



## Recomendações para reabilitação e proteção contra a corrosão de uma ponte metálica de 100 anos de idade (Durgadee) sobre um rio fortemente poluído perto de Mumbai, Índia

S. S. Bhonge<sup>1</sup>, P. Dalwi<sup>2</sup>,  
 J. K. Kulkarni<sup>3</sup>, S. K. Manjrekar<sup>4</sup>  
 \* Autor de Contato: [bhongess@gmail.com](mailto:bhongess@gmail.com)  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i2.476>

Recepção: 09/12/2019 | Aceitação: 15/04/2020 | Publicação: 30/04/2020

### RESUMO

Este artigo descreve a proposta de reabilitação, metodologia de avaliação de perda de capacidade resistente e prováveis medidas corretivas para uma ponte metálica de 100 anos de idade no rio Ulhas, perto de Mumbai. A ponte foi construída no ano de 1914, durante a era britânica, agora como ponte histórica, uma vez que foi construída com arranjo estrutural exclusivo de decks em arco e viga vertical treliçada. Após uma inspeção estrutural em 2000, foi revelada a deterioração dos elementos de aço e concreto iniciadas há muito tempo por causa da atmosfera úmida e da poluição na área. A ponte Durgadee mostrou vários sinais de deterioração da sua estrutura, como grandes fissuras nos pilares de alvenaria, corrosão avançada dos elementos metálicos estruturais, não funcionamento das juntas de dilatação e aparelhos de apoio, falha das chapas metálicas do deck em arco, deslocamento do concreto e armadura exposta. O documento discute recomendações para reabilitação e proteção contra corrosão. **Palavras-chave:** proteção contra corrosão; reabilitação; perda de capacidade resistente; estrutura de aço; LCNR.

**Citar como:** Bhonge, S. S., Dalwi, Pradeep, Kulkarni, J. K., Manjrekar, S. K. (2020), “Recomendações para reabilitação e proteção contra a corrosão de uma ponte metálica de 100 anos de idade (Durgadee) sobre um rio fortemente poluído perto de Mumbai, Índia”, Revista ALCONPAT, 10 (2), pp. 259 – 273, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i2.476>

<sup>1</sup> The Superintending Engineer, Designs Circle (BR), P.W.D., Govt of Maharashtra, India.

<sup>2</sup> Executive Engineer, PW Division Thane, India.

<sup>3</sup> Retired Executive Engineer, MIDC, Govt of Maharashtra, Mumbai, India.

<sup>4</sup> Director, Sunanada Speciality coatings, Mumbai, Hon. Member ACI India, India.

### Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Website: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT International A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2021, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 2020.

## **Recommendations for rehabilitation and corrosion protection of a 100-year-old steel bridge (Durgadee) across heavily polluted river near Mumbai, India**

### **ABSTRACT**

This paper describes the rehabilitation proposal, methodology of evaluation of distress and likely remedial measures for 100 years old steel bridge on Ulhas river, near Mumbai. The bridge is constructed in year 1914 during British era apparently now heritage bridge as it was constructed with unique structural arrangement of jack arch decking and warren truss girder with verticals. After structural audit in 2000, it revealed the deterioration of steel parts and concrete initiated long back because of humid atmosphere and pollution in the area. Durgadee bridge showed various signs of bridge distress like major cracks in masonry abutments, heavy corrosion of Mild Steel (MS) structural members, non -functioning of expansion joints and bearings, failure of jack arch roof plates, de-bonding of concrete and exposed reinforcement etc. Paper discusses recommendations for rehabilitation and corrosion protection.

**Keywords:** corrosion protection; rehabilitation; distress; steel structure; LCNR

## **Recomendaciones para la rehabilitación y protección contra la corrosión de un puente de acero de 100 años de antigüedad (Durgadee) sobre un río muy contaminado cerca de Mumbai, India**

### **RESUMEN**

Este artículo describe la propuesta de rehabilitación, metodología de evaluación de daño y las posibles medidas correctivas para el puente de acero de 100 años en el río Ulhas, cerca de Mumbai. El puente se construyó en el año 1914 aparentemente durante la era británica, ahora puente patrimonio ya que se construyó con una disposición estructural única de cubierta de arco plano y vigas de celosía con verticales. Después de una auditoría estructural en el año 2000, se reveló el deterioro de las piezas de acero y concreto iniciado desde hace mucho tiempo debido a la atmósfera húmeda y la contaminación en el área. El puente Durgadee mostró varios signos de daño como grietas importantes en los pilares de mampostería, corrosión intensa de los miembros estructurales de acero dulce (MS), disfuncionalidad de las juntas de expansión y los cojinetes, falla de las placas de techo del arco plano, desprendimiento de concreto y refuerzo expuesto, etc. El artículo discute recomendaciones para rehabilitación y protección contra la corrosión.

**Palabras clave:** protección contra la corrosión; rehabilitación; daño; estructura de acero; LCNR.

### **ABREVIACÕES E ACRÔNIMOS:**

IRC: Indian Road Congress, an organization in India controlling road and bridge design standards.  
 Ponte Histórica: Estrutura reconhecida pelo governo estadual por seu significado histórico e estético.

PWD: Departamento de Obras Públicas do Governo do Estado responsável pela construção e manutenção da infraestrutura.

MPCB: Conselho de Controle de Poluição do Estado de Maharastra, que monitora a poluição.

LCNR: Revestimento de proteção á base de tecido de nylon de cadeia longa.

IRC: Indian Road Congress, uma organização na Índia que controla as normas de projeto de rodovias e pontes.



## 1. INTRODUÇÃO

Este artigo descreve a necessidade de reabilitação, metodologia de avaliação de perda de capacidade resistente e prováveis medidas corretivas para ponte metálica com 100 anos de idade (também conhecida como ponte Durgadee) no rio Ulhas no km 1/800 na estrada Bhiwandi, Kalyan, perto de Mumbai.

