

RECUPERAÇÃO E REFORÇO DA PONTE DOS REMÉDIOS



Lenivaldo Aguiar dos Santos, Luciano Mário Schiros,
Humberto Caminha da Silva e Walter Farinelli

RESUMO

Em 03/06/97, a Ponte dos Remédios sobre o Rio Tietê e Marginais em São Paulo entrou em processo de colapso, exigindo procedimentos de emergência. Sem manutenção estrutural desde sua construção em 1968, uma trinca com 1 cm de abertura na seção de 6 m de altura no Apoio 5 da Ponte Sul, ampliou-se bruscamente para uma rachadura com 15 cm. Foram realizados trabalhos de alto risco para evitar um acidente de grandes proporções, insegurança da população nas obras públicas e danos irreparáveis ao conceito da engenharia.

A PONTE DOS REMÉDIOS

A Ponte dos Remédios sobre o Rio Tietê e Marginais na Cidade de São Paulo foi construída pelo DER-CEA em 1967/68. A travessia, que se desenvolve com esconsidade em relação ao Rio Tietê, assim como sobre as marginais de ambos os lados, é constituída de duas obras isoladas no centro por canteiro central, com largura total de 24 metros. Uma das primeiras obras brasileiras concebidas para construção pelo processo de balanços sucessivos, a estrutura de cada obra pode ser descrita pelas seguintes características:

- Três vãos isostáticos de 30 metros como estrutura em grelha de 4 vigas protendidas no acesso no lado de Osasco, com altura estrutural de 2,50 metros.
- Trecho central em dois caixões de seção variável, protendidos longitudinalmente para vencer os 3 (três) vãos contínuos, ou seja, dois vãos extremos de 73 metros e um vão central de 96 metros. Neste trecho, a altura estrutural varia de 2,50 metros nos apoios extremos e centro do vão do rio para 6,00 metros nos apoios centrais;
- Dois vãos isostáticos de 30 metros como estrutura em grelha de 4 vigas protendidas no acesso no lado da cidade de São Paulo, com altura estrutural de 2,50 metros.



O ACIDENTE

No dia 03 de junho de 1997, um funcionário da Prefeitura de São Paulo que passava com frequência pelo local, notou que ocorrera uma grande deformação no vão central da ponte. Acionados os órgãos competentes, a ponte foi interditada, originando o grande drama que afetou o cotidiano da Cidade de São Paulo. O fato repercutiu em todo sistema viário da região Centro/Sul por se tratar da interligação das principais rodovias do Brasil.

Ao chegarmos ao local deparamos com o desenvolvimento de um mecanismo de ruptura no trecho central caracterizado pela existência já de três rótulas plásticas, uma no apoio central do lado de Osasco que apresentava uma trinca com uma abertura de 15 cm na laje superior, e outras duas dispostas nos terços dos vãos contíguos a este apoio.



Trinca no Apoio 5, vista lateral.



Vista superior.

O trabalho em arco do vão central, no decorrer do processo, deu origem a grandes esforços horizontais de compressão, esforços estes que foram transmitidos aos pilares e encontros através das vigas protendidas dos vãos de 30 metros. A ação destes esforços nos banzos inferiores, já comprimidos pela protensão das referidas vigas, esgotou as tensões resistentes em pontos localizados de algumas das peças.



Trinca no vão central.



Detalhe da trinca pelo lado interno.

No exame da seção rompida, observou-se que os 18 cabos que deveriam estar dispostos na primeira camada (canaleta na face superior da laje) não foram encontrados e que quase todos os 10 cabos da segunda camada apresentavam-se rompidos (em primeiro exame verificou-se 26 cabos rompidos por viga). Segundo os detalhes do projeto, estes cabos de 12 fios de 7 mm de Aço Duro para protensão 140/160 e considerados como unidades de protensão não aderentes para 40 tf. Avaliada com base nos conhecimentos técnicos atuais, esta unidade de protensão teria apenas competência efetiva da ordem de 34 tf.



Cabos oxidados e rompidos.



Ruptura das vigas dos vãos extremos.

Estas condições refletiam uma perda de resistência nas seções próximas deste apoio da ordem de 74% (setenta e quatro por cento) da solicitação com estrutura descarregada.

Refletindo sobre as condições em que aconteceram as anomalias, devemos ressaltar que, em face das grandes aberturas das trincas, os outros cabos ainda não prejudicados pela corrosão teriam rompido se fossem aderentes e o colapso poderia ter ocorrido.

