



- \* ASAMBLEA ANUAL DEL COMITE  
LATINOAMERICANO DE ESTRUCTURAS  
(CLAES)**
- \* ASAMBLEA DE LA ASOCIACION  
SUDAMERICANA DE INGENIEROS  
ESTRUCTURALES  
(ASAIE)**

**15 al 19 de Noviembre de 1993  
Montevideo - Uruguay**

**DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

**M E M O R I A S**

**4**  
**VOLUMEN**



15 al 19 de Noviembre de 1993  
Montevideo - Uruguay

## ALGUNS ASPECTOS DA PATOLOGIA DE PONTES DE AÇO

Roberto M. Gonçalves

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo .

### SUMÁRIO

Apresentam-se, neste trabalho, os principais aspectos patológicos observados em pontes de aço, destacando as causas, ocorrências e algumas recomendações sobre as soluções para tais problemas. São abordados a corrosão, o afrouxamento de ligações, problemas nos aparelhos de apoio e fundações e a conservação das vias. Os aspectos patológicos da fadiga não foram abordados devido a complexidade do tema e a sua extensão.

### 1- INTRODUÇÃO

A deterioração de pontes tem diversas causas. Elas podem ser decorrentes do próprio projeto, como consequência de detalhes mal resolvidos que favorecem o surgimento de vários tipos de deterioração, devido a má utilização e da falta de manutenções periódicas.

Em geral, a deterioração de uma ponte ocorre principalmente devido à falta de manutenções preventivas, isto é, todo o processo é agravado quando os procedimentos para eliminar as causas não são devidamente realizados.

Relata-se, a seguir, alguns tipos de deteriorações.

### 2- CORROSÃO

A corrosão é a principal causa da deterioração de estruturas de aço e também o principal problema para a manutenção.

A perda de espessura nos elementos estruturais de aço, devido a

0860931

corrosão, poderá acarretar a concentração de tensões na região enfraquecida ocasionando a diminuição da capacidade última da peça corroída. No limite, pode provocar a ruína por insuficiência de seção ou a flambagem do elemento.

A corrosão de estruturas sujeitas ao fenômeno da fadiga (carregamentos cíclicos) amplia consideravelmente os riscos de ruína. Os principais tipos de corrosão estão relacionados abaixo e a identificação da forma permite definir as causas prováveis.

- Corrosão uniforme: processa-se atingindo toda a extensão da superfície do elemento (perdas de espessura constante);

- Puntiforme: a corrosão local com o aparecimento de pites (cavidades com o material corroído saliente);

- Esfoliação: a corrosão se processa em diferentes camadas (separação em forma lamelar);

- Por placas: corrosão localizada em regiões (placas).

- Intergranular: corrosão localizada entre os grãos que formam os cristais alterando a capacidade resistente (micro fraturas - corrosão sob tensão);

- Intragranular: corrosão que ocorre nos grãos dos cristais (micro fraturas);

- Filiforme: corrosão que se processa em filamentos (desloca o revestimento).

## 2.1- Exemplos Observados da Corrosão

Apresentam-se, a seguir, alguns exemplos ilustrativos.

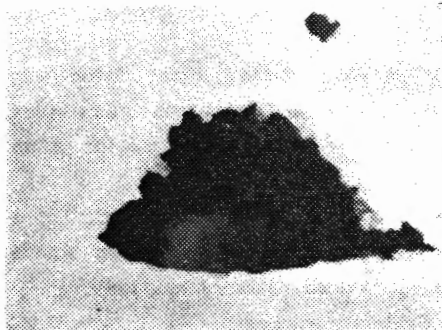


Foto 1- Corrosão total da alma da viga. Salienta-se os aspectos preocupantes da corrosão quanto à segurança desta ponte.

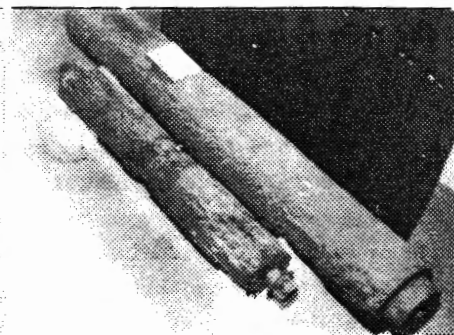


Foto 2- Corrosão em roletes de apoio retirados durante recuperação parcial da ponte Ercílio Luz.

