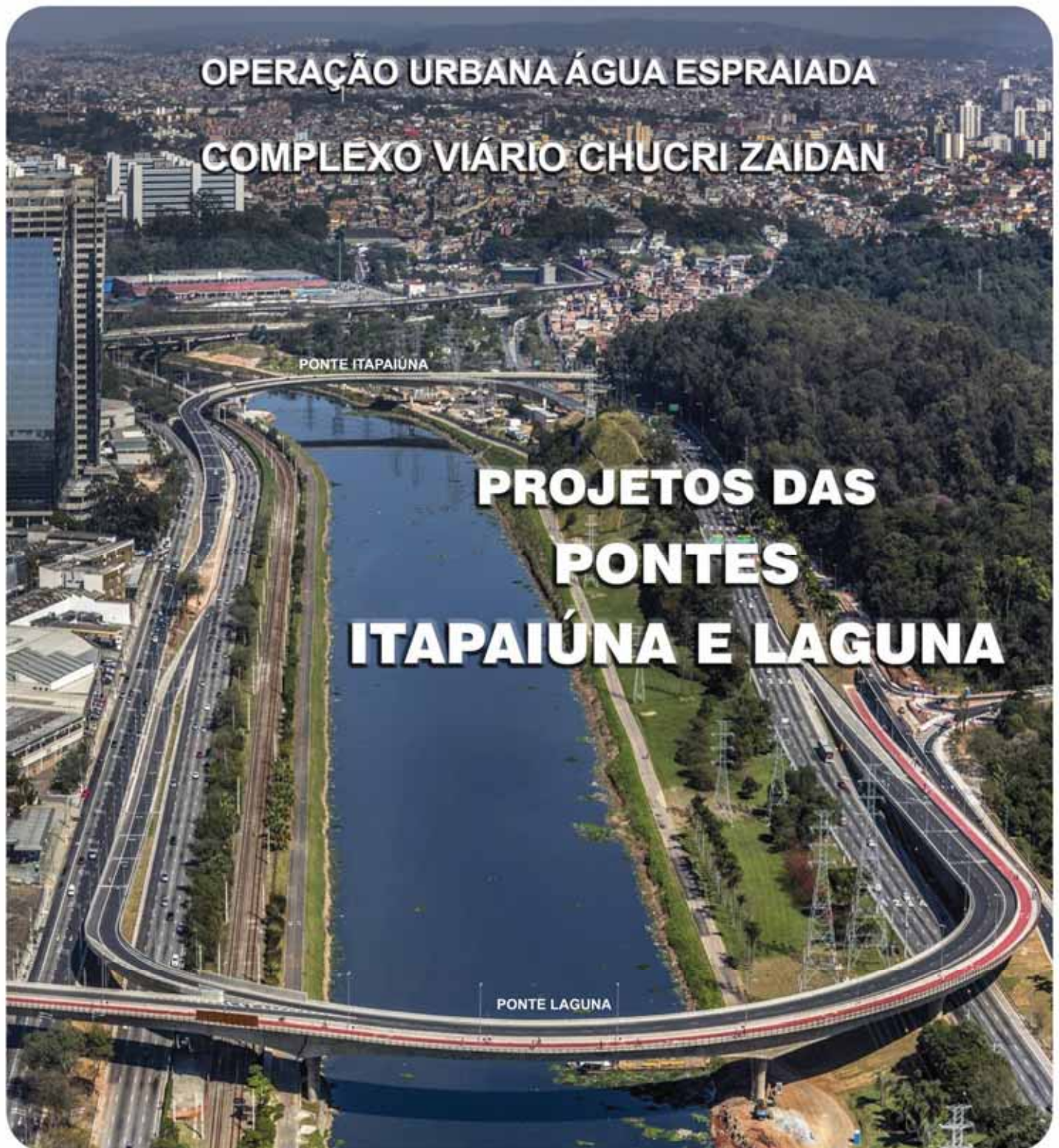


PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO
SIURB - SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA URBANA
SPOBRAS

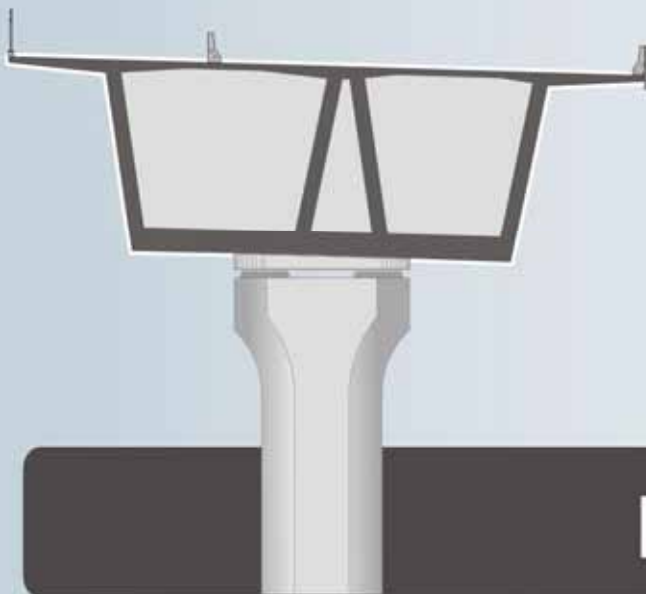
OPERAÇÃO URBANA ÁGUA ESPRAIADA
COMPLEXO VIÁRIO CHUCRI Z AidAN



**PROJETOS DAS
PONTES
ITAPAIUNA E LAGUNA**

maubertec

maubertec



DESCRITIVO DO PROJETO

PONTE LAGUNA

INTRODUÇÃO	3
DESCRIÇÃO DA OBRA	4
• Sistema Viário	4
• Concepção da Superestrutura	8
• Concepção dos Pilares	11
• Escolha do tipo de Fundação	12
• Configuração dos Blocos dos Apoios	13
• Encontros	14
• Aparelhos de Apoio	17
• Juntas de Dilatação	19
• Processo e Sequência Construtiva	20
• Análise Estrutural	22
• Protensão	24
• Concreto	24
• Apoios Provisórios no Rio	25
CONCLUSÃO	27

INTRODUÇÃO

A ponte Laguna se insere no complexo viário da Av. Chucri Zaidan, intervenção viária de grande vulto no âmbito da Operação Urbana Consorciada Água Espraiada, conduzida pela SPObras.

Fazem parte dessa intervenção, além da ponte Laguna, a ponte Itapaiuna e o prolongamento da Av. Chucri Zaidan em uma extensão de 3150 km, até atingir a Av. João Dias, proporcionando melhorias no trânsito local, além de, nesse trecho, constituir opção complementar à Av. das Nações Unidas.

As pontes permitem, além de retornos nas avenidas Marginal e Nações Unidas, a ligação entre os bairros do Morumbi e Chácara Santo Antonio.

DESCRIÇÃO DA OBRA

- **Sistema Viário**

O sistema viário em que a ponte Laguna se insere é composto pelas avenidas Chucri Zaidan e Nações Unidas, no trecho entre as pontes João Dias e Morumbi, e pelas avenidas Marginal e Itapaiuna no bairro do Morumbi. As pontes Laguna e Itapaiuna, de sentidos únicos e opostos, promovem a interligação dessas avenidas.

Os acessos à ponte Laguna são constituídos pelos Ramos A e B (ver Figura 1a e b) que coletam os tráfegos que procedem da Av. Chucri Zaidan e da Av. das Nações Unidas, respectivamente, descarregando-os na outra margem do rio Pinheiros, na Av. Marginal, onde se encontram acessos também à Av. Itapaiuna e ao bairro do Morumbi.

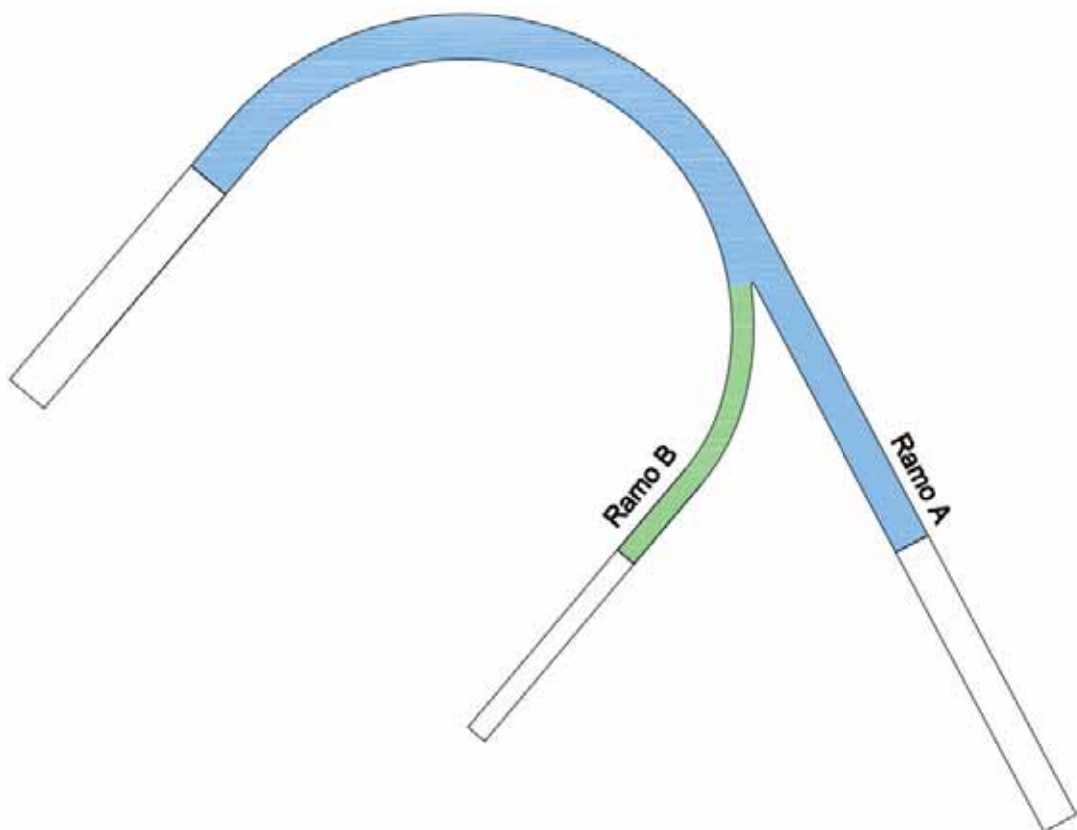


Figura 1a – Planta Geral



Figura 1b – Identificação dos Ramos A e B

O acesso ao Ramo A, na Rua Laguna, se dá a partir da Av. Chucuri Zaidan através de um viário local e o acesso ao Ramo B, a partir da pista expressa da Av. das Nações Unidas. Na outra margem, o tráfego da ponte descarregado na Av. Marginal, tem acesso à Av. Itapaiúna por uma saída lateral situada nas proximidades da ponte Itapaiúna.

A ponte Itapaiúna, por sua vez, exerce função análoga, mas no sentido inverso, sendo acessada também por dois ramos: um, que parte da Av. Itapaiúna, e outro que parte da pista da Av. Marginal, descarregando seu tráfego na Av. das Nações Unidas, com acesso à Av. Chucuri Zaidan, configurando-se, assim, um binário.

A ponte Laguna, além de proporcionar a ligação veicular descrita, dispõe de uma pista para ciclovia compartilhada com passeio que interliga as redes de ciclovias de ambas as margens do rio Pinheiros, além de propiciar acesso ao Parque Burle

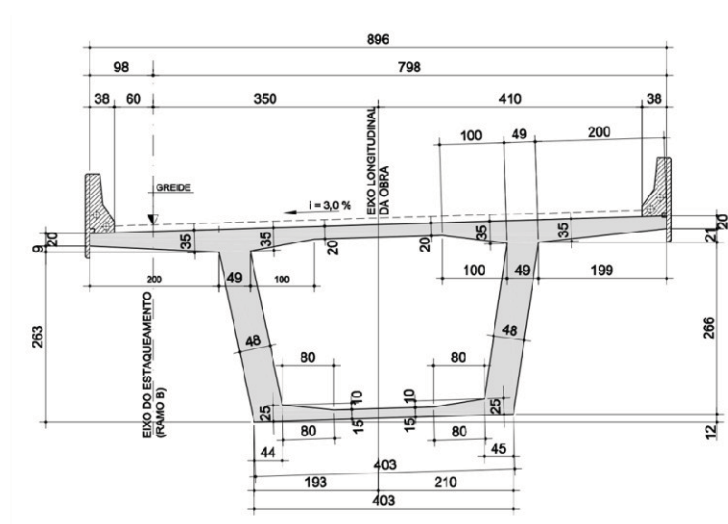


Figura 4 – Seção Típica Ramo B

Para atendimento à geometria requerida pelo viário, a ponte tem uma configuração curva em planta, com raio relativamente pequeno de 123,00m e uma declividade transversal de 3%.

- **Concepção da Superestrutura**

A concepção da superestrutura partiu da compatibilização da ligação viária a ser implantada com o viário inferior a ser transposto e com a restrição de colocação de pilares definitivos no leito do rio Pinheiros, em decorrência da navegação que ali ocorre. Além desses condicionantes, as interferências com redes elétricas aérea e subterrânea de alta tensão, com redes de gás e de drenagem e com o interceptor de esgotos da Sabesp, constituíram fatores também determinantes do posicionamento dos apoios da superestrutura.

O atendimento a todas essas condicionantes foi possível mediante a realização de estudos detalhados que levaram ao estabelecimento da seguinte configuração e das seguintes extensões dos vãos da ponte (ver Figura 5):

Ramo A:

- Encontro 1, denominado “Caixa 1”: 132,00m;
- Encontro 1 ao apoio AP1: 61,00m;
- Apoio AP1 ao apoio AP2: 91,00m;
- Apoio AP2 ao apoio AP3: 103,00m;
- Apoio AP3 ao apoio AP4: 57,00m;
- Apoio AP4 ao apoio AP5: 61,00m;
- Apoio AP5 ao Encontro 2: 51,00m; e,
- Encontro 2, denominado “Caixa 2”: 117,00m.

Ramo B:

- Encontro 3, denominado “Caixa 3”: 95,00m;
- Encontro 3 ao apoio AP6: 60,00m;
- Apoio AP6 ao apoio AP2: 92,00m.

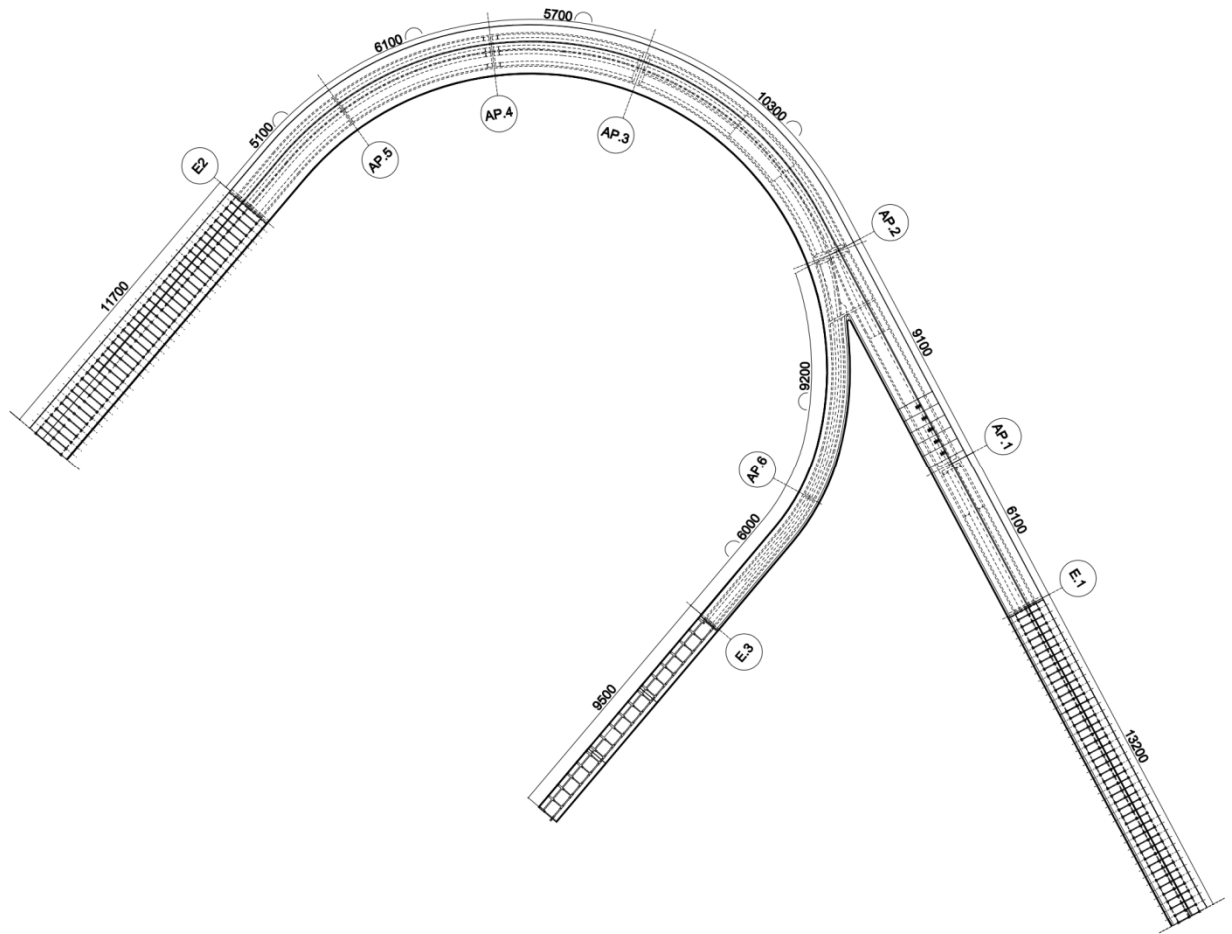


Figura 5 – Locação dos apoios e comprimentos dos vãos

A extensão total da obra perfaz 920,00m com uma área de tabuleiro de 13785,15 m².

A configuração geométrica da obra, curva em planta, com duas rampas de acesso em formato de “Y” em uma das margens, associada a um tabuleiro relativamente largo, conduziu à escolha de uma superestrutura em concreto protendido e em seção celular, com altura de construção variável de 6,00m a 3,00m para o vão sobre o rio e seus adjacentes, tendo sido determinada para os demais uma altura constante de 3,00m.

A seção transversal escolhida nos Ramos de acesso A e B foi a unicelular com balanços de 3,00m e 2,00m respectivamente. Após o encontro dos dois Ramos a seção adotada foi a de duas células com balanços de 3,00m, como consequência

da fusão de duas almas das seções unicelulares em uma (ver Figura 6). Essa configuração permitiu que o lançamento da cablagem na região do nó do “Y” fosse facilitado, evitando descontinuidades.

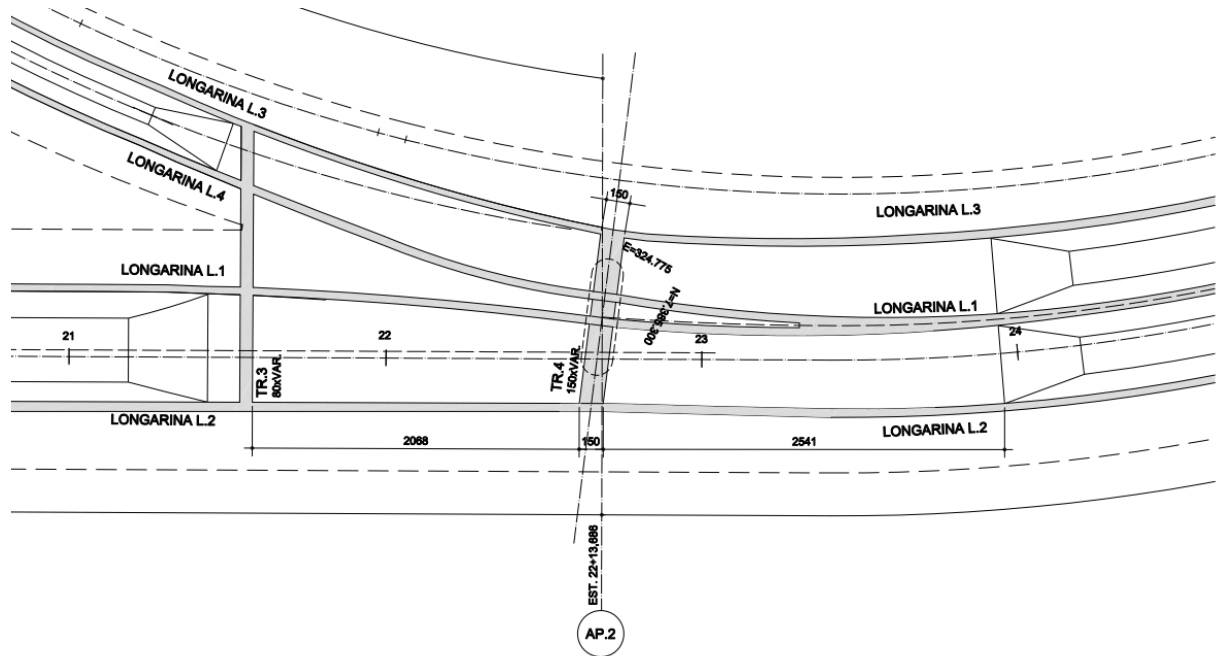


Figura 6 – Unificação das longarinas no encontro dos Ramos A e B

Objetivando proporcionar maior conforto ao usuário e reduzir as demandas de manutenção, a superestrutura foi executada sem juntas, limitando-as apenas aos encontros.

A geometria relativamente complexa da ponte decorrente de sua curvatura e da configuração em “Y” na junção dos Ramos A e B, exigiu estudos cuidadosos dos esforços produzidos pelas deformações elástica, lenta de retração, e dos efeitos da variação térmica, em função das vinculações estabelecidas nos aparelhos de apoio.

Os deslocamentos horizontais relativamente grandes, associados às reações de apoio também altas, conduziram à adoção dos aparelhos tipo Vasoflon fixos, unidirecionais e multidirecionais.

Os aparelhos foram dispostos em dupla na cabeça dos pilares, de forma a poderem absorver momentos de torção.

As transversinas foram limitadas aos apoios e a uma única na junção das seções unicelulares (ver Figura 6).

- **Concepção dos Pilares**

Os pilares foram concebidos em forma de cálice convergindo para um fuste com seção transversal circular para as cargas menores, e com seção composta por um trecho central retangular, concordando nas suas extremidades com dois semicírculos, para as cargas maiores. Essa composição permitiu manter para todos os pilares a mesma forma curva do fuste, variando apenas o núcleo central retangular, o que viabilizou uma otimização no reaproveitamento das formas dos pilares (ver Figura 7).

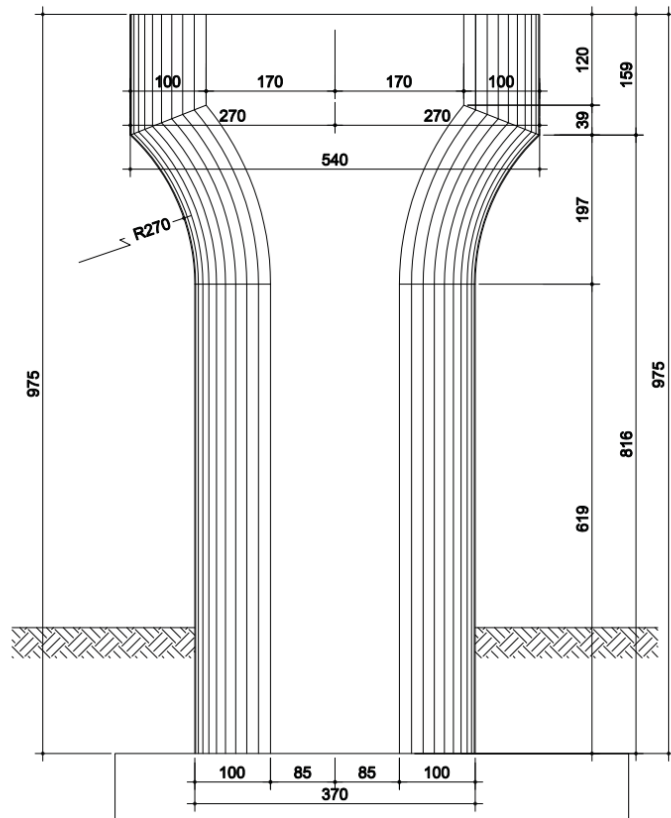


Figura 7 – Forma do Pilar AP2

- **Escolha do tipo de Fundação**

As sondagens executadas recomendaram fundação profunda. Para os pilares foram adotadas estacas escavadas de diâmetros de 1,50m e 2,00m (estacões). Nos encontros, onde as cargas são menores, foram utilizadas estacas raiz com diâmetro de 0,41m.

O centro de gravidade do estaqueamento foi disposto de forma coincidente com as resultantes das reações de apoio nos pilares, decorrentes do peso próprio, de forma a resultar, para esse carregamento, uma distribuição uniforme de cargas nos estacões.

A presença de dutos enterrados de cabos de alta tensão da CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista na margem do rio, junto à linha da CPTM, foi elemento condicionante para o posicionamento do apoio AP2, o mais carregado da ponte, e também para o arranjo dos estacões.