Esta condição refletiu-se na estrutura dos três vãos contínuos transformando-a, praticamente, em vão extremo isostático (vão sobre as marginais do lado Osasco) e dois vãos contínuos, visto que o esgotamento da seção do outro apoio não havia ocorrido, apesar da ampliação sensível dos esforços nesta seção com a formação das rótulas.

ANÁLISE DAS CAUSAS

Apesar de acreditarmos que todos os esforços tenham sido concentrados no sentido de atender aos procedimentos técnicos conhecidos nos anos 60, devemos reconhecer que a insipiente tecnologia mundial do concreto protendido da época é uma das causas da baixa durabilidade das obras construídas no período.

Nos dias de hoje, é conhecimento notório que o aço de protensão disponível naquela oportunidade e utilizado na obra, o Aço Duro para protensão 140/160, não era aliviado de tensões, portanto, sujeito a deformações lentas por relaxamento com percentuais muito maiores que os adotados para cálculo. As bainhas de folha de flandres utilizadas não garantiam a vedação perfeita na concretagem e criavam atritos que reduziam sensivelmente a eficiência da protensão. As injeções de nata de cimento, executadas com bombas manuais, não garantiam nem a aderência da armadura, nem a proteção contra *stress corrosion*.

Realizado o cadastramento das anomalias existentes na estrutura, confirmaram-se as informações colhidas de não terem sido realizados serviços de manutenção desde a sua construção. Por outro lado, constatou-se que haviam sido implantadas defensas ladeando as pistas e refeito o pavimento com espessuras muito superiores aquelas previstas em projeto.

A falta de manutenção preventiva aliada a ampliação das cargas permanentes e a relaxação da armadura de protensão, deu origem a abertura de fissuras na seção de momento máximo negativo, ou seja, nos apoios centrais. Segundo informações colhidas há cerca de um ano atrás, uma destas fissuras, a do Apoio 5 da Ponte Sul, apresentava já uma abertura da ordem de 1 cm.

Devemos então deduzir que, com o passar do tempo, a infiltração de águas aliada a uma deficiente injeção de calda de cimento nas bainhas, acelerou o processo de corrosão dos fios componentes dos cabos mais superficiais da seção. Desta forma, iniciou-se o processo progressivo de ruptura dos cabos de protensão até o instante em que os esforços solicitantes em serviço ultrapassaram o estado limite último daquela seção específica.

A formação da rótula plástica neste apoio (Apoio 5) aumentou as solicitações nas seções dos vãos adjacentes, locais onde surgiram novas rótulas, e a estrutura deste trecho central somente não perdeu estabilidade em virtude de que a seção do apoio oposto resistiu ao esforço majorado daí resultante.

