

UM VIADUTO ESTAIADO EM CURITIBA *

Mario de Miranda¹

Resumo

Na cidade de Curitiba foi recentemente realizado um viaduto estaiado com estrutura em aço. O viaduto tem comprimento de 225m, apresenta um vão central de 129m e dois laterais de 70 e 26 m.

O tabuleiro tem estrutura mista aço-concreto: uma viga caixão multicelular constitui o elemento principal e uma seqüência de vigas transversais laterais suportam a laje. As junções principais das chapas do caixão são soldadas; as estruturas internas, treliçadas, são parafusadas.

O sistema de estaiamento é central, contido num único plano. Os estais são paralelos, com configuração em harpa.

O mastro, inteiramente em aço, alto 75m, é inclinado para o encontro e tem estrutura em caixão trapezoidal, realizado em placas ortotropicas.

O tabuleiro foi montado com grua-pórtico atrás do encontro norte e foi instalado com lançamento longitudinal, com a ajuda de um suporte temporário de quatro torres provisórias em aço.

O mastro, tem um peso de 540 toneladas e foi montado com o seguinte método:

- foi montado em horizontal sobre um aterro atrás do encontro;
- foi sucessivamente lançado longitudinalmente, passando sobre o tabuleiro, até a posição da sua base;
- foi instalado com uma operação de rotação. Travado transversalmente por meio de ovens superiores e inferiores, como é típico dos barcos a vela, e rotado longitudinalmente por meio de uma estrutura provisória e de um sistema de cordoalhas e macacos strand-jacking.

O projeto estrutural da ponte e o projeto do método executivo é do escrevente.

A construção da obra durou dezoito meses, começou em Outubro 2012 e terminou no mês de Março 2014.

Palavras-chave: Pontes estaiadas; Estais; Ponte urbana; Estrutura metálica; Tabuleiro misto.

¹ Dott. Eng. Prof. / Universidade IUAV de Veneza - Italia/ Studio de Miranda Associati Ingegneria Strutturale - Milano - Rio de Janeiro - www.demiranda.it

* Contribuição técnica ao **Construmetal 2014** – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica – 02 a 04 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



A Cable Stayed Viaduct in Curitiba

Abstract

The paper describes a cable stayed bridge recently built in Curitiba, capital do Estado do Paraná. The bridge has steel structure: The deck has multi-cellular box girder structure, in steel-concrete composition. The tower, slanted and slender, is a steel orthotropic plate box structure. The stay cables are placed in a central place. The erection was developed by a longitudinal launching of deck, a longitudinal launching of the entire tower over the deck, and a lifting of the tower by rotation, with a self equilibrated operation, without the use of cranes. The construction took place in eighteen months, between October 2012 and March 2014.

Keywords: Cable Stayed Bridge; Stay Cables; Urban Bridge; Steel Structure; Steel Concrete Composite Deck.



1. INTRODUÇÃO

O trabalho aqui apresentado diz respeito ao projeto e realização de um viaduto estaiado, com estrutura mista em aço e concreto armado, realizado na Cidade de Curitiba, Estado de Paraná – Brasil.

O viaduto atravessa uma das principais avenidas da cidade, a Avenida das Torres, que constitui o principal eixo de ligação entre o aeroporto internacional e o centro da mesma.

Na zona de intervenção a avenida é composta por seis faixas de trânsito, tem cruzamentos com duas estradas laterais e ainda comporta uma larga área central onde estão alojadas tubulações de grande porte e torres de alta/média tensão.



SITUAÇÃO FUTURA

Fig.1 Planta do viaduto

Um dos desafios propostos ao projetista foi a elaboração de um projeto e a sucessiva construção da infraestrutura, sem apoios intermediários, evitando assim a interrupção da passagem dos meios em circulação e ainda tratando-se de uma construção introduzida num contexto urbano, bastante denso, precisou-se lidar com o escasso espaço existente para a implementação do estaleiro de obras e de todas as áreas de trabalho necessárias para a montagem da estrutura.

