



# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

## Reforço de Fundações de Pontes e Viadutos - Três Casos Reais

**José Afonso Pereira Vitória**

**Engenheiro Civil, projetista e consultor de estruturas; Professor Convidado de Recuperação e Reforço de Pontes e Viadutos da Escola Politécnica da UPE; Doutorando em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Portugal, [afonsovitorio@gmail.com](mailto:afonsovitorio@gmail.com)**

**Rui Manuel Meneses Carneiro de Barros**

**Engenheiro Civil; Professor Doutor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Portugal, [rcb@fe.up.pt](mailto:rcb@fe.up.pt)**

### Resumo

O reforço de fundações de Obras de Arte Especiais é algo bastante complexo, pelo fato de envolver uma série de incertezas quanto à capacidade de carga real de tais fundações, muitas vezes dimensionadas há várias décadas com a utilização de normas já superadas, para suportar carregamentos móveis também atualmente defasados. A estes problemas devem ainda ser acrescentados o desconhecimento dos projetos originais e as dificuldades para a realização de inspeções, medições e ensaios.

Este trabalho apresenta três casos reais de projetos de reforço de fundações de Obras de Arte Especiais, sendo duas pontes e um viaduto. Cada situação teve causa específica para a necessidade do reforço. O primeiro caso refere-se a uma ponte da rodovia estadual PE-507 em Pernambuco, cujas fundações diretas foram comprometidas pela erosão após a ocorrência de uma cheia no rio. O segundo caso trata de uma ponte rodoviária na BR 101/BA, cuja adequação do tabuleiro às cargas móveis do Trem-tipo Classe 45 da NBR 7188 e precárias condições do estaqueamento original, implicaram na necessidade da cravação de novas estacas e do reforço dos blocos de coroamento. O terceiro caso por sua vez, retrata um problema atual, e cada vez mais frequente, nas obras civis do Brasil: a não conformidade do concreto estrutural, que causou a necessidade do reforço de um bloco de estacas em um viaduto em fase de construção no Recife, que teve a resistência à compressão do concreto bastante inferior à estipulada no projeto.

Ao longo do texto são detalhadas e comentadas as concepções adotadas para cada um dos casos, justificando os conceitos utilizados para o dimensionamento, com as devidas ilustrações, incluindo, também, as conclusões e contextualização dos problemas que levaram aos reforços das três fundações.

### Palavras-chave

Estruturas; Fundações; Reforço; Protensão.



# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

## 1 Introdução

Não há qualquer exagero em afirmar que as fundações significam o que existe de mais importante para a garantia da segurança de uma edificação.

Por se tratarem de elementos estruturais que trabalham enterrados e/ou submersos, na maioria das vezes não acessíveis à vistorias, as fundações apresentam uma série de fatores dificultadores para a identificação de problemas que, muitas vezes, só são detectados quando já estão repercutindo na estrutura como um todo.

No caso das pontes e viadutos, as fundações se revestem de uma importância especial, pela própria natureza e peculiaridades dessas obras que, de modo geral, estão expostas a condições ambientais totalmente adversas, são submetidas a condições de uso para as quais não foram projetadas e são carentes de manutenção ao longo da vida útil.

Sabe-se que um dos fatores que mais influenciam o aparecimento de graves problemas em fundações de pontes é a erosão (ou solapamento) ao longo tempo, sendo este fenômeno responsável por significativa quantidade de acidentes com estes tipos de obras em todo o mundo.

Outro tipo de fenômeno com grande poder de devastação sobre as pontes é a ocorrência de cheias nos rios, por causa da rápida elevação do nível da água, associada a grandes descargas e velocidades. A intensidade da força de arrasto aumenta o poder erosivo do leito do rio, descalçando as fundações e os aterros das cabeceiras. A grande pressão dinâmica da água, que atua transversalmente sobre os pilares e encontros causa, muitas vezes, a ruptura da ponte.

