

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCÊNIO VIEIRA CHAVES FILHO

PROJETO
CONSTRUÇÃO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL PELO MÉTODO DE
BALANÇO SUCESSIVO – ESTUDO DE CASO

Recife
Dezembro de 2013

MARCÊNIO VIEIRA CHAVES FILHO

PROJETO
CONSTRUÇÃO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL PELO MÉTODO DE
BALANÇO SUCESSIVO – ESTUDO DE CASO

Projeto de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Pernambuco como requisito para
obtenção do título de graduação em
Engenharia Civil.

Orientador: Professor Dr. Jose Jeferson
do Rego Silva

Recife
Dezembro de 2013

C512p Chaves Filho, Marcênio Vieira

Projeto construção de obra de arte especial pelo método de balanço sucessivo – Estudo de caso / Marcênio Vieira Chaves Filho. – Recife: O Autor, 2013.

34 folhas, il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. José Jeferson do Rego Silva.

TCC (graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2013.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Ponte. 3. Balanços sucessivos. I. Silva, José Jeferson do Rego (orientador). II. Título.

624 CDD (22. ed.)

UFPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus amigos e aos meus colegas de faculdade.

Ao Doutor José Jeferson pela orientação na realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho de conclusão aborda de forma inicial as pontes num contexto geral, tem como objetivo principal abordar a construção de uma ponte pelo método de “balanços sucessivos” na forma de estudo de caso. O estudo de caso se refere a execução da superestrutura de uma ponte sobre a lagoa da Encanta Moça, no Recife. Para um melhor entendimento sobre a importância da obra será feita uma abordagem sobre o complexo viário em que a ponte está inserida, o complexo da Via Mangue se tornara mais uma importante opção de tráfego na zona sul da cidade do Recife. Ao término do trabalho serão apresentadas as características do projeto executivo, de maneira sucinta são mostradas as etapas de construção da infraestrutura e da mesoestrutura da ponte, além da execução da superestrutura em todas as etapas, começando na aduela de arranque prosseguido com as aduelas moldadas no local, escoradas com treliças, finalizando com as aduelas de fechamento.

Palavra Chave: Ponte, balanço sucessivos.

ABSTRACT

This paper discusses the completion of the initial form bridges in a general context, has as main objective to approach the construction of a bridge by the method of "cantilever" in the form of case study. The case study refers to the execution of the superstructure of a bridge over the pond Girl Charms in Recife. For a better understanding of the importance of the work will be done on the approach road complex in which the bridge is located, the complex of Via Mangue become another important option for traffic in the southern city of Recife. At the end of the work will be presented the design features executive succinctly shows the steps of building the infrastructure and mesostructure of the bridge, and the execution of the superstructure at all stages, starting at startup stave stave pursued with molded in Local, anchored with trellises, finishing with staves closing.

Keyword: Bridge, successive balance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista geral de uma ponte, mostrando os principais elementos constituintes	10
Figura 2. Mapa representativo da Via Mangue	17
Figura 3. Diagrama de sondagem SPT 20	19
Figura 4. Cravação das estacas P20 e P30	20
Figura 5. Paginação do Projeto de Forma do Bloco de Fundação da empresa Doka (Corte)	20
Figura 6. Paginação do Projeto de Forma do Bloco de Fundação da empresa Doka (Planta)	21
Figura 7. Paginação do Projeto de Escoramento dos Arranques P30 Doka (Corte)	22
Figura 8. Detalhe do escoramento do arranque do P30.....	22
Figura 9. Detalhe da face da treliça	23
Figura 10. Detalhe das aduelas (bainhas).	24
Figura 11. Movimentação da treliça-aduela 1.....	25
Figura 12. Movimentação da treliça – Aduela 02	26
Figura 13. Movimentação da treliça – Aduela 03	26
Figura 14. Detalhes da geometria das aduelas	28
Figura 15. Protensões nos seis cabos especificados nas vigas.....	31
Figura 16. Detalhes da distribuição dos cabos	31
Figura 17. Detalhes da distribuição dos cabos.....	32
Figura 18. Detalhes dos blocos de ancoragem – Tipo MTAI.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	07
1.1 Justificativa e Importância do Tema	07
1.2 Objetivos	08
1.2.1 Objetivo Geral	08
1.2.2 Objetivos específicos.....	08
1.3 Estrutura do Trabalho.....	08
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	09
2.1 Infraestrutura	09
2.2 Mesoestrutura	09
2.3 Superestrutura	10
2.4 Encontros	10
2.5 Classificação das pontes.....	10
2.6. Detalhamento dos sistemas estruturais.....	11
2.6.1 Pontes em Vigas	11
2.6.1.1 Vigas simplesmente apoiadas sem balanços.....	12
2.6.1.2 Vigas simplesmente apoiadas com balanços.....	12
2.6.1.3 Vigas contínuas.....	12
2.6.1.4 Vigas Gerber	13
2.6.2 Pontes em Lajes.....	13
2.6.3 Pontes em Arco.....	14
2.6.4 Pontes Estaiadas e Pontes Pênseis	14
2.6.5 Sistema em Balanços Sucessivos.....	15
3 ESTUDO DE CASO	16
3.1 A Via Mangue.....	16
3.2 Método executivo da infraestrutura e mesoestrutura da ponte Encanta Moça....	18
3.3 Método executivo da superestrutura da ponte Encanta Moça, com ênfase o processo de “balanços sucessivos”.	21
3.3.1 Controle das deformações e acompanhamento dos “balaços sucessivos”	27
3.3.2 Protensão, alongamentos dos cabos e injeção	30
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa e Importância do Tema

Desde os primórdios o homem sempre sentiu a necessidade de transpor obstáculos em busca de comida ou abrigo. Uma ponte nada mais é do que um projeto arquitetônico capaz de interligar localizações não acessíveis separadas por obstáculos naturais ou artificiais.

Um grande problema das grandes metrópoles brasileiras é o crescimento populacional desgovernado que acontece paralelamente aos baixos investimentos nos serviços de infra-estrutura e transporte, isso acaba trazendo diversos problemas na vida da população. Para sanarmos o problema é necessário um sistema de transporte eficiente, que consiga atender a população. Numa cidade como Recife, conhecida como a Veneza brasileira, a criação de novos acessos para os veículos encontram grandes obstáculos, como rios e avanços da maré. Uma das soluções viáveis encontrada pela engenharia é a construção de pontes, tornando possível a interligação entre dois pontos.

As pontes, estaiadas ou suspensas, em vigas ou em arcos, são denominadas obras-de-arte no contexto de engenharia. Obra-de-arte especial é um termo técnico utilizado para classificar construções como Pontes, Viadutos, Galerias, entre outros.

A escolha de um método executivo de uma ponte passa, a princípio pelo aspecto técnico, buscando a solução ideal para a situação geográfica existente. Ao mesmo tempo, é preciso enquadrar-se dentro de uma realidade econômica que deixe o projeto viável.

A execução de uma ponte sobre uma superfície aquática de longa extensão é possível através de alguns sistemas estruturais, bem como método construtivo. A técnica de "balanços sucessivos" é indicado para vencer vãos em áreas onde há dificuldade para montagem de escoramentos, como sobre rios e vales de tráfego intenso e quando a obra precisa ser executada sem causar grandes transtornos em seu perímetro.

Neste trabalho são abordadas as soluções e as dificuldades enfrentadas pela engenharia para a execução de uma ponte em balanços sucessivos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo é demonstrar as etapas construtivas de uma obra de arte especial: infra-estrutura, mesoestrutura e superestrutura; com destaque na execução de “balanços sucessivos”.

O trabalho a ser apresentado dará enfoque na execução da ponte sobre a Lagoa Encanta Moça.

1.2.2 Objetivos específicos

O enfoque do trabalho de dará na apresentação de todo o processo construtivo da superestrutura da obra de arte especial utilizando o método construtivo de "balanços sucessivos". Desde o posicionamento da treliça, montagem das armações e das formas, concretagem das peças e finalizando com a protensão.

