



TEMA 1 – Patologías de las construcciones

Pontes em concreto armado em meios de elevada agressividade ambiental

Luiz Carlos Mendes^{1,a}, Líbia da Costa Lourenço^{2,b}, Vancler Ribeiro Alves^{3,c}
Mychael Vinicius da Costa Lourenço^{4,d}, João Cassim Jordy^{5,e}.

^{1,3,5}D.Sc. Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria 156, sala 360, bloco D, CEP 24210-240, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

²M.Sc. Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria 156, sala 360, bloco D, CEP 24210-240, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

⁴Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

^a lcarlos@predialnet.com.br, ^b libialourenco@hotmail.com, ^c ribalvs@bol.com.br,
^d mychael@ufrj.br, ^e icjordy@terra.com.br

Palavras-chave: corrosão, pontes de concreto armado, ambientes agressivos, durabilidade, funcionalidade estrutural.

Resumo

Muitas pontes e viadutos estão localizados em ambientes considerados de forte agressividade ambiental, como matas, rios, regiões industrializadas, ambientes nativos e de forte variações climáticas. A agressividade destes ambientes proporciona estados de corrosão associados a outras patologias inerentes que atacam o concreto armado e o material metálico em pontes e viadutos, o que pode trazer graves consequências à vida útil e à funcionalidade da estrutura. Este trabalho faz uma análise das relações entre a agressividade ambiental e o processo corrosivo em estruturas de pontes de concreto armado e de estruturas metálicas. São feitas análises de diversos casos de deterioração de origem ambiental, levando-se em conta a natureza do material empregado, classes de agressividade estabelecidas pelas normas brasileiras e, ao final, são lançadas propostas de procedimentos de inspeção e reabilitação de obras deterioradas, que consideram os danos causados pela ação do meio ambiente.

Introdução

A necessidade de transpor barreiras naturais é recorrente desde o aparecimento dos primeiros homínídeos. O elevado desenvolvimento neurocognitivo permitiu ao homem desenvolver mecanismos eficientes que promovem a superação desses obstáculos. A vida em sociedade também conferiu ao ser humano grande vantagem no desenvolvimento de técnicas que facilitassem a superação de obstáculos no seu cotidiano.



Pode-se verificar na Antiguidade o aparecimento das primeiras pontes, com estrutura bastante rudimentar e capacidade de carga bastante limitada. As primeiras pontes das quais se tem registro atualmente seriam da Mesopotâmia datadas de 5000 a.C e foram construídas com materiais diretamente extraídos da natureza, como madeira e pedra. Existem também vestígios da ocorrência de pontes na Grécia, na Turquia e no Egito Antigo datados entre 4000 e 2000 a.C.

Atualmente, os materiais mais utilizados na construção de pontes são os materiais metálicos (aço) e o concreto armado. Esses materiais passam por um processo de produção e beneficiamento industrial que geralmente inclui a adição de substâncias tóxicas e não-biodegradáveis, o que fazem deles materiais potencialmente nocivos a um ecossistema fechado.

Este não é o único problema causado pela construção de pontes e viadutos sobre ambientes aquáticos ou terrestres nativos. Há uma série de aspectos relacionados à construção de pontes que podem causar sérios danos ao ambiente local.

Pontes e viadutos, conhecidos tecnicamente como obras-de-arte especiais, são freqüentemente afetados por diversas patologias que comprometem as suas estruturas. A pesquisa em Patologia Estrutural tem se desenvolvido como uma especialização da Engenharia de Estruturas e tem buscado o desenvolvimento de metodologias de avaliação e recuperação de estruturas danificadas. Neste trabalho, são apresentados parâmetros que contribuem para o desenvolvimento de técnicas de avaliação e recuperação das estruturas de pontes e viadutos.

Tais estruturas são obras-de-arte especiais que estão sujeitas à ação de diversas patologias da construção, em função do seu uso contínuo e da falta de programas preventivos de manutenção em grande parte dos casos. Essas construções constituem parte essencial de muitos sistemas viários em todo o mundo e, no entanto, apresentam problemas de ordem estrutural que necessitam de solução emergencial[1].

