



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

Processo de Lançamento de Tabuleiro de Ponte Esconsa em Estrutura Mista: Descrição dos Critérios de Análise Computacional para a Verificação Estrutural do Lançamento das Estruturas Metálicas da Ponte

Anselmo Dias, em Teresina, Piauí

Eduarda de França Andrade¹, Hudson Chagas dos Santos²

¹ Centro Universitário Uninovafapi / Coordenação de Engenharia Civil / eduardafandrade@gmail.com

² Centro Universitário Uninovafapi / Coordenação de Engenharia Civil / hud_santos@yahoo.com.br

Resumo

A ponte Anselmo Dias localizada na cidade de Teresina-PI é uma grande obra de ligação que beneficiará a mobilidade urbana desta capital. É caracterizada por ser uma ponte esconsa e com sistema estrutural em estrutura mista possuindo uma extensão total de 327,00m, sendo 6 vãos de 26,50m e 4 de 42,00m. O lançamento das longarinas da superestrutura foi a problemática analisada. Os métodos utilizados para o lançamento dos vãos são distintos, pois os vãos da margem do Rio Poti (vãos de 26,50m) são içados, ao passo que os vãos sobre o Rio Poti (vãos de 42,0m) apresentam duas possibilidades viáveis para o lançamento, quer seja por intermédio de treliça lançadeira, ou pelo empurramento dos vãos. Foi realizado um estudo para verificar a viabilidade de utilização desse último método. A partir dos resultados analisados, confirmou-se a possibilidade executiva do método de ponte empurrada com esconsidade, sendo os resultados apresentados e discutidos neste trabalho.

Palavras-chave

Ponte mista; empurramento; lançamento de pontes; ponte esconsa.

Introdução

Uma ponte é uma estrutura projetada para exceder obstáculos, como rios, vales profundos, braços de mar, sendo continuada por intermédio de uma via de comunicação. Quando a barreira a ser vencida é um rio, tem-se uma ponte propriamente dita, quando for um vale ou outra via, é chamado de viaduto (MARCHETTI, 2008).

No meio técnico, as pontes são conhecidas como Obras de Arte Especial e são compostas funcional e estruturalmente por: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura (PFEIL, 1990). Grandes pontes, além da locomobilidade, contribuem nos aspectos histórico e estético do local onde estas estão inseridas. A construção de obras de ligação no meio urbano possibilita o desenvolvimento socioeconômico nas áreas que as englobam. A necessidade de se estruturar a área no entorno, instalação de serviços como fornecimento de água, luz, pavimentação de vias, para facilitar a execução da obra traz consigo visibilidade, e mais que isso, como consequência direta tem-se a valorização comercial dos imóveis e terrenos.

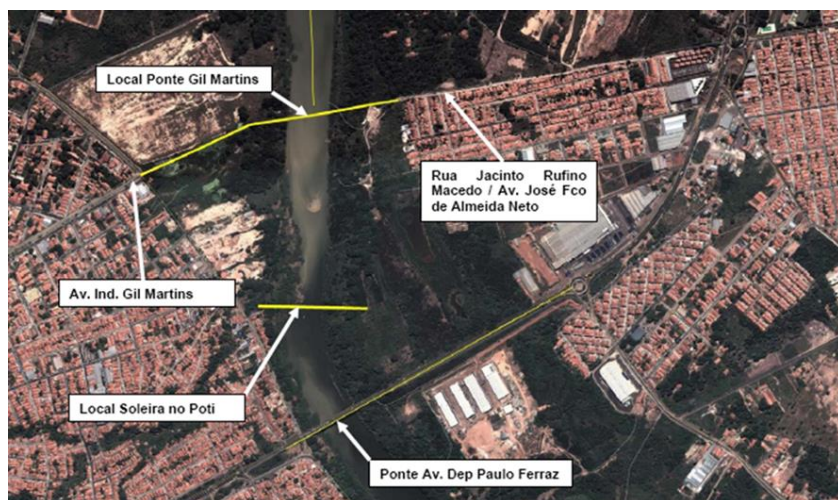
A mais nova ponte de Teresina, Anselmo Dias, com execução em andamento, foi projetada para atender os requisitos principais de uma obra desse porte: funcionalidade, segurança, estética, economia e durabilidade. A partir da sua concepção estrutural criaram-se alternativas que foram analisadas, e por sua vez, foi definida a melhor opção local, isto é, utilização de um sistema misto (aço estrutural e concreto armado). A definição do método executivo também é



dada a partir de uma investigação técnica, sendo considerado, inclusive, o fator econômico para que a obra seja viável e possa atender as necessidades de projeto. Desse modo, foram adotados métodos diferentes para o lançamento das longarinas de diferentes tamanhos.