A ponte foi construída no ano de 1914, durante a era britânica, agora como ponte do patrimônio histórico, uma vez que foi construída por engenheiros britânicos com um arranjo estrutural exclusivo de decks em arco e viga treliçada vertical. A ponte é uma estrutura de aço com dois pilares preenchidos com concreto com a superestrutura em aço, que consiste em uma chapa em arco para suporte do tabuleiro.

Estruturas de aço em atmosfera severa devem enfrentar uma variedade de cargas ambientais. Embora vários processos a deteriore, o ataque químico ainda representa sérios desafios e problemas para muitas estruturas de aço importantes. O rápido desenvolvimento da tecnologia nos últimos anos facilitou o controle desses processos em deterioração.

O aço estrutural oferece várias vantagens:

**Alta resistência:** a tração de escoamento do aço em tração e compressão é quase a mesma, o que nos ajuda no uso do aço em pontes de grandes vãos e estruturas altas.

**Durabilidade:** essa propriedade do aço permite deformações sucessivas sem perda significativa de resistência e rigidez, incluindo resistência a intempéries.

**Pré-fabricação:** as peças de aço são produzidas em fábrica sob rigorosa supervisão e controle de qualidade, devido a isso há uma variação muito menor nas propriedades do material. O material pode ser transportado no local e montado, o que ajuda na construção rápida, garantindo melhor qualidade.

**Demolição:** a estrutura de aço pode ser desmontada e reutilizada, se necessário. Pode ser reciclada facilmente, reduzindo o desperdício. Até os reparos e retrofits da estrutura de aço e seu reforço são muito mais simples e fáceis do que a estrutura de concreto.

**Limitações:** a estrutura de aço é suscetível à corrosão quando exposta ao ar e à água.

Embora o aço estrutural não seja combustível, eles perdem sua resistência rapidamente durante o incêndio.

Esteticamente, a estrutura de aço não dá uma aparência agradável. O custo da estrutura de aço é maior do que a do concreto

A escolha por uma ponte metálica é governada por:

- Área de seção transversal, para resistir à tração ou compressão.
- Módulo de seção para resistir a esforços de flexão e cisalhamento.
- O raio de rotação para fornecer rigidez à flambagem na compressão

## 2. CENÁRIO GERAL- INDIANO

A Índia é o lar de várias características geográficas, como rios, montanhas, vales, planícies, longas praias, desertos e terrenos planos. A Índia é o sétimo maior país do mundo e cobre uma área total de 3.287.263 km<sup>2</sup>. A costa do país se estende por 7.517 km.

A Índia possui uma das maiores redes de rodovias do mundo, com cerca de 59 lakh km de rodovias, incluindo Rodovias Nacionais (NHs), Rodovias Expressas, Rodovias Estaduais, Rodovias Distritais, Outras Rodovias Distritais e Rodovias de vilas. Na Índia, a infraestrutura rodoviária é usada para transportar mais de 60% do total de mercadorias e 85% do tráfego total de passageiros. A Índia inventariou mais de 4 lakh pontes / estruturas construídas por vários órgãos do governo.

As pontes nas áreas costeiras foram construídas diante de vários fatores adversos, como dificuldade de fixação da via na água, requisitos de navegação, alinhamentos de aproximações, problemas de



fundação, condições salinas, dificuldade de construção da superestrutura e bancos de aproximação, requisitos de navegação. Estes, por sua vez, às vezes exigiam pontes com vãos longos envolvendo procedimentos sofisticados de construção. As fundações eram geralmente profundas nas pontes do riacho e a água parada representava um grande problema na construção.

Devido ao extraordinário aumento nas densidades de tráfego, principalmente nas principais cidades do estado e nos arredores, o governo empreendeu um programa de construção de viadutos, passagens inferiores e rodovias de desvio. Porém, antes da decisão de uma nova construção, é dada prioridade à reabilitação e ao retrofit da ponte existente. Como a ponte Durgadee superou e comprovou sua durabilidade devido ao seu arranjo estrutural robusto. A Ponte, após a reabilitação, pode atuar como desvio para LMV (veículos leves e médios) e usuários da cidade na cidade de Kalyan.

### 3. CENÁRIO ATUAL DA PONTE DE DURGADEE

Kalyan fica perto de Mumbai e é um local histórico e era um famoso Trade Center devido à costa do riacho de Kalyan. Existe um forte conhecido como forte Durgadee ao lado da ponte, com cerca de 400 anos. Da mesma forma, Bhiwandi é um local de Taluka e um importante centro comercial histórico. No início do século XIX, o governo britânico decidiu conectar Kalyan e Bhiwandi por uma ponte de aço sobre o rio Ullas, perto do forte Durgadee. A construção da ponte começou em algum lugar em 1908 e foi comissionada em 1914. (Local da ponte: 19 ° 14'43 "N 73 ° 6'59" E)

- **Pilares:** são pilares de alvenaria de ambos os lados, porém o pilar do lado de Bhiwandi parece estar em condições muito perigosas e precisa ser substituído.
- **A ponte** consiste em 10 vãos de 36m, com um comprimento total de 360m, com arranjo de treliça. Superestrutura e decks: existe um sistema de tabuleiro sobre arco apoiado na viga da longarina para todos os 10 vãos. Sinais da camada de rolamento mostram que há necessidade imediata de substituição. As juntas de dilatação da ponte estão completamente danificadas e bloqueadas.
- **Pavimento:** Há uma necessidade imediata de demolir o pavimento betuminoso, removendo a limpeza dos detritos no aparelho de apoio da ponte e sobre o arco. A condição das chapas de aço do arco tipo Jack, devido à corrosão, será visível somente após a remoção do pavimento e das camadas abaixo dele. O mapeamento de perda de capacidade resistente da superestrutura é necessário, expondo um ou dois vãos após a demolição do pavimento.
- **Aparelhos de apoio:** o tipo de aparelho de apoio é do tipo esférico e não é visível devido a muitos detritos depositados no local do aparelho de apoio. O arranjo dos aparelhos de apoio oscilantes / roletes não funciona devido à falta de manutenção.
- **Subestrutura:** Consiste em pilares de aço vazados preenchidos duplamente com concreto e amarrados com braçadeiras cruzadas.
- **Fundação da ponte:** Consiste na fundação de estacas com revestimentos de aço. O revestimento MS na zona de respingo, ou seja, a porção entre os níveis de água alto e baixo, mostra corrosão extrema.
- **Dispositivos atuais de proteção contra corrosão:** Nenhuma proteção é dada às superfícies expostas contra corrosão/carbonatação e outras poluições atmosféricas.