A detecção precisa e o controle das patologias que afetam estas estruturas demandam de determinados procedimentos de inspeção e avaliação que dependem do tipo e do porte da construção. Além disso, devem ser estabelecidos procedimentos e métodos-padrão, no sentido de sistematizar as avaliações estruturais.

Neste contexto, emergem as linhas de pesquisa em Patologia Estrutural, cuja área de atuação compreende a formulação de bases teóricas na identificação de anomalias e na recuperação estrutural, associadas à elaboração de modelos e metodologias práticas de avaliação estrutural.

A revisão de parâmetros e suas características é uma etapa indispensável de um processo de inspeção em qualquer estrutura. Dessa forma, a análise destes parâmetros deve ser uma prioridade nas pesquisas em Engenharia Estrutural, de modo a contribuir para a solidez e para a aplicabilidade dos mesmos.

São analisados os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade em pontes e viadutos, relacionando-os às peças estruturais, de modo a estabelecer níveis de prioridade no que tange à prospecção de anomalias. A



partir de então, podem-se elaborar procedimentos de inspeção mais precisos e, conseqüentemente, propor metodologias de recuperação mais eficazes.

Caracterização geral dos ecossistemas aquáticos e dos ecossistemas terrestres nativos

Um ecossistema pode ser definido como o conjunto formado por fatores bióticos (seres vivos e processos biológicos) e fatores abióticos (aspectos físicos e químicos que interferem nos seres vivos) que agem em determinada região. A base de um ecossistema é determinada pela relação entre os seres vivos e pela relação desses seres com o ambiente de modo harmônico[2]. Para tal, deve haver uma integração entre ciclos de vida e entre processos metabólicos das espécies que habitam aquele ambiente. Processos bioquímicos, como fotossíntese e quimiossíntese, relações ecológicas, cadeias alimentares e fluxos tróficos são os principais meios de se promover a integração entre as populações de um mesmo ecossistema.

É bastante freqüente se observarem ecossistemas que apresentam redes de cooperação com outros vizinhos ou que compartilham espécies de seres vivos, tais como aves migratórias, com ecossistemas diversos. Esses ecossistemas são ditos abertos, pois possuem a capacidade de interagir com ambientes externos, através de diversos mecanismos. No entanto, existem aqueles que não apresentam essa capacidade e são denominados, portanto, ecossistemas fechados.

Pelo fato de tenderem ao isolamento, esses ambientes apresentam características físico-químicas bastante particulares e os organismos nele presentes devem estar bastante adaptados para que possam sobreviver sem dificuldades. O desmatamento ou a abertura de pontos vulneráveis, como a inserção de um pilar, em um ambiente fechado pode acarretar a completa desconstituição do meio, devido a problemas derivados direta ou indiretamente da obra.

Grandes partes dos ecossistemas aquáticos são consideradas fechadas. Isso ocorre não só devido ao grau de integração entre os seres vivos que neles vivem, mas também devido à própria água, que impede que alguns fatores do meio aéreo interfiram no ambiente.

As propriedades físicas da água tornam o ambiente aquático bastante estável, permitindo que os seres que nele vivem direcionem suas adaptações morfofisiológicas principalmente no sentido de obterem benefícios nas relações ecológicas das quais participam, deixando de lado a proteção contra agentes externos ao ambiente. Por esse motivo, os ecossistemas aquáticos são bastante sensíveis a estímulos externos e são os primeiros a responder a degradação ambiental e a poluição.

A maior parte dos ecossistemas terrestres fechados corresponde às florestas nativas. Estas são caracterizadas por apresentar vegetação de grande porte, o que limita a entrada de luz, e relações ecológicas bem definidas e muito específicas. Essas características tornam o ambiente bastante vulnerável, possibilitando que pequenas modificações ambientais gerem um desequilíbrio ecológico.



No Brasil, grande parte das florestas nativas corresponde aos inúmeros ecossistemas pertencentes à Amazônia. Em menor quantidade, estão presentes as reservas de Mata Atlântica, espalhados pelo litoral brasileiro, e ainda áreas de preservação correspondentes a outros tipos de florestas.

