

VIADUTOS MISTOS AÇO-BETÃO PARA O CORREDOR BRT ENTRE CAJU E DEODORO

Febin Naguindás¹, Miguel Santos², Manuel Pereira³ e João Robalo⁴

¹, Eng. Civil, COBA, S.A., Avenida 5 de Outubro, 323, 1649-011 Lisboa, Portugal

Email: f.naguindas@cobagroup.com <http://www.coba.pt>

², ³, ⁴ Eng. Civil, COBA, S.A., Avenida 5 de Outubro, 323, 1649-011 Lisboa, Portugal

Sumário

Apresentam-se os projetos dos viadutos de acesso aos terminais das Missões e das Margaridas no Corredor BRT exclusivo de ônibus entre Caju e Deodoro, na Av. Brasil, no Rio de Janeiro, no Brasil. A variação da plataforma rodoviária em ambos os viadutos, que se desenvolvem em curva acentuada, com variação na largura da plataforma, na sobrelevação e no perfil longitudinal, e a minimização das interferências com a Av. Brasil foram os condicionamentos principais para a definição das soluções estruturais. Os viadutos são em pórtico contínuo de vãos múltiplos, com tabuleiros em estrutura mista aço-betão, apoiados sobre os pilares e encontros em betão armado.

Palavras-chave: viaduto; aço-betão; processos construtivos.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho refere-se ao projeto de oito viadutos com estrutura mista aço-betão para acesso aos terminais das Missões e das Margaridas do Corredor BRT exclusivo de ônibus entre Caju e Deodoro, na Av. Brasil, no Rio de Janeiro, no Brasil.

A conceção das obras foi condicionada pela necessidade de adotar soluções estruturais que fossem adaptadas à curvatura acentuada dos atravessamentos, que minimizassem a interferência com a Av. Brasil durante a construção e, ainda, que permitissem a construção em prazos reduzidos, de forma a assegurar que o Corredor BRT entre Caju e Deodoro entre em funcionamento antes do início dos Jogos Olímpicos do Rio de Janeiro no verão de 2016.

Procurou-se também uma 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.

Estas situações tiveram forte influência na adoção de soluções para os viadutos recorrendo a tabuleiros mistos aço-betão.

Neste artigo, para cada obra de arte, apresentam-se os condicionamentos fundamentais que presidiram à seleção das soluções adotadas, descrevem-se as soluções estruturais, bem como os respetivos processos construtivos. São ainda referidos os critérios de projeto adotados.

2 CONCEÇÃO GERAL

As obras de arte desenvolvem-se em zona de malha urbana densa, pelo que as soluções a adotar, nomeadamente ao nível de escolha dos processos construtivos, devem ter em conta a minimização da perturbação do escoamento do tráfego e a menor interferência com as estruturas existentes.

Dado ser a Av. Brasil um dos principais eixos da cidade do Rio de Janeiro, a existência de diversos serviços nas proximidades da implantação das obras de arte, condicionava a construção das fundações dos diversos apoios das obras ou até a sua localização.

O espaço existente na zona das obras de arte, para implantação das diversas vias das pistas BRT, pista expresso e vias locais era reduzido, pelo que o espaço disponível para implantação das plataformas rodoviárias das ligações aos terminais era condicionado.

A variação da plataforma rodoviária em ambos os viadutos, que se desenvolvem em curva acentuada, com variação na largura da plataforma, na sobrelevação e no perfil longitudinal, foi, também, um condicionamento construtivo significativo para definição das soluções construtivas e estruturais a adotar para os tabuleiros.

Resultou assim a necessidade de compatibilizar os meios e tecnologias a utilizar com os prazos disponíveis para a construção da obra.

Neste sentido, as soluções que recorrem à pré-fabricação têm vantagens manifestas, em situações semelhantes à em causa, dado permitir uma redução dos trabalhos a realizar “in situ” e dispensar a utilização de cavaletes. São normalmente mais económicas e com menores prazos de execução, pelo que foi considerado este tipo de solução.

O recurso a um tabuleiro misto aço-betão tem-se revelado bastante económico em situações similares. Face ao peso reduzido que os elementos metálicos apresentam em relação às vigas em betão armado, o transporte e a montagem das longarinas e transversinas metálicas exigem meios de elevação de menor potência.

Assim, a opção por estruturas mistas com utilização de vigas I metálicas visou mitigar os impactos das operações sobre a Av. Brasil, uma via de tráfego intenso, e reduzir o prazo de interferência sobre a mesma.