Além disso, causas gerais de perda de capacidade resistente da estrutura, a seguir expostas, desempenharam papel importante em danificar a estrutura e reduzir a vida útil.

Após uma inspeção estrutural em 2000, revelou a deterioração de peças de aço e concreto iniciadas há muito tempo por causa da atmosfera úmida na área de Kalyan, carbonatação de concreto, entrada de cloretos, lixiviação e ataque de sulfato, que levam à corrosão e, finalmente, à redução da vida útil de estrutura. A ponte está fechada para o tráfego desde 2001. A Figura 1 mostra o mapa do Google da ponte.

Recomendações para reabilitação e proteção contra a corrosão de uma ponte metálica de 100 anos de idade (Durgadee) sobre um rio fortemente poluído perto de Mumbai, Índia

Bhonge, S. S., Dalwi, Pradeep, Kulkarni, J. K., Manjrekar, S. K.



Qualquer estrutura de ponte, durante sua vida útil, estará sujeita a alterações químicas e físicas. Uma estrutura durável é aquela em que essas alterações ocorrem a uma taxa mais lenta, o que não afeta negativamente seu desempenho na vida útil prevista. De acordo com as normas indianas e outras normas contemporâneas, as estruturas de aço são projetadas para uma vida útil livre de manutenção de 60 a 100 anos. No entanto, as várias estruturas dentro e ao redor da área de Mumbai mostram severa deterioração (ou falha em muitos casos) dentro de um período muito curto devido ao ambiente agressivo e à umidade da atmosfera. No presente caso, o ambiente geralmente agressivo adicionado pela água poluída do rio Ulhas está desempenhando papel importante na deterioração.

Com base nos estudos, a água do rio não pode ser considerada adequada, mesmo para fins de irrigação. O teor de cloreto no efluente das águas residuais estava com um valor médio de 1.377 mg/L. Os resultados indicam que o teor de cloreto está muito acima do limite aceitável de 200 mg / L estabelecido pela OMS. Os resultados indicaram alto nível de poluição devido a metais pesados tóxicos como cromo (Cr), cádmio (Cd), níquel 6 (Ni), zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb) e Ferro (Fe). Verificou-se que a concentração de todos esses metais pesados estava muito acima do nível de toxicidade aguda.

Devido à forte poluição no rio Ulhas, à água e à umidade devido à proximidade da beira-mar, a condição da ponte está muito deteriorada. Há forte corrosão nos elementos de aço usados na estrutura. A estrutura deve ter sido projetada para a água do rio normal em 1914. No entanto, é visto que a cor da água do rio é escura, o que pode ser devido à mistura de águas residuais das áreas urbanas circundantes e de resíduos industriais. A água do rio contém produtos químicos orgânicos e inorgânicos, além de vários gases como H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e NH<sub>3</sub> etc., formados devido à decomposição do esgoto. Isso leva a uma deterioração mais rápida da estrutura de aço e concreto.



Figura 1. Google maps da ponte.

#### 4. PERDAS DE CAPACIDADE RESISTENTE RELATADAS NA PONTE DE DURGADEE

A ponte Durgadee mostrou vários sinais de perda de capacidade resistente:

Recomendações para reabilitação e proteção contra a corrosão de uma ponte metálica de 100 anos de idade (Durgadee) sobre um rio fortemente poluído perto de Mumbai, Índia

Bhonge, S. S., Dalwi, Pradeep, Kulkarni, J. K., Manjrekar, S. K.



- Pequenas a grandes fissuras nos pilares de alvenaria de ambos os lados. O pilar do lado de Bhiwandi está em condições perigosas a ponto de ceder.
- Não funcionamento de juntas de dilatação e Aparelhos de apoio.
- Corrosão avançada dos elementos estruturais do MS. No entanto, houve perda de seção de até 3 mm devido à corrosão em menos de 10% da área.
- Vazamentos no tabuleiro perto de Aparelhos de apoio.
- Falha e deterioração das chapas dos arcos tipo Jack, bem como para o preenchimento de concreto acima dela, incluindo o pavimento.
- Desplacamento do concreto e armadura exposta no concreto abaixo do pavimento.

O Departamento de Transportes do Estado (PWD) já interrompeu o tráfego de veículos na ponte desde 2001.

## 5. PROJETO DE REFORÇO / ETAPAS PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO E REPARO

Todo o programa de restauração desta ponte pode ser dividido nas seguintes partes.

### 1. Estudo de registros antigos relacionados à ponte

- Verifique o projeto estrutural original realizado pela PWD, especificações de materiais usados durante o período de construção.
- Estudo de restauração, reparo realizado por PWD de tempos em tempos no passado.
- Mapeamento detalhado, dimensões e preparação de desenhos detalhados para a estrutura da velha ponte com a ajuda do Drone e levantamento físico. Incluirá o uso de pesquisa por drone para a preparação de desenhos em CAD automático e desenho cotado, que serão necessários para modelagem e análise estrutural.

