

# Uma Contribuição ao Estudo da Avaliação da Segurança de Pontes Existentes

*José Afonso Pereira Vitória<sup>1</sup>*

## Resumo

As pontes que compõem as rodovias brasileiras nos âmbitos federal, estaduais e municipais, constituem um acervo público de valor inestimável pela importância que representam para o desenvolvimento econômico e social do País.

Ocorre que a falta de políticas e estratégias voltadas para a conservação das obras públicas faz com que significativa quantidade das pontes existentes, muitas delas construídas há várias décadas, estejam atualmente em precárias condições estruturais e funcionais.

Isso, evidentemente, gera riscos aos usuários e prejuízos à cadeia produtiva nacional que muito depende do transporte rodoviário.

Um aspecto preocupante a ser considerado é a ausência de dados consistentes sobre a real quantidade de Obras de Arte Especiais que precisam passar por avaliações para aferir a segurança necessária visando atender às condições atuais de tráfego.

Nesse contexto este artigo busca contribuir para o conhecimento sobre as atuais condições de conservação e quais os critérios que podem ser utilizados para a avaliação estrutural de pontes rodoviárias existentes, considerando-se que no Brasil esse procedimento só é realizado em situações limites e, mesmo assim, em condições que nem sempre são as mais adequadas.

**Palavras-chave:** Estruturas, Pontes, Conservação, Avaliação, Segurança, Confiabilidade.

## 1 Introdução

Uma das poucas informações de que se tem conhecimento sobre o perfil das pontes rodoviárias brasileiras foram publicadas por MENDES (2009), com base no universo de 5.619 obras cadastradas pelo DNIT entre os anos de 2001 e 2004, conforme os dados relacionados a seguir:

- 70 % das pontes, que correspondem a 64 % da área de tabuleiro construída, têm idade superior a 30 anos;
- 63 % das pontes têm extensão inferior a 50 m;
- 79 % das pontes possuem largura total inferior a 12,0 m, considerada estreita pelo padrão atual;
- 94 % das pontes têm sistema estrutural em viga de concreto armado ou protendido;
- 90 % das pontes foram projetadas com trem tipo de 240 KN ou de 360 KN;
- 50 % das pontes têm apenas um vão com dois balanços; e,
- 93 % das pontes têm vão máximo inferior a 40,0 m.

Observa-se de imediato que as pontes com idade superior a 30 anos, e que representam 70 % do total, já estão com mais de 40 anos, pelo fato de o último cadastramento do DNIT ter sido realizado em 2004.

O envelhecimento das obras de infraestrutura, em especial das pontes e viadutos, é um problema mundial e deve merecer atenção especial pelo fato de estar diretamente relacionado à mobilidade e à segurança da população. Também merece preocupação a grande quantidade de recursos necessários para recuperar, reforçar ou substituir obras antigas que não estejam mais atendendo aos requisitos de estabilidade e funcionalidade.

Por tais motivos este tema está incluído na pauta das prioridades de vários países que têm investido em pesquisas voltadas para o conhecimento e a definição de critérios consistentes visando a garantia e a segurança das pontes antigas, com a utilização racional dos recursos disponíveis.

Entre os países que mais avançaram nessa área estão Dinamarca, Canadá, Estados Unidos, Reino Unido e República Checa, que dispõem de normas e regulamentos especiais para a avaliação de pontes existentes.

<sup>1</sup> Diretor de Vitória & Melo Projetos Estruturais e Consultoria Ltda., [afonsovitorio@gmail.com](mailto:afonsovitorio@gmail.com). Professor convidado da Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco.

## 2 Panorama da Conservação e Segurança de Pontes no Brasil

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 construída.

Ocorre que no Brasil são gastos preciosos recursos na execução de obras públicas, como é o caso das pontes, mas não é dada a devida importância para manter esses bens em bom estado de funcionamento.

Para que seja possível mudar essa cultura da

falta de conservação faz-se necessário que, pelo menos, sejam considerados e revistos os aspectos relacionados a seguir

- Não existem dados consistentes sobre a quantidade de pontes em condições precárias de conservação e segurança (na realidade não existem sequer informações sobre a real quantidade de Obras de Arte Especiais do Brasil).
- A avaliação das condições de conservação e segurança de pontes não é uma atividade rotineira no País, pois só é realizada quando há fortes sintomas da possibilidade de ocorrência de colapso estrutural.