Ponte Anselmo Dias

A ponte rodoviária Anselmo Dias em estrutura mista (concreto armado e aço estrutural) sobre o Rio Poti está situada entre as Avenidas Industrial Gil Martins e José Francisco de Almeida Neto, em Teresina-PI.



**Figura 1 – Localização da Ponte Anselmo Dias.
Fonte: PCA Engenharia.**

Dados Gerais

- Concreto: $f_{ck} \geq 30,0$ MPa; $E_{ci} \geq 30.600$ MPa (superestrutura);
 $f_{ck} \geq 25,0$ MPa; $E_{ci} \geq 28.000$ MPa (mesoestrutura);
 $f_{ck} \geq 20,0$ MPa; $E_{ci} \geq 26.500$ MPa (infraestrutura);
- Cobrimento: Segundo recomendações da nova NBR-6118:2014;
- Aço: CA-50A e CA-60B (aços do concreto armado);
- Aço estrutural: COR-500 ou similar; Segundo recomendações da NBR 8800:2008;

Caracterização do Sistema Estrutural

A Ponte Rodoviária tem sistema estrutural misto (estrutura metálica e estrutura de concreto armado) com tabuleiro esconso com ângulo de escondidade $11,6^\circ$, trem-tipo classe TB-45, constituído por dez tramos bi apoiados, sendo quatro vão centrais de 42,00 m que passarão por cima do rio Poti, e seis vãos extremos de 26,50 m totalizando uma extensão de 327,00 m de tabuleiro incluindo as juntas de dilatação. Esta ponte apresenta laje de aproximação trapezoidal em cada cabeceira apoiada em cortinas extremas.

A seção transversal da ponte tem 26,35m de largura, sendo duas faixas de passeio para ciclista e pedestre com 2,55m de largura incluindo os guarda-corpos nas extremidades separados da



pista de rolamento automotivo por dois guarda-rodas tipo "New Jersey" de 0,40m. As duas pistas de rolamento apresentam três faixas de rolagem de 3,30m totalizando para cada pista 9,90m de largura dividida por um guarda-rodas central tipo "New Jersey" de 0,65m.

Esta ponte está localizada sobre o Rio Poti e vai ligar a Avenida Industrial Gil Martins com a Avenida José Francisco de Almeida Neto (atual Rua Jacinto Rufino Macedo). O Projeto Executivo de Estruturas é composto do projeto de superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. E foram adotadas as seguintes soluções estruturais:

SUPERESTRUTURA: Com configuração estrutural mista (estrutura de aço e concreto armado) sendo todo o tabuleiro executado com placas pré-moldadas de concreto armado (pré-lajes com espessura de 10 cm) incorporadas na laje de concreto armado moldada "in loco" (espessura de 14 cm) com resistência característica do concreto aos 28 dias maior ou igual a 30,0MPa ($f_{ck} \geq 30,0\text{MPa}$) e com módulo de elasticidade secante do concreto superior a 30.600MPa ($E_{ci} \geq 30.600\text{MPa}$).

As pré-lajes são apoiadas nas longarinas metálicas e consolidadas a estrutura através de conectores metálicos ("studbolts") previamente soldados ao longo da mesa superior das longarinas, que após 28 dias do lançamento do concreto moldado "in loco" podem ser considerados como estruturas monolíticas.

As longarinas metálicas de comprimento modular de 41,80m com altura de 2,26 m nos tramos centrais e comprimento modular de 26,30m com altura de 1,56 m nos vão extremos (sobre as vias a serem projetadas) são em aço estrutural COR-500 ou similar, enrijecidas ao longo do comprimento com enrijecedores de formas, espessuras e espaçamentos diferentes, sendo estes soldados nas longarinas com o mesmo aço estrutural. Essas longarinas são travadas por transversinas metálicas treliçadas e parafusadas às longarinas. As transversinas são fabricadas com o mesmo aço estrutural das longarinas e contraentadas por tirantes parafusados em sua base. A superestrutura se apoia nas travessas de apoio centrais e de encontro através de aparelhos de apoio de neoprene, que devido a sua esconidade apresentam formato circular e diâmetro de 45 cm.