1.3 Estrutura do Trabalho

Dentro do contexto do trabalho, no primeiro capítulo apresenta-se a introdução, que abrange a justificativa e a importância do tema, além de objetivo geral e os objetivos específicos.

No segundo capítulo é abordada a revisão bibliográfica, explicitando-se definições e caracterização de diversos tipos de pontes e viadutos, dando-se ênfase à técnica de construção em “balanços sucessivos”. O terceiro capítulo será dedicado a uma análise descritiva de um projeto na forma de estudo de caso, baseado na vivência diária da execução da Ponte Encanta Moça, no Recife.

No quarto capítulo apresenta-se a conclusão, seguindo as referências.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No sentido genérico, ponte é qualquer estrutura criada para vencer obstáculos. Segundo Marchetti (2008), uma ponte é construída com a finalidade de vencer obstáculos como um braço de mar, um vale, rios, construindo-se um elemento de sistema viário.

A estrutura de uma ponte pode ser dividida em três partes: a infraestrutura, a mesoestrutura e a superestrutura. Alguns autores acrescentam os encontros como mais uma etapa da obra.

2.1 Infraestrutura

A infraestrutura é a parte da ponte por onde os esforços recebidos da mesoestrutura são transferidas para o terreno sobre o qual a obra está implantada. Os blocos, as sapatas, as estacas, os tubulões etc... são os elementos constituintes da infraestrutura, assim como as peças de ligação dos diversos elementos entre si, e deles com a mesoestrutura.

Através das sondagens e ensaios geotécnicos, são analisadas as características do terreno e adotada a solução mais adequada para fundações da obra de arte.

Segundo Waldir (2008) a infraestrutura é a parte da ponte por onde os esforços provenientes da mesoestrutura e da superestrutura transferidos para o terreno sobre o qual a obra está implantada.

2.2 Mesoestrutura

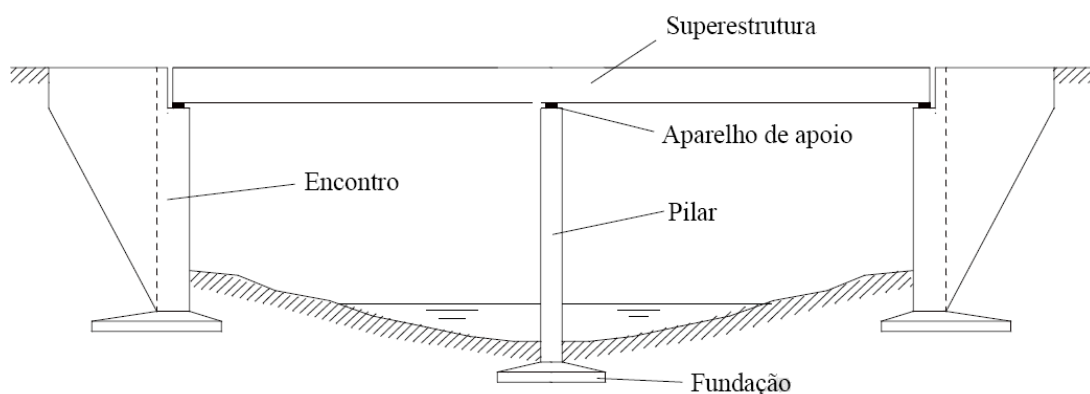
Segundo Pfeil (1987), a mesoestrutura de uma ponte é constituída pelos pilares, cuja função consiste em transmitir as cargas das superestruturas para a infraestruturas.

Os pilares são os elementos que recebem os esforços da superestrutura e os das ações sobre os próprios pilares, transferindo-os para a infraestrutura.

2.3 Superestrutura

Para Waldir (2008) a superestrutura é composta, em geral, por lajes e vigas principais e secundárias. Gomes (2006), explicita que a superestrutura de uma ponte é representada pelos elementos que formam o tabuleiro, sendo este considerado a área útil da ponte ou viaduto. É parte que recebe diretamente as cargas do tráfego.

Figura 1. Vista geral de uma ponte, mostrando os principais elementos constituintes.



Fonte: (TAKEYA,2009, p.4).

2.4 Encontros

Segundo Lazzari (2008), os encontros são estruturas de concreto armado, que tem o objetivo de proteger os extremos do aterro contra erosão e receber os esforços horizontais de aceleração e frenagem aplicados no tabuleiro.

2.5 Classificação das pontes

Segundo Waldir (2008), existem diversos tipos de pontes, as quais podem ser classificadas em relação a diversos aspectos, entre os mais comuns: quanto sua

finalidade de utilização, material de construção, tipo estrutural, tempo de utilização e mobilidade do estrato.

Quanto a sua finalidade, as pontes podem ser rodoviárias, ferroviárias, passarelas, rodoferroviárias, entre outras, além de, destinar-se ao apoio de dutos diversos. Para realizar um projeto, torna-se necessário definir a utilidade da ponte, considerando que há variáveis a serem consideradas para cada tipo de finalidade.

Ainda de acordo com Waldir (2008), as pontes quanto a matéria-prima utilizada na sua construção podem ser: de madeira, de pedras, de concreto (simples, armado ou protendido) e metálicas.

Pode-se classificá-las, também, quanto ao seu tipo estrutural e podendo ser em laje, viga, caixão, treliça, pórtico, arco ou suspensa (pênseis). Em termos de tempo de utilização as pontes se subdividem em permanentes e provisórias.

Por último, pode-se classificar as pontes quanto a sua mobilidade do substrato, que são: flutuantes, corrediças, levadiças, basculantes e giratórias.

2.6. Detalhamento dos sistemas estruturais

Os sistemas estruturais normalmente empregados nas pontes de concreto são classificados como:

- pontes em viga
- pontes em lajes
- pontes em arco
- pontes estaiadas

2.6.1 Pontes em Vigas

Este tipo estrutural é o mais utilizado no Brasil e deste modo será dado maior enfoque a este modelo de construção. Segundo Martinelli (1971), as pontes em viga se caracterizam por apresentarem vinculações que não transmitem momentos fletores da superestrutura para a infraestrutura.

As pontes em vigas podem ter características diferentes, de acordo com as necessidades da estrutura. Ainda conforme Martinelli (1971), existem os modelos estruturais das vigas descritos abaixo:

2.6.1.1 Vigas simplesmente apoiadas sem balanços

De acordo com Martinelli (1971), as vigas simplesmente apoiadas sem balanços, se constituem num tipo estrutural relativamente pobre, pois imposto um determinado vão, existem poucas possibilidades de melhorar a distribuição dos esforços. Em razão disto, os vãos empregados com este tipo estrutural, dificilmente ultrapassam a casa dos 50 metros. A sucessão de tramos simplesmente apoiados é usualmente empregada nas pontes em que se utiliza o processo construtivo com vigas pré-moldadas.

2.6.1.2 Vigas simplesmente apoiadas com balanços

Conforme Martinelli (1971), este tipo estrutural possibilita uma melhor distribuição de esforços solicitantes, pois ao introduzir momentos negativos nos apoios, haverá uma diminuição dos momentos positivos no meio do vão. Além dessa vantagem, o tipo estrutural em questão possibilita, de uma forma natural, a eliminação dos encontros, que é uma estrutura relativamente cara.

Por outro lado, este tipo estrutural apresenta uma desvantagem relacionada à manutenção, que é a dificuldade de impedir a fuga de material nas extremidades da ponte junto ao aterro. Em consequência desta desvantagem, o emprego deste sistema estrutural tem sido militado ultimamente.

2.6.1.3 Vigas contínuas

Se não houver restrições de ordem urbanística, topográfica ou construtiva, deve-se fazer os vãos extremos cerca de 20% menores que os vãos internos de forma que os máximos momentos fletores sejam aproximadamente iguais, resultando assim uma melhor distribuição das solicitações.

Martinelli (1971), a distribuição de momentos fletores pode também ser melhorada através da adoção de momentos de inércia das seções variáveis ao

longo dos vãos. O aumento do momento de inércia das seções junto aos apoios, implicará no aumento do momento fletor negativo dessas seções, e na diminuição do momento fletor positivo das seções do meio dos vãos, o que possibilitará a redução da altura das seções nestas posições; essa redução da altura das seções no meio dos vãos poderá por seu turno, facilitar o atendimento dos gabaritos relativos à transposição do obstáculo.