**Tabela 1** – Correlações entre as notas atribuídas e a categoria dos problemas estruturais detectados nas inspeções (Fonte: DNIT, 2004).

| NOTA | DANOS NO ELEMENTO / INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL  | AÇÃO CORRETIVA   | CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE | CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PONTE  |
|------|---|--|---------------------------|---|
| 5    | Não há danos nem insuficiência estrutural   | Nada a fazer.  | Boa                       | Obra sem problemas  |
| 4    | Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural  | Nada a fazer; apenas serviços de manutenção  | Boa                       | Obra sem problemas importantes  |
| 3    | Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.   | A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática. | Boa aparentemente         | Obra potencialmente problemática<br><br>Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural.  |
| 2    | Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.                   | A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.                                   | Sofrível                  | Obra problemática<br><br>Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias <sup>1</sup> são recomendáveis para monitorar os problemas.   |
| 1    | Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural. | A recuperação (geralmente com reforço estrutural) – ou em alguns casos, substituição da obra – deve ser feita sem tardar.  | Precária                  | Obra crítica<br><br>Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações, etc. |

- Há insuficiência de produção do conhecimento sobre o tema (pesquisas, normas, publicações, etc.).

Buscando-se obter na prática uma amostra das condições em que se encontram as pontes típicas das rodovias brasileiras, o autor realizou uma pesquisa com 100 Obras de Arte Especiais localizadas em oito rodovias federais.

Uma síntese da pesquisa é apresentada a seguir, a qual mostra a metodologia adotada e os resultados obtidos.

**2.1 Síntese da pesquisa realizada sobre a conservação e segurança das pontes das rodovias federais**

A pesquisa foi realizada com a utilização dos dados obtidos das inspeções realizadas em 100 pontes de oito rodovias federais, com a identificação dos danos estruturais e das condições de estabilidade. Foi utilizada como metodologia o critério de pontuação da norma DNIT010/2001-PRO, que fixa as condições exigíveis para inspeções em pontes de concreto armado e pretendido de acordo com a Tabela 1.

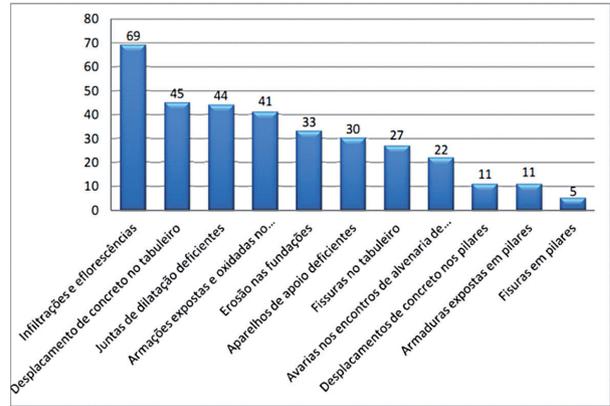
Nas Tabelas 2 e 3 estão indicadas a distribuição das pontes inspecionadas por rodovia e a classificação pelo período em que foram construídas. A Figura 1 mostra a ocorrência de danos nas 100 pontes pesquisadas.

**Tabela 2** – Pontes inspecionadas por rodovia. (VITÓRIO, 2013).

| Rodovia   | Quantidade de obras inspecionadas. |
|-----------|------------------------------------|
| BR-343/PI | 02                                 |
| BR-402/PI | 03                                 |
| BR-316/PI | 05                                 |
| BR-230/PB | 02                                 |
| BR-408/PE | 02                                 |
| BR-428/PE | 30                                 |
| BR-232/PE | 29                                 |
| BR-116/BA | 27                                 |
|           | 100                                |

**Tabela 3** – Classificação pelo período de construção. (VITÓRIO, 2013).

| Período        | Quantidade de obras |
|----------------|---------------------|
| 1940 a 1960    | 27                  |
| 1960 a 1975    | 40                  |
| 1975 a 1985    | 2                   |
| 1985 a 2000    | 2                   |
| 2000 em diante | 29                  |



**Figura 1** – Ocorrência de danos nas 100 pontes pesquisadas (Fonte: VITÓRIO, 2013).

Nas Figuras 2 a 11 estão ilustradas algumas das manifestações patológicas que foram identificadas durante as vistorias.



**Figura 2** – Grande deterioração estrutural do tabuleiro, com exposição e corrosão das armaduras das vigas.



**Figura 3** – Destruição do concreto, com exposição e corrosão das armaduras dos tabuleiros em laje.



**Figura 4** – Destruição de junta de dilatação.



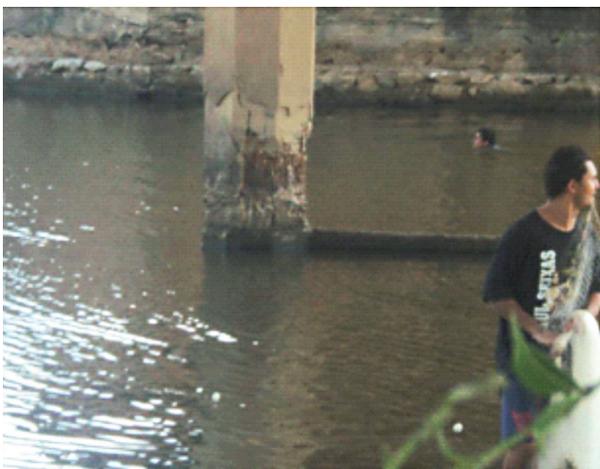
**Figura 7** – Ruptura da viga de amarração e grande excentricidade dos tubulões.



