

Obras de Arte Especiais da Ligação Vasco Gil – Fundoa (Cota 500) na Ilha da Madeira



Paulo Soares¹



João Pinho²



**Alexandre
Portugal³**

RESUMO

A 1ª Fase da Ligação Vasco Gil – Fundoa (Cota 500) na Ilha da Madeira, desenvolve-se numa zona que apresenta dificuldades específicas relacionadas com a orografia dos terrenos atravessados bem como com a importante ocupação pré-existente. Como alguém já se lhe referiu trata-se de uma “estrada de montanha em ambiente urbano”. A consequência mais relevante do anterior é o facto de num troço de apenas 1,7 km de rodovia ter havido a necessidade de se projectarem 5 obras de arte especiais, 2 túneis, 3 obras de arte correntes, 2 obras hidráulicas e 28 obras geotécnicas especiais.

O artigo apresenta as soluções adoptadas para as obras de arte especiais, de que se destacam dois viadutos com tabuleiros em caixão de inércia variável a construir pelo método dos avanços sucessivos.

Para cada uma das obras apresentar-se-ão os condicionamentos fundamentais que presidiram à selecção das soluções adoptadas, far-se-á a descrição das mesmas, bem como dos respectivos processos construtivos. Uma referência breve será também feita acerca dos critérios de projecto adoptados.

PALAVRAS-CHAVE

Obra de Arte, Betão Armado e Préesforçado, Avanços Sucessivos.

¹ Engenheiro Civil, Coordenador de Projectos, COBA, S.A.

² Engenheiro Civil, Director Adjunto do Serviço de Estruturas, COBA, S.A.

³ Engenheiro Civil, Administrador, COBA, S.A.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho refere-se às Obras de Arte Especiais da 1ª Fase da "Nova Ligação Vasco Gil - Fundoa, à Cota 500", cujo projecto foi desenvolvido para a Secretaria Regional do Equipamento Social e Transportes da Direcção Regional de Estradas da Região Autónoma da Madeira.

Na 1ª Fase da Ligação entre Vasco Gil e Fundoa existem cinco obras de arte especiais, os Viadutos V1, V2, V3, V4 e V5. Na concepção das obras teve-se em consideração a uniformidade das soluções estruturais de modo a conseguir-se a racionalização dos métodos construtivos e dos equipamentos, na expectativa de maior rentabilidade e economia na execução.

As obras situam-se num terreno de relevo acidentado, com encostas íngremes, que obrigará à execução de escavações importantes para fundar os pilares e à realização de obras geotécnicas, necessárias à estabilização dos taludes associados.

Apresentam-se nos pontos seguintes as soluções adoptadas para as obras que constam do quadro seguinte, de que se destacam os viadutos V2 e V3 com tabuleiros em caixão de inércia variável a construir pelo método dos avanços sucessivos.

Quadro 1 - Obras de Arte Especiais

<i>Obra</i>	<i>Modulação de vãos (m)</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Largura (m)</i>
Viaduto V1	20 + 3 x 28 + 20	124	12,10
Viaduto V2	54 + 80 + 54	188	12,10
Viaduto V3	40 + 60 + 40	140	12,10
Viaduto V4	24 + 4 x 32 + 24	176	12,10
Viaduto V5	18 + 2 x 24 + 18	84	12,10

Para cada uma apresentar-se-ão os condicionamento fundamentais que presidiram à selecção das soluções adoptadas, far-se-á a descrição das mesmas, bem como dos respectivos processos construtivos. Uma referência breve será também feita acerca dos critérios de projecto adoptados.

2. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DAS OBRAS

Foi preocupação fundamental a adopção de soluções padronizadas por forma a conseguir-se uniformidade e, consequentemente, economia na obra a construir. Procurou-se também uma solução clássica, recorrendo a peças de dimensões expressivas e configurando estruturas porticadas de grande rigidez e resistência. Por outro lado, há toda a conveniência em adoptar superestruturas contínuas, não só pelo seu melhor comportamento em face dos efeitos diferidos e pela sua melhor resistência global, mas também pela eliminação de descontinuidades no pavimento, as quais são prejudiciais ao tráfego.

O processo construtivo dos tabuleiros dos Viadutos V2 e V3 deriva naturalmente das condições de atravessamento dos vales interessados, a cerca de 40 m de altura. A construção dos tabuleiros sobre cavaletes com apoio ao solo não seria viável para esta altura, pelo que se optou por soluções construtivas recorrendo a carrinhos de avanço, isto é, a construção por avanços sucessivos a partir dos pilares.

As soluções em viga-caixão têm sido utilizadas em diversas obras no nosso país, e derivam naturalmente do processo construtivo preconizado com avanços sucessivos a partir dos pilares. Para este método de construção, a viga-caixão apresenta-se como a solução estrutural de tabuleiro mais indicada, apresentando a solução utilizada vãos compatíveis com o aproveitamento económico do processo construtivo e com a altura a que se situa a rasante. Atendendo à grandeza dos vãos e ao processo construtivo considerou-se para esta solução tabuleiros de secção variável decrescente dos

pilares para os vãos. A relação adoptada entre a altura da secção junto aos pilares e o vão foi de cerca de 1/17.