Face à necessidade de transpor as pistas BRT e expresso da Av. Brasil, com acentuado viés, os vãos mínimos para a transposição são de cerca de 35 a 37 m para o Viaduto das Missões e para o Viaduto das Margaridas.

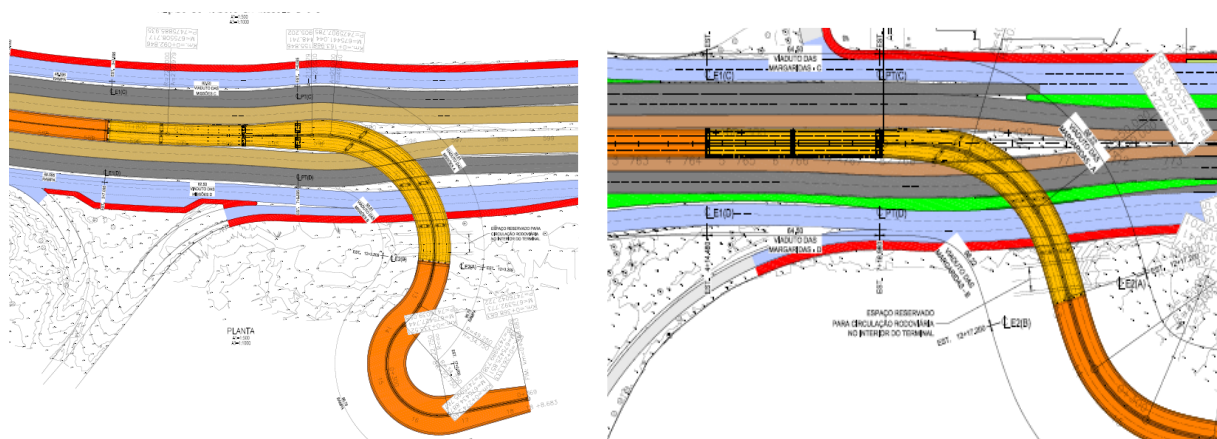


Fig. 1. Planta geral dos Viadutos das Margaridas e das Missões e da Av. Brasil.

Assim, adotaram-se viadutos em pórtico contínuo de vãos múltiplos, com tabuleiros em estrutura mista aço-betão, apoiados sobre os pilares e encontros em betão armado. As rampas de acesso são materializadas com muros de solo reforçado, sendo adotadas lajes de transição entre estes muros e os encontros.

Conforme referido, os vãos principais máximos são de cerca de 35 m. Para esta ordem de grandeza do vão estrutural, a adoção de tabuleiros mistos aço-betão permite reduzir os trabalhos a realizar no local, dispensa a utilização de cavaletes e reduz os prazos de construção.

Adotaram-se tabuleiros do tipo bi-viga, com longarinas metálicas, de secção em “I”, de suporte a uma laje em betão armado que acomoda a largura total da plataforma. De forma a acomodar as variações geométricas da plataforma rodoviária, a laje é betonada no local sobre pré-lajes de betão armado apoiadas longitudinalmente em transversinas metálicas.