**Figura 5** – Avançado estado de deterioração dos aparelhos de apoio.



**Figura 8** – Erosão nos aterros dos encontros.



**Figura 6** – Degradação do concreto e severa corrosão de armaduras do pilar em trecho de variação do nível da água do rio.



**Figura 9** – Dente Gerber com exposição de armaduras e avançado estado de degradação do concreto, com implicações de risco estrutural.



**Figura 10** – Infiltrações e eflorescências no tabuleiro, situação representativa de 69 das pontes analisadas.



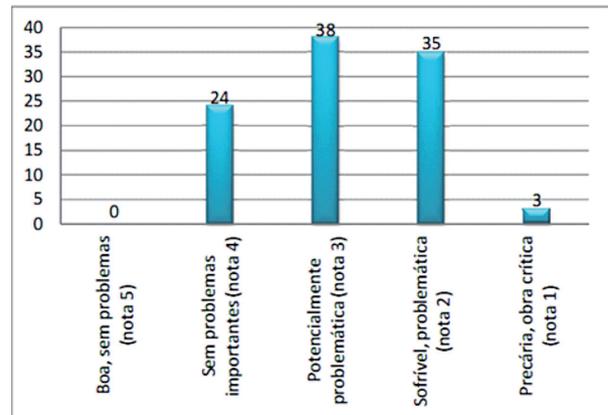
**Figura 11** – Vegetação de grande porte em encontro de terra armada.

A classificação das pontes conforme as condições de estabilidade previstas na metodologia utilizada está indicada na Figura 12. A pesquisa também classificou

as condições de estabilidade conforme os períodos em que as pontes foram construídas, cujos resultados encontram-se na Tabela 4.

Pelos resultados obtidos, conclui-se que nenhuma das 100 obras analisadas atingiu a pontuação máxima, que corresponde à obra boa, sem problemas. A avaliação predominante foi a de obras potencialmente problemáticas (38 %), seguidas de obras sofríveis (35 %), obras sem problemas importantes (24 %) e de obras cujas situações são consideradas críticas, podendo vir a ocorrer colapso estrutural (3 %).

A pesquisa também mostrou que só obtiveram a nota 4 (sem problemas importantes) as pontes construídas a partir do ano 2000; mesmo assim seis delas foram enquadradas como potencialmente problemáticas. As pontes sofríveis e críticas estão relacionadas aos períodos cujas construções vão até 1975, ou seja, são obras que estão com pelo menos 40 anos de construídas e que padecem das manifestações patológicas decorrentes da própria idade, agravadas pela precariedade do sistema de conservação das pontes brasileiras.



**Figura 12** – Classificação das pontes de acordo com as condições de estabilidade.

**Tabela 4** – Condições de estabilidade conforme o período de construção (Fonte: VITÓRIO, 2013).

| Período        | Nota (Condição de estabilidade) |                                    |                                      |                   |                   |
|----------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                | Nota 5 (Boa)                    | Nota 4 (Sem problemas importantes) | Nota 3 (Potencialmente problemática) | Nota 2 (Sofrível) | Nota 1 (Precária) |
| 1940 a 1960    | ----                            | ----                               | 8                                    | 17                | 1                 |
| 1960 a 1975    | ----                            | ----                               | 22                                   | 18                | 2                 |
| 1975 a 1985    | ----                            | ----                               | 1                                    | ----              | ----              |
| 1985 a 2000    | ----                            | 1                                  | 1                                    | ----              | ----              |
| 2000 em diante | ----                            | 23                                 | 6                                    | ----              | ----              |
| Total          |                                 | 24                                 | 38                                   | 35                | 3                 |

### 3 Avaliação da segurança de pontes existentes

Não é necessário maiores explicações para se afirmar que a avaliação da segurança de uma ponte existente é bem mais complexa do que a determinação da segurança no projeto de uma ponte nova.

Mesmo que não haja grandes danos aparentes, sabe-se que as características de resistência dos materiais podem apresentar deficiências com o passar do tempo pelo próprio uso e pela agressividade ambiental, de modo que a segurança e a confiabilidade precisam ser asseguradas por inspeções regulares e avaliações estruturais.

A avaliação da segurança pode ter as abordagens a seguir descritos.

- **Determinística**

Baseada no método das tensões admissíveis adotado pelas antigas normas de estruturas, considerando-se um único coeficiente de segurança para as incertezas da variabilidade da resistência e ações. É considerada conservadora e inadequada.