A Fig. 1 ilustra um exemplo de uma ponte de pilares em concreto armado situada num ambiente nativo dotado de ecossistemas terrestres e aquáticos.



Figura 1: Ponte sobre o rio Tocantins no Pará, Brasil.

Muitos viadutos têm sido planejados sobre áreas de ecossistemas nativos atualmente no Brasil. As regiões Norte e Sudeste concentram a maioria desses projetos. No Norte, há a necessidade de se integrar várias regiões ao Pólo Industrial de Manaus e ao Pólo Comercial de Belém, além de melhorar a infra-estrutura de tráfego rodoviário na região amazônica. No Sudeste, a urgência em ampliar a malha rodoviária e em permitir a melhor conexão entre as principais cidades da região é o fator promotor da elaboração de projetos nesse sentido. Alguns desses projetos já se tornaram realidade, tais como os viadutos da Rodovia dos Imigrantes, em São Paulo, que atravessam trechos de Mata Atlântica nativa. Atualmente, encontram-se em fase de análise planos mais ambiciosos, como a construção de uma via ferroviária para trens de alta velocidade entre as cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo. Segundo estudos preliminares, essa via demandaria a construção de, no mínimo, 40 pontes e viadutos sobre rios, depressões e ecossistemas nativos.



Análise dos problemas ambientais gerados pela construção de pontes e viadutos sobre ecossistemas fechados

Muitas são as interferências no ambiente natural causadas pela inserção de uma construção em uma região fechada e nativa. No caso de pontes e viadutos, estes promovem uma irregularidade da dinâmica de equilíbrio do ecossistema, através de vários fatores que atuam em conjunto no processo de degradação ambiental.

Dois eventos distintos propiciam a ocorrência dos fatores que promovem os problemas ambientais: o momento de execução da obra e o momento pós-inauguração. O período de duração da obra gera fatores cujo tempo de ação é limitado, porém suas conseqüências permanecem por tempo indefinidas. Após a conclusão da obra, os fatores ocasionados pela presença da ponte no ambiente apresentam um tempo de ação ilimitado, pois modificam permanentemente o ambiente e obrigam o ecossistema a se adaptar e a atingir novamente o equilíbrio.

Dentre os problemas gerados pela realização da obra, destaca-se a poluição do ambiente em decorrência da liberação ou do vazamento de resíduos químicos da obra[3]. A tecnologia da construção emprega diversos materiais e substâncias tóxicas que, quando despejadas em um ambiente natural, passam a integrar o ciclo trófico do ecossistema e dificilmente são eliminados. Frequentemente ocorre o processo de bioacumulação, que pode levar à extinção de espécies inteiras.

Outro problema associado à execução da construção está na permanente modificação da topologia do ambiente, devido às escavações e aterros necessários à fundação e montagem da estrutura de pontes e viadutos. Essa alteração topológica tem sérias implicações no habitat dos animais e na fisiologia dos vegetais, pois os componentes inorgânicos fundamentais à fotossíntese e à manutenção do metabolismo das plantas são retirados dos solos. A desregulagem da fisiologia das plantas gera danos aos demais seres vivos daquele ambiente, conforme se observa na Fig. 2.

Quando se descreve as alterações topológicas em ambientes aquáticos, deve-se observar ainda que há prejuízos aos seres bentônicos, que vivem associados ao substrato. Esses seres são importantes membros das cadeias alimentares, pois muitos deles servem como elo trófico, conectando os membros da base com o topo da cadeia.

Percebe-se também a ocorrência de duas situações de impacto negativo para o ecossistema local: a existência de ruídos provocados pela construção e a emissão de gases poluentes na atmosfera. Esses problemas ocorrem tanto no período de execução da obra como após a inauguração, devido ao tráfego de veículos.

Os ruídos são extremamente danosos aos seres vivos, pois são capazes de alterar o comportamento de animais e a fisiologia dos vegetais, gerando desvios nas relações ecológicas, o que pode levar ao desequilíbrio do ecossistema. A emissão de gases se mostra um outro fator de desequilíbrio, pois altera as condições locais da atmosfera, o que permite a maior incidência



de raios solares e também a maior retenção de calor na superfície, aumentando a ação do efeito estufa.