MESOESTRUTURA: É composta, para cada apoio, de viga travessa em concreto armado com modelo estrutural baseado em pórtico plano. Nos trechos centrais as travessas são apoiadas nos pilares dos pórticos, já nos encontros as travessas são apoiadas nas cortinas das cabeceiras. Os encontros são compostos de cortinas, muros de alas e lajes de aproximação. Toda mesoestrutura é em concreto armado moldado "in loco" com resistência característica do concreto aos 28 dias maior ou igual a 25,0MPa ($f_{ck} \geq 25,0\text{MPa}$) e com módulo de elasticidade secante do concreto superior a 28.000MPa ($E_{ci} \geq 28.000\text{MPa}$). Os encontros são desligados da estrutura e se apoiam no terreno através de fundação direta, com reforço de tubulões.

INFRAESTRUTURA: É composta, para cada apoio (travessa), de pórtico com dois pilares sem arestas vivas, bloco de coroamento, tubulões em concreto armado moldado "in loco" com resistência característica do concreto aos 28 dias maior ou igual a 20,0MPa ($f_{ck} \geq 20,0\text{MPa}$) e com módulo de elasticidade secante do concreto superior a 26.500MPa ($E_{ci} \geq 26.500\text{MPa}$).

Métodos Executivos

IÇAMENTO: Essa técnica de montagem acontece em uma das cabeceiras do rio, a estrutura é montada na beira e será utilizado um guindaste para fazer o içamento das longarinas metálicas, lançando-as sobre os apoios definitivos em neoprene. Não exige estruturas



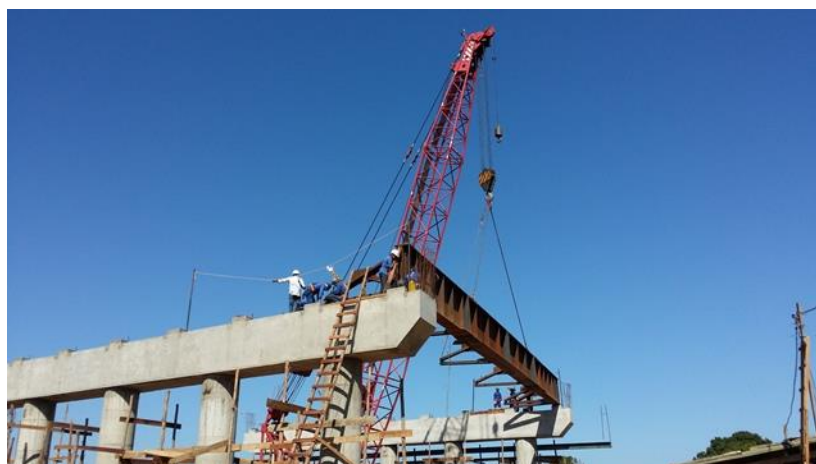
IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

auxiliares e os trabalhadores envolvidos trabalham todos em terra firme. É preferível que a montagem dos vãos aconteça o mais próximo dos apoios finais para facilitar o içamento em uma única operação.

É essencial que se tenha conhecimento prévio de todos os esforços e cargas que estarão envolvidos no processo, pois estes determinam que tudo ocorrerá dentro dos limites resistivos dos elementos que serão usados. É necessário também um planejamento prévio de operação.

Essa é a técnica adotada para os vãos de 26,5 metros (vãos que passarão fora do rio Poti). Todas as lajes pré-moldadas foram projetadas com os ganchos pra facilitar esse içamento. As peças de 26,5 metros foram divididas em 3 pedaços menores para facilitar o seu transporte, não afetando também na estrutura criada. Atualmente, já se encontram içadas as estruturas metálicas de 3 dos 4 vãos de 26,50 metros que estão na cabeceira da zona sudeste, e tabuleiros concretados.

Para esse processo é utilizado um guindaste, porém deve-se observar alguns fatores para a escolha deste. Peso da carga, serviço a ser realizado, altura máxima atingida pelo içamento, condições de vento do local, são exemplos de alguns fatores.



**Figura 2 – Guindaste içando uma longarina de 26,50 metros na Ponte Anselmo Dias.
Fonte: PCA Engenharia.**

PONTE EMPURRADA: A estrutura metálica será empurrada com o auxílio de roletes, passando por cima dos vãos de 26,50 metros já concretados. Quando for para se iniciar o processo, macacos hidráulicos de protensão com cabos de aço serão instalados, estes auxiliarão no empurramento da estrutura permitindo que esta atinja o apoio mais próximo.

