

AVALIAÇÃO DA CORROSÃO DE ARMADURA EM CONCRETO DE UMA PONTE DE 50 ANOS SOBRE O RIO TODOS OS SANTOS EM MINAS GERAIS¹

M.G.Costa²
M.X.S.Carvalho²
R.R.R.Chagas²
C.M.Leite²
R.S.Bergo²
S.S.Andrade²
M.Modesto²
F.A. Paula²
F.Amorim de Paula³
V.F. C.Lins⁴

Resumo

Em 2002, foi iniciado um diagnóstico do atual estado de conservação de uma ponte, construída há 50 anos em Teófilo Ottoni, Minas Gerais, visando sua restauração. A ponte tem apoio central em pilares cujas fundações localizam-se no leito do Rio Todos os Santos. A ponte não apresentou recalques verticais de fundação dos pilares centrais significativos, entretanto apresenta intenso processo de corrosão das armaduras das longarinas laterais, nas seções transversais situadas aproximadamente no meio dos vãos, bem como de trechos da laje e de algumas transversinas. O objetivo deste trabalho é estudar a corrosão das armaduras da ponte, realizando-se a caracterização do aço e dos produtos de corrosão por meio de análise química e metalográfica, difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura acoplada a espectroscopia de energia dispersiva. O aço estrutural é ferrítico, com 0,092 % em peso de carbono, e tamanho de grão entre 7 e 8 ASTM. A análise semi-quantitativa de composição, usando-se espectroscopia de energia dispersiva, da superfície do aço corroído identificou a presença de oxigênio, enxofre e ferro no produto de corrosão. As fases identificadas no produto da corrosão, usando-se difração de raios-X, foram magnetita, Fe_3O_4 , e goetita, $FeO(OH)$.

Palavras-chave: Corrosão de armadura; Ponte; Goetita.

CORROSION OF THE REINFORCED CONCRETE OF A 50 YEARS OLD BRIDGE OVER THE TODOS OS SANTOS RIVER IN MINAS GERAIS

Abstracts

The bridge studied in this work is localized at Getúlio Vargas Avenue, Teófilo Ottoni, Minas Gerais. The bridge was built 50 years ago and shows severe corrosion. A diagnosis of the corrosion process installed in the bridge was initiated in 2002 as the first stage for the complete restoration of the bridge. The bridge has a central support in pillars, which foundation is in the riverbed. The bridge did not show vertical upset of foundation of central pillars, but showed an intense rebar corrosion of lateral longitudinal girders, of transversal sections in the middle of bridge spans, and of the concrete slab and some transversal girders. The aim of this work is to study the rebar corrosion of the 50 years old bridge by using chemical, and metallographic analysis, X-ray diffraction, and scanning electron microscopy with energy dispersive spectroscopy. The steel corroded was ferritic, with 0.092 % wt/wt carbon. The grain size of the steel was between 7 and 8 ASTM. Energy dispersive spectroscopy analysis showed the presence of oxygen, sodium, aluminum, silicon, calcium, and iron on the steel surface, and the presence of oxygen, sulfur, and iron on the surface of corrosion product. The phases identified in the corrosion product were magnetite, Fe_3O_4 , and goethite, $FeO(OH)$.

Key words: Rebar corrosion; Bridge; Goethite

¹ Trabalho apresentado no 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Estudante de Graduação de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Minas Gerais

³ Doutor, Engenheiro Civil, Professor Associado, Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia da UFMG

⁴ Sc.D., Membro da ABM, Engenheiro Químico, Professor Associado, Laboratório de Corrosão e Engenharia de Superfície do Departamento de Engenharia Química da UFMG

1 INTRODUÇÃO

Processos corrosivos em estruturas, pontes e viadutos de concreto têm ocorrido em várias localidades do Brasil, ocasionando riscos à integridade dos usuários dessas construções.⁽¹⁾ Estudos desenvolvidos pelo Departamento de Transportes da Inglaterra constatou, na avaliação de 200 pontes, que 30% delas apresentavam problemas graves de corrosão.⁽²⁾

As armaduras de aço para concreto armado são muito utilizadas na construção civil. A corrosão das armaduras no concreto armado é um fenômeno que só ocorre quando as condições de proteção proporcionadas pelo cobrimento de concreto são insuficientes. É muito importante a caracterização do aço e das condições do meio (concreto) que o envolve para determinação do processo corrosivo e proposição de uma solução para o problema da corrosão.