3. VIADUTO V2

3.1 Condicionamentos

A obra destina-se a vencer o vale do Ribeiro do Trapiche, o qual apresenta encostas de grande inclinação inviabilizando a construção de aterros uma vez que as respectivas saias, com andamento quase paralelo às encostas, atingiriam dimensões inviáveis. Deste condicionamento resultou a localização dos encontros e, em consequência, o comprimento da obra. O viaduto desenvolve-se entre os kms 0+735 e 0+923 (eixo dos apoios nos encontros) da Ligação, perfazendo um comprimento total de 188 m e desenvolvendo-se a uma altura máxima de cerca de 40 m (Fig. 1). O Viaduto V2 é também condicionado pelo atravessamento da Ligação 3.1, que sob o local da obra tem uma plataforma com largura total de 8.40 m.

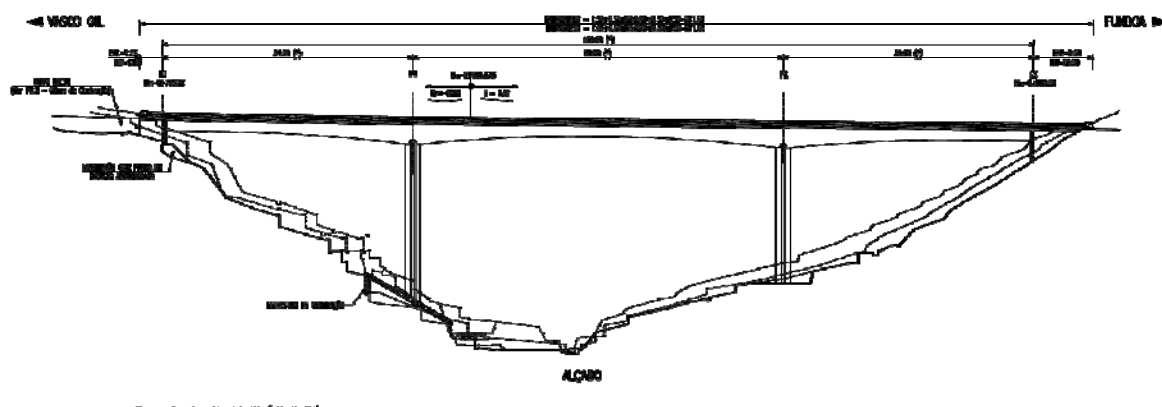


Figura 1. Viaduto V2. Alçado desenvolvido.

Em planta a obra desenvolve-se em curva com raio mínimo de 150 m. Em perfil longitudinal a obra desenvolve-se segundo uma curva concâva de 6000 m de raio seguida de um trainel descendente de - 1.0 % de inclinação.

Transversalmente, o tabuleiro dispõe de uma largura total de 12.10 m, permitindo acomodar a plataforma da Ligação Vasco Gil - Fundoa, a qual inclui uma faixa de rodagem comportando duas vias de tráfego de 3.50 m de largura, duas bermas de 1.00 m de largura cada, e ainda dois passadiços de 1.55 m de largura total cada, incluindo guarda metálica de segurança dupla, viga de bordadura e guarda corpos (Fig. 2).

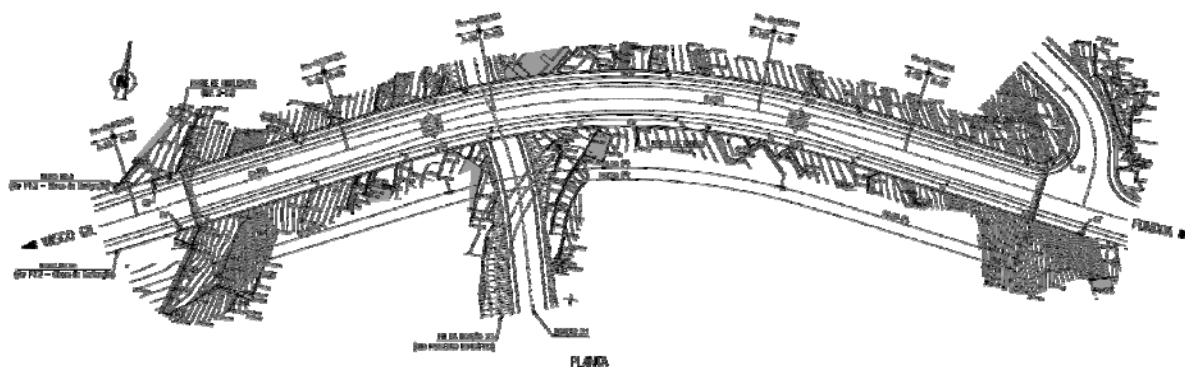


Figura 2. Viaduto V2. Planta.

Em face das formações existentes foram preconizadas fundações indirectas por meio de estacas para os encontros e para os pilares (Quadro 2).

O atravessamento do leito do Ribeiro do Trapiche, constituiu um dos condicionamentos para a definição da solução a adoptar para a obra de arte. Os fustes dos pilares situam-se fora do leito menor do Ribeiro com localização e geometria que conduzem a interferência reduzida no escoamento.