O interceptor de esgotos da Sabesp, por sua vez, determinou o posicionamento dos estacões do apoio AP6 do Ramo B e a distribuição das estacas raiz da “Caixa 3”, tendo sido evitado qualquer risco de interferência. A localização exata do interceptor demandou a execução de plano extenso e detalhado de sondagens exploratórias.

- **Configuração dos Blocos dos Apoios**

Em sua maioria, os blocos tiveram a configuração usual paralelepípedica, com a face superior horizontal e a inferior alinhada com o centro de gravidade dos estações. Fugiram a essa condição os pilares que foram afetados pela presença das interferências já mencionadas, como são os casos dos apoios AP2 e AP6.

A Figura 8 mostra o posicionamento do bloco e dos estações no apoio AP2, em decorrência da presença dos dutos de cabos da CTEEP.

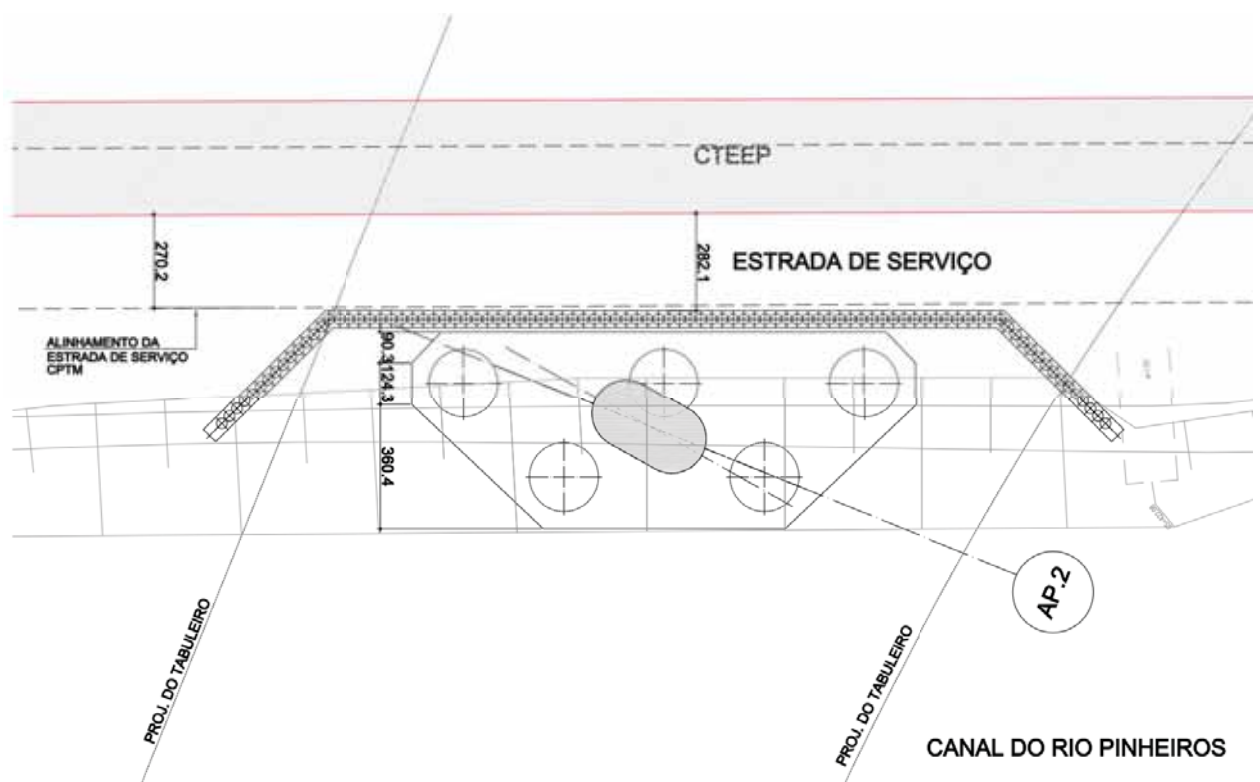


Figura 8 – Locação AP2

Na Figura 9 é indicada a solução adotada para a configuração do bloco e a disposição dos estações do apoio AP6, para evitar a interferência representada pelo interceptor de esgotos da Sabesp.

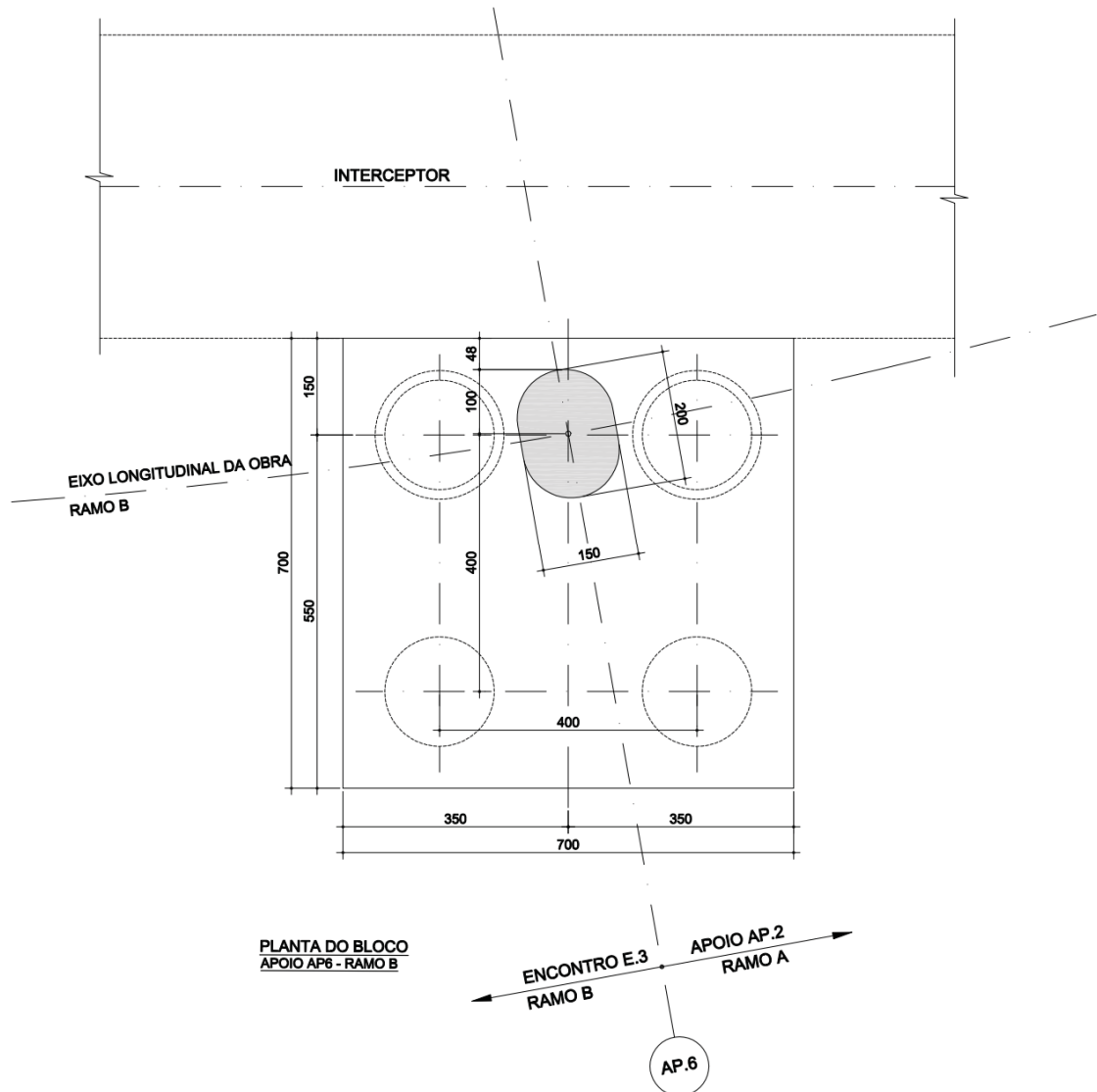


Figura 9 – Locação AP6

- **Encontros**

Todos os encontros foram estruturados no formato de caixas compostas por quatro paredes verticais, duas no sentido longitudinal da ponte e duas no sentido transversal.

As paredes longitudinais foram apoiadas em estacas raiz e também na travessa do pilar de extremidade que funciona como primeira parede transversal. Na

extremidade final a parede transversal de fechamento se prolonga até a extremidade do balanço, de onde partem os dois muros de ala.

Como a laje de cobertura possui um vão relativamente grande, definido pela distância entre as paredes longitudinais, foi criada mais uma linha de apoio de estacas raiz entre as paredes, dividindo, assim, o vão da laje. O travamento do estaqueamento foi proporcionado transversalmente por uma viga ligando as três estacas, uma em cada parede longitudinal e uma central. A linha central de estacas entre as paredes foi travada a cada par por uma viga longitudinal. O tabuleiro foi constituído por dois balanços acompanhando a configuração da superestrutura e pela laje central dividida em duas lajes armadas em uma direção. Como os encontros são relativamente longos, foram previstas juntas a cada 40,00m, aproximadamente (ver Figura 10).

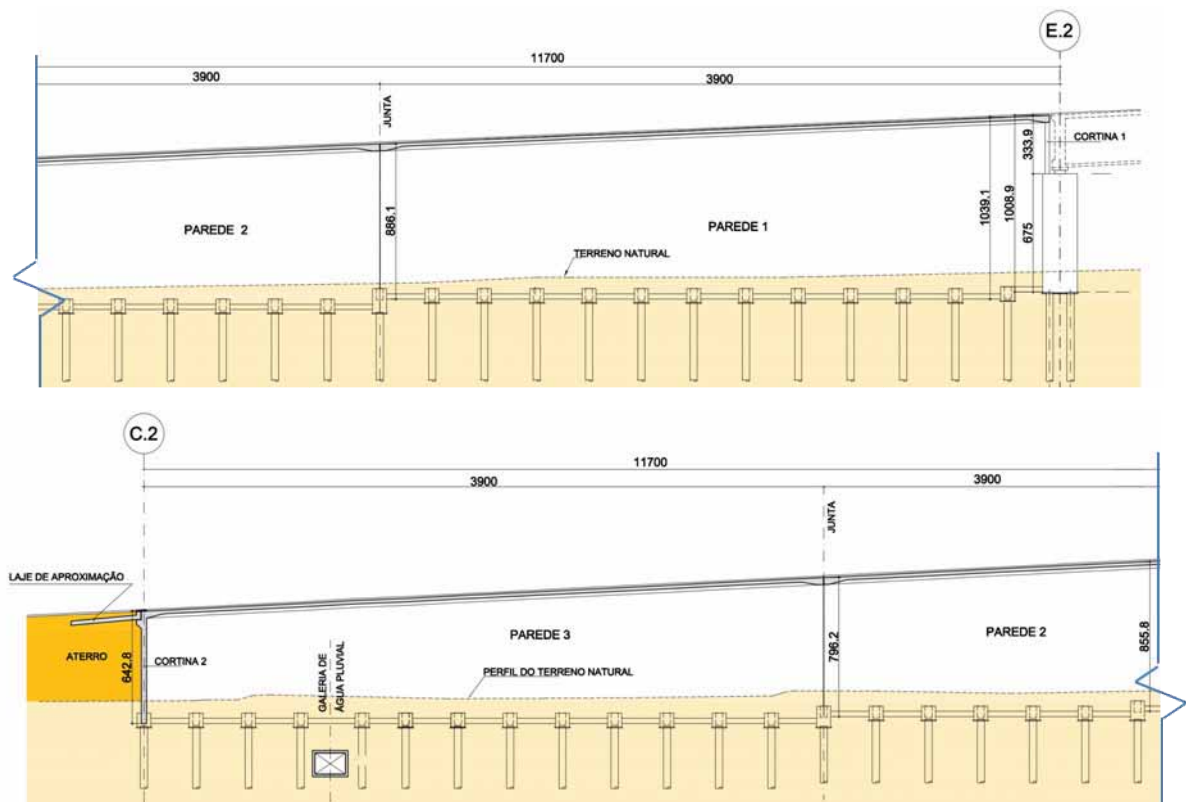


Figura 10 – Elevação Caixa 2

- **Aparelhos de Apoio**

A especificação dos aparelhos de apoio Vasoflon foi feita a partir da carga vertical máxima atuante, considerando a configuração de dois aparelhos por apoio com capacidade para absorver momentos de torção a partir do nível de restrição ao movimento horizontal estabelecido. A configuração geométrica da obra em planta apresenta um nível de complexidade que exigiu estudos detalhados para o estabelecimento da melhor configuração dos aparelhos no que tange a restrições aos movimentos horizontais oriundos das deformações elásticas, por retração, por deformação lenta, térmica, do processo construtivo e da geometria complexa. Esta configuração não deveria, por um lado, desenvolver esforços solicitantes indesejáveis na superestrutura e, por outro, deveria evitar que houvesse desalinhamento excessivo entre o encontro e a superestrutura. O resultado final dos estudos indicou a seguinte configuração:

Apoio	Id	Carga Nominal [kN]	Tipo	Direcionamento
E1	Esq	7500	Multidirecional	
	Dir	7500	Multidirecional	
AP1	Esq	25000	Unidirecional	Paralelo ao eixo da obra
	Dir	25000	Multidirecional	
AP2	Esq	40000	Unidirecional	Direcionado ao aparelho fixo do AP3
	Dir	35000	Multidirecional	
AP3	Esq	35000	Fixo	
	Dir	30000	Multidirecional	
AP4	Esq	25000	Multidirecional	
	Dir	25000	Multidirecional	
AP5	Esq	25000	Unidirecional	Paralelo ao eixo da obra
	Dir	25000	Multidirecional	
E2	Esq	12000	Multidirecional	
	Dir	12000	Multidirecional	
E3	Esq	6500	Multidirecional	
	Dir	6500	Multidirecional	
AP6	Esq	16000	Unidirecional	Paralelo ao eixo da obra
	Dir	16000	Multidirecional	

Inicialmente foi estabelecido o ponto fixo no apoio AP2, porém, em decorrência das restrições impostas pelos cabos da CTEEP na configuração dos estacões, foi necessário alterar o ponto fixo para o apoio AP3.

A Figura 12 indica os posicionamentos e as direções dos aparelhos na fase final da obra. No período de execução os aparelhos de apoio foram provisoriamente bloqueados para garantir à superestrutura uma vinculação adequada aos pilares para cada fase construtiva. Os estudos dos deslocamentos foram realizados considerando todas as fases construtivas de forma evolutiva.

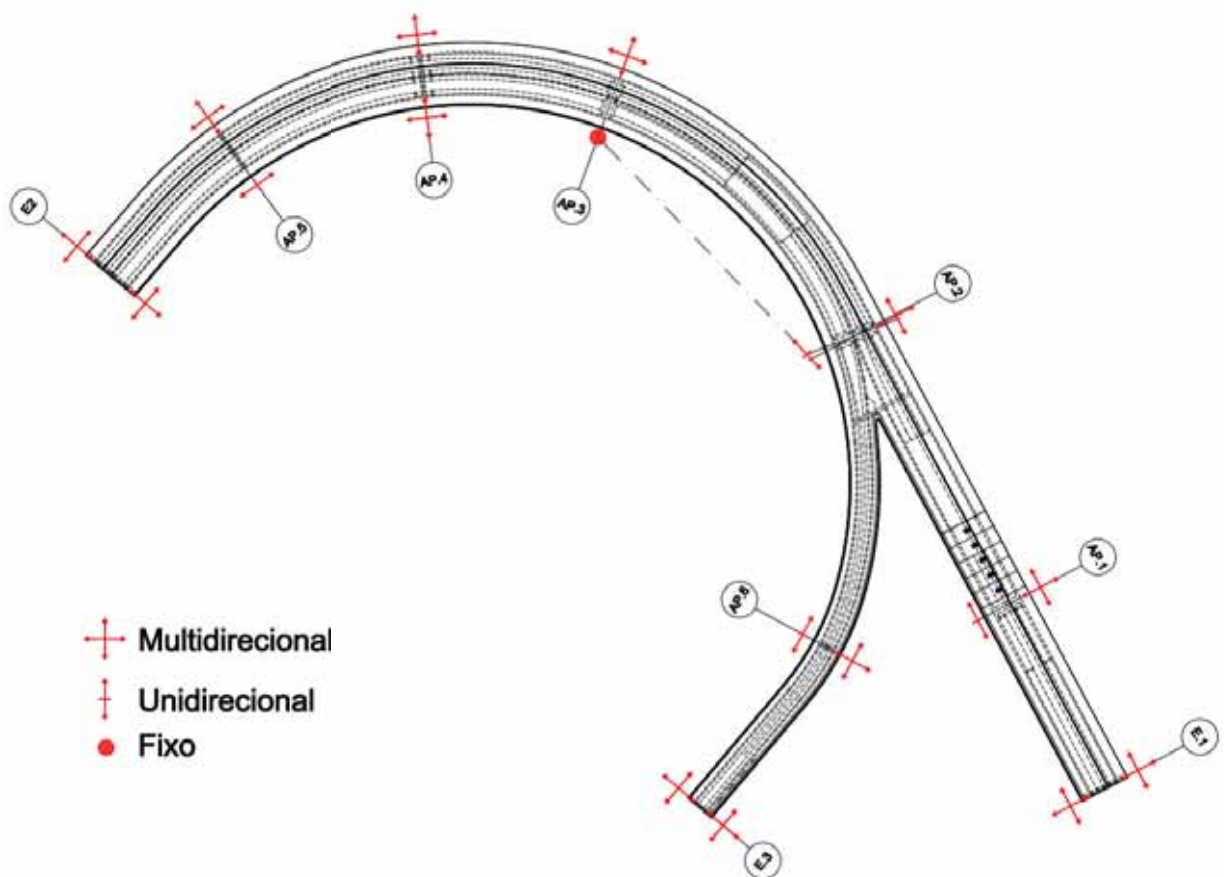


Figura 12 – Disposição e direcionamento dos aparelhos de apoio

- **Juntas de Dilatação**

A obra tem três juntas de extremidades nos encontros E1, E2 e E3. Foi especificada a junta Jeene, adequando o tipo aos movimentos previstos longitudinal e transversalmente (ver Figura 13).

A distribuição das juntas e os respectivos deslocamentos longitudinais e transversais resultaram os seguintes:

Junta	Tipo	Desloc. Long.	Desloc. Transv.
E1	JJ170120CP	10,00 cm	3,00 cm
E2	JJ170120CP	11,00 cm	5,00 cm
E3	JJ170120CP	15,00 cm	3,00 cm

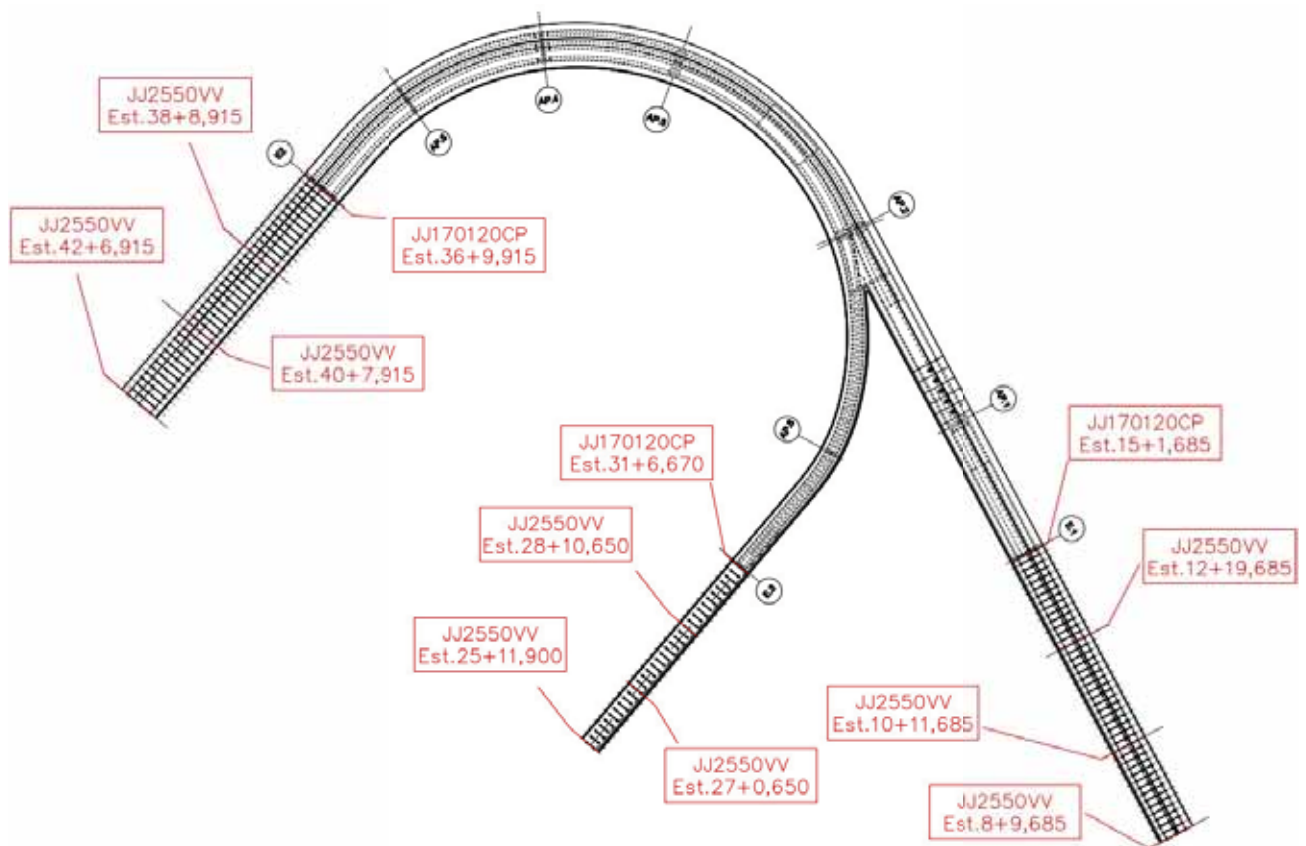


Figura 13 – Disposição das juntas de dilatação

- **Processo e Sequência Construtiva**

Como se pode observar na descrição da obra, a ponte possui larguras de tabuleiros bastante grandes e raio de curvatura relativamente pequena. Em função destas características, e buscando configurações de pilares e de superestrutura que agregassem esteticamente ao entorno, a opção adotada foi pela execução da obra moldada “in loco”, na sua maior extensão sobre cimbramento, tendo sido utilizado o processo de balanços sucessivos apenas em um trecho sobre a Av. das Nações Unidas, o que liberou o trânsito de qualquer interferência na pista local da avenida.

Os trechos moldados “in loco” sobre cimbramento foram executados por vãos, complementados por um balanço do vão seguinte e em seguida protendidos e descimbrados. O escoramento utilizado foi do tipo tubular e nos casos de travessia de veículos foi deixado um gabarito de passagem executado com vigas metálicas.

A EMAE – Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A. autorizou a utilização de dois pilares provisórios no leito do rio desde que, após a execução, fossem completamente retirados, liberando totalmente o canal de navegação, considerando a cota de fundo prevista em seu aprofundamento projetado. Durante o período de construção foi deixado um gabarito para navegação de 5,50m.

A sequência de execução dos vãos foi forçosamente ajustada à liberação de interferências, entre elas a autorização da CPTM para a montagem do escoramento sobre suas linhas e o alteamento da linha de transmissão da Eletropaulo que impedia a execução do vão entre os apoios AP3 e AP4.

Na Figura 14 são indicadas as fases executivas na sequência estabelecida em projeto, evidenciando o fechamento do vão central entre os apoios AP3 e AP4 na Fase 6, e o “Y” entre os apoios AP1, AP2 e AP6, na última Fase 7.