Outros fatores que também contribuem para o aparecimento de problemas relacionados às fundações das Obras de Arte Especiais: movimentações causadas por recalques diferenciais; submissão da obra a carregamentos excessivos para os quais não foi projetada (como os dos veículos transportadores de equipamentos especiais); alargamento para a adição de mais pistas de rolamento; deficiências de projeto; falhas construtivas; utilização de taxas de trabalho insuficientes para os materiais e principalmente, ausência de manutenções preventivas periódicas ao longo do tempo.

Neste artigo serão apresentadas três situações nas quais foram realizadas intervenções para execução de reforço de fundações de Obras de Arte Especiais, sendo duas pontes e um viaduto.

O primeiro caso refere-se a uma ponte localizada sobre o riacho Ingazeira na PE-507 em Pernambuco que teve as fundações solapadas após a ocorrência de uma cheia em 2005.

No segundo caso, é abordado o problema causado pela erosão nas fundações de uma ponte na BR-101/BA devido à modificações do perfil do rio ao longo dos anos, com rebaixamento do leito e a perda do confinamento das estacas que ficaram expostas e com a capacidade de carga reduzida.



# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

O terceiro caso aborda uma situação bem recente e que também está se tornando frequente nas obras civis do Brasil, que é a não conformidade do concreto estrutural. No caso exposto, um bloco de fundação da ala ainda em fase de construção de um viaduto na cidade do Recife teve que ser reforçado por causa da resistência à compressão do concreto ter apresentado valores bem inferiores aos estipulados no projeto estrutural.

Nos próximos itens serão feitas as descrições resumidas de cada obra com os respectivos problemas ocorridos nas fundações e as soluções adotadas para corrigi-los.

## 2 Ponte na rodovia PE-507

### 2.1 Descrição do problema ocorrido

A obra apresentada neste primeiro caso trata-se de uma ponte com 40m de extensão e três vãos de 12,50m, 15,00m e 12,50m; a superestrutura é constituída por tabuleiro de concreto armado convencional (vigas, lajes e transversinas); a meso e infraestrutura são compostas por pilares com seção octogonal, sapatas isoladas de concreto armado assentes sobre blocos corridos de concreto ciclópico e encontros de concreto ciclópico nas extremidades.

Logo após uma grande cheia no riacho Ingazeira houve uma significativa erosão, que causou o rebaixamento do leito do rio e solapou as fundações das duas linhas de pilares, conforme ilustrado na figura 1. A intensidade da força de arrasto, associada às características erodíveis do solo, retiraram parte da camada superficial sob os blocos e quase causaram o desabamento da ponte, conforme mostram as figuras 2 e 3.

Algum tempo depois, os encontros, que até então permaneciam íntegros, também começaram a apresentar sinais de ruptura, causada pelo grande aumento do empuxo devido às pressões hidrostáticas (agravado pela ausência de drenagem) e pela erosão do solo, conforme mostra a figura 4.