Quadro 2 - Condições de Fundação Viaduto V2

<i>Elemento Estrutural</i>	<i>Tipo de fundação</i>	<i>Diâmetro das estacas (m)</i>	<i>Cota de fundação (m)</i>	<i>Capacidade de carga das estacas (*) (kN)</i>
E1	Indirecta	1.20	506.0	5700
P1	Indirecta	1.50	475.0	9000
P2	Indirecta	1.50	485.0	8900
E2	Indirecta	1.20	510.0	4800

(*) Estacas Ø1200 nos encontros ; Estacas Ø1500 nos pilares

3.2 Solução estrutural adoptada

O Viaduto V2 é constituído por um tabuleiro único de 12.10 m de largura corrente, o qual comporta ambos os sentidos de circulação da Ligação Vasco Gil – Fundoa.

O tabuleiro (Fig. 3), em viga-caixão unicelular em betão armado e pré-esforçado longitudinalmente, é contínuo entre os eixos de apoio nos encontros, apresentando a seguinte modulação de vãos: 54.00 + 80.00 + 54.00 (m), resultando pois o já referido comprimento total de 188 m entre eixos de apoio nos encontros. A ligação aos pilares P1 e P2 é monolítica estando apoiado nos encontros através de aparelhos de apoio, deslizantes na direcção longitudinal. A altura estrutural do tabuleiro varia parabolicamente entre 2.50 m a meio vão e 4.50 m sobre os apoios nos pilares. O tabuleiro será construído a partir das aduelas de encabeçamento dos pilares, por troços de 5.00 m betonados em consolas simétricas. Terminada a construção de cada par de consolas, a continuidade do tabuleiro é estabelecida nos tramos extremos, com a betonagem sobre cavalete ao solo de troços com 16.00 m de comprimento. No tramo central, a continuidade do tabuleiro com a parte já construída é estabelecida depois de betonada a aduela de fecho com 4.00 m de comprimento.

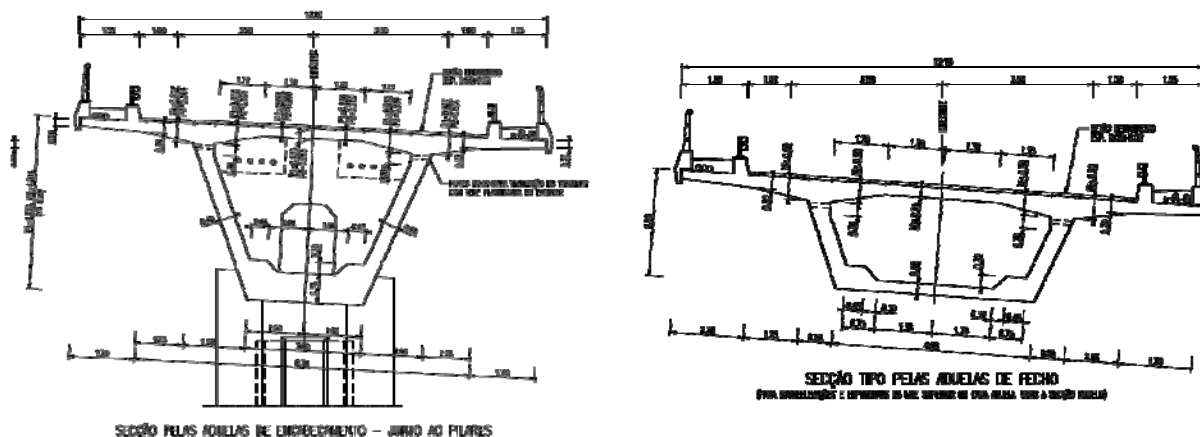


Figura 3. Viaduto V2. Tabuleiro.

A viga-caixão apresenta duas almas de inclinação constante 1(H):2.5(V) com 0.40 m de espessura, as quais estão ligadas inferiormente pela laje de fundo e superiormente pela laje do tabuleiro. A laje de fundo varia parabolicamente de espessura na direcção longitudinal desde os apoios intermédios (0.75 m) até aos vãos (0.25 m); na direcção transversal possui um espessamento de 0.30 m na ligação às almas. A laje superior, com 5.10 m de vão livre, varia transversalmente de espessura, possuindo um troço central com 2.60 m de largura e 0.25 m de espessura, variando linearmente a espessura até 0.50 m na ligação às almas; prolonga-se ainda em duas consolas com 2.95 m de vão e espessuras de 0.50 m, 0.30 m e 0.20 m, respectivamente, na ligação à alma, a 1.25 m desta e na extremidade do tabuleiro.

O tabuleiro está dotado de diafragmas rígidos sobre os apoios nos pilares e encontros. Estes diafragmas apresentam espessuras de 1.00 m sobre os encontros, 0.60 m sobre os pilares. Por forma a permitir o acesso ao interior dos caixões, em todos estes elementos foram previstas aberturas para acesso de pessoas ou equipamentos. Foram ainda previstos septos verticais junto às almas do caixão com 0.50 m de espessura situados a 20.50 m e a 40.00 m do eixo dos pilares, com vista a permitir o eventual reforço com pré-esforço exterior.