Figura 2: Presença de um pilar de ponte em um ecossistema aberto, provocando a desregulagem da fisiologia das plantas, no Pará, Brasil.

Os ecossistemas fechados e outros ambientes preservados apresentam variados mecanismos autoreguladores, que visam garantir a preservação adequada do meio. Alguns desses processos são bastante conhecidos, tal como a ressurgência ou ação dinâmica das águas. A introdução de uma construção artificial, como uma ponte, em um ambiente nativo pode modificar a ocorrência natural desses mecanismos associados à mudança do fluxo d'água.

As estruturas metálicas, independentes de sua composição, estão sempre sujeitas à corrosão se o meio for propício[4]. A corrosão, enquanto parte de um processo eletroquímico, libera íons no meio ambiente, alterando, dessa maneira, o balanço iônico do meio[5]. Estas já são suficientes para modificar o equilíbrio osmótico dos seres vivos, exigindo deles um maior esforço metabólico a fim de manterem sua sobrevivência. A aplicação de materiais anticorrosivos e o *coating* não são suficientes para inibir essa alteração, uma vez que estes são materiais baseados em compostos orgânicos que liberam íons ou mesmo em outros metais.

Patologias em estruturas de pontes em ambientes agressivos

As patologias verificadas em pontes e viadutos situados em meios de forte agressividade ambiental têm naturezas variadas e, quando não tratadas adequadamente, comprometem a funcionalidade da estrutura. Para o desenvolvimento de patologias em uma estrutura de pontes basta a ocorrência de falhas e incorreções em uma das etapas de construção.



Neste contexto, vários autores têm buscado quantificar e elaborar análises no sentido de se demonstrar que na fase da construção, preponderantemente, ocorrem as falhas geradoras de patologias. A pesquisa tem mostrado que essas estatísticas variam de acordo com a região ou país em que o estudo está sendo desenvolvido. No caso brasileiro, verifica-se que, na maioria dos eventos, erros patogênicos ocorrem na etapa de execução da estrutura.

Outro fator capaz de gerar manifestações patológicas em uma estrutura de pontes é a ocorrência de catástrofes naturais que, devido ao caráter de solicitações excepcionais, exige da estrutura uma capacidade resistente significativamente alta, a qual não é normalmente atendida pela capacidade resistente das peças estruturais.

Em função do aspecto da singularidade estrutural e da vulnerabilidade das pontes e dos viadutos, percebe-se uma maior ocorrência de patologias características nessas construções. Dada a tendência natural de deterioração das estruturas, a inexistência de um processo eficiente de manutenção acelera o surgimento dos problemas patológicos.

De modo geral a corrosão do material metálico, conforme ilustrada na Fig. 3 e a existência de fissuras de origem mecânica constituem as formas mais comuns de patologias em estruturas de obras-de-arte especiais, sendo necessários cuidados especiais no sentido da prevenção e reabilitação das mesmas.



Figura 3: Corrosão em estrutura metálica dos tubulões da Ponte do rio Tocantins, no Pará, Brasil.



Corrosão em pontes e viadutos

A corrosão pode ser definida como um processo espontâneo de deterioração de um material, na maioria das vezes metálico, por ação química ou físico-química do meio, podendo estar associada a esforços mecânicos. Os resultados deste processo são prejudiciais ao material, tornando-o inadequado para o uso.

No caso de obras-de-arte especiais, alguns fatores assumem um papel especial na determinação da ocorrência e intensidade da corrosão. São eles: o ambiente onde a estrutura se situa, os agentes agressivos presentes no meio e a capacidade de resistência da estrutura.

No ambiente, sua a composição física, química e biológica pode constituir um diferencial na existência de patologias em uma estrutura, visto que as propriedades ambientais são conferidas a partir destes componentes.

Dentre os agentes agressivos atuantes nas estruturas das pontes e viadutos tem-se os resultantes de ações ambientais ou atmosféricas, outros por agressões biológicas e outras por agressões oriundas de vícios construtivos ou da má utilização. Em alguns casos, os agentes agressivos são confundidos com os componentes ambientais. No entanto, é importante observar que nem todos os componentes ambientais contribuem para a agressividade do meio, porém, de certa forma, podem interferir na evolução da patologia.

