



Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



Avaliação do grau de risco estrutural de pontes rodoviárias de concreto *Assessment of the degree of structural risk in concrete roadway bridges*

José Afonso Pereira Vitório

*Engº Civil; especialista em estruturas; projetista de Obras de Arte Especiais do DER-PE; sócio de Vitório & Melo Proj. Estr. e Cons. Ltda; profº de "Reforço e Recuperação de Estruturas de Pontes e Viadutos" da pós-graduação da Escola Politécnica de Pernambuco, vitorioemelo@terra.com.br
Rua Joseph Turton, 35 – Apt 2 1º and – Tamarineira – Recife-PE – CEP: 52051-110*

Resumo

Este artigo apresenta o resultado da avaliação do risco estrutural de 40 pontes de concreto armado localizadas em rodovias federais. Essas Obras de Arte Especiais foram inicialmente vistoriadas e analisadas objetivando a elaboração dos projetos executivos de recuperação, reforço, reabilitação e, em alguns casos, de alargamento do tabuleiro. Porém, o avançado estado das patologias existentes na maioria delas, fez com que o autor decidisse realizar um estudo, mesmo resumido, que envolvesse os aspectos conceituais relacionados ao grau de risco da estabilidade estrutural de cada uma das obras.

O estudo baseou-se na rigorosa observação e no mapeamento das patologias existentes, na análise das tipologias e nas idades presumidas das pontes. O grau de risco foi determinado utilizando-se métodos numéricos já existentes na literatura técnica, porém com as devidas adequações, visando tornar a análise mais simples, mais realista e de fácil interpretação.

No texto está explicitada a metodologia utilizada e estão relacionadas todas as obras estudadas, com a indicação da localização, extensão, largura do tabuleiro, tipologia e principais patologias. O grau de risco é indicado por meio de uma nota técnica associada à respectiva condição de estabilidade de cada obra, obtida dos critérios de pontuação adotados e/ou adaptados pelo autor. Também é indicada a classificação do risco de cada ponte no conjunto das obras analisadas, para permitir a definição das prioridades de recuperação, reforço, ou até de demolição e substituição de determinada obra.

Palavra-Chave: Pontes; Patologias; Estruturas; Reforço; Recuperação

Abstract

This article presents the results of an assessment of structural risk in 40 reinforced concrete bridges on federal roadways. These Special Public Works were initially inspected and analyzed with the aim of drafting executive projects for recuperation, reinforcement, rehabilitation and, in some cases, widening of the deck. However, the advanced state of the existing pathologies in most of the bridges led the author to decide to carry out a study, even if brief, involving conceptual aspects related to the degree of risk to the structural stability of each of the bridges.

The study was based on the rigorous observation and mapping of the existing pathologies, as well as an analysis of the typologies and presumed ages of the bridges. The degree of risk was determined using existing numerical methods found in the technical literature, but duly adjusted in order to make the analysis simpler, more realistic and easily interpreted.

The methodology employed is made explicit in the text and all bridges studied are addressed, with the indication of location, extension, deck width, typology and principal pathologies. The degree of risk is indicated by means of a technical note associated to the respective stability condition of each bridge, obtained from the rating criteria adopted and/or adapted by the author. The risk classification is also indicated for each bridge in the set of public works analyzed in order to allow the definition of priorities in recuperation, reinforcement or even the demolition and substitution of a particular bridge.

Keywords: Bridges; Pathologies; Structure; Reinforcement; Recuperation.



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



1 Introdução

Teoricamente, conservação é definida como o conjunto de ações necessárias para manter uma edificação - qualquer que seja ela - com as mesmas características resistentes, funcionais e estéticas apresentadas no momento em que foi projetada e construída.

Acontece que no Brasil essa é ainda uma idéia a ser melhor apreendida. Se gasta muito tempo, energia e recursos na execução de bens públicos, mas não existe ainda a devida consciência da importância de manter essas obras em bom estado de funcionamento.

Em sociedades mais conscientes a noção de conservação é hoje uma questão essencial no ambiente construído, conforme atestam Merlin e Choay, urbanistas prestigiados na França contemporânea. Afinal, a idéia de conservação traz implícita a noção de patrimônio, de algo produzido coletivamente, de uma herança recebida e da qual se deve cuidar. Nesse sentido, a idéia de conservação de bens públicos compreende um conjunto de valores por vezes inestimáveis. Mesmo considerando, conceitualmente, a grande abrangência da idéia de patrimônio público, nos reportaremos neste artigo às pontes e viadutos, elementos essenciais à infra-estrutura do país e conhecidos como Obras de Arte Especiais.

É do conhecimento de todos que a falta de políticas e estratégias voltadas para a conservação dessas obras (nas esferas federal, estaduais e municipais) está se transformando em um grande problema, pelo abrangente espectro das suas repercussões, que vai desde a interferência no funcionamento da cadeia produtiva até o risco à integridade física dos cidadãos.

A manutenção, quando ocorre, é apenas corretiva e só é realizada quando a obra está atingindo (ou já atingiu) o seu estado limite de utilização.