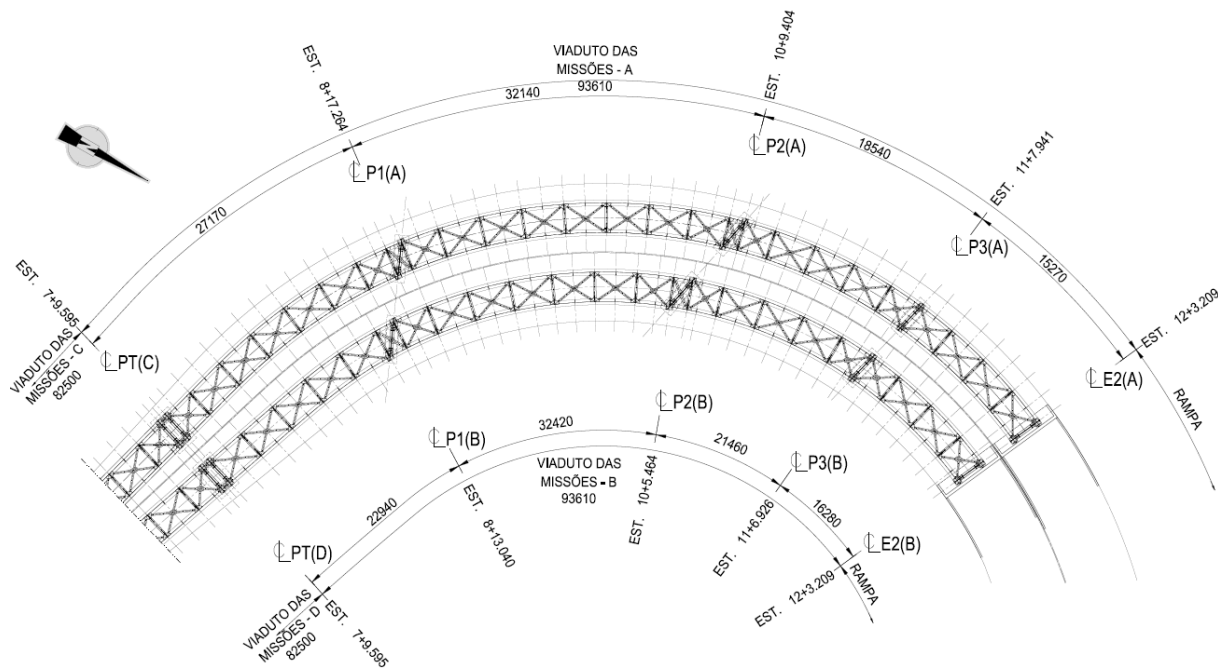


Fig. 2. Viadutos das Missões A e B – planta inferior.

O sistema de contraventamento das longarinas principais desenvolve-se em dois planos, vertical e horizontal, para assegurar o comportamento em torção do tabuleiro.

A necessidade de transportar os elementos da estrutura metálica dos tabuleiros de grandes distâncias até ao local das obras, foi também um condicionamento importante para a conceção das estruturas, e que obrigou à realização de diversas ligações já em obra nas longarinas principais. De modo a evitar a execução de operações de soldadura em obra, adotaram-se ligações aparafusadas entre os diversos elementos de aço pré-fabricados.

Apresentam-se nos pontos seguintes as soluções adotadas para cada um dos viadutos, cujas características geométricas principais constam do quadro 1.

Quadro 1. Características das obras de arte

Obra	Sub-viaduto	Modulação de vãos (m)	Comp. (m)	Largura (m)
Viaduto de Acesso ao Terminal de Missões	A	27.17 + 32.14 + 18.54 + 15.27	93.61	6.12 a 6.90
	B	22.94 + 32.42 + 21.46 + 16.28	93.61	6.12 a 6.90
	C	23.00 + 36.00 + 23.50	82.50	4.70 a 6.12
	D	23.00 + 36.00 + 23.50	82.50	4.70 a 6.12
Viaduto de Acesso ao Terminal de Margaridas	A	28.78 + 34.67 + 18.94 + 15.83	98.22	4.70 a 6.20
	B	22.51 + 36.48 + 21.63 + 17.61	98.22	4.70 a 6.20
	C	32.00 + 32.50	62.50	4.70
	D	32.00 + 32.50	62.50	4.70

3 CONDICIONAMENTOS RODOVIÁRIOS

3.1 Enquadramento

O Viaduto das Missões situa-se aproximadamente à estaca 594 da Av. Brasil, e irá constituir a ligação entre a Av. Brasil e o Terminal das Missões, a um nível elevado em relação ao terreno existente, sendo portanto a ligação realizada em obra de arte.

O Viaduto das Margaridas situa-se aproximadamente à estaca 769 da Av. Brasil, e irá constituir a ligação entre a Av. Brasil e o Terminal das Margaridas, também a um nível elevado em relação ao terreno existente, sendo portanto a ligação realizada em obra de arte.

