IDENTIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO DA PONTE PRESIDENTE DUTRA.

Anderson Henrique Barbosa^{1*}

* anderhb80@gmail.com

¹ Colegiado de Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale São Francisco, Juazeiro/BA, Brasil

RESUMO

A ponte Presidente Dutra, cuja inauguração data de 1951, une os municípios de Juazeiro/BA e Petrolina/PE, apresenta alguns sinais de que necessita passar por uma avaliação criteriosa de sua estrutura, de forma a serem corrigidas algumas manifestações patológicas desenvolvidas ao longo dos 70 anos de sua construção. Recentemente, esta passou por uma expansão, com acréscimo de duas faixas de rodagem. Função de sua idade, a ponte apresenta diversas manifestações patológicas em toda a sua extensão e vão desde a fundação ao tabuleiro (laje). O objetivo deste trabalho consiste na apresentação das manifestações patológicas observadas nesta ponte, executada em concreto armado e protendido. Manifestações patológicas como corrosão e armaduras expostas nas lajes do tabuleiro, carbonatação, perda do cobrimento foram encontrados nas vigas e lajes. Em relação ao concreto protendido, foram observadas rupturas de cabos de protensão, que gera a redução da capacidade de carga, além do desgaste das bainhas de proteção das cordoalhas, tornando-as susceptíveis à corrosão. Face ao que foi detectado, urge a necessidade de procedimentos de manutenção corretiva, de forma a conservar a vida útil da estrutura e adequá-la as mudanças de carga decorrentes do crescimento da população da região.

Palavras-Chave: Manifestações patológicas; Ponte; Avaliação qualitativa, Concreto armado; Concreto protendido.

1. INTRODUÇÃO

A ponte presidente Dutra, que interliga os municípios de Juazeiro/BA e Petrolina/PE, cuja inauguração data de 1951, sendo a segunda ponte em concreto protendido (concretos com fios ou

cabos de aço especiais de protensão) do Brasil. Um trecho em estrutura de aço formava uma estrutura elevada para passagem de barcos de médio e grande porte.

Diferente do concreto armado, o protendido consiste em um sistema com armaduras são submetidas a um esforço prévio, denominado protensão, gerando um estado de tensões capaz de melhorar a resistência e o comportamento da estrutura sob diversas condições de carregamento.

A primeira tecnologia usual no Brasil é caracterizada por armaduras protegidas por bainhas metálicas, que após a protensão, recebem a injeção de uma calda de cimento, garantindo a aderência da armadura ao concreto. Em 1997, difundiram-se as bainhas plásticas com cordoalhas engraxadas, sem a injeção de calda de cimento. Sendo importante ressaltar que as bainhas (metálicas e plásticas) e a graxa da cordoalha atuam como fatores de proteção aos agentes de corrosão do ambiente (ALVES e SANTOS, 2020).

Uma das preocupações das normas de projeto está diretamente relacionada à durabilidade, manutenção das características da estrutura. Entre as manifestações que acometem as estruturas de concreto, pode-se destacar as fissuras/trincas, corrosão e despassivação de barras, carbonatação, entre outras.

Para Pellizzer (2015), a corrosão das armaduras está diretamente associada à durabilidade de estruturas de concreto e a difusão de cloretos é reconhecidamente um dos fatores de maior importância no desencadeamento do processo corrosivo.

A corrosão das armaduras é resultado da incapacidade do concreto de exercer sua função protetora. A armadura pode perder a proteção oferecida pelo concreto (despassivação), geralmente, através da ação de elementos agressivos contidos ou originários de fontes externas que atuam sobre o concreto, reduzindo a alcalinidade ou rompendo a película protetora (SILVA, 2003).

Para Alves e Santos (2020), a corrosão no aço das estruturas em CP exige maior atenção porque os seus fios possuem diâmetros pequenos, entre 4 e 9 mm, e estão submetidos a grandes tensões. Esses dois fatores combinados em ambiente agressivo, aumenta a sensibilidade do elemento à corrosão, podendo ocorrer um fenômeno chamado corrosão sob tensão.