O processo construtivo conduziu à necessidade de se adoptarem duas famílias de cabos de pré-esforço. Uma primeira, com os cabos das consolas dispostos junto à face superior dos tabuleiros e que são aplicados à medida que vão sendo executadas as sucessivas aduelas e uma segunda, com os cabos de solidarização que garantem a continuidade e o fecho da obra após a execução das aduelas de fecho do tabuleiro.

Os pilares possuem secção transversal constante em octógono irregular, com uma envolvente rectangular de 3.20 m de comprimento e 4.60 m de largura. Os pilares são vazados interiormente, tendo o vazamento interior 2.00 m de comprimento por 2.50 m de largura. As forças horizontais devidas à acção sísmica são absorvidas pelos pilares que para o efeito estão monoliticamente ligados ao tabuleiro.

Dada a natureza do solo de fundação e de acordo com o estudo geológico-geotécnico, os pilares são fundados indirectamente por intermédio de 9 estacas de 1.50 m de diâmetro solidarizadas por maciços com 11.50 x 11.50 x 3.50 m³.

Para a realização das fundações dos pilares foi prevista a construção de obras de contenção do tipo muro ancorado. A solução prevista tem como objectivo permitir aceder às plataformas de trabalho de execução das fundações e de contenção definitiva das escavações, uma vez que, em face da inclinação das encostas do vale interferido, não será possível executar os aterros de reposição do terreno natural.

Ambos os encontros são em betão armado do tipo cofre, sendo constituídos por uma viga de estribo apoiada em montantes, por uma parede de testa e por paredes laterais, apoiadas em contrafortes. A fundação é do tipo indirecto por meio de 8 estacas de 1.20 m de diâmetro no encontro E1 e 11 estacas de 1.20 m de diâmetro no encontro E2. As estacas são solidarizadas por maciços de encabeçamento.

A carlinga do tabuleiro descarrega sobre os encontros por meio de dois apoios centrais do tipo marmita (“pot bearing”) unidireccionais (deslizantes na direcção longitudinal), na zona sob a viga-caixão do tabuleiro, e dois apoios laterais do tipo marmita (“pot bearing”) bidireccionais (deslizantes nas direcções longitudinal e transversal) nas extremidades.

De acordo com a regulamentação em vigor, efectuaram-se dois tipos de verificações de segurança para o tabuleiro:

- Verificação da segurança em relação aos estados limites de utilização - de acordo com o REBAP, verificou-se a segurança em relação aos seguintes estados limites:
 - Descompressão, para as combinações quase permanentes de acções;
 - Largura de fendas, para as combinações frequentes de acções;
 - Compressão máxima no betão para as combinações raras de acções ($\sigma_{\text{rara}} < 0.8 f_{\text{cd}}$).
- Verificação da segurança em relação aos estados limites últimos – de acordo com o REBAP, verificou-se a segurança em relação ao estado limite último de resistência, com as combinações fundamentais indicadas no RSA.