O tema conservação só fica em evidência quando acontece um acidente estrutural com alguma obra importante, como foi o caso da ponte dos Remédios sobre o rio Tietê em São Paulo, que em 1997 entrou em processo de colapso pelo fato de não receber manutenção desde a sua construção em 1968. Outro acidente de destaque foi o desabamento de um trecho da ponte sobre a represa de Capivari, na rodovia Regis Bitencourt (BR-116/PR), com a perda de vidas humanas, cuja causa foi a ausência de manutenção dos aterros das cabeceiras ao longo dos 40 anos de utilização.

Porém, o acidente estrutural que mais chamou recentemente a atenção dos meios de comunicação, em todo o mundo, foi o desabamento de uma ponte sobre o rio Mississipi em Minnesota nos Estados Unidos, causando a morte de dez pessoas e ferimentos em mais de sessenta.

Os três casos relatados causaram muitas discussões, tanto no meio técnico quanto na sociedade em geral, e ocuparam grandes espaços na mídia à época dos acontecimentos. Infelizmente, após um certo tempo o assunto caiu no esquecimento, a conservação das obras continuou sendo relegada a um segundo plano e o tema só voltará a ser lembrado caso aconteça uma nova tragédia.

Neste sentido, este artigo se propõe a avaliar o grau de risco estrutural de 40 Obras de Arte Especiais, localizadas em rodovias federais (BR-101/PE, BR-101/BA, BR-116/BA, BR-116/CE, BR-342/BA, BR-343/PI e BR-428/PE) que foram vistoriadas pelo autor e equipe, objetivando o levantamento de dados para a elaboração de projetos executivos de



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



recuperação, reforço e, em alguns casos, de alargamento dos tabuleiros para adequá-los ao atual gabarito das estradas.

Durante as vistorias ficou evidente que o avançado estado de deterioração estrutural de grande parte das obras, causado pela ausência de manutenção ao longo de décadas, merecia um estudo, mesmo que simplificado e com as limitações decorrentes da falta de documentação e outras informações relevantes, sobre a situação de cada ponte no que se refere ao risco de ruína estrutural.

A avaliação do grau de risco foi feita a partir das observações feitas nos locais e das poucas informações documentais disponíveis (projetos, sondagens, etc.). Em todos os casos foram preenchidas as fichas de informações cadastrais, baseadas nos modelos adotados pelo DNIT e DER-PE, com as adequações feitas pelo autor para atender aos objetivos do estudo. Também foi feito um diagnóstico resumido sobre o estado de cada ponte, descrevendo as principais patologias, com a identificação das respectivas causas e a importância das mesmas no desempenho estrutural da obra.

Os critérios adotados para a definição do grau de risco estrutural de cada obra tiveram como referências a Norma DNIT-010/2004-PRO “Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento” e o trabalho intitulado “Critérios adotados na vistoria e avaliação de Obras de Arte”, apresentado nas XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural (KLEIN et al, 1991).

Os dois processos, mesmo servindo como referência para os critérios de aplicação das notas técnicas que definem a relevância estrutural das lesões nos componentes das obras, foram adaptados pelo autor procurando assim obter uma análise mais simples, de fácil entendimento e, principalmente, de fácil aplicação, unindo o conhecimento (limitado) disponível na literatura técnica sobre este tema, às experiências dos profissionais atuantes nas áreas de consultoria e projetos de recuperação e reforço estrutural de pontes e viadutos, que poderão ter neste artigo mais um instrumento que permita uma avaliação preliminar, bem como a adoção das primeiras providências relacionadas à preservação da estabilidade das obras, antes da realização de estudos mais profundos e dos ensaios de laboratório necessários, conforme cada caso.

A seguir, no quadro 1, estão relacionadas as 40 Obras de Arte Especiais que foram objetos deste estudo, com as informações básicas sobre suas geometrias, tipologias e respectivas localizações nas rodovias.

Quadro 1 – Relação das pontes analisadas.

