



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

Acidentes estruturais em pontes rodoviárias: Causas, diagnósticos e soluções

José Afonso Pereira Vitória

Engenheiro Civil pela UFPE com especialização em estruturas; autor do livro “Pontes rodoviárias – fundamentos, conservação e gestão”; projetista de pontes e viadutos do DER-PE; sócio/diretor de Vitória & Melo Projetos Estruturais e Consultoria Ltda; professor convidado da disciplina “Reforço e Recuperação de Estruturas de Pontes e Viadutos” da pós-graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco, vitorioemelo@terra.com.br

Resumo:

Este trabalho apresenta uma síntese de dezoito casos de acidentes, ou de graves danos estruturais, ocorridos em pontes localizadas nas rodovias estaduais e municipais do interior de Pernambuco, entre 1990 e 2005. O texto expressa, também, parte da experiência profissional do autor, que participou da solução de treze dos casos relatados, na condição de consultor e projetista de Obras de Arte Especiais.

Todos os dados relacionados foram obtidos a partir de inspeções feitas nas pontes acidentadas, de consulta aos projetos, quando disponíveis, e de informações fornecidas por técnicos que desenvolveram alguma atividade relacionada às obras analisadas.

Os casos relatados estão classificados por grupos, conforme o tipo do acidente ou dano estrutural, com as informações básicas sobre cada obra como: idade aproximada, vão total e tipologia construtiva. Em seguida são listadas, de forma resumida, as causas dos problemas, acompanhadas de uma análise conceitual, também resumida, do fenômeno ocorrido, com ilustrações fotográficas.

Ao final do texto, além das conclusões também são apresentadas algumas recomendações com a finalidade de alertar, a partir dos ensinamentos tirados dos episódios, para a necessidade do aperfeiçoamento, e até da reformulação, de alguns procedimentos de projeto, construção e manutenção, de modo a garantir que as Obras de Arte Especiais das nossas rodovias possam ter uma maior vida útil e oferecer melhores padrões de qualidade e segurança aos usuários.

Palavras-chave:

Pontes, acidentes, estruturas, patologias, erosão.



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

1 Introdução

As pontes das rodovias federais, estaduais e municipais do Brasil, conhecidas como Obras de Arte Especiais, compõem um acervo público de valor inestimável, pela importância que representam para o desenvolvimento econômico e social da Nação.

Existe, porém, um costume bastante habitual de considerar que a vida das pontes é extraordinariamente longa, talvez até infinita. Isso se deve, em parte, à impressão que, de modo geral, é transmitida por esse tipo de obra, sempre associada à robustez e solidez.

A realidade mostra, por sua vez, que uma ponte, como qualquer outra edificação, também deteriora-se com o passar do tempo e necessita de cuidados para não debilitar-se e tornar-se vulnerável às ações de agentes, sejam eles endógenos ou exógenos, que possam por em risco as suas condições de estabilidade e funcionalidade.

É neste contexto que este trabalho se propõe a apresentar alguns casos de obras que foram submetidas a condições de funcionamento extremamente adversas, tiveram os seus limites de resistência excedidos e sofreram algum tipo de colapso estrutural.

Os casos apresentados ocorreram no período de 15 anos (1990 a 2005), em rodovias estaduais e municipais do interior de Pernambuco e fazem parte da experiência profissional do autor, que participou da solução da maioria deles, na condição de projetista e consultor de Obras de Arte Especiais.

É importante esclarecer que o acidente estrutural não foi caracterizado apenas para as situações que culminaram com o desabamento, seja total ou parcial, da obra. Também ficou caracterizado em situações que, mesmo não havendo desabamento, as avarias identificadas foram de tal gravidade que poderiam levar a ponte ao colapso, caso não fosse feita alguma intervenção de recuperação ou reforço.

Além dos dados essenciais sobre cada acidente, também é feita uma breve análise das causas, agrupando-as e classificando-as, de modo a associá-las às características de cada obra e do meio onde cada uma foi edificada.

Ao finalizar, o trabalho apresenta proposições para melhorar, ou reformular, os procedimentos de projeto, construção e manutenção das Obras de Arte Especiais, a partir da experiência adquirida com os casos relatados.