### 2. Inspeção

A ponte metálica será inspecionada com o objetivo de identificar quaisquer defeitos que possam estar presentes na estrutura e estabelecer causas para esses defeitos. Os defeitos que provavelmente afetarão a resistência, a segurança ou a capacidade de manutenção de uma ponte estão planejados para atender como parte do ciclo de trabalho de reparação e manutenção.

- Fotografias (recentes e históricas); Os relatórios de inspeção mais recentes; Histórico de manutenção recente.
- Cálculos de resistência e classificação. O levantamento das condições da ponte levará à estimativa da vida útil residual da estrutura.
- Uma inspeção visual cobrirá sistematicamente toda a superfície da estrutura de aço de perto, dando atenção especial às áreas.
- Os seguintes assuntos são críticos para o sucesso de uma inspeção de ponte de aço:
- Anotações detalhadas devem ser feitas sobre a condição do revestimento protetor em todas as partes da estrutura usando um método padrão de avaliação
- Sinais de manchas de ferrugem devem ser observados ao redor das cabeças dos parafusos. Isso pode indicar que eles estão soltos.
- Parafusos que não estão em conformidade com as normas adequadas de instalação devem ser observados.
- O parafuso ou rebite mais alto carregado em uma junta deve ser cuidadosamente examinado em áreas que se espera sejam suscetíveis à fadiga.
- A presença de uma suspeita de fissura deve ser confirmada por ensaios não destrutivos, é provável que as técnicas de penetração de corantes e partículas magnéticas sejam usadas

em primeira instância. Métodos radiográficos e ultrassônicos também podem ser utilizados para casos específicos.

- Deformações e distorções geralmente aparecem como fissuras ou deslocamentos. As medições de quaisquer desvios significativos da linha verdadeira devem ser registradas.
- A localização e descrição de todos os defeitos devem ser metodicamente registradas para permitir uma avaliação adequada de seus efeitos e subsequente monitoramento ou reparo.

### 3. Estudo de parâmetros de corrosão relacionados a vários componentes da ponte que possuem corrosão mapeada.

### 4. Vários tipos de END (Ensaio Não Destrutivo) para avaliar os danos

### 5. Ensaio da água do rio.

### 6. Planejamento para plataforma de trabalho para trabalho de mão de obra e máquinas

Plataforma suspensa ou suspensa será necessária para trabalhar abaixo do intradorso. Desenhos detalhados serão preparados para os casos acima, considerando a situação do local e a metodologia de reparo. O pontão idealmente flutuante com bote junto com a máquina do guincho será muito útil para a rápida execução do trabalho. A Figura 2 é uma foto da ponte que mostra a localização da junta de dilatação e dos Aparelhos de apoio.

### 7. Avaliação subaquática da parte da subestrutura e fundação

Esta avaliação inclui mapeamento de perda de capacidade resistente. Tipos especiais de câmeras e mergulhadores certificados serão necessários devido ao fato da água ser turva devido à poluição. Isso envolverá videografia subaquática e tirar fotografias e detalhes da pesquisa de envio em cópias eletrônicas e relatório de status da pesquisa subaquática. O número total de pilares a serem pesquisados será de 9 pilares da ponte.



Figura 2. Foto da ponte que mostra o local do aparelho de apoio e junta de dilatação



## 8. Avaliação de defeitos

Todos os defeitos observados influenciarão a resistência ou facilidade de manutenção da ponte. Defeitos que reduzem a capacidade ou a durabilidade da ponte exigem ações corretivas. O objetivo da avaliação é determinar o significado relativo de cada defeito, para que a capacidade de carga da ponte possa ser reavaliada e para que qualquer trabalho de reparação necessário possa ter a devida prioridade. A avaliação também ajudará a determinar estratégias futuras para manutenção ou substituição.

A avaliação do efeito de alguns defeitos que requerem uma compreensão completa do comportamento da estrutura em questão. A interação dos elementos de transporte de carga primários e secundários, o efeito de juntas imperfeitas com pinos e a possível presença de caminhos de carga alternativos precisam ser apreciados. É necessário um entendimento básico da fadiga do metal e da mecânica da fissura para avaliar problemas dessa natureza.

## 9. Análise de fatores para decidir a metodologia de reabilitação / reforço

O reparo estrutural e a manutenção da estrutura de aço incluem a substituição e manutenção de revestimentos de proteção, reparo de elementos corroídos, substituição de elementos danificados e fixações defeituosas e trabalhos de reparação associados à fissura por fadiga. Esses problemas foram identificados durante o processo de inspeção e avaliação.

O comportamento à fadiga é muito influenciado pela presença de concentrações de tração, como buracos, soldas, mudanças bruscas de forma, fissuras ou outros defeitos.

## 10. Avaliação da vida útil e classificação da ponte

- a) Avaliação da vida residual e classificação da ponte de acordo com a análise do projeto antes e depois da reabilitação.
- b) Avaliações para melhorar a vida útil residual em cerca de 15 a 20 anos.
- c) Avaliar a classificação de carga existente que pode variar de 30 R a 60 R para decidir a adequação da ponte ao tráfego de veículos.

## 11. Plano de ação para proteção contra corrosão

A avaliação detalhada do material corroído deve ser realizada por ensaios de laboratório no TIC (Instituto de Tecnologia Química), Matunga Mumbai, Índia e ensaios metalúrgicos de aço no Departamento Metalúrgico, IIT (Instituto de Tecnologia Indiano) Powai Mumbai, Índia.

Planeje as várias tecnologias e materiais disponíveis para reparo e sua metodologia com referência à consideração econômica. Sistema de proteção contra corrosão para proteger a ponte por mais 25 anos, incluindo o sistema de ânodo de sacrifício para evitar a corrosão adicional e sua ação prejudicial.