**Figura 1 – Vista geral da ponte e da erosão causada pela cheia nas fundações dos pilares na calha do rio.**



# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012



**Figura 2 – Ruptura do bloco e descalçamento das fundações.**



**Figura 3 – Fuga de material sob as fundações, causando risco de ruptura da obra.**



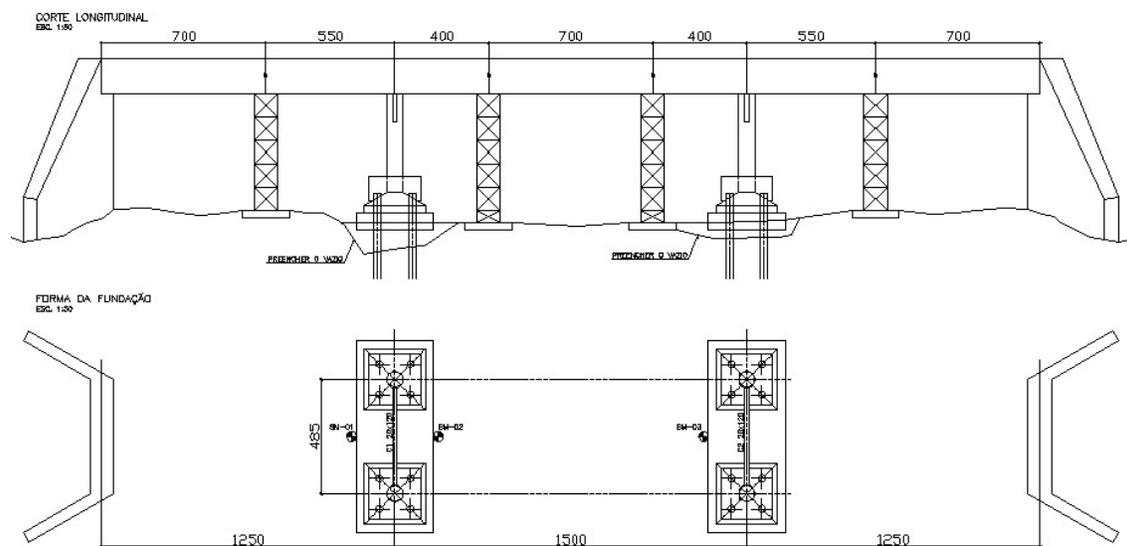
**Figura 4 – Ruptura do encontro causada por infiltração de água no aterro e pela erosão na fundação**



## 2.2 Solução adotada

Considerando que a situação requeria a adoção de providências imediatas para realização do reforço de fundações e evitar a ruptura total da ponte, foi providenciado o escoramento do tabuleiro, de modo a reduzir substancialmente as cargas nos pilares, enquanto eram realizadas as sondagens geotécnicas e elaborado o projeto de reforço.

Com base no resultado das sondagens foi adotado para as fundações dos pilares o reforço com estacas raiz  $\phi$  310mm e comprimento médio de 12m, sendo 4 estacas por pilar, conforme detalhamento na figura 5.



**Figura 5 – Esquema do reforço das fundações dos pilares.**

Como foi dito anteriormente, algum tempo depois, logo após a conclusão dos serviços de reforço das fundações dos pilares, os encontros começaram também a apresentar sinais de avarias causadas pelos empuxos e deformações do solo, o que levou à necessidade de realização de reforço, com a utilização de estacas escavadas  $\phi$  250mm.

Após o reforço das fundações houve a substituição dos aparelhos de apoio por meio de macaqueamento e as cargas do tabuleiro foram transmitidas para novos encontros de concreto armado, construído rente aos encontros existentes, conforme ilustrado na figura 6. As figuras 7, 8, 9 e 10 mostram fases da execução do reforço das fundações dos pilares.



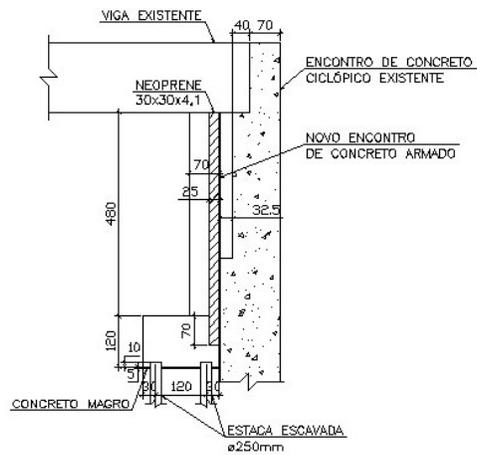
# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012



**Figura 6 – Reforço da fundação dos encontros.**



**Figura 7 – Escoramento da ponte.**



# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012



**Figura 8 – Consolidação da base da sapata com argamassa projetada.**



**Figura 9 – Furos nas sapatas para a cravação das estacas.**



**Figura 10 – Reforço dos pilares e cravação das estacas.**



## 3. Ponte na BR-101/BA

### 3.1 Descrição do problema ocorrido

Trata-se de uma Obra de Arte Especial com 81,00m de extensão, dois vãos de 22,00m, um vão de 30,00m e dois balanços de 3,50m; fundações em estacas e presumidamente construída na década de 70 sobre o rio Pojuca na BR-101/BA. A obra necessitou ser recuperada e reforçada para se adequar ao novo gabarito transversal da ampliação da rodovia e às novas cargas móveis do Trem-tipo Classe 45, uma vez que foi projetada para o Trem-tipo Classe 36.