2 Descrição Sumária das obras analisadas e dos acidentes ocorridos

Nas tabelas seguintes estão relacionadas dezoito pontes que sofreram algum tipo de acidente estrutural, com as descrições sumárias da tipologia, das avarias e das soluções adotadas à época dos eventos para equacionar os problemas.

As pontes que são objetos deste estudo têm comprimentos que variam entre 8m e 78m, ou seja, são de pequeno porte, condição bastante representativa das Obras de Arte Especiais das rodovias do interior de Pernambuco.

Das dezoito obras, dezessete têm superestrutura de concreto armado e apenas uma tem tabuleiro metálico. Todas têm mesoestruturas em pilares de concreto armado e encontros de concreto ciclópico (ou alvenaria de pedras). As infra-estruturas de dezesseis obras são em fundações diretas e de duas em fundações profundas.

2.1 Classificação dos acidentes

De modo geral, os acidentes ocorridos podem ser classificados em três grupos:

grupo A - desabamento da estrutura da ponte;

grupo B - destruição dos aterros de acessos;

grupo C - graves avarias localizadas nas fundações dos encontros e dos pilares.

No grupo A constam 7 obras (n^{os} 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7), cujas estruturas romperam e tiveram que ser substituídas (5 casos), ou parcialmente reconstruídas (2 casos).

O grupo B é composto por 6 obras (n^{os} 8, 9, 10, 11, 12 e 13) que, embora não tenham sofrido colapso da estrutura, tiveram pelo menos um dos aterros de acesso totalmente destruídos, tornando-as temporariamente inutilizadas para o tráfego de veículos e de pedestres, até que os aterros fossem recompostos.

As obras classificadas no grupo C, no total de cinco (n^{os} 14, 15, 16, 17 e 18), sofreram graves avarias nas fundações dos encontros e pilares, provocadas pelas erosões ao longo do tempo. Os efeitos das erosões tiveram grandes repercussões estruturais, como fissuras e deslocamentos, que necessitaram ser corrigidos por meio de intervenções de recuperação e reforço.

A tabela 1 mostra o resumo dos três grupos de acidentes, com o percentual de cada tipo de ocorrência. Nas tabelas 2, 3 e 4 estão relacionadas as obras dos três grupos, conforme a classificação adotada, com detalhamento de cada caso. Em seguida são apresentadas as ilustrações fotográficas dos acidentes.

Tabela 1 – Resumo da classificação dos acidentes.

Grupo	Classificação do acidente	Relação das obras	Quantidade	(%)
A	Ruptura estrutural com desabamento	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	7	39
B	Ruptura e destruição dos aterros de acesso	8, 9, 10, 11, 12, 13	6	33
C	Graves avarias localizadas	14, 15, 16, 17, 18	5	28



II CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

Associação Brasileira de Pontes e Estruturas



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

Tabela 2 – Relação das pontes acidentadas classificadas no grupo A

Obra n°	Descrição sumária	Tipo de acidente	Ano do acidente	Solução adotada
1	Ponte com 52m na PE-120 Fundação: estacas Idade: 20 anos	Desabamento da obra, causado pelo tombamento de muro de arrimo em uma das extremidades. O muro não fazia parte do projeto original	1990	Reconstrução do trecho desabado através de um encontro vazado de concreto armado
2	Ponte com 30m na área urbana da cidade de Bezerros Fundação: direta Idade: 60 anos	Desabamento da ponte pelo solapamento das fundações durante a ocorrência de uma cheia do rio Ipojuca	2000	Substituição da obra acidentada por uma nova ponte
3	Ponte com 36m em tabuleiro metálico no acesso a Maraial Fundação: direta Idade: 30 anos	Ruptura de um dos apoios, provocando o desabamento da obra durante cheia do rio Pirangi	2000	Demolição da obra acidentada e construção de nova ponte
4	Ponte com 8m no acesso a Lagoa dos Gatos Fundação: direta Idade: 40 anos	Ruptura da obra após a ocorrência de uma cheia do rio	2001	Demolição da obra acidentada e construção de uma nova ponte
5	Ponte com 17m sobre o Riacho da Barra na PE-280 Fundação: direta Idade: 60 anos	Ruptura das vigas principais devido à falta de conservação e excesso de cargas	2002	Demolição da ponte avariada e construção de uma nova ponte
6	Ponte com 30m na PE-555 Fundação: direta Idade: 50 anos	Desabamento da ponte, após tombamento de muro de arrimo em uma das extremidades. O muro não fazia parte do projeto original	2004	Demolição da obra acidentada e construção de uma nova ponte
7	Ponte com 24m na zona urbana da cidade de Bom Jardim Fundação: direta Idade: 40 anos	Ruptura da ponte pela intensidade da força de arrasto durante uma cheia	2005	Demolição da obra acidentada e construção de uma nova ponte