## 12. Seleção de medidas adequadas de reparo, restauração e reabilitação para várias estruturas.

# 6. METODOLOGIA PROPOSTA: RECURSOS SALIENTES E PARÂMETROS A CONSIDERAR

### 6.1 Reparo das vigas de aço

A Figura 3 é uma foto da ponte mostrando a estrutura do tipo treliça. O trabalho de reparar vigas de aço construídas restaurando ou substituindo elementos danificados ou deteriorados inclui, entre outros, o fornecimento de suportes temporários para elevação; modificação de vigas para aceitar cargas de elevação; apoiar ou reduzir temporariamente as cargas transportadas por vigas; desconectar ou remover elementos de vigas, removendo parafusos ou rebites; furos de perfuração

Recomendações para reabilitação e proteção contra a corrosão de uma ponte metálica de 100 anos de idade (Durgadee) sobre um rio fortemente poluído perto de Mumbai, Índia

Bhonge, S. S., Dalwi, Pradeep, Kulkarni, J. K., Manjrekar, S. K.



e alargamento; retificação para fornecer acabamento ou tolerâncias necessárias em superfícies de aço; fazer pequenos reparos nos conveses da área de trabalho; montagem de elementos reparados ou substituídos e itens incidentais por soldagem ou parafusos de alta resistência à tração; e preparar superfícies danificadas ou deixadas nuas pelo trabalho e aplicar uma camada de tinta de primeira qualidade.



Figura 3. Foto da ponte que mostra o tipo estrutura metálica.

### 6.2 Falha no revestimento de proteção

É raro um revestimento protetor durar mais que a vida útil da estrutura. A quebra da tinta ou a perda de qualquer revestimento é inevitável e deve ser antecipada. Isso geralmente resulta de condensação e pode ser aumentado pela absorção de umidade por sais do vento em áreas não sujeitas a lavagem com chuva. A acumulação de detritos, excrementos de pássaros, lascas de tinta, etc. reterá a umidade e promoverá a corrosão.

Além da eventual falha de um sistema de revestimento por intemperismo, a falha prematura pode resultar de:

- Perda de aderência do revestimento devido a especificação ou aplicação defeituosa;
- Incompatibilidade de casacos sucessivos;
- Ferrugem subterrânea devido à preparação inadequada da superfície e / ou tinta de aplicação;
- Falha localizada devido a danos mecânicos;
- Construção inadequada de filme em bordas afiadas, soldas e áreas de sombra de tinta.

### 6.3 Perda de seção

Onde o revestimento protetor não foi mantido ou uma área do revestimento danificado não foi reparada, geralmente ocorre corrosão, resultando em uma perda de seção. A taxa de corrosão depende em grande parte da proximidade da ponte com a costa.

A corrosão também pode ser acelerada pelas seguintes situações:

- Presença de fissuras.
- Diferentes metais em contato.
- Penetração de umidade.
- Concentração de sais por evaporação; ferrugem e detritos.



- A perda de seção também pode resultar do desgaste dos pinos ou abrasão mecânica, onde os elementos possuem contato.

#### **6.4 Conexões frouxas ou com defeito**

Seja operando em cisalhamento ou em uma junta de atrito, as conexões devem ser instaladas adequadamente para funcionar corretamente. Às vezes, devido a vibração excessiva, esforço excessivo, corrosão ou instalação inadequada, as conexões podem se soltar e devem ser substituídas.

Problemas específicos tipicamente associados a vários tipos de conexões são:

- Parafusos de aço macio tendem a corroer rapidamente se o revestimento protetor não estiver intacto. Esse tipo de parafuso também pode se soltar com vibração, a menos que sejam fornecidas arruelas ou contraporcas adequadas;
- Parafusos de alta resistência também corroem, a menos que o revestimento protetor seja mantido. Parafusos galvanizados geralmente são melhores do que o aço pintado de preto. Os parafusos com torque incorreto afrouxam e os parafusos que foram instalados através de flanges altamente cônicos sem arruelas adequadamente cônicas podem flexionar e ficar sobrecarregados.

#### **6.5 Fissuras**

A fissura de qualquer componente da ponte é potencialmente grave e precisa ser minuciosamente investigada. As fissuras nos elementos da ponte de aço podem ser causadas por fadiga do metal, fragilização, danos por impacto ou defeitos de fabricação, como falhas de aparelho de apoio, e podem se estender com o tempo. É provável que as fissuras estruturais tenham começado em concentrações óbvias de tração, como um orifício de parafuso ou rebite, extremidades de soldas, mudanças bruscas de seção ou cortes e entalhes.

As fissuras por fadiga podem não se tornar óbvias até que um elemento tenha sido sujeito a muitas reversões ou flutuações de tensões.

#### **6.6 Impacto dos danos**

Danos acidentais nos elementos da ponte devido ao impacto do veículo são um assunto sério e precisam ser investigados imediatamente. Os danos óbvios geralmente terão a forma de elementos dobrados e distorcidos e fixações com excesso de tração.

#### **6.7 Deformações e distorções**

A resistência de um membro estrutural às forças de compressão é consideravelmente reduzida se os componentes forem curvados ou distorcidos fora do plano. Os elementos elásticos podem agir imprevisivelmente. Deformação e distorção podem ocorrer como resultado de:

- Danos acidentais.
- Sobretração axial.
- Cisalhamento excessivo em abas finas.
- Aparelhos de apoio restritos.
- Provisões inadequadas para dilatação.
- A liquidação da subestrutura também pode causar distorção nos elementos.

As deformações fazem com que os elementos projetados para a tração sejam forçados a receber cargas compressivas.



### 6.8 Defeitos de fabricação

Apesar das especificações rigorosas e das rigorosas tolerâncias de fabricação com as quais os componentes estruturais são laminados e formados, os defeitos de fabricação e montagem podem e chegam até as estruturas concluídas.

As falhas no aparelho de apoio podem aparecer como delaminação, fissuras, bolhas, cavidades ou inclusões, além de deformação fora da tolerância ou falta de esquadria.