Em 2008, durante a vistoria para o levantamento da geometria existente, e identificação das patologias para a realização do projeto de recuperação e reforço, foi observado que havia ocorrido uma grande erosão no leito do rio, que causou o rebaixamento do mesmo e deixou exposta a parte superior das estacas dos blocos centrais, diminuindo consideravelmente a capacidade de carga, conforme ilustração nas figuras 11 e 12.



**Figura 11 – Estacas expostas e desconfiadas por causa do rebaixamento do leito do rio.**



**Figura 12 – Detalhe da deterioração e perda de seção transversal das estacas.**



### 3.2 Solução adotada

Considerando que o estaqueamento existente não apresentava condições de integridade estrutural e, nem ao menos, condições para a realização de uma análise mais profunda sobre as suas capacidades de cargas estrutural e geotécnica, optou-se pela criação de um novo estaqueamento capaz de absorver totalmente os esforços para as combinações mais desfavoráveis das ações, com o Trem-tipo Classe 45. Com base no resultado do dimensionamento e das sondagens realizadas, foram adotadas estacas raiz  $\phi$  410mm, (sendo 8 estacas para cada pilar), que foram solidarizadas ao bloco original por meio do encamisamento com um novo bloco. A solidarização entre os dois blocos foi feita com a aplicação de protensão com barras Dywidag, de modo a garantir que o conjunto trabalhasse como um bloco monolítico para efeito da transmissão das cargas dos pilares para as novas estacas. A figura 13 mostra o envolvimento dos blocos originais pelos novos blocos, a configuração do novo estaqueamento e o posicionamento das barras de protensão. Na figura 14 está representada uma vista frontal do novo bloco e das ancoragens das barras Dywidag.

Para a melhor garantia da aderência entre concreto novo e concreto antigo, foram colocados conectores metálicos e aplicada pintura de aderência ao longo de todas as superfícies de ligação entre os dois concretos.