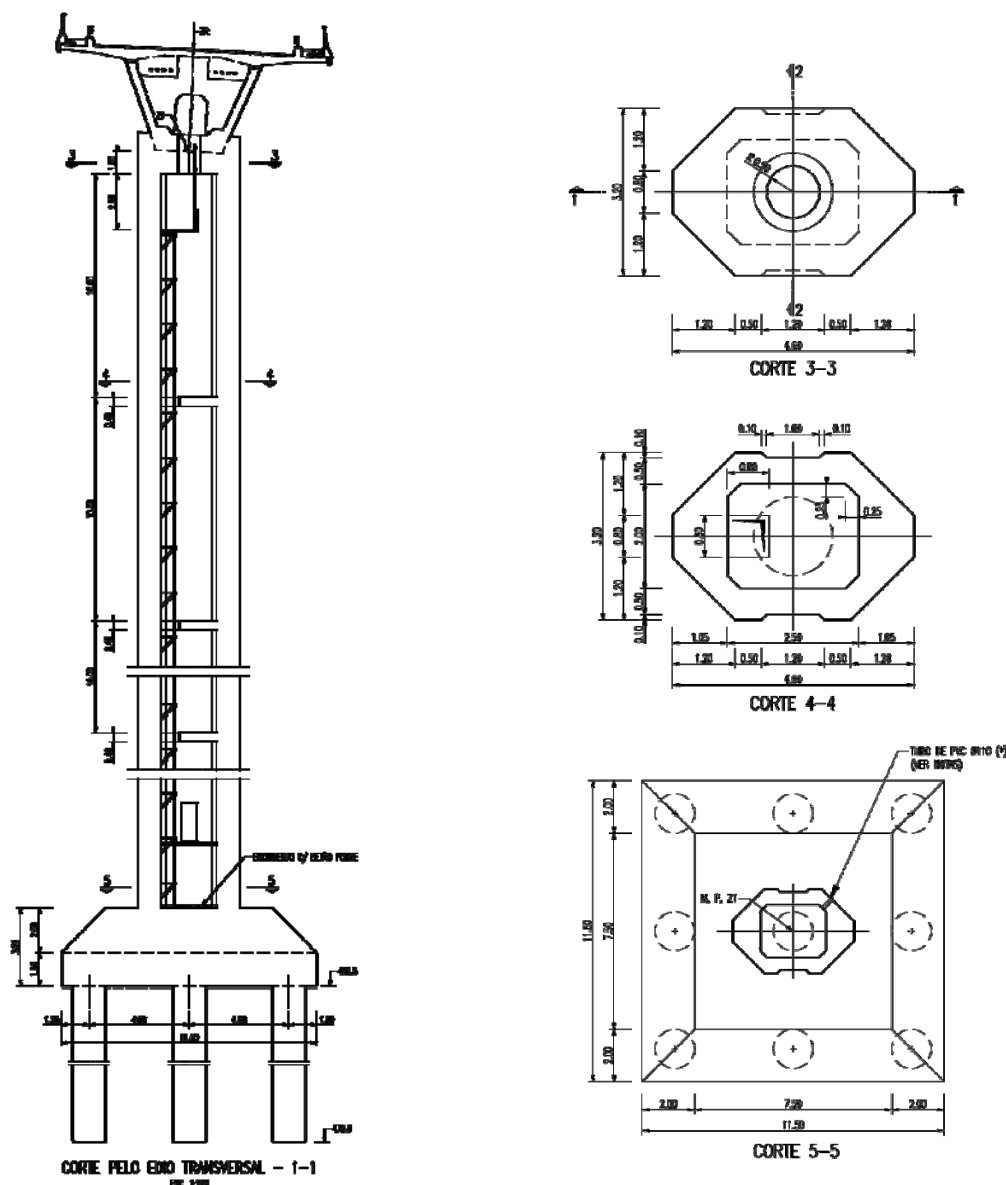


Figura 4. Viaduto V2. Pilares.

A verificação da segurança da obra durante a fase de construção foi efectuada com base na limitação das tensões máximas e mínimas ocorrentes e tendo em conta a curta duração das situações em causa. Em face do método construtivo preconizado, foi verificada a segurança da obra tendo em atenção as seguintes acções durante a fase construtiva: desequilíbrios de peso das consolas devido a erros construtivos (5% do peso); acção do vento; cargas de estaleiro (0,5 kN/m²); pesos dos cimbres (500 kN) afectados de um coeficiente dinâmico de 2; e a situação de acidente resultante da queda de um carrinho de avanço durante a betonagem de uma aduela.

O tabuleiro será construído por avanços sucessivos a partir das aduelas de encabeçamento nos pilares.

Para assegurar as condições de segurança em face de um eventual acidente durante a construção foi previsto um sistema de equilíbrio para cada pilar, constituído por dois pares de 4 cabos de 19 cordões, ancorados sobre o tabuleiro a 4.75 m para cada lado do eixo dos pilares, e na fundação dos pilares. Está prevista a activação do sistema de equilíbrio após a construção da Aduela 3. Para além do sistema de equilíbrio da obra, foi também previsto um sistema de reposicionamento transversal dos pilares, uma vez que durante a construção em consola do tabuleiro e devido à curvatura em planta do traçado (raio = 150 m), o pilar deformar-se-á transversalmente no sentido do intradorso da curva. Este sistema

é composto por dois cabos de 22 cordões ancorados sobre o tabuleiro no alinhamento dos septos nos apoios, a cerca de 3.30 m do eixo da obra do lado do extradorso da curva em planta. Em qualquer um dos sistemas são usados cabos de pré-esforço de cordões independentes de modo a permitir o tensionamento e destensionamento individual.