Ilustrações fotográficas das pontes acidentadas classificadas no grupo A



Figura 1 – (Obra nº 1) - Desabamento causado pelo tombamento de muro de arrimo em uma extremidade.



Figura 2 – (Obra nº 2) – Desabamento de um vão da ponte durante uma cheia.



Figura 3 – (Obra nº 3) – Ruptura dos apoios provocando o desabamento do tabuleiro metálico.



Figura 4 – (Obra nº 4) – Destruição parcial durante uma cheia, de uma obra já ameaçada pela falta de manutenção.



Figura 5 – (Obra nº 5) – Ruptura de viga principal que levou a ponte ao colapso.

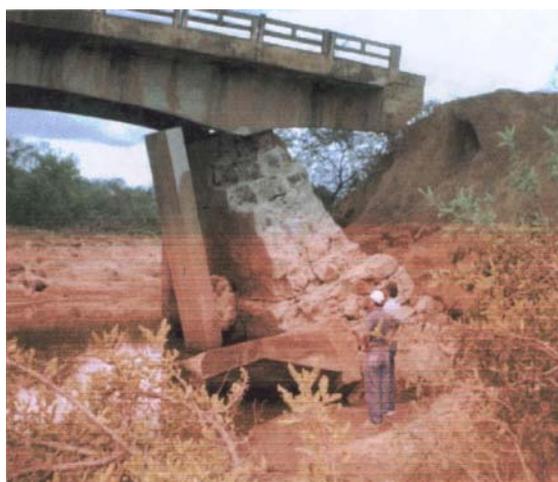


Figura 6 – (Obra nº 6) – Colapso estrutural da ponte, causado pelo tombamento de um muro de contenção sobre os pilares, durante uma cheia.



II CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

Associação Brasileira de Pontes e Estruturas



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007



Figura 7 – (Obra n° 7) – Ruptura da ponte durante uma cheia. A situação foi agravada pelo estrangulamento da calha do rio pelos pilares.



Tabela 3 – Relação das pontes acidentadas classificadas no grupo B

Obra n°	Descrição sumária	Tipo de acidente	Ano do acidente	Solução adotada
8	Ponte com 35m em rodovia vicinal Fundação: direta Idade: 20 anos	Ruptura do aterro em uma extremidade, com desabamento da laje de transição	1990	Reconstrução do aterro e da laje de transição
9	Ponte com 30m no acesso à cidade de Tacaimbó Fundação: direta Idade: 20 anos	Destruição dos aterros de acesso dentro da calha do rio durante uma cheia do rio Ipojuca	2000	Reconstrução do aterro com dispositivos de proteção e drenagem
10	Ponte com 75m no acesso à cidade de Catende Fundação: direta Idade: 40 anos	Destruição do aterro na calha do rio durante uma cheia, além de avarias generalizadas nos pilares e tabuleiros	2000	Reconstrução do aterro e recuperação da ponte
11	Ponte com 30m no acesso ao distrito de Mimoso – Arcoverde Fundação: estacas Idade: 7 anos	Ruptura de um dos aterros de acesso devido a alteração na calha do rio	2004	Reconstrução do aterro destruído
12	Ponte com 40m sobre o rio Tapacurá – PE-50 Fundação: direta Idade: 30 anos	Destruição de um dos aterros de acesso dentro da calha do rio durante uma cheia	2005	Reconstrução do aterro destruído
13	Ponte com 40m sobre o rio Ipojuca na PE-97 zona urbana de Bezerras Fundação: direta Idade: 30 anos	Destruição do aterro de acesso devido a alteração na calha do rio ao longo do tempo	2005	Reconstrução do aterro destruído e análise da situação atual do leito do rio



Ilustrações fotográficas das pontes acidentadas classificadas no grupo B



Figura 8 – (Obra nº 8) – Ruptura de aterro de acesso, com desabamento da laje de transição. Observar retenção de material sólido em torno dos pilares.