OAE Nº	ROD.	Descrição / Localização	Extensão m	Largura m	Fundação	Tabuleiro	Idade
01	BR101/PE	Ponte sobre o rio Cap. Mirim – km4,60	45,10	8,35	estacas	grelha	50
02	BR101/PE	Ponte sobre o Canal de Goiana – km5,60	91,00	8,35	estacas	grelha	50
03	BR101/PE	Ponte sobre o rio Tracunhaem – km8,50	54,00	8,35	estacas	grelha	50
04	BR101/PE	Ponte sobre o rio Arataca – km24,30	54,00	8,35	estacas	grelha	50
05	BR101/PE	Ponte sobre o rio Botafogo – km33,40	40,30	8,20	estacas	grelha	50
06	BR101/PE	Ponte sobre o rio Tabatinga – km39,27	8,10	8,20	diretas	laje	50
07	BR101/PE	Ponte sobre o rio Igarassu – km41,70	26,90	8,35	diretas	grelha	50
08	BR101/PE	Ponte sobre o rio Desterro – km47,40	9,00	8,30	diretas	laje	40
09	BR101/PE	Viaduto sobre RFFSA – km110,50	17,80	8,40	diretas	grelha	40
10	BR101/BA	Ponte sobre o rio Pojuca – km153,62	80,00	13,00	estacas	grelha	40
11	BR101/BA	Viaduto sobre RFFSA – km215,70	20,00	9,90	diretas	grelha	40
12	BR101/BA	Ponte sobre o rio Preto – km347,70	105,00	10,00	diretas	grelha	50
13	BR101/BA	Ponte sobre o rio Burundanga – km508,00	14,80	10,00	diretas	grelha	40
14	BR101/BA	Ponte sobre o rio Malhada – km523,00	15,00	10,00	diretas	grelha	40
15	BR101/BA	Ponte sobre o rio Barra da Viasa – km545,00	6,00	10,00	diretas	laje	40
16	BR101/BA	Ponte sobre o rio Jucuruai Norte – km812,00	315,80	10,00	estacas	grelha	40
17	BR116/BA	Ponte sobre o rio Dois Limões – km366,00	31,50	8,35	diretas	laje	45
18	BR116/BA	Ponte sobre o rio Pojuca – km420,40	26,60	11,00	diretas	grelha	45
19	BR116/BA	Ponte sobre o rio Aguiadas – km453,50	28,80	8,80	diretas	grelha	45
20	BR116/BA	Ponte sobre o rio Cavaco – km456,90	41,20	7,60	estacas	pórtico	50
21	BR116/BA	Ponte sobre o rio Curamatai – km472,00	41,20	7,60	diretas	pórtico	50
22	BR116/BA	Ponte sobre o rio Paratigi – km496,80	91,00	9,30	tubulão	grelha	45
23	BR116/BA	Ponte sobre o Riacho Grande 1 – km578,00	6,00	13,60	diretas	laje	45
24	BR116/BA	Ponte sobre o rio Ribeirão – km680,60	34,00	10,80	diretas	grelha	45
25	BR116/BA	Ponte sobre o rio Santa Rosa 1 – km680,60	5,80	12,00	diretas	grelha	50
26	BR116/BA	Ponte sobre o rio Santa Rosa 2 – km680,80	6,05	12,20	diretas	grelha	50
27	BR116/BA	Ponte sobre o rio Santa Rosa 5 – km686,60	9,90	11,15	diretas	grelha	50
28	BR116/BA	Ponte sobre o rio Jibóia – km726,00	41,40	8,20	diretas	grelha	45
29	BR116/BA	Ponte sobre o rio Pavão – km798,40	10,40	10,45	diretas	grelha	45
30	BR116/CE	Ponte sobre o rio Porcos – km488,30	84,60	8,20	tubulão	grelha	40
31	BR116/CE	Ponte sobre o rio Tamanduá – km500,53	26,20	8,20	diretas	grelha	40
32	BR324/BA	Ponte sobre o rio Camisõesinho – km415,00	28,60	10,00	diretas	grelha	40
33	BR324/BA	Ponte sobre o rio do Peixe – km470,00	43,00	10,00	diretas	laje	45
34	BR324/BA	Viaduto São Sebastião – km576,00	71,00	13,10	estacas	clular	40
35	BR324/BA	Viaduto Porto Aratu – km612,00	55,00	13,10	estacas	pórtico	40
36	BR343/PI	Ponte sobre o rio Jacarei – km121,10	30,40	8,20	diretas	grelha	40
37	BR343/PI	Ponte sobre o rio Titara – km244,30	26,40	11,10	diretas	grelha	40
38	BR343/PI	Ponte sobre o rio Raposo – km294,50	16,60	10,10	diretas	grelha	40
39	BR428/PE	Ponte sobre o rio Trairas – km1,70	181,60	8,30	diretas	grelha	35
40	BR428/PE	Ponte sobre o rio Brigida – km44,60	340,00	10,00	diretas	celular	35

2 Panorama dos danos estruturais nas obras analisadas

Na grande maioria das obras vistoriadas foram identificadas avarias decorrentes do processo de envelhecimento, agravadas pela total ausência de manutenção ao longo de anos (e até de décadas), fazendo com que diversas delas estejam atualmente em uma situação que pode ser classificada como de ruptura iminente.

Os danos estruturais mais significativos observados durante as vistorias estão relacionados nos quadros 2, 3, 4 e 5, onde também estão indicadas as quantidades e os percentuais de obras em que cada dano foi identificado, separadamente na superestrutura, mesoestrutura e infra-estrutura. Estas informações mostram um panorama geral das manifestações patológicas existentes no conjunto das O.E.As analisadas e foram obtidas a partir do preenchimento das fichas de inspeção cadastral de cada uma delas, constituindo-se em elementos essenciais para a análise estrutural e a avaliação do grau de risco.

Quadro 2 – Ocorrência de patologias na superestrutura.

