



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Análise da Eficácia de Métodos de Reforço em Ponte Rodoviária de Concreto Armado - Estudo de Caso

Oliveira, Caroline Buratto de Lima¹ e, Calixto, José Márcio Fonseca²,

¹Universidade Federal de Minas Gerais / Departamento de Engenharia dos Materiais / carolineburatto@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Minas Gerais / Departamento de Estruturas / calixto@dees.ufmg.br

Resumo

A malha rodoviária federal no Brasil é constituída em grande parte de pontes construídas anteriormente a 1984, as quais possuem capacidade portante incompatível com o tráfego que se utiliza atualmente nas rodovias federais, demandando diversas obras de reforço. Este trabalho propõe a avaliação do método de reforço empregado em uma ponte através de vistorias posteriores à intervenção, de acordo com as preconizações das normas vigentes. Foi realizado um estudo detalhado da ponte, abrangendo o projeto original da obra, relatórios de vistoria ao longo da sua vida-útil, decisão e projeto executivo de reforço e finalizando, os relatórios de execução da obra do reforço. A ponte escolhida está localizada sobre o Rio Piracicaba na BR-381/MG, km 276. Possui 170,0 m de comprimento e 10,0 m de largura total (02 pistas). A obra de reforço consistiu, entre outras intervenções, da protensão do estrado, aumento de seção de diversos elementos e criação de blocos de reforço com cravação de estacas tipo raiz. A análise dos resultados colhidos proporciona o conhecimento da eficácia da intervenção realizada, com contribuições nas diversas fases do empreendimento: planejamento, projeto, execução, fiscalização e manutenção. O estudo mostra a necessidade de ações visando garantir o resultado planejado das obras de reforço de pontes e conseqüentemente proporcionar um aumento da vida útil dessas estruturas.

Palavras-chave

Pontes de concreto armado; métodos de reforço; avaliação de procedimentos.

Introdução

Aproximadamente 78% das pontes de concreto brasileiras, com devido registro da data da sua construção, foram construídas antes de 1984 (MENDES, 2009) ano anterior à vigência da norma NBR 7188 (1984). Estas pontes foram, portanto, projetadas com capacidade de carga inferior àquela praticada pelos atuais caminhões de carga. Após a retração econômica vivida no Brasil ao longo de 20 anos (1980 a 2000), com redução substancial dos investimentos no setor rodoviário nacional e aliada à deficiente gestão do Poder Público no monitoramento do estado destas obras e da sua manutenção, tornou-se emergente a necessidade de execução de obras de reforço dessas estruturas.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Os planos do Governo Federal para a reabilitação e expansão da malha viária nacional estão evidenciados nos programas políticos atuais com vistas ao desenvolvimento do país, oriundos dos aportes financeiros adquiridos na última década de crescimento econômico (SERAFIM, 2009). Decorrente do último período de crescimento econômico nacional, diversas pontes rodoviárias federais foram e estão sendo reforçadas, recuperadas e reabilitadas. Faltam registros de informações técnicas e gerenciais no Órgão Federal relativos ao comportamento estrutural e aos aspectos funcionais dessas pontes após a realização dessas intervenções.

Faz-se importante o conhecimento da eficácia desses diversos métodos empregados para reforço das pontes rodoviárias de concreto armado frente à essencial execução de inúmeras obras desta natureza. Em face deste cenário, este trabalho tem o objetivo de avaliar a eficiência dos processos de reforço realizados em determinada ponte de concreto armado pertencente à malha rodoviária federal. O estudo se propõe a descrever a situação da ponte antes da intervenção, o diagnóstico das patologias encontradas, o tipo de medida terapêutica adotada e sua atual situação com base em inspeção visual realizada “*in loco*”.

Estudo de Caso - Ponte sobre o Rio Piracicaba

A ponte sobre o rio Piracicaba está localizada na rodovia federal BR-381, no km 276, no município de Antônio Dias, no Estado de Minas Gerais. Foi projetada e construída em 1971 para atender a classe 36, com trem tipo TB-36 (360 kN/ eixo); é uma obra de arte especial de concreto armado moldado “*in loco*”. As configurações geométricas, o cálculo de estruturas de concreto e a distribuição das cargas atenderam às normas NB-1 (1960), NB-2 (1960) e NB-6 (1960).