Cabe ressaltar que o fenômeno da corrosão de armaduras é mais freqüente do que qualquer outro fenômeno de degradação das estruturas de concreto armado, comprometendo-as tanto do ponto de vista estético, quanto do ponto de vista de segurança e sendo sempre dispendioso o seu reparo ou recuperação.

Foi iniciado um diagnóstico, em 2002, da condição estrutural da ponte da Avenida Getúlio Vargas localizada sobre o Rio Todos os Santos, em Teófilo Ottoni, MG. A ponte vistoriada tem apoio central em pilares cujas fundações localizam-se no leito do rio, sendo constituídas por quatro longarinas igualmente espaçadas no sentido transversal, com transversinas distribuídas junto aos encontros da ponte, junto ao apoio central e dividindo o tabuleiro em vãos iguais. No apoio central, as longarinas têm continuidade e apresentam mísulas nos dois vãos adjacentes a este apoio. Junto às margens, as longarinas são simplesmente apoiadas sobre os encontros da ponte. Os tabuleiros são constituídos por lajes que se apóiam na grelha estrutural formada pelas longarinas e transversinas, com projeções (balanços) além das longarinas laterais.

Nas Figuras 1, 2, 3 e 4 são apresentados croquis da ponte com detalhes das seções transversais e alguns detalhes das dimensões dos elementos estruturais. Algumas das dimensões foram verificadas *in loco* e outras foram fornecidas em levantamento realizado por solicitação da Prefeitura. As dimensões básicas da estrutura são:

A=11,10m

B=11,10m

C=13,20m

H1=0,87m

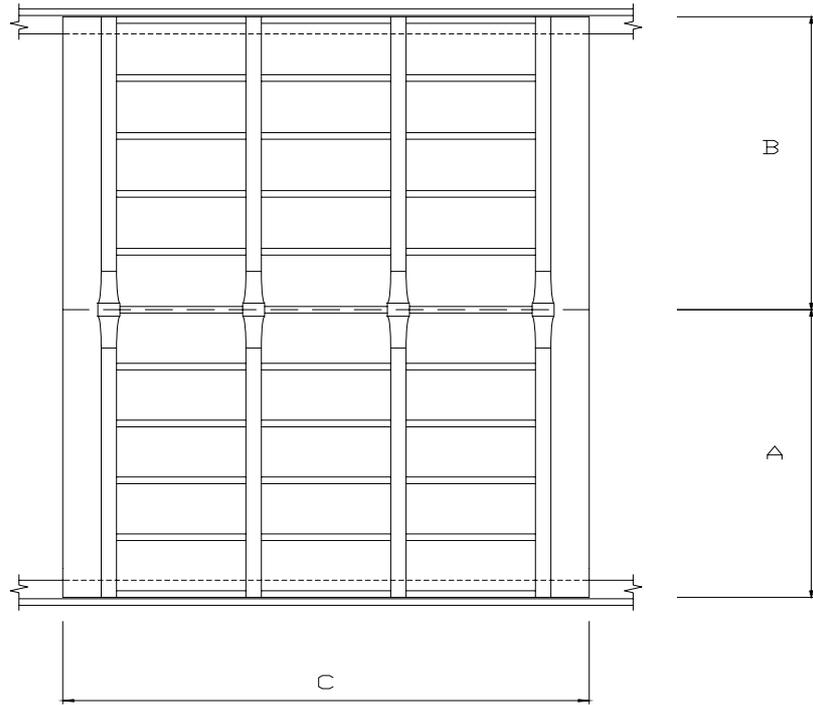


Figura 1 – Forma da ponte

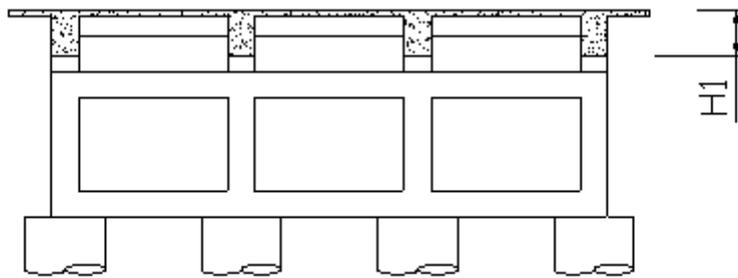


Figura 2 – Corte transversal da ponte

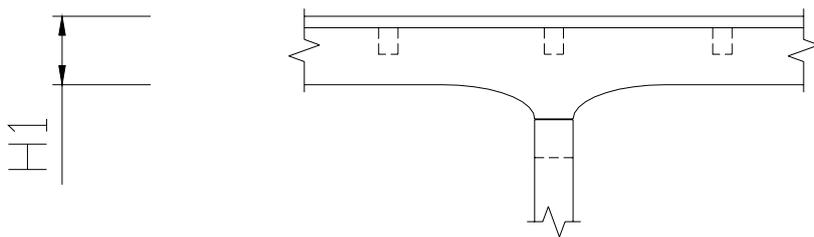


Figura 3 – Vista lateral, com detalhe das mísulas junto ao apoio central

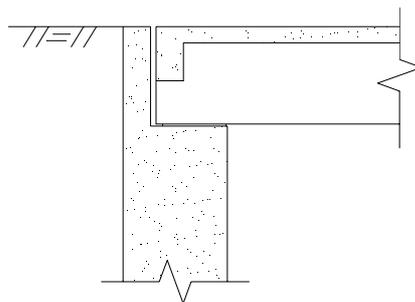


Figura 4 - Detalhe do apoio nas extremidades das pontes

A largura das longarinas na ponte é de 35 cm no vão, com alargamento para 50 cm junto ao apoio central na região das mísulas.

A ponte (Figura 5) não apresentou recalques verticais de fundação dos pilares centrais significativos, entretanto apresenta intenso processo de corrosão das armaduras das longarinas laterais, nas seções transversais situadas aproximadamente no meio dos vãos, bem como de trechos da laje e de algumas transversinas.

Apesar de sinais evidentes do estágio avançado do processo de corrosão que vem destruindo as armaduras e o concreto desta ponte, ela ainda permanece estável sendo, portanto, necessárias providências urgentes para a sua recuperação. A ponte encontrava-se aberta à utilização normal, mas foi recomendada a limitação de tráfego a apenas uma faixa central da ponte, evitando-se carregar as longarinas laterais altamente danificadas.



Figura 5. Ponte sobre o Rio Todos os Santos em Teófilo Ottoni, M.G.

O objetivo deste trabalho é estudar a corrosão das armaduras da ponte com 50 anos de construção, realizando-se a caracterização do aço e dos produtos de corrosão por meio de análise química, metalográfica, difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura acoplada a espectroscopia de energia dispersiva.

2 METODOLOGIA

As amostras utilizadas nas análises foram retiradas de uma viga na ponte que sofreu intensa redução de sua área transversal pelo alto grau de corrosão. Foram tiradas fotos da ponte com o objetivo de se avaliar as regiões de corrosão e a localização da viga em questão.

Foram feitas análises química e metalográfica do aço da armadura, e análise por difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS) da superfície do aço e do produto de corrosão.

A composição química do aço foi determinada por espectrometria de emissão de plasma em um aparelho de especificação ICP-ARL 3410. Foram testados os seguintes elementos: Al, C, Cu, Cr, S, P, Mn, Mo, Ni, Si, Ti e Va.

A análise metalográfica foi feita com seções transversal e longitudinal da viga, para verificar tanto as fases ferro-carbono presentes como também o grau de encruamento do aço e a presença de defeitos.

As análises de difração de raios-X (DRX) das amostras foram realizadas usando-se um difratômetro Philips, tipo PW 1710 com um tubo anódico de cobre, com a tensão e corrente de gerador de raios-X iguais a 40 kV/20 mA, respectivamente. Os feixes de radiação eletromagnética produzidos, filtrados e colimados sobre a amostra, apresentavam um comprimento de onda: $K_{\alpha 1}$ e $K_{\alpha 2}$ iguais a 1,54056 e 1,54439 Å e razão da intensidade relativa entre $K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$ igual a 0,500. A velocidade de varredura foi de 0,060 grau/segundo com intervalo de leitura: 5,02 a 64,96°.

As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS) foram realizadas usando-se um microscópio eletrônico da marca Jeol, modelo JSM 6390^a, acoplado a um espectrômetro de raios-X de energia dispersiva – EDS, marca Noram, modelo TN – M3050, com a finalidade de se realizar uma análise semi-quantitativa de composição da superfície da amostra de aço.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 apresenta a localização da viga na ponte e a Figura 7 apresenta a viga isolada.



Figura 6. Localização da viga na ponte



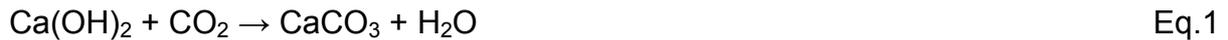
Figura 7. Viga retirada para análise

Observou-se grande redução da área transversal da viga devido à corrosão, sendo que a diferença entre o maior e o menor diâmetros foi de 1,5 cm.