É evidente, pelo tempo e falta de manutenção, que a estrutura da ponte apresenta alguns sinais de que necessita passar por uma avaliação, de forma a serem corrigidas algumas manifestações patológicas desenvolvidas ao longo dos 70 anos de sua construção.

Este trabalho apresenta o resultado de uma avaliação qualitativa sobre o estado de degradação da ponte presidente Dutra, através de uma investigação técnica *in loco* para avaliar o seu estado de conservação e as manifestações patológicas encontradas.

Esta avaliação levou em consideração o previsto nas normas NBR 6118/2014 e NBR 9452/2012, esta última específica para vistoria em pontes e viadutos.

2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO

São destacadas neste item algumas das manifestações patológicas associadas a estruturas de concreto armado, dentre as principais que foram encontradas na vistoria realizada neste trabalho.

- Desgaste por erosão

Pode ser definida como o desgaste causado pela passagem abrasiva dos fluidos contendo partículas finas suspensas (ANDRADE, 1992).

- Eflorescências

Processo em que o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 é dissolvido e arrastado pela presença de água. Quimicamente, a eflorescência é constituída principalmente de sais de materiais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio) solúveis ou parcialmente solúveis em água. Pela

ação da água da chuva ou da proveniente do solo, o elemento fica saturado e estes sais são dissolvidos (TAGUCHI, 2010).

Para Figueiredo et al. (2016), enquanto a eflorescência primária surge quando a água do processo de mistura do concreto emerge dos capilares, a eflorescência secundária é causada pela água externa que penetra na superfície do concreto.

- Carbonatação

O fenômeno da carbonatação do concreto ocorre devido a exposição a alta concentração do gás carbônico (CO_2), facilmente encontrado nos centros urbanos. O dióxido de carbono atinge os poros do concreto, penetra e dilui-se através da umidade presente na estrutura, assim formando o ácido carbônico (H_2CO_3).

Este ácido reage rapidamente com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), produzindo água e carbonato de cálcio (CaCO_3). O carbonato de cálcio não deteriora o concreto, porém durante a sua formação consome os álcalis da pasta e reduz o seu pH, que está entre 12,6 e 13,5, e que logo após a carbonatação reduz para valores próximos de 8,5, gerando a despassivação do aço, tornando-o vulnerável ao processo de corrosão.

A corrosão será iniciada quando houver umidade (eletrólito), diferença de potencial, agentes agressivos (CO_2 ou fuligem) e oxigênio ao redor da armadura.

- Corrosão das armaduras

O concreto confere ao aço uma barreira física que o separa e o protege do meio ambiente, mas também confere a este uma elevada alcalinidade, que permite formar uma película fina de ferrato de cálcio na superfície do aço, chamada de camada de passivação, mantendo-o inalterado por um tempo indeterminado, desde que o concreto seja de boa qualidade, e que suas propriedades físicoquímicas não se alterem devido às ações externas. A camada de passivação é criada pouco depois do início da hidratação do cimento, sendo constituída de Fe_2O_3 , e adere fortemente ao aço Ferreira (2000 apud CAVACO, 2008).

Para Agra et al. (2016), o aço dentro do concreto é protegido por uma região passivadora, que impede o processo corrosivo, mas quando se reduz o pH para níveis inferiores a 11,5 ou na presença de íons cloretos, dependendo da concentração, pode-se despassivar a armadura e iniciar o processo de corrosão (patologia mais preocupante). Esse mecanismo ocorre através de processo eletroquímico na transformação do ferro metálico em ferrugem ocasionando expansão volumétrica do metal promovendo a demolição do concreto invólucro.

O processo de corrosão, com a expansão das barras como consequência, geram o destacamento da camada de cobrimento (protetora), de maneira a permitir o ingresso de agentes agressivos presentes no meio.