A intensidade da ocorrência da corrosão em pontes está diretamente ligada ao "tipo" de atmosfera em que estas se encontram. Este processo é agravado em meios agressivos como regiões marítimas ou regiões industrializadas com alto grau de poluição atmosférica.

A corrosão pode ser acelerada em função da falta de limpeza das pontes, onde o acúmulo de sujeiras e detritos (folhas, galhos, areia) irá favorecer a presença de umidade, fator primordial no desenvolvimento do processo da corrosão.

### 3- AFROUXAMENTO DAS LIGAÇÕES

O afrouxamento de ligações parafusadas e rebitadas constitui um sério problema em pontes metálicas. As estruturas que utilizam rebites e parafusos, quando submetidos a cargas móveis e por consequência impactos e choques, estão sujeitas ao fenômeno do afrouxamento das ligações. Este fenômeno conduz ao "deslizamento das ligações", causando deslocamentos e distorções nos elementos estruturais.

Nos casos extremos de afrouxamento de ligações pode ocorrer a ruptura dos rebites ou parafusos, portanto, o afrouxamento das ligações normalmente decorre da utilização da estrutura e seus efeitos são progressivos.

A dimensão deste problema pode ser avaliada com dados relativos à manutenção de pontes rodoviárias nos Estados Unidos - aproximadamente 800.000 rebites são substituídos a cada ano durante as manutenções periódicas, dados obtidos em Ruble (1982).

Para a verificação do afrouxamento das ligações não existem regras rígidas ou procedimentos padrões para orientar a inspeção dos parafusos e rebites.

Recomenda-se que estas inspeções sejam realizadas por amostragem, procurando verificar as ligações mais sensíveis às cargas móveis.

O sistema de inspeção de rebites é normalmente realizado utilizando um martelo e a experiência do operador detectará o afrouxamento pelo som emitido ao serem martelados, há diferenças significativas entre os rebites "frouxos" e os intactos.

Algumas vezes, os problemas relativos ao afrouxamento de ligações tem origem na própria execução da estrutura ou em recuperações posteriores.

Podemos identificar alguns destes problemas em pontes rebitadas. A Tabela 1 ilustra alguns exemplos de defeitos observados em rebites.

Tabela 1- Exemplos de afrouxamentos de rebites

| Rebitagem | Comentário                                          | Causas Prováveis                                                                 | Consequências                                                                       | Defeito                                                                  |
|-----------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| d)        | Rebite bem executado e chapas devidamente ajustadas |                                                                                  |                                                                                     |                                                                          |
| b)        | Folga entre o rebite e as chapas                    | Dímetro do rebite incompatível ou má rebitagem                                   | Deslocamento entre chapas, inclinação do rebite, sensibilidade da ligação           | Detectado através de inspeção utilizando martelo                         |
| c)        | Folga parcial entre o rebite e as chapas            | Rebitagem mal executada, aquecimento não adequado                                | Deslocamento entre chapas, concentração de tensões, ruptura por cisalhamento        | Só detectado se a cabeça estiver frouxa                                  |
| d)        | Cabeça do rebite defeituosa                         | Má rebitagem                                                                     | Deslocamento relativo da chapa superior, concentração de tensões                    | Facilmente detectado por inspeção visual                                 |
| e)        | Vazio parcial entre a chapa e o rebite              | Erro na furação (fabricação) ou não execução da refuração (recuperação)          | Concentração de tensões, deslocamento da parte inferior do fuste, ruptura do rebite | Difícil de ser detectado em inspeções                                    |
| f)        | Vazio parcial entre a chapa e o rebite              | Erro na furação (fabricação) ou não execução da refuração (recuperação)          | Concentração de tensões, deslocamento da parte inferior do fuste, ruptura do rebite | Difícil de ser detectado em inspeções                                    |
| g)        | Variação do diâmetro do fuste                       | Erro de furação (fabricação) ou não execução da refuração no campo (recuperação) | Concentração de tensões, ruptura do rebite                                          | Difícil de ser detectado, somente sendo possível em caso de substituição |
| h)        | Bordas dos furos das chapas com rugosidades         | Má execução da furação (fabricação) ou não execução da refuração (recuperação)   | Concentração de tensões                                                             | Só identificável na substituição do rebite                               |

Nas fotos 3 e 4 apresentam-se exemplos desta deterioração.