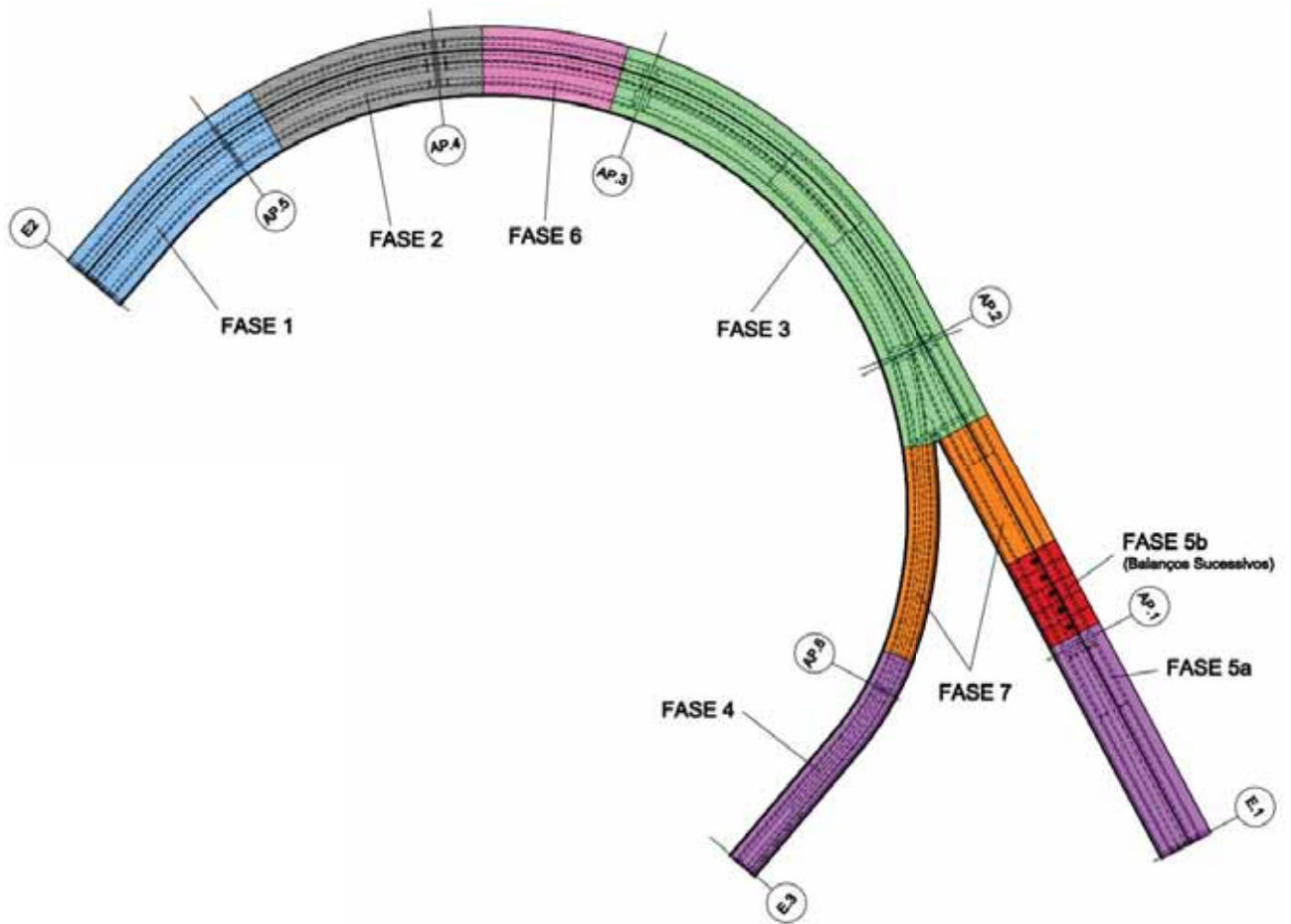


Figura 14 – Fases construtivas

Esta sequência executiva, no entanto, teve uma alteração na fase de implantação que resultou na execução das Fases 1 e 2 em uma única Fase.

O processo executivo foi fator determinante para a configuração do traçado da cablagem e demandou inúmeras verificações nas fases de protensão.

- **Análise Estrutural**

Os estudos iniciais foram realizados com a modelagem da superestrutura considerando a hipótese de comportamento de barras (ver Figura 15).

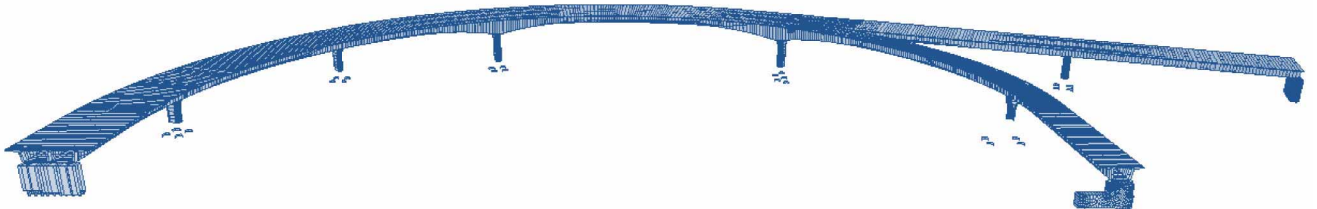


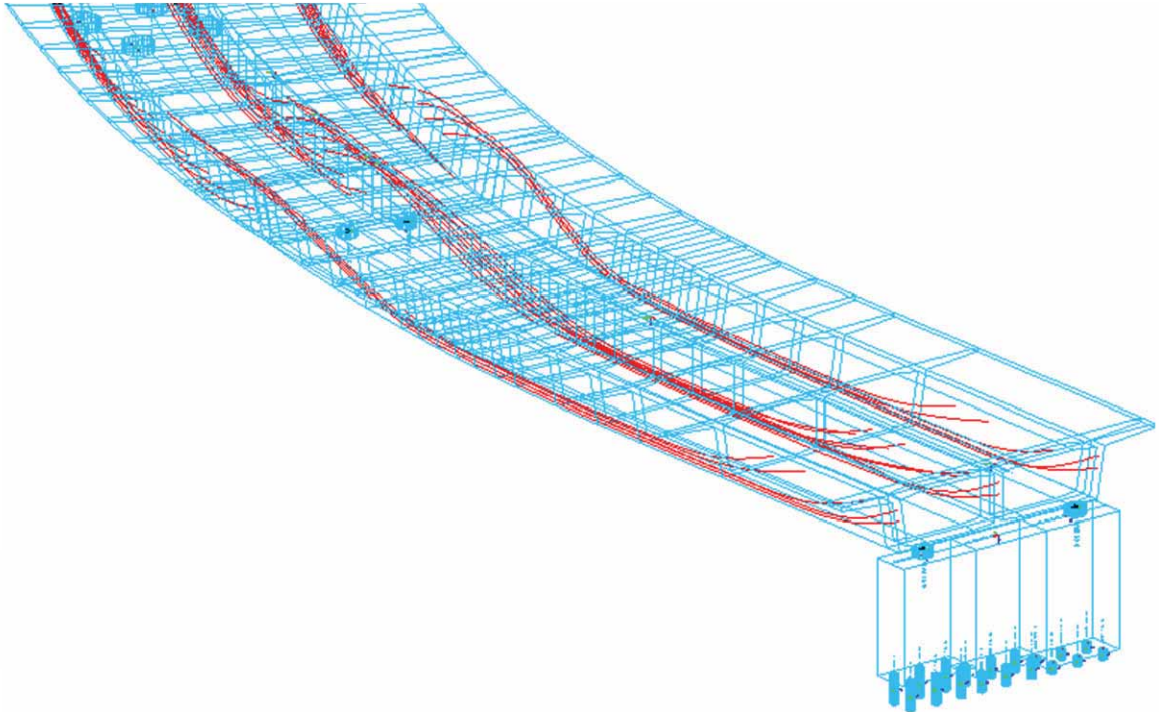
Figura 15 – Modelo tridimensional em elementos de barra

A partir desse modelo foram realizados os pré-dimensionamentos da superestrutura, uma avaliação preliminar da cablagem de protensão, e da vinculação da superestrutura aos pilares, bem como os direcionamentos dos aparelhos de apoio, de forma a minimizar os esforços horizontais gerados pelas deformações elásticas, lenta por retração do concreto e por variação térmica, bem como minimizar os desalinhamentos da superestrutura com os encontros em decorrência das deformações, conforme já mencionado.

A configuração geométrica bastante curva da superestrutura, associada à variabilidade das seções transversais provocada pela junção dos Ramos A e B, a ausência de transversinas intermediárias e um processo construtivo bastante parcializado, recomendou a modelagem da superestrutura em elementos de chapa, os pilares como barras, os blocos como elementos rígidos e os estações como apoios. A cablagem foi modelada por processo desenvolvido pela Maubertec, tendo sido utilizado o Software Sofistik para o processamento do conjunto.

A Figura 16 (a e b) mostra o modelo da superestrutura e da cablagem.

a)



b)

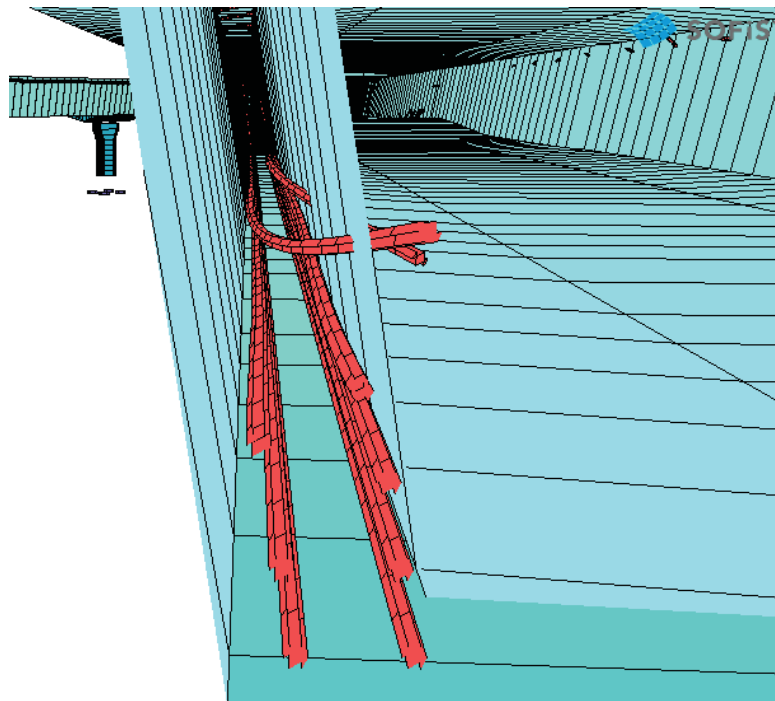


Figura 16 (a e b) – Cablagem modelada em 3D

- **Protensão**

A protensão da superestrutura foi realizada utilizando-se cabos de alta potência compostos por 19 e 27 cordoalhas de 15,2 mm de diâmetro de aço CP 190 RB. As transversinas de apoio das seções com larguras de tabuleiro maiores (AP1 com 15,10m, AP2 com 19,55m, AP3, AP4 e AP5 com 18,61mm) foram protendidas, tendo sido utilizados em algumas delas cabos com 19 cordoalhas e a Protbar PSB 1080.

No trecho executado em balanços sucessivos foram utilizados cabos com 12 cordoalhas de 15,2mm.

Os cabos foram montados com enfição posterior, com algumas poucas exceções. Nas transversinas foram pré-montados em decorrência da utilização de ancoragens passivas.

Em função da alta potência dos cabos, estudos detalhados de introdução de carga nas saídas dos cabos foram realizados com o objetivo de se obter o fluxo e o nível das tensões principais nessas regiões, de maneira a permitir uma correta disposição das armaduras.

- **Concreto**

O concreto para a superestrutura, a mesoestrutura e os blocos foi especificado com $f_{ck} = 40$ MPa e para os estacões $f_{ck} = 25$ MPa

Foi ainda especificado que todo o concreto da estrutura fosse refrigerado, com o objetivo de que fossem evitadas fissurações nas fases de pega e cura. Por oportuno, cabe dizer que essa providência tem-se mostrado extremamente eficaz, até mesmo em casos de envelopamento de estruturas já existentes.

Foram feitas dosagens para atender a várias situações de densidade de armaduras para garantir um adequado adensamento do concreto.

O resultado confirmou as expectativas e, de fato, não foram constatados problemas de fissuração ou de adensamento do concreto na estrutura.

- **Apoios Provisórios no Rio**

Os apoios provisórios dentro do rio tiveram suas fundações feitas com estações de 1,30m de diâmetro, escavados em rocha por dentro de camisas metálicas de 2,20m de diâmetro, cravadas até o início da rocha. Por dentro das camisas metálicas foram montados perfis metálicos que ficaram embutidos e concretados em cerca de 4,50m dentro dos estações (ver Figura 17).

No trecho livre dentro da camisa foi deixada uma emenda parafusada a cerca de 2,00m do fundo do rio para facilitar a desmontagem futura do pilar metálico e, assim, atender às especificações da EMAE de ter o leito do rio totalmente livre de interferências.

Sobre estes pilares metálicos, parcialmente embutidos nos estações, foi montada uma plataforma, também metálica, de onde saíram os pilares de apoio das treliças metálicas utilizadas para vencer os três vãos de cerca de 37,00m entre os apoios provisórios e definitivos do vão sobre o rio (ver Figura 18).

A estrutura utilizada foi toda metálica para facilitar a desmontagem, o que ocorreu após a concretagem e a protensão das Fases 6 e 7. Em operação sequenciada, a emenda em flange parafusada do pilar foi liberada em trabalho submerso, o pilar desmontado, e retirados os tubos cravados, por segmentos, em decorrência do gabarito criado pela presença da superestrutura já executada.

CONCLUSÃO

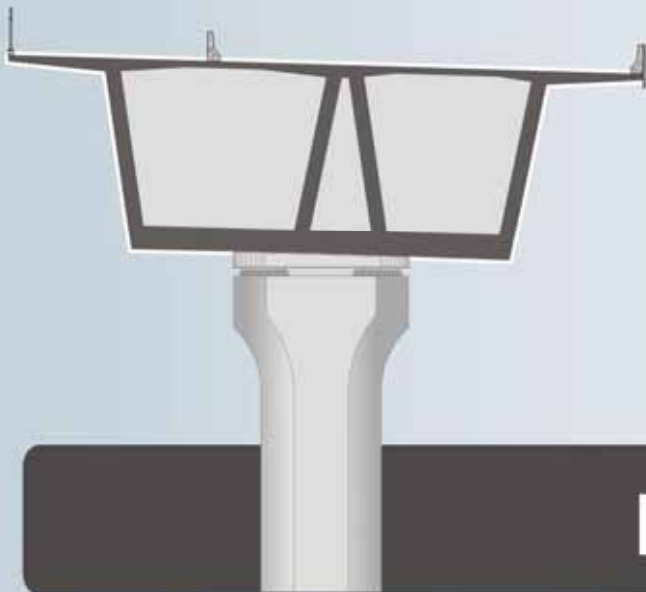
Procurou-se abordar os aspectos mais relevantes do projeto da Ponte Laguna, cuja execução ocorreu em perfeito entrosamento das equipes de projeto e do Consórcio Panamby, chave do sucesso do empreendimento.

Deseja-se agradecer inicialmente à equipe da Maubertec pela dedicação e o empenho no enfrentamento do desafio de um projeto complexo, a partir de uma metodologia nova com novos recursos de softwares complementados por desenvolvimentos internos durante a elaboração do projeto. O agradecimento estende-se também às demais equipes que participaram do empreendimento, pelo elevado espírito profissional, dedicação, colaboração e integração manifestados durante os períodos de projeto e de execução da obra.

Participaram do Empreendimento:

Proprietário:	Prefeitura do Município de São Paulo SIURB – Secretaria de Infraestrutura Urbana
Responsável / Empreendedora:	SPObras - São Paulo Obras
Executora:	Consórcio Panamby (Construbase Engenharia / S.A. Paulista)
Projetista:	Maubertec Engenharia e Projetos
Controle de Qualidade de Projeto (CQP):	Projenog
Protensão, Aparelhos de Apoio e Balanços Sucessivos:	Protende
Formas e Escoramentos:	ULMA Construction / Mills
Juntas:	Jeene Juntas e Impermeabilizações
Fundações:	Veríssimo Serviços de Fundações e Engenharia
Estrutura Provisória no Rio Pinheiros:	4R2A Estruturas Metálicas

maubertec



DESCRITIVO DO PROJETO

- ANEXOS -

PONTE LAGUNA

Relatório Fotográfico (Imagens fornecidas pela Construbase)

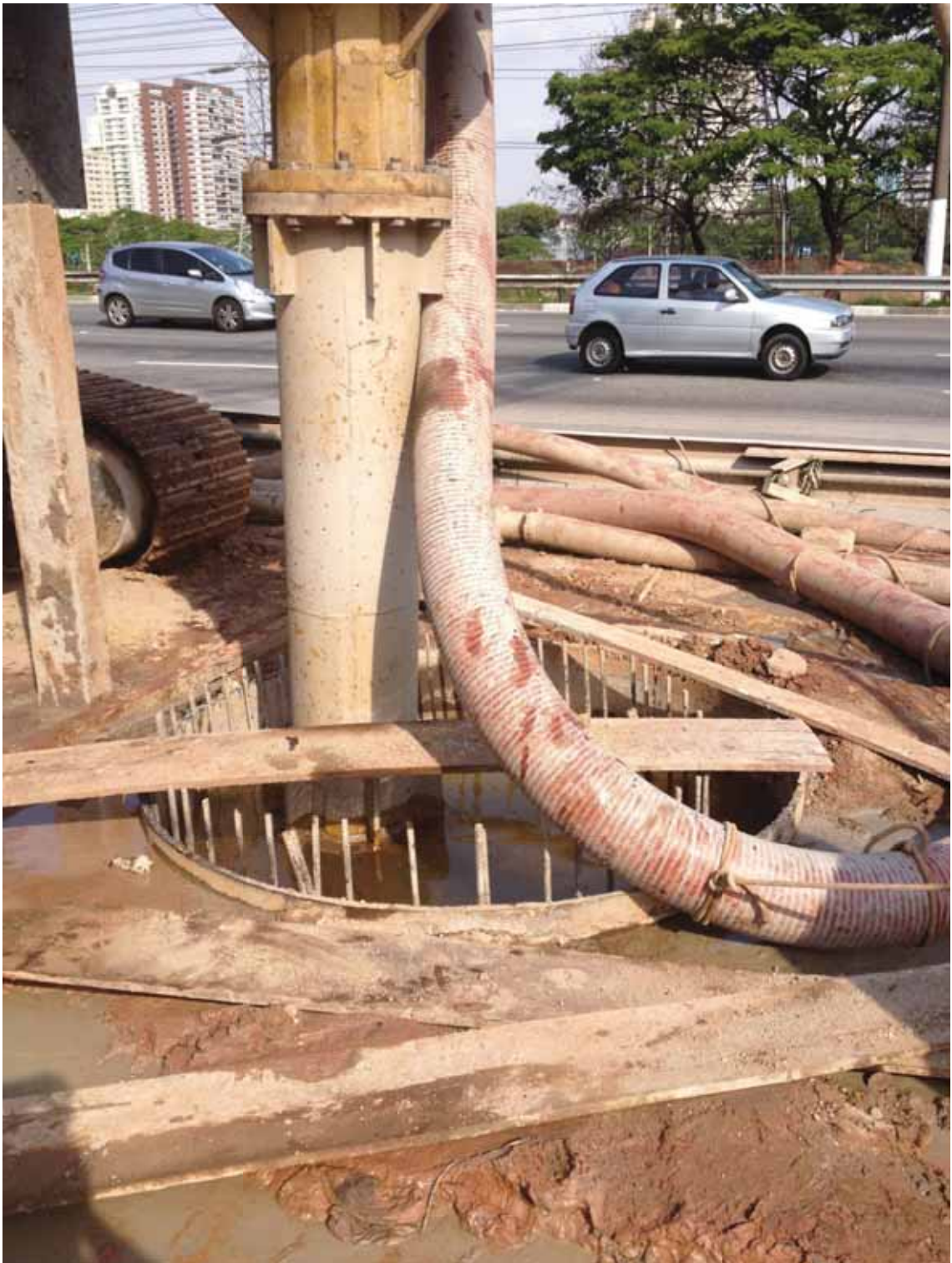


Foto 1 - Concretagem dos estações do AP5 [11/2014]



Foto 2 - Execução da Caixa 2 [12/2014]



Foto 3 - Execução do bloco do AP4 [02/2015]



Foto 4 - Pilar AP3 finalizado [06/2015]



Foto 5 - Fase 5a - Montagem da armação e bainhas de protensão sobre o pilar AP1 [06/2015]



Foto 6 - Montagem dos apoios provisórios sobre o Rio Pinheiros [07/2015]



Foto 7 - Fase 2 - Montagem de armação do balanço / Fase 4 - montagem de formas / Fase 5a - finalizada [07/2015]



**Foto 8 - Fase 4 - Montagem dos Aparelhos de apoio Vasoflon sobre o pilar AP6
[07/2015]**

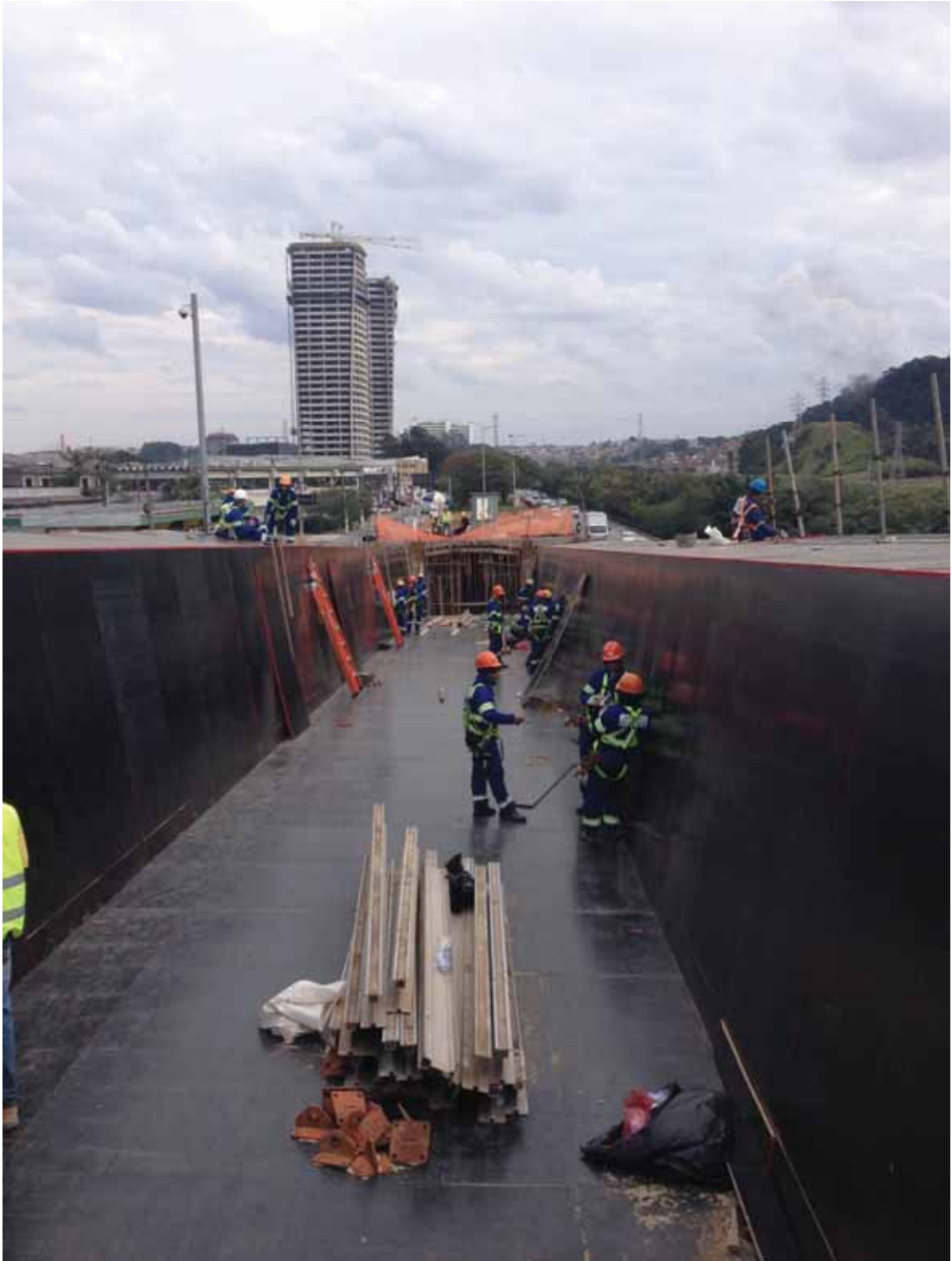


Foto 9 - Fase 4 - Montagem das formas do vão entre E3 e AP6 [07/2015]



Foto 10 - Fase 2 - Montagem de formas e armação [07/2015]



Foto 11 - Fase 5b - Treliça de balanços sucessivos da Protende montada sobre a aduela de disparo [09/2015]



Foto 12 - Fase 2 - Montagem de armação da transversina sobre o pilar AP4 [09/2015]



Foto 13 - Fases 1, 2, 4 e 5 - Finalizadas / Fase 3 - parcialmente executada / Fase 6 - em execução / Fase 7 - montagem de formas sobre o escoramento [10/2015]



Foto 14 - Fase 3 - Cimbramento vão entre AP2 e AP3 [10/2015]



Foto 15 - Fase 3 - Montagem de formas e armação entre AP2 e AP3 [10/2015]



Foto 16 - Fase 7 - parcialmente executada / Fase 6 - executada, porém ainda não solidarizada à Fase 3 [12/2015]



Foto 17 - Obra finalizada e desmonte dos apoios provisórios [04/2016]



Foto 18 - Encontro do Ramo A com a Caixa 2 [04/2016]



Foto 19 - Vista do acesso ao Ramo A [04/2016]



Foto 20 - Vista inferior do vão entre AP2 e AP3 [08/2016]



Foto 21 - Encontro dos ramos A e B sobre o pilar AP2 [08/2016]



Foto 22 - Vista inferior do vão entre AP2 e AP3 (foto tirada do AP3 em direção ao AP2) [08/2016]



Foto 23 - Vista inferior do vão entre AP3 e AP4 [08/2016]



Foto 24 - Vista inferior dos vãos entre AP1/AP6 e AP2 [08/2016]



Foto 25 - Vão entre AP2 e AP3 [08/2016]



Foto 26 - Pilar AP3 [08/2016]

maubertec



DESCRITIVO DO PROJETO

PONTE ITAPAIÚNA

INTRODUÇÃO	3
DESCRIÇÃO DA OBRA	4
A. Primeira Parte: Projeto para a SPOBras	4
• Sistema Viário	4
• Concepção da Superestrutura	7
• Concepção dos Pilares	12
• Escolha do Tipo de Fundação e Configuração dos Blocos	13
• Encontros	15
• Análise Estrutural	15
B. Segunda Parte: Projeto para a Odebrecht	18
• Sequência Construtiva e Métodos Construtivos da Superestrutura	18
• Impactos no projeto	21
• Duplo disparo sobre o Pilar AP5 – Frente 2	22
• Aparelhos de Apoio	30
• Juntas de Dilatação	31
• Blocos de Fundação dos apoios AP4, AP5 e AP6	33
• Encontro E1	36
• Encontro E2	38
• Encontro E3	41
CONCLUSÃO	42

INTRODUÇÃO

A Ponte Itapaiúna se insere em uma intervenção viária de grande vulto na Zona Sul da cidade de São Paulo que engloba mais dois significativos empreendimentos que são o prolongamento da Av. Chucri Zaidan até a Av. João Dias, e o binário constituído pelas pontes Laguna e Itapaiúna sobre o Rio Pinheiros.