Tipo de dano	Quantidade De obras	%
Deslocamento do concreto das vigas principais	31	77,5
Deslocamento do concreto das lajes do tabuleiro	35	87,5
Deslocamento do concreto das transversinas	25	62,5
Fissuras nas vigas principais	21	52,5
Fissuras nas lajes do tabuleiro	15	37,5
Fissuras nas transversinas	10	25,0
Oxidação de armaduras das vigas principais	31	77,5
Oxidação de armaduras das lajes do tabuleiro	25	62,5
Oxidação de armaduras das transversinas	7	17,5
Deformações nas vigas principais	5	12,5
Deformações nas lajes	8	20,0
Fissuras e/ou esmagamento de dente Gerber	1	2,5
Carbonatação	25	62,5
Eflorescências	15	37,5

Quadro 3 – Ocorrência de patologias na mesoestrutura.

Tipo de dano	Quantidade De obras	%
Deslocamento do concreto de pilares e/ou encontros	22	55,0
Lixiviação do concreto de pilares e/ou encontros	15	37,5
Deformações em pilares e/ou encontros	5	12,5
Fissuras em pilares e/ou encontros	25	62,5
Oxidação de armaduras de pilares e/ou encontros	22	55,0
Deformações e/ou travamento de aparelhos de apoio	30	75,0
Carbonatação	10	25,0
Eflorescências	10	25,0
Infiltrações causadas por deficiências de drenagem dos encontros	15	37,5

Quadro 4 – Ocorrência de patologias na infra-estrutura.

Tipo de dano	Quantidade De obras	%
Erosão nas fundações de encontros e pilares	18	45,0
Descalçamento das fundações de encontros e pilares	6	15,0
Recalque de fundações de encontros e pilares	5	12,5
Exposição e desconfinamento de estacas	4	10,0
Deterioração do concreto de sapatas, blocos de estacas ou tubulões	10	25,0
Oxidação das armaduras de sapatas, blocos de estacas e cintas	10	25,0
Deterioração de concreto e oxidação de armaduras nos fustes de tubulões	2	5,0
Erosão nos aterros dos encontros	10	25,0

Quadro 5 – Ocorrência de patologias em componentes diversos.

Tipo de dano	Quantidade De obras	%
Destruição parcial de guarda-corpos e barreiras	30	75,0
Destruição total de guarda-corpos e barreiras	10	25,0
Deterioração do concreto, fissuras e oxidação de armaduras em guarda-rodas	20	50,0
Obstrução e/ou destruição de buzinetes	35	87,5
Destruição parcial do pavimento sobre a ponte	18	45,0
Deformação dos aterros de acesso	23	57,5

2.1 Ilustrações fotográficas das patologias mais representativas observadas nas OAE's analisadas

Diante da impossibilidade de apresentar fotos de todas as obras vistoriadas e analisadas, estão indicadas a seguir algumas ilustrações das patologias consideradas mais representativas, conforme as respectivas tipologias estruturais existentes, no conjunto das obras objeto deste trabalho.

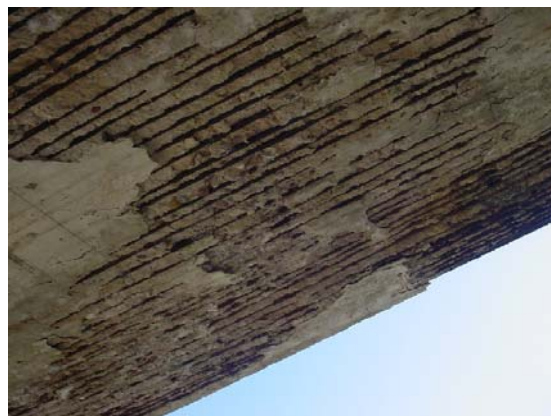


Foto 1 – (OAE N° 33) – Ponte sobre o rio do Peixe - BR-324/BA - Vista inferior das lajes do tabuleiro, mostrando deslocamento do concreto e corrosão das armaduras, num estado de pré-ruína estrutural.



Foto 2 – (OAE N° 36) – Ponte sobre o rio Jacareí - BR-343/PI - Detalhe do avançado grau de deterioração do concreto e oxidação das armaduras das vigas principais.



Foto 3 – (OAE N° 31) – Ponte sobre o rio Tamanduá - BR-116/CE - Abertura excessiva da junta do tabuleiro, esmagamento do concreto nos apoios e patologias diversas nas vigas principais.



Foto 4 – (OAE N° 10) – Ponte sobre o rio Pojuca - BR-101/BA - Situação atual das estacas de fundação da ponte, caracterizando a falta de confinamento lateral, além de oxidação das estacas metálicas e avançado grau de degradação das estacas de concreto. A grande perda da capacidade de carga das estacas pode causar a ruptura iminente da obra.



Foto 5 – (OAE N° 22) – Ponte sobre o rio Paratigi - BR-116/BA - Desplacamento do concreto com exposição e corrosão das armaduras longitudinais e destruição dos estribos nos pilares, na ligação com o fuste dos tubulões, reduzindo consideravelmente a resistência dos pilares na seção mais crítica.