### 6.9 Falhas no detalhamento

Lamentavelmente, os defeitos podem aparecer em uma estrutura de ponte devido a um projeto, detalhamento e especificação inadequados. Nesta categoria são encontrados detalhes como:

- O corte abrupto das flanges da seção de aço nos elementos de tração.
- Excentricidades excessivas (tanto no plano quanto fora do plano) nas interseções de juntas.
- Provisão inadequada para rotação.
- Má disposição de drenagem.
- Corte de soldas em locais inadequados.

Às vezes, defeitos de fabricação e falhas de projeto podem ser percebidos através de um tour por drone, conforme ilustrado na figura 4.

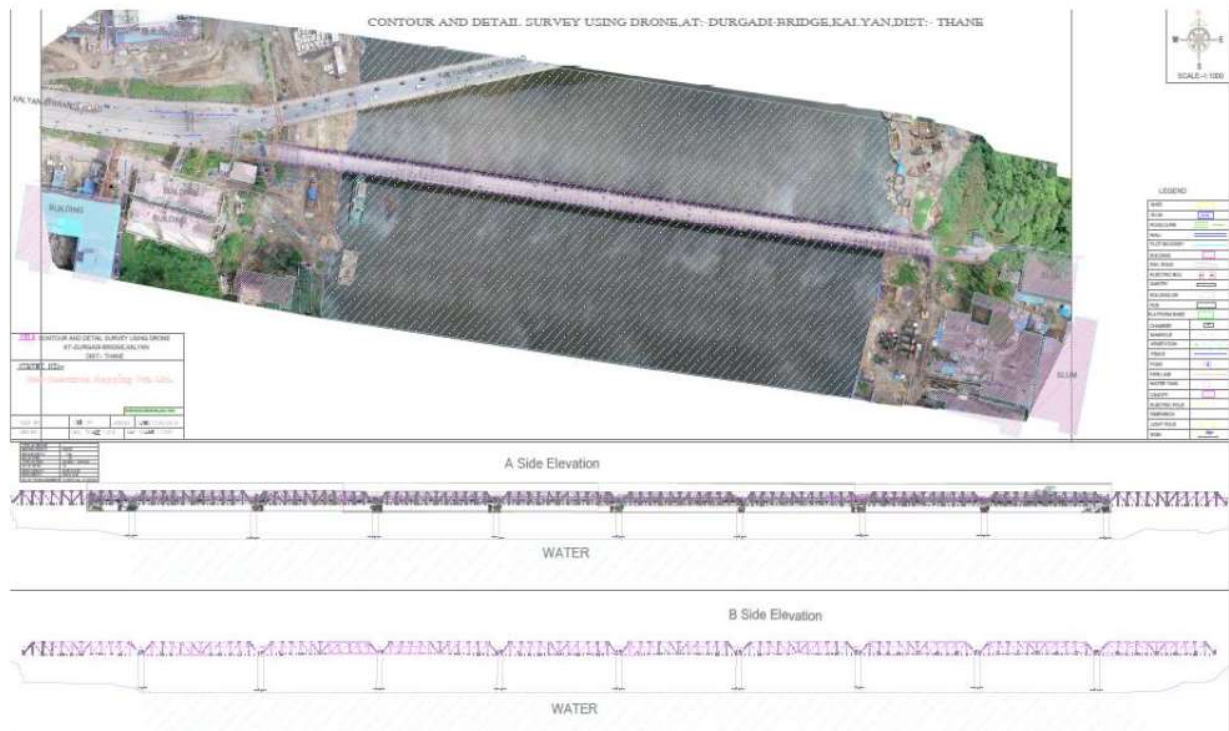


Figura 4. Mapa de pesquisa por drone da ponte

## 7. METODOLOGIA E PROCEDIMENTO PROPOSTOS PARA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO

### 7.1. Tratamento composto de revestimento resistente a UV (Ultravioleta) UV LCNR (tecido ou malha nylon de cadeia longa) junto com proteção eletroquímica por ânodos de sacrifício

Será necessário envolver um sistema de revestimento resistente, altamente adesivo, resistente à UV e incluir proteção eletroquímica para prolongar ainda mais a vida útil do sistema de proteção. Este



artigo tenta escolher esse sistema composto com base em parâmetros de ensaio e histórico de sistemas inovadores.

Os pontos a serem considerados para a aplicação de novos sistemas de proteção:

- A superfície deve estar totalmente desprovida de qualquer tinta residual, bem como até os vestígios de produto de corrosão, pois a vida útil dos sistemas de proteção contra corrosão depende apenas da preparação da superfície.
- A superfície livre de corrosão deve permanecer assim (após o tratamento de remoção da corrosão) até que o próximo tratamento lógico do primário de polímero apropriado seja recebido pela superfície.
- O primer deve ser seguido por uma matriz de polímeros especialmente reticulada e altamente impenetrável.
- Esses revestimentos devem ter imunidade total à decomposição devido ao ataque da radiação ultravioleta à luz do sol.
- A corrosão é um processo eletroquímico e, em condições altamente suscetíveis, como onde se encontra a ponte Durgadee, é possível que seja prontamente iniciado sempre que houver metal exposto seja devido a defeitos deixados inadvertidamente durante a execução ou devido à fissuração de elementos de aço durante a vida útil devido a lesões não intencionais nos sistemas de proteção, e então toda a corrosão pode ser vigorosa. Assim, é preferível fornecer proteção eletroquímica como o uso de ânodos de sacrifício em intervalos regulares, principalmente nas juntas.

## 7.2. Procedimento de retificações

- Como a remoção de restos residuais inteiros da tinta, bem como de produtos de corrosão alcançará uma limpeza a 100% absoluto, é uma situação desafiadora por escovação de arame de aço etc., a opção mais segura é jatear com areia toda a estrutura de aço.