Inicialmente, os projetos Básico e Executivo da ponte foram desenvolvidos pela Maubertec para a SPObras.

Posteriormente, ainda na sua fase de implantação, a ponte se tornou objeto de contrapartida viária, por polo gerador, através da lei Municipal 15.150 de 6 de maio de 2010, onde, se determinou a execução desta obra, pela compensação aos empreendimentos da Odebrecht Realizações, na região.

Assim, a descrição da obra é subdividida em duas partes: a primeira, referente ao desenvolvimento dos projetos básico e executivo para a SPObras, e a segunda, relativa ao desenvolvimento do Projeto Executivo para o Consórcio Complexo Itapaiúna, que foi o efetivamente implantado.

DESCRIÇÃO DA OBRA

A. Primeira Parte: Projeto para a SPOBras

- Sistema Viário

A Ponte Itapaiúna é composta por três ramos: Ramo Ponte, Ramo 100 e Ramo 200.

O Ramo Ponte, que interliga a Av. Itapaiúna com a pista local da Av. das Nações Unidas, é acessado a partir da pista expressa da Av. Marginal Pinheiros por meio do Ramo 100 na altura do Apoio AP4, situado junto à margem do Rio Pinheiros (ver Figura 1a, 1b e 2).

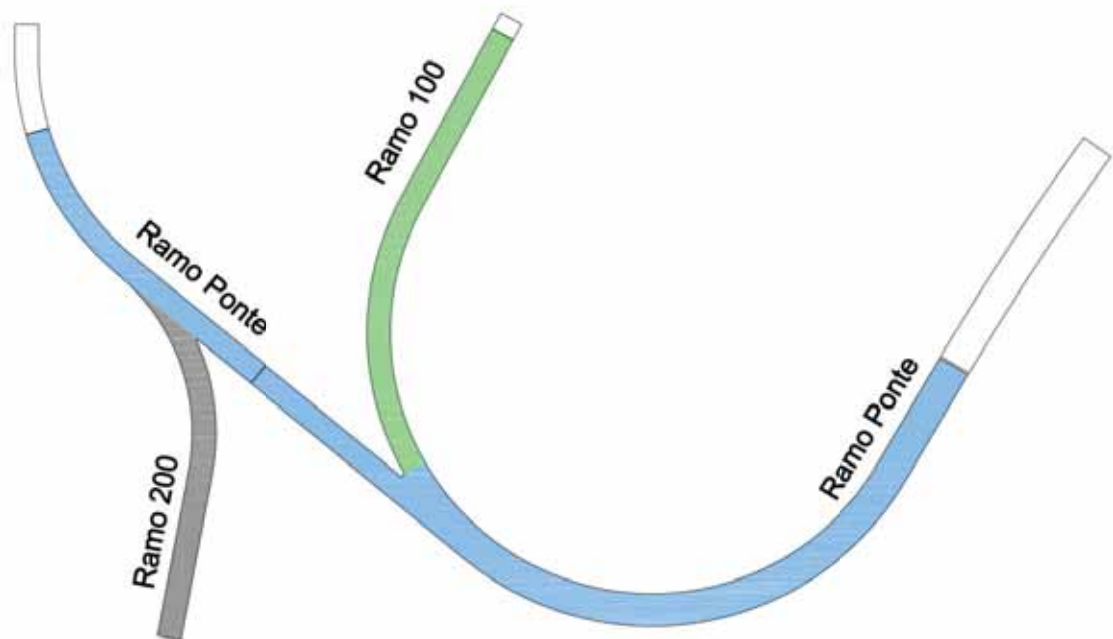


Figura 1a – Planta Geral



Figura 1b - Acesso ao Ramo Ponte através do Ramo 100

O acesso do Ramo Ponte ao futuro prolongamento da Av. Marginal Expressa do Rio Pinheiros, em direção a Interlagos, será feito por meio do Ramo 200, a partir do Apoio AP2 (ver Figura 2).



Figura 2 - Futuro Ramo 200

O Ramo 200 será executado quando da implantação do prolongamento da Av. Marginal Expressa.

A ponte tem, portanto, a função de interligar o bairro do Morumbi, através da Av. Itapaiúna, com a Av. das Nações Unidas na outra margem, e permitir, através do Ramo 100, o retorno do usuário que trafega pela Av. Marginal Pinheiros.

O Ramo 200, por sua vez, permitirá o acesso da Av. Itapaiúna à futura pista do prolongamento da Av. Marginal Expressa do Rio Pinheiros, no sentido de Interlagos.

Trata-se de uma geometria complexa decorrente dos diversos movimentos a serem atendidos.

O Ramo Ponte, até seu encontro com o Ramo 200 e com o Ramo 100, foi previsto com uma plataforma para duas faixas de rolamento de 3,50m e uma largura total de 8,96m, confinadas por guarda rodas nas extremidades. Essa mesma configuração foi definida para o Ramo 100 e para o futuro ramo 200.

A partir da junção do Ramo Ponte com o Ramo 100, nas imediações do Apoio AP4, o tabuleiro converge para uma plataforma com três faixas de rolamento de 3,50m e uma largura total de tabuleiro de 12,46 m.

Os inúmeros movimentos necessários para atender aos diferentes fluxos exigiu uma geometria com vários trechos curvos e com raios relativamente pequenos, da ordem de 100m.

As pistas possuem uma declividade constante transversal de 3% no sentido radial, voltada para o centro da curva.

Os gabaritos mínimos que foram atendidos são respectivamente de 5,50m para a passagem de veículos, 7,00m para a faixa sobre a ferrovia e de 13,00m x 40,00m

sobre o rio Pinheiros. Não foi permitida a implantação de pilares no leito do rio em decorrência de navegação existente. Esta condicionante exigiu um vão de 112,00m sobre o rio.

- **Concepção da Superestrutura**

A concepção da superestrutura teve que atender, por um lado, às características geométricas do traçado, o conforto do usuário e a durabilidade da estrutura e, por outro, às exigências dos gabaritos rodoviário, ferroviário e hidroviário, além de se compatibilizar com as interferências aérea e subterrânea das redes de alta tensão, drenagem, gás, esgotamento sanitário, e com estruturas já existentes, todas sem possibilidades de remanejamento, à exceção da rede aérea de alta tensão.

Complementarmente a esse conjunto de exigências, a obra deveria, dentro do possível, apresentar o melhor proporcionamento de vãos e de alturas de construção e agregar esteticamente ao entorno, de forma marcante.

A partir desse cenário buscaram-se soluções e alternativas que resultaram nas seguintes escolhas:

- A geometria curva da obra e a convergência de ramos sugeriu a adoção de uma estrutura em concreto protendido, com altura de construção variável no vão principal sobre o rio e nos dois adjacentes. Nos demais vãos a altura foi mantida constante.
- Sobre o rio estabeleceu-se um vão de 112,00m e para os adjacentes 78,91m e 84,40m no Ramo Ponte, e 79,60m para o Ramo 100 (ver Figura 3).

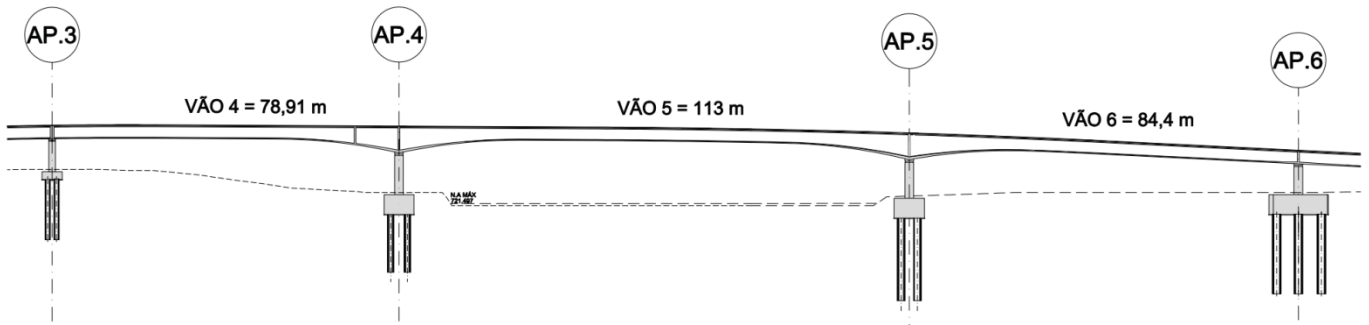


Figura 3 - Elevação - Vão central e adjacentes

- A altura de construção nos apoios do vão maior foi fixada em 6,00m ($h/l = 1:18,60$) e no meio do vão em 3,00m ($h/l = 1:37,33$). A altura de 3,00m foi assumida para o restante dos vãos.
- Após os ajustes com o viário inferior e a compatibilização com as interferências, chegou-se à seguinte disposição dos encontros e dos apoios (ver Fig. 1.a):

– **Ramo Ponte:**

Encontro: E1: 42,15 m;

Vãos: 45,00m; 55,00m; 27,30m; 78,91m; 112,00m; 84,40m e 61,60m;

Encontro: E2: 100,51m;

Comprimento do Ramo Ponte: 606,87m.

– **Ramo 100:**

Encontro: E3: 7,28 m;

Vãos: 55,00m; 55,00m; 79,60m;

Comprimento do Ramo 100: 196,88m.

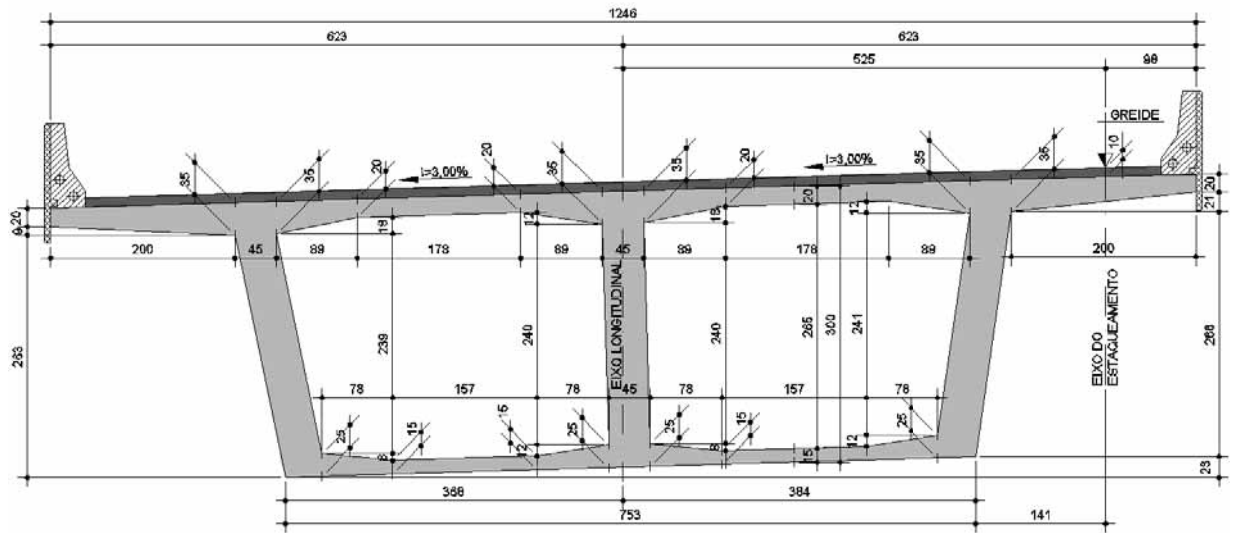


Figura 5 - Seção Típica - Ramo Ponte (AP4 – E2)

Apesar de a largura da seção ser relativamente modesta, a seção bicelular propiciou, através da alma interna, a fusão das almas das seções unicelulares no encontro do Ramo Ponte com o Ramo 100, mantendo a continuidade, e assim, favorecendo o lançamento dos cabos de protensão nas almas, na região de transição (ver Figura 6).

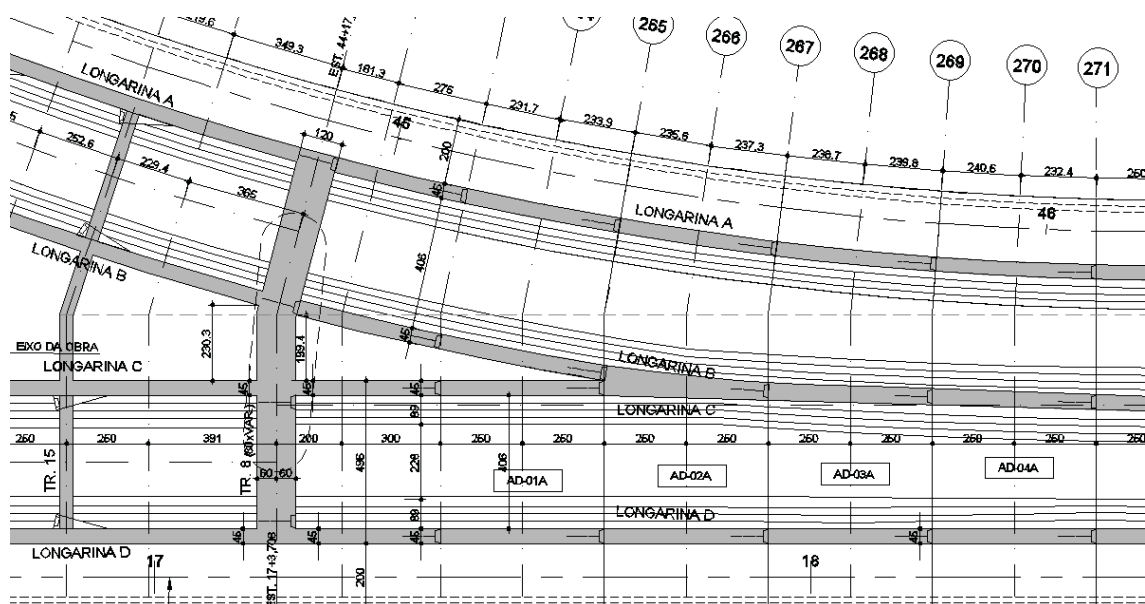


Figura 6 - Junção dos ramos Ponte e 100 - Unificação das longarinas B e C

Objetivando dar maior conforto ao usuário e reduzir pontos de transição que demandam maior manutenção, optou-se por restringir a quantidade de juntas na superestrutura aos encontros, e a uma única junta no tabuleiro, no Apoio AP3.

Em decorrência da geometria muito curva e complexa da obra, foram necessários estudos cuidadosos para estabelecerem-se os pontos fixos da obra e o direcionamento dos aparelhos de apoio, para minimizar a geração de esforços horizontais e deslocamentos significativos nos encontros que pudessem provocar desalinhamentos muito grandes da superestrutura com os encontros.

Os aparelhos de apoio escolhidos foram do tipo Vasoflon fixos, unidirecionais e multidirecionais.

Esses aparelhos, no geral, foram dispostos em dupla na cabeça dos apoios, dando condições para absorverem momentos de torção. Apenas no Apoio AP3, onde se localiza a junta de dilatação, optou-se por utilizar um único aparelho, abrindo-se mão de absorver o momento de torção em decorrência da desproporção do vão AP3 – AP2 em relação ao vão AP2 – AP1. Essa desproporção foi condicionada pela compatibilização com o viário inferior.

Também no Apoio AP5 optou-se por um único aparelho por razões decorrentes da geometria, como se verá mais adiante.

As transversinas foram limitadas aos apoios e às duas bifurcações decorrentes das junções das seções unicelulares, uma nas proximidades do Apoio AP2 (Ramo Ponte com Ramo 200) e outra do Apoio AP4 (Ramo Ponte com Ramo 100). Apesar da grande curvatura, a ausência de transversinas intermediárias facilitou bastante a execução.

- **Concepção dos Pilares**

Os pilares foram concebidos em forma de cálice convergindo para um fuste com seção transversal circular para as cargas menores, e com seção composta por um trecho central retangular, concordando nas suas extremidades com dois semicírculos, para as cargas maiores. Essa composição permitiu manter para todos os pilares a mesma forma curva do fuste, variando apenas o núcleo central retangular, o que viabilizou uma otimização no reaproveitamento das formas dos pilares (ver Figura 7a e 7b).

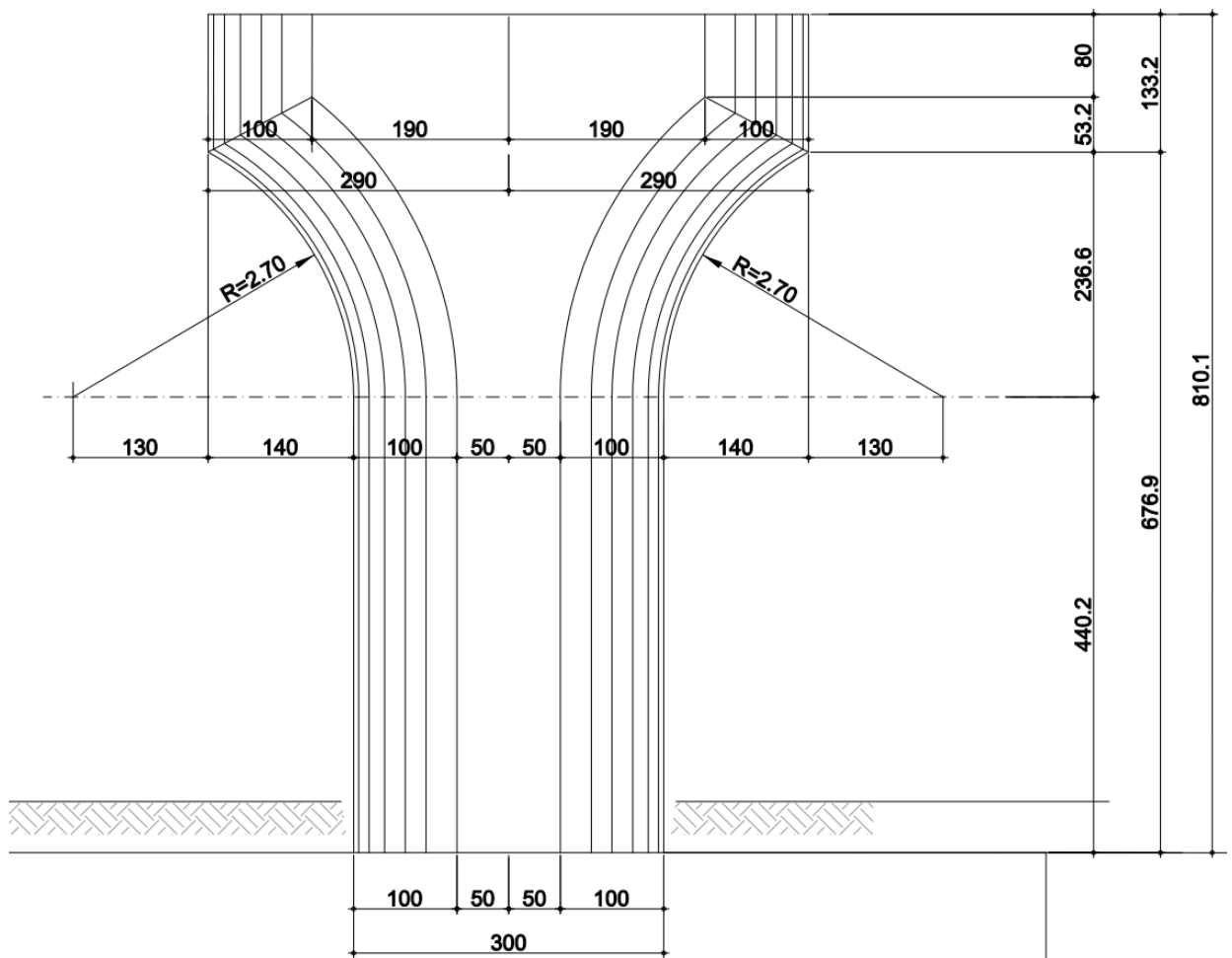


Figura 7a – Forma do pilar AP5;

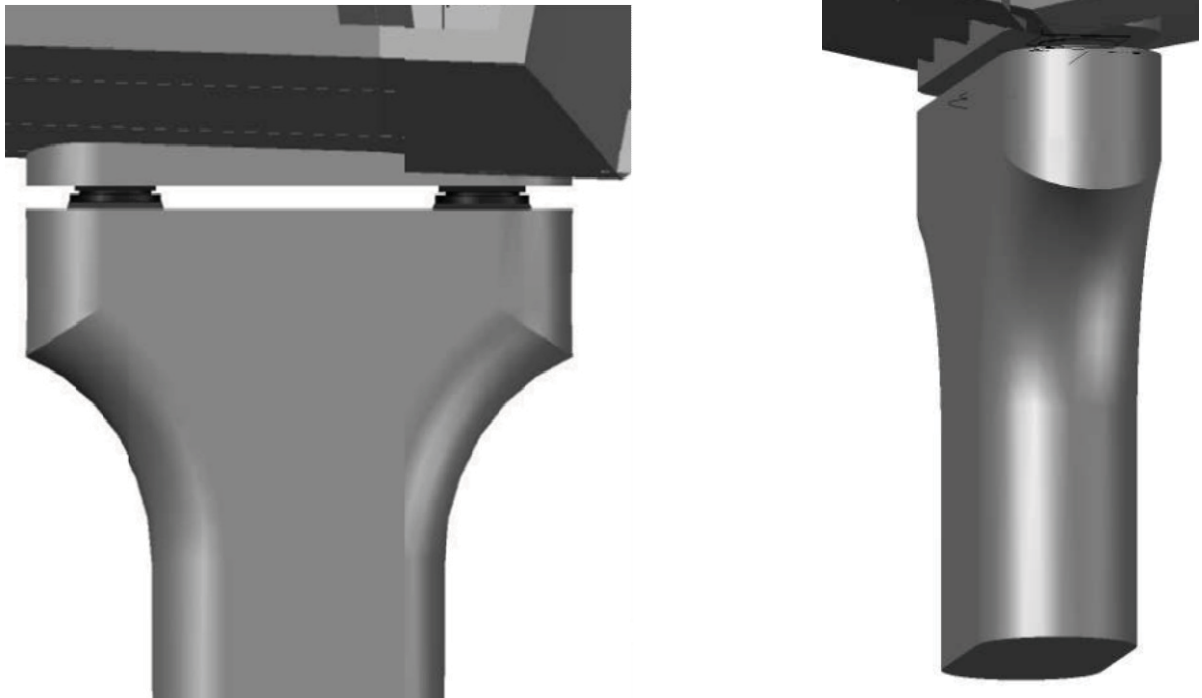


Figura 7b – Modelo tridimensional do pilar AP4;

- **Escolha do Tipo de Fundação e Configuração dos Blocos**

As características do perfil geotécnico junto aos apoios recomendaram dois tipos de fundação: uma delas em tubulão a ar comprimido e a outra em estacas escavadas de grande diâmetro, variando de 1,20m a 1,80m.

A opção escolhida foi a de estacas escavadas para todos os pilares, com exceção do apoio AP4 em que a solução adotada foi a de tubulão a ar comprimido, devido à interferência com a linha de alta tensão da Eletropaulo que necessitaria ser remanejada caso se adotasse a alternativa em estaca escavada.

Para os encontros onde as cargas eram menores, a fundação escolhida foi em estaca raiz, quando profunda, ou em sapata direta, quando rasa.

A opção pela estaca escavada foi decorrente da rapidez alcançada em sua implantação.

Como o remanejamento da linha da Eletropaulo se antecipou à execução dos tubulões, esse fato permitiu que se adotasse, também no Apoio AP4, a solução de fundação com estacas escavadas, ficando assim toda a superestrutura sobre o mesmo tipo de fundação.

Para alguns apoios a disposição das estacas escavadas teve que se adaptar à presença das interferências citadas.

Nos casos em que os pilares ficaram sujeitos a momentos transversais significativos devidos às cargas de peso próprio, portanto com a resultante de peso próprio fora de seu eixo, procurou-se dispor o centro de gravidade do estaqueamento no centro de gravidade das resultantes das cargas de peso próprio, de forma a uniformizar, ao máximo, as cargas nas estacas para esse carregamento.

Foram os casos das fundações dos apoios AP2, AP3, do Apoio AP4 que tangenciou uma ponte existente, do Apoio AP5 que interferiu com tubo de drenagem e teve que atender às condições das fases construtivas, e do Apoio AP6 que tangenciou o interceptor de esgotos da Sabesp.

Em sua maioria, os blocos tiveram uma configuração usual paralelepípedica, com a face superior horizontal e o pilar locado no eixo do bloco. Apenas os apoios mencionados no item anterior, pelas razões citadas, fugiram a esse critério (ver Figura 8).