As longarinas de 42,00 metros estarão soldadas e serão lançadas juntas em um conjunto de 3 vigas ligadas por transversinas. Quando a primeira parte do conjunto atingir o próximo eixo transversal, ela será cortada e com o auxílio dos macacos, serão assentadas nos apoios. A ponte Anselmo Dias possui 9 eixos longitudinais, desse modo, o processo será repetido mais duas vezes. Com a estrutura metálica do primeiro vão de 42 metros já lançada, é realizada a concretagem. O processo se repete para os outros 3 vãos restantes que passarão por cima do Rio Poti.

TRELIÇA LANÇADEIRA: Esse sistema, formado por um par de treliças move-se longitudinal e transversalmente. A viga a ser lançada é auxiliada por guinchos que possuem um sistema de deslocamento independente longitudinal, sobre a própria treliça. A viga é posicionada na treliça de modo a ser deslocada para o vão de lançamento, com a viga já

ancorada ao vão anterior; após a ancoragem da lançadeira no pilar em sequência, a viga é deslocada entre as treliças e assentada na posição definitiva (DNER, 1996).

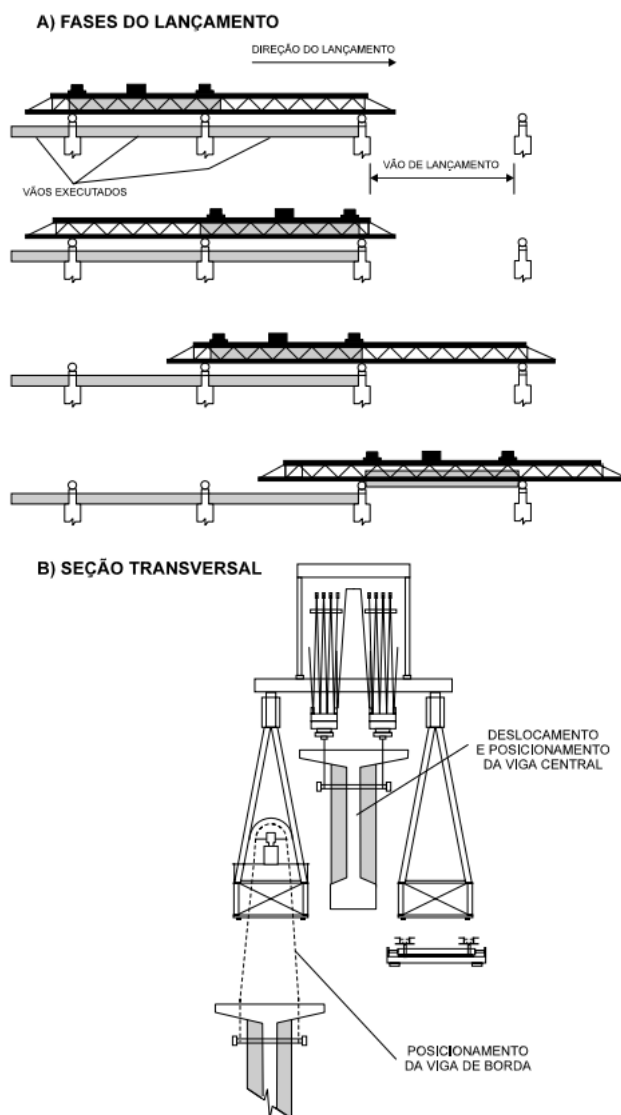


Figura 3 – Lançamento por Treliças.
Fonte: DNER, 1996.

Materiais e Métodos

O projeto de pesquisa aqui apresentado tem como objetivo investigar o processo de lançamento de vigas a ser empregado na execução da Ponte Anselmo Dias, situada no bairro Dirceu Arcoverde, Teresina-PI.

Primeiramente foi realizado o levantamento de pesos da estrutura metálica das transversinas, contraventamentos e emendas, dados estes utilizados como cargas pontuais. E para o carregamento distribuído foi feita uma uniformização dos enrijecedores, pois estes se repetem ao decorrer das longarinas, e possuem tamanhos, espessuras e espaçamentos diferentes.



Foi usado o “software” de elementos finitos, CYPECAD, versão 2012.c, para as modelagens e verificações, e o AutoCAD para o acompanhamento do projeto.