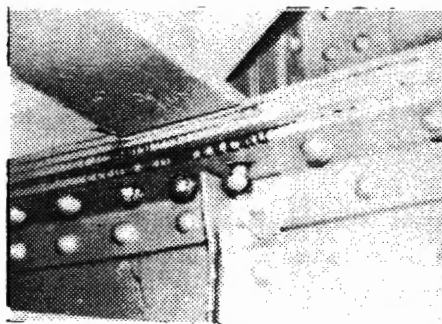


Foto 3: Afrouxamento do rebite na ligação longitudinal-transversal de uma ponte ferroviária.

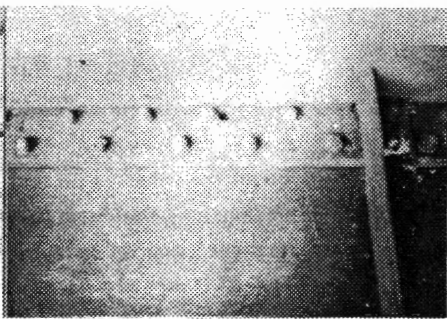


Foto 4: Erro de furação na cantoneira de um perfil composto. Observa-se o furo não preenchido.

#### 4- DANOS ESTRUTURAIS DEVIDO AO IMPACTO DE OBJETOS OU VEÍCULOS

A deterioração por impacto, necessita de um agente externo móvel e provoca, geralmente, abaulamentos e deformações plásticas localizadas nos elementos estruturais. Apresentam-se duas fotos, que exemplificam o problema, nos quais os danos causados podem ser visualizados.

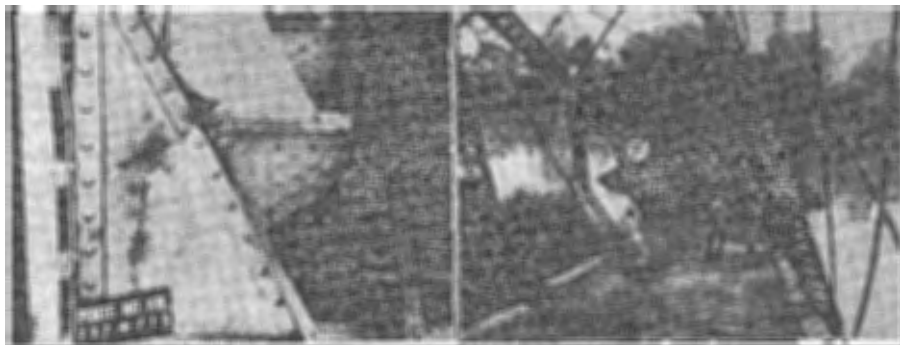


Foto 5: Danos causados em um enrijecedor (bracket) provavelmente causado pelo desprendimento de parte da carga numa ponte ferroviária.

Foto 6: Ruína de uma ponte ferroviária, adaptada para rodoviária, devido ao choque de um trator numa diagonal e deslocamento do apoio.

Os casos mais frequentes destes danos são devido a: acidentes sobre pontes, choques de veículos nos montantes, danos em diagonais ou montantes devido a carga transportada (vagões ou caminhões), danos em vigas principais causadas por caminhões com altura superior ao gabarito vertical, danos em pilares devido a colisão de veículos ou navios (no caso de pontes marítimas), etc. Os danos estruturais por impacto de veículos podem provocar a ruína da estrutura. Existem vários exemplos de acidentes com estas consequências.

##### 4.1- Constatação dos danos por impacto e cuidados a serem tomados

A inspeção preliminar dos danos causados constitui o primeiro e o principal passo a ser realizado após um acidente. Esta inspeção deve ser feita por engenheiros devidamente qualificados e experientes. As decisões a serem tomadas envolvem não só a segurança da ponte como os riscos inerentes a tal situação.