A capacidade de resistência à corrosão e a outras patologias é função direta do design da obra-de-arte especial e também dos materiais empregados em sua construção. Cada estrutura apresenta uma capacidade de resistência intrínseca, que decai ao longo do tempo, mas que pode ser restabelecida ou aumentada em processos de reabilitação.

O mecanismo de ação da corrosão em pontes depende do tipo e da composição da estrutura. Pontes de concreto armado e protendido estão mais sujeitas à corrosão por ação de cloretos e também por carbonatação. No caso de pontes metálicas, a corrosão tem um caráter eletroquímico, sendo possível reações com ácidos e outras substâncias.

Na ação de cloretos, os íons apresentam a capacidade de romper a camada de óxido que protege as armaduras em estruturas de concreto, ao mesmo tempo em que facilitam a dissolução do cimento. Dessa maneira, expõem a armadura a variados mecanismos de deterioração que, em geral, são processos puramente químicos ou eletroquímicos. O ataque por cloretos é um dos problemas mais sérios que podem ocorrer em concreto armado e protendido, embora se saiba que uma concentração basal de cloretos é tolerada pela estrutura.

A carbonatação consiste na diminuição da alcalinidade do cimento, em função da reação do hidróxido de cálcio com compostos do meio, produzindo principalmente sais de cálcio. Esse processo se mostra altamente prejudicial às estruturas de concreto, pois determina uma fragilidade no cimento e também expõe as armaduras ao contato com o meio. A Fig. 4 ilustra um exemplo de um pilar cujo concreto está sob o efeito da carbonatação.



Figura 4: Pilar de concreto armado sob o efeito da carbonatação, da Ponte sobre o córrego do Ouro, em Minas Gerais, Brasil.

A corrosão eletroquímica ocorre a partir de reações de oxirredução, transformando átomos metálicos em íons livres em solução aquosa. Essa forma de corrosão ocorre em pontes metálicas e também em armaduras expostas de pontes de concreto. A existência de determinados íons e ácidos em um ambiente é decisiva na ocorrência desta forma de corrosão. Dependendo da intensidade e da região da estrutura onde ocorre, a corrosão eletroquímica pode gerar deformações de morfologias características, tornando a morfologia uma forma efetiva de classificação dos processos corrosivos em estruturas metálicas.

A corrosão microbiológica é uma importante causa de corrosão em pontes e viadutos. A variabilidade genética e fisiológica existente dentre os microrganismos, principalmente bactérias, permite que determinados grupos se instalem em estruturas de obras-de-arte especiais, podendo lhes causar danos. Os mecanismos são variados, podendo ocorrer desde a liberação de metabólitos corrosivos até a criação de um microambiente com condições físicas diferenciadas, determinando um potencial físico que pode ser o início de um processo de corrosão eletroquímica. A formação de biofilmes e agregados biológicos tende a aumentar os níveis de corrosão, ao mesmo tempo em que dificulta a remoção dos seres ali presentes.



A Fig. 5 mostra a presença de agregados de briófitas em aparelho de apoio de ponte sobre o Córrego do Ouro no estado de Minas Gerais, Brasil. O registro desses organismos pode ser um indicativo da presença de biofilmes e colônias microbianas na região da ponte em questão.



Figura 5 – Briófitas em aparelho de apoio de ponte sobre o Córrego do Ouro, MG, Brasil.

A fissuração em pontes de concreto armado

A ocorrência de fissuras como na Fig. 6 é um fenômeno bastante comum nas pontes de concreto armado em todo mundo, seja na superestrutura ou na infra-estrutura. Sua origem está relacionada a uma distribuição irregular de tensões no interior da estrutura, embora também possa ser originada a partir da decomposição ou desagregação dos materiais componentes do concreto. O processo de fissuração pode levar a graves ocorrências de desestabilização estrutural, cujas consequências são inestimáveis. A presença das fissuras contribui para acelerar os processos de corrosão das armaduras e da carbonatação do concreto.