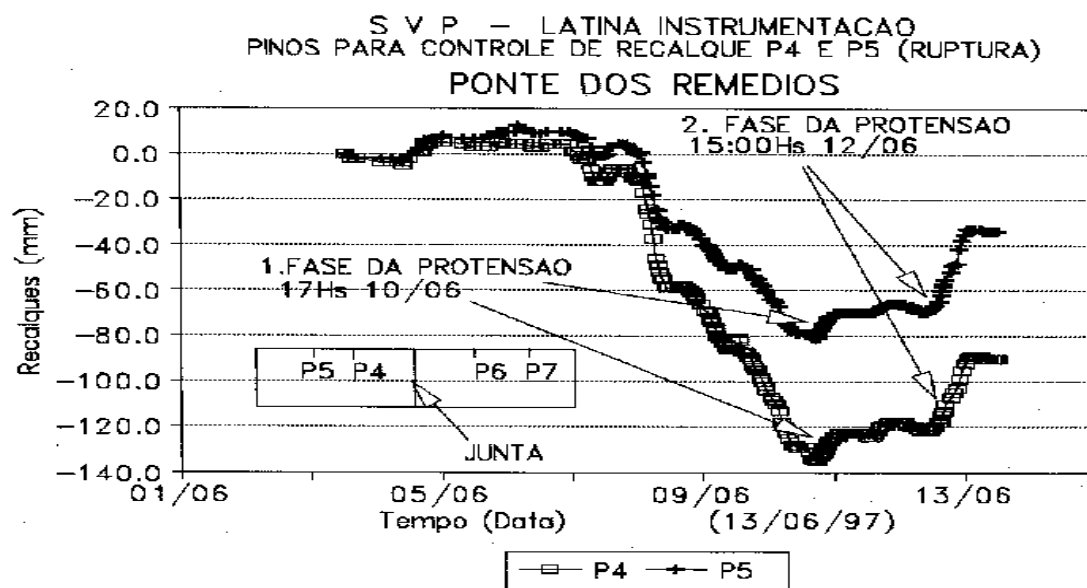
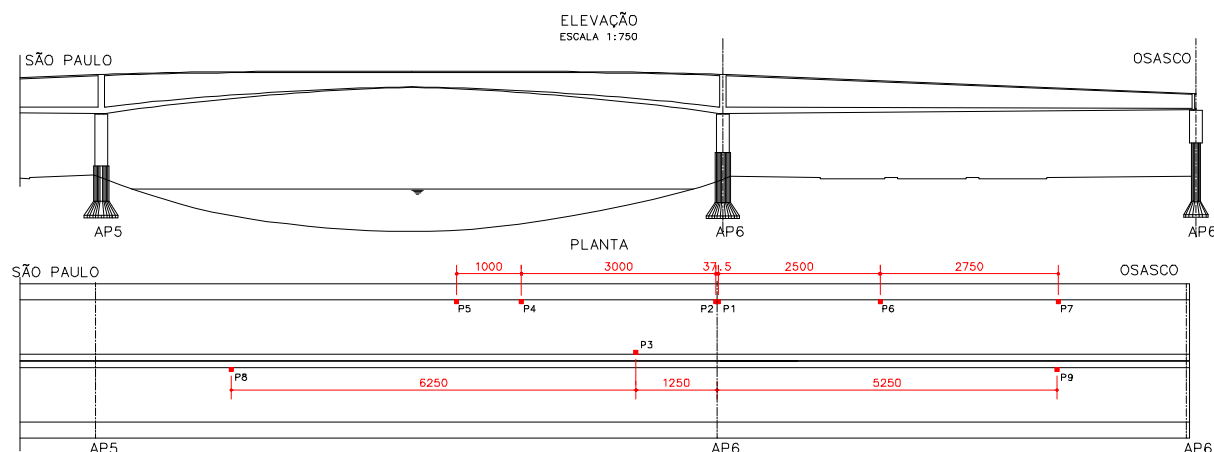
PROCEDIMENTOS DE EMERGÊNCIA E RECUPERAÇÃO DA OBRA

Face ao quadro crítico que se encontrava a obra, foram adotados os seguintes procedimentos de emergência:

- Interdição da obra e das pistas das marginais que passam sob a ponte.
- Instalação de equipamentos para o monitoramento da estrutura em pontos predeterminados nas duas estruturas.