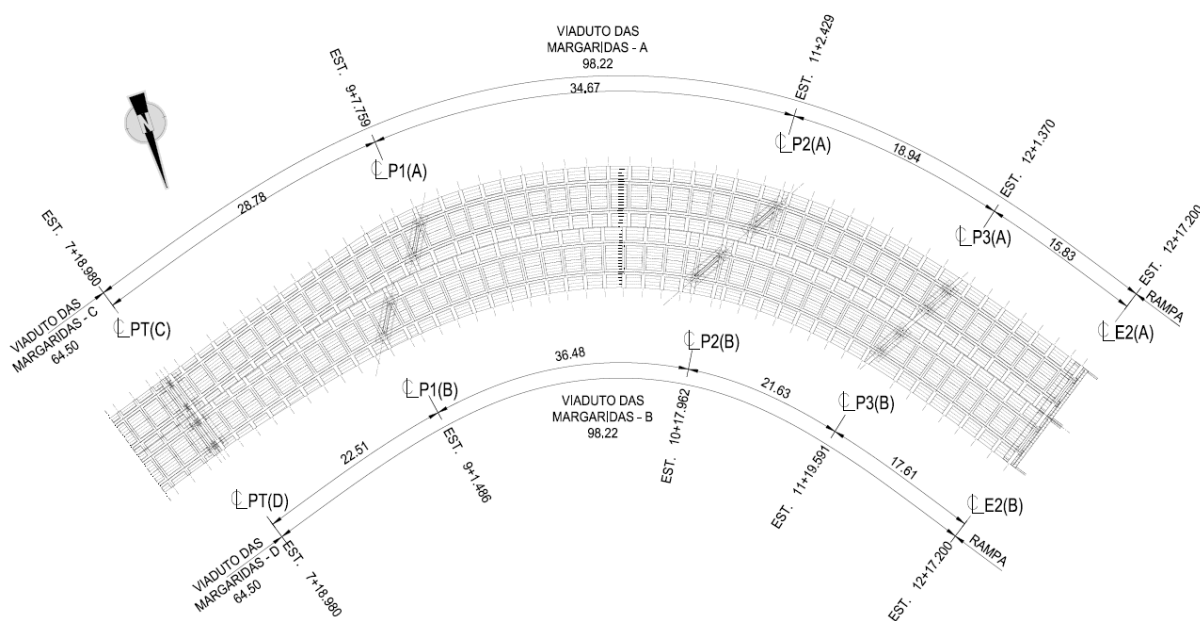


Fig. 3. Viadutos das Margaridas A e B – planta superior.

Em ambos os viadutos, os principais condicionamentos são a transposição superior, em curva acentuada, de meia plataforma da Av. Brasil e a necessidade de assegurar um canal de circulação no interior dos terminais antes das rampas de acesso do lado Norte.

Estão disponíveis espaços nos canteiros rodoviários previstos entre as pistas expressas e as pistas locais da Av. Brasil que permitem a localização de apoios, assegurando os gabaritos verticais e horizontais rodoviários, que, no caso do gabarito vertical, é de 5,80 m, a assegurar tanto em serviço como durante a construção da obra.

Face aos condicionamentos de limitação do espaço ocupado e de segurança rodoviária, nas zonas em rampa está previsto um separador entre faixas de rodagem com 0,50 m de largura, que transita sobre a obra de arte, para um separador constituído por dois perfis rígidos em betão do tipo ½ New Jersey e duas bermas esquerdas de 0,30 m. Em consequência, na zona da transição e em cada faixa de rodagem, a plataforma rodoviária é variável, o que obriga a consideração de tabuleiros também com largura variável para os Viadutos das Missões e das Margaridas.

As soluções estruturais devem respeitar a diretriz, o perfil da rasante e os perfis transversais tipo definidos no projeto rodoviário, verificando-se que qualquer destes elementos do traçado apresenta uma geometria complexa ao longo dos viadutos das Missões e de Margaridas, constituindo portanto um condicionamento significativo ou mesmo determinante para a escolha da solução estrutural e construtiva a adotar.

3.2 Viaduto das Missões

Em perfil longitudinal a obra desenvolve-se segundo um tranel ascendente com 7,0 % de inclinação, seguido de uma curva de concordância convexa com 700 m de raio a que se segue um tranel descendente com 7,5 % de inclinação.

Em planta, a zona em viaduto inicia-se numa curva circular à esquerda com 720 m de raio, seguida de uma clotóide esquerda de parâmetro 212,979, seguida de uma clotóide direita de parâmetro 20 e finalmente seguida de uma curva circular à direita com 49,25 m de raio.

Face à curvatura acentuada do traçado em planta, a plataforma rodoviária apresenta variações na sobrelevação, que, na zona da obra de arte, têm uma variação entre 2,5% e 4,0%.

Em cada sentido e ao longo dos viadutos, a largura de cada sentido da plataforma rodoviária é variável entre 4,70 m e 6,90 m.