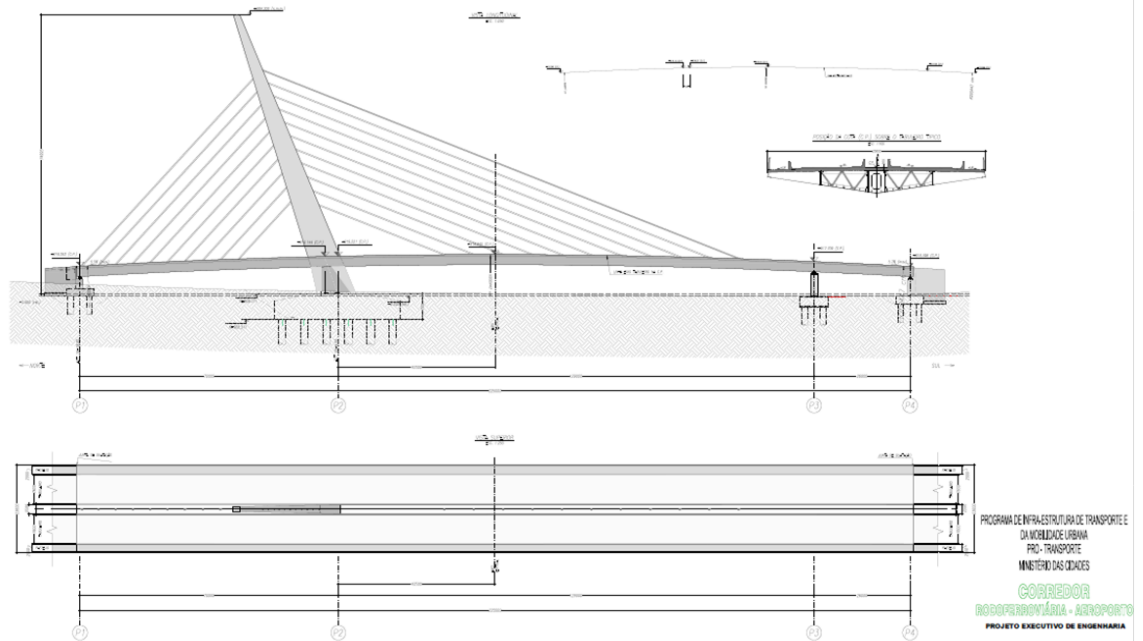


Fig.2 Conjunto geral da estrutura

O viaduto é composto por um vão central estaiado de 129m de comprimento e de dois vãos laterais; um com 70 m de ancoragem lateral no lado Norte e um segundo de continuidade com 26 m no lado Sul.

O tabuleiro tem uma largura de 23.60 m e está sendo sustentado por um único mastro inclinado no lado Norte, colocado no eixo central do tabuleiro com 70m de altura.



Fig.3 Vista do viaduto estaiado

2. MATERIAIS E SISTEMAS ESTRUTURAIS

A estrutura apoia sobre blocos de fundação que a sua vez estão apoiados sobre estacas com um diâmetro de 2 m.

Os apoios laterais e os dois pilares estão construídos em concreto armado.

A restante estrutura é realizada em aço .

O tabuleiro é constituído por uma viga em aço e uma laje superior de betão.

Nas áreas do máximo momento negativo está presente uma laje inferior em concreto; a viga do tabuleiro da ponte está por isso configurada como estrutura mista, aço - concreto de dupla ação.



Fig.4 A estrutura do tabuleiro em fase de montagem

A estrutura em aço do tabuleiro é formada por um caixão central, no qual estão alojadas as ancoragens dos estais, por duas vigas laterais em forma de duplo T, e por uma placa de fundo em chapa ortotrópica. Juntamente com a placa superior, a placa de fundo e as quatro almas formam um caixão de três celas de elevada rigidez torcional, estrutura necessária para equilibrar os momentos de torção provocados pela carga móvel, excêntrica em relação ao plano da suspensão.

As estruturas transversais do tabuleiro são formadas por uma série de diafragmas reticulares internos ao caixão, que se transformam numa cortina de consolas de parede completa além das vigas laterais. As consolas laterais sustentam a laje lateral com um balanço de 5.75m.