Foto 6 – (OAE N° 37) – Ponte sobre o rio Titara - BR-343/PI - Detalhe do apoio central da obra, mostrando o alargamento realizado anteriormente. Observam-se fissuras verticais dos dois lados, nas partes onde a ponte foi alargada, e a grande intensidade de lixiviação do concreto do pilar. O tabuleiro apresenta trechos com exposição e corrosão das armaduras, além de infiltração e eflorescências.



Foto 7 – (OAE N° 05) – Ponte sobre o rio Botafogo - BR-101/PE - Estado de pré-ruína na ligação meso/superestrutura, evidenciando-se a destruição do concreto e armaduras além do travamento dos aparelhos de apoio.



Foto 8 – (OAE N° 12) – Ponte sobre o rio Preto – BR-101/BA – Pilar com deslocamento do concreto, oxidação das armaduras e destruição dos estribos na parte inferior, caracterizando uma situação bastante crítica.



Foto 9 – (OAE N° 39) – Ponte sobre o rio Traíras - BR-428/PE - Abertura excessiva da junta de dilatação do tabuleiro, causando infiltração e desconforto ao tráfego. Observar a destruição do pavimento.



Foto 10 – (OAE N° 07) – Ponte sobre o rio Igarassu - BR-101/PE - O avançado estado das patologias nas super, meso e infra-estrutura já devem estar comprometendo a estabilidade da obra, principalmente pela corrosão e grandes perdas de seção transversal e de aderência das armaduras.



Foto 11 – (OAE N° 38) – Ponte sobre o rio Raposo - BR-343/PI - Vista superior mostrando a destruição dos guarda-corpos, empocamento de água sobre o tabuleiro e desnível na pista causado pela diferença entre a parte central do tabuleiro (original) e as partes laterais (alargamento), tudo isto significando grandes riscos de ocorrência de acidentes.



Foto 12 – (OAE N° 40) – Ponte sobre o rio Brigida - BR-428/PE - Erosão no aterro de acesso na ligação ponte/rodovia, cuja evolução poderá desestabilizar o encontro. A situação é agravada pela ausência de laje de transição.

3 Determinação do grau de risco estrutural

3.1 Metodologia utilizada

A primeira etapa do estudo consistiu na realização de vistorias em todas as obras, nos moldes da vistoria cadastral prevista na NBR 9452, com o preenchimento das respectivas fichas de inspeção, devidamente adaptadas para inclusão de todas as informações relacionadas ao objeto deste trabalho. Também foi feito, nesta etapa, vasto documentário fotográfico, visando melhor subsidiar a análise das informações obtidas no campo.

Após o levantamento dos dados cadastrais e de todas as patologias identificadas nas obras vistoriadas, passou-se à segunda etapa que consistiu na definição dos critérios para a determinação do grau de risco estrutural de cada ponte, adotando-se a seguinte classificação: sem problemas, baixo, médio, alto e crítico. Esta classificação baseou-se nas variedades, intensidades e gravidades das lesões observadas nos diversos componentes estruturais, levando em conta a importância de tais componentes na estabilidade (local ou global) de cada obra.

Os componentes, por sua vez, foram listados conforme a localização dos mesmos na superestrutura, mesoestrutura ou infra-estrutura. A avaliação da importância de cada componente no desempenho estrutural da obra, quanto à situação de risco, foi determinada por meio da aplicação de um “Fator de relevância estrutural” (KLEIN et al, 1991), que varia conforme as discriminações indicadas no quadro 6:

Quadro 6 – Fator de relevância estrutural.

Fator de relevância (FR)	Descrição dos componentes
5,00	Fundações, encontros, pilares, dentes Gerber.
2,50	Vigas principais, aparelhos de apoio, juntas de dilatação.
1,50	Lajes do tabuleiro, pavimento, cortinas, alas
0,75	Transversinas, lajes de transição.
0,25	Barreiras, guarda-rodas, instalações diversas

Para avaliar como as lesões de cada componente estão sendo determinantes para o grau de risco global de cada obra, foi definido um “Fator de Intensidade”, que considera a intensidade de cada manifestação patológica variando em escala de 1 a 5, conforme o quadro 7:

Quadro 7 – Fator de Intensidade.

Fator de intensidade (FI)	Situação dos componentes
1	Perfeitas condições, sem lesões estruturais.
2	Boas condições, lesões estruturais leves.
3	Razoáveis condições, lesões estruturais toleráveis com pequena perda de resistência.
4	Más condições, lesões graves, gerando significativa insuficiência estrutural.
5	Péssimas condições, lesões muito graves, gerando situação crítica com grande insuficiência estrutural.

Considerando que diversas obras apresentaram determinadas especificidades que as tornaram mais vulneráveis, do ponto de vista da possibilidade de ocorrência de acidentes estruturais, foi introduzido no estudo o “Fator agravante”, que trata-se de um coeficiente de majoração da nota técnica final que determina o grau de risco de cada ponte. Os critérios para a determinação do “Fator agravante” basearam-se no conhecimento fornecido pela literatura técnica, e na experiência profissional do autor, sobre os fatores que influenciam, de forma mais determinante, na ocorrência de acidentes estruturais em pontes rodoviárias de concreto.