3.3 Viaduto das Margaridas

Em perfil longitudinal a obra desenvolve-se segundo um tranel ascendente com 6,5 % de inclinação, seguido de uma curva de concordância convexa com 861,5 m de raio a que se segue um tranel descendente com 6,5 % de inclinação.

Em planta, a zona em viaduto inicia-se num troço reto, seguido seguida de uma clotóide direita de parâmetro 40, seguida de uma curva circular à direita com 50 m de raio e finalmente seguida de uma clotóide direita de parâmetro 40.

Face à curvatura acentuada do traçado em planta, a plataforma rodoviária apresenta variações na sobrelevação, que, na zona da obra de arte, têm uma variação entre 2,5% e 4,0%.

Em cada sentido e ao longo dos viadutos, a largura de cada sentido da plataforma rodoviária é variável entre 4,70 m e 6,20 m.

4 SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

4.1 Viaduto das Missões

O Viaduto de acesso ao Terminal de Missões [1] é constituído por 4 sub-viadutos independentes, 2 para cada faixa de rodagem:

- O sub-viaduto das Missões A e sub-viaduto das Missões C, no sentido Terminal das Missões-Av. Brasil;
- O sub-viaduto das Missões D e sub-viaduto das Missões B, no sentido da Av. Brasil para o Terminal das Missões.

Os sub-viadutos das Missões C e D situam-se na zona da rampa de acesso, sendo semelhantes entre si, e os sub-viadutos das Missões A e B asseguram a transposição da Av. Brasil, sendo também semelhantes entre si.

Os sub-viadutos das Missões A e Missões B são constituídos por tabuleiros em estrutura mista aço-betão, com 4 vãos, contínuos entre os eixos de apoio no pilar de transição PT(C) e no encontro E2(A) e entre os eixos de apoio no pilar de transição PT(D) e no encontro E2(B), respetivamente. Os sub-viadutos das Missões C e Missões D são constituídos por tabuleiros em estrutura mista aço-concreto, com 3 vãos, contínuos entre os eixos de apoios no encontro E1(C) e no pilar de transição PT(C) e entre os eixos de apoios no encontro E1(D) e no pilar de transição PT(D), respetivamente.

Cada sub-viaduto comporta a plataforma rodoviária de cada um dos sentidos de circulação, constituída por uma via, uma berma direita e uma berma esquerda e que é limitada por perfis rígidos em betão de ambos os lados.

4.2 Viaduto das Margaridas

O Viaduto de acesso ao Terminal de Margaridas [2] é também constituído por 4 sub-viadutos independentes, 2 para cada faixa de rodagem:

- O sub-viaduto das Margaridas A e sub-viaduto das Margaridas C, no sentido Terminal das Margaridas-Av. Brasil;
- O sub-viaduto das Margaridas D e sub-viaduto das Margaridas B, no sentido da Av. Brasil para o Terminal das Margaridas.

Os sub-viadutos das Margaridas C e D situam-se na zona da rampa de acesso, sendo semelhantes entre si, e os sub-viadutos das Margaridas A e B asseguram a transposição da Av. Brasil, sendo também semelhantes entre si.

Os sub-viadutos das Margaridas A e Margaridas B são constituídos por tabuleiros em estrutura mista aço-concreto, com 4 vãos, contínuos entre os eixos de apoio no pilar de transição PT(C) e no encontro E2(A) e entre os eixos de apoio no pilar de transição PT(D) e no encontro E2(B), respetivamente. Os sub-viadutos das Margaridas C e Margaridas D são constituídos por tabuleiros em estrutura mista aço-concreto, com 2 vãos, contínuos entre os eixos de apoios no encontro E1(C) e no pilar de transição PT(C) e entre os eixos de apoios no encontro E1(D) e no pilar de transição PT(D), respetivamente.

Cada sub-viaduto comporta a plataforma rodoviária de cada um dos sentidos de circulação, constituída por uma via, uma berma direita e uma berma esquerda e que é limitada por perfis rígidos em betão de ambos os lados.

4.3 Tabuleiros

A seção transversal de cada tabuleiro é do tipo bi-viga, constituída por duas vigas metálicas, com seção transversal em “I”, afastadas entre si de 3,00 m e por uma laje em betão armado que acomoda a largura total da plataforma. A altura total estrutural do tabuleiro é de 2,10 m.