Figura 9 – (Obra nº 9) – Destruição dos aterros de acesso durante uma cheia.



Figura 10 – (Obra nº 10) – Destruição dos aterros de acesso e danos generalizados na ponte, durante uma cheia.



Figura 11 – (Obra nº 11) – Ruptura do aterro de acesso provocada por desvio na calha do rio.



Figura 12 – (Obra nº 12) – Destruição total do aterro de acesso, executado dentro da calha do rio.



Figura 13 – (Obra nº 13) – Destruição do aterro de acesso, devido a alterações no leito do rio.



II CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

Associação Brasileira de Pontes e Estruturas



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

Tabela 4 – Relação das pontes acidentadas classificadas no grupo C

Obra n°	Descrição sumária	Tipo de acidente	Ano do acidente	Solução adotada
14	Ponte com 12m na PE-320 Fundação: direta Idade: 30 anos	Solapamento da fundação do encontro devido a erosão no leito do rio	1991	Recuperação das fundações com injeção de concreto e dispositivos de dissipação de energia
15	Pontilhão com 8m na PE-95 Fundação: direta Idade: 30 anos	Avarias no encontro de concreto ciclópico causadas por erosão do leito do rio	2001	Recuperação estrutural da obra avariada
16	Ponte com 78m sobre o Rio Una – PE-120 Fundação: direta Idade: 35 anos	Erosão local em torno das fundações dos pilares, pondo em risco a estabilidade da obra	2002	Recuperação e reforço das fundações e pilares
17	Ponte com 60m sobre o Rio Ingazeira em Serrita Fundação: direta Idade: 25 anos	Solapamento das fundações de dois pilares e ruptura de um encontro, após uma cheia do rio	2003	Recuperação estrutural com a utilização de estacas raiz
18	Ponte com 20m na PE-27 zona urbana de Camaragibe Fundação: direta Idade: 40 anos	Deslocamento de uma ala a montante que não fazia parte do projeto original	2004	Demolição da ala e elaboração de projeto de reforço e adequação da obra (ainda não executada)

Ilustrações fotográficas das pontes acidentadas classificadas no grupo C



Figura 14 – (Obra nº 14) – Descalçamento da fundação do encontro, causado pela erosão no leito rochoso do rio.



Figura 15 – (Obra nº 15) – Erosão acentuada em um encontro de concreto ciclópico.



Figura 16 – (Obra nº 16) – Retenção de material sólido e erosão localizada em torno dos pilares, com início de solapamento das fundações.



Figura 17 – (Obra nº 17) – Ruptura de encontro causada por infiltração no aterro e pela erosão na fundação.



Figura 18 – (Obra nº 18) – Tombamento de uma ala, inadequadamente executada.



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

3 Comentários de ordem geral sobre os acidentes ocorridos

A análise dos casos relatados neste artigo mostra que, dos dezoito acidentes estudados, apenas um deles teve como fator determinante as avarias da superestrutura de concreto armado, (obra nº 5), que entrou em colapso pela falência das vigas principais do tabuleiro, que não resistiram à deterioração dos materiais, e foram submetidas a carregamentos superiores aos previstos no projeto. Tudo isso agravado pela ausência de qualquer tipo de manutenção.

Os problemas das demais obras analisadas, estiveram relacionados ao fenômeno da erosão nos leitos dos rios, seja ao longo do tempo ou por ocasião de cheias intensas, como foi o caso das enchentes acontecidas em 2000 nos rios da Zona da Mata de Pernambuco, cujos efeitos causaram graves avarias em quatro das obras analisadas e danos generalizados em estradas e habitações ribeirinhas.