Como a corrosão verificada foi característica de uma corrosão generalizada, e devido às condições climáticas e geográficas do local da ponte, uma hipótese provável é a de carbonatação do concreto.

A redução da alcalinidade das armaduras ocorre essencialmente pela ação do CO₂ do ar, presente na atmosfera urbana a qual a ponte está sujeita. Esse processo é chamado de carbonatação.⁽³⁾

O dióxido de carbono, CO₂, existente no ar ou em águas agressivas, pode se combinar com o Ca(OH)₂, formando o carbonato de cálcio, CaCO₃, insolúvel:



O CaCO₃ diminui o valor do pH para 8,5 - 9, e possibilita a despassivação do aço. Se houver excesso de CO₂, como no caso de águas agressivas, pode-se ter a reação, com formação de bicarbonato de cálcio, Ca(HCO₃)₂, solúvel:



que explica a maior deterioração do concreto, pois a solubilidade do bicarbonato de cálcio é bem maior do que a do carbonato de cálcio (CaCO₃: 13 mg/L; Ca(HCO₃)₂: 1.890 mg/L).^(3,4)

A Figura 8 apresenta a análise metalográfica do aço, obtida usando-se um microscópio óptico.



Figura 8. Análise metalográfica do aço (100X)

Através da análise metalográfica, observou-se que a estrutura do aço era principalmente ferrítica com a presença de perlita, compatível com o teor de 0,09% C do aço (Tabela 1). O tamanho de grão medido foi de 7 a 8 (ASTM).

Tabela 1 – Composição química do aço	
Componentes	Quantidade (%)
Alumínio	0,002
Carbono	0,092
Cobre	0,004
Cromo	0,005
Enxofre	0,052
Fósforo	0,030
Manganês	0,424
Molibdênio	<0,001
Níquel	0,005
Silício	0,176
Titânio	<0,001
Vanádio	0,001

A análise química mostrou se tratar de um aço de baixo teor de carbono, confirmando o resultado da análise metalográfica, se enquadrando na classificação SAE/AISI como um aço 1010. Ressalte-se que o aço estudado apresenta os teores de enxofre e fósforo nos limites máximos permitidos para um aço 1010. Observa-se, ainda, a presença de silício (0,18%), cobre (0,004%) e cromo (0,005%). A Figura 9 apresenta a imagem da superfície do produto de corrosão obtida usando-se a microscopia eletrônica de varredura.

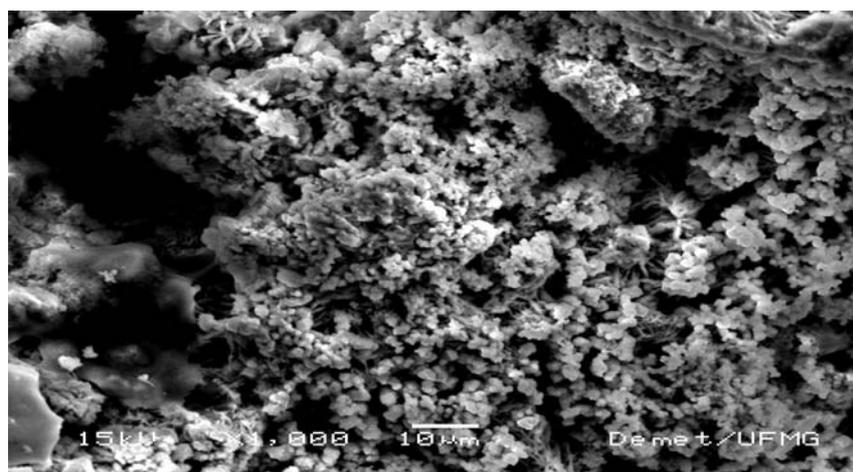


Figura 9. Superfície do óxido- (1000 x)