A forma da secção transversal do caixão, é pentagonal, com o vértice na parte inferior, formando assim um perfil de intradorso bi planar, como um grande diedro, que tem continuidade nos balanços laterais; desta maneira o usuário da Avenida, situada por baixo, obtém uma visão uma imagem dinâmica ed externamente esbelta da estrutura do tabuleiro.

A forma da secção, variável e afiada em direcção às extremidades , segue coerentemente a distribuição dos momentos fletores transversais no tabuleiro, máximos no centro, onde existe o sistema de suspensão, e zero em ambas as extremidades .

O mastro é feito inteiramente em aço com chapas ortotrópicas, com secção de caixa trapezoidal, afiada no sentido longitudinal e transversal.

Abriga as ancoragens dos estais além das escadas de acesso e de inspeção.

A secção do mastro é fortemente extendida no sentido longitudinal e tem, na base, uma largura de 2.50m .

A altura do mastro é de 70m acima do tabuleiro;

- Os estais têm configuração de " harpa ", ou seja são paralelos , com a mesma inclinação tanto no vão central, quanto naquele lateral. Isto dá uma certa ordem formal ao sistema de suspensão, compassado a um ritmo definido, limitando o desenvolvimento formal da estrutura elevada a três eixos : o alinhamento dos estais da costa, do mastro e os estais do vão central.
- Os estais, número 10 (encontro lateral) e 11 (vão central), são do tipo a cordoalhas paralelas, galvanizados, encerados, protegidos com bainhas individuais de HDPE e externamente protegidos uma bainha única.
- As ancoragens dos estais no tabuleiro estão colocadas a uma distância constante de 8m ao longo do vão livre.
- O padrão estrutural da ponte no plano vertical, prevê o simples apoio do tabuleiro sobre os apoios laterais e sobre o pilar do lado sul, e solidalmente com o pilar principal e o mastro.
- Na horizontal o tabuleiro é vinculado nos encontros e no pilar principal.

O sistema de transferência da carga permanente do vão livre central para o chão é o seguinte :

O vão central é sustentado principalmente pelos estais centrais e parcialmente pelos dois pilares de apoio.

Os estais centrais transmitem a carga à antena ; o equilíbrio da antena está sendo garantido pelo tensionamento e pela protensão dos estais laterais.

Os componentes horizontais dos estais laterais e centrais estão sendo equilibrados pela ação de compressão no tabuleiro.

Os componentes verticais das forças dos estais centrais estão sendo equilibrados pelo próprio peso do vão central.

Os componentes verticais das forças dos estais laterais estão sendo equilibrados pelo peso lateral do tabuleiro, parcialmente preenchido com concreto, e pelas ancoragens no lado Norte, as quais atuam para as ações das cargas móveis em condições raras e excepcionais.

3. CONSTRUÇÃO E MONTAGEM

Como parte integrante do projeto executivo de construção, foi desenvolvida uma seqüência de 150 fases de trabalho, definidas pelo projetista, cuja síntese segue em baixo :

Construção das estacas, blocos de fundação, apoios e pilares.

- Instalação de um canteiro de montagem das estruturas metálicas no lado Norte, na direção do vão central, realização de um aterro provisório, montagem de uma grua a pórtico para a movimentação dos elementos.



Fig. 5 Grua portico, e fases de montagem do tabuleiro metálico

- Instalação de quatro apoios intermediários provisórios.
- Lançamento longitudinal do tabuleiro metálico.

- Realização da laje de concreto e em paralelo montagem do mastro na parte posterior ;



Fig.6 Montagem do mastro em horizontal, utilizando o pórtico, antes do lançamento longitudinal

- Lançamento longitudinal do mastro até alcançar a sua posição final .
- Lançamento do mastro, com peso cerca de 540T, sem auxílio de guindastes, realizado através um movimento de rotação, por meio de um sistema de estruturas temporárias em carpintaria metálica e de um sistema de escoras (tirantes)de cordoalhas . O mastro esteve temporaneamente sustentado por um sistema de escoras (tirantes)e montantes, e controventado por um sistema de estaiamento lateral provisório.