4 Análise dos problemas conforme os grupos de classificação dos acidentes

Sabe-se que um dos fatores que mais influenciam o aparecimento de graves problemas nas pontes é a erosão nos leitos dos rios, sendo este fenômeno responsável pela maioria dos acidentes com esse tipo de obra em todo o mundo. Conceitualmente podemos ter as seguintes situações:

- ✓ Erosão ou deposição no leito do rio a longo prazo;
- ✓ Erosão generalizada junto à ponte;
- ✓ Fossa de erosão em torno dos pilares e encontros.

Considerando que a quase totalidade das obras que fazem parte deste estudo romperam por deficiências relacionadas a erosões em torno de suas fundações ou dos aterros de acesso, faz-se necessário uma breve análise do contexto em que tais eventos ocorreram, de modo a permitir uma interpretação mais consistente do processo que culminou com a ocorrência dos fenômenos que às levaram à ruptura, ou as tornaram seriamente danificadas. A seguir uma análise sintética de cada grupo.

4.1 Análise do grupo A

As obras do grupo "A", com exceção da nº 5 pelos motivos já esclarecidos, romperam imediatamente após a ocorrência de cheias nos respectivos rios, quando a rápida elevação do nível da água, associada a grandes descargas e velocidades, aumentou o poder erosivo no leito do rio pela grande intensidade da força de arrasto.

Mesmo sabendo-se que as cheias são um tipo de fenômeno que muitas vezes extrapola as previsões quanto ao seu poder de devastação, ficou evidente que as obras acidentadas já apresentavam sinais de vulnerabilidade estrutural, pelas visíveis erosões parciais de suas fundações, pelas alterações nos leitos dos rios e a falta de manutenções preventivas e corretivas.

Algumas intervenções, quando feitas, até pioraram a situação existente e contribuíram de forma decisiva para o colapso da ponte, como foram os casos das obras nºs 1 e 6, que tinham originalmente as extremidades em balanço, mas sofreram modificações através da execução de muro de arrimo de alvenaria de pedras sob as cortinas, com a justificativa de evitar erosões nas saias dos aterros.



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

Tais modificações revelaram-se impróprias e provocaram os desabamentos das obras quando, durante uma cheia, após o rebaixamento das águas do rio, a obra de contenção permaneceu durante algum tempo com o tardo recebendo um grande acréscimo de pressões hidrostáticas não previstas no dimensionamento (fato agravado pela deficiência de drenagem) que, somadas aos empuxos do aterro, fizeram com que tombasse sobre os pilares extremos, desestabilizando-os e provocando o desabamento da ponte.

De modo geral as demais obras do grupo "A" que desabaram (n^{os} 2, 3, 4 e 7), já apresentavam patologias inerentes ao próprio processo de envelhecimento e à falta de manutenção. Tais patologias porém, não exerceram papel determinante por ocasião da ruptura. O que prevaleceu foi a vulnerabilidade das fundações dos pilares e encontros, que já sofriam ao longo do tempo os efeitos da erosão local e, como era previsível, sofreram solapamento durante a ocorrência da cheia.

4.2 Análise do grupo B

No caso das obras classificadas no grupo "B" observou-se que a estrutura da ponte permaneceu estável depois que o nível das águas voltou ao normal. O que aconteceu nestes casos foi a destruição dos aterros de acesso, cujas alturas variavam entre 4,00m e 7,00m.

Um detalhe importante é que das seis obras constantes deste grupo, cinco tinham as extremidades em balanço dotadas de alas laterais e de cortinas, de modo que o aterro do corpo estradal na junção com a ponte formava um talude com inclinação de 1,5 para 1,0 (horizontal e vertical), com a saia do aterro indo até as margens e, em alguns casos, avançando no leito do rio. Em todos os casos houve fuga do aterro sob a face inferior das cortinas.

Este tipo de aterro mostrou-se bastante vulnerável ao processo erosivo ao longo do tempo, tanto pela má compactação como pelo fato de não possuir dispositivos adequados de proteção e drenagem; também, por não passarem por qualquer tipo de acompanhamento quanto ao desempenho geotécnico, de modo que, com a chegada do período chuvoso e a ocorrência de alguma cheia, as erosões localizadas então existentes aumentaram de intensidade, contribuindo decisivamente para a ruptura.