- Trincas e fissuras

Para as trincas e fissuras, que se distinguem pela abertura, nos elementos de concreto armado, podendo-se apontar as originárias de retração, falhas na cura e às devido a sobrecargas, que além de se destacarem por representarem limites de serviço, favorecem a penetração de agentes agressivos que podem acarretar outras manifestações patológicas estruturais.

Além das manifestações acima citadas, pode-se também avaliar a perda da protensão, que pode acontecer devido ao atrito entre os cabos e a bainha, a retração e fluência do concreto, a deformação do concreto, a relaxação das armaduras e os escorregamentos dos fios e ancoragem, no decorrer do tempo durante toda a vida útil da estrutura (CARVALHO, 2012).

3. METODOLOGIA

A ponte Presidente Dutra, objeto de avaliação, apresenta extensão de 800 m sobre o rio São Francisco, interligando os municípios de Juazeiro/BA e Petrolina/PE. A seção de projeto atual da ponte pode ser visualizada nas Figuras 1 e 2.

Figura 1. Seção longitudinal da ponte.

Figura 2. Seção transversal da ponte.

Vista geral da ponte pode ser visualizada nas imagens apresentadas nas Figuras 3, 4 e 5.

Figura 3. Vista da ponte observada no mapa (Google Earth).

Figura 4. Vista geral da ponte.

Figura 5. Vista da parte inferior da ponte.

O vigaamento da ponte é constituído de concreto protendido. Como identificado na Figura 2, as seções intermediárias são executadas com protensão externa, em seções I de concreto armado. Estas são da época da construção. Já as 2 vigas das extremidades, compõe uma expansão da ponte realizada nos últimos 10 anos, sendo composta de concreto protendido com os cabos de protensão internos às vigas de seção I. Neste mesmo período de expansão, pouca ou nenhuma manutenção foi realizada na ponte, sendo os registros aqui realizados posteriormente às obras de expansão.

Para a avaliação das manifestações patológicas, basicamente, foram seguidas as etapas de:

- Vistoria da ponte em toda a sua extensão, da estrutura do tabuleiro e vigaamento de suporte.
- Registro fotográfico das manifestações patológicas encontradas.

Para os casos aqui listados, a avaliação foi qualitativa e destacadas as principais patologias, sendo discutidas os possíveis impactos na capacidade resistente e sua influência nos aspectos funcionais ou estéticos.

Na análise da estrutura da ponte, foi realizado o ensaio de profundidade de carbonatação, utilizando solução de fenolftaleína, para a identificação de alguns pontos mais críticos. Como resultado deste ensaio, caso na profundidade de aplicação observada, após a retirada da amostra, foi borrifado o indicador químico que muda de cor com pH em torno de 9. Essa é uma técnica qualitativa que

indica se o concreto está ou não carbonatado, caso o pH seja maior que 9 ele apresentará coloração rosada com baixo risco de carbonatação. Já quando pH for menor que 9, ele se apresentará incolor com alto risco de carbonatação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pode-se perceber na vistoria o desgaste na parte inferior da laje, onde esta apresenta armaduras expostas e com corrosão. Detalhes desta situação podem ser visualizadas na Figuras 6 a 8. As indicações sobre as causas destas manifestações destacadas são pontos de corrosão, por vezes observados cobrimentos insuficientes, absorção de vapor d'água ao longo do tempo que ajuda no processo corrosivo das armaduras, e algumas quebras por movimentação.

Figura 6. Laje com armadura sem cobertura e com indicio de corrosão.

Figura 7. Outro ponto da laje com armadura sem cobertura e com indicio de corrosão.

Figura 8. Outro ponto da laje com armadura sem cobrimento e com indicio de corrosão.

Como destacado nas Figuras 9 e 10, foram identificados pontos com indicação de eflorescências. Para avaliar a carbonatação de alguns elementos, foi realizado o teste com fenolftaleína a uma profundidade de 3 cm da superfície. Era esperado encontrar nos elementos mais antigos que estes tivessem afetados pela carbonatação, ao contrário dos elementos mais novos, executados durante a expansão, o que foi evidenciado nos testes com a ausência de coloração no teste, visualizado na Figura 11.