- **Semiprobabilística**

Utiliza o método dos fatores parciais de segurança previstos pelas normas atuais para o dimensionamento de estruturas novas. É também considerada conservadora para avaliar estruturas existentes, mas mesmo assim é a mais utilizada.

- **Probabilística (confiabilidade)**

Pode ser uma abordagem parcialmente probabilística, com o uso de métodos simplificados, nos quais as variáveis são definidas pela média e desvio padrão, sendo também definida uma função estado limite, onde a segurança é garantida pela probabilidade dessa função não ser atingida.

No caso da análise puramente probabilística os parâmetros de incertezas (geometria, ações, resistência, etc.) são considerados por meio de variáveis aleatórias definidas em distribuições estatísticas. A probabilidade de falha é obtida por meio das funções de probabilidade de cada parâmetro. A avaliação com o uso de métodos probabilísticos é a mais avançada e há uma tendência mundial de utilização.

#### 3.1 Situação no Brasil

O Brasil não dispõe de literatura técnica que indique com clareza como avaliar a segurança de uma ponte existente. De modo geral utilizam-se os métodos semiprobabilísticos das normas vigentes para o cálculo

de obras novas com um procedimento assemelhado ao descrito a seguir:

- a) inspeção realizada por engenheiro estrutural, com especial atenção aos elementos vitais para a garantia da estabilidade;
- b) ensaios das resistências dos materiais. Os mais comumente utilizados são os destrutivos (extração de testemunhos de concreto) e os não destrutivos (esclerometria).
- c) análise estrutural (sugere-se incluir estudo da fadiga, da fluência do concreto e das perdas de protensão, entre outros). A análise geralmente é linear elástica e define os limites da estrutura, inclusive para o acréscimo de novos carregamentos;
- d) realização de provas de carga estáticas, ou ensaios dinâmicos, para aferir na prática qual o limite de resistência da estrutura. (raramente são realizados).

O DNIT (2010) em seu *Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários*, afirma que a norma estrutural não deve ser usada diretamente na avaliação de estruturas existentes; para essa avaliação devem ser usadas diretrizes para especificar:

- critérios de avaliação;
- propriedades estruturais e cargas;
- avaliação dos resultados da inspeção;
- análise estrutural;
- critérios de aceitação.

#### 3.2 Situação em outros países

Alguns países dispõem de normas e regulamentos especiais para a avaliação da segurança de pontes existentes, como é o caso da Dinamarca, Canadá, Estados Unidos, Reino Unido e República Tcheca.

Na Europa foram financiados nas três últimas décadas diversos projetos de pesquisa que incluíram nos relatórios finais recomendações para a avaliação da segurança de pontes existentes.

Tais pesquisas, relacionadas à Conservação, Segurança e Gestão de Pontes, financiadas pela Comissão Europeia, recomendam a avaliação estrutural em cinco níveis com complexidade crescente, começando pelo mais simples (nível 1), que usa o modelo das normas de projetos de estruturas, até o mais sofisticado (nível 5) que combina a análise não linear com a análise probabilística. Os cinco níveis de avaliação propostos estão resumidos na Tabela 5.

Pesquisadores portugueses (JACINTO *et al.* 2011) propuseram uma metodologia bem apropriada para a avaliação da segurança de pontes existentes. O método prevê a avaliação em três fases.

Na fase 1 são efetuadas verificações sumárias de segurança com modelos simples e com o uso das informações disponíveis, como o projeto da ponte, registros da obra, resultados de inspeções anteriores, etc. Nessa fase a análise estrutural é realizada com o uso dos fatores parciais de segurança presentes nas normas vigentes.

Caso o Relatório emitido na fase 1 defina que todas as dúvidas sobre a segurança foram esclarecidas o processo é concluído e a ponte continua a ser utilizada normalmente. Caso contrário passa-se à fase 2 que representa uma avaliação intermediária onde são usados modelos mais sofisticados, como a análise não linear, com redistribuição parcial das solicitações. Nessa fase são utilizados os resultados de ensaios realizados para melhor caracterizar as variáveis relacionadas às propriedades dos materiais e às ações. Os critérios de segurança continuam baseados nos fatores parciais de segurança, porém, com a possibilidade de serem modificados com a utilização dos coeficientes de sensibilidade previstos no anexo “C” do Eurocódigo “0” (NP EN1990, 2009).

Caso os critérios de segurança sejam satisfeitos, continua-se o uso normal da ponte. Caso haja necessidade de reforçar e a decisão seja consensual, executa-se o reforço e volta-se a utilizar a ponte. No caso de não haver consenso para o reforço, o processo passa para a fase 3, que prevê a análise não linear com a aplicação de métodos probabilísticos nos quais não existe mais o conceito de coeficiente de segurança e permitem uma avaliação mais realista da segurança da ponte.