A ponte foi construída com comprimento de 170m divididos em 7 vãos: 5 centrais (30m + 30m + 35m + 30m + 30m) e balanços em ambas extremidades, medindo 7,5m cada. Sua superestrutura é simplesmente apoiada em 6 pares de pilares sob fundação em tubulões com $\phi 1,40$ m e sapatas com base de $\phi 3,0$ m. A laje é do tipo caixão fechado medindo 5,7m x 2,0m, tendo balanços com 2,15m nas extremidades, juntas de dilatação ao longo do seu comprimento e encontros do tipo “muros de ala” nas extremidades. Não possui lajes de transição nos seus encontros com a rodovia. A figura 1 mostra a vista lateral da ponte com a identificação dos pilares para melhor compreensão do estudo.

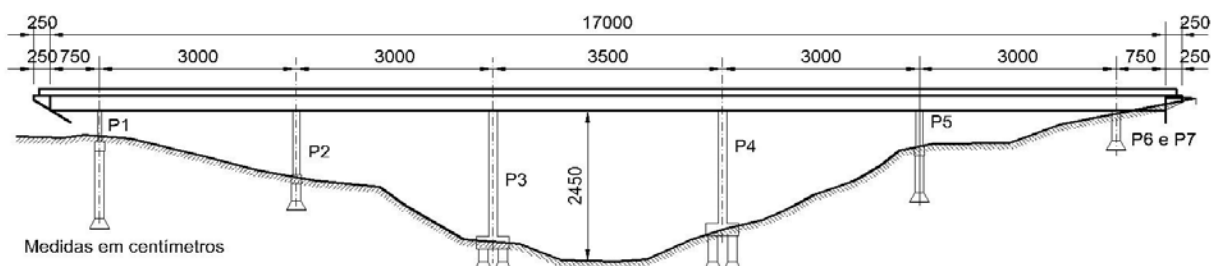


Figura 1 – Vista lateral da ponte com identificação dos pilares

A obra de reforço da ponte

Em março de 2005 ocorreu um movimento do aterro de acesso da ponte, no lado esquerdo (vide figura 1), ocasião onde observou-se um deslocamento no tabuleiro e forte inclinação no pilar P1 da ponte. Na vistoria especial realizada, aferiu-se um deslocamento 20 cm do tabuleiro e inclinação de 15% do pilar P1 (figura 2). De acordo com o engenheiro vistoriador, o deslocamento no tabuleiro e a inclinação do pilar P1 foram consequências de um empuxo ocorrido no tubulão de apoio deste pilar, que deslocou esse conjunto pilar-tubulão. O pilar P2 também sofreu o mesmo tipo de movimento com menor intensidade, resultando em uma inclinação de aproximadamente 7%. Os pilares centrais tiveram rotação de aproximadamente 1% e nos últimos pilares P6 e P7 (lado direito – figura 1) houve rompimento dos aparelhos de apoio. Devido à estes deslocamentos, surgiram fissuras de flexão e de cisalhamento na vigas principais da seção caixão fechado.



(a) Deslocamento e rotação do pilar P1.

(b) Deslocamento de 20 cm do tabuleiro verificado no pilar P6

(c) Inclinação no pilar central P3 devido a deslocamento do tabuleiro

Figura 2 – Registro fotográfico da inspeção realizada em março de 2005.

Além das deformações provocadas na estrutura da ponte, foi observado um abatimento da pista de rolamento da estrada ao longo de 40 m na rodovia a partir do lado esquerdo (vide figura 1). A conclusão da inspeção foi que a instabilidade do aterro de acesso era a única



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:

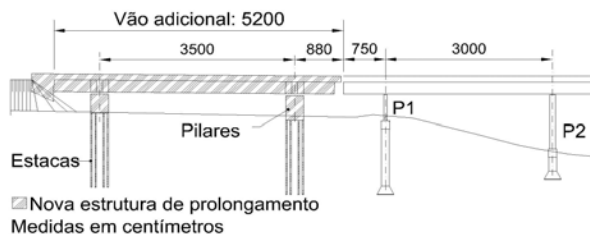
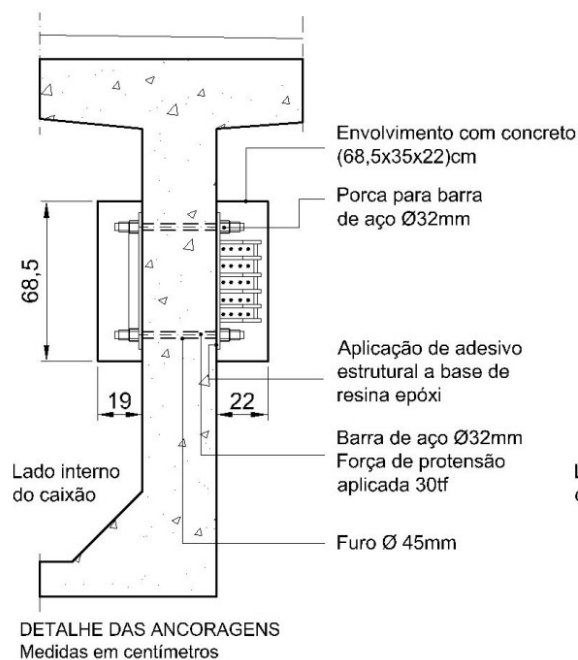


causa dos deslocamentos da estrutura da ponte, tendo em vista o abatimento da pista e o fato de não haver histórico de quaisquer problemas estruturais ou patologias graves pré-existentes na ponte que pudessem culminar naquela situação.

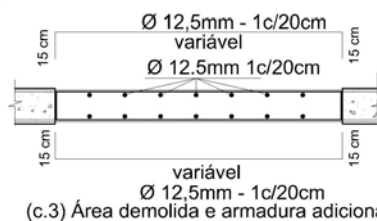
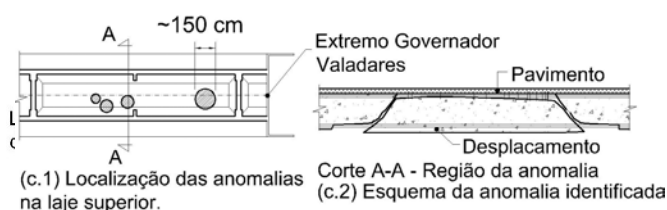
A obra do reforço da ponte foi realizada em caráter emergencial com limitação da carga máxima de tráfego em 23 toneladas por eixo e velocidade máxima de 25 km/h, controlados através de balança móvel e vigilância ostensiva. O projeto de reforço da ponte contemplou principalmente a adequação da ponte para o trem tipo TB-45 (450 kN/eixo) através das seguintes medidas: protensão externa ao tabuleiro, prolongamento da ponte através da construção de vão adicional do lado esquerdo (vide figura 1), contenção da encosta instável, reforço dos pilares P1, P2, P5, P6 e P7 e a recuperação dos elementos da ponte.

O sistema de protensão foi executado com cordoalhas de 4 fios estabilizados com diâmetro de 12,7 mm dispostos em quatro colunas e seis linhas. Foi realizado o envolvimento das cordoalhas por meio de caixa de concreto medindo 16 x 35 cm. Para a protensão foram previstas ancoragens nos dois extremos da ponte e desviadores ao longo do seu comprimento. O concreto utilizado no envolvimento das cordoalhas e das peças metálicas foi especificado com resistência característica à compressão f_{ck} igual ou maior que 30 MPa e fabricado com aditivo tipo cola a base de resina sintética para proporcionar maior aderência. A figura 3 (a) mostra o detalhamento deste sistema de protensão.

Foi criado na ponte um vão adicional de 52 m visando a transposição da região do talude com instabilidade. A estrutura especificada, do tipo mista, previu quatro longarinas de aço com pilares e laje em concreto. A pista de rolamento prevista era de concreto com espessura média de 25 cm, armada com treliças de aço CA60. A figura 3 (b) mostra a localização do novo vão. Durante a execução da obra de reforço, foram identificadas as anomalias na laje em quatro regiões próximas ao lado direito da ponte (vide figura 1). Para a recuperação foi especificada a demolição de todo o concreto da área danificada, preservando a armação existente e colocada armadura adicional em malha constituída de barras de aço CA 50 diâmetro de 12,5 mm. O concreto de reforço tinha resistência característica à compressão f_{ck} igual ou maior que 30 MPa, aditivado com emulsão de polímero sintético. A figura 3 (c) mostra a anomalia detectada e detalhada no projeto do reforço juntamente com a intervenção especificada.



