dos vãos conduziram à escolha, na fase de projecto, do processo construtivo do tabuleiro por avanços sucessivos, com betonagem “*in-situ*” de aduelas com comprimento máximo de 5 m. A betonagem das “aduelas de arranque” com 7.5 m foi feita com um cimbre próprio fixado ao topo dos pilares.

Para garantir o prazo de construção definido pelo Dono de Obra (de Março de 2006 e Setembro de 2007), foram utilizados dois pares de cimbres móveis para executar aduelas de 5 m de comprimento com peso até 2000 kN. O ciclo normal de construção de um par de aduelas foi executado numa semana. A construção do tabuleiro avançou assim de ambos os encontros. Foram executados quase em simultâneo as consolas do tabuleiro sobre os pilares P1 e P6, P2 e P5, e P3 e P4. O fecho do tabuleiro foi realizado entre o pilar P3 e P4 (Fig. 8 e 10).

No início do tramo 1 e nos tramos 8 e 9, a betonagem foi realizada utilizando um cavalete ao solo, constituído por estruturas tridimensionais metálicas, com planos de contraventamento longitudinais, transversais e em planta (Fig. 7).

Os fechos entre consolas com 3 m comprimento de foram executados com um dos cimbres móveis. Antes do fecho central foi montada uma estrutura metálica e aplicado um deslocamento relativo de 2 cm entre extremidades do tabuleiro, para compensar parte dos efeitos diferidos após o fecho do tabuleiro (Fig. 10). Previamente a esta operação foram libertadas as fixações provisórias do tabuleiro aos encontros, utilizadas para que a retracção e fluência do tabuleiro durante a construção tivesse um efeito contrário ao que se verifica após a sua conclusão.

Durante a construção do tabuleiro foi efectuado o registo das deformações altimétricas e planimétricas e introduzidas as contraflechas definidas no plano de contraflechas da responsabilidade da Profico [3],



com o objectivo de ajustar a geometria do tabuleiro à rasante definida no projecto rodoviário, no horizonte de projecto (Fig. 9).

Janeiro 2007:
Início da
construção do
tabuleiro sobre o
pilare P6 e
tramo 9



Março 2007:
Execução do
tabuleiro em
consola sobre
os pilares P1
e P6



Maio 2007:
Execução do
tabuleiro em
consola sobre
os pilares P2
e P5



Julho 2007:
Execução do
tabuleiro em
consola sobre
os pilares P3
e P4 e fecho
central



Figura 10. Fases de construção do tabuleiro

Dada a curvatura em planta do tabuleiro foi utilizado nos pilares P4, P5 e P6 um sistema de travamento transversal constituído por dois cabos de pré-esforço do lado exterior da curva, a ligar o tabuleiro à fundação, para compensar a excentricidade das cargas verticais durante a fase de consola (Fig.7). Em todos os pilares foram utilizados dois pares de cabos de 12 cordões na ligação da aduela 5 à fundação, para garantir da estabilidade durante a construção. No caso dos pilares P1 e P6 foi também utilizado um sistema de travamento dos aparelhos de apoio durante a fase de consola, constituído por um conjunto de barras de pré-esforço e peças metálicas para travamento directo do tabuleiro ao topo dos pilares em conjunto com 4 cabos de pré-esforço na ligação da aduela de arranque à fundação, para assegurar a segurança global durante a fase construtiva (Fig. 7 e 8).



Figura 11. Tabuleiro fechado e fase de execução acabamentos em Setembro de 2007

4.3 Materiais estruturais

As quantidades dos principais materiais utilizados na construção do tabuleiro, pilares, encontros e fundações são apresentadas no Quadro 1. Calcularam-se igualmente os índices de armadura e pré-esforço longitudinal (de consola e de continuidade) e transversal (da laje e dos diafragmas do tabuleiro sobre os pilares com aparelhos de apoio. Os índices de pré-esforço longitudinal são ligeiramente inferiores ao que é normal em tabuleiros construídos por avanços sucessivos dado que, neste caso, os tramos 8 e 9 foram executados com cimbra ao solo, e portanto não necessita de pré-esforço de consola.

Quadro 1. Principais materiais estruturais e respectivas quantidades [2].

<i>Elemento estrutural</i>	<i>Betão</i> [m ³]	<i>Armaduras A500</i> [ton ; kg/m ³]	<i>Pré-esf. Long.</i> [kg/m ³]	<i>Pré-esf. Transv.</i> [kg/m ³]
Fundações e Encontros	3 558 - C30/37	201.5 ; 56.6	---	---
Pilares	2 169 - C35/45	251.5 ; 116.0	---	---
Tabuleiro	6 723 - C40/50	1078.3 ; 160.4	20.3 + 13.7	8.7 + 0.4

REFERÊNCIAS

- [1] Estudo Prévio da Ponte Internacional de Quintanilha, IP4-E82. GRID, Lda, Julho de 2001.
- [2] Projecto de Execução da Ponte Internacional de Quintanilha, IP4-E82. GRID, Lda, Maio de 2002.
- [3] Projecto de Controlo de Geometria da Ponte Internacional de Quintanilha, IP4-E82. PROFICO, Lda, Agosto de 2006.