O detalhamento do método encontra-se indicado no fluxograma da Figura 13.

### 3.3 Fundamentos da avaliação da segurança por métodos probabilísticos

Nas últimas décadas houve, em vários países, uma grande evolução dos estudos relacionados à

análise da segurança estrutural das pontes existentes. Parte dessa evolução se deve ao desenvolvimento dos métodos probabilísticos, que consideram como variáveis aleatórias as grandezas mais representativas para a avaliação estrutural, como é o caso das cargas reais que atuam na estrutura, a geometria exata da ponte, os parâmetros de resistência dos materiais e os fatores ambientais.

Isso permite a comparação da resistência real com os efeitos das solicitações reais causados pelas ações atuantes.

A publicação do *Probabilistic Model Code (2001)*, tornou mais acessível o conhecimento sobre a análise probabilística da segurança de uma grande variedade de estruturas. O Código define os modelos probabilísticos para as ações, para as características mecânicas dos materiais e para as geometrias das estruturas.

#### 3.3.1 Confiabilidade estrutural

Sabe-se que a verificação da segurança é realizada com base nos estados limites, de modo que um estado limite é atingido quando as solicitações geradas pelas ações atuantes são superiores à resistência da estrutura. Ou seja, o desempenho de uma estrutura pode ser definido por uma função estado limite  $g(X_i)$ , associada a uma determinada combinação de ações. A ruptura ocorre quando essa função atinge valores negativos conforme a expressão seguinte:

$$g(X_i) < 0 \quad (1)$$

onde  $X_i$  é o vetor das variáveis aleatórias envolvidas no problema.

A probabilidade de ruptura, ou probabilidade de falha ( $P_f$ ) é definida por:

$$P_f = P[g(X_i) < 0] \quad (2)$$

**Tabela 5** – Níveis de avaliação de segurança de pontes (Fonte: BRIME, 2001; COST345, 2004).

| Nível | Modelos de resistência e ações                       | Modelos de análise  | Métodos de avaliação   |
|-------|--|---|--|
| 1     | Como definido na norma em vigor.                     | Modelos simples. Regime elástico linear.  | Método dos fatores parciais de segurança, com os coeficientes iguais aos do dimensionamento. |
| 2     |  |   |  |
| 3     | Modelos de ações e resistências a partir de ensaios. | Modelos refinados. Pode-se redistribuir esforços, dentro dos limites da ductilidade da estrutura. | Modificação dos coeficientes de segurança.   |
| 4     |  |   |  |
| 5     | Modelos probabilísticos para todas as variáveis      |   | Análise puramente probabilística.  |