Quando os danos causados são severos, o engenheiro deverá, baseado na sua experiência e nos dados observados, determinar:

- interrupção do tráfego quando a segurança da obra e dos usuários

assim o exigir;

- tráfego restrito quanto à velocidade ou tonelagem;

- operação sem restrições quando os danos forem em elementos secundários ou não estruturais.

A extensão do problema deve ser avaliada para posterior solução; abaixo apresentam-se os principais pontos a serem observados:

- barras tracionadas: observação de trincas no elemento, rupturas de elementos de ligação, plastificação localizada;

- barras comprimidas: observação da linearidade da barra, considerando a possibilidade de perda de estabilidade, integridade das ligações, efeitos localizados;

- barras do sistema de contraventamento: observação da existência de fraturas localizadas, deformações excessivas, ou plastificações localizadas;

- longarinas e transversinas: verificação da linearidade, ruptura de soldas (perfis soldados), ruptura de rebites (perfis compostos rebitados), empenamento da seção transversal, plastificação no local do impacto e nas seções próximas aos apoios.

As soluções para os problemas, evidentemente, dependem da extensão dos danos causados e a discussão da forma de execução dos reparos está associada ao tipo de elemento afetado.

Os principais métodos de reparos são: retificação por aquecimento; retificação mecânica a frio; retificação mecânica a quente; substituição de partes do elemento comprometido; substituição do elemento; reforço localizado (utilizando solda elétrica, parafusos ou rebites, dependendo do tipo de elemento de ligação da estrutura); soldagem (dependendo da soldabilidade do aço); substituição de parte da estrutura;

## 5- APARELHOS DE APOIO E FUNDAÇÕES

A deterioração dos aparelhos de apoio e fundações foram incorporadas num único item. A análise dos problemas que podem surgir nestes dois elementos das pontes demonstra que estes são, muitas vezes, inter-relacionados.

### 5.1- Fundações

Os problemas que podem ocorrer nas fundações de pontes provem basicamente da deterioração dos elementos que a compõem (blocos, estacas, etc.) e do solo (ruptura parcial, recalques, etc.).

Para cada tipo de fundação a deterioração estará relacionada com os materiais utilizados. Relaciona-se abaixo o tipo de fundação e os

principais tipos de deterioração:

a) fundação em pedra talhada (pedra de mão): deterioração da argamassa de rejuntamento das pedras; erosão associada ao despreendimento das pedras externas (fundações diretas); infiltração de água interna ao bloco, associado a lixiviação da argamassa; infiltração de raízes de plantas e posterior deslocamento das pedras;

b) estacas:

b.1) madeira: processo de degeneração da madeira na região sujeita a ciclos de secagem e umedecimento; ataque de fungos, parasitas ou animais.

b.2) concreto: deterioração do concreto devido a presença de sulfatos; corrosão da armadura; abrasão do concreto devido, por exemplo, a estacas e blocos submersos em rios com grande quantidade de areia em suspensão associado a velocidade de percolação da água;

b.3) metálicas: corrosão da estaca; abrasão em estacas submersas associada a velocidade de percolação da água e material em suspensão.

c) fundação em sapata direta: deterioração característica do material empregado (concreto, pedra), já relatado anteriormente.

As fotos 7 e 8 ilustram dois tipos de deterioração, num encontro de pedra e num chumbador devido a corrosão.

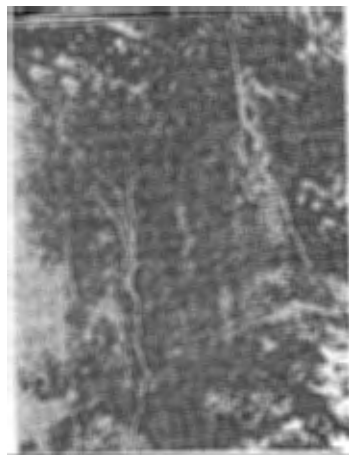


Foto 7: Encontro de pedra comprometido devido à presença de vegetação.