Análises feitas após os acidentes indicaram que as pontes deveriam ter sido projetadas com maior comprimento, avançando mais sobre as margens, reduzindo assim a erosão local nos encontros e aterros, pois o escoamento da água obstruído por tais elementos produz dois potenciais causadores de erosão: o vórtice horizontal que se forma na extremidade a montante do encontro e o vórtice vertical provocado pela separação do escoamento que se forma na extremidade a jusante do encontro (ou aterro).

Mesmo considerando-se que as rupturas foram dos aterros, sem desestabilizar as pontes, que sofreram danos menores, tais acidentes foram considerados da maior gravidade, pelos transtornos e prejuízos causados a comunidades inteiras que ficaram isoladas até que os desvios provisórios fossem concluídos, sem contar o tempo gasto para reconstruir os aterros. Houve também uma situação (obra n^o 12) que envolveu a perda de vidas humanas, quando um veículo caiu dentro da cratera formada pelo aterro destruído.



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

4.3 Análise do grupo C

O terceiro grupo de obras acidentadas refere-se àquelas cujas avarias foram provocadas por erosões localizadas nas fundações que, embora graves, puderam ser corrigidas por meio de intervenções de reforço.

As cinco obras (n^{os} 14, 15, 16, 17 e 18), sofreram solapamento das fundações dos encontros e duas delas, (n^{os} 16 e 17) tiveram, também, solapamento de sapatas dos pilares intermediários. Os recalques causados pelas fossas de erosão geradas em torno das fundações causaram fissuras de cisalhamento nos encontros e também fissuras e deformações nos tabuleiros. A situação da obra n^o 17, uma ponte com 60,00m de extensão (três vãos de 20,00m), mereceu especial atenção pois, além dos solapamentos causados pela erosão, também sofreu infiltração de águas pluviais no aterro de um dos encontros, provocando a ruptura do mesmo pelo acréscimo de pressões. A obra foi interdita e as fundações dos pilares e encontros foram reforçadas com a utilização de estacas raiz.

Também consta deste grupo uma ponte que teve as avarias agravadas por uma intervenção feita de forma inadequada. É o caso da obra n^o 18, cujos encontros estavam estrangulando a seção de vazão, situação agravada num trecho do rio caracterizado por uma calha estreita, limitada por taludes altos.

A solução adotada à época foi introduzir duas alas de concreto, uma a montante e outra do lado oposto a jusante, com a justificativa de combater as grandes erosões e sedimentações que estavam acontecendo, além de minimizar os efeitos das cheias, facilitando o escoamento do fluxo. Ocorre, que as alas não foram adequadamente dimensionadas e construídas, tendo uma delas (a montante), tombado parcialmente e estrangulado ainda mais a seção de vazão no local.

4.4 Resumo das análises efetuadas

A seguir, na tabela 5, estão indicados todos os problemas que tiveram alguma relação com as causas dos acidentes estruturais em cada obra, bem como as respectivas importâncias de tais problemas em cada evento.



II CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

Associação Brasileira de Pontes e Estruturas



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

Tabela 5 – Resumo dos problemas relacionados com as causas dos acidentes e respectivas importâncias em cada obra.