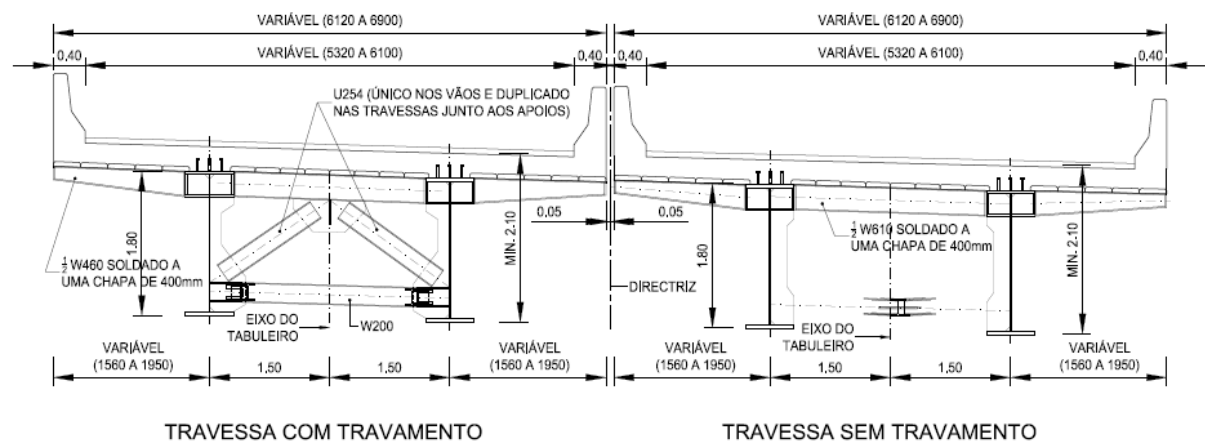


Fig. 4. Viaduto das Missões A e B – seção transversal no vão.

A laje do tabuleiro será betonada “in-situ” sobre pré-lajes não colaborantes, colocadas longitudinalmente apoiadas sobre travessas metálicas. As pré-lajes terão dimensões variáveis, com cerca de 2,00 m de comprimento por cerca de 0,30 m de largura, de forma a serem facilmente colocadas sobre a estrutura metálica. As pré-lajes são colocadas encostadas entre si, perfazendo a largura total da plataforma.

O comportamento misto aço-betão da estrutura é assegurado por pernos-conectores soldados ao banzo superior das longarinas e travessas.

As longarinas são constituídas por perfis reconstituídos soldados (PRS) a partir de chapas individuais, formando um elemento com seção transversal em “I” com 1800 mm de altura. A largura dos banzos das longarinas é

constante ao longo de toda a extensão da obra, variando as espessuras dos banzos e das almas das longarinas em função das necessidades estruturais relativamente aos critérios de verificação de resistência à rotura, de resistência à fadiga e de não instabilidade.

Para apoio das pré-lajes adotam-se travessas afastadas de 2,10 m. As consolas das travessas têm altura variável e resultam da união por soldadura do perfil W460 cortado, com um banzo superior constituído por uma chapa de 400 mm. O vão intermédio da travessa tem altura constante e resulta da união por soldadura de meio perfil W610 com um banzo superior constituído por uma chapa de 400 mm. O banzo superior destas travessas toma a inclinação da longarina, para permitir o apoio eficaz das lajotas e para permitir a soldadura ao banzo superior das longarinas.

O sistema de contraventamento das longarinas desenvolve-se em dois planos, dada a necessidade de assegurar a resistência à torção em face da curvatura acentuada dos tabuleiros. Os elementos do sistema de contraventamento no plano vertical encontram-se espaçados de 4,20 m, coincidindo com travessas alternadas. Nestes elementos, a travessa de apoio da laje é ligada aos banzos inferiores das vigas por meio de dois perfis inclinados U254, sendo adicionalmente colocado um perfil W200 entre estes banzos, constituindo um sistema usualmente designado por travamento em “K”. Nos elementos de contraventamento mais próximos dos apoios duplicam-se os perfis diagonais.

O sistema de contraventamento horizontal situa-se no plano inferior das vigas e é constituído por perfis W250 em cruz ligando longitudinalmente os nós do contraventamento vertical. Nos elementos de contraventamento próximos dos apoios, nos pilares e encontros, os perfis W250 são substituídos por perfis W200.

Complementarmente, e para efeitos de não instabilidade das almas, foram adotados reforços transversais, do lado interior das longarinas, com afastamento coincidente com o das travessas, constituídas por chapas verticais em toda a altura da alma. Na zona de apoios sobre os pilares e encontros, os reforços das almas são interiores e exteriores, por forma a melhor centrar as reações nos apoios.