(b) Vão adicional



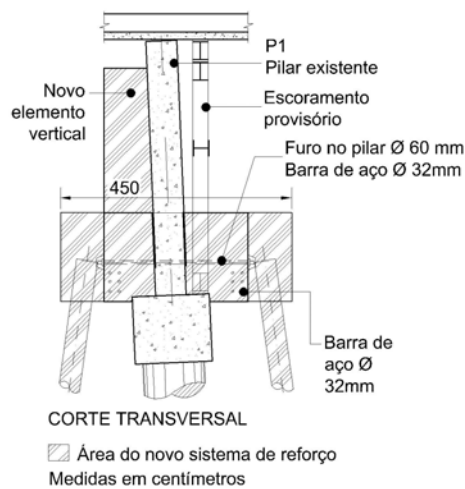
(a) Detalhe do sistema de protensão

(c) Anomalias na laje no lado esquerdo (figura 1)

Figura 3 – Obra de reforço: detalhes do sistema de protensão, prolongamento do vão e do tratamento de patologias na laje.

A estabilização inicial do pilar P1 (vide figura 1) foi garantida através de um escoramento metálico. Para seu reforço foram criados ainda dois novos pilares ligados ao pilar existente e um novo bloco. O novo bloco foi ligado ao antigo através de protensão de barras de aço com 32 mm de diâmetro tendo sido executada sua fundação com estacas do tipo “raiz”. A mesma solução foi adotada para o pilar P2 (vide figura 1). O reforço do pilar P5 foi realizado apenas com a criação de novo bloco. A figura 4 mostra os elementos do reforço dos pilares P1 e P2.

Todos os aparelhos de apoio foram trocados por aparelhos de neoprene fretado. Nos locais com rotação dos pilares foram especificadas cunhas de madeira para a regularização da superfície de contato. Para a elevação da estrutura do tabuleiro, foram executados nos pilares P1 e P2 (vide figura 1) consoles de concreto para instalação de macacos hidráulicos; esses consoles foram conectados à estrutura dos pilares existentes através de sistema de protensão. A figura 5 mostra essas intervenções.



(b)



(c)

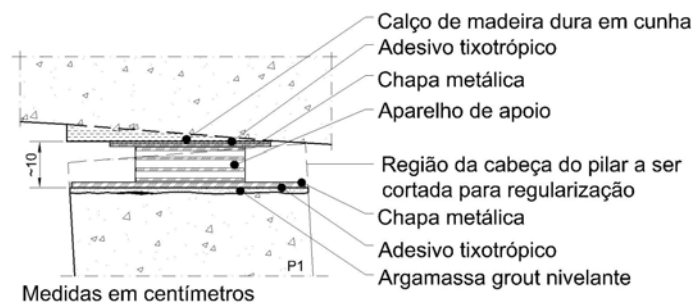
(a) Deslocamento e rotação do pilar P1.

(b) e (c) Reforço dos pilares P1 e P2, respectivamente.

Figura 4 – Obra de reforço: detalhes do reforço dos pilares P1 e P2.



(a) e (b) Criação de estrutura para macaqueamento e detalhe do posicionamento dos macacos no pilar P2.



(c) Detalhe do nivelamento dos pilares para posicionamento dos aparelhos de apoio

Figura 5 – Obra de reforço: detalhes das estruturas de colocação dos macacos hidráulicos e dos novos aparelhos de apoio

Foram construídas barreiras do tipo New Jersey incorporando-se aos guarda-corpos de concreto existentes, contemplando a demolição do antigo guarda-rodas.

A encosta do lado esquerdo da ponte (vide figura 1) foi estabilizada por meio da colocação de placas de concreto armado atirantadas e a instalação de 16 drenos sub-horizontais. Por se tratar de região com características de grande movimentação de terra, a obra de reforço previu também o reforço de estabilização da encosta do lado direito da ponte (vide figura 1), por meio da compactação de aterro na região e entre os pilares P6 e P7 e o encontro.