Percebe-se que a qualidade do concreto do tabuleiro, assim como das vigas, que a perda do cobrimento, a carbonatação e as eflorescências apontam para a necessidade de intervenção nas peças, para a manutenção da vida útil da estrutura. Por se tratar de uma atmosfera não tão agressiva, fica evidente o processo mais lento da ação do meio.

A ideia de recomposição da estrutura passa pelo tratamento das barras, para conter a corrosão presente, até mesmo a substituição da armadura de determinada área afetada, com a recomposição da camada de concreto.

Em relação ao concreto protendido, já se torna evidente a ruptura de um cabo de protensão ao examinar de longe a ponte e sob a estrutura (Figura 12 e 13).

Figura 9. Trecho da laje com indicação de eflorescência.

Figura 10. Trecho da laje com indicação de eflorescência.

Figura 11. Ponto da estrutura indicando carbonatação do concreto.

Figura 12. Vista da ruptura do cabo de protensão.

Figura 13. Vista da ruptura do cabo de protensão, por baixo da estrutura.

Ao examinar a estrutura, percebe-se que a estrutura nova não apresenta sinais de manifestações patológicas. A estrutura mais antiga, que no proceso de expansão não passou por qualquer proceso de manutenção, é possível observar as seguintes manifestações: cabo de protensão rompido e com afrouxamento (Figura 14 e 15); Desgaste das bainhas, com ressecamento e quebra (Figura 16 e 17).

Figura 14. Cabo de protensão com afrouxamento.

A implicação destes problemas nos cabos de protensão são críticas, pois com a ruptura/relaxamentos dos cabos, ocorre a redução da capacidade de carga estrutural, que pelo tempo em que foi projetada, se apresenta muito superior, pois houve alteração nas cargas principais, que são representadas pelos automóveis e caminhões de transporte.

Com a ruptura e a perda de eficiência dos cabos, em sua maioria, passa-se a ter a necessidade que as vigas de seção I de concreto armado apresentem solicitações para as quais não foram projetadas.

Figura 15. Cabo de protensão rompido na zona de encunhamento.

Em relação ao concreto protendido, reside a principal atenção a ser direcionada. A perda de cabos de protensão, como evidenciado nas Figuras 13 e 14, indica, entre outras coisas, a má conservação da estrutura e a redução da capacidade da carga prevista inicialmente para a estrutura da ponte. Uma análise sobre as cordoalhas, comparando as externas (caso da ponte em análise) e das internas, é que nesta última, em longo prazo, a falha das cabeças de ancoragem tem menos consequências que com cordoalhas externas. Para Mayan Tejedor (2013), com as cordoalhas internas, a força de protensão pode ser transferida ao concreto por aderência. No segundo caso, este tipo de ruptura é mais perigosa porque a falha na cabeça da ancoragem leva a uma perda total de protensão para a cordoalha considerada. Ainda para o autor, nos estados últimos com protensão externa, as falhas com pouco aviso por ductilidade insuficiente são mais usuais que com cordoalhas internas com aderência.

Figura 16. Ressecamento e quebra da bainha de protensão.

Figura 17. Ressecamento e quebra da bainha de protensão.

Uma outra preocupação se relaciona à corrosão do aço, que acontece sob tensão (stress-corrosion), que pelo fato dos cabos que compõe a cordoalha serem de pequeno diâmetro, podem fragilizar a seção da armadura e ocasionar a sua ruptura. Face a isso, dá-se importância às bainhas de proteção. As perdas de protensão consideradas na etapa de projeto não contemplam o seu completo afrouxamento, que indica a perda de protensão no cabo, como destacado no registro da Figura 14. Um outro ponto de destaque se refere a situação das seções que apresentam estas manifestações patológicas encontradas no concreto protendido, pois, como a ponte apresenta idade superior a 70 anos, a capacidade de carga considerada no projeto, mesmo visualizando a expansão das cidades no futuro, talvez não comportem a expansão das cidades face ao crescimento da agricultura irrigada da região, que proporcionou um grande crescimento populacional e aumento na densidade de veículos que trafegam pela ponte nos últimos anos. Neste tocante, carece o projeto de revisão, face que a carga foi aumentada ao longo dos anos, além da evidente necessidade de manutenção corretiva, com o restabelecimento da estrutura de protensão, revisando não só os cabos mas os encunhamentos, a substituição dos cabos rompidos e que estejam em estado de degradação significativa, além do tratamento relativo às vigas de concreto armado.