O estudo de dezoito casos de colapso, e de graves acidentes estruturais, em pontes de rodovias municipais e estaduais de Pernambuco (VITÓRIO, 2007) mostrou que as principais causas de ruptura, na maioria das obras, estavam relacionadas a erosões nas fundações e nos aterros de acesso, a seções de vazão insuficientes, a desvios na calha do rio e ao avançado estado de corrosão de armaduras de pilares; tudo isso agravado pela idade avançada de algumas delas que já se aproximavam do limite de vida útil. Em alguns casos, havia apenas uma vida útil residual; entende-se por vida útil residual o período de tempo no qual a estrutura ainda pode cumprir a função para a qual foi

calculada sem altos custos de manutenção (ANDRADE, 1992); porém, o conhecimento da vida útil de uma dada estrutura é incerto devido às variações de geometria, características dos materiais, modo de execução e meio ambiente (ANDRADE, 2005). Neste sentido, torna-se relevante o fato de o conjunto de obras objeto deste artigo ser constituído por pontes construídas entre as décadas de 50, 60 e 70 do Século passado, cujas vidas úteis encontram-se perto do limite e que foram bastante prejudicadas pela falta de manutenção ao longo de décadas. Uma determinação mais aprofundada da vida útil, por sua vez, dependeria de estudos que contemplassem a modelagem dos mecanismos de degradação do concreto, da corrosão de armaduras, ataques por sulfatos, etc., além da adoção de métodos probabilísticos que considerassem as diversas variáveis envolvidas. Diante disto, foram atribuídos valores ao “Fator agravante” que variam conforme cada situação específica no conjunto das obras estudadas, de modo que o grau de risco obtido pode ser majorado conforme, por exemplo, a existência de erosões e de grande redução nas seções de armaduras dos pilares, além da idade da obra, que por sua vez tem a ver com a redução dos parâmetros de resistência dos materiais e com as ações das cargas móveis, atualmente bem maiores do que as que foram utilizadas nos projetos originais de tais obras.

No quadro 8, estão indicados os valores adotados para o “Fator agravante”, conforme as especificidades relacionadas acima.

Quadro 8 – Fator agravante.

Fator agravante (FA)	Situação específica da O.A.E.
1,25	Erosão em fundações de pilares e encontros
1,20	Erosão em aterros de acesso
1,10	Seção de vazão insuficiente
1,20	Redução de seção de armaduras de pilares
1,00	Idade da obra até 25 anos
1,05	Idade da obra entre 25 e 35 anos
1,10	Idade da obra entre 35 e 45 anos
1,15	Idade da obra entre 45 e 55 anos
1,20	Idade da obra maior que 55 anos

3.2 Cálculo e classificação

Com base em todos os fatores citados anteriormente, foi calculado o grau de risco estrutural de cada obra relacionada no quadro 1. O método de cálculo consistiu na ponderação do “Fator de relevância” (FR) dos componentes do quadro 6, com o “Fator de intensidade” (FI) do quadro 7, de modo que o grau de risco (GR) pode ser obtido pela expressão seguinte:

$$GR = \frac{\sum (FR \times FI)}{10} \quad (\text{Equação 1})$$

Conforme o enquadramento de cada obra nas situações específicas, previstas no quadro 8, a expressão (1) será corrigida com a aplicação do “Fator agravante” (FA), passando então a ter a seguinte forma:

$$GR_f = FA \left[\frac{\sum (FR \times FI)}{10} \right] \quad (\text{Equação 2})$$

Onde GR_f = grau de risco final.

É importante destacar que o “Fator agravante” é cumulativo, ou seja, caso uma obra enquadre-se em mais de uma das situações do quadro 8, o valor de FA levará em conta todas as situações, o que, evidentemente, aumentará o grau de risco final (GR_f). É o caso por exemplo, de uma ponte que tem erosão nas fundações, seção de vazão insuficiente e idade entre 25 e 35 anos, o Fator agravante será então: $FA = 1,25 \times 1,10 \times 1,05 = 1,44$.

O grau de risco, por sua vez, foi determinado a partir do valor de GR_f , obtido caso a caso, relacionando-se este valor com as condições estruturais das respectivas pontes, considerando-se as classificações indicadas no quadro 9.

Quadro 9 – Relação entre o grau de risco e a classificação das condições de cada ponte.

Grau de risco obtido (GR_f)	Classificação da O.A.E.
$GR_f \leq 1$	Sem problemas
$1 < GR_f \leq 2$	Baixo
$2 < GR_f \leq 3$	Médio
$3 < GR_f \leq 4$	Alto
$4 < GR_f \leq 5$	Crítico

No quadro 10 estão indicadas as quantidades e os respectivos percentuais das obras, associadas aos seus correspondentes graus de risco no conjunto analisado, conforme as classificações definidas no quadro 9. Tais valores foram obtidos do quadro 11 que por sua vez, mostra o valor e a classificação do grau de risco obtido para cada obra isoladamente com a utilização das equações (1) e (2).

Quadro 10 – Classificação geral do grau de risco do conjunto das obras.