Como resultado do jateamento de areia, os produtos de corrosão e a tinta residual são removidos completamente, no entanto, também leva à criação de uma superfície de aço muito vulnerável, suscetível à "corrosão instantânea" devido à umidade e oxigênio nas condições ambientais. Essa camada de ferrugem instantânea pode ser visível em até 2 a 3 horas após o jateamento de areia na forma de camada de óxido de aço avermelhado. Esta camada, em seguida, cria comprometimento, em certa medida, na perda de adesão dos revestimentos subsequentes de polímero / epóxi / poliuretano.

- Para evitar essa falha no sistema de proteção, assim que o jateamento de areia terminar, uma camada de proteção superficial deve ser aplicada.

Essa proteção pode ser aplicado com panos ou escova macia etc. Essa proteção deve remover a ferrugem residual, mas também reagir com produtos de corrosão para convertê-los em um nano filme estável passivante na superfície do aço e retornar o aço ao seu branco acinzentado original. Como resultado da aplicação de proteção superficial, a superfície do aço se transforma em preto esbranquiçado.

- Agora, essa superfície está totalmente isenta de corrosão e pronta para receber a camada de primer de LCNR 100% puro - primer epóxi - Sunepoxy 358. O epóxi é sempre um primer por duas razões:

- a. Possui extraordinária adesão ao aço ou a qualquer outra superfície seca.
- b. A excelente adesão do epóxi garante o desempenho bem-sucedido dos revestimentos de proteção subsequentes.

Os revestimentos epóxi não devem ser fornecidos como camadas de acabamento, pois são facilmente desintegrados por raios ultravioletas ou qualquer forma de energia externa.



O Sunepoxy 358 é um primer epóxi especialmente fabricado que possui uma molécula reticulante de nylon de cadeia mais longa, o que melhora seu desempenho em comparação com os revestimentos epóxi em geral disponíveis normalmente.

- Proteção contra corrosão com revestimentos Sungard APR Epóxi à base de poliisocianato acíclico (APR) não são estáveis aos raios UV e, portanto, precisam de proteção adicional da estabilidade aos raios UV.

Após 24 horas de aplicação do Sunepoxy 358, forneça e aplique 2 demãos de Sungard APR usando pincel macio / pistola de pintura, etc. Os revestimentos de poliuretano são resistentes ao ataque de raios ultravioleta. No entanto, no caso de Sungard APR, a molécula de poliuretano normal foi adicionada com as características de poliisocianato acíclico, tornando a matriz mais complexa devido a reticulação adicional e, portanto, densidade adicional do polímero curado. Isso aumenta a robustez e a proteção em um grau mais alto.

Serão necessários rolos com alças longas (varas de metal), sapatos com espigões em superfícies horizontais.

- Como mencionado anteriormente, a corrosão é um processo eletroquímico e o sistema de revestimento LCNR dará proteção à superfície coberta pelo mesmo. No entanto, a estrutura da ponte de Durgadee está soldando vários elementos de aço não fissurados. Além disso, em vários locais, as chapas ou folhas de aço são dispostas uma sobre a outra, o que significa que o revestimento não pode ser feito fisicamente em uma área dessas, seja por spray ou pincel. Portanto, as superfícies tão desacompanhadas são vulneráveis à corrosão. A corrosão assim iniciada será muito rigorosa, como visto em algumas das fotografias. Em tais situações, é muito útil operar o ânodo de sacrifício. Esse ânodo de sacrifício é conectado às áreas vulneráveis por soldagem e onde quer que ocorra um ataque de corrosão, o ânodo de sacrifício, sendo mais vulnerável, corroerá preferencialmente deixando a superfície de aço não afetada.

A colocação dos ânodos de sacrifício deve ser mais focada nas juntas de solda da placa de reforço e nas principais junções etc. Onde a possibilidade de um revestimento protetor adequado será difícil.

- A laje do deck será reconcretada usando pinos soldados para fins de ancoragem. A inclinação necessária de 2,5% para a curvatura e para facilitar a drenagem será fornecida. Junta de dilatação e novo aparelho de apoio de rolos de balancim em aço serão fornecidos.

## 8. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

### 8.1 A manutenção preventiva de uma ponte de aço começa após a conclusão da reabilitação, conforme proposto acima.

A provisão de acesso para facilitar futuras inspeções e manutenção também deve ser considerada. Outras práticas que ajudarão a minimizar a manutenção de uma ponte em serviço incluem:

- Seleção adequada do tipo de revestimento protetor, preparação e aplicação adequada da superfície em toda a superfície revestida e sua periodicidade de aplicação.
- Lavagem e limpeza regulares das superfícies de revestimento de proteção.
- Limpeza e limpeza regulares dos orifícios de drenagem. Melhorar a drenagem em áreas que não são adequadamente drenadas.
- Garantir que os Aparelhos de apoio estejam operando corretamente.
- Manutenção da presença de juntas de dilatação adequadas.
- Além disso, áreas problemáticas em potencial devem ser identificadas e ações apropriadas devem ser tomadas antes que os defeitos estruturais se tornem manifestos. Tais assuntos incluem:



- i. Os detalhes que envolvem placas de cobertura abruptamente reduzidas nas flanges devem ser aprimorados se eles provavelmente se tornarem riscos de fadiga;
- ii. Soldas ruins devem ser trituradas e substituídas;
- iii. Os rebites selecionados podem ser substituídos por prendedores de alta resistência ao atrito para melhorar as características de fadiga de um grupo de rebites (por exemplo, os rebites principais em uma junta ou placa de cobertura);
- iv. As excentricidades nas juntas e conexões podem ser aprimoradas para reduzir tensões de flexão indesejadas;
- v. O ponto de suporte dos Aparelhos de apoio pode ser redefinido para melhorar os efeitos de movimento excêntrico.