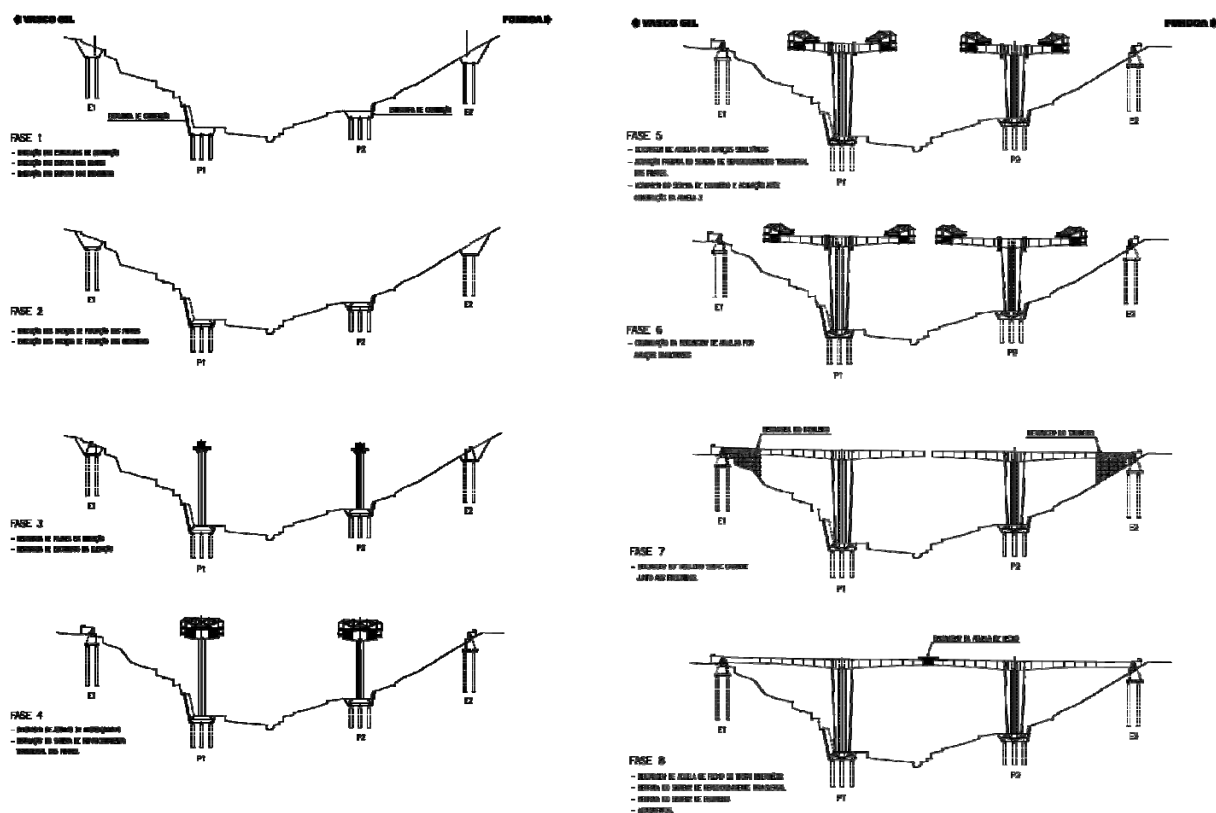


Figura 5. Viaduto V2. Processo construtivo.

A construção da obra compreenderá as seguintes fases principais:

- Execução dos muros de contenção para a execução dos pilares;
- Execução das fundações, elevação dos pilares e encontros;
- Construção das aduelas do tabuleiro de encabeçamento dos pilares;
- Montagem dos carrinhos de avanço;
- Construção do tabuleiro em consola, por aduelas a partir dos pilares;
- Instalação e activação do sistema de reposicionamento transversal dos pilares;
- Aplicação do sistema de equilíbrio após a construção da aduela 3;
- Construção das zonas do tabuleiro junto aos encontros sobre cavalete apoiado no solo;
- Execução da aduela de fecho do tabuleiro no tramo central.

4. VIADUTO V3

4.1 Condicionamentos

A obra destina-se a vencer um vale muito cavado com encostas de grande inclinação, desenvolvendo-se entre os kms 1+085 e 1+225 (eixo dos apoios nos encontros), da Ligação Vasco Gil - Fundoa, perfazendo um comprimento total de 140 m a uma altura máxima de cerca de 40 m.

Transversalmente, o tabuleiro dispõe de uma largura total de 12.10 m, idêntica à do Viaduto V2.

Em face das formações existentes foram preconizadas fundações directas para os encontros e indirectas por meio de estacas para os pilares P1 e P2. No quadro seguinte apresenta-se um resumo das condições de fundação previstas para o Viaduto V3.

Quadro 3 - Condições de Fundação Viaduto V3

Elemento Estrutural	Tipo de fundação	Diâmetro das estacas (m)	Cota de fundação (m)	Capacidade de carga das estacas (*) (kN)	Tensão admissível nas sapatas (MPa)
E1	Directa	-	516,5	-	5,5-6,0
P1	Indirecta	1.50	470,5	8500-10500	-
P2	Indirecta	1.50	472,5	7500-9250	-
E2	Directa	-	504,0/505,0	-	3,5-4,0

(*) Estacas Ø1500 nos pilares

Em planta a obra desenvolve-se em curva com raio mínimo de 150 m. Em perfil longitudinal a obra desenvolve-se segundo um trainel descendente de -9,5 % de inclinação.

4.2 Solução estrutural adoptada

O Viaduto V3 é constituído por um tabuleiro único de 12.10 m de largura idêntico ao adoptado no Viaduto V2, apresentando a seguinte modulação de vãos: 40.00 + 60.00 + 40.00 (m), resultando pois o já referido comprimento total de 140 m. A altura estrutural do tabuleiro varia parabolicamente entre 2.00 m a meio vão e 3.50 m sobre os apoios nos pilares. O tabuleiro será construído de modo idêntico ao Viaduto V2.

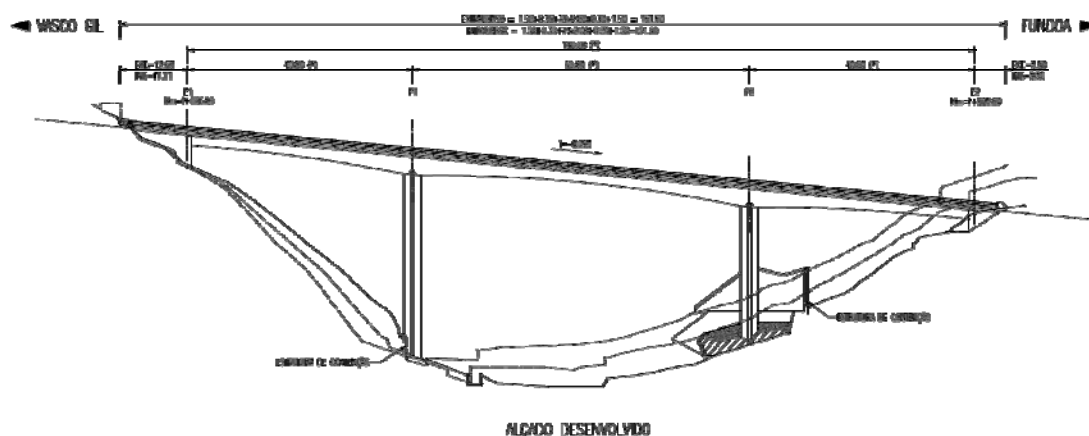


Figura 6. Viaduto V3. Alçado desenvolvido.