Martinelli (1971), destaca que outro aspecto relevante das pontes de vigas contínuas é o fato de que não se haver necessidades de juntas no tabuleiro. No entanto, quando o comprimento da ponte é muito grande, os efeitos de variação de temperatura se tornam importantes, e neste caso é conveniente introduzir juntas. Em princípio, como indicação inicial, pode ser adotado espaçamento de 100 m entre as juntas, no caso de se empregarem aparelhos de apoio comuns. No caso de aparelhos de apoio especiais à base de teflon, o espaçamento entre as juntas pode ser aumentado chegando até cerca de 400 m.

2.6.1.4 Vigas Gerber

Pode ser entendida como derivada da viga contínua, na qual são colocadas articulações de tal forma a tornar o esquema isostático, e como consequência disto, não receberá esforços adicionais devidos aos recalques diferenciais dos apoios.

De acordo com Martinelli (1971), se as articulações forem dispostas nos pontos de momento nulo do diagrama de momentos fletores provocados pela carga permanente, tem-se, o comportamento da viga Gerber, em relação às cargas permanentes, igual ao das vigas contínuas. Assim, para pontes de grandes vãos, em que o peso próprio representa uma grande parcela da totalidade das cargas, as vigas Gerber teriam um comportamento próximo ao das vigas contínuas, sem sofrer a influência danosa dos recalques diferenciais.

2.6.2 Pontes em Lajes

Gomes (2006), observa que as pontes em lajes possuem as seções transversais desprovidas de qualquer vigamento, podendo ter um sistema estrutural apoiado ou contínuo. Esse tipo estrutural apresenta algumas vantagens, entre as

quais, construções de altura reduzida, resistência à torção e boa produtividade de execução.

Podem ser moldadas no local ou constituídas de elementos pré-moldados, e os detalhes das fôrmas, das armaduras e a concretagem são simples. Segundo Mason (1977), a armação das pontes em lajes pode ser de concreto armado ou protendido.

2.6.3 Pontes em Arco

Segundo DNIT (1996), estruturas executadas em arco permitem o uso do concreto armado convencional em pontes com grandes vãos e reduzido consumo de material. O eixo do arco poderá ser preferencialmente projetado buscando coincidir com a linha de pressões devida a carga permanente, para aproveitar a boa resistência a compressão que o concreto apresenta.

Já de acordo com Marchetti (2008), as obras em aço podem ser projetadas com tabuleiro superior que são sustentadas por montantes ou com tabuleiro inferior que são sustentadas por tirantes ou pendurais.

Conforme Mason (1977), as pontes em arcos com tabuleiro superior são mais indicadas para pequenos vãos e para grandes vãos utiliza-se a ponte em arco com tabuleiro superior.

2.6.4 Pontes Estaiadas e Pontes Pênseis

Trata-se de um tipo estrutural que largamente utilizado no exterior. No Brasil, recentemente este sistema estrutural de uso até então reduzido tem recebido maior incremento. Uma das principais características que tem favorecido o emprego crescente das pontes estaiadas é a sua execução.

Segundo Debs (2009), as pontes pênsil precisam ser cimbradas ao longo do vão para não solicitar o cabo durante a montagem ou, no caso mais comum, o cabo precisa de ser ancorado em grandes blocos para suportar as forças de tração que são produzidas à medida que o tabuleiro vai sendo pendurado.

Já na ponte estaiada, à medida que vai sendo executado o tabuleiro, as forças horizontais vão sendo auto-equilibradas.

Para Gomes (2006), as pontes estaiadas diferem das pontes pênséis principalmente na maneira em que os cabos são conectados às torres. Nas pontes pênséis os cabos passam livremente através das torres e nas pontes estaiadas os cabos são ancorados nas torres.

2.6.5 Sistema em Balanços Sucessivos

De acordo com o DNIT (1996), o processo executivo de balanços sucessivos tem sido muito utilizado e desenvolvido nos últimos anos, o processo consiste na execução da estrutura em segmentos, aduelas que o comprimento varia entre 3,00 e 10,00 metros, constituindo balanços que, em geral, são equilibradas pelo avanço simultâneo dos balanços dos vãos vizinhos.

Ainda de acordo com o DNIT (1996), quando os balanços são desiguais, ou se pretende partir de um apoio para os seguintes em execução contínua, é usual a utilização de apoios provisórios intermediários ou estais ajustáveis ao desenvolvimento do vão, suportados por torres provisórias e ancorados no apoio anterior.

As aduelas podem ser concretadas no local ou podem ser pré-moldadas. No método executivo feito no local, a concretagem é realizada através de formas deslocáveis em balaços, escoradas por treliças, suportada pelas aduelas já concluídas.

Ainda de acordo com o DNIT (1996), o número e o comprimento das treliças são determinados em função da geometria e peso da aduela a ser concretada. Os vigamentos transversais e pendurais são também dimensionados em função da aduela.

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso se refere a um dos trechos da obra Via Mangue, a Ponte Encanta Moça. A prefeitura da cidade do Recife fez uma licitação que teve como ganhadora a Construtora Queiroz Galvão.

O estudo de caso tem como objetivo a descrição de todas as etapas de construção da ponte, descrevendo-as com detalhes e por etapas.

3.1 A Via Mangue

Considerada a maior obra viária das últimas décadas na capital pernambucana, a Via Mangue está sendo desenvolvida pela Prefeitura do Recife em parceria com o Governo Federal e se insere na preparação da cidade para a Copa do Mundo de 2014, a Via Mangue será composta por faixas de rolamento para veículos, calçadas para pedestres e ciclovia. No sentido Centro/Boa Viagem, o corredor terá 4,5km de extensão. Já no sentido contrário, serão 4,37km. Esta obra engloba, ainda, a construção de dois elevados sobre a Rua Antônio Falcão, em Boa Viagem; pontes; uma alça de ligação (alargamento da Ponte Paulo Guerra), além de uma passagem semi enterrada.

No complexo viário integrado pela Via Mangue, os trabalhos de execução estão acontecendo em diversos pontos do seu percurso. Há canteiros de obra instalados nas ruas Antônio Falcão, Imperial, República do Líbano, no Cabanga, na comunidade de Encanta Moça e no Aeroclube.

Figura 2. Mapa representativo da Via Mangue



Fonte: (BLOGDOJAMILDO, 2009)

A Ponte Encanta Moça possui três vãos, sendo que o maior fica entre os pilares 20 e 30, com um total de 100 metros. Existem duas pontes (pista esquerda e direita) unidas tem a largura de 26,50 metros, a da direita tem um comprimento total de 216 metros já a da esquerda tem 204 metros. O método executivo usado na ponte é o de balanços sucessivos com aduelas que variam de 4,82 na obra esquerda e 5,17 n obra direita.Essas peças serão concretadas in loco e serão escoradas através de treliças.

As estacas usadas na infraestrutura são as metálicas(perfis simples e duplos) com cerca de 600,00mm que apóiam os blocos.

A mesoestrutura é composta por dois pórticos de apoio, que ficam nas extremidades da ponte e por quatro pilares (para cada obra esquerda/direita), que variam seu tamanho devido ao caimento da pista definido no projeto geométrico.

A superestrutura é formada por 82 aduelas, que são escoradas por treliças, no método de balanços sucessivos.