5. CONCLUSÕES

De posse das avaliações realizadas, pode-se concluir:

- Diversas patologias ao longo da extensão da estrutura foram encontradas, como corrosão acentuada, perda de cobrimento e indícios de carbonatação, principalmente no tabuleiro, tornando-se necessária uma investigação mais detalhada para o estabelecimento da situação de severidade das manifestações patológicas encontradas e suas implicações na determinação de sua vida útil
- Os problemas encontrados em relação à protensão, ruptura e afrouxamento dos cabos, fazem com que haja a redução da capacidade de carga, que vai na contramão do crescimento populacional e do aumento do número de veículos que trafegam na ponte.
- Em relação às bainhas de protensão, o estado em que se encontram inspiram sérios cuidados, pois a sua quebra por ressecamento propiciam que as cordoalhas fiquem sujeitas à ação do meio ambiente, com forte potencial para corrosão, como observado em diversos pontos nas lajes e vigas de concreto armado.

- Em resumo, dada a gravidade do que foi observado, a ruptura dos cabos de protensão reduz a capacidade de carga da ponte, assim como o estado destes cabos, que perdem sua funcionalidade. Além disso, o estado de conservação da parte de concreto armado também preocupa, pela idade e falta de conservação, com a corrosão das armaduras da laje do tabuleiro, que pode gerar algum dano parcial nesta estrutura. Neste tocante é mister que a ponte passe por um criterioso processo de manutenção corretiva, de maneira a conferir a conservação da vida útil da ponte.

6. REFERENCIAS

AGRA, T. M. S.; MONTEIRO, E. B.; ALCÂNTARA, P. S. X.; LIMA, N. M. V.; BURLE, E. C. L. S. Manifestações patológicas em reservatório de Concreto armado por movimentação térmica dos elementos estruturais. Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural – SEMIPAR, UPE, Recife – PE, 2016.

ANDRADE, M. C. Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. Tradução e adaptação de Antônio Carmona e Paulo Helene. 1. ed. São Paulo: Pini, 1992. 104 p. ISBN 85- 7266- 011- 9

ALVES, C. R. M. B.; SANTOS, A. F. C. Estruturas pré-moldadas de concreto protendido – comportamento da estrutura e manifestações patológicas. Revista Boletim do Gerenciamento, n.17, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452 - Vistoria de pontes e viadutos de concreto. Rio de Janeiro, 2012.

CARVALHO, R. C. Estruturas em concreto protendido. Ed Pini, 2012.

CAVACO, J. R. Z. Patologias nas estruturas de concreto armado. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2008.

FIGUEIREDO, A.; COSTA, V.; PEDROZA, T.; SOUZA, L.; SILVA, D. Considerações sobre a água como agente causador das manifestações patológicas em estruturas de concreto. Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural – SEMIPAR, UPE, Recife – PE, 2016.

MAYÁN TEJEDOR, C. Patologias, recuperação e reforço com protensão externa em estruturas de pontes. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

PELLIZZER, G. P. Análise mecânica e probabilística da corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

SILVA, S.J.H. Análise de estruturas de concreto armado sujeitas à corrosão de armadura por cloretos através do método dos elementos finitos. Dissertação (Mestrado em Engenharia), 171f, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

TAGUCHI, M. K. Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações. Dissertação de Mestrado em Construção Civil – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.