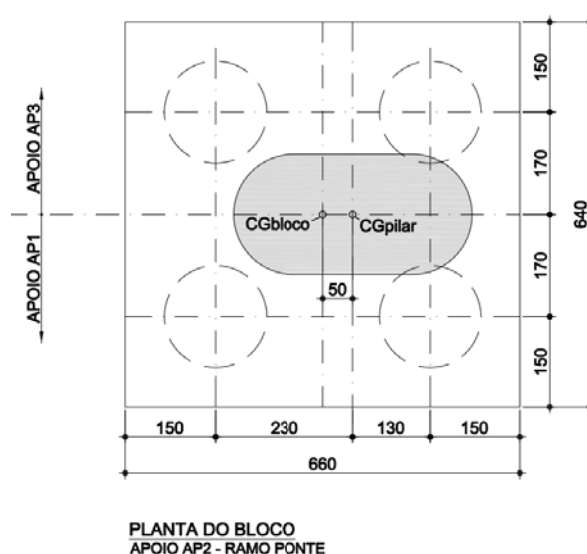


Figura 8 – Bloco AP2 (CG deslocado)

- **Encontros**

Os encontros foram concebidos em forma de caixa, em que o tabuleiro se apoia nas paredes, mantendo os mesmos balanços da seção transversal da superestrutura. As paredes, por sua vez, se apoiam em estacas raiz ou em fundação direta, conforme apresentado em corte genérico na Figura 9.

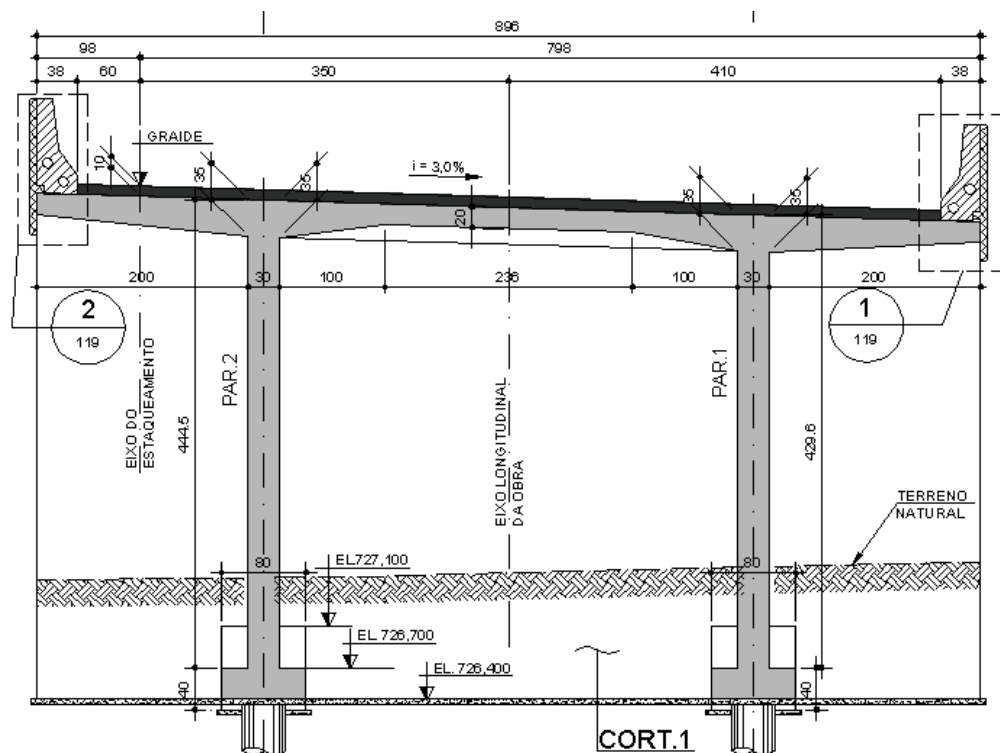


Figura 9 - Encontro estaqueado

- **Análise Estrutural**

Em função de sua grande curvatura, a obra foi inicialmente concebida como moldada “in loco”.

As análises estruturais da fase de Projeto Básico foram feitas a partir da simulação da superestrutura na configuração de barras, (ver Figura 10). Com essa simulação foi possível realizarem-se o pré-dimensionamento da estrutura e uma avaliação da cablagem de protensão, além de se estudar a vinculação da superestrutura aos

pilares e os direcionamentos dos aparelhos de apoio, de forma a minimizar os esforços decorrentes das deformações devidas à temperatura, às deformações elástica e lenta, e à retração.

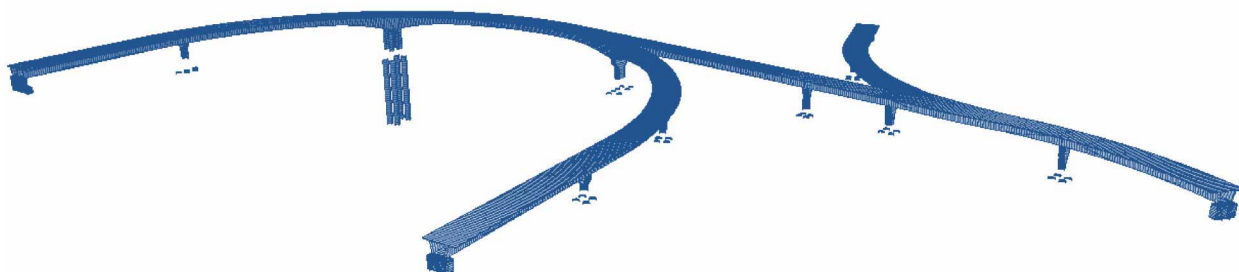


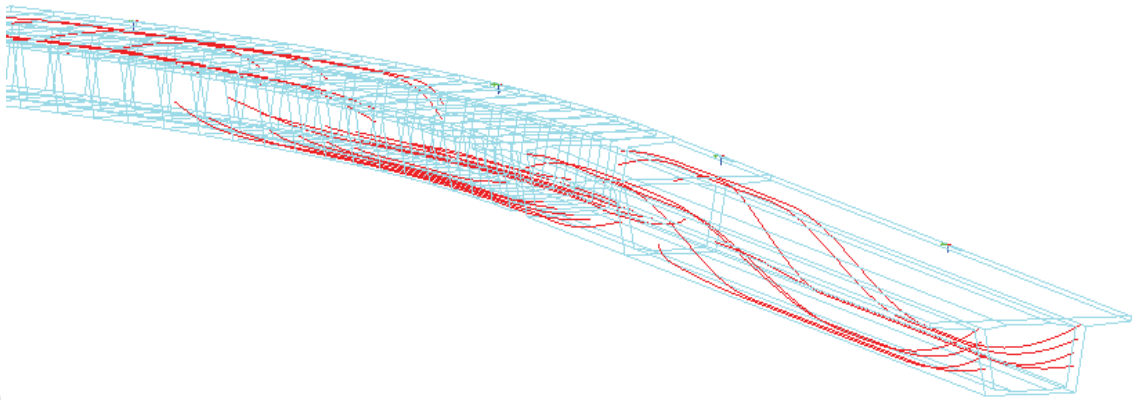
Figura 10 – Modelo tridimensional em elementos de barra

No Projeto Executivo, a complexidade da geometria da superestrutura, acrescida da decisão de não se utilizar transversinas intermediárias nos vãos, conduziu à decisão de se fazer a modelagem integral da estrutura por elementos planos e processá-la por elementos finitos, utilizando o software Sofistik.

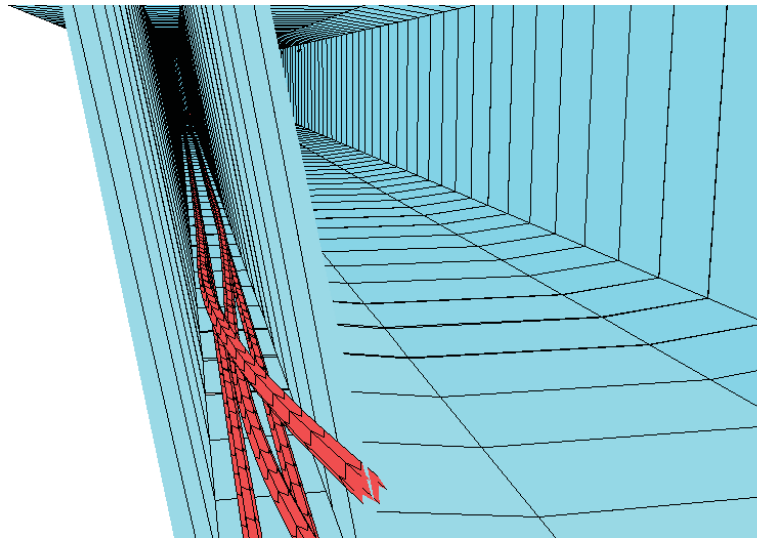
Analogamente, a partir de processos desenvolvidos internamente na Maubertec, modelou-se a cablagem, constituída por cabos de alta capacidade, de 27 cordoalhas, diâmetro de 15,2mm e aço CP 190RB, com o objetivo de reduzir a quantidade de cabos e economizar espaço para seu alojamento na estrutura. A visualização da modelagem é mostrada na Figura 11 (a, b e c).

O concreto especificado foi de $f_{ck} = 40$ MPa, refrigerado, para minimizar os riscos de fissuração decorrentes do calor de hidratação.

a)



b)



c)

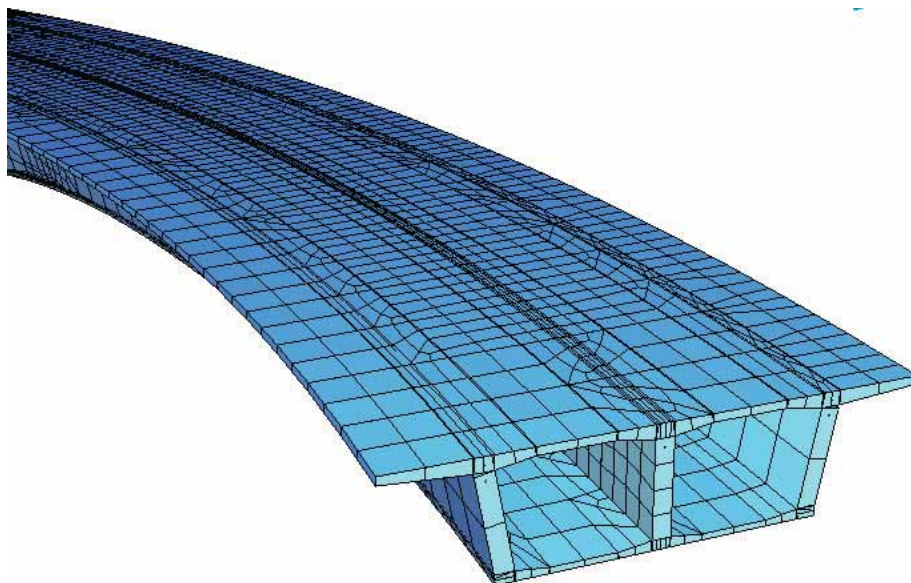


Figura 11(a, b e c) - Modelo tridimensional elaborado no software Sofistik

B. Segunda Parte: Projeto para a Odebrecht

- **Sequência Construtiva e Métodos Construtivos da Superestrutura**

Conforme apresentado anteriormente, a implantação do Ramo 200 está condicionada à ampliação da via expressa da Marginal Pinheiros e, portanto, foi remetida à outra fase que será implementada posteriormente.

O Consórcio Complexo Itapaiúna, decide contratar o reprojeto da ponte, para melhor atender suas estratégias e metodologias de construção, bem como considerar a situação da implantação futura do Ramo 200.

O planejamento inicial seria de executar o vão sobre o rio em balanços sucessivos, mantendo o restante da obra apoiada sobre cimbramento. Porém, para melhor adequação ao seu cronograma e às interferências existentes, essa alternativa evoluiu para uma configuração executiva em que os vãos entre os apoios AP6 e AP5, e entre os apoios AP5 e AP4, seriam executados por balanços sucessivos e os demais, cimbrados.

A Ponte foi então dividida em duas superestruturas independentes, separadas pela junta de dilatação sobre o pilar AP3. O trecho entre o encontro E1 e o apoio AP3 foi denominado Ponte 1 e o trecho compreendido entre o apoio AP3, e os encontros E2 e E3 foi denominado Ponte 2, conforme esquematizado na Figura 12 a seguir.

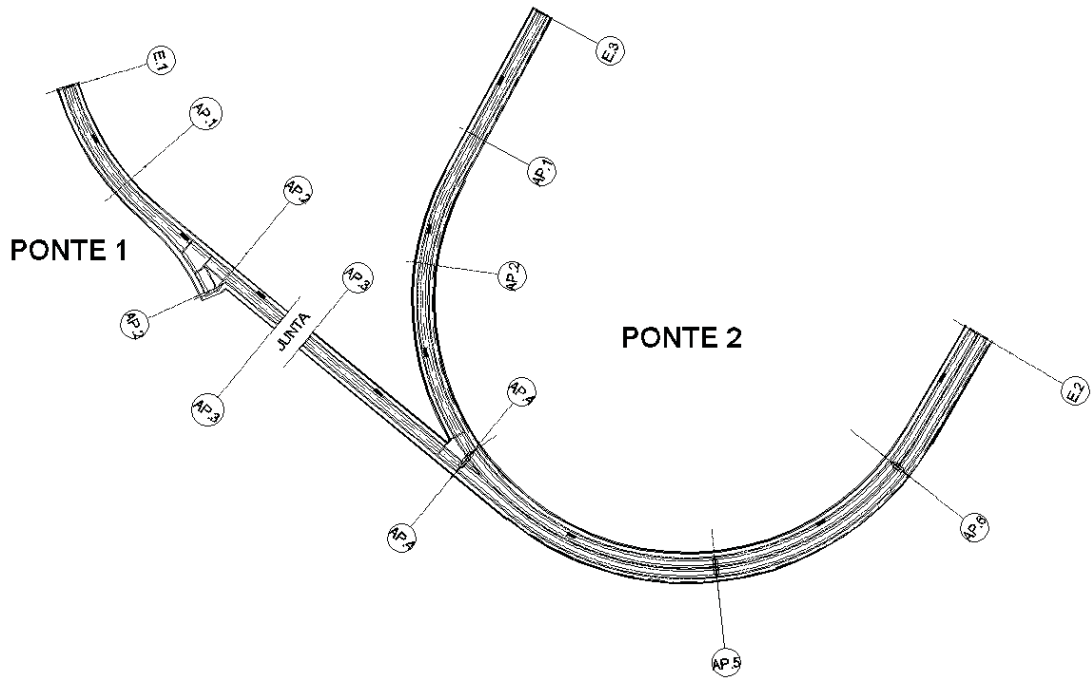


Figura 12 - Pontes 1 e 2

A Ponte 1 foi executada “in loco”, sobre cimbramentos e em uma única frente e uma única fase. Já a Ponte 2 foi subdividida em três frentes de trabalho, e cada frente, por sua vez, em fases construtivas conforme descrito a seguir (ver Figura 13).

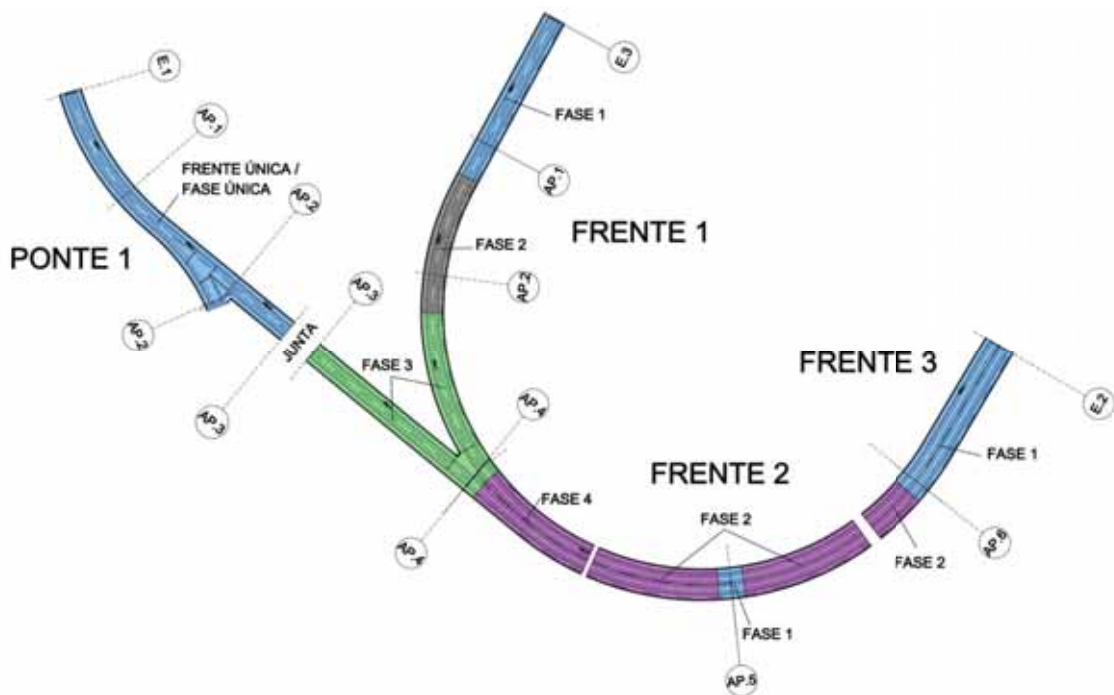


Figura 13 - Frentes de trabalho e sequência executiva

FRENTE 1 – Constituída pelo Ramo 100 e pelo Ramo Ponte no trecho compreendido entre os apoios AP3 e AP4 e balanço partindo do apoio AP4 até o meio do vão. A frente foi dividida em quatro fases, sendo as três primeiras moldadas “in loco” sobre cimbramentos e a quarta fase executada em balanços sucessivos;

FRENTE 2 – Constituída por dois balanços partindo do apoio AP5, executados em duas fases: a primeira, constituída por um trecho moldado “in loco” sobre o pilar, para alojamento das treliças, e a segunda, por dois balanços sucessivos disparados simultaneamente, com exceção das duas primeiras aduelas que foram executadas defasadas para viabilizar a montagem das treliças dos balanços sucessivos;

FRENTE 3 – Constituída pelo vão entre o encontro E2 e o apoio AP6, moldada “in loco” sobre cimbramentos, denominada Fase 1, e parte do vão entre o apoio AP6 e o apoio AP5, denominada Fase 2, executada em balanços sucessivos.

Os fechamentos entre a Frente 1 e a Frente 2 e entre a Frente 2 e a Frente 3, deram-se por fases de protensão parcial alternadas.

A nova configuração executiva mudou profundamente o projeto da obra, introduzindo novos elementos estruturais para permitir sua viabilização.

As alterações em relação à solução original, moldada “in loco” sobre cimbramento, foram as seguintes:

- Consideração da situação provisória decorrente da execução futura do Ramo 200, anteriormente previsto para ser executado juntamente com a Ponte 1;
- Execução dos trechos moldados “in loco” cimbrados, por vãos;
- Introdução de balanços sucessivos a partir de estruturas cimbradas moldadas “In loco”, nas Frentes 1 e 3;

- Introdução de um duplo disparo em balanços sucessivos a partir do Apoio AP5 em um trecho curvo com raio de 100,00m.

- **Impactos no projeto**

Os impactos dessas alterações no projeto podem ser resumidos como segue:

- Na Ponte 1, a execução do Ramo 200 em fase futura exigiu o estudo desse trecho nas duas condições, sem o Ramo 200 e com o Ramo 200, superpondo as duas situações no que tange ao comportamento estático às deformações, bem como ao dimensionamento e à disposição da cablagem e à viabilidade executiva;
- Na execução dos trechos por vãos, a estrutura sofreu uma mudança nos esforços solicitantes para cada fase executiva, o que requereu uma análise da cablagem a ser determinada e compatibilizada, para atender a essas diferentes situações;
- A introdução dos balanços sucessivos a partir dos trechos cimbrados exigiu uma mudança do tipo de cabo que teve sua capacidade reduzida para se adequar à quantidade de aduelas do balanço sucessivo e permitir que em cada aduela houvesse, pelo menos, dois cabos ancorados. Além disso, como de praxe, a cada avanço do balanço, toda a estrutura foi verificada em termos de esforços solicitantes, bem como de deformações, considerando os efeitos da deformação lenta no cálculo das contraflechas.
- Foram adotados cabos de 27 cordoalhas de diâmetro 15,2mm e de 12 cordoalhas nos balanços sucessivos, todos montados com enfição posterior. A sequência de protensão nos balanços sucessivos seguiu os avanços das

aduelas e a dos trechos cimbrados seguiu uma sequência obtida após análise dos impactos das fases de protensão no carregamento do cimbramento, bem como na própria superestrutura. Com o estudo detalhado da sequência de protensão, foram evitadas boa parte das sobrecargas nos cimbramentos que em alguns casos poderiam chegar a 100% da carga original.

- Em decorrência do uso de cabos de alta capacidade e da ancoragem de vários deles em uma mesma seção e em seções consecutivas, foram realizados estudos detalhados do fluxo e dos níveis de tensões desenvolvidos nessas regiões de concentração de cargas.

- **Duplo disparo sobre o Pilar AP5 – Frente 2**

A solução de duplo balanço a partir do apoio AP5 apresentou dois problemas de estabilidade ao tombamento durante a fase de execução. O primeiro decorreu do fato de a superestrutura, na fase definitiva, se articular no pilar e não estar preparada para absorver qualquer desequilíbrio longitudinal. Esse problema foi resolvido com a utilização de quatro pilares provisórios, dimensionados para absorverem o desequilíbrio provocado pela concretagem de um avanço, admitindo que seu par estivesse defasado de um avanço. Em outras palavras, o momento de desequilíbrio considerado correspondeu àquele provocado pelo peso do concreto da aduela, acrescido pelo do momento decorrente das diferenças de posições de avanço das treliças, além do desequilíbrio provocado por uma carga acidental distribuída de 500 N/m^2 . Os pilares foram posicionados e solidarizados nas faces inferiores das longarinas e apoiados no bloco do apoio AP5, (ver Figura 14).