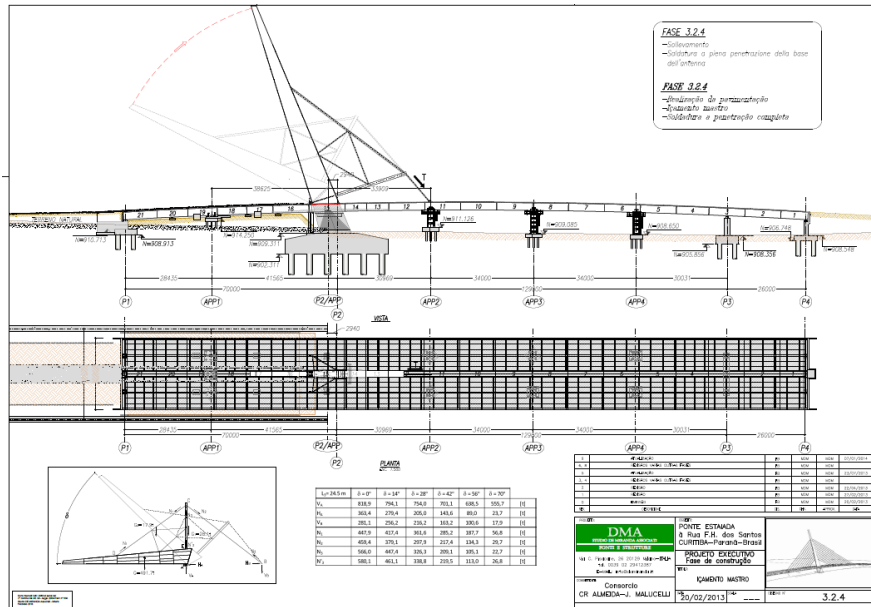


Fig. 7 Esquema do içamento do mastro por rotação entorno a duas rotulas colocadas na base, com estrutura auxiliar



Fig. 8 Fase inicial de içamento do mastro



Fig. 9 Fase intermediária da rotação, e vista das estruturas auxiliares

A operação do içamento do mastro durou cerca de seis horas .

- Segui-se:

- fixação da base do mastro com soldaduras.

- instalação dos estais, tensionamento dos mesmos conforme as fases de tensionamento do projetos e

- remoção dos apoios provisórios.