O procedimento de recuperação das estruturas de concreto armado da ponte previu ações conforme preconizado nos manuais de recuperação de pontes do Instituto de Pesquisas



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Rodoviárias (IPR). Os procedimentos previram tratamento de ninhos de concretagem, armaduras expostas, desagregação do concreto e o tratamento de trincas e fissuras.

Resultados da vistoria do estudo realizada em abril de 2013

Visando aferir a eficácia dos procedimentos de reforço finalizados em setembro de 2005 na ponte sobre o rio Piracicaba, realizou-se uma inspeção visual em 23 de abril de 2013.

O pavimento estava em condições precárias, principalmente do lado direito da ponte (vide figura 1), justamente na região da laje anteriormente recuperada na obra do reforço (figura 3c). Deverá ser investigada, portanto, a possibilidade dessas diversas ocorrências estarem relacionadas à reincidência daquelas patologias verificadas na laje na ocasião da obra de reforço.

Na região de encontro da pista de rolamento com a barreira New Jersey, em ambos os lados da ponte e em toda a sua extensão, havia considerável acúmulo de material oriundo da pista, carregado pelas águas de chuva. O sistema de drenagem estava parcialmente obstruído e encoberto por este mesmo material, sugerindo a deficiência do programa de manutenção. A figura 6a mostra o registro fotográfico das condições da pista verificadas na vistoria.

Na região do encontro da pista de rolamento da rodovia com a extremidade da ponte do lado direito (vide figura 1), observou-se uma abertura entre o pavimento da rodovia e a estrutura do encontro da ponte. A maior dimensão da sua abertura foi aferida no lado direito da ponte no sentido Governador Valadares - Belo Horizonte, atingindo 8 (oito) centímetros (Figura 6b). Estas aberturas sugerem a ocorrência de movimentação diferencial entre a estrutura do tabuleiro e do encontro. Na vistoria feita aos elementos inferiores ao tabuleiro, logo abaixo da região da abertura, pode-se verificar o carreamento de material do aterro compactado, originando um degrau de 3 metros de profundidade, conforme figura 6d. O aterro executado na obra do reforço possuía sua cota superior coincidente com o nível dos consoles dos pilares P6 e P7 (vide figura 1).

O esforço tangencial imposto pelo carreamento do solo à estrutura da ponte ou mesmo a redução da capacidade portante desses elementos, podem ser causas possíveis do deslocamento entre as estruturas da rodovia e do tabuleiro da ponte. A presença de fluxo d'água nesta região pode ser intermitente ou fator isolado, podendo ter sido causada por danos às canalizações de drenagem e dutos de água existentes em grande número nesta região, dada



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



a necessidade de canalização das águas dos taludes circundantes à rodovia. Tal fluxo d'água ou suas conseqüências não foram identificados na elaboração do projeto do reforço.



(a) Serviços tapa buraco na pista lado direito da ponte (figura 1).



(b) Deslocamento entre a pista de rolamento da rodovia e da ponte.



(c) Vista superior do bloco do pilar P3: erosão e armaduras expostas.



(d) Movimentação do material do encontro e degrau no aterro compactado.



(e) Exposição de armaduras na viga caixão e marcas de escoamento de água nos balanços.



(f) Marcas de escoamento de água atingindo o sistema de protensão



Figura 6 – Registro fotográfico da inspeção realizada em abril de 2013.

O comprometimento do reforço realizado nesta extremidade da ponte poderá causar movimentações e deslocamentos imprevistos, alterando o comportamento estrutural da ponte e podendo inclusive se tornar perigoso à segurança estrutural da obra, dada a sua imprevisibilidade.