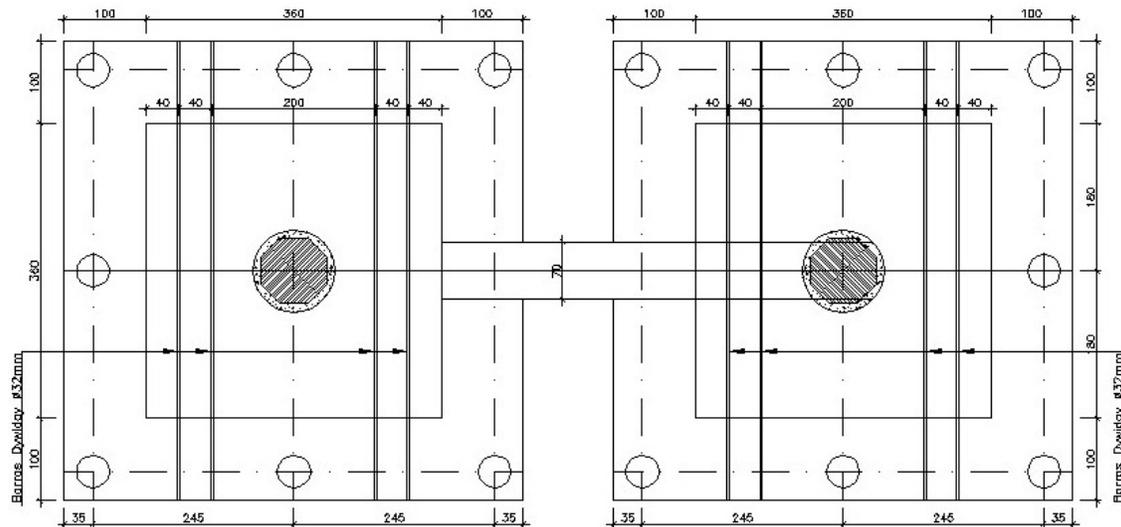


Figura 13 – Configuração do novo estaqueamento

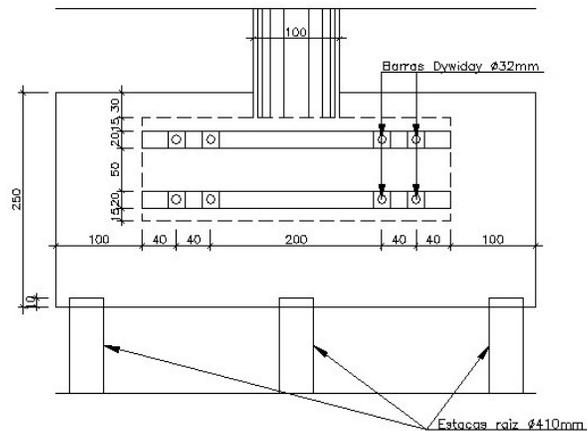


Figura 14 – Vista frontal do bloco reforçado e do novo estaqueamento.

## 4 Viaduto Capitão Temudo

### 4.1 Descrição do problema ocorrido

O viaduto Capitão Temudo, construído na década de 70, representa a principal ligação viária com a Zona Sul da cidade do Recife.

Essa Obra de Arte Especial passa atualmente por intervenções para o alargamento do tabuleiro no trecho retilíneo e para o acréscimo de uma nova alça com 400m de extensão.

A superestrutura da alça projetada é constituída por um tabuleiro celular de concreto protendido, com resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) igual a 40MPa. A mesoestrutura é formada por 12 pilares-parede, com dimensões variáveis, em concreto armado com  $f_{ck} = 30\text{MPa}$ . Para as fundações foram utilizadas estacas de concreto centrifugado EC-600/10; cada pilar tem apenas um bloco de coroamento com  $f_{ck} = 30\text{MPa}$ .

O bloco de estacas objeto do reforço corresponde ao pilar P4, submetido a carga vertical de 16.960KN, momentos  $M_x = 3.385\text{KNm}$ ,  $M_y = 479\text{KNm}$  e dimensionado para 10 estacas.

Após o rompimento dos corpos de prova dos concretos utilizados no pilar e no bloco, nas idades previstas pela norma, foi constatado que o concreto utilizado no pilar tinha resistência compatível com a que foi prevista no Projeto Estrutural, mas o concreto do bloco apresentava resistência característica à compressão de apenas 14MPa. Foram então retirados e rompidos testemunhos do concreto do bloco que por sua vez confirmaram o  $f_{ck} = 14\text{MPa}$ , caracterizando a não conformidade do concreto estrutural e, portanto, a necessidade de reforço para o referido bloco, cujas características geométricas estão indicadas na figura 15.

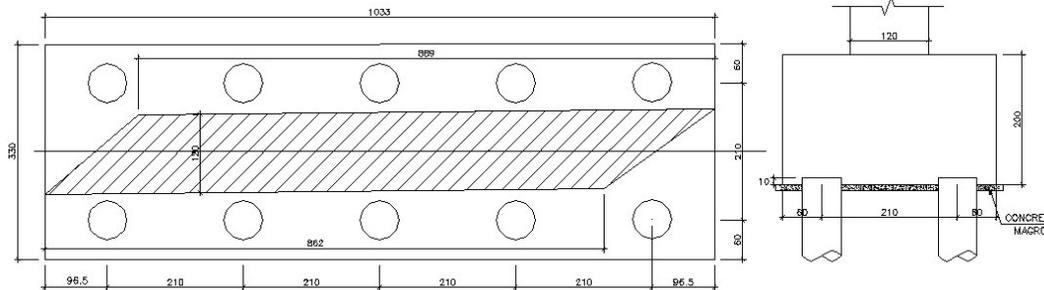


Figura 15 – Geometria original do Bloco B4.