Foto 8: Deterioração do concreto de cobertura do chumbador e sobre a placa de apoio. Corrosão acentuada.

Os problemas que ocorrem devido ao solo estão diretamente

relacionados com a sua movimentação. Pode-se caracterizar basicamente os recalques, a ruptura do solo e a erosão:

a) recalques: a movimentação do solo sobre a fundação por adensamento diferencial produzirá recalques diferenciais. A amplitude destes recalques pode afetar pilares, encontros ou a superestrutura.

Como principais consequências destes recalques pode-se enumerar: fissuração de pilares (principalmente pilares paredes); desnivelamento da ponte (transversal ou longitudinal); introdução de esforços não considerados no cálculo (estruturas hiperestáticas); em casos limites, a ruína da ponte.

b) ruptura do solo: a ruptura do solo fica caracterizada pelo deslocamento relativo, em forma de cunha, de parte do solo sobre uma fundação direta ou um encontro.

Principais consequências: deslocamento de todo o conjunto fundação pilar associada a rotação deste conjunto como corpo rígido; desnivelamento e deslocamento de toda a superestrutura; a progressividade é a característica principal deste tipo de problema; pode levar a ponte à ruína.

c) erosão: a erosão do solo sobre uma fundação é causada basicamente pela presença da água associada a velocidade de percolação.

## 5.2- Aparelhos de Apoio

A ligação da superestrutura com pilares e encontros de uma ponte é feita normalmente por aparelhos de apoio. A função principal destes elementos é transmitir os esforços para pilares e fundações e principalmente reproduzir as condições das vinculações adotadas teoricamente.

Exemplifica-se, a seguir, alguns tipos de deterioração de apoios:

a) Presença de sujeira e detritos: impedimento de deslocamento horizontal em apoios móveis; impedimento ao giro em apoios fixos e móveis; favorecimento da corrosão de chapas do apoio, roletes e chumbadores;

Consequências: alteração do esquema estático considerado; introdução de esforços, algumas vezes significativos, não considerados no cálculo;

b) Movimentação de pilares ou encontro: deslocamentos horizontais dos aparelhos de apoio; rotação acentuada dos aparelhos de apoio fixos e móveis; desnivelamento entre tramos da ponte; desalinhamento entre tramos da ponte;

Consequências: introdução de esforços não considerados no cálculo provenientes da alteração do ponto de reação na superestrutura; concentrações de tensões e plastificações localizadas; aumento do efeito do

impacto; em casos extremos, ruína da ponte.

As fotos, a seguir, ilustram alguns destes tipos de deterioração.

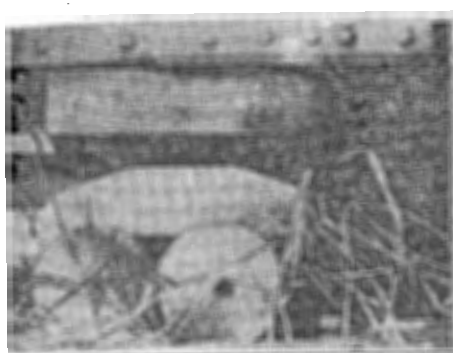


Foto 9: Aparelho de apoio móvel (role-  
tes) com alteração no ponto de reação e  
rotação acentuada.

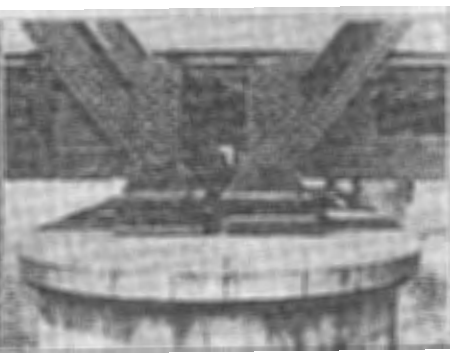


Foto 10: Deslocamento horizontal  
do apoio. Plastificação dos chum-  
badores.

#### 6- MÁ CONSERVAÇÃO DAS VIAS

A deterioração das pontes pode ser causada pela utilização inadequada. Pode-se citar os casos mais frequentes de sobrecargas excessivas em pontes rodoviárias e má conservação da via em pontes ferroviárias.