Figura 6 – Fissuras em pilar de concreto armado de ponte sobre o Córrego do Ouro, Minas Gerais, Brasil.

Inspeção e levantamento das anomalias

A exposição das pontes e viadutos aos variados mecanismos de deterioração exige que cuidados sejam adotados no sentido de preservar a funcionalidade da estrutura e aumentar sua vida útil. Esses cuidados se refletem na existência de uma proposta de manutenção eficiente, que inclua os procedimentos necessários ao bom estado da ponte. No entanto, em muitos casos, o processo de manutenção não é adequado ou não é suficiente para evitar a ocorrência de problemas patológicos na estrutura das pontes. Nesses casos, uma recuperação emergencial se faz necessária para evitar o colapso da estrutura.

Nesse contexto, evidencia-se a importância dos procedimentos de inspeção na manutenção do bom estado das obras-de-arte especiais. A manutenção em pontes e viadutos representa importância econômica e papel estratégico, devido aos altos custos de investimentos envolvidos na implantação ou recuperação destas estruturas.

A estratégia de inspeção a ser adotada é dependente de inúmeros fatores, tais como: design e condições da estrutura a ser analisada, programa de manutenção vigente, ambiente em torno da estrutura, objetivos da inspeção,



etc. A Fig. 7 mostra um caso de inspeção visual de uma ponte situada em um ambiente nativo, que é o Córrego do Ouro em Minas Gerais, Brasil.