## 4.2 Solução adotada

Para solucionar o problema foram apresentadas duas alternativas para reforço do bloco. A 1ª solução previu o encamisamento do bloco existente com concreto auto adensável, de  $f_{ck} = 30MPa$ , e a utilização de barras Dywidag na parte inferior. O dimensionamento foi feito pela teoria das bielas e tirantes para o novo bloco, de modo a obter-se a seção de armaduras de protensão necessária, além das armaduras passivas complementares. Essa solução, que está ilustrada na figura 16, apresentou dificuldades para ser executada pelo fato de o bloco encontrar-se no limite do canteiro central das duas faixas de tráfego da via inferior, impossibilitando a execução das escavações nas dimensões necessárias para introdução e protensão das barras rígidas Dywidag de 4,50m de comprimento, pelo fato de só se dispor de um espaço de 60cm de cada lado para os trabalhos de reforço.

Diante disso, foi necessário estudar outra alternativa de reforço que fosse possível de ser executada no pequeno espaço disponível entre as faces do bloco e os limites da via.

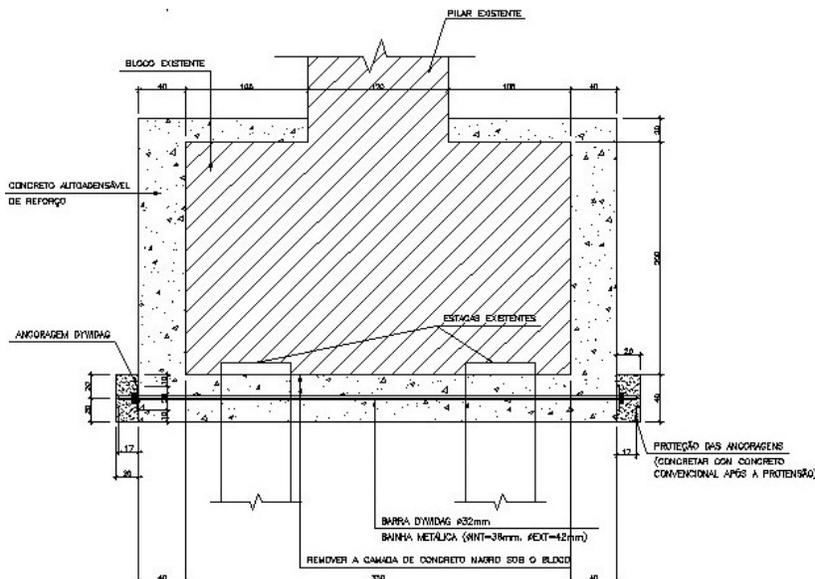


Figura 16 – Reforço com aplicação de protensão com barras rígidas Dywidag.



# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

A segunda alternativa partiu da premissa de que teriam que ser utilizadas barras flexíveis para o reforço, de modo que a protensão pudesse ser realizada dentro do pequeno espaço disponível ao longo do perímetro do bloco.

Considerando tratar-se de um bloco rígido com relação  $a/d = 0,27$  (a condição de rigidez é  $a/d \leq 0,50$ ). O reforço pôde ser calculado com base na teoria da ruptura por compressão diametral, de modo que a armadura principal passa a ser constituída por barras horizontais na forma de estribos (ALONSO, 1982). O dimensionamento foi feito utilizando-se armaduras ativas compostas por cabos com 4 cordoalhas de 12.7mm, aço CP-190 RB, envoltas em bainha chata retangular, tendo sido necessários 4 cabos distribuídos ao longo da altura do bloco, envolvendo-o em todo o perímetro. Foi aplicada uma força de protensão de 560KN (140KN por cordoalha), após o concreto auto adensável ter atingido a resistência necessária. Também foram utilizados conectores e ponte de aderência com epóxi entre as superfícies de contato entre concreto existente e concreto novo.