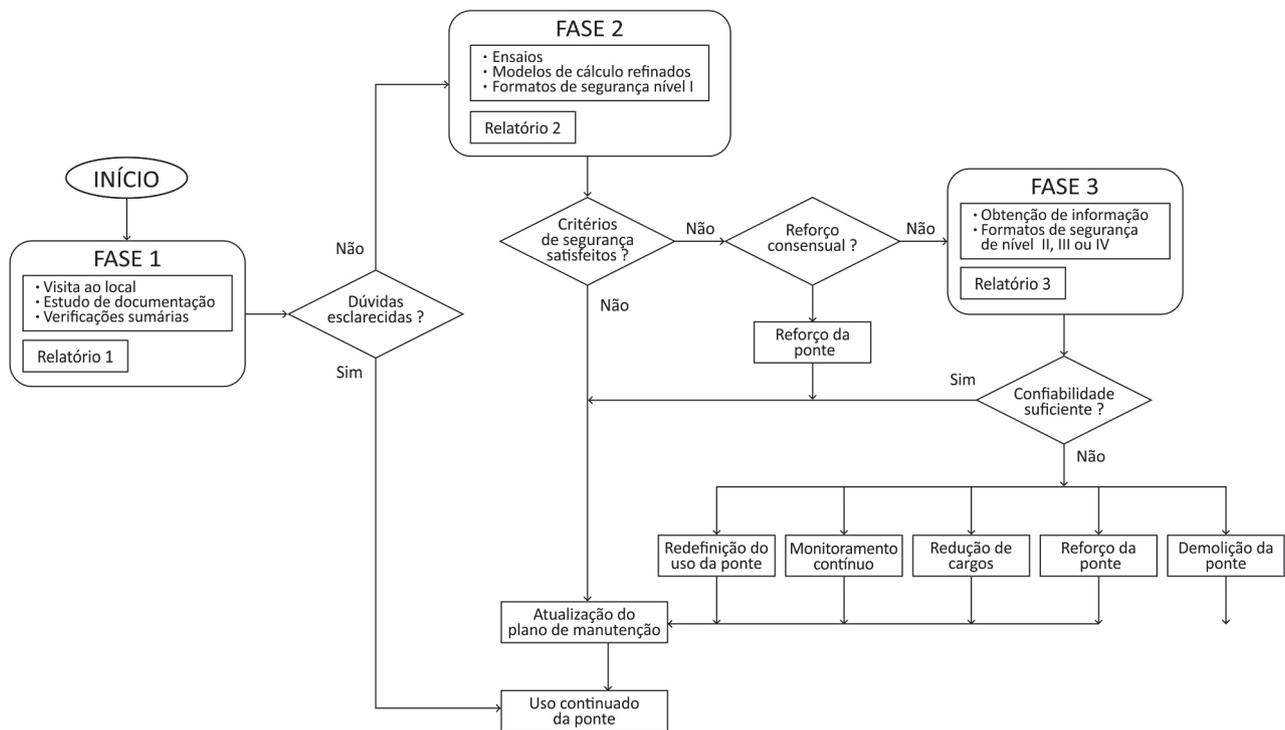


Figura 13 – Método para avaliações de pontes. (Fonte: JACINTO et al., 2011).

A confiabilidade estrutural pode ser definida em termos das variáveis representadas pelas solicitações  $E$  e pela resistência da estrutura  $R$ , de modo que a ruptura ocorre quando a primeira variável é maior que a segunda. A probabilidade de falha fica então

$$P(R < E) = P(R - E < 0) = P\left(\frac{R}{E} < 1\right) \quad (3)$$

A margem de segurança é dada por:

$$Z = R - E \quad (4)$$

A probabilidade de falha pode ser determinada pela expressão:

$$P_f = P(R - E < 0) = P(Z < 0) = \varphi\left(\frac{0 - \mu_z}{\sigma_z}\right) = \varphi(-\beta) \quad (5)$$

onde

$\varphi$  – a função de distribuição normal reduzida de média zero e desvio padrão 1.

$\beta$  – o índice de confiabilidade, definido pela expressão:

$$\beta = -\varphi^{-1}(P_f) \quad (6)$$

onde  $\varphi^{-1}$  é a inversa da distribuição normal (ou gaussiana).

Nos casos em que se pode atribuir a distribuição normal para as variáveis  $E$  e  $R$ , o índice de confiabilidade é dado por:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \quad (7)$$

onde

$\mu_R$  e  $\sigma_R$  – média e desvio padrão das resistências.

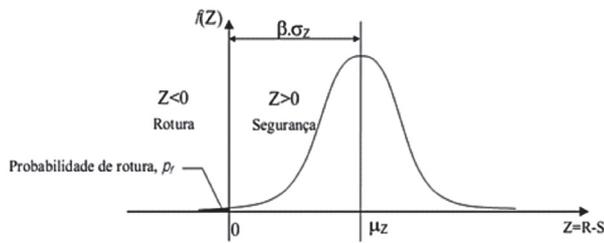
$\mu_E$  e  $\sigma_E$  – média e desvio padrão das solicitações.

Na Figura 14 estão ilustradas as representações gráficas do índice de confiabilidade  $\beta$  e da probabilidade de falha ou de ruptura  $P_f$ .

A Tabela 6 mostra a relação entre  $P_f$  e  $\beta$ .

Tabela 6 – Relação entre índices de confiabilidade  $\beta$  e probabilidade de falha  $P_f$  (Fonte: NP EN1990, 2009).

|         |           |           |           |           |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $P_f$   | $10^{-1}$ | $10^{-2}$ | $10^{-3}$ | $10^{-4}$ | $10^{-5}$ | $10^{-6}$ | $10^{-7}$ |
| $\beta$ | 1,28      | 2,32      | 3,09      | 3,72      | 4,27      | 4,75      | 5,20      |



**Figura 14** – Índices de confiabilidade  $\beta$  e de probabilidade de falha  $P_f$ .

A obtenção do índice  $\beta$  para as mais diversas distribuições e funções de desempenho, com variáveis dependentes ou não, deveu-se à elaboração de vários métodos, destacando-se o *FORM* (*Frist Order Reliability Method*) e o *SORM* (*Second Order Reliability Method*), que são utilizados para o cálculo da probabilidade de ruptura. Também são utilizados métodos de simulação, sendo o método de Monte Carlo o mais conhecido quando se trata de problemas de Engenharia Civil. Esse método é um modelo de simulação numérica que utiliza a geração de números aleatórios com o objetivo de obter parâmetros estatísticos (valores de saída) por meio de um modelo computacional do sistema estrutural que está sendo avaliado. Os dados de entrada devem obedecer às respectivas leis de distribuições estatísticas (Normal, Lognormal, etc).