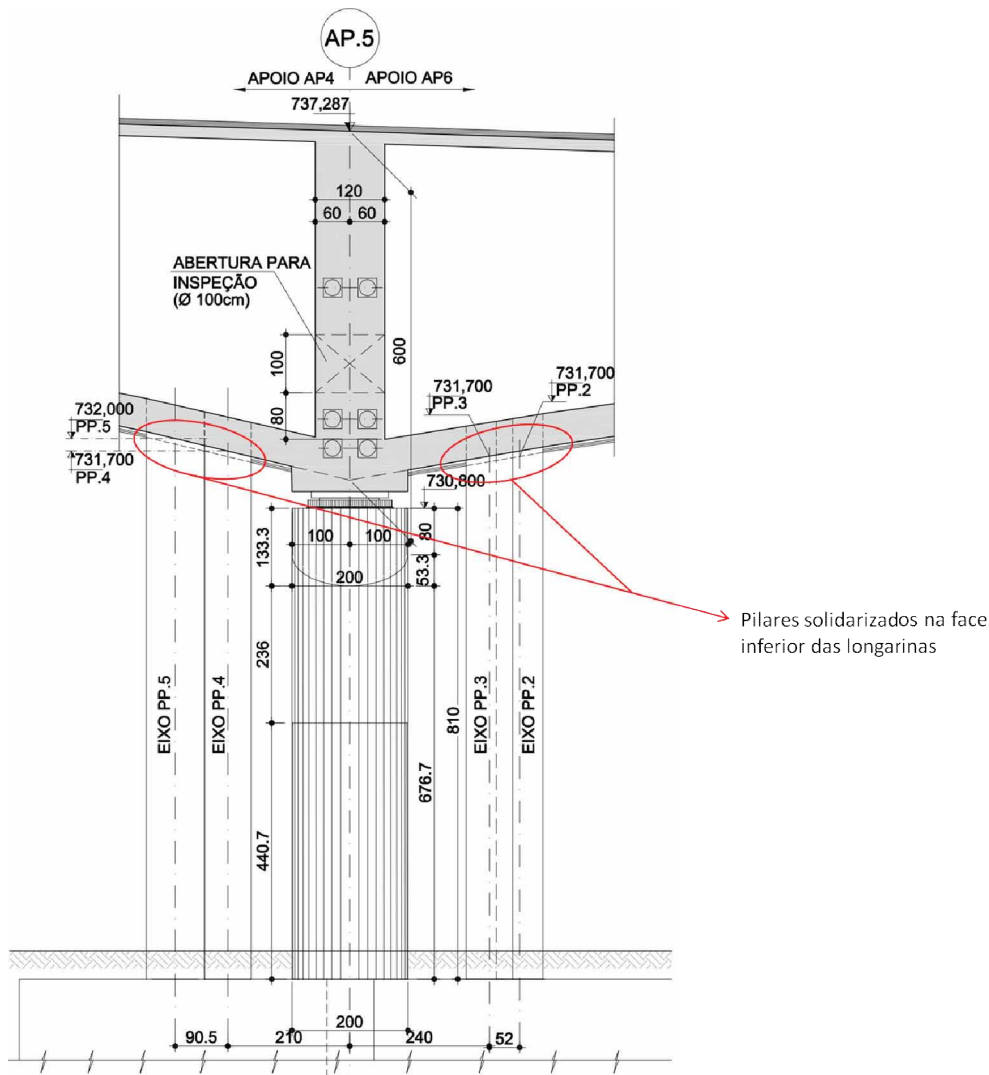


Figura 14 – Pilares provisórios junto ao AP5

O segundo problema originou-se da instabilidade transversal decorrente da curvatura da obra, de tal forma que, na situação dos dois balanços finalizados, o centro de gravidade das cargas da superestrutura situava-se fora do pilar, configurando uma situação de tombamento caso não se engastasse no pilar, ou alternativamente, se não se criasse um pilar auxiliar, alinhado com o eixo transversal do pilar definitivo, na direção da resultante das cargas, e que auxiliasse a estabilidade transversal dos balanços na fase executiva. Esta última alternativa foi a solução adotada. A carga dos dois balanços foi absorvida pelo aparelho de apoio definitivo do apoio AP5, nesse caso constituído de apenas uma unidade, e por outro aparelho de apoio locado no pilar provisório. Para a

superestrutura poder se apoiar no pilar provisório foi necessário criar-se um console, também provisório, ligado à transversina de apoio, por contato, por meio de uma superfície dentada e por cabos de protensão não injetados. (ver Figura 15)

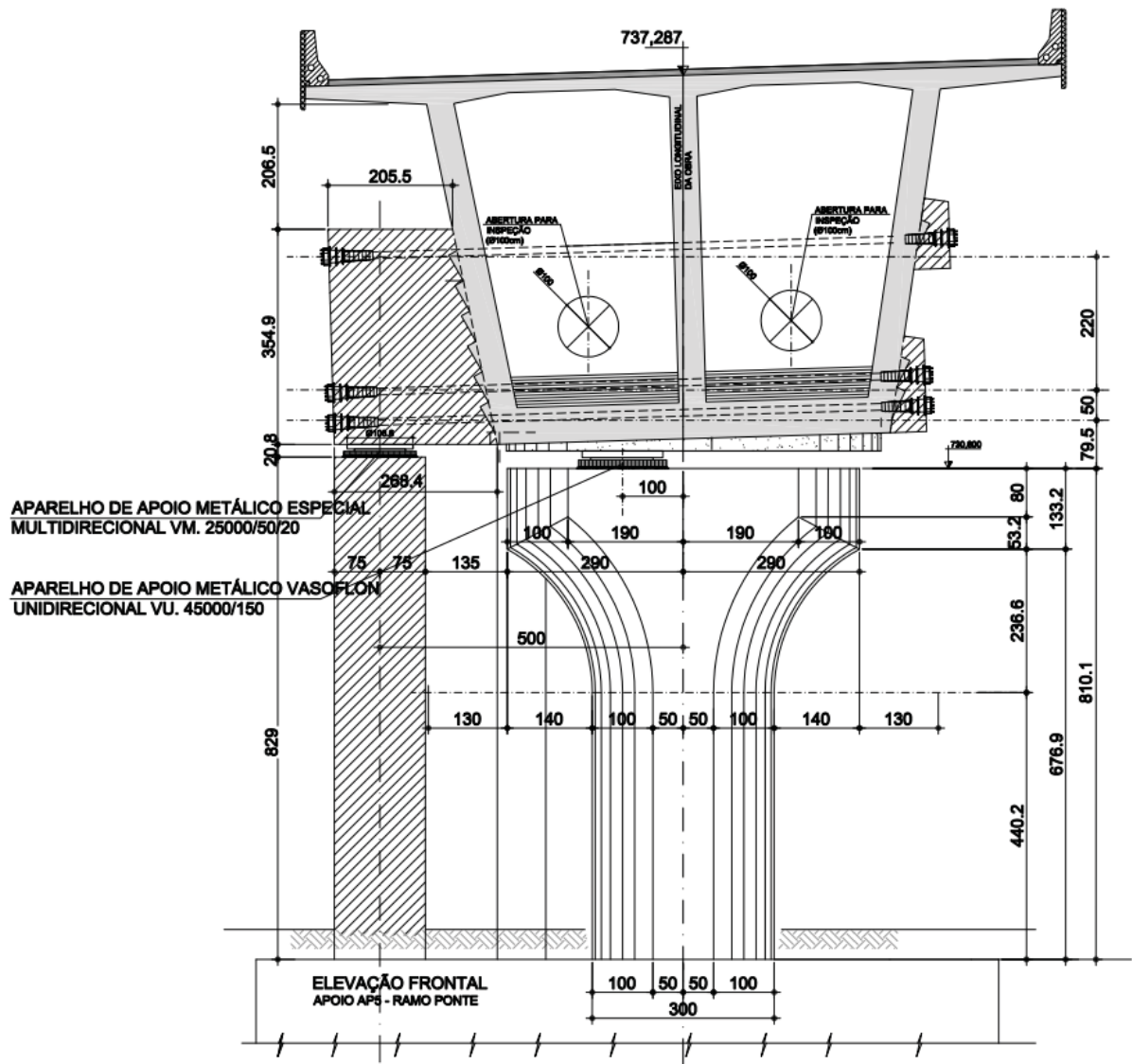


Figura 15 – Pilar e consolo provisório

A concepção inicial previa que no pilar provisório fosse instalado um aparelho tipo Vasoflon, análogo ao do pilar definitivo, e a transferência de carga do aparelho provisório para o definitivo fosse realizada na última etapa executiva da

obra, pela desprotensão progressiva dos cabos não injetados do console provisório, após a superestrutura estar totalmente solidarizada.

Essa proposta foi alterada por sugestão da Protende, fornecedora dos aparelhos de apoio e executora da protensão, que julgou complexa a operação devido à localização dos cabos, tendo sugerido que a transferência da carga se desse através do aparelho de apoio provisório, configurado especialmente para essa finalidade.

Esse aparelho especial foi projetado em forma de bacia, com a placa superior apoiada em um leito de areia confinado pela bacia, para facilitar a fase de transferência de carga (ver Figura 16).

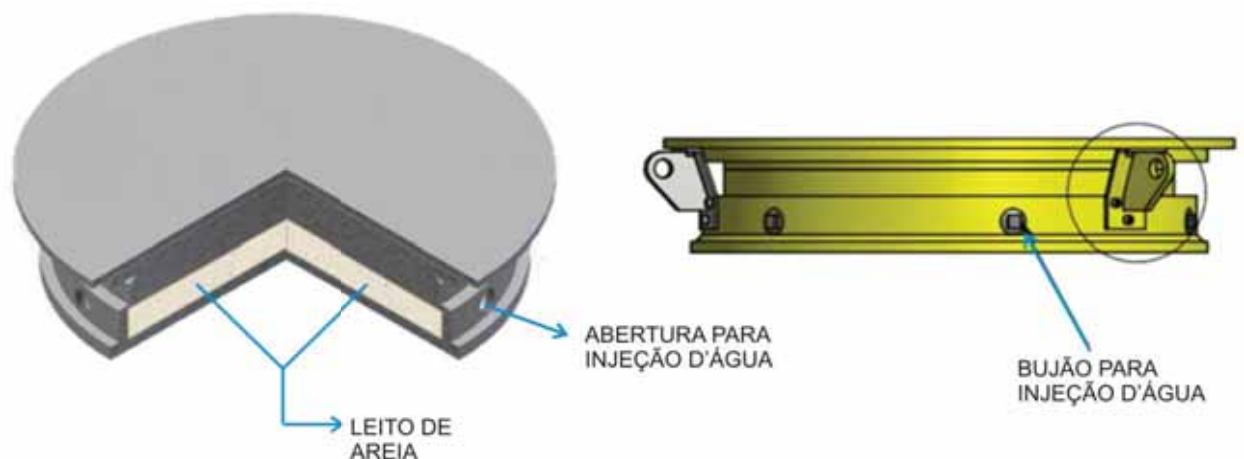


Figura 16 – Aparelho de apoio especial

Com essa configuração, constituída pelo pilar definitivo com um único aparelho de apoio e por cinco pilares às vezes funcionando como tirantes, foi possível garantir a estabilidade da fase de balanços sucessivos com duplo disparo a partir do Apoio AP5.

Essa configuração permaneceu até a protensão completa e definitiva da obra.

Somente após essa fase é que se iniciou a demolição dos pilares e dos consoles provisórios, na seguinte sequência: PP4, PP5, PP2, PP3 e PP1.

A Tabela 1 (a e b) indica as cargas nos diversos apoios na fase logo após a protensão final (denominada PT positiva entre os apoios AP4, AP5 e AP6), bem como as cargas e respectivas participações percentuais nos apoios remanescentes, na medida em que os pilares provisórios iam sendo eliminados.

Tabela 1a – Cargas nos Apoios Após a Protensão Final (kN)

Fases	AP5 Topo	PP1 Topo	PP2 Topo	PP3 Topo	PP4 Topo	PP5 Topo	Total
PT Positiva P4-P5-P6	-10070.8	-11193.2	-3971.8	-1561.4	-1314.4	2124.9	-25986.7
Retirada PP4	-10932	-11321	-3978	-829.7		1337	-25723.7
Retirada PP5	-9361	-11079	-4346	-902.8			-25688.8
Retirada PP2	-9852	-12867		-2890			-25609.0
Retirada PP3	-13604	-11973					-25577.0
Retirada PP1	-24737						-24737,0

Tabela 1b – Distribuição Percentual da Carga Total nos Apoios Após a Protensão Final

Fases	AP5 Topo	PP1 Topo	PP2 Topo	PP3 Topo	PP4 Topo	PP5 Topo
PT Positiva P4-P5-P6	39%	43%	15%	6%	5%	-8%
Retirada PP4	42%	44%	15%	3%		-5%
Retirada PP5	36%	43%	17%	4%		
Retirada PP2	38%	50%		11%		
Retirada PP3	53%	47%				
Retirada PP1	100%					

Para garantir uma transferência lenta de carga do pilar PP1 para o apoio definitivo AP5, por se tratar de carga muito elevada, como se pode ver na Tabela 1, foram

feitos ensaios em aparelhos de porte menor em laboratório, utilizando o mesmo processo especificado na obra que consistia do uso de água injetada pelas aberturas, já previstas nas laterais da bacia do aparelho, para a retirada progressiva do colchão de areia que suportava a placa superior do aparelho (ver Figura 17).



Figura 17 - Ensaio do aparelho especial em escala reduzida

Os resultados dos ensaios mostraram que esse processo de retirada do colchão de areia permitia um assentamento lento e sem impactos, o que se repetiu

também na obra, tendo sido realizada a transferência da carga com pleno sucesso (ver Figura 18).

Verificou-se, inclusive, que o deslocamento poderia ser controlado ao interromper a injeção d'água (patamares destacados no gráfico).

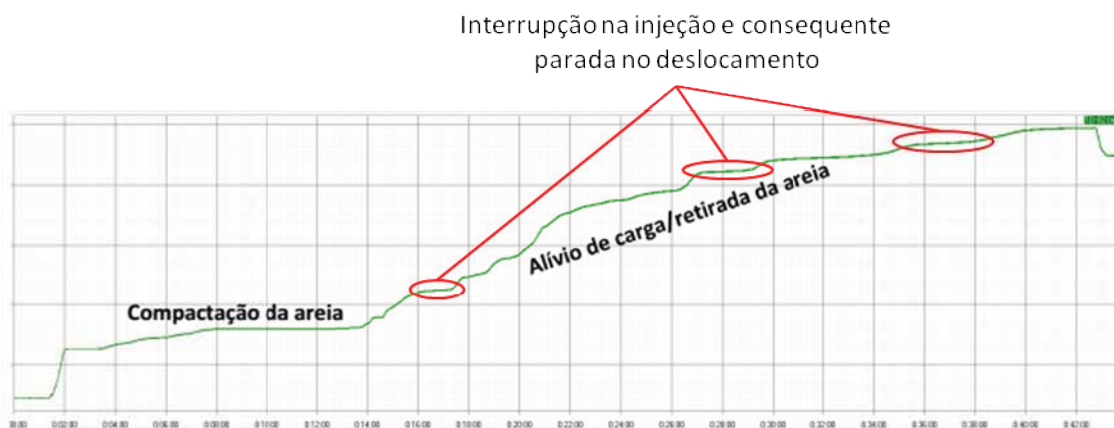


Figura 18 - Comportamento dos sensores de deslocamento

Como a decisão foi de deixar apenas um aparelho de apoio no AP5, ao se transferir a carga do PP1 para o apoio AP5 introduziu-se um momento de torção que foi absorvido pela superestrutura e transmitido para os apoios AP6 e AP4 (ver Fig. 20). Observe-se, ainda, que a carga final, após a retirada do pilar PP1, foi reduzida em relação à carga existente antes dessa retirada, passando de 25.577 kN para 24.737 kN, indicando uma redução do momento negativo no apoio (ver Figura 20).

Os diagramas a seguir foram obtidos da modelagem e simulação do faseamento construtivo e apresentam as variações causadas pela remoção do Pilar Provisório PP1 no momento de torção (Figura 19) e no momento fletor (Figura 20)

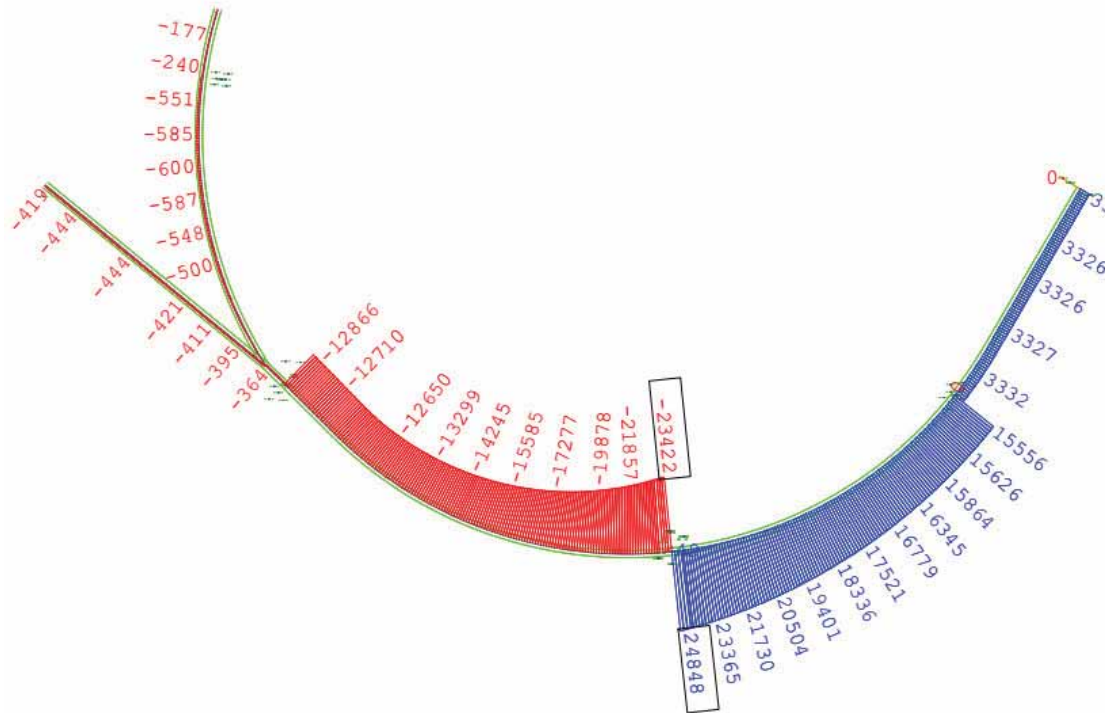


Figura 19 – Variação no Momento de torção devido à remoção do Pilar Provisório PP1

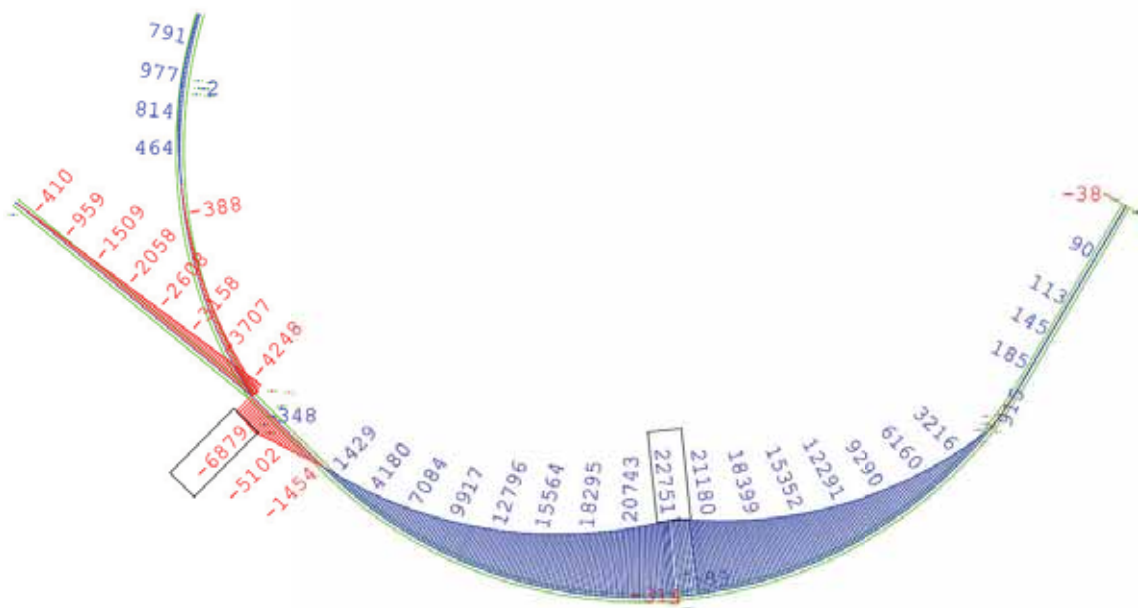


Figura 20 – Variação no Momento Fletor devido à remoção do Pilar Provisório PP1 (azul = Momento Positivo; vermelho = Momento Negativo)

- **Aparelhos de Apoio**

Por força das elevadas cargas e dos deslocamentos decorrentes dos efeitos de deformação elástica, deformação lenta, retração e temperatura, do processo construtivo e da geometria complexa, utilizaram-se os aparelhos de apoio do tipo Vasoflon fixo, unidirecional e multidirecional.

A configuração da disposição dos aparelhos de apoio nas cabeças dos pilares foi normalmente composta pela combinação de dois aparelhos, possibilitando a absorção do movimento de torção no pilar. Fogem a essa configuração os pilares dos apoios AP5 e AP3, de junta, que, no lado do vão entre os apoios AP3 e AP2, possuem um único aparelho (Ver Figura 21).

O resultado final dos estudos resultou a seguinte configuração:

Ramo Ponte				
Apoio	Id	Carga Nominal (kN)	Tipo	Direcionamento
E1	Esq	5500	Multidirecional	
	Dir	5500	Multidirecional	
AP1	Esq	11000	Unidirecional	Direcionado ao aparelho fixo do AP2
	Dir	11000	Multidirecional	
AP2	Esq	17000	Fixo	
	Dir	17000	Multidirecional	
AP3	Central	5500	Multidirecional	
	Esq	5500	Unidirecional	Paralelo ao eixo da obra
	Dir	5500	Multidirecional	
AP4	Esq	40000	Fixo	
	Dir	40000	Multidirecional	
AP5	Esq	45000	Unidirecional	Direcionado ao aparelho fixo do AP4
	Prov	25000	Multidirecional	
AP6	Esq	25000	Unidirecional	Paralelo ao eixo da obra
	Dir	20000	Multidirecional	
E2	Esq	8000	Multidirecional	
	Dir	8000	Multidirecional	

Ramo 100

Apoio	Id	Carga Nominal (kN)	Tipo
E3	Esq	5500	Multidirecional
	Dir	5500	Multidirecional
AP1 R 100	Esq	11000	Unidirecional paralelo ao eixo da obra
	Dir	11000	Multidirecional
AP2 R 100	Esq	13000	Multidirecional
	Dir	13000	Multidirecional

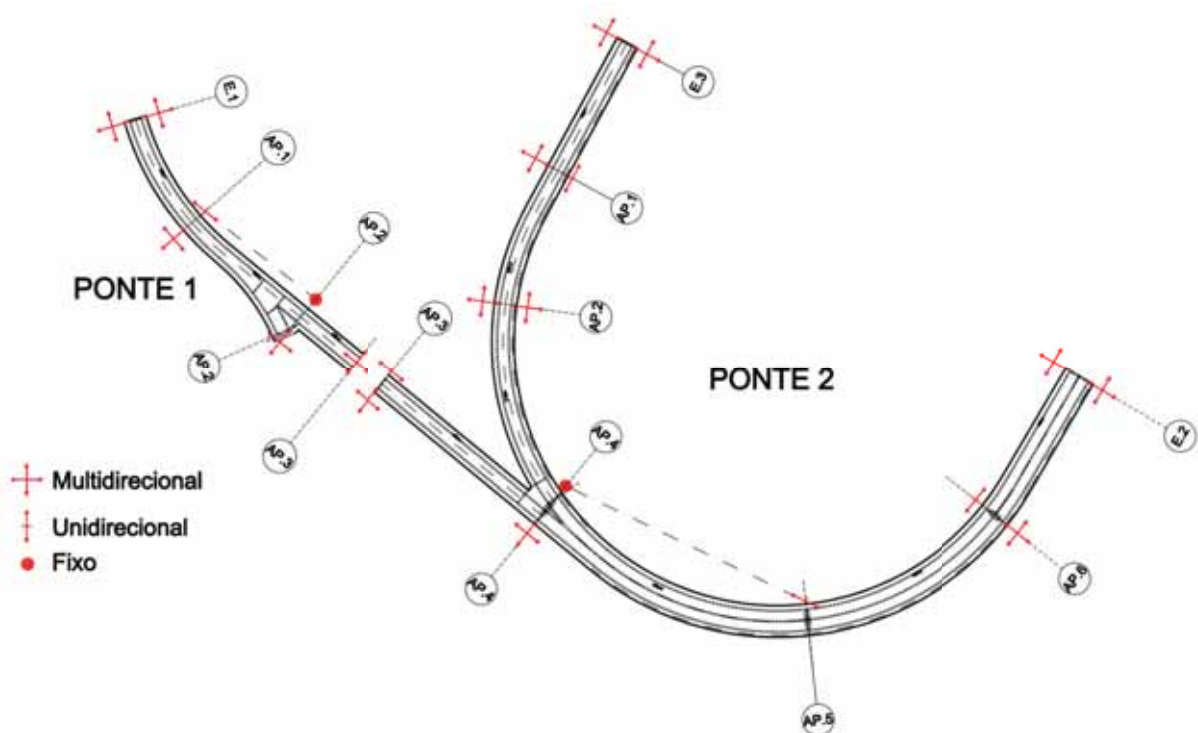


Figura 21 - Disposição e direcionamento dos aparelhos de apoio

- **Juntas de Dilatação**

A obra tem três juntas de extremidade nos encontros E1, E2, E3, e uma intermediária sobre o apoio AP3 (ver Figura 22).

Foi especificada a junta Jeene, adequando o tipo aos movimentos previstos longitudinal e transversalmente.

A distribuição das juntas e os respectivos deslocamentos longitudinais e transversais resultaram os seguintes:

Junta	Tipo	Desloc. Long.	Desloc. Transv.
E1	JJ13090CP	8,00 cm	3,50 cm
E2	JJ170120CP	16,00 cm	7,00 cm
E3	JJ170120CP	13,00 cm	6,00 cm
AP3	JJ13090CP	6,00 cm	1.00 cm

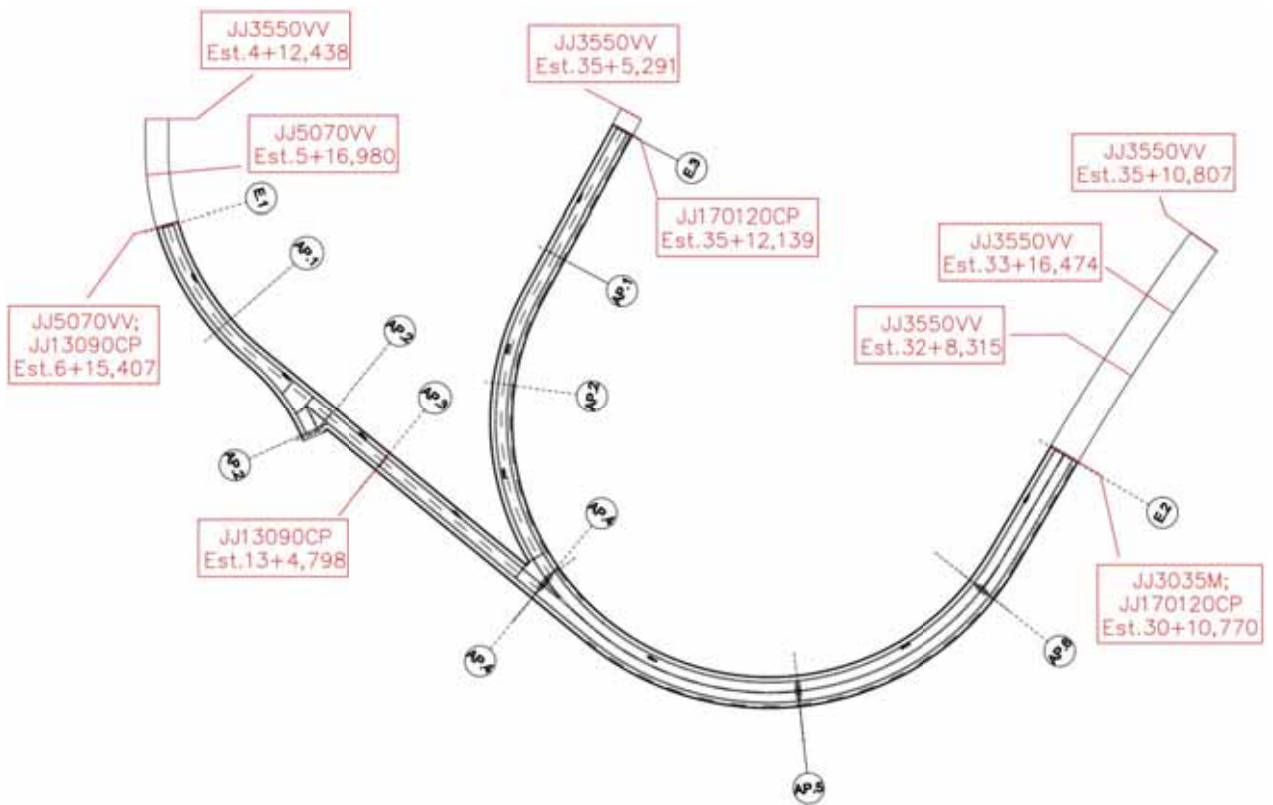


Figura 22 - Disposição das juntas de dilatação

- **Blocos de Fundação dos apoios AP4, AP5 e AP6**

- AP4

Dadas as restrições locais de implantação da ponte, o bloco do apoio AP4 ficou tangente à ponte existente e ao córrego. A Figura 23 mostra a disposição de estacas, bloco e pilar.