As carlingas sobre os apoios nos pilares e encontros são constituídas por perfis reconstituídos soldados (P.R.S.), formando uma secção em I, reforçados verticalmente próximo das zonas dos montantes, por forma a permitir a aplicação das forças concentradas relativas à operação de substituição dos aparelhos de apoio.

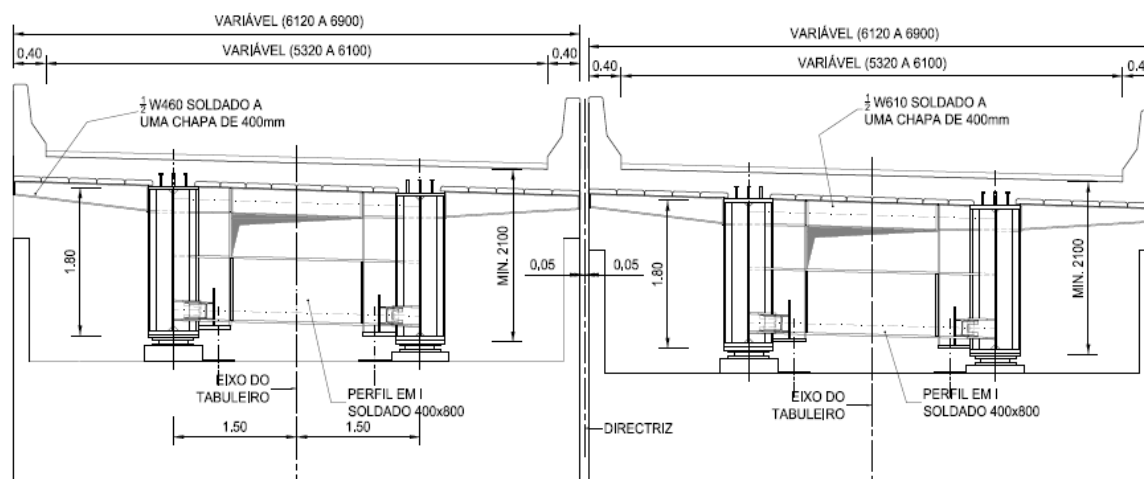


Fig. 5. Viaduto das Missões A e B – seção transversal no encontro.

As ligações de continuidade entre os vários troços das vigas longitudinais são efetuadas por cobre-juntas (chapas de aço de ambos os lados dos elementos a unir), aparafusadas ao nível das mesas e da alma com parafusos pré-esforçados.

Nos casos em que os elementos a unir apresentam espessuras diferentes, chapas de forra interpostas entre as chapas cobre-juntas asseguram um nivelamento adequado.

4.4 Pilares e encontros

Os pilares são compostos por fustes retangulares com 1,20 m de comprimento por 2,00 m de largura, encabeçados por travessas que servem de apoio a cada tabuleiro.

Os pilares de transição são compostos por fustes retangulares com 1,50 m de comprimento por 2,00 m de largura e possuem travessas com geometria semelhante à dos restantes pilares e largura suficiente para acomodar os apoios dos dois tabuleiros dos sub-viadutos adjacentes.

Os encontros em betão armado são compostos por fustes retangulares de suporte à mesa de apoio dos tabuleiros.

A fundação dos pilares e dos encontros é do tipo indireta, por meio de agrupamentos de estacas-raiz com 0,50 m de diâmetro solidarizadas por maciços de encabeçamento em betão armado.

5 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Para a construção dos tabuleiros, as soluções previstas obrigam ao recurso a meios de elevação para a montagem das vigas metálicas e seus contraventamentos. As soluções recorrem à pré-fabricação da estrutura metálica em fábrica, montagem por troços em zona próxima da obra, com a união dos diversos elementos da estrutura metálica por meio de ligações aparafusadas, e colocação da estrutura metálica na posição definitiva. Segue-se colocação de pré-lajes e a betonagem “in-situ” da laje. Os tabuleiros serão montados tramo a tramo, com juntas de construção a quintos de vão, seguindo sequencialmente do encontro E1 para o encontro E2.

Em face da reduzida altura da rasante ao solo, os tabuleiros são montados com recurso a auto-gruas trabalhando a partir do terreno.