Esta foi a solução escolhida e o bloco encontra-se atualmente devidamente reforçado. A figura 17 mostra o corte transversal do reforço. As figuras 18, 19, 20 e 21 ilustram detalhes da execução do reforço.

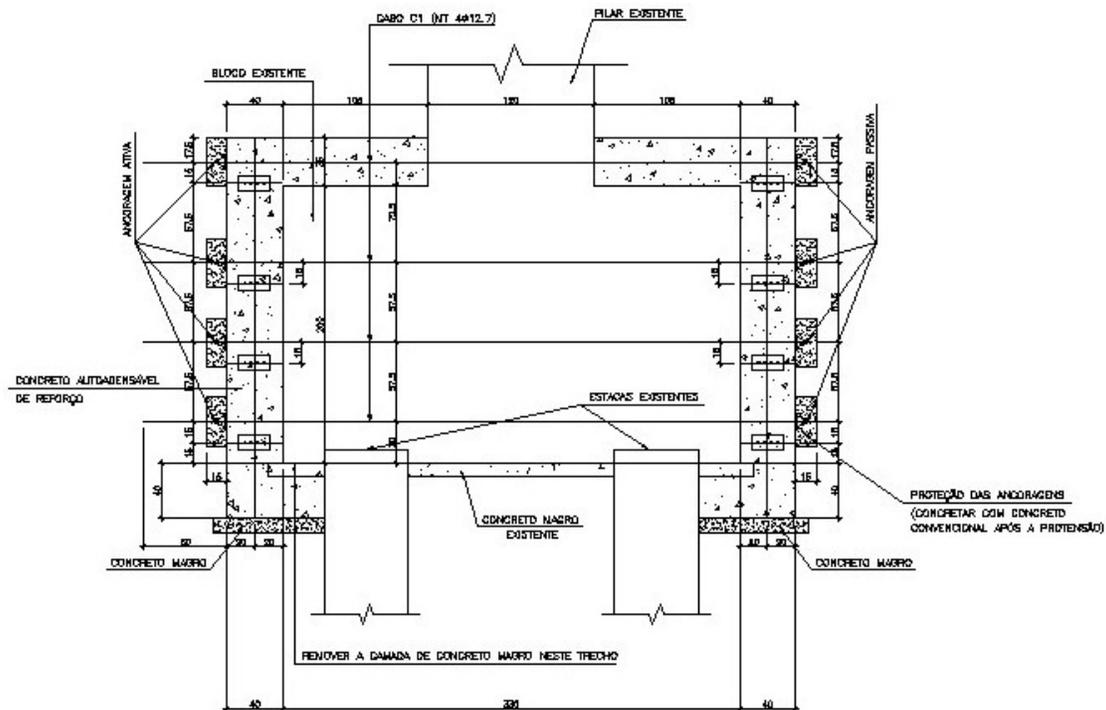


Figura 17 - Detalhe do reforço do bloco com concreto auto adensável e protensão com cabos horizontais ao longo do perímetro.



# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012



**Figura 18 – Colocação das armaduras ativas e passivas do reforço.**



**Figura 19 – Detalhe dos cabos de protensão.**



**Figura 20 – Detalhe das armaduras passivas e dos conectores de aderência.**



# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012



**Figura 21 – Vista geral do pilar e do bloco.**



**Figura 22 – Posicionamento do pilar e do bloco no canteiro estreito entre duas pistas.**

## 4 Conclusões

Os três casos de reforço de fundações de Obras de Arte Especiais relatados neste artigo permitem tirar algumas conclusões sobre as condições funcionais e estruturais das pontes e viadutos que fazem parte da malha viária brasileira, até porque não constituem situações



# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

isoladas, o que pode ser comprovado pela significativa quantidade de relatos de casos sobre estes tipos de problemas.

O primeiro caso relatado, por exemplo, mostra que os problemas ocorridos nas fundações da ponte estão relacionados à própria concepção do projeto, que adotou fundações diretas e superficiais em um solo arenoso com grande poder de erosão. Ou seja, as fundações sempre estiveram vulneráveis à erosão do rio, principalmente durante a ocorrência das cheias que sempre aconteceram na região.