3.2 Método executivo da infraestrutura e mesoestrutura da ponte Encanta

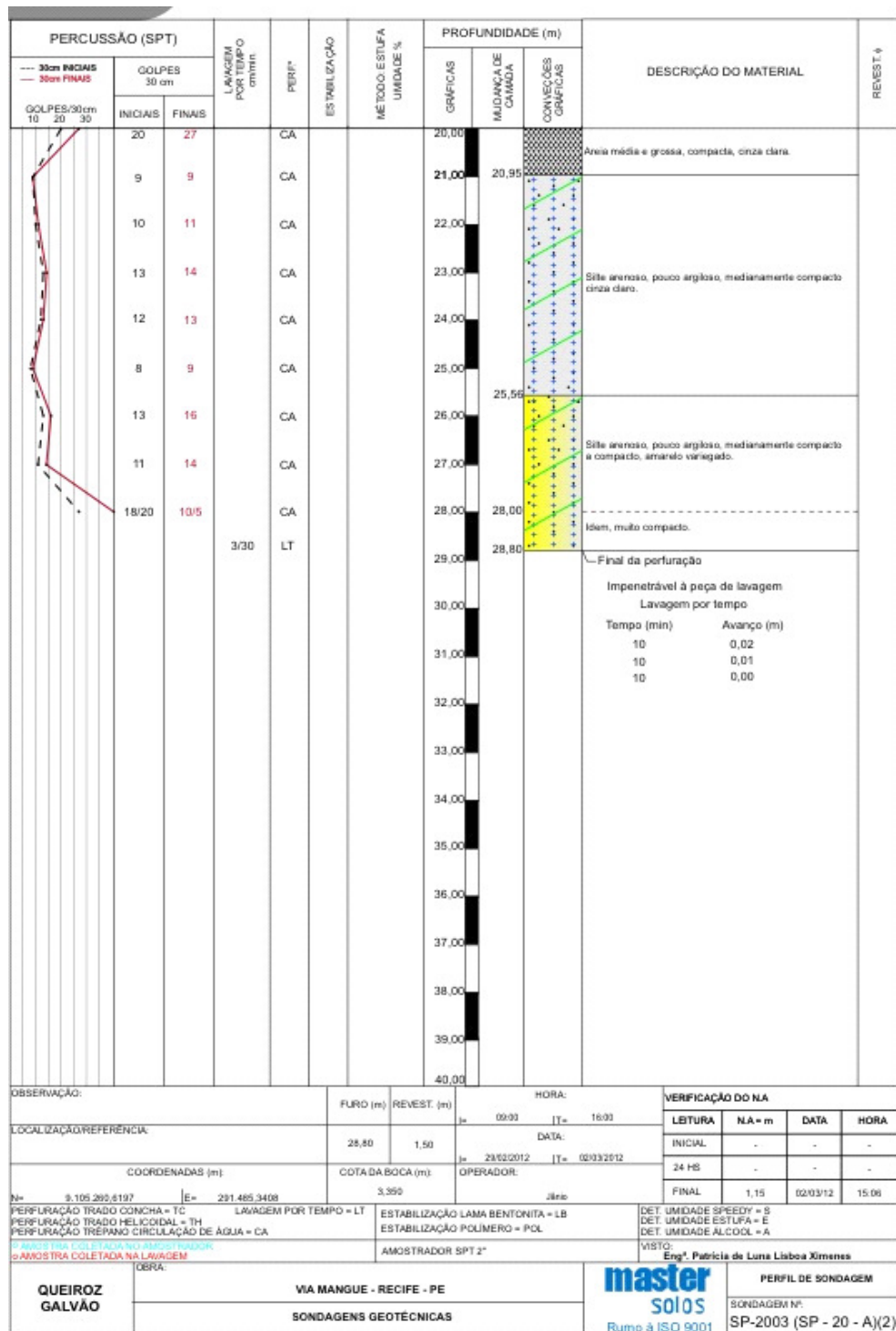
Moça

Para começarmos a execução da ponte era preciso, antes de qualquer intervenção, obter a liberação ambiental. Foi necessário que acontecesse um pequeno desmatamento de mangue e um grande aterro, com aproximadamente 5.550m³ de areia, para viabilizar a execução das cravações das estacas.

No projeto inicial da ponte constava a cravação de estacas centrifugas concreto armado de 600,00mm para os blocos centrais e de estacas metálicas para os blocos das extremidades.

O primeiro problema na execução da obra aconteceu na cravação das estacas pré- moldadas, elas estavam atingindo a cota de profundidade solicitada pelo projeto. Devido as esforços muito grandes na cravação elas acabavam fissurando. Com isso, houve uma alteração no projeto e assim, foi recomendado um reforço nas estacas - passando a se utilizar perfis metálicos. Como ilustra-se na figura 3, a seguir é apresentado o perfil de sondagem SPT do subsolo do terreno de cravação das referidas estacas.

Figura 3. Diagrama de sondagem SPT 20



Fonte: (MASTER, 2013)

Para que não houvesse uma maior perda de produtividade na cravação dos perfis e um atraso brusco de cronograma, foram contratadas duas máquinas EM8000HH (Bate estaca pneumático), uma para o P30 e outra para o P20, conforme a figura 4 abaixo.

Figura 4. Cravação das estacas P20 e P30

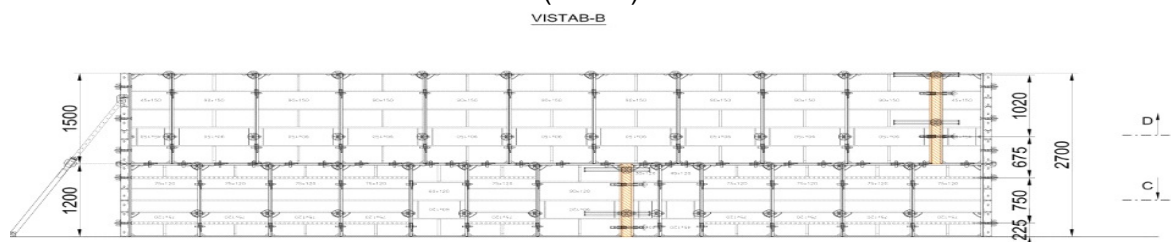


Fonte: (dados coletados durante a pesquisa, 2013)

O bloco teve que sofrer alterações geométricas devido ao reforço na fundação. Tal bloco antes possuía 7,10 m x 7,10 m x 2,60 m, passando após a adequação a ter dimensões de 9,10 m x 9,10 m x 2,80m. Foi necessário um trabalho manual dispendioso na execução do bloco diante da dimensão e do volume de sua armação, que chegava a pesar 32.000 Kg.

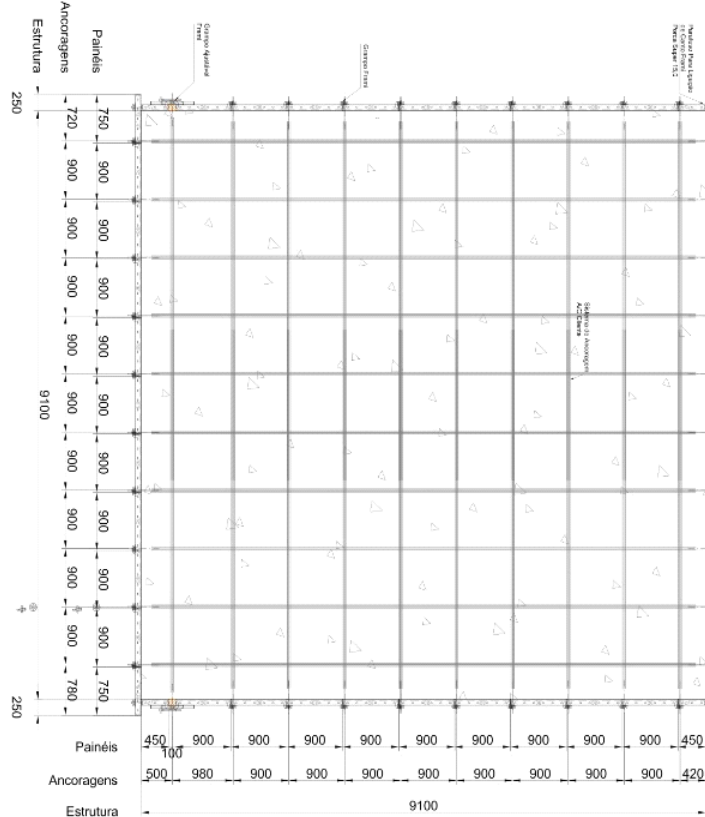
Uma empresa especializada, a Doka, foi contratada para dimensionar o material utilizado para a fôrma e escoramento dessa peça estrutural. As figuras seguintes detalham a fôrma e o escoramento do bloco:

Figura 5. Paginação do Projeto de Forma do Bloco de Fundação da empresa Doka
(Corte)



Fonte: (DOKA, 2013)

Figura 6. Paginação do Projeto de Forma do Bloco de Fundação da empresa Doka (Planta)



Fonte: (DOKA, 2013)

Os blocos foram executados em duas etapas, com volumes variáveis. Essa precaução ocorreu com o intuito de evitar um aquecimento indesejável do concreto. Para isso, a empresa de tecnologia forneceu um traço com a substituição da água por gelo. Durante a concretagem, houve um monitoramento da temperatura do concreto.