Grau de risco	Quantidade de obras	Percentual (%)
Sem problemas	-----	-----
Baixo	1	2,5
Médio	20	50
Alto	9	22,5
Crítico	10	25

Quadro 10 – Classificação do grau de risco para cada ponte isoladamente.

OAE Nº	ROD.	Descrição / Localização	GR	FA	GR _r =GR x FA	Classificação
01	BR101/PE	Ponte sobre o rio Cap. Mirim – km4,60	2,53	1,15	2,90	médio
02	BR101/PE	Ponte sobre o Canal de Goiana – km5,60	2,53	1,15	2,90	médio
03	BR101/PE	Ponte sobre o rio Tracunhaem – km8,50	2,53	1,15	2,90	médio
04	BR101/PE	Ponte sobre o rio Arataca – km24,30	2,53	1,15	2,90	médio
05	BR101/PE	Ponte sobre o rio Botafogo – km33,40	4,00	1,15	4,60	crítico
06	BR101/PE	Ponte sobre o rio Tabatinga – km39,27	2,00	1,15	2,30	médio
07	BR101/PE	Ponte sobre o rio Igarassu – km41,70	4,00	1,15	4,60	crítico
08	BR101/PE	Ponte sobre o rio Desterro – km47,40	2,00	1,00	2,00	baixo
09	BR101/PE	Viaduto sobre RFFSA – km110,50	2,00	1,10	2,20	médio
10	BR101/BA	Ponte sobre o rio Pojuca – km153,62	4,50	1,00	4,50	crítico
11	BR101/BA	Viaduto sobre RFFSA – km215,70	4,45	1,10	4,90	crítico
12	BR101/BA	Ponte sobre o rio Preto – km347,70	3,48	1,20	4,18	crítico
13	BR101/BA	Ponte sobre o rio Burundanga – km508,00	2,50	1,10	2,75	médio
14	BR101/BA	Ponte sobre o rio Malhada – km523,00	3,50	1,10	3,85	alto
15	BR101/BA	Ponte sobre o rio Barra da Viasa – km545,00	2,50	1,10	2,75	médio
16	BR101/BA	Ponte sobre o rio Jucuruai Norte – km812,00	2,65	1,10	2,91	médio
17	BR116/BA	Ponte sobre o rio Dois Limões – km366,00	2,28	1,10	2,50	médio
18	BR116/BA	Ponte sobre o rio Pojuca – km420,40	2,28	1,10	2,50	médio
19	BR116/BA	Ponte sobre o rio Aguiadas – km453,50	3,50	1,10	3,90	alto
20	BR116/BA	Ponte sobre o rio Cavaco – km456,90	4,00	1,10	4,40	crítico
21	BR116/BA	Ponte sobre o rio Curamatai – km472,00	2,65	1,15	3,05	alto
22	BR116/BA	Ponte sobre o rio Paratigi – km496,80	3,00	1,15	3,45	alto
23	BR116/BA	Ponte sobre o Riacho Grande 1 – km578,00	4,00	1,15	4,60	crítico
24	BR116/BA	Ponte sobre o rio Ribeirão – km680,60	3,00	1,15	3,45	alto
25	BR116/BA	Ponte sobre o rio Santa Rosa 1 – km680,60	2,28	1,15	2,62	médio
26	BR116/BA	Ponte sobre o rio Santa Rosa 2 – km680,80	2,65	1,15	3,05	alto
27	BR116/BA	Ponte sobre o rio Santa Rosa 5 – km686,60	2,28	1,15	2,62	médio
28	BR116/BA	Ponte sobre o rio Jibóia – km726,00	2,00	1,15	2,30	médio
29	BR116/BA	Ponte sobre o rio Pavão – km798,40	2,00	1,10	2,20	médio
30	BR116/CE	Ponte sobre o rio Porcos – km488,30	2,00	1,10	2,20	médio
31	BR116/CE	Ponte sobre o rio Tamanduá – km900,53	2,00	1,10	2,20	médio
32	BR324/BA	Ponte sobre o rio Camisõesinho – km415,00	2,50	1,10	2,75	médio
33	BR324/BA	Ponte sobre o rio do Peixe – km470,00	4,30	1,10	4,73	crítico
34	BR324/BA	Viaduto São Sebastião – km576,00	3,48	1,20	4,18	crítico
35	BR324/BA	Viaduto Porto Aratu – km612,00	4,00	1,10	4,40	crítico
36	BR343/PI	Ponte sobre o rio Jacarei – km121,10	3,40	1,10	3,74	alto
37	BR343/PI	Ponte sobre o rio Titara – km244,30	3,40	1,10	3,74	alto
38	BR343/PI	Ponte sobre o rio Raposo – km294,50	3,60	1,10	3,96	alto
39	BR428/PE	Ponte sobre o rio Trairas – km1,70	2,50	1,05	2,62	médio
40	BR428/PE	Ponte sobre o rio Brigida – km44,60	2,65	1,05	2,70	médio



4 Conclusões e recomendações

A situação atual das 40 Obras de Arte Especiais analisadas neste trabalho, sob a ótica da segurança estrutural, indica, de certa forma, qual o quadro geral das pontes e viadutos das rodovias brasileiras. Mesmo tratando-se de um estudo realizado em rodovias federais de quatro estados (PE, BA, CE e PI), é possível presumir que situações semelhantes também estejam ocorrendo nas obras de rodovias estaduais e municipais, pela ausência, na administração pública, de mecanismos permanentes que viabilizem a manutenção preventiva como uma prática rotineira sistemática para evitar, ou pelo menos minimizar, os problemas relacionados neste texto, evitando assim o desperdício de recursos gastos em reparos realizados tardiamente e que, na maioria das vezes, não conseguem mais estancar o avançado estado de degradação estrutural das obras.