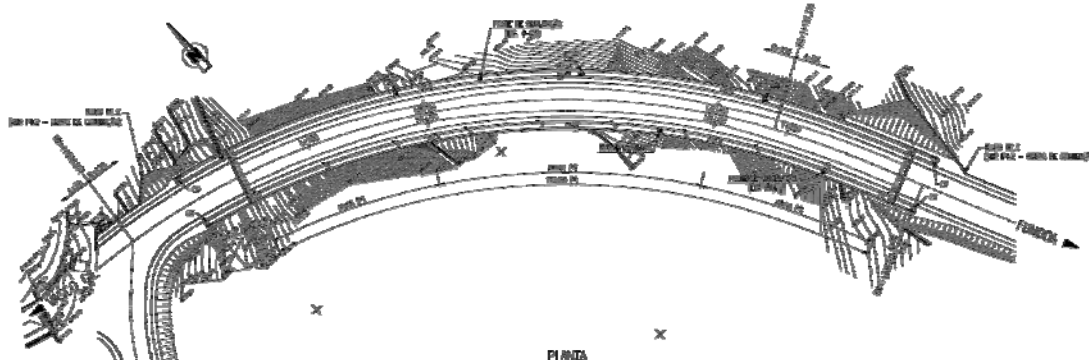


Figura 7. Viaduto V3. Planta.

A viga-caixão é idêntica à do Viaduto V2 excepto no que diz respeito à espessura da laje de fundo que varia parabolicamente entre 0,50 m nos apoios intermédios e 0,25 m nos vãos.

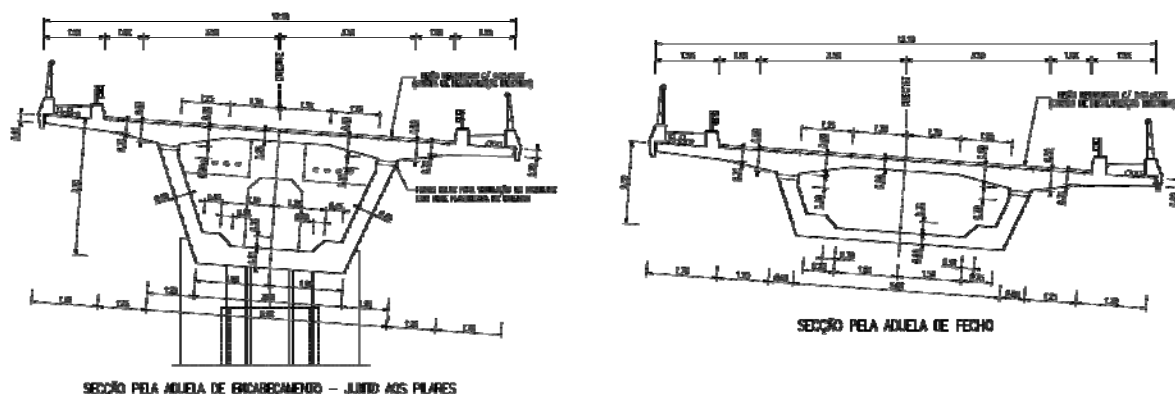


Figura 8. Viaduto V3. Tabuleiro.

Os pilares são idênticos aos do Viaduto V2, sendo fundados indirectamente por intermédio de 7 estacas de 1.50 m de diâmetro solidarizadas por maciços com 10.50 x 11.87 x 3.50 m³.

Para a realização das fundações dos pilares foi também prevista a construção de obras de contenção do tipo muro ancorado.

Ambos os encontros, são em betão armado aparentes, sendo o encontro E1 constituído por uma viga de estribo apoiada em montantes, por uma parede de testa e por paredes laterais, apoiadas em contrafortes enquanto que o encontro E2, dada a sua reduzida altura, é um simples maciço em betão armado.

Os critérios de verificação de segurança utilizados e o processo construtivo adoptado são em tudo idênticos aos que se apresentaram para o viaduto V2.

5. VIADUTOS V1, V4 E V5

Os viadutos V1, V4 e V5 são viadutos correntes em betão armado e préesforçado, com tabuleiros contínuos em laje nervurada, construídos tramo a tramo sobre cavaletes directamente apoiados no solo. Nas figuras 9, 10 e 11 apresentam-se os respectivos alçados.