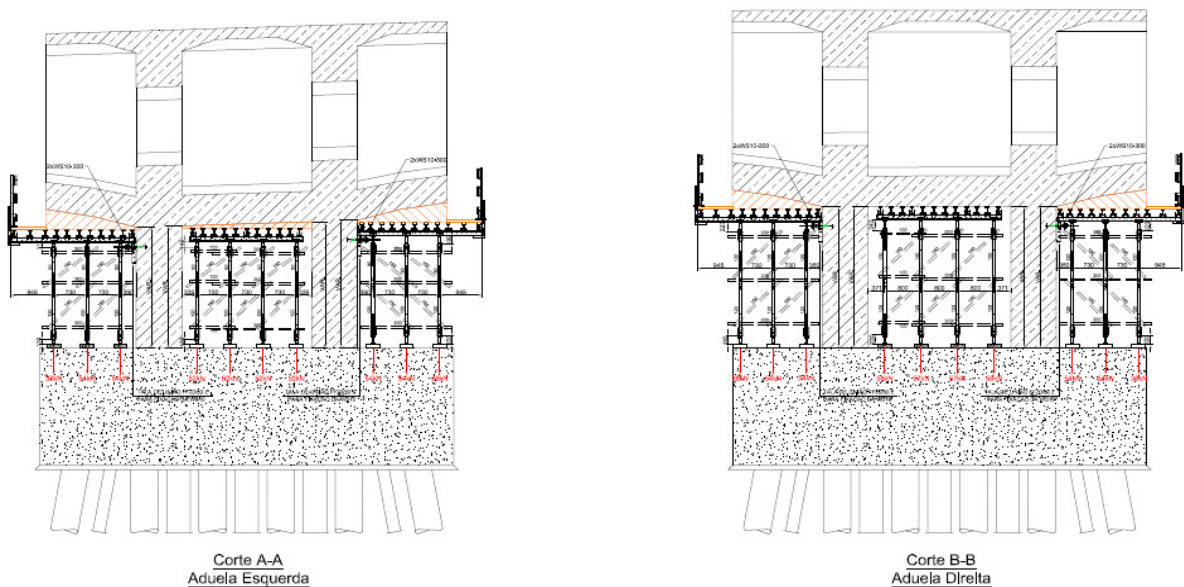
Para a execução dos pilares, não houve nenhuma preocupação especial, já que os pilares não tinham grandes alturas, variando entre 1,04 a 3,24 metros.

3.3 Método executivo da superestrutura da ponte Encanta Moça, com ênfase o processo de “balanços sucessivos”.

A superestrutura foi iniciada partindo de quatro frentes de serviço o pilar 20 direito e esquerdo e o pilar 30 direito e esquerdo. A primeira aduela executada e chamada de aduela de "arranque" e sua execução foi dividida em três etapas: laje inferior, vigas e laje superior.

Para escoramos a laje inferior foi preciso a elaboração de um projeto de escoramento que foi feito pela empresa Doka. Como podemos observar nas figuras abaixo foram utilizados quadros de cimbramento, assim como vigas de apoio para distribuir as cargas.

Figura 7. Paginação do Projeto de Escoramento dos Arranques P30 Doka (Corte)



Fonte: (DOKA, 2013)

Figura 8. Detalhe do escoramento do arranque do P30



Fonte: (dados coletados durante a pesquisa, 2013)

Para as três etapas foram utilizadas materiais da própria construtora, utilizado-se folhas de madeira de 18 mm e barrotes de 3 polegadas. Já para o travamento das mesmas usou-se barras roscadas, tanto para laje inferior como para superior também foi utilizado módulos da empresa Doka.

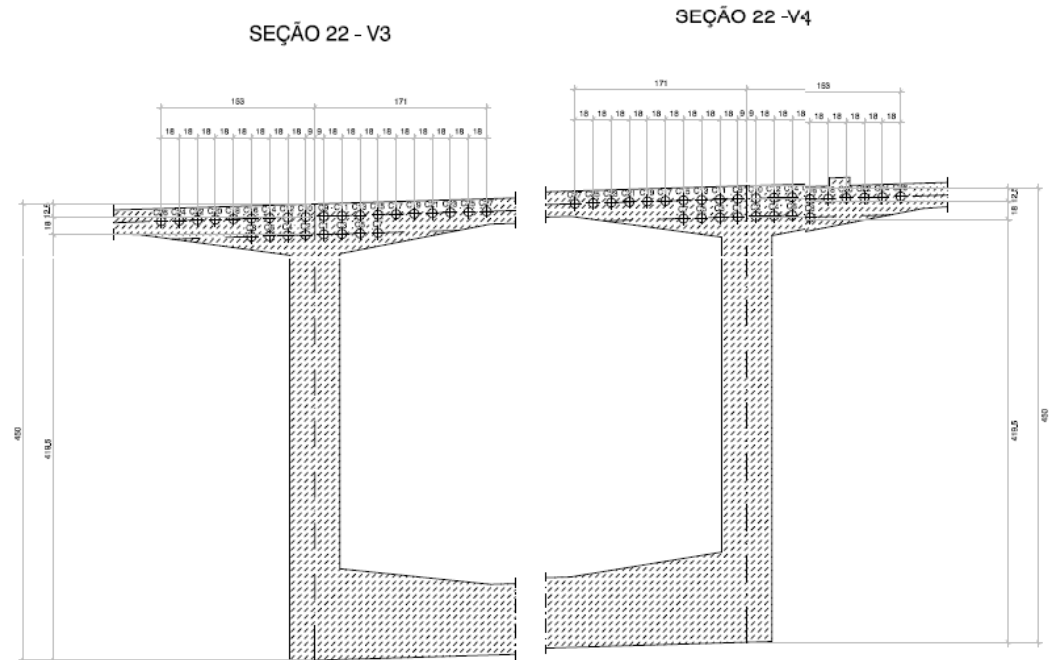
Um detalhe primordial a ser conferido antes da concretagem da laje superior foi a locação dos furos de ancoragem das treliças que passam por dentro da laje superior. Segue imagen abaixo demonstrando os furos na laje para adaptação das facas das treliças.

Figura 9. Detalhe da faca da treliça



Fonte: (dados coletados durante a pesquisa, 2013)

Figura 10. Detalhe das aduelas (bainhas).



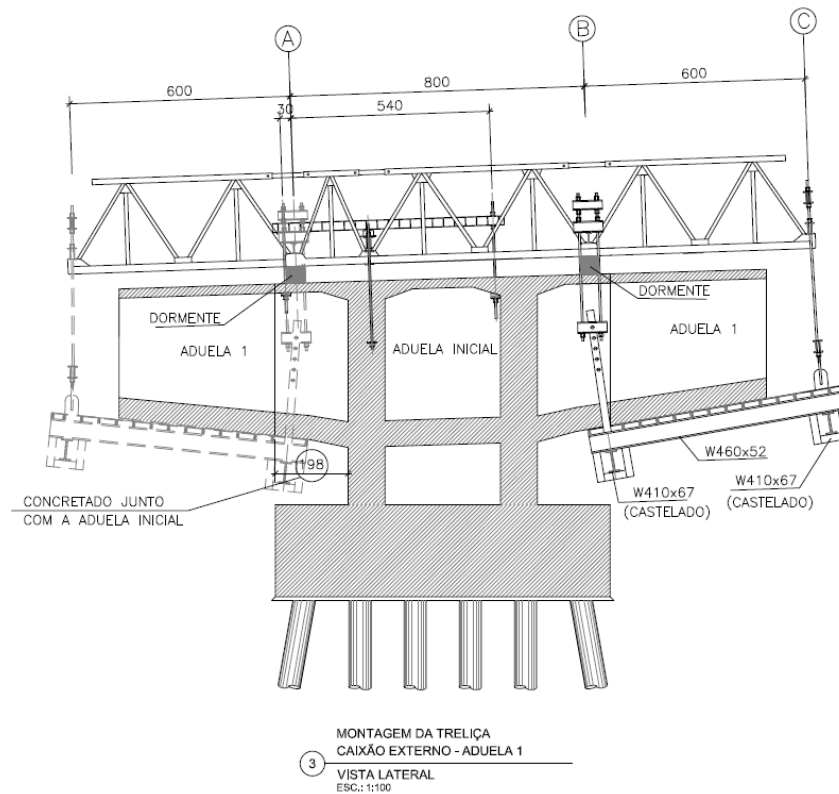
Fonte: (Projeto de Protensão JBR, 2012)

Antes da concretagem além da locação também foi conferido as cotas da aduela, a armação, as quantidades e locação das bainhas. Acima podemos observar como fica a disposição das bainhas na aduela arranque.