No caso específico do conjunto de obras objeto deste estudo, verifica-se que, pelos critérios adotados, apenas uma ponte apresenta risco estrutural baixo (2,5% do conjunto); 20 obras estão com risco médio (50%) e 19 pontes estão com riscos classificados entre alto e crítico, que, somadas significam 47,50% das obras analisadas cujas condições indicam a possibilidade de ocorrência de colapso, caso não sejam adotadas providências urgentes.

Outro dado relevante diz respeito às idades das 40 obras, (mesmo que presumidas, por falta da documentação da maioria delas): 32,50% delas têm mais de 50 anos; 22,50% mais de 45 anos; 40% mais de 40 anos e 5% mais de 35 anos, ou seja, a grande maioria dessas pontes já está atingindo o limite de vida útil e, além da deficiência (e até da falta) de manutenção, estão submetidas a carregamentos superiores àqueles para os quais foram projetadas, como é o caso das obras da década de 50 cujas cargas móveis eram um compressor de 240KN, e as que foram projetadas até 1981, quando o trem-tipo máximo adotado era de 360KN. Só a partir de 1982 a NBR 7188 passou a adotar o trem-tipo de 450KN, ainda em vigor, de modo que significativa parcela das pontes das rodovias brasileiras estão com as cargas móveis defasadas.

A evolução da tecnologia e 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, implicam em uma necessidade imediata de que sejam revistos os procedimentos de projeto e de recuperação e reforço, tanto para as obras novas, que devem ser projetadas e construídas incorporando tais avanços, quanto para significativa parcela das obras que apresentam sérias manifestações patológicas que poderão levá-las ao colapso, caso não sejam recuperadas e reforçadas com a utilização de procedimentos apropriados, inclusive com a atualização das cargas móveis.

Convém destacar que muitas dessas Obras de Arte Especiais, inclusive algumas que fizeram parte deste estudo, talvez nem mais apresentem viabilidades técnica e econômica para serem recuperadas e reforçadas, pelas condições altamente desfavoráveis da relação custo/benefício, caso comparadas a obras novas. Ou seja, a substituição por uma nova ponte poderá ser a condição mais apropriada, tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro, naquelas situações de pré-ruína estrutural.

Finalizando, este artigo apresenta algumas recomendações que, caso sejam adotadas, poderão contribuir para melhorar as condições funcionais e estruturais das pontes e viadutos das rodovias brasileiras.



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



- Implantação de um rigoroso banco de dados, com a permanente atualização das informações cadastrais de cada obra, de modo a permitir identificar preventivamente os tipos de intervenções necessárias, antes que as lesões atinjam um grau de risco que comprometa a estabilidade estrutural.
- Planejamento das ações, indicando a escala de prioridade das intervenções a serem realizadas, conforme o grau de risco.
- Análises e estudos conceituais realizados por especialistas, visando subsidiar as intervenções de recuperação, reforço e, conforme a especificidade de cada caso, até de substituição das obras cujas avarias apontem para altos custos financeiros de recuperação, se comparados com a execução de uma nova obra.
- Qualificação de pessoal técnico para a realização de vistorias e gerenciamento dos sistemas de gestão.
- Previsão orçamentária para a realização das intervenções de recuperação, reforço e substituição das obras com base em informações cadastrais atualizadas e consistentes.

5 Referências

ABNT – NBR 9452. **Vistorias de pontes e viadutos de concreto**. Rio de Janeiro, 1986.

ANDRADE, C.. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. Pini Editora, São Paulo, 1992.

ANDRADE, J.J.O.. **Vida útil das estruturas de concreto. Concreto – ensino, pesquisas e realizações**. IBRACON, São Paulo, 2005.

DNIT. **Inspeção em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

KLEIN, D.L.; GASTAL, F.P.S.L; CAMPAGNOLO, J.L; SILVA FILHO, L.C.P.. **Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte. XXV Jornadas Sul-Americanas de engenharia estrutural**. Porto Alegre, 1991.

VITÓRIO, J.A.P.. **Vistorias, Conservação e gestão de pontes e viadutos de concreto, 48º Congresso Brasileiro do Concreto**. Rio de Janeiro, IBRACON, 2006.

VITÓRIO, J.A.P.. **Acidentes estruturais em pontes rodoviárias – causas, diagnósticos e soluções, II Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**. Rio de Janeiro, ABPE, 2007.