Durante a vistoria foi verificado que os pilares estavam em bom estado, sem incidência de trincas, fissuras ou deformações a exceção do pilar P3. Os blocos originais dos pilares P3 e P4 (vide figura 1), que possuem contato com a água do rio, apresentavam sinais de erosão com diversas armaduras expostas, bem como pontos de exposição de armadura no pilar P3, conforme mostrado na figura 6c.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Diversos pontos com armadura exposta da viga caixão também foram observados ao longo de toda a ponte (figura 6e). Essas patologias podem ter como causa o desgaste natural da estrutura, agravado pela utilização de pequenos cobrimentos das armaduras especificados nos projetos da década de 70. A exposição das armaduras da laje do tipo caixão e dos blocos existentes não terem sido patologias documentadas no relatório da inspeção realizada em 2005, é importante ressaltar que processos corrosivos e erosivos dessa monta requerem tempo para evoluir. A manutenção rotineira, realizada neste caso por meio de pequenos serviços de controle dos processos erosivos e corrosivos nas bases dos pilares e nos blocos, poderia contribuir para o aumento da durabilidade da ponte, cessando o desenvolvimento dessas patologias.

Na parte inferior das lajes em balanço, verificou-se que as marcas de escoamento de água a partir das tubulações de drenagem atingiam a face externa da viga caixão, incluindo o sistema de protensão (figura 6 f). Tal fato pode estar ocorrendo devido à tubulação de drenagem original da ponte ser rente à face inferior das lajes em balanço. A obra do reforço não contemplou mudança desta tubulação obsoleta; no entanto, a presença de água nos elementos de concreto poderá causar diversas patologias à estrutura de concreto da ponte. Destaca-se o potencial risco ao sistema recente de protensão instalado, onde existe significativa quantidade de elementos em aço, tais como cabos e cordoalhas, ancoragens e desviadores.

Não foi possível visualizar as estacas da ponte devido aos níveis do terreno e da água do rio Piracicaba e nem a estrutura inferior do vão adicional, por possuir cota abaixo do terreno.

Conclusões

Após apenas oito anos da robusta intervenção de reforço realizada na ponte, as patologias verificadas na vistoria deste estudo mostram que intervenções já são necessárias para seu tratamento. Algumas das patologias encontradas comprometem inclusive a eficácia da obra de reforço executada e outras solicitam obras de maior monta.

O projeto e a execução de obras de reforço em pontes rodoviárias de concreto armado devem contemplar além do aumento da capacidade portante todos os seus aspectos funcionais com a análise de todos os sistemas intervenientes às mesmas, sob risco de prejuízo da sua eficácia. Faz-se necessária a correta identificação das contribuições de todos os sistemas componentes da estrutura, com vistas a garantir o comportamento almejado no projeto de reforço. A



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



deficiência de qualquer componente de uma ponte poderá levar outros elementos constituintes da estrutura a executar funções distintas dos seus fins de projeto, levando ao comprometimento global do sistema e demandando obras robustas após poucos anos da intervenção. A manutenção inadequada emerge como mais um fator deletério à estrutura. Inspeções rotineiras às pontes, conforme preconizado pelo IPR (2010), para verificação de possíveis ocorrências de patologias, poderão resultar em ações de reparos simples, com baixo custo e com grande impacto na durabilidade da estrutura. Pequenos reparos pontuais poderão evitar o desenvolvimento de diversas patologias, impedindo a sua propagação.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR 7188: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. NBR 9542: Vistoria de pontes e viadutos de concreto. Rio de Janeiro, 1986.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA EM TRANSPORTES (DNIT). Processo 50606.011720/2005-72 – Ponte Sá Carvalho – BR-381/MG, Belo Horizonte, 2007.
- INSTITUTO DE PESQUISA RODOVIÁRIA (IPR). Manual de construção de Obras-de-arte especiais. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos rodoviários. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. Manual de Inspeção de Pontes rodoviárias. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. NORMA DNIT 010/2004 – PRO – Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. NORMA DNIT 122/2009 – PRO – Pontes e viadutos rodoviários – Estruturas de concreto armado – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009.
- MENDES, Paulo de Tarso Cronemberger. Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras [online]. São Paulo : Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009. Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas. [acesso 2013-02-21]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-29062009-103830/>>.
- SERAFIM, Maria Clara Silva. Análise das políticas públicas para infra-estrutura de transporte no Brasil a Partir da década de 90. Monografia (Bacharelado) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- LOURENÇO, L. C., ALVES, V. R., JORDY, J. C., MENDES, L. C. e LOURENÇO, M. V., Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais. 2009. 10 f. Artigo (Pós-graduação) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.