Após a execução das três etapas, foram iniciadas as montagens das treliças. Para iniciar os balanços sucessivos foi necessário toda uma mobilização de materiais e equipamentos, a equipe de produção fez a mobilização para montar as treliças de forma que não houvesse qualquer tipo de problema em sua execução. Elas foram montadas in loco com a ajuda de guias instaladas entre as aduelas de arranque. As treliças foram devidamente locadas sobre a aduela zero. A partir disso o monitoramento das deformações foi iniciado.

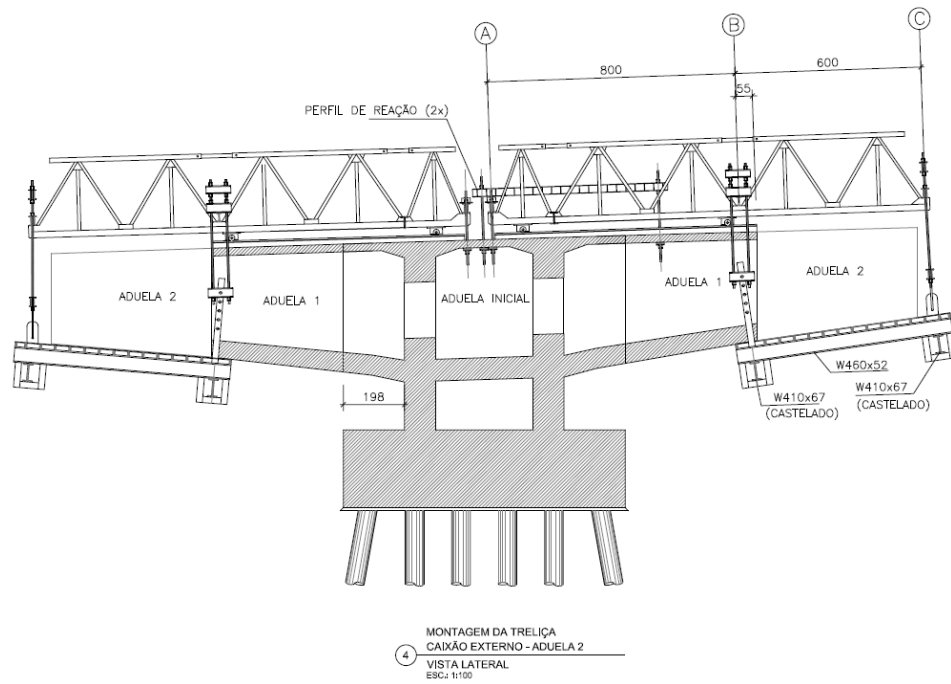
Para que a superestrutura seja executada de forma eficaz é necessário adotarmos um eixo de simetria e a partir dele fazermos um avanço simultâneo. As figuras abaixo demonstram em seqüência o avanço da execução das aduela.

Figura 11. Movimentação da treliça-aduela 1



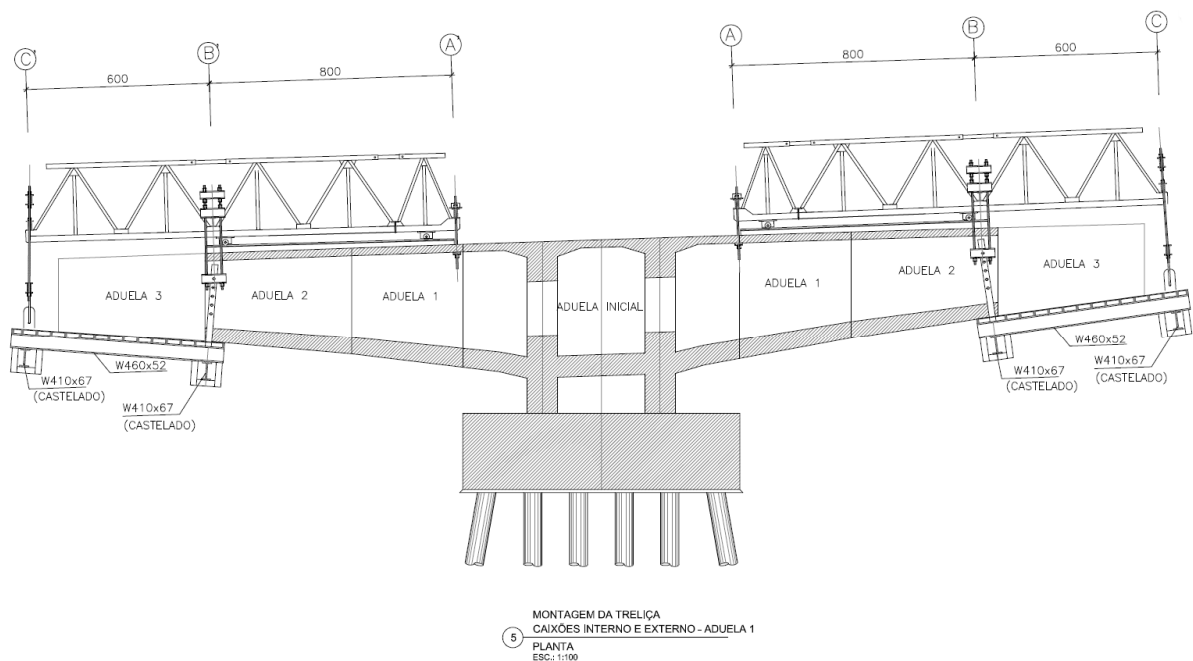
Fonte: Projeto Executivo Esquema de Montagem MSMachado projetos e consultoria ltda.

Figura 12. Movimentação da treliça – Aduela 02



Fonte: Projeto Executivo Esquema de Montagem MSMachado projetos e consultoria ltda.

Figura 13. Movimentação da treliça – Aduela 03



Fonte: Projeto Executivo Esquema de Montagem MSMachado projetos e consultoria ltda.

3.3.1 Controle das deformações e acompanhamento dos “balaços sucessivos”.

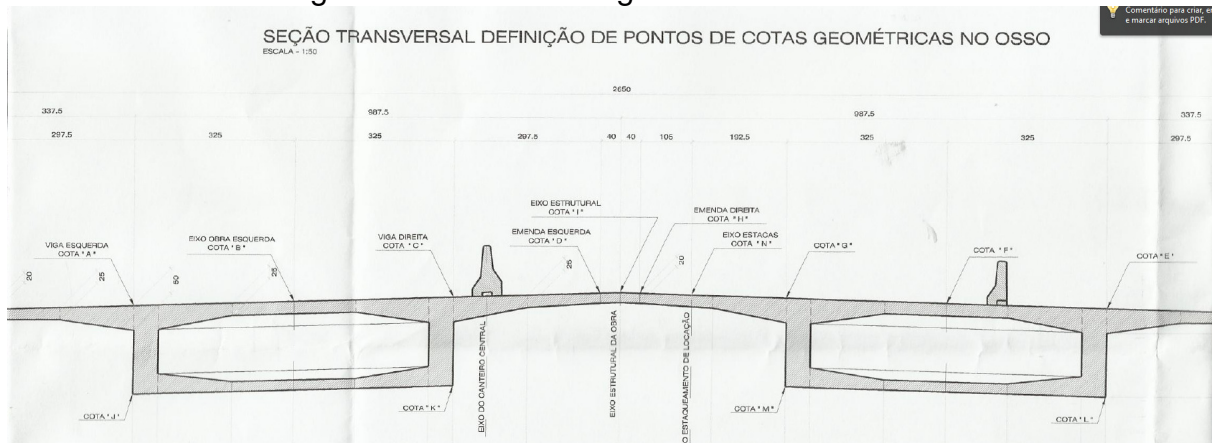
A execução das aduelas foi feita seguindo recomendações do projetista enviadas através de um ofício denominado de ATO- Acompanhamento Técnico de Obras.