Problema	Obras onde ocorreu	Obras onde foi determinante para o acidente
Modificação da calha original gerando erosão no leito do rio	1, 14, 9, 10, 16, 11, 6, 13 (8 obras)	1, 14, 9, 10, 16, 11, 6, 13 (8 obras)
Erosão localizada em torno de pilares e encontros cujas fundações tinham profundidades insuficientes	3, 14, 4, 15, 16, 17, 18, 7 (8 obras)	3, 14, 4, 15, 16, 17, 18, 7 (8 obras)
Seção de vazão insuficiente	2, 4, 9, 12, 7 (5 obras)	4, 9, 12, 7 (4 obras)
Erosão nos aterros de acesso	1, 8, 14, 9, 3, 10, 4, 17, 11, 5, 12, 13, 6 (13 obras)	8, 14, 9, 3, 10, 4, 17, 11, 6, 12, 13 (11 obras)
Modificações inadequadas	1, 6, 18 (3 obras)	1, 6, 18 (3 obras)
Patologias nas fundações (fissuras, deslocamentos, corrosão de armaduras, abrasão, cavitação, lixiviação)	14, 2, 15, 16, 17 (5 obras)	14, 2, 15 (3 obras)
Patologias nos pilares (fissuras, deformações, corrosão de armaduras, abrasão, cavitação, lixiviação)	5, 16, 7, 13 (4 obras)	7 (1 obra)
Patologias nos encontros (fissuras, lixiviação, deformações)	4, 15, 17, 7 (4 obras)	Nenhuma
Patologias na superestrutura (fissuras, corrosão de armaduras, deformações, umidade, eflorescências)	2, 10, 4, 5, 16, 6, 18, 7 (8 obras)	5 (1 obra)
Carregamentos excessivos	2, 4, 5 (3 obras)	5 (1 obra)



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

5 Conclusões

Os ensinamentos obtidos dos casos expostos, nos permitem concluir que os requisitos de segurança e funcionalidade das referidas pontes foram, de modo geral, comprometidos pelo efeito concomitante de alguns dos fatores relacionados a seguir:

- ✓ Estudos hidrológicos e hidráulicos insuficientes;
- ✓ estudos geotécnicos insuficientes;
- ✓ fundações executadas em profundidades que as deixaram vulneráveis aos efeitos da erosão do leito do rio;
- ✓ mudanças ocorridas no comportamento do curso d'água tais como: regime, tipo e perfil do canal;
- ✓ locação inadequada, deixando de considerar em alguns casos a esconsidade ou a curvatura da obra em relação ao rio;
- ✓ estrangulamento da seção de vazão, tanto pela distribuição como pela forma e dimensões inadequadas dos pilares na calha do rio, aumentando a velocidade da correnteza e gerando fossas de erosão junto às fundações. Esta situação também causou, em pelo menos duas pontes, abrasão no concreto de cobrimento dos pilares, devido ao carreamento do material sólido, tendo como conseqüência a destruição do cobrimento e a oxidação das armaduras longitudinais e transversais, além de fissuras verticais provocadas pela expansão das armaduras oxidadas;
- ✓ deficiências na transição rodovia-ponte, principalmente nos casos das obras com extremidades em balanço, inclusive com inadequação das dimensões das cortinas e alas, além da ausência de lajes de transição;
- ✓ baixa qualidade da execução dos pilares e fundações, geralmente em meio agressivo, com a utilização de concreto poroso, segregado e com cobrimento insuficiente das armaduras;
- ✓ drenagem insuficiente, ou inexistente, dos tabuleiros e dos encontros (ausência de drenos, pingadeiras e deficiência das juntas);
- ✓ execução de obras complementares inadequadas nas extremidades de pontes em balanço, que alteraram o comportamento dos aterros e puseram as obras em risco;
- ✓ utilização de cargas móveis superiores às previstas no projeto original;
- ✓ patologias diversas nas super e mesoestruturas;
- ✓ ausência de manutenções preventivas (e até corretivas) na estrutura da ponte e nos aterros de acesso, o que contribuiu para acelerar os efeitos deletérios dos agentes que provocaram a ruína das obras;
- ✓ ausência de qualquer procedimento visando o acompanhamento da evolução das erosões ocorridas ao longo do tempo nos cursos d'água, em especial nos trechos onde as pontes estavam edificadas.

6 Recomendações

É do conhecimento geral que significativa parcela das Obras de Arte Especiais das malhas federal, estaduais e municipais apresenta sérios problemas estruturais que poderão levá-las ao colapso, caso não sejam adotadas providencias imediatas para recuperá-las e/ou reforçá-las.

As pontes novas, por sua vez, precisam ser projetadas e construídas levando em consideração os significativos avanços conceituais no conhecimento sobre as estruturas, em especial as de concreto armado e protendido, que incorporaram nas últimas revisões das normas recomendações relativas à durabilidade, agressividade ambiental, inspeção e manutenção.