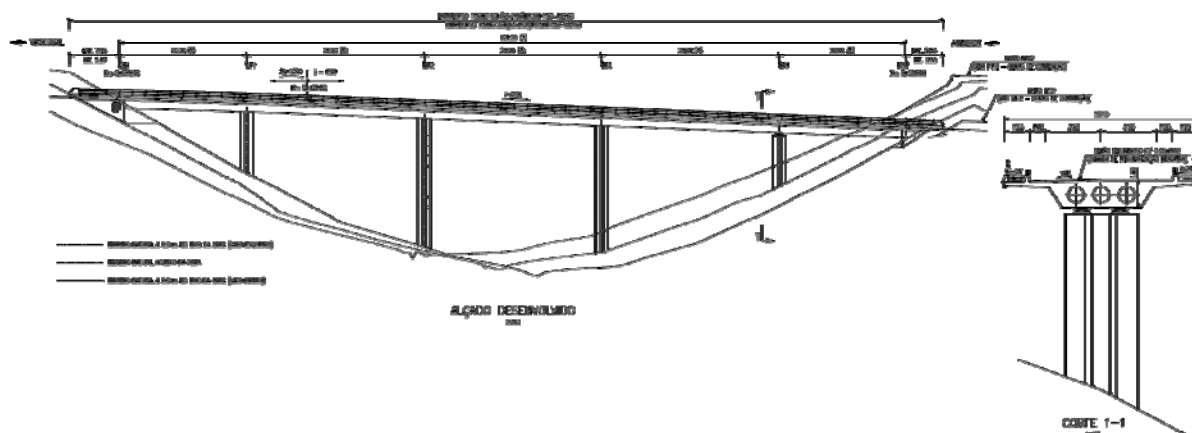


Figura 9. Viaduto V1. Alçado desenvolvido.

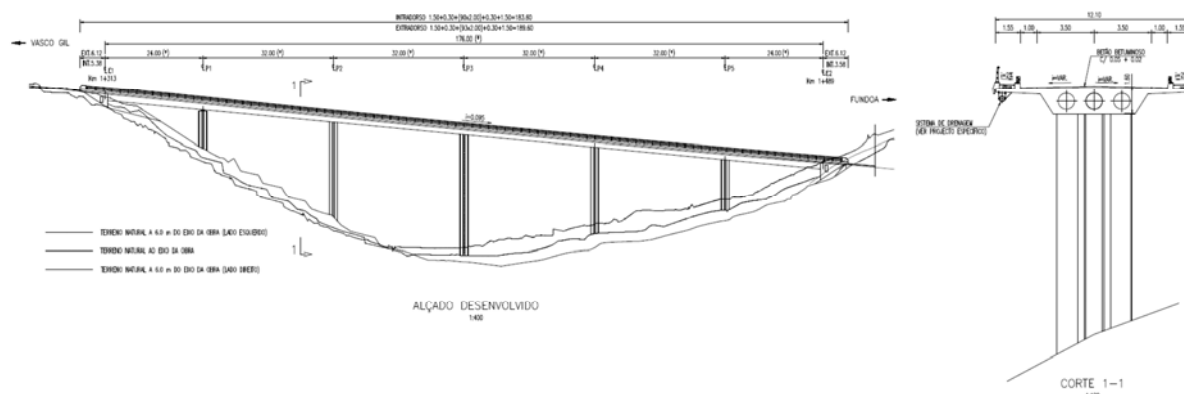


Figura 10. Viaduto V4. Alçado desenvolvido.

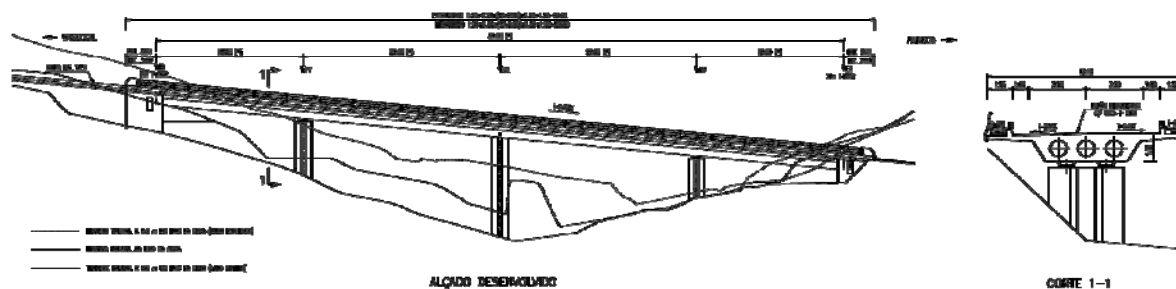


Figura 11. Viaduto V5. Alçado desenvolvido.

6. CONCLUSÃO

Apresentaram-se neste artigo as obras de arte especiais integradas na ligação Vasco Gil-Fundoa actualmente em construção na Região Autónoma da Madeira. O relevo muito acidentado em presença justifica que num troço de estrada muito curto haja que recorrer a um número significativo de obras, duas das quais a executar pelo método dos avanços sucessivos.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Secretaria Regional do Equipamento Social e Transportes da Região Autónoma da Madeira a autorização para a publicação do presente artigo.

REFERÊNCIAS

[1] COBA, S.A. – Região Autónoma da Madeira. Secretaria Regional do Equipamento Social e Transportes. Direcção Regional de Estradas. Nova Ligação Vasco Gil – Fundoa, à Cota 500 – 1ª Fase. Projecto de Execução. P8 – Obras de Arte Especiais. 2008.