## 8.2 Sistemas de instrumentação de pontes para monitoramento dinâmico de pontes.

O desenvolvimento do modelo de linha de base de uma ponte é essencial para o monitoramento estrutural da saúde da ponte, que pode desempenhar um papel importante na segurança da integridade do sistema, na minimização do custo de manutenção e na longevidade das pontes. O monitoramento estrutural da saúde e o modelo de linha de base são necessários periodicamente, especialmente após danos causados por terremotos, degradação de uma estrutura devido ao envelhecimento ou a ações ambientais ou se houver um evento que cause danos, como impacto devido a acidente ou desastre natural.

A tecnologia global de monitoramento de integridade estrutural consiste em dois aspectos: (1) instrumentação de pontes com sensores como acelerômetros e extensômetros e, mais importante, (2) metodologias para obter informações significativas sobre as condições estruturais de saúde, se houver, a partir dos dados medidos.

Os avanços na detecção, digitalização, gravação e comunicação de dados levaram a sistemas de monitoramento atuais capazes de detectar, registrar e analisar / exibir remotamente / exibir informações dinâmicas de entrada e resposta para pontes e outras estruturas.

A atual geração de sensores para acelerômetros de terremotos tem grandes faixas dinâmicas, permitindo a medição simultânea de tremores de terremoto, vibração induzida pelo vento de baixa frequência e vibração ambiente.

Proposta de modelo de linha de base para desenvolvimento dessa ponte, que será instrumentada para o monitoramento estrutural global da saúde. Sistemas de monitoramento, incluindo acelerômetros, extensômetros, sensores de pressão e sensores de deslocamento a serem instalados. Um sistema estrutural de monitoramento de saúde pode detectar um comportamento estrutural incomum em um estágio inicial, reduzindo assim o risco de falha súbita e catastrófica. O monitoramento adequado requer o desenvolvimento de um modelo de computador preciso que caracterize efetivamente toda a estrutura, incluindo as condições de continuidade e limite.

## 9. CONCLUSÃO

A ponte de aço, no entanto, sobreviveu à sua vida útil; no entanto, ela ainda está em condições de manutenção com proteção por engenharia de proteção por reforço e contra a corrosão. Também goza de status da estrutura do patrimônio. É destacado o fortalecimento adequado da deterioração do aço e do concreto. Seu aprimoramento da vida útil pode ser feito com o Modelo Life 365 do ACI, pois os danos e a retificação concentram-se em revestimentos de propriedades aprimoradas e no ataque de cloreto e outros poluentes agressivos. A ênfase principal no controle de corrosão será a criação de barreiras de longo prazo para a proteção contra poluentes pesados que entram em contato com o aço. O tratamento protetor também é sugerido considerando as condições costeiras de Mumbai e arredores. O programa de proteção é elaborado com base no histórico bem-sucedido de estrutura semelhante em condições semelhantes. A restauração servirá a propósitos, como

Recomendações para reabilitação e proteção contra a corrosão de uma ponte metálica de 100 anos de idade (Durgadee) sobre um rio fortemente poluído perto de Mumbai, Índia

Bhonge, S. S., Dalwi, Pradeep, Kulkarni, J. K., Manjrekar, S. K.



manter a estrutura do patrimônio, ao mesmo tempo em que será útil por pelo menos LMV por mais alguns anos, reduzindo a carga de tráfego na ponte existente.

## 10. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Designs Circle, PWD, Govt de Maharashtra, Mumbai e PW Division (Thane), Thane, por ter escrito este artigo.

## 11. BIBLIOGRAFIA E NORMAS

- Malhotra, M. M. (2007), *Design od steel structure*. Edition: 7, Reprint Publisher: Jain Brothers.
- Indian Road Congress (IRC) (1990), *IRC: SP:35-1990: Guidelines for Inspection and Maintenance of Bridges*. (Reprint-2000), Indian Road Congress Special Publication. New Delhi.
- Indian Road Congress (IRC) (1996), *IRC: SP:18-1996: Manual for Highway Bridge Maintenance Inspection*. Indian Road Congress Special Publication. New Delhi.
- Indian Road Congress (IRC) (1999), *IRC: SP:52-1999: Bridge Inspector's Reference Manual*. Indian Road Congress Special Publication. New Delhi.
- Indian Road Congress (IRC) (2007), *IRC: SP:74-2007: Guidelines for Repair and Rehabilitation of Steel Bridges*. Indian Road Congress Special Publication. New Delhi.
- Indian Road Congress (IRC) (2008), *IRC: SP:75-2008: Guidelines for Retrofitting of steel Bridges by Pre-stressing*. Indian Road Congress Special Publication. New Delhi.
- Indian Road Congress (IRC) (2002), *IRC: SP:60-2002: An Approach Document for Assessment of Remaining Life of Concrete Bridges*. Indian Road Congress Special Publication. New Delhi.
- Indian Road Congress (IRC) (2004), *IRC SP 61-2004: An Approach Document on Whole Life Costing for Bridges in India*. Indian Road Congress Special Publication. New Delhi.
- Indian Road Congress (IRC) (1993), *IRC: SP:40-1993: Guidelines on Techniques for strengthening and Rehabilitation of Bridges*. Indian Road Congress Special Publication. New Delhi.
- Indian Road Congress (IRC) (2010), *IRC: SP:37-2010: Guidelines Evaluation of Load Carrying Capacity of Bridges*. Indian Road Congress Special Publication. New Delhi.
- MPCP (2019), *Maharashtra State Pollution Control Board (MPCP)*, URL: <http://www.mpcb.gov.in/node>
- Maharashtra Pollution Control Board (2015), *Comprehensive Study on Polluted River Stretch of Ulhas River – Downstream of Mohane, Kalyan*, MPCB Kalyan.
- Karve, S. R. Shah, V. I. (1998), *Structural Design Databook Steel Structures*, Structures Publications.
- NZ Transport Agency (2001), *Bridge Inspection and Maintenance Manual*. URL: <https://www.nzta.govt.nz/resources/bridge-inspection-maintenance-manual/>