Para a execução das aduelas, foi necessário seguir as recomendações do projetista. Essas recomendações foram enviadas através de um ofício denominado de ATO – Acompanhamento Técnico de Obras.

Segundo o ATO - Acompanhamento Técnico da Obra solicitado pela CAF Engenharia “as recomendações de procedimento de medição e controle de deformações, especificações, memorial descritivo para execução dos trechos de aduelas em balanços sucessivos” foram elaboradas para análise de cada etapa da obra. (CAF, 2013)

Após o içamento da treliça, foi executada a primeira aduela da Ponte Encanta Moça. Na fase FASE – 01 - Para montagem da fôrma, o documento “ATO” informa que as cotas (“J” – “K” e “M” – “L”) serão definidas pela equipe técnica da obra e essas são denominadas de “cotas fornecidas”. As cotas deverão ser implantadas sempre no mesmo horário diário, buscando encontrar as mesmas condições de temperatura e assim, não ter resultados incoerentes. (CAF, 2013). Na imagem abaixo são destacadas as cotas citadas acima.

Figura 14. Detalhes da geometria das aduelas



Fonte: (Projeto de Protensão JBR, 2012)

A FASE – 02 destaca que a moldagem das aduelas somente será iniciada após a total aferição das cotas fornecidas e da geometria especificada nos projetos. (CAF, 2013)

Após o nivelamento através das cotas fornecidas, foi iniciada a montagem da armação, fôrma e concretagem da laje inferior das aduelas. A sequência de serviços das aduelas era seguida por etapas de 1 a 6 de acordo com o projeto, da seguinte forma:

- 1 – concretar a laje inferior do contra balanço.
- 2 – concretar a laje inferior do balanço.
- 3 – concretar as vigas do contra balanço.
- 4 – concretar as vigas do balanço.
- 5 – concretar a laje superior do contra balanço.
- 6 - concretar a laje superior do balanço. (CAF, 2013)

De acordo com o documento ATO (CAF, 2013), a FASE – 03, as aferições topográficas para o controle geométrico e estrutural, durante a implantação, seguiram as seguintes orientações:

Medições de cotas dos quatro bordos superiores dos blocos de coroamento das estacas, antes e após a moldagem completa das aduelas de cada etapa dos avanços. Essa conferência do nível de cada bordo ocorre diariamente pela manhã, buscando detectar desníveis que podem surgir devido a um desequilíbrio na estrutura, em tempo hábil para possíveis correções segundo o documento ATO. (CAF, 2013):

Medições de nivelamento de no mínimo 2 pontos para os tabuleiros – denominadas de cotas ou referência de leitura e controle. Essas deverão ser tomadas em todas as sessões transversais já executadas até a cota de moldagem atual após a execução da FASE 02 e FASE 04 denominadas fase de moldagem e protensão, respectivamente. Eventualmente nas primeiras aduelas, AD-01 e AD-02, serão necessárias medições de aferição das deformações após a moldagem das lajes de fundo de ambos extremos dos balanços, somente nos pontes de implantação. Isso para o conhecimento do equipamento de escoramento.

Horários de tomadas de medidas de aferição, tanto para implantação como para o controle, deverão ser sempre os mesmos a cada etapa e é sugerido que sejam adotadas as primeiras horas da manhã. Adota-se as aferições de desnível em horários semelhantes, de preferência nas primeiras horas da manhã, tentando reduzir o aquecimento da estrutura que ocasiona dilatação.

O ATO destaca em sua FASE 04 de acompanhamento, que a protensão das aduelas, a cada etapa dos avanços, deverá ser implantada conforme as cargas especificadas no projeto (inclusive aferição e controle dos alongamentos especificados). O que só deve acontecer após a concretagem das vigas (nervuras, paredes dos caixões) ter atingido resistência mínima $f_{ck} > 25\text{MPa}$ e $j > 3$ dias e , ainda, que o concreto da laje superior tenha adquirido resistência $f_{ck} > 20\text{Mpa}$ e $j > 36$ horas (CAF, 2013).

A FASE 05 cita que as medições após a protensão deverão ser como as descritas na fase 03. Recomenda-se que as medições somente sejam tomadas na manhã seguintes e que desloquem os equipamentos de escoramento suspensos logo após a liberação pelo ATO das aferições de protensão. Nivelamentos finais desta fase, podem ser medidos após deslocamentos ou avanços dos escoramento suspensos e seus acessórios, completos.

A FASE 06 do processo só é após aferidos os pontos de controle topográfico e o deslocamento completo das treliças e seus acessórios para o avanço, as informações de novas cotas de implantação poderão ser informadas somente após análise e processamento da equipe técnica (CAF, 2013)

A FASE 07, última do ciclo de acompanhamento, consta seguinte: Após a análise e processamento de todos os resultados finais das leituras de aferições tomadas de campo, serão fornecidas novas cotas de implantação e demais procedimentos, se considerados necessários e especificar, pelo pessoal técnico responsável pelo ATO, para a devida orientação ao pessoal técnico responsável pela implantação da obra e, então, final da liberação de reinício de novo ciclo de fases executivas a partir da FASE 01 (CAF, 2013).

3.3.2 Protensão, alongamentos dos cabos e injeção

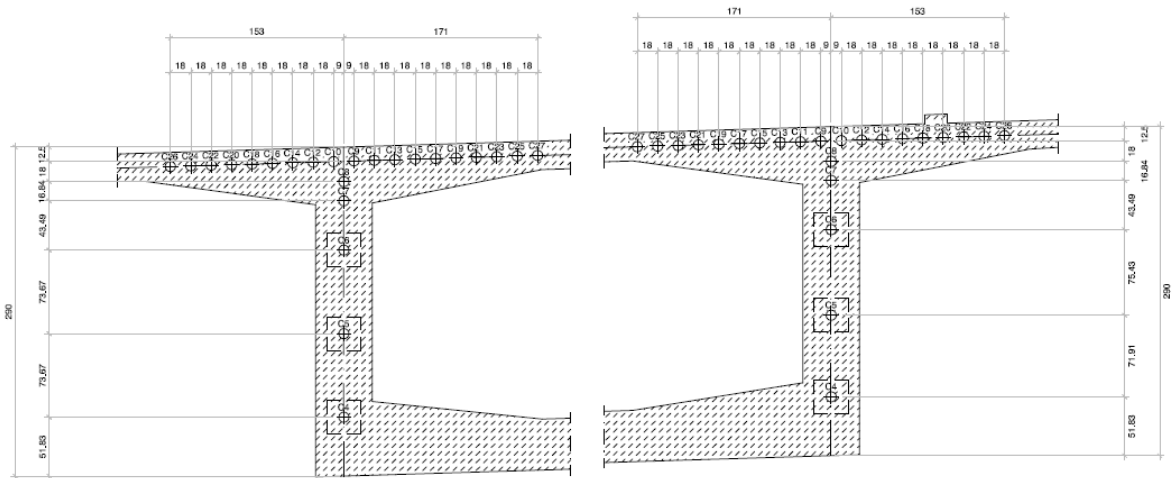
Para realizarmos a concretagem é feita um controle pela empresa Tecomat que rompe os corpos de prova para que possamos saber a resistência do concreto. Com as resistências atingidas e a liberação da topografia podemos realizar a protensão conforme item 04 do ATO, citado acima.