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

É à luz da aplicação dessa evolução do conhecimento nos novos projetos, e da necessidade da implantação urgente de medidas que venham a corrigir as deficiências das obras antigas, muitas delas no limite de vida útil, que apresentamos as seguintes recomendações:

- a) na elaboração dos novos projetos adotar mais rigor nos estudos hidrológicos e hidráulicos, que deverão ser feitos sempre por especialistas e contemplar todos os condicionamentos a eles pertinentes que influenciem a escolha do sistema estrutural e do tipo de fundação;
- b) os estudos geotécnicos para as novas obras deverão contemplar todas as investigações em solo ou rocha, tais como: sondagens a percussão e/ou rotativas e os diversos tipos de ensaios que se fizerem necessários em cada caso. Os furos de sondagem devem ser em número e quantidade suficientes a permitir um bom conhecimento sobre a natureza do solo de fundação, devendo sempre ser realizado um furo no exato local de cada fundação;
- c) rigorosa obediência às exigências da NBR 6118/03 quanto à consideração nos projetos da correspondência entre as classes de agressividade ambiental com a qualidade do concreto (fck e fator água/cimento) e com o cobrimento nominal das armaduras, pois a inobservância dessas condições tem sido responsável pelo surgimento de patologias e pela aceleração do processo de deterioração das estruturas das pontes, considerável quantidade delas executadas em locais de alta agressividade ambiental.
- d) adoção de medidas preventivas para minimizar os efeitos da erosão e das cheias. As principais medidas seriam:
 - ✓ dragagem do canal natural do rio, de modo a eliminar os depósitos do fundo e das margens, aumentando assim a seção de vazão;
 - ✓ retificação do leito do rio para aumento da capacidade de escoamento;
 - ✓ revestimento ou consolidação das margens, de modo que a menor rugosidade permita aumento na capacidade de vazão, ou menor altura de água para uma vazão dada;
- e) especial atenção para o projeto e a execução das pontes com extremidades em balanço, cujos aterros de acesso na transição com a rodovia, são, de modo geral, deficientes pela má compactação e pela excessiva movimentação dos balanços extremos. Torna-se fundamental que haja um maior rigor na compactação, uma limitação dessas deformações nos balanços e um adequado dimensionamento das cortinas, alas e lajes de transição;
- f) implantação de sistemas de gestão de Obras de Arte Especiais, nas esferas municipais, estaduais e federal, que permitam por em prática ações de conservação, recuperação e substituição de pontes nas respectivas jurisdições. Do ponto de vista conceitual o sistema deverá constar de:
 - ✓ rigoroso arquivo de dados;
 - ✓ atualização permanente das informações cadastrais;
 - ✓ qualificação de equipes técnicas para realizar vistorias e operar o sistema;
 - ✓ planejamento das ações incluindo a escala de prioridades e os tipos de intervenção por obra;
 - ✓ previsão orçamentária para as obras de conservação.



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

7 Agradecimentos

O autor agradece aos engenheiros Paulo Roberto Cabral, ex-Diretor de Obras do DER-PE e Romero Torres Nunes, chefe do 3º Distrito Rodoviário do DER-PE pelo fornecimento de valiosas informações e fotografias sobre alguns dos casos expostos neste artigo.

8 Referências Bibliográficas

- ABNT. NBR 9452. Vistoria de pontes e viadutos de concreto. Rio de Janeiro, 1986.
- DNER. Manual do projeto de Obras de Arte Especiais. Rio de Janeiro, 1996.
- GUSMÃO FILHO, J. A. Fundações de pontes – hidráulica e geotécnica. Ed. Universitária. Recife, 2003.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada – Ed. MacGraw-Hill. São Paulo, 1975.
- VITÓRIO, J. A. P. Pontes rodoviárias – fundamentos, conservação e gestão. CREA-PE. Recife, 2002.
- VITÓRIO, J. A. P. Vistorias, conservação e gestão de pontes e viadutos de concreto. IBRACON. São Paulo, 2006.
- VITÓRIO, J. A. P.; RAMOS, J.R. Inspeção e diagnóstico para recuperação de pontes rodoviárias. DER-PE. Recife, 1992.