A utilização de modelos probabilísticos para a avaliação da segurança de pontes existentes tem sido adotada com êxito em alguns países, como um procedimento apropriado para garantir uma significativa redução dos recursos que teriam que ser gastos com

grandes reforços e até com a substituição de obras antigas. A Tabela 7 mostra alguns exemplos de pontes europeias que não conseguiriam ser aproveitadas para continuar em uso caso fossem avaliadas pelos métodos convencionais. Porém, com a aplicação de avaliações baseadas em métodos probabilísticos continuaram em uso com significativos ganhos econômicos e sociais.

Um fator que pode contribuir bastante para a obtenção de bons resultados nas avaliações das pontes antigas com métodos probabilísticos é a grande capacidade de redistribuição das solicitações de boa parte dessas pontes, cujos sistemas estruturais, têm geralmente grande robustez e redundância, como é o caso dos tabuleiros em vigas contínuas e das pontes em pórtico e em arcos.

Essa peculiaridade é particularmente relevante para a avaliação ao considerar a ponte como um sistema estrutural no qual a falha de um elemento não causa necessariamente o colapso de toda a obra.

Um exemplo típico é o das pontes com grandes deteriorações, caracterizadas por danos heterogêneos que afetam significativamente alguns elementos enquanto outros permanecem quase intactos. Ou seja, com base na análise da redundância estrutural pode ser avaliada qual a importância dos danos de cada elemento degradado na segurança global da ponte com o uso de análise não linear com redistribuição de solicitações e de modelos probabilísticos para as diferentes variáveis básicas.

Com a análise da confiabilidade pelos métodos citados obtém-se o valor de  $\beta$  e verifica-se se tal valor corresponde à confiabilidade pretendida. Mesmo existindo na literatura diferentes recomendações sobre

**Tabela 7** – Exemplos de pontes avaliadas com modelos probabilísticos (**Fonte:** adaptado de WISNIEWSKI, 2006).

| Ponte / Localização                       | Comprimento (m) | Ano de construção | Vantagem da avaliação probabilística   |
|---|-----------------|-------------------|--|
| Viena (Austria)                           | 14,32           | 1953              | Momentos fletores máximos 20% menores que os valores determinísticos (com amplificação dinâmica).        |
| Ponte Vilsund (Dinamarca)                 | 381,00          | 1939              | Aumento das cargas móveis sem a necessidade de reforço ou substituição (economia de 3 milhões de Euros). |
| Ponte Skovidige) (Dinamarca)              | 210,00          | 1966              | Evitou a reabilitação ou substituição (economia de 10 milhões de Euros).                                 |
| Ponte Zárate-Brazo Largo (Argentina)      | 550,00          | 1977              | Evitou o reforço e reabilitação de alguns trechos devido a deterioração de tirantes e da armadura.       |
| Ponte sobre o Rio Magarola (Espanha)      | 100,00          | 1886              | Ponte em arco, teve a segurança garantida para o tráfego de veículos pesados.                            |
| Ponte sobre o Rio Sella (Espanha)         | 120,00          | -----             | Ponte em arco, teve a segurança garantida para o tráfego de veículos pesados.                            |
| Ponte na estrada N-11, Zaragoza (Espanha) | 14,00           | -----             | Ponte em pórtico, teve a segurança garantida para o tráfego de veículos pesados.                         |

os valores desse índice, na Europa é muito utilizado o valor que consta na NP EN1990 (2009), a qual recomenda  $\beta$  para estados limites últimos para uma vida útil de 50 anos.

## 4 Conclusões

Como foi dito na introdução deste trabalho, o processo de envelhecimento das pontes que compõem os sistemas viários da maioria dos países, requer uma atenção especial seguida de ações concretas para evitar que em situações limites tais obras venham a ruir, ou mesmo não chegando à ruptura, os custos de reabilitação sejam tão altos que dificultem, ou até inviabilizem a adoção das devidas providências em tempo hábil de não causar maiores danos e prejuízos aos usuários.

Diversos países, alguns deles citados neste texto, vêm há pelo menos duas décadas, investindo em estudos e pesquisas voltadas para a garantia da conservação e da segurança desses bens públicos de importância inestimável para as suas populações.

É evidente que o Brasil não está incluído nesse grupo de países preocupados com o estado das suas obras de infraestrutura, e que pretendem deixar para as próximas gerações um legado que depende das políticas e estratégias atualmente adotadas para manter tais obras em bom estado.

Esse fato ficou evidente, quando ao iniciar a sua palestra no VIII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, o Professor Atorod Azizinamini da Universidade Internacional da Florida, afirmou que nos Estados Unidos existem 600.000 pontes, das quais 25% necessitam de reparos. A informação de dados tão precisos é, no mínimo, constrangedora para o Brasil,

pelo fato de aqui não existir qualquer informação sobre a quantidade de pontes danificadas, e muito menos sobre quantas pontes existem no país, considerando-se que 2004 foi o último ano em que foram cadastradas pontes em rodovias federais.