A evolução dos problemas atingiu uma situação crítica por ocasião da cheia em 2005, causando os problemas que geraram a necessidade do reforço para evitar a ruptura da obra.

Convém lembrar que os problemas poderiam ter sido evitados se, além de uma outra concepção para as fundações (estacas ou tubulões), a obra tivesse passado por vistorias e manutenções periódicas que identificassem os problemas ainda na fase inicial.

Outro fator que contribuiu para a aceleração dos problemas foi a colocação de duas linhas de pilares no leito do rio que, ao funcionarem como obstáculos para a seção de vazão sob a ponte, tornaram-se geradores de fossas de erosão em torno das fundações.

No caso da segunda ponte estudada, a concepção das fundações em estacas foi a mais apropriada, porém, a falta de inspeções e manutenções periódicas ao longo das últimas décadas fez com que os problemas causados pelo desvio e rebaixamento do leito do rio não fossem percebidos.

Talvez, o fato de se tratar de uma obra localizada em uma área rural, com pouco acesso de pedestres, fez com que os graves problemas relacionados ao estaqueamento só fossem descobertos quando se fez necessária a realização de uma vistoria com a finalidade de levantar a geometria existente e identificar as patologias estruturais, com vistas a adequação para o novo gabarito transversal da rodovia e ao Trem-tipo Classe 45.

É possível que, caso a obra não estivesse incluída no programa de alargamento e restauração da BR-101/BA, os problemas não fossem identificados e a ponte viesse a sofrer o colapso de suas fundações, cujas consequências poderiam ser desastrosas.

O terceiro e último caso exposto neste trabalho mostra um problema que, embora devesse ser tratado como uma exceção, está se tornando bastante frequente nas obras civis, não apenas em Pernambuco, mas em todo o Brasil.

A não conformidade do concreto estrutural fornecido pelas concreteiras têm se constituído nos últimos anos em uma grande dor de cabeça para construtores e engenheiros estruturais. Os construtores, pelos transtornos causados quando o concreto de determinada estrutura está com a resistência aquém daquela estipulada no projeto; os engenheiros projetistas da estrutura, porque ficam com o ônus de fazer todos os “malabarismos” de cálculo possíveis para “salvar” as estruturas cujos concretos estão não conformes, como foi o caso do bloco da alça do viaduto Capitão Temudo.



# V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS



REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

Este tema merece, portanto, ser objeto de muitos estudos e discussões entre projetistas, construtores e fornecedores de concreto, para que se consiga chegar a uma conclusão sobre as reais causas de tais problemas e corrigi-los de forma definitiva.

Concluindo, os três casos apresentados neste texto significam apenas uma pequena amostra dos fatores que intervêm direta ou indiretamente na segurança e estabilidade das fundações das Obras de Arte Especiais e que necessitam ser objetos das maiores atenções possíveis de todos os participantes do setor produtivo da construção civil nacional.

## 5 Referências

- ABNT NBR 6118. Projeto de Estruturas de Concreto. Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT NBR 7187. Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Protendido. Rio de Janeiro, 2003.
- ALONSO, U. R. Exercícios de Fundações. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1982.
- ARAÚJO, J. M. Curso de Concreto armado. Editora Dunas. Rio de Janeiro, 2003.
- DEGUSA. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto. Red Rehabilitar editores. São Paulo, 2003.
- GUSMÃO, J. A. Fundações de Pontes – Hidráulica e Geotécnia. Ed. Universitária. Recife, 2003.
- MORAES, M. C. Estruturas de Fundações. Editora McGraw – Hill. Rio de Janeiro, 1976.
- VITÓRIO, J. A. P. Acidentes Estruturais em Pontes e Viadutos – Causas, Diagnósticos e Soluções. Anais do II Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, 2007.
- VITÓRIO, J. A. P. Avaliação do Grau de Risco Estrutural de Pontes Rodoviárias de Concreto. Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto. Salvador, 2008.