A empresa responsável por essa etapa de execução da obra foi a Protende e para sua realização todos as recomendações de projeto foram respeitadas. A figura a seguir detalha a seção em que ocorrerá as protensões nos seis cabos especificados nas vigas.

Figura 15. Protensões nos seis cabos especificados nas vigas

SEÇÃO 17 = SEÇÃO 27 - V3

SEÇÃO 17 = SEÇÃO 27 - V4



Fonte: (Projeto de Protensão JBR, 2012)

Nas aduelas 1, 2, 3, 7, 8 e 9 nós temos seis pontos de ancoragem, três em cada viga. Na aduelas 4, 5 e 6 além disso nós temos dois blocos de ancoragem que ficam sobre a laje superior, as cordoalhas desse bloco vão morrer na última aduela, a de número doze. Na última aduela nós temos 12 blocos de ancoragem. O corte longitudinal mostrado na figura abaixo detalha a distribuição dos cabos em toda a ponte.

Figura 16. Detalhes da distribuição dos cabos

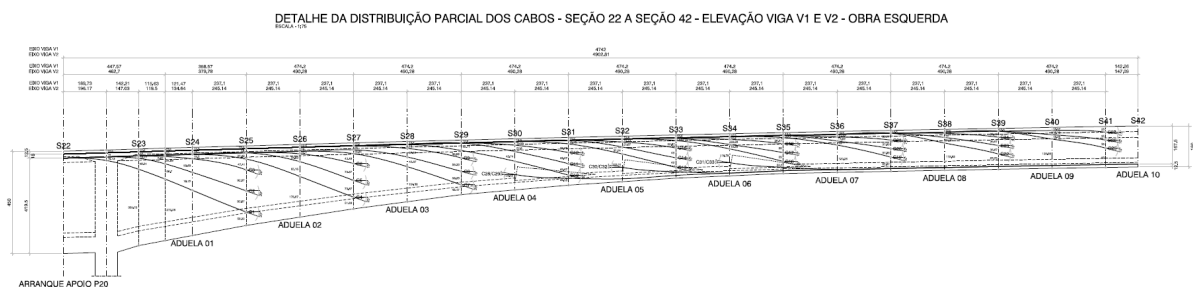
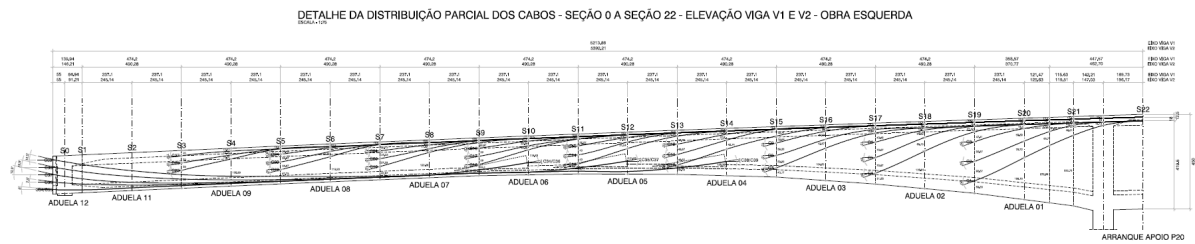


Figura 17. Detalhes da distribuição dos cabos

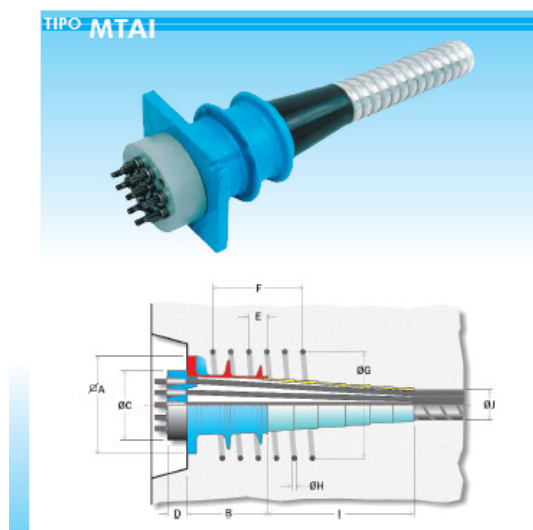


Fonte: (Projeto de Protensão JBR, 2012)

O aço recomendado em projeto foi o da categoria 15Ø15,20mm. Todas as cordoalhas foram devidamente ensaiadas e no seu recebimento havia uma numeração indicando o teste realizado.

Figura 18. Detalhes dos blocos de ancoragem – Tipo MTAI

ANCORAGENS ATIVAS



Fonte: (Protende, 2013)

Por recomendação do engenheiro projetista, a injeção dos cabos ocorrerá após a execução de todas as aduelas (PROTENDE, 2012).

Para garantirmos uma proteção eficaz e o perfeito funcionamento das armaduras protendidas nós fazemos a injeção dos cabos, elas protegem contra a corrosão e garantem a ligação mecânica das armaduras com o concreto.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde a escolha desse tema para o projeto, já era sabido o cenário de complexidade de uma obra de tal porte. Para reduzir os eventos adversos, é necessário que haja um planejamento detalhado embasando o início e o término de cada etapa do cronograma preexistente.

No período inicial da obra foram encontradas dificuldades como a necessidade de grande aterro para a cravação das estacas dos blocos; a ocorrência de fissuras nas estacas pelo fato de não suportarem a resistência do solo, assim houve uma interrupção na obra para o estudo de novas soluções, ocorrendo desmobilizações de equipamentos.

A opção encontrada foi reforçar a fundação com estacas metálicas em perfis simples e duplos. Diante dessa mudança, houve uma alteração na forma do bloco de coroamento. Para a execução do bloco, ocorreu uma dificuldade na retirada do material devido a pequenos espaços entre as estacas fissuradas e as metálicas.

Também foi vivenciado outro problema na execução de bloco de concreto da infraestrutura, a experiência da equipe técnica foi de fundamental importância para superar com menos ônus tais situações.

A escolha da execução da ponte pelo processo de “balanços sucessivos” não ocorreu de forma aleatória. A razão está no fato desse tipo de construção ter uma boa geometria arquitetônica, além de ser uma solução possível para as características geográficas do local.

Outro aspecto considerado fundamental para a execução da Ponte Encanta Moça foi o acompanhamento técnico das deformações da estrutura, com monitoramento e respectivo ajuste, quando necessário, das cotas das aduelas para se atingir o projeto geométrico do greide estabelecido para a obra.

REFERÊNCIAS

MARCHETTI, Oswaldemir. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2008.

MARTINELLI, D.A.O. **Introdução às pontes de vigas**. São Carlos, EESC-USP, 1971.

<http://www2.recife.pe.gov.br/projetos-e-acoas/projetos/via-mangue/>

BLOGDOJAMILDO. Entenda como será a via mangue. Set. 2009. Disponível em: <http://jc3.uol.com.br/blogs/blogjamildo/canais/noticias/2009/09/23/entenda_como_sera_a_via_mangue_54584.php>. Acesso em: nov 2012.

CAF – Consultoria e Projetos de Engenharia SC Ltda. Contrato de ATO - Acompanhamento Técnico da Obra. (dados coletados durante a pesquisa), 2013

DNIt – Departamento de infraestrutura de transporte. **Manual de Projeto de Obra de Arte Especiais**. Rio de Janeiro. 1996 Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_de_projeto_de_obras_de_arte_especiais.pdf>. Acessado em: 05 abril, 2013.

DOKA, Empresa especializada em Projetos para Escoramento e Formas. (dados coletados durante a pesquisa). 2013.

MASTER SOLO. Resultado da sondagem. **Obra do Pina**. Ponte Encanta Moça. 2013

PROTENDE. Sistemas e Métodos. Injeções de nata. Disponível em: <<http://www.protende.com.br/newsite/tabelas/injecoesdenata.htm>>. Acesso em: maio, 2013.

PFEIL, Walter. **Cimbramentos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987.