Uma consequência imediata dessa total omissão com a conservação e segurança das pontes e viadutos das rodovias brasileiras é o significativo aumento dos casos de colapsos estruturais ocorridos nos últimos tempos e amplamente divulgados pela mídia.

Isso é fácil de comprovar pelos dois colapsos mais recentes de pontes antigas ocorridos em um único mês. O 1º desabamento ocorreu em 09/05/2015 com uma ponte sobre o rio Continguiaba em Pedra Branca, na Região Metropolitana de Aracajú. O acidente foi causado pela falta de manutenção durante os últimos 20 anos e deixou 70 % da população da capital de Sergipe sem água, pelo fato de que a obra estaria sendo utilizada para a transposição de uma adutora, conforme a Figura 15.

O 2º colapso estrutural ocorreu em 31/05/2015 também com uma ponte antiga sobre o rio Jaguari no Rio Grande do Sul, no momento em que passavam um caminhão e um outro veículo que despencou de uma altura de 15m na água e causou ferimentos no motorista.

O acidente está ilustrado na Figura 16, e segundo a imprensa local trata-se do 5º desabamento de pontes ocorrido na região central do RS nos últimos 13 anos.

Os dois exemplos de colapsos ocorridos em apenas um mês certamente continuarão ocorrendo com uma frequência, talvez ainda maior caso não haja uma mudança de postura que estabeleça alguns pontos fundamentais para que seja possível implantar um processo de avaliação e gestão das pontes brasileiras, conforme as recomendações a seguir



**Figura 15** – Desabamento da ponte sobre o rio Continguiaba em Pedra Branca – Sergipe  
(Fonte: ANDRÉ AMORIM, G1, 2015).



**Figura 16** – Desabamento de ponte sobre o rio Jaguari, RS (Fonte: FÁBIO PINTO, G1, 2015).

- a) Investimentos em pesquisas (com a participação dos setores acadêmico, de projetos, de construção e da ABNT) visando a adoção de procedimentos consistentes, inclusive normativos, para a avaliação de pontes existentes.
- b) Aprimoramento dos métodos de avaliação da segurança das pontes brasileiras, incluindo-se também o uso de modelos probabilísticos, pois os critérios atualmente utilizados podem causar distorções nos resultados, no que se refere aos níveis de confiabilidade aceitáveis, com implicações nas reais condições de estabilidade e nos custos das obras de recuperação e reforço.
- c) Implantação de sistemas de gestão de pontes na malha viária brasileira (nos níveis federal, estaduais e municipais) visando a garantia da conservação, recuperação, atualização e até da substituição de pontes, evitando assim a ocorrência de problemas como os ilustrados neste trabalho.

## 5 Referências Bibliográficas

BAIA, M.; NEVES, L. – Análise da segurança de pontes de betão armado tendo em conta a deterioração. Anais do 1º Congresso Nacional Sobre Segurança e Conservação de Pontes. Lisboa, 2009.

BRIME, D14: Final Report – Bridge Management in Europe. IV Frame-Work program, Brussels, 2011, <<http://www.trl.co.uk/brime/index.htm>>.

COST 345, Working Groups 4 and 5 – Numerical techniques for Safety and Seviceability Assessment. Procedures Required for Assessment Highway

Structures. European Commission. Directorate General Transport, 2004, <<http://cost345.zag.si>>.

DNIT – Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2004.

DNIT – Norma 010/2004-PRO – Inspeções em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e protendido – Procedimento, Rio de Janeiro, 2004.

GONÇALVES, R. C. R. F. – Robustez de estruturas de betão armado sujeitas à deterioração. (Dissertação de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa, 2011.

JCSS. – Probabilistic Model Code. Joint Committee on Structural Safety; 2001.

JACINTO, L.; SANTOS, L. O.; NEVES, L. C. – Avaliação Estrutural de Pontes Existentes – Proposta de Metodologia. Anais do 2º Congresso Nacional Sobre Segurança e Conservação de Pontes, Coimbra, 2011.

MENDES, P. T. C. – Contribuição para um Modelo de Gestão de Pontes de Concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras (Tese de Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

NEVES, L. C. – Segurança de Pontes Existentes: Análise de Risco. Anais do 2º Congresso Nacional sobre segurança e conservação de pontes, Coimbra, 2011.

NP EN1990. – Eurocode – Basic of Structural Design, CEN, 2009.

VITÓRIO, J. A. P. – Conservação, Segurança Estrutural e Reforço de Pontes Rodoviárias de Concreto. VIII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, São Paulo, 2015.

VITÓRIO, J. A. P.; BARROS, R. M. M. C. – Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no Brasil. Anais do 3º Congresso Nacional sobre segurança e conservação de pontes, Porto, 2013.

WISNIEWSKI, D. – Avaliação e Segurança de Pontes Existentes. Universidade do Minho, 2006.