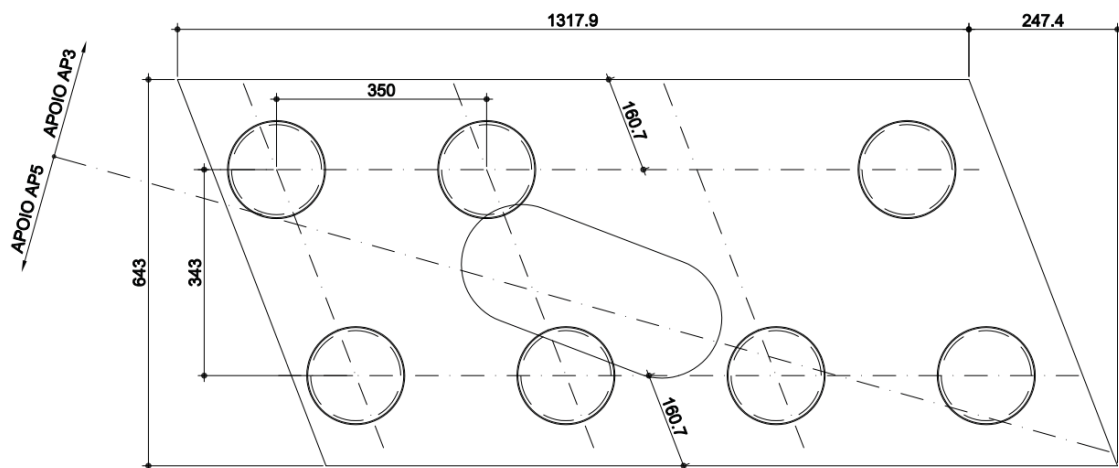


Figura 23 – Localização de estacas, blocos e pilar

- AP5

A execução do bloco do apoio AP5 exigiu um aterro de ponta na margem do rio para permitir a execução das estacas escavadas e da vala necessária para a moldagem do bloco sobre a cabeça das estacas. Na contenção da vala foram utilizadas estacas prancha, preservando o tubo de drenagem que, dada a dificuldade de remanejá-lo, foi incorporado ao bloco.

A Figura 24 (a e b) mostra o projeto da vala com o respectivo posicionamento do duto.

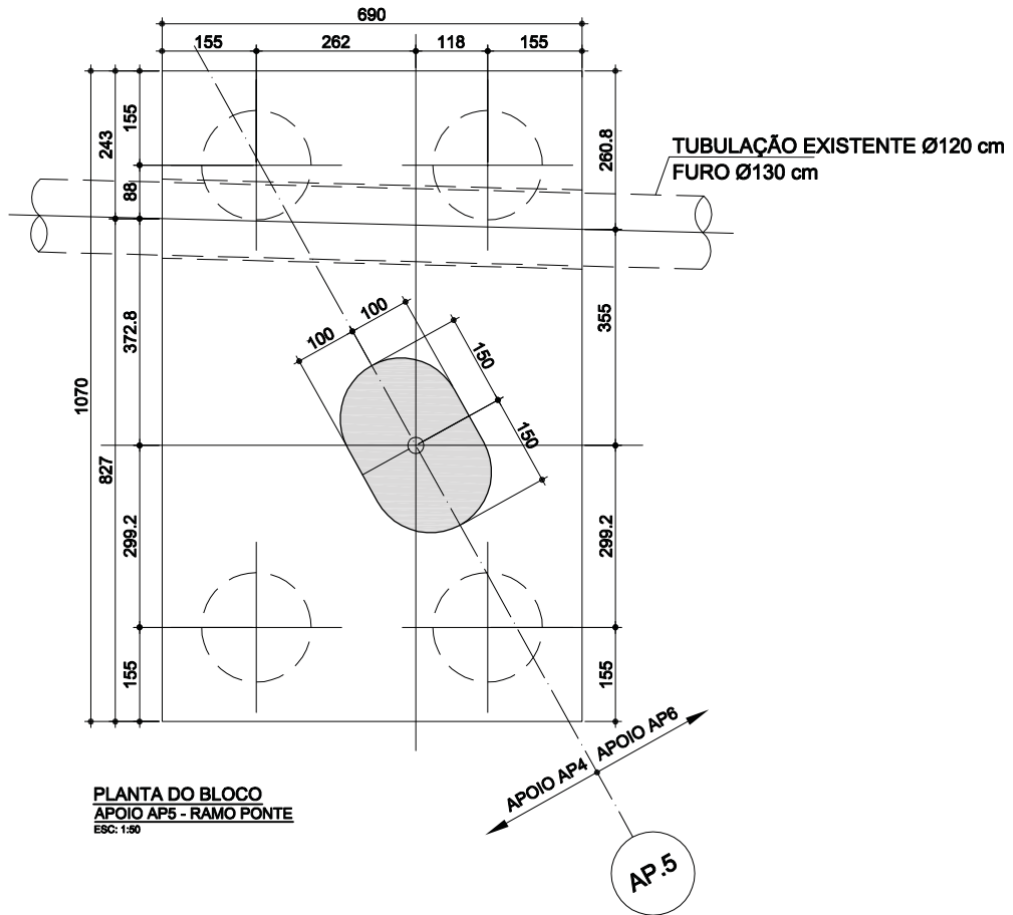


Figura 24a – Tubulação passando pelo bloco AP5 - Planta

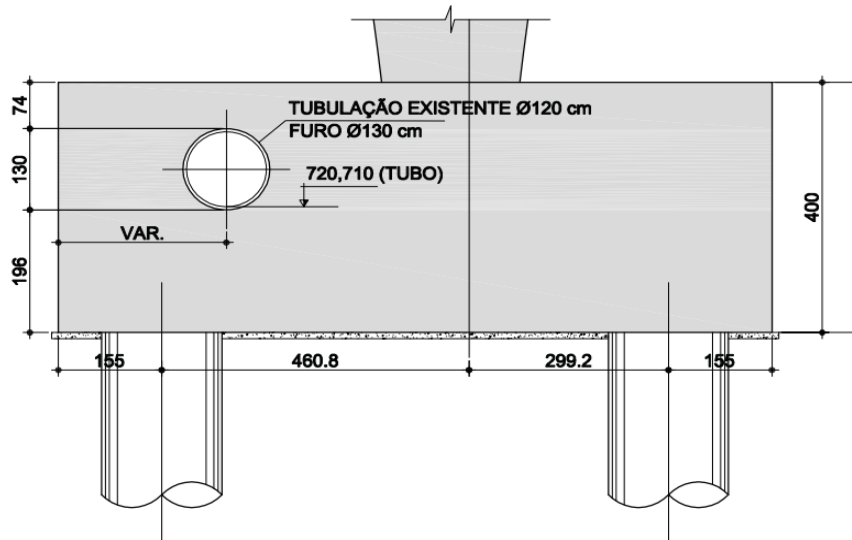


Figura 25b – Tubulação passando pelo bloco AP5 - Corte

– AP6

Por sua vez, as estacas do apoio AP6 tangenciaram o interceptor de esgotos da Sabesp, passando a uma distância mínima de 50 cm da face do túnel, após a execução de cuidadosos levantamentos de campo e de documentação, para determinar com segurança a posição do interceptor. Apesar disso, decidiu-se cravar um tubo guia de maior diâmetro, 1,80m, cuja geratriz distasse 50 cm do interceptor, até atingir uma profundidade superior à de sua base. A estaca foi então escavada por dentro do tubo, assegurando, assim, que não houvesse qualquer possibilidade de interferência com o interceptor. A disposição em planta do estaqueamento foi determinada em função desta interferência e, por consequência, a forma do bloco (ver Figura 25).

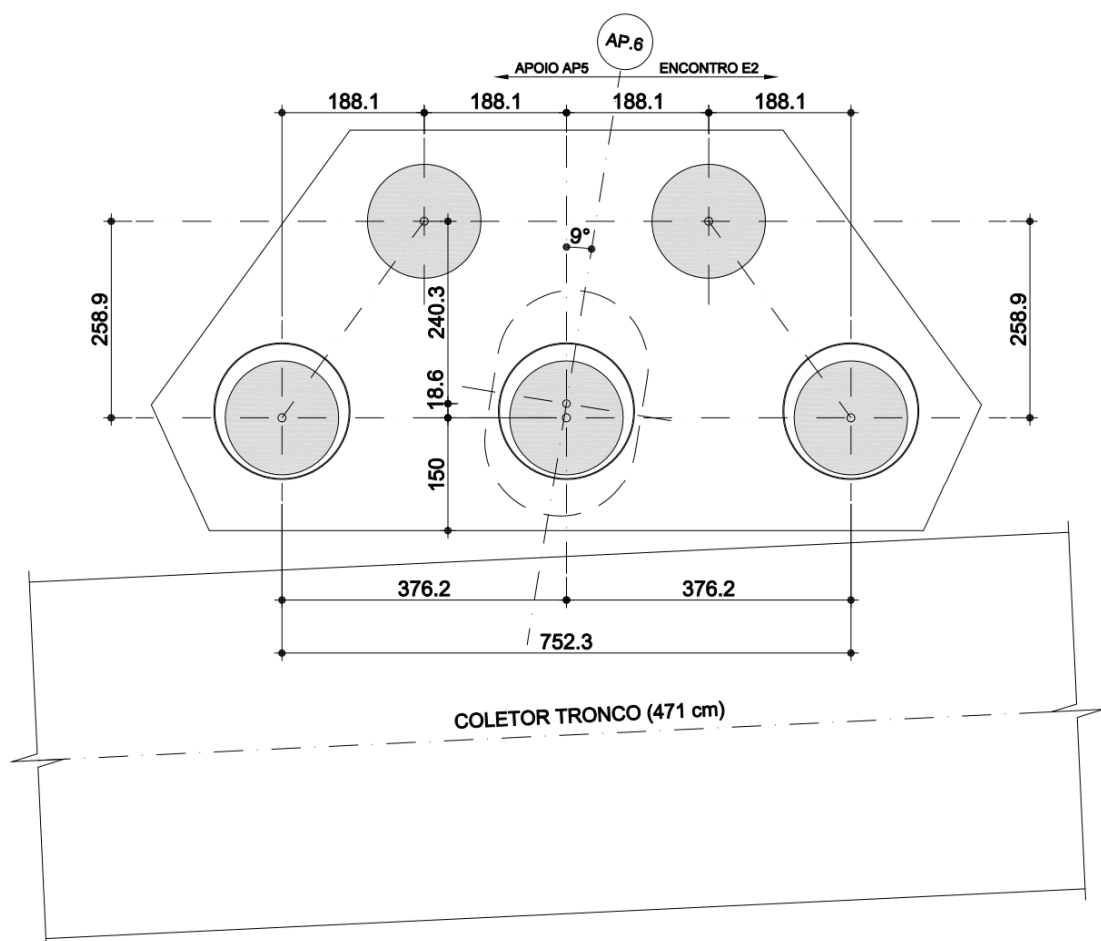


Figura 25a – Bloco do apoio AP6 com a localização do Interceptor - Planta

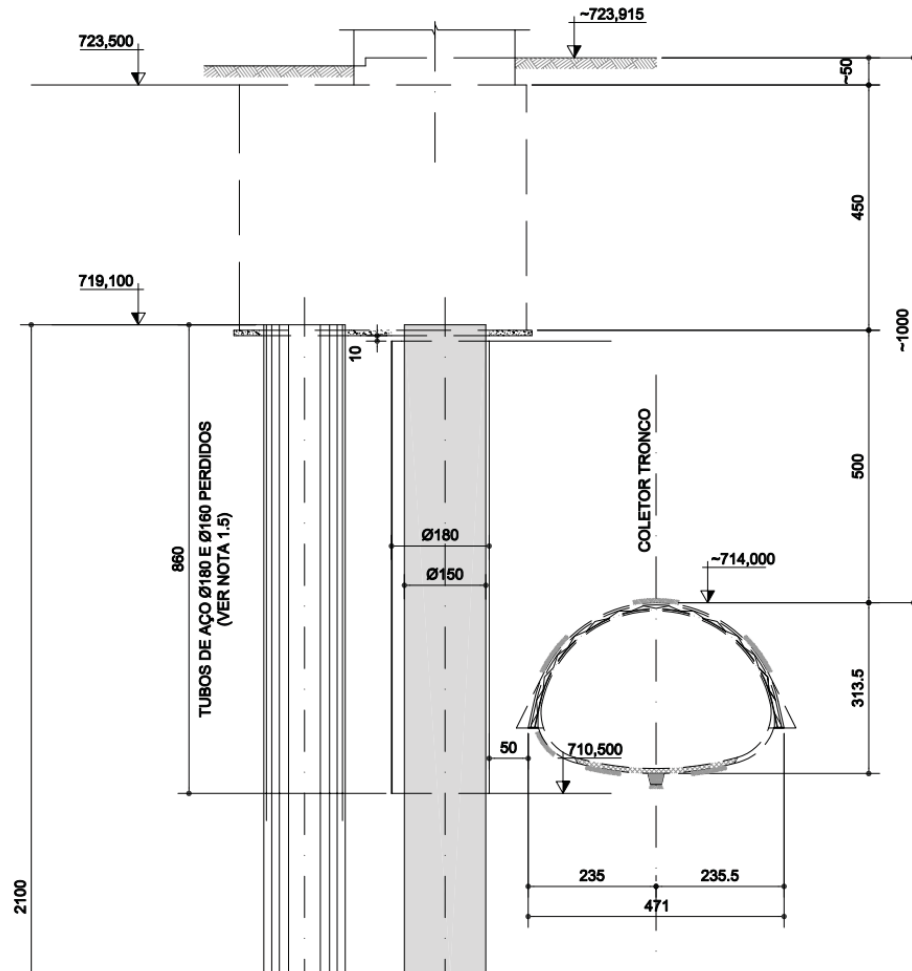


Figura 25b – Bloco do apoio AP6 com a localização do interceptor - Corte

- **Encontro E1**

O encontro E1, denominado “Caixa 1”, é composto por dois caixões justapostos, com comprimentos de 16,08m e 23,83m, apoiados diretamente no solo por meio de uma sapata corrida associada, de onde saem as duas paredes laterais verticais. Sobre essas paredes se apoiam a laje superior, constituída pelos dois balanços de 2,00m, que concordam com os balanços da seção celular da superestrutura, e pela laje interna, esta com vão de 4,66m entre os eixos das paredes. Transversalmente, na extremidade de cada caixa há um septo transversal, (Figura 26). A estrutura foi moldada “in loco”.

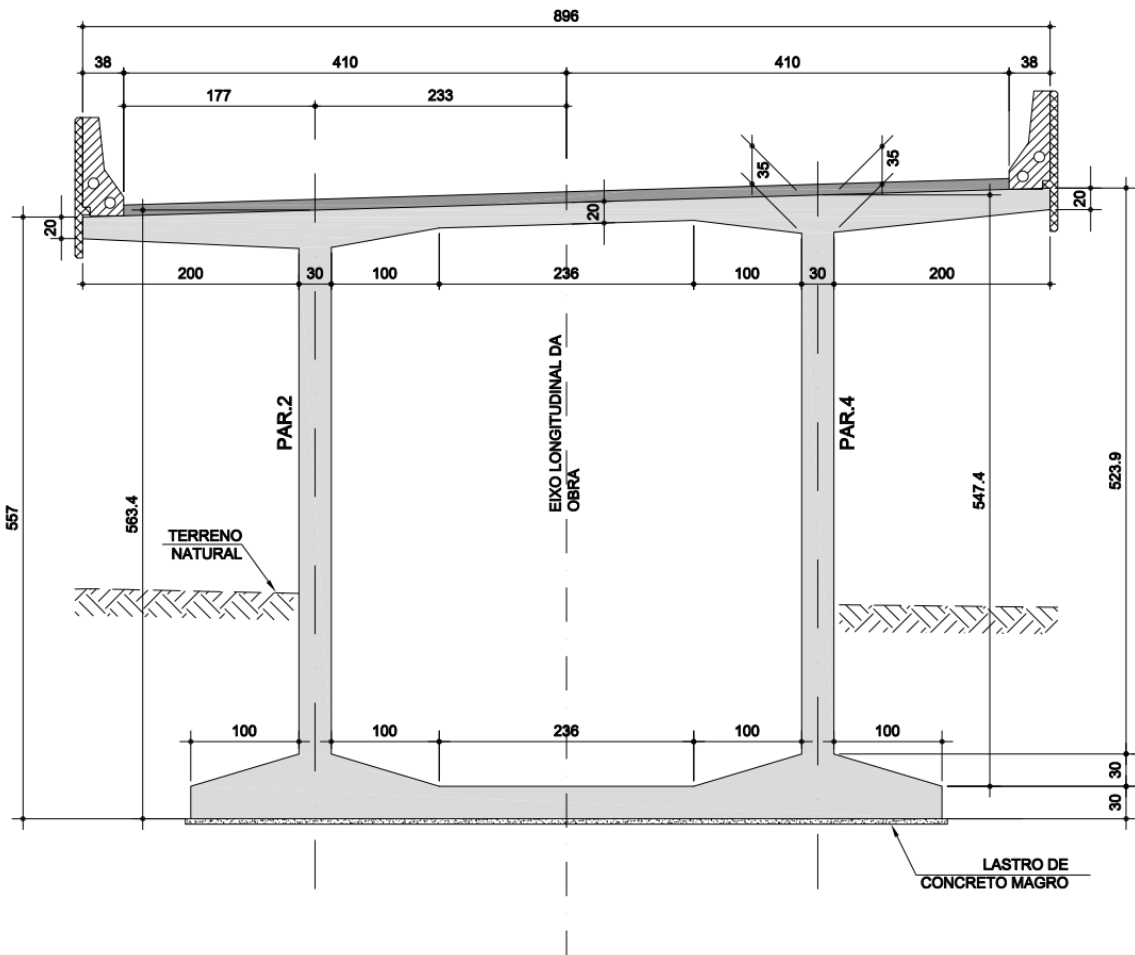
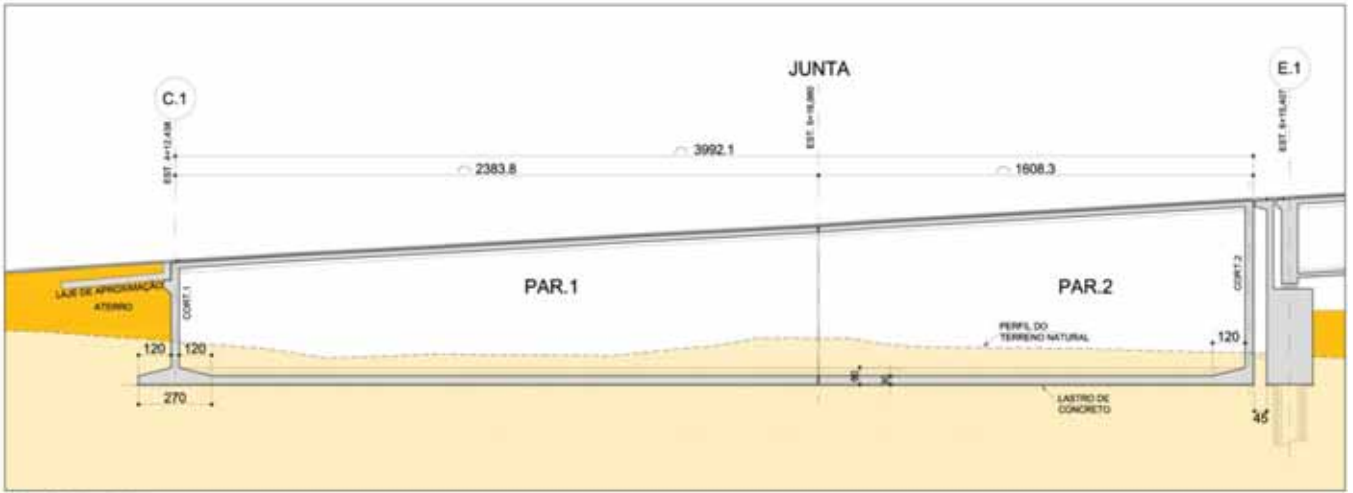


Figura 26 – “Caixa 1”

- **Encontro E2**

O encontro E2, denominado “Caixa 2”, foi concebido em caixões em módulos de aproximadamente 32,0m, sequenciados e justapostos, perfazendo um comprimento total de 97.58m. (ver Figura 27) Cada caixão tem três septos, sendo um intermediário e os demais nas extremidades.

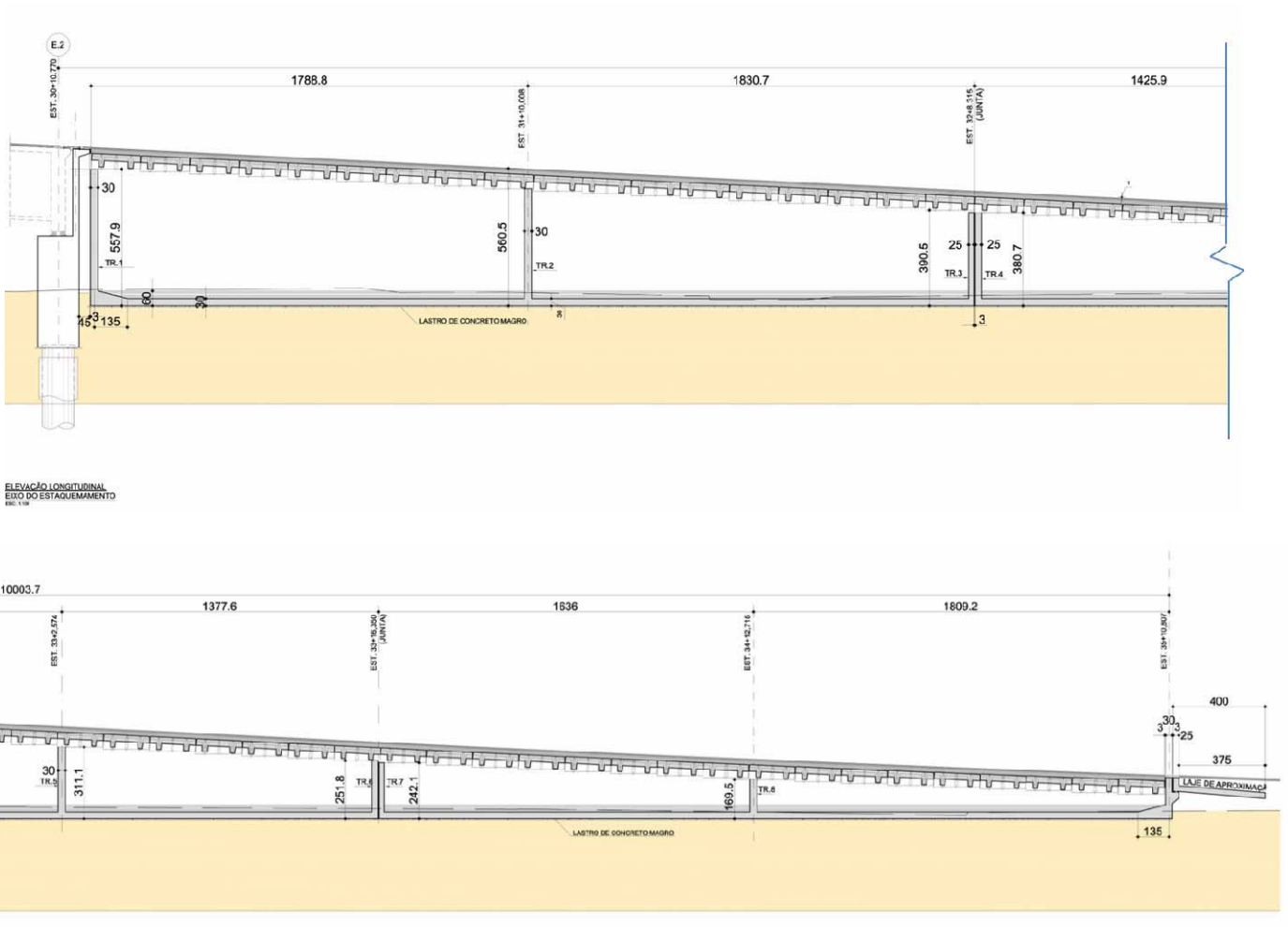


Figura 27 – Elevação - Encontro 2

Cada módulo está apoiado em fundação direta, em uma sapata corrida associada, de onde partem as paredes laterais com mesma inclinação das almas da seção celular da superestrutura. A sapata tangencia e em alguns pontos se superpõe transversalmente ao envelope de duto da Comgás (ver Figura 28).