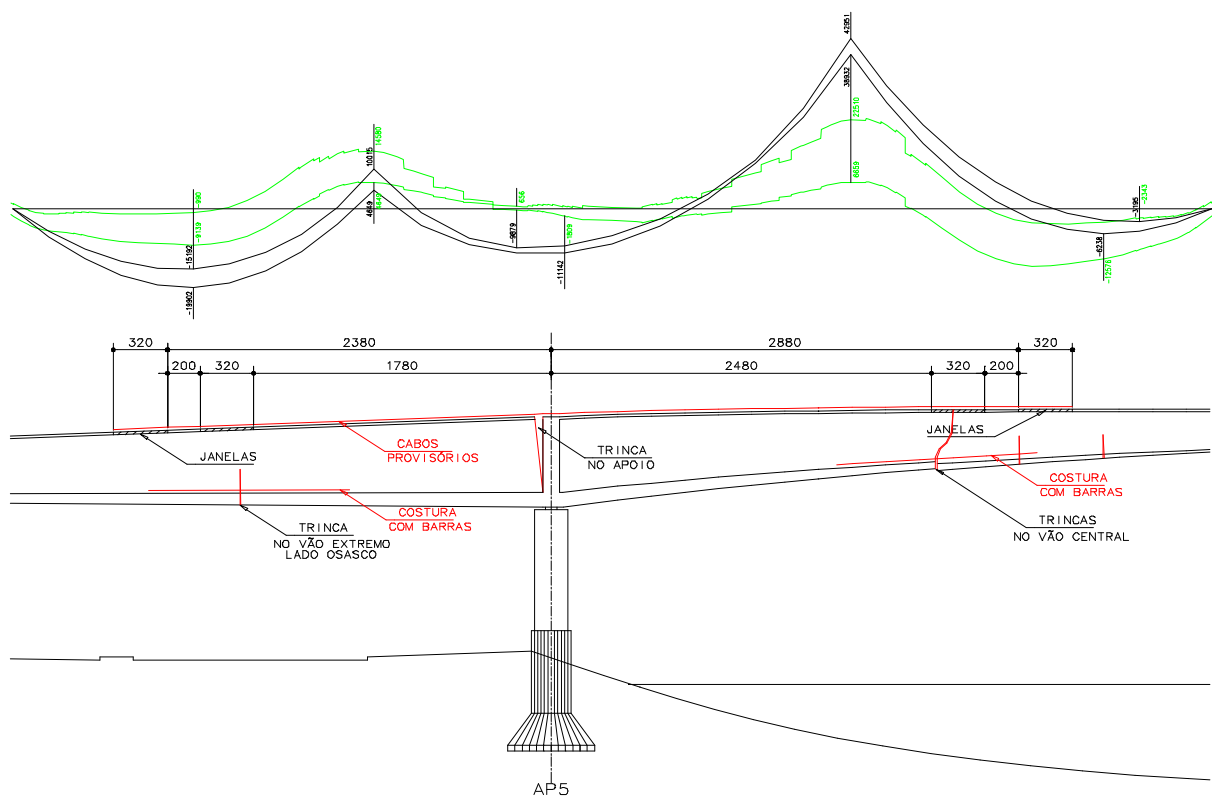
Durante a execução dos serviços iniciais, o monitoramento das deformações permitiu acompanhar a procura da estrutura por novas condições de equilíbrio. Esse equilíbrio, ressalta-se, não era estável até o momento em que foram protendidos os tirantes que ampliaram a resistência da referida seção.

A análise dos resultados do monitoramento da velocidade das deformações foi realizada constantemente nos pontos específicos. O croqui em sequência mostra a localização desses pontos.



Determinou-se também que, no caso de se perceber qualquer anomalia, como o crescimento da velocidade das deformações da estrutura sob monitoramento, a obra deveria ser imediatamente evacuada. Este fato ocorreu em 4 (quatro) oportunidades, sendo que a mais crítica ocorreu na noite do quinto dia de trabalho, quando a temperatura registrada foi a mais baixa do período e a movimentação da estrutura chegou a uma velocidade de 6 mm/15 min, provocando sons (estalos) de rompimento do concreto, exigindo a fuga imediata dos operários e técnicos que trabalhavam naquele momento.

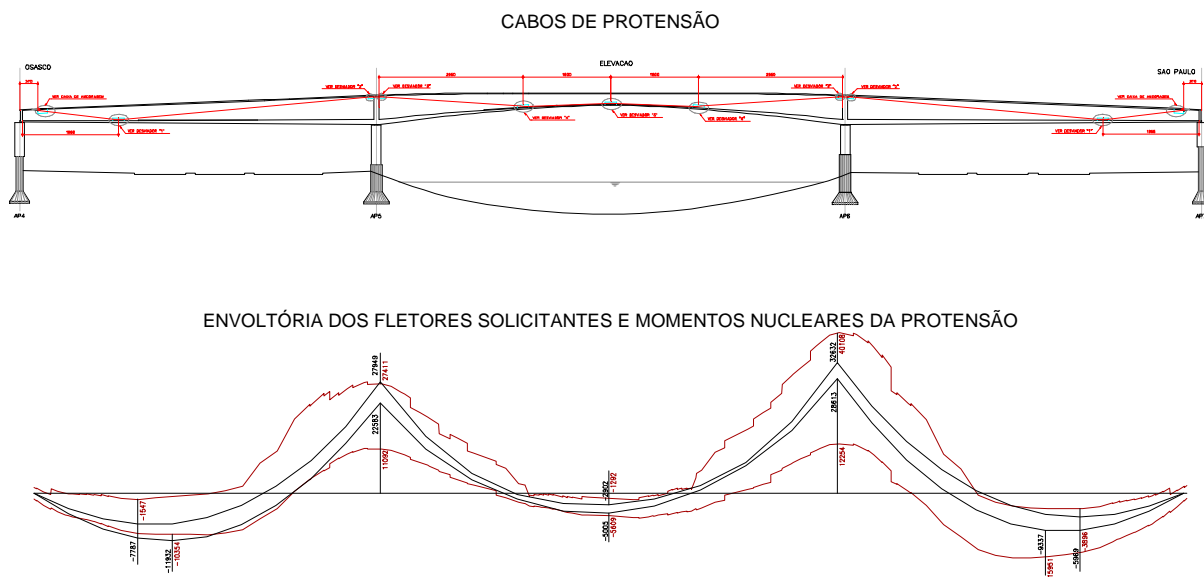
- Execução de operação para o alívio de cargas, reduzindo os riscos de uma ruptura brusca, com a remoção do pavimento. Foram abertas janelas para acesso aos caixões, tomando-se o cuidado de não abalar os cabos existentes. Devido a gravidade do estado da obra, estes serviços foram executados com equipamentos pneumáticos leves.
- Projeto e execução do escoramento com torres tubulares e perfis metálicos com fundação direta sobre o pavimento e fundação em estacas injetadas fora desta área, nos dois extremos do trecho central, sobre as marginais.
- Projeto e execução do reforço com cabos protendidos na laje superior na região do apoio central e a costura das trincas principais, no sentido de sustar o processo de ruptura, ampliando-se a resistência das rótulas.