Em resumo, o faseamento construtivo é o seguinte:

- Execução das fundações dos pilares e encontros;
- Construção da elevação dos pilares e encontros;
- Pré-fabricação da estrutura metálica do tabuleiro em fábrica;
- Pré-fabricação das pré-lajes em betão armado;
- Transporte da estrutura metálica do tabuleiro para o local da obra;
- Execução, no local da obra, das ligações aparafusadas, entre troços das longarinas e entre as longarinas e os elementos metálicos transversais, perfazendo o tramo a montar;
- Colocação da estrutura metálica, tramo a tramo, na posição definitiva;
- Colocação das pré-lajes;
- Betonagem da laje do tabuleiro;
- Acabamentos.

Os processos previstos permitem uma grande rapidez de execução do tabuleiro assim que os pilares e encontros estejam finalizados.

6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

A regulamentação adotada na verificação da segurança estrutural do tabuleiro foi:

Ações:

- NBR 6123:1988 – Forças devidas ao Vento em Edificações
- NBR 7188:2013 – Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela Pedestre
- NBR 8681:2004 – Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento

- EN1991 (Eurocódigo 1): Ações em estruturas

Verificações de Segurança:

- NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento
- EN1993 (Eurocódigo 3): Projeto de estruturas de aço
- EN1994 (Eurocódigo 4): Projeto de estruturas mistas aço-betão

Materiais:

- NBR 7480:2007 – Aço destinado a Armaduras para Concreto Armado – Especificação
- NBR 8953:2009 – Concreto para Fins Estruturais – Classificação pela Massa Específica, por Grupos de Resistência e Consistência.

Outros:

- DNER – Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais

A análise das estruturas submetidas às ações regulamentares foi efetuada por métodos numéricos realizados em computador através de programas de cálculo estrutural, quer de aplicação geral, quer especificamente desenvolvidos para o cálculo de obras de arte.

Dos programas de aplicação geral recorreu-se prioritariamente ao programa SAP2000, recorrendo a modelos de barras tridimensionais e a modelos de elementos finitos de casca em função do tipo de análise efetuada.

7 MATERIAIS

Os materiais a utilizar na execução das obras de arte foram ditados pela necessidade de garantir não só a resistência, mas também a durabilidade das obras. As estruturas foram classificadas como sendo da classe de agressividade ambiental II - Ambiente “Urbano” de acordo com a NBR 6118. Os materiais adotados foram os indicados no quadro 2 e no quadro 3.

Quadro 2. Betões

Elemento	Classe de resistência	Classe de agressividade ambiental
Fundações	C30	CAA II
Elevação de pilares e encontros	C30	CAA II
Tabuleiro	C35	CAA II

Quadro 3. Aços

Aço	Qualidade / Tipo	Norma
Armadura Passiva	CA-50	NBR 7480
Aço estrutural em chapas ou em perfis	ASTM A588 ou USI-SAC 350	ASTM
Parafusos	ASTM A325 Tipo 3	ASTM

8 CONCLUSÕES

Apresentaram-se neste artigo as soluções estruturais adotadas e os condicionamentos que presidiram a escolha destas soluções nos viadutos de acesso aos terminais das Missões e das Margaridas no corredor BRT na AV. Brasil, no Rio de Janeiro.

A adoção de soluções de tabuleiros mistos aço-betão têm inúmeras vantagens neste tipo de obra conforme se evidenciou ao longo do artigo, tendo nestas obras permitido:

1. dispensar a utilização de cavaletes;
2. minimizar as interferências na circulação na Av. Brasil;
3. encurtar os prazos de construção;
4. reduzir os trabalhos a realizar no local;
5. racionalizar os métodos construtivos e os equipamentos envolvidos;
6. e ainda respeitar um traçado com geometria complexa.

9 AGRADECIMENTOS

À equipa de projeto da COBA S.A. e da COBA Brasil pelo empenho, dedicação e dinamismo na realização deste projeto.

10 REFERÊNCIAS

1. Corredor exclusivo de BRT entre o centro do Rio de Janeiro e Deodoro (Lote 2 – da passarela nº2 da Av. Brasil a Deodoro). Projeto executivo. Viaduto das Missões.
2. Corredor exclusivo de BRT entre o centro do Rio de Janeiro e Deodoro (Lote 2 – da passarela nº2 da Av. Brasil a Deodoro). Projeto executivo. Viaduto das Margaridas.