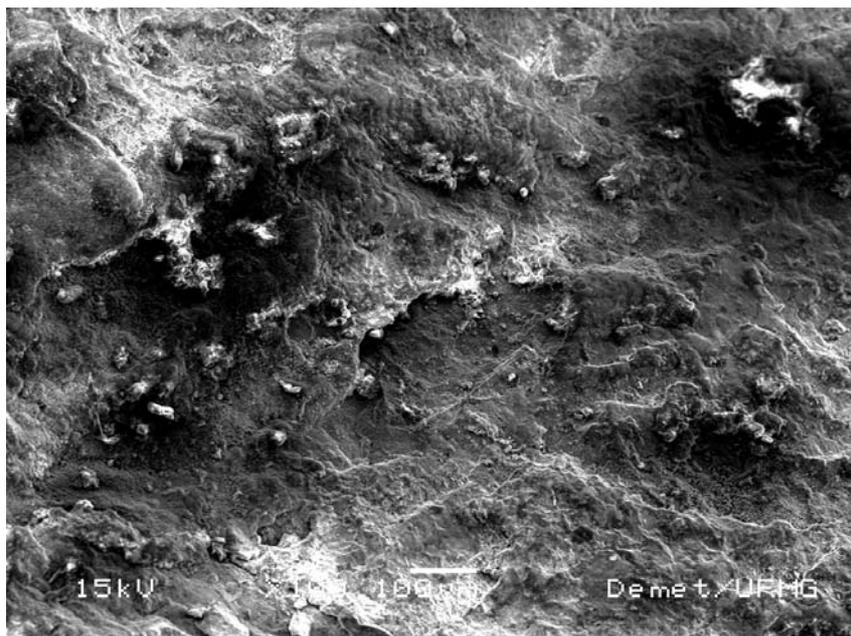


Figura 10. Superfície do aço (100 x)

Os resultados da análise semi-quantitativa de composição da superfície do aço (Figura 10) e da superfície do óxido (Figura 9) são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Análise semi-quantitativa de composição da superfície do aço

Elemento	Porcentagem em peso	Porcentagem atômica
O	44,76	64,55
Na	9,94	9,97
Al	7,37	6,30
Si	6,53	5,36
Ca	5,12	2,95
Fe	26,28	10,86

De acordo com a análise usando-se EDS da superfície do aço, observa-se que a superfície do aço se encontra oxidada, sendo identificados, ainda, os elementos sódio, alumínio, silício e cálcio na superfície da amostra. Os elementos alumínio e silício são constituintes do aço, e a presença de sódio e cálcio se deve provavelmente à uma contaminação da atmosfera do local da ponte.

Tabela 3 – Análise semi-quantitativa de composição do óxido

Elemento	Porcentagem em peso	Porcentagem atômica
O	44,24	72,37
S	4,30	3,51
Fe	51,46	24,11

A análise semi-quantitativa de composição da superfície do óxido usando-se EDS mostra que o produto da corrosão é basicamente óxidos/hidróxidos de ferro, com um menor teor de enxofre.

A análise por difração de raios-X mostrou que os principais produtos de corrosão do aço carbono da armadura foram a magnetita Fe_3O_4 e a goetita $FeO(OH)$. A presença de magnetita no produto de corrosão pode indicar a ocorrência de corrosão do aço antes da exposição da armadura à atmosfera, quando o teor de oxigênio ainda é

reduzido. Após a exposição do aço à atmosfera, devido a deterioração do concreto possivelmente pela carbonatação do mesmo, deve ter se formado a goetita. Uma etapa posterior deste trabalho consiste na análise do concreto em regiões mais externas, próximas à superfície, e mais internamente, para verificação do processo de carbonatação.

A análise do substrato de aço usando-se DRX confirmou a presença majoritária de ferrita como a principal fase do aço.

4 CONCLUSÕES

A porção da armadura da ponte, selecionada para estudo, apresentou corrosão generalizada com significativa redução de sua área transversal, sendo que a diferença entre o maior e o menor diâmetros foi de 1,5 cm.

A análise semi-quantitativa de composição do produto de corrosão da armadura, usando-se EDS, mostrou que o produto da corrosão é basicamente óxidos/hidróxidos de ferro, com um menor teor de enxofre.

Os compostos magnetita Fe_3O_4 e goetita $FeO(OH)$ foram identificados, usando-se difração de raios-X, como os principais constituintes do produto da corrosão da armadura pesquisada.

REFERÊNCIAS

- 1 CASCUDO, O. O. **Controle da corrosão de armaduras em concreto**: Inspeção e técnicas eletroquímicas. Goiânia: Editora UFG, 1997.
- 2 SCHIESSL, P. **Corrosion of Steel in Concrete**. London: Chapman and Hall, 1988.
- 3 GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1996.
- 4 ROSEMBERG, A., GRACE, W. R.; HANSSON, C. M.; ANDRADE, C. Mechanisms of corrosion of steel in concrete. In: SKALNY, J.P. **Materials science of concrete**. Westerville: The American Ceramic Society Inc., 1989. p. 285 -313.