Utilizando inicialmente o “software” Ftool foi feita uma análise preliminar no qual foram utilizados os todos os dados reais como peso próprio da estrutura, cargas pontuais e carregamentos distribuídos calculados, e também usados, posteriormente, na análise final. Pretendia-se obter um parâmetro de partida, um ponto para começar a análise do empurramento. A partir daí, optou-se por começar testando balanços, partindo da hipótese de 15 metros. Sendo estes aumentados de 5 em 5 metros até se chegar aos 42 metros, tamanho total das longarinas lançadas.

Já no CYPECAD, a modelagem foi iniciada com a introdução das coordenadas dos pedaços de vigas do conjunto das três longarinas metálicas de perfil I e seções variadas em determinados trechos. Logo após, foi feita a introdução das coordenadas das cargas pontuais e distribuídas, definindo, em seguida, seus valores (em tf e tf/m). E por último, a configuração de coordenadas dos apoios em todas as situações de balanços em tamanhos diferentes, (15, 20, 30, 35, 40 e 42 metros).

Desse modo então, verificaram-se as tensões e momentos solicitantes que são gerados no decorrer do processo de empurramento e assim, observando se esses resultados não interferem na estabilidade e segurança estrutural da superestrutura e da obra como um todo.

Cálculo do Momento Resistente

As longarinas de 42 metros foram divididas em 4 pedaços menores para fins de transporte. Os pedaços extremos possuem 9,20 metros de comprimento e os dois centrais possuem 11,70 metros. Totalizando os 41,80 metros de comprimento modular. Seguem abaixo as características geométricas dos trechos centrais:

A = 0,5000	m
B = 0,0254	m
C = 2,2000	m
D = 0,0381	m
E = 2,2635	m
F = 0,0159	m
G = 0,7500	m

$E_s = 205000$	MPa
$f_y = 380$	MPa
$G_s = 78846,2$	MPa
$A = 0,0762$	m ²
$I_x = 0,0614$	m ⁴
$I_y = 0,0016$	m ⁴
$Y_s = 1,3596$	m
$Y_i = 0,9039$	m
$W_s = 0,0452$	m ³
$W_i = 0,0680$	m ³
$I_t = 1,949E-05$	m ⁴
$h = 2,264$	m
$i = 0,8978$	m
$C_w = 4,9807$	m
pt. Plastf. = 1,5998	m
$Z = 0,0614$	m ³
$Z/W = 1,3580$	

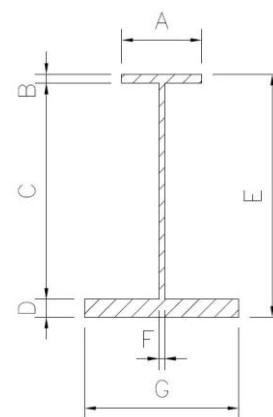


Figura 4 – Características Geométricas dos Trechos Centrais (11,70 metros) da Viga Metálica sem Laje de Colaboração em Concreto Armado.

Fonte: PCA Engenharia.



A partir dos dados acima é possível obter o momento resistente dessa longarina. A tensão de flexão de uma viga pode ser calculada a partir da seguinte fórmula geral:

$$\sigma = \frac{M y}{I} = \frac{M}{W_{sup}} \quad (1)$$

$$M = \sigma W \quad (2)$$

Onde:

σ : Tensão de flexão (MPa)

M : Momento fletor da seção considerada

W : Módulo de resistência da seção (m³)

y : Coordenada do C.G. em relação ao eixo Y

I : Momento de inércia em relação à linha neutra

O material das longarinas metálicas é o aço COR 500 que possui limite de escoamento característico igual a 380 MPa. Desse modo:

$$\sigma \leq \sigma_{adm} = \frac{f_y}{FS} \quad (3)$$

Onde:

σ_{adm} : Tensão admissível (MPa)

f_y : Resistência característica do aço (MPa)

FS : Fator de segurança do aço – valor normativo igual a 1,15

Tem-se, a partir de (3):

$$\sigma \leq \sigma_{adm} = \frac{380 \text{ MPa}}{1,15} = 330,43 \text{ MPa}$$

$$M_{resistente} = \sigma_{adm} \times W_{sup} \quad (4)$$

A partir da equação (4) obteve-se o momento resistente:

$$M_{resistente} = 330,43 \text{ MPa} \times 0,0452 \text{ m}^2$$

$$M_{resistente} = 330,43 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0,0452 \text{ m}^2$$

$$M_{resistente} = 14.935,65 \text{ kN.m} = 1.493,565 \text{ tf.m}$$



Conclusões

Os resultados de momento e tensões obtidos a partir das modelagens de balanços de 15, 20, 25, 30, 35, 40 e 42 metros estão representados abaixo:

VERIFICAÇÃO DE TENSÕES							
BALANÇOS (m)	15	20	25	30	35	40	42
MOMENTOS SOLICITANTES (tf.m)	-146,385	-256,627	-400,825	-571,598	-774,495	-1005,884	-1107,789
TENSÕES MÁXIMAS (Mpa)	32,386	56,776	88,678	126,46	171,348	222,541	245,086

Figura 5 – Verificação de Tensões.
Fonte: Própria.

O içamento já estava definido como método de lançamento dos vãos de 26,50 m. Atualmente todos os 6 vãos já foram içados e concretados. Para os vãos que passarão por cima do rio Poti, ainda não há uma solução definitiva. No entanto, as mais prováveis são o empurramento dos vãos ou o lançamento das longarinas com o uso de uma treliça lançadeira.

O empurramento é uma opção vantajosa para este caso, pois a construtora não tem balsa disponível para a execução comum de tabuleiros que passam por cima de rios. Serão dispensados gastos com escoramento. Haverá uma redução na utilização de formas, e conseqüentemente, menor necessidade de mão-de-obra para essas atividades, embora seja importante explicitar que a sua execução deverá ser rigorosa e exigirá mão-de-obra mais especializada; Sua rapidez executiva favorece diretamente o cronograma físico da obra, visto que essa ponte tem entrega prevista para meados de 2016.

Este estudo teve enfoque em uma das opções de método, ponte empurrada, e a partir das análises feitas e diante das possíveis soluções para o lançamento dos vãos de 42 metros, o método executivo em questão foi verificado e é totalmente viável de ser executado, pois as tensões alcançadas foram bem abaixo do máximo que ela poderia resistir. Ficando a cargo da construtora que está realizando a execução, definir qual será a melhor opção, executiva e economicamente.

Referências

- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Fundamentos do concreto armado, 2006. 98 f. Notas de Aula. Bauru, São Paulo. UNESP.
- CARVALHO, R. C. Estruturas em concreto protendido: pré-tração, pós-tração, cálculo e detalhamento. 1. ed. São Paulo: PINI, 2012.
- CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. de F. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2003. 3. ed. São Carlos: EduFCar, 2013.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. Construções em aço: aços estruturais. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>>. Acesso em: 27 out. 2015.
- CYPECAD. Novo Metálicas 3D. “Software” cypecad versão 2012.c, 2016.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Manual de projeto de obras-de-arte especiais. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 1996.



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

- FRANÇA, Alda Luisa Veiga Ferreira. Métodos Executivos de obras de arte especiais: estudo de caso em construção em meio urbano. 2011. 105 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- GOMES, Izak da Silva. Sistema construtivo de pontes e viadutos com ênfase em lançamento de vigas com treliças lançadeiras. 2006. 112 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, São Paulo.
- JUNIOR, Tarley Ferreira de Sousa. Estruturas de concreto armado, 2011. 23 f. Notas de Aula. Lavras, Minas Gerais. UFLA.
- LEONHARDT, F. Construções de concreto: princípios básicos da construção de pontes de concreto. 6. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.
- MARCHETTI, O. Pontes de concreto armado. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- MASON, Jayme. Pontes em concreto armado e protendido. Livros técnicos e científicos. Editora S.A. Rio de Janeiro, 1977.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. de F. Tecnologia do concreto. 2. ed. Bookman Editora. Porto Alegre, 2010.
- OLIVEIRA, Elias Monteiro de. Execução de superestruturas em balanço sucessivo: ponte sobre a represa Billings. 2009. 80 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, São Paulo.
- PAS, T. C. M.. A técnica de balanços progressivos para execução de pontes e viadutos em concreto armado e protendido. 2007. 45 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, São Paulo.
- PFEIL, Walter. Pontes em concreto armado: elementos de projetos, solicitações, dimensionamentos. Livros técnicos e científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 1979.
- PINI WEB. Infraestrutura urbana: projetos, custos e construção. Pontes estaiadas. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/10/estruturas-estaiadas-aplicacoes-indicadas-tipos-de-ancoragem-e-de-243545-1.aspx>>. Acesso em: 03 nov. 2015.