A protensão foi realizada em duas etapas, a primeira, cordoalha por cordoalha, com 50% (cinquenta por cento) da carga prevista com o objetivo de sustar as deformações crescentes do tabuleiro. Terminada esta etapa foi executada a costura das trincas de vão que apresentavam um rápido processo de fechamento. Neste tempo, com o crescimento da resistência do concreto dos blocos, tornou-se seguro realizar o término da protensão destes cabos preliminares.

Sustado o processo de colapso da estrutura com a conclusão dos serviços de escoramento dos vãos sobre as marginais e da primeira etapa de protensão da laje, foi aberto o tráfego das marginais e realizada uma vistoria completa da obra para a anotação de todas as anomalias resultantes do processo, passando-se então a analisar em detalhes as condições reais de recuperação, com a comparação dos esforços solicitantes finais e os resistentes residuais. Verificada a plena viabilidade de recuperar integralmente os parâmetros normais de segurança e utilização da obra, foi estabelecido o seguinte planejamento de serviços:

- Grauteamento e injeção das trincas;
- Execução da protensão dos cabos no outro apoio;
- Execução do reforço com protensão dos cabos complementares que se desenvolvem ao longo de todo o tabuleiro central, objetivando a reposição das perdas de protensão ocorridas nestes 30 anos. A execução das ancoragens e desviadores, montagem e protensão destes cabos de 10 cordoalhas de CP 190 RB-15,2 pelo interior dos caixões seguiram, com rigor, os detalhes e especificações técnicas fornecidos em projeto;



- Restauração das vigas do vão de 30 m lado Osasco que haviam rompido por compressão;
- Restauração das anomalias localizadas, como armaduras expostas no interior dos caixões, ajuste ou substituição dos aparelhos de apoio dos vãos de acesso e reinjeção dos cabos originais;
- Execução do pavimento alteado em concreto estrutural de alta competência (concreto com micro-sílica) e incorporado à laje do tabuleiro através de colmeias de concreto celular.

Considerando a gravidade dos problemas envolvidos na ocorrência que quase resultou na destruição brusca da Ponte dos Remédios, julgou-se indispensável comprovar publicamente a eficiência do programa de recuperação realizado através de ensaios de carga x deformação ao limite máximo de carregamento móvel para o qual a obra foi projetada. Objetivando acionar solicitações mais próximas possíveis daquelas calculadas como determinantes, foram realizados seis carregamentos seqüenciais no tabuleiro central, trecho crítico da obra.



A análise comparativa das deformações teóricas com as medidas durante o ensaio, permitiu concluir que a estrutura restaurada apresenta comportamento elástico para os carregamentos máximos em serviço.

CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados podemos concluir que as obras em questão apresentam condições plenas de recuperação das características de resistência, segurança, funcionalidade e durabilidade idênticas as de uma obra nova. Após a execução deste trabalho, devemos enaltecer o pioneirismo da Prefeitura do Município de São Paulo que, primeira a publicar um Código de Obras e adotar como Lei as Normas Brasileiras, demonstra hoje de forma incontestável que com os produtos disponíveis e a tecnologia atual, a Engenharia Nacional tem competência para restaurar, recuperar e reforçar qualquer tipo de estrutura viária.