Sobrecargas excessivas podem provocar: deslocamentos nos elementos estruturais acima do projetado; aumento significativo nas solicitações dos elementos estruturais; deterioração de aparelhos de apoio; em casos extremos, ruína da estrutura.

Má conservação das vias em pontes ferroviárias podem provocar: aumento significativo nas forças geradas pelo impacto (o coeficiente de impacto adotado nas normas técnicas pressupõem que as linhas e trilhos mantêm linearidade e bitola); deslocamento da superestrutura proveniente de forças transversais não consideradas no cálculo; concentração de tensões devido a má distribuição das forças verticais em função do comprometimento dos dormentes; aparecimento de tensões não previstas no cálculo (por exemplo, dormentes apoiados na extremidade da mesa de uma longarina provocando torção).

As fotos 11 e 12 ilustram exemplos do desalinhamento de uma via

ferroviária.

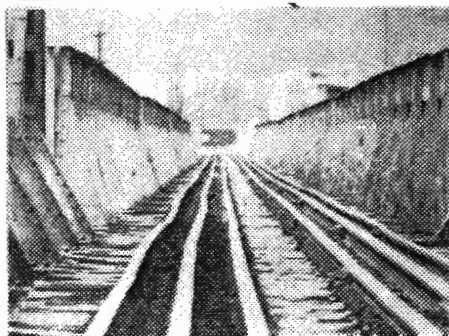
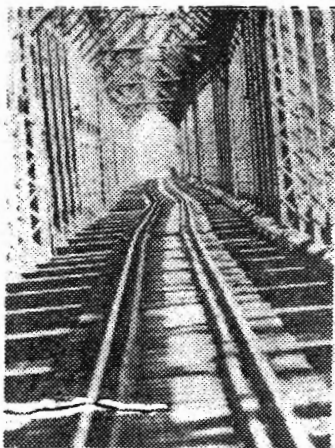


Foto 11 e 12: Desalinhamento dos trilhos sobre pontes.

#### 7- Conclusões

Pode-se concluir, após o relato dos principais tipos de deterioração de pontes, que a ocorrência e degeneração de qualquer elemento estrutural correlaciona-se com os cuidados dispendidos nas manutenções periódicas, na acuidade das inspeções e no projeto inicial da ponte associados a uma utilização condizente com este.

A determinação do tipo de patologia é o principal passo para os trabalhos de recuperação de pontes deterioradas. .

#### AGRADECIMENTOS

O autor agradece os engenheiros Raul O. de Almeida , Construtora Roca, e José Carlos Filizola , CERNE Engenharia.

#### BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN RAILWAY ENGINEERING ASSOCIATION. Steel structures -Chapter 15. In:\_\_\_\_\_. Manual for railway engineering. AREA, 1986.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. Specifications for welded highway and railway bridges. 7th. ed. New York, AWS, 1966. (AWS D2.0-66)
- BRUNGRABER, R.J. & KIM, J.B. Rehabilitation of steel truss bridges using a superimposed arch system. Transportation Research Record, (950) : 146-149, 1984. (Second Bridge Engineering Conference, Minneapolis, v.1)
- FILIZOLA, J.C. Recuperação de pontes de aço. São Carlos, 1989. Notas de aula da disciplina "Tópicos Especiais de Estruturas Metálicas". 92p.

- GONÇALVES, R.M. et alii. Inspeção em ponte de estrutura metálica destinada ao suporte de tubulações de derivados de petróleo da Petrobrás. São Carlos, EESC, 1987. (Relatório de prestação de serviços).
- GONÇALVES, R.M. ; SALES, J.J. ; NIMIR, W.A. Alguns aspectos da deterioração e inspeção de pontes metálicas. In: SEMINÁRIO USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO, 4., São Paulo, 27-29 junho 1989. Anais. São Paulo, EPUSP/PCC, 1989. p.199-211.
- HARDING, J.E. et alii. Bridge management: inspection, maintenance, assessment and repair. London: Elsevier Applied Science, 1990, 797p.
- U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Bridge inspector training manual/90. Washington, D.C., 1991. 586p.