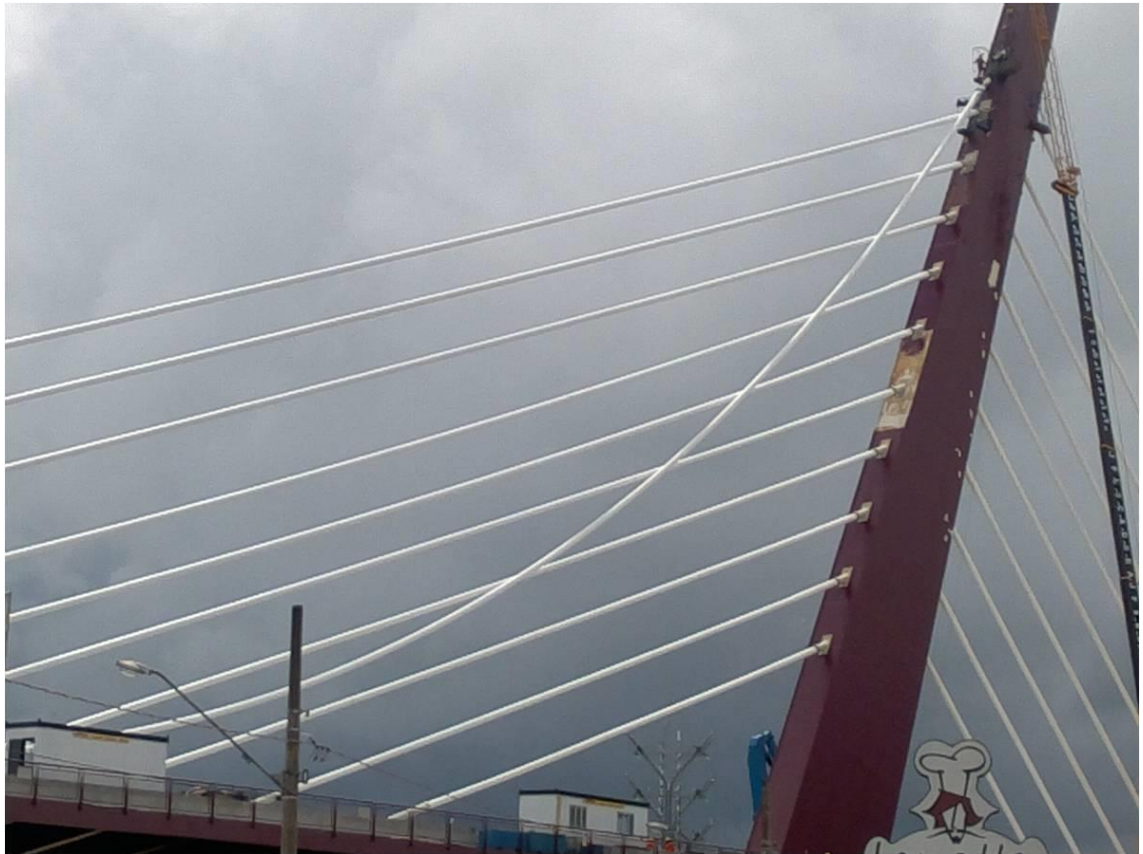


Fig. 10 Fase de instalação dos estais

- realização dos acabamentos e da pavimentação.

No final da construção foram feitos testes de cargas dinâmicas com circulação de veículos de cinquenta toneladas em alta velocidade e com a máxima excentricidade, e observando a positiva resposta estrutural em termos estáticos e dinâmicos .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O viaduto, cuja construção durou 18 meses, foi aberto ao tráfego em 12 de abril de 2014.



Fig. 11 Vista inferior do tabuleiro a nível da rodovia

A construção da ponte teve lugar de acordo com uma abordagem articulada e original, com o empurramento longitudinal do tabuleiro e o sucessivo lançamento por translação, içamento e rotação do mastro.

- No caso deste viaduto de Curitiba foi possível realizar uma estrutura na medida do possível ligeira, esbelta, com uma forma assimétrica.

Considerando todas as condicionantes locais, não seria possível, ou teria sido muito difícil construir em balanço um tabuleiro de concreto acima da dita Avenida, devido ao volume do equipamento de lançamento.

Uma construção em concreto, comportaria pesos, tempos e custos maiores.

A solução em aço, neste caso, verificou-se a mais adequada.

- Estruturas metálicas conseguem reduzir o prazo de construção.
- O método construtivo acaba sendo extremamente importante. O mesmo pode ser altamente diferenciado e o seu estudo detalhado, na fase da concepção do projeto, resulta essencial tendo reflexo no rápido e continuado desenvolvimento da construção sem ulteriores interrupções, tempos de espera ou mal sub-aproveitamento dos equipamentos em obra.



4. CONCLUSÃO

- A ponte estaiada é um tipo de estrutura que dá aos projetistas a capacidade de resolver os problemas de cruzamento com soluções altamente diferenciadas.
- As soluções e os materiais otimizados, como sempre, mas especialmente com as pontes estaiadas, dependem do contexto e das restrições do projeto .
- As soluções adotadas podem ter um forte valor Estético/formal. Estas infraestruturas jogam um papel importante na qualificação das áreas urbanas onde estão introduzidas, criando novos valores estéticos, além da sua função intrínseca.



Fig. 12 Vista do viaduto estaiado no final da sua construção

REFERÊNCIAS e AGRADECIMENTOS

Gostariamos de lembrar as seguintes contribuições:

O arquiteto Mauro Magnabosco da IPPUC, que teve a ideia inicial da ponte; a Esteio, empresa responsável do projeto geral, os engenheiros Odenir Muller, que participou nas primeiras fases do projeto e foi autor do projeto das fundações, Minoru Onishi, responsável pela Protende dos estais e dos equipamentos dos lançamentos, Luca Giacomini e Mirsad Pajzetovic responsáveis na obra pela Maeg, firma italiana que forneceu a estrutura metálica, Odilon Oliveira, Rafael da Costa, Ricardo Malucelli e Vinicius Hipolito que gerenciaram a obra pelo Consorcio CR-Almeida-J. Malucelli, que executou a obra, Marta de Miranda e Anna Riga, do nosso escritório De Miranda Brasil, que acompanharam a obra durante a construção.