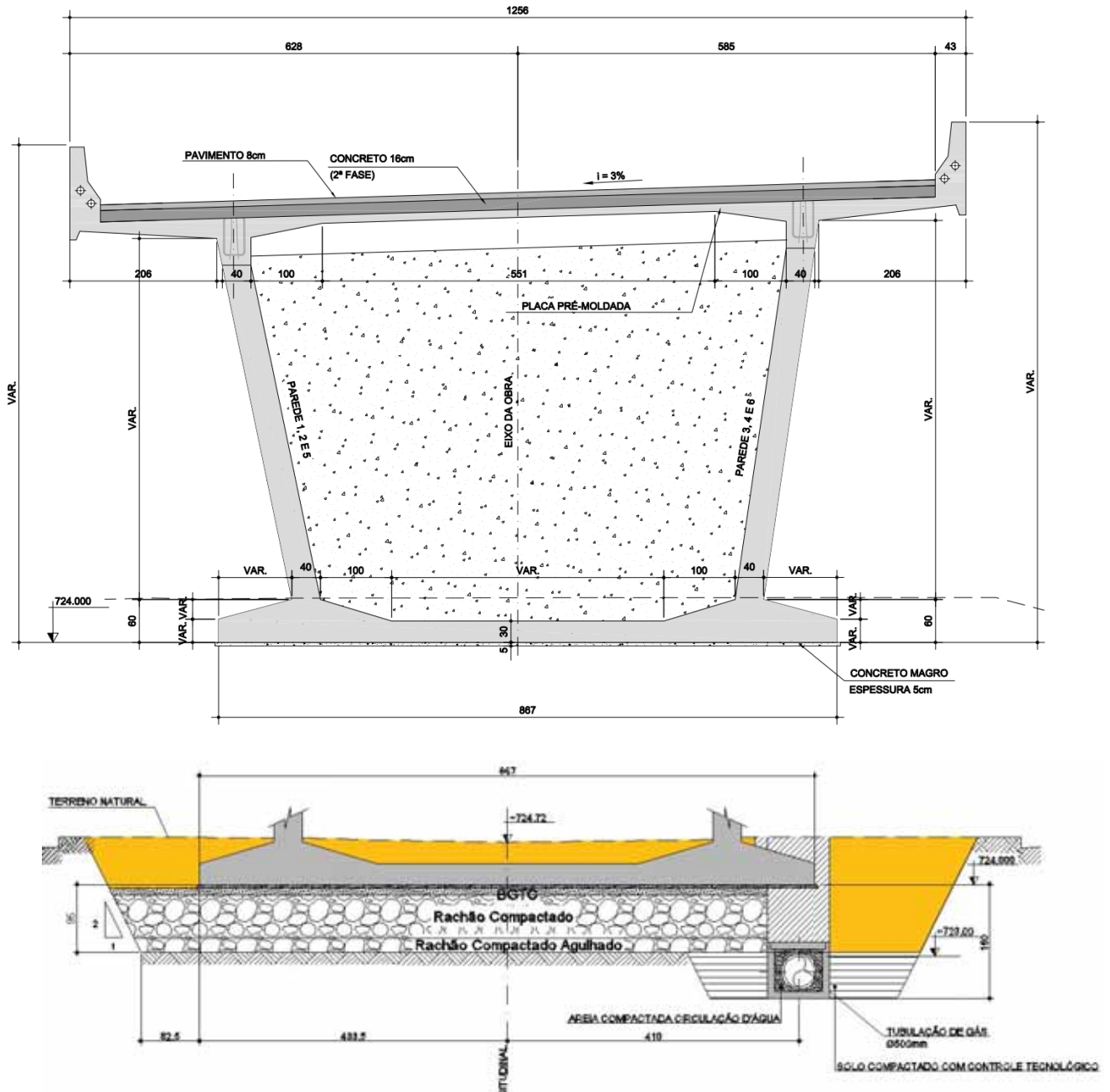


Figura 28 – Encontro 2 - Seção transversal

O tabuleiro foi projetado em pré-moldado, com complementação “in loco”.

Sobre as paredes laterais se apoiam os elementos pré-moldados com largura de 2,00m, com seção transversal em Π entre as paredes de apoio e complementados nas suas extremidades por duas lajes em balanço com vãos de 2,00m que concordam com os balanços da superestrutura (ver Figura 29).

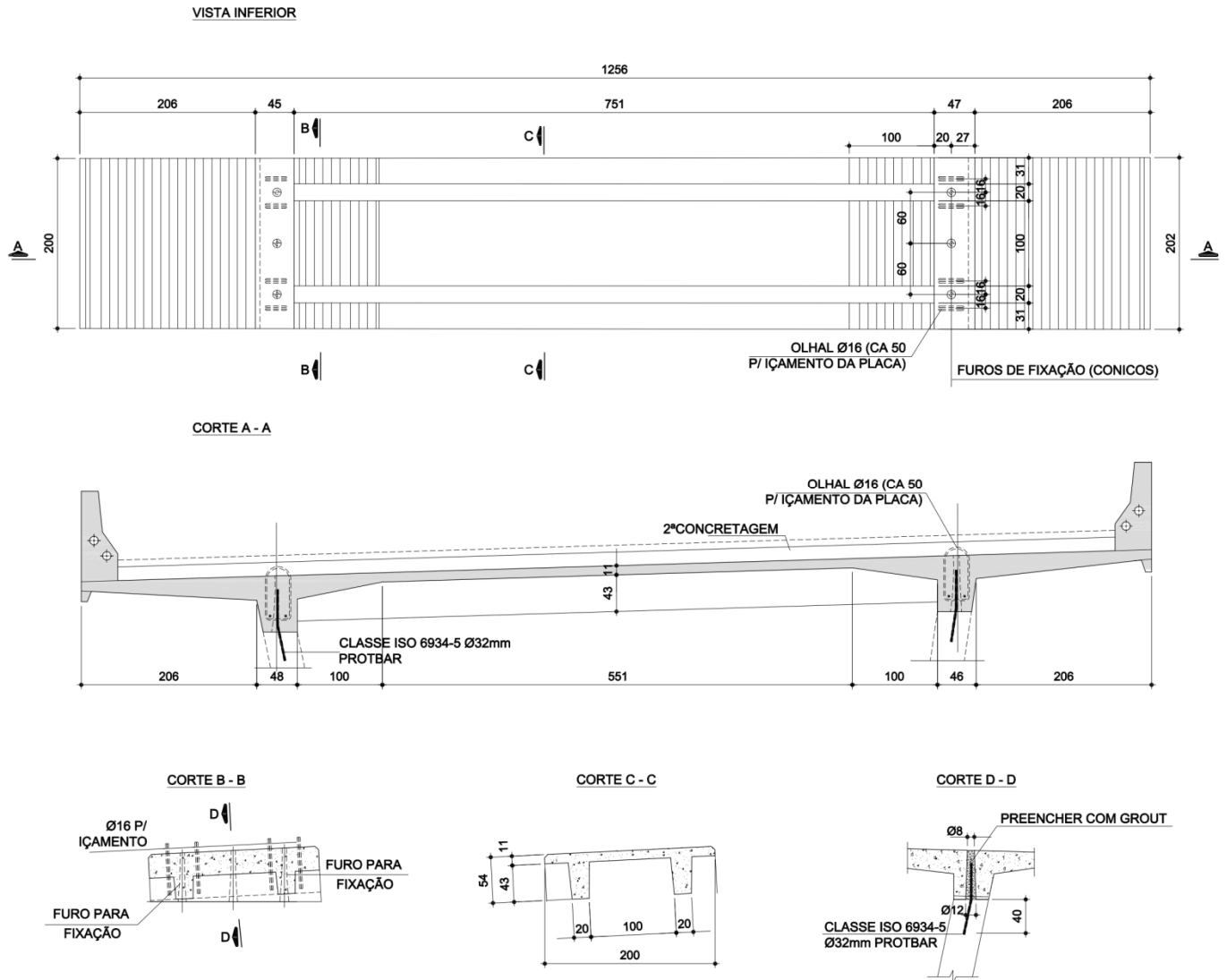


Figura 29 - Elementos pré-moldados

Os elementos pré-moldados são montados justapostos e nos apoios são ligados às paredes por um pino. Posteriormente, são capeados por uma camada complementar de concreto com 16,0 cm de espessura.

- **Encontro E3**

O encontro E3 é composto pela viga travessa que recebe os aparelhos de apoio da superestrutura, e que se apoia sobre duas estacas escavadas de \varnothing 1,50m (ver Figura 30). A partir da travessa saem duas paredes verticais distanciadas entre si de 4,71m e com vãos de 6,65m, que se apoiam na outra extremidade em uma viga transversal com comprimento igual à largura do tabuleiro que, por sua vez, se apoia em duas estacas raiz \varnothing 41,0m. Essas paredes estão distanciadas entre si de 4,71m e possuem vãos de 6,65m.

O tabuleiro entre as paredes verticais está estruturado transversalmente por vigas espaçadas entre si de 1,00m e nas extremidades, de 1,33m. Externamente às paredes, as lajes em balanço dão continuidade aos balanços que vêm da superestrutura. O encontro é todo moldado “in loco”.

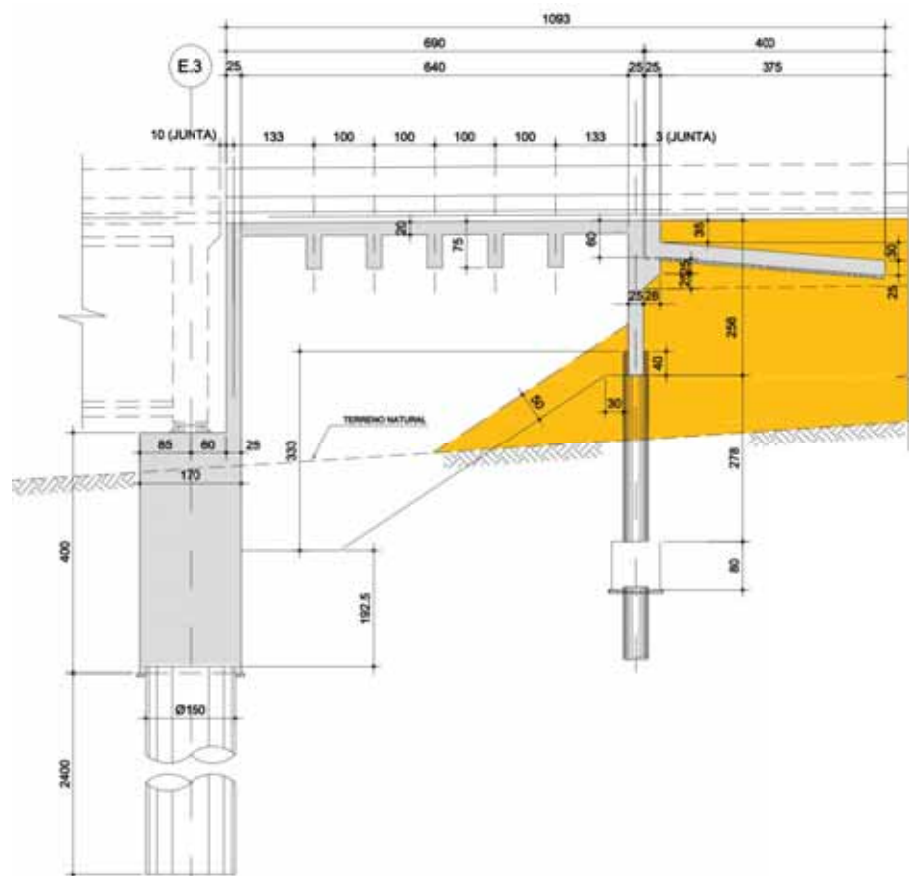


Figura 30 - Caixa 3

CONCLUSÃO

Procurou-se abordar os aspectos mais relevantes do projeto da Ponte Itapaiuna, cuja execução ocorreu em perfeito entrosamento das equipes de projeto e da Construtora Odebrecht, chave do sucesso do empreendimento.

Deseja-se agradecer inicialmente à equipe da Maubertec pela dedicação e o empenho no enfrentamento do desafio de um projeto complexo, a partir de uma metodologia nova com novos recursos de softwares complementados por desenvolvimentos internos durante a elaboração do projeto. O agradecimento estende-se também às demais equipes que participaram do empreendimento, pelo elevado espírito profissional, dedicação, colaboração e integração manifestados durante os períodos de projeto e de execução da obra.

Participaram do Empreendimento:

Proprietário:	Prefeitura do Município de São Paulo SIURB – Secretaria de Infraestrutura Urbana
Responsável:	SPObras - São Paulo Obras
Empreendedora:	Odebrecht Realizações Imobiliárias
Executora:	Construtora Norberto Odebrecht
Projetista:	Maubertec Engenharia e Projetos
Controle de Qualidade de Projeto (CQP):	EGT Engenharia
Protensão e Aparelhos de Apoio:	Protende
Formas e Escoramentos:	ULMA Construction
Balanços Sucessivos:	ConstruGomes / ULMA Construction
Controle de contra-flechas:	OUTEC Engenharia
Juntas:	Jeene Juntas e Impermeabilizações
Fundações:	EMPA

maubertec



DESCRITIVO DO PROJETO

- ANEXOS -

PONTE ITAPAIÚNA

Relatório Fotográfico (Imagens fornecidas pela Construtora Odebrecht)



Foto 1 - Ponte 1 - Execução do Bloco AP2 do Ramo Ponte [12/2014]



Foto 2 - Frente 1 - Pilar AP1 Ramo 100 finalizado e desforma AP2 Ramo 100 [12/2014]



Foto 3 - Frente 2 - Execução do Aterro de conquista no AP5 [01/2015]



Foto 4 - Frente 1 - Fase 1 - Montagem da armação do vão entre E3 e AP1 Ramo 100 [02/2015]



Foto 5 - Ponte 1 - Pilares AP2 e AP3 finalizados [02/2015]



Foto 6 - Frente 3 - Execução do Bloco AP6 [02/2015]



**Foto 7 - Frente 1 - Fase 1 - Concretagem da laje superior do vão entre E3 e AP1
Ramo 100 [03/2015]**



**Foto 8 - Frente 1 - Ramo 100 - Fase 1: finalizada; Fase 2: montagem de armação;
Fase 3: montagem de formas do vão entre AP2 100 e AP4 [04/2015]**



Foto 9 - Frente 2 - Execução do Bloco AP5 [04/2015]



Foto 10 - Caixa 2 - Execução da caixa 2 (colocação dos painéis pré-moldados do tabuleiro) [04/2015]



Foto 11 - Frente 1 - Fase 3 - Cimbramento dos vãos entre AP2 Ramo 100/AP3 e AP4 [05/2015]



Foto 12 - Frente 1 - Fase 3 - Cimbramento dos vãos entre AP2 Ramo 100/AP3 e AP4 [05/2015]



Foto 13 - Frente 2 - Execução dos pilares provisórios junto ao AP5 [06/2015]



Foto 14 - Frente 1 - Fase 3 - Montagem de forma e armação da chegada dos ramos 100 e Ponte ao AP4 [06/2015]



Foto 15 - Frente 3 - Fase 1 - Montagem da armação do vão entre AP6 e E2 [06/2015]



Foto 16 - Frente 2 - Fase 1 - Montagem da armação da aduela de disparo sobre o AP5 [07/2015]



Foto 17 - Caixa 1 - Montagem de armação do tabuleiro do segundo trecho da Caixa 1 [07/2015]



Foto 18 - Frente 1 - Fase 4 - Carro CVS da ULMA Construction posicionado sobre a aduela de disparo do AP4 (vista frontal) [08/2015]



Foto 19 - Frente 1 - Fase 4 - Carro CVS da ULMA Construction posicionado sobre a aduela de disparo do AP4 (detalhe da aduela de disparo) [08/2015]



Foto 20 - Frente 1 - Fase 4 - Carro CVS da ULMA Construction posicionado sobre a aduela de disparo do AP4 (Vista lateral) [08/2015]



Foto 21 - Ponte 1 - Montagem da armadura na bifurcação da ponte 1 (Ramo Ponte e Ramo 200) [08/2015]



Foto 22 - Frente 2 - Fase 1 – Aduelas de disparo sobre o AP5 finalizadas [08/2015]



Foto 23 - Frente 2 - Fase 2 - Aduela 1 em direção ao AP4 e Aduela 2 em direção ao AP6 (Defasagem necessária para montagem do carro CVS) [09/2015]



Foto 24 - Frentes 1, 2 e 3 - Execução dos Balanços Sucessivos [10/2015]



**Foto 25 - Frente 2 - Fase 2 - Execução dos Balanços Sucessivos (Aduela 4)
[10/2015]**



**Foto 26 - Frentes 2 e 3 - Execução dos Balanços Sucessivos sobre o Rio Pinheiros
[11/2015]**



Foto 27 - Frentes 1 e 2 - Execução das aduelas de fechamento entre as frentes 1 e 2 [12/2015]



Foto 28 - Frentes 1, 2 e 3 - Execução das aduelas de fechamento entre as frentes 1, 2 e 3 [12/2015]



Foto 29 - Vista inferior do vão entre AP2 Ramo 100 e AP4 [03/2016]



Foto 30 - Vista inferior do vão entre AP4 e AP5 [03/2016]

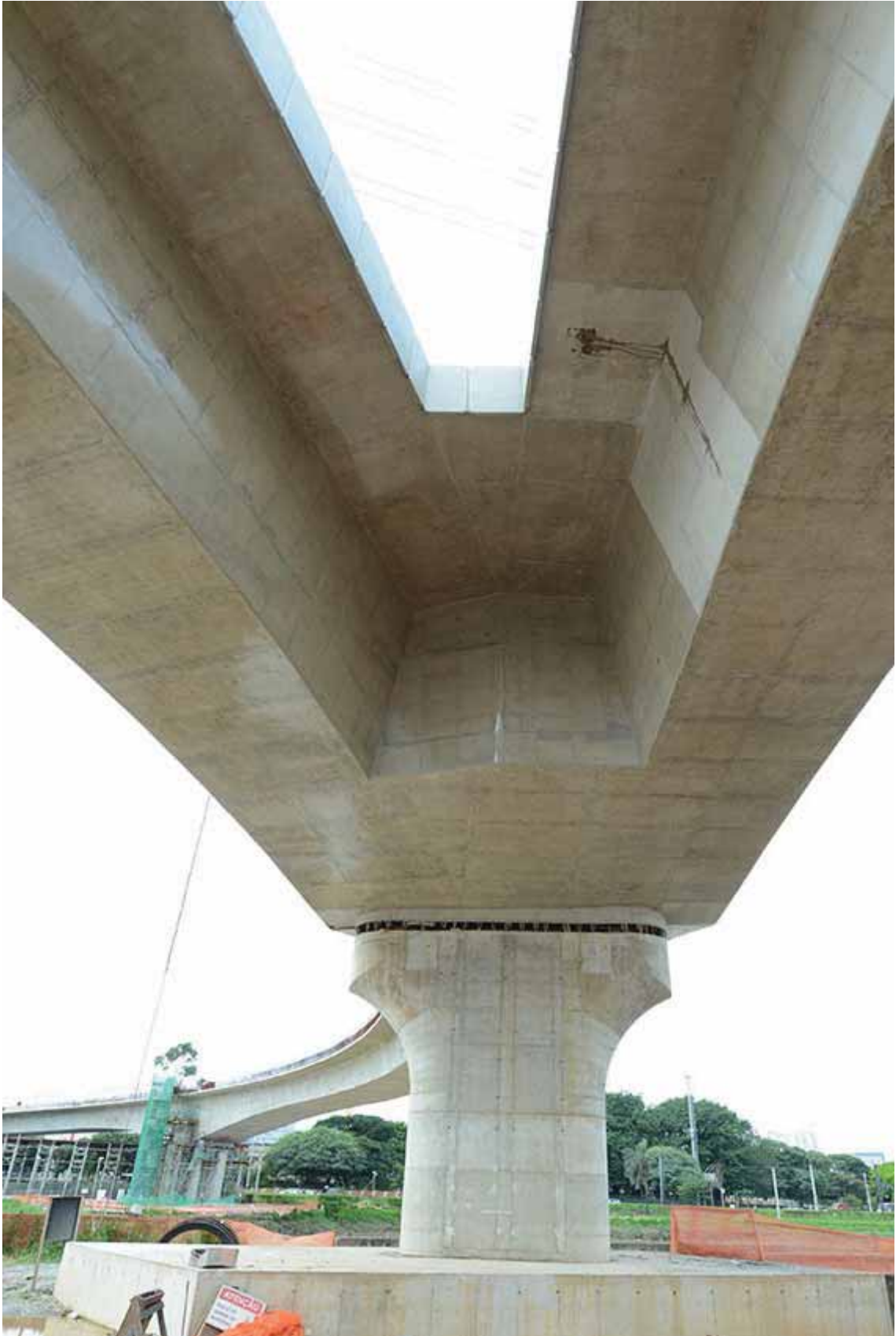


Foto 31 - Encontro entre os ramos 100 e Ramo Ponte [03/2016]



Foto 32 - Vista inferior do vão entre AP4 e AP5 (foto tirada do AP4 em direção ao AP5) [03/2016]

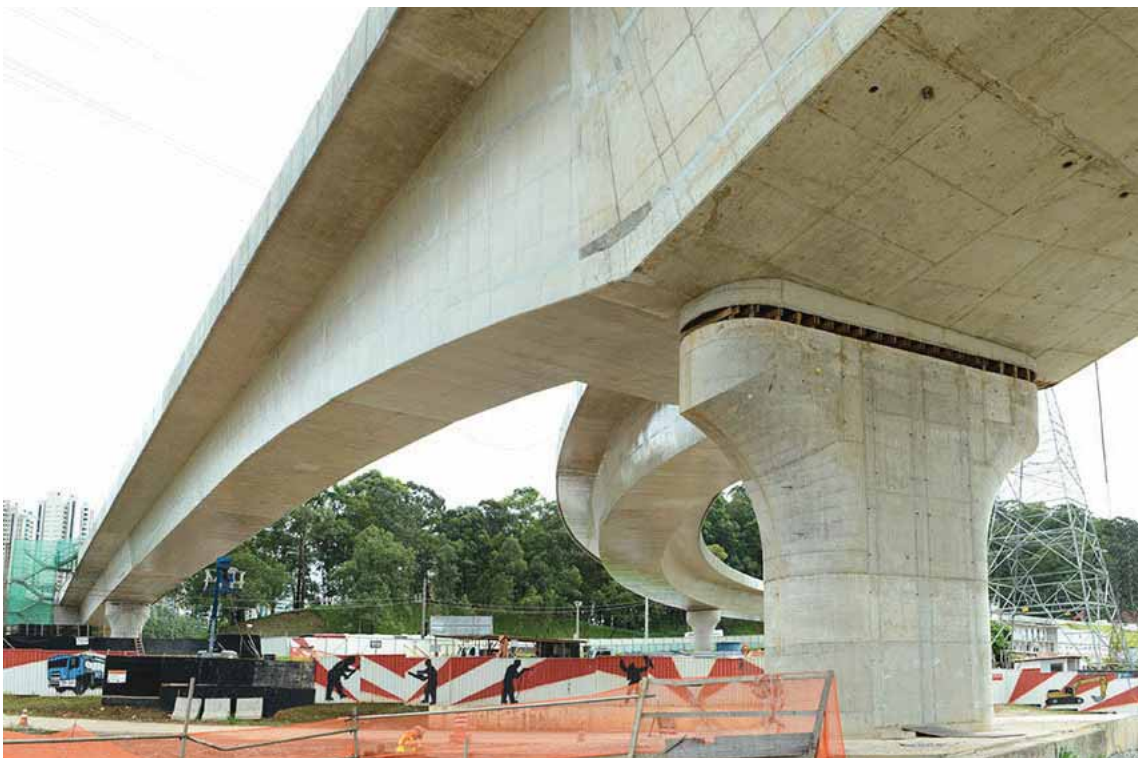


Foto 33 - Vista inferior dos vãos entre AP2 Ramo 100/AP3 e AP4 [03/2016]



Foto 34 - Vista inferior do vão entre AP4 e AP5 (foto tirada do AP5 em direção ao AP4) [03/2016]



Foto 35 - Vãos AP4 – AP5 – AP6 [03/2016]

maubertec

Maubertec Engenharia e Projetos Ltda.

Largo do Arouche, 24 10º andar 01219-902 São Paulo SP Fone (55 11) 3352 9090 Fax (55 11) 3361 2233
E-mail: maubertec@maubertec.com.br Site: www.maubertec.com.br