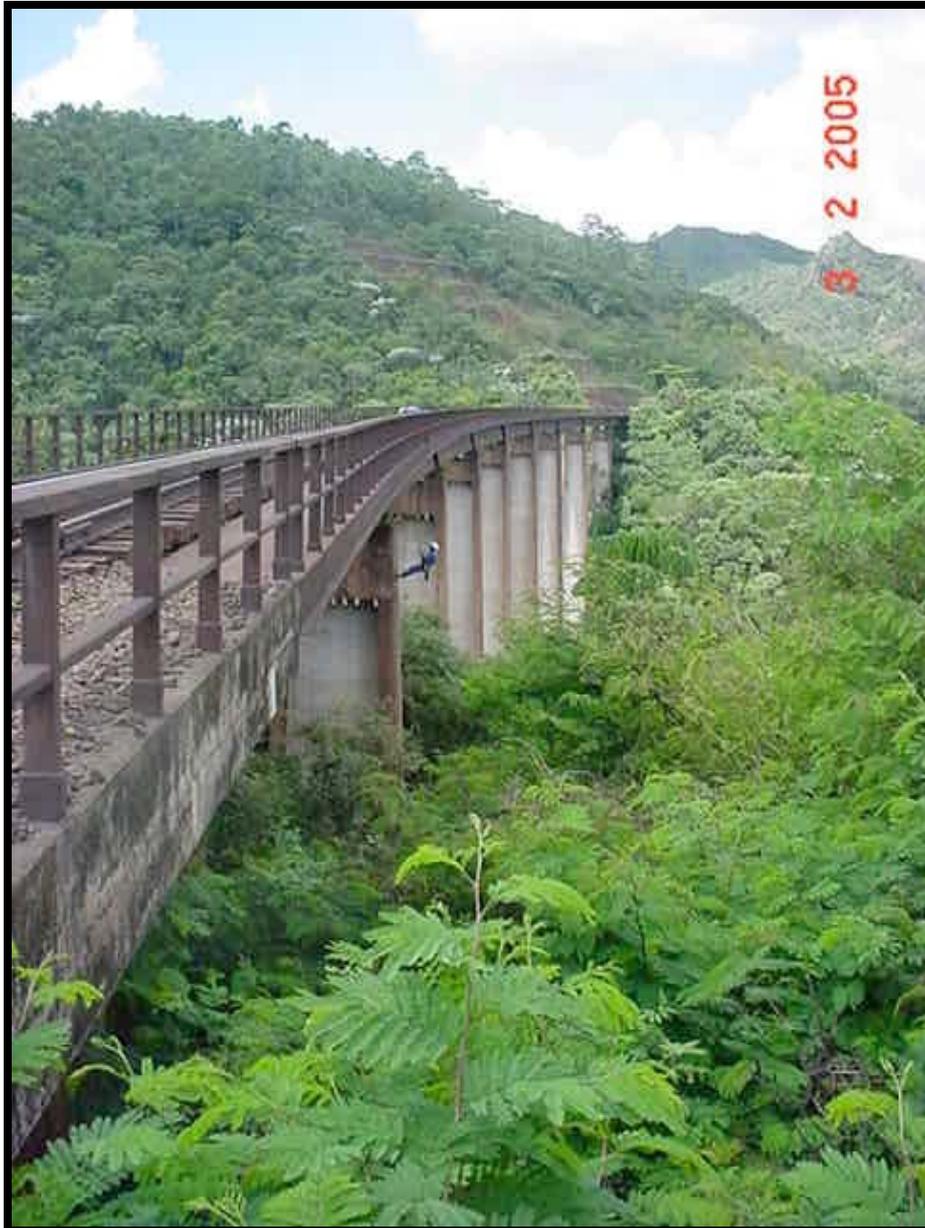


Figura 7: Inspeção visual de ponte ferroviária situada em ambiente nativo sobre o Córrego do Ouro, em Minas Gerais, Brasil.

No entanto, alguns traços comuns podem ser delineados para todos os tipos de avaliação de patologias. Este delineamento é especialmente importante na análise de uma mesma estrutura em longo prazo, onde vários tipos de avaliação podem ser necessários em diferentes momentos, e também na implantação de programas de inspeção de pontes e viadutos de administração pública, onde a avaliação de estruturas em diferentes condições dificulta a elaboração de um plano básico comum de reabilitação.



Um processo simplificado de investigação da corrosão em obras-de-arte especiais consiste na utilização de dois parâmetros básicos: a identificação da forma e natureza da deterioração e a avaliação quantitativa e qualitativa do processo corrosivo. A interpretação da combinação de resultados levará ao diagnóstico final da estrutura.

A análise visual como na Fig. 8 é um método comum a praticamente todos os procedimentos de inspeção em pontes e viadutos. Este procedimento constitui uma etapa importante do processo global, pois permite a observação da sintomatologia apresentada pela construção. A partir de tal, pode-se recomendar a realização de testes, ensaios e verificações específicas em partes da estrutura.



Figura 8 – Análise visual das anomalias de ponte em ambiente nativo no interior de Minas Gerais, Brasil, com a presença de briófitas nas fissuras do concreto armado do pilar.

A inspeção visual deve incluir o uso de pequenos equipamentos auxiliares da visão ou de localização, como binóculos, lupas e câmeras fotográficas com alta resolução. Esses instrumentos são imprescindíveis para a precisão no resultado final. A descrição da sintomatologia deve ser baseada nas seguintes verificações[6]:



- fissuras no concreto paralelas à armadura;
- fragmentação e destacamento do concreto de cobrimento;
- desagregação do concreto;
- exposição de armaduras corroídas;
- acúmulo de produtos de corrosão nas armaduras expostas, formando crostas;
- visível perda de seção das armaduras;
- comprometimento da aderência armadura-concreto;
- flambagem das armaduras longitudinais de pilares;
- manchas de ferrugem na superfície do concreto, denotando a migração dos produtos de corrosão;
- deformações estruturais próximas a áreas com manifestações de corrosão.

A descrição desses fatores deve ser feita de maneira detalhada, citando-se todas as características observadas na estrutura e também condições excepcionais encontradas na estrutura. O resultado desta verificação deve ser estudado de tal forma a apresentar os melhores procedimentos a serem adotados em seguida. A Fig. 9 apresenta uma análise visual das anomalias encontradas em um bloco de coroamento e tubulões metálicos de uma ponte situada na represa de Peti, ambiente nativo, em Minas Gerais.



Figura 9: Inspeção visual de infra-estrutura de ponte situada sobre a represa de Peti, ambiente nativo, em Minas Gerais.



Em geral, os ensaios não-destrutivos (ENDs) são recomendados nas investigações de anomalias, pois possibilitam a quantificação dos danos de fissuras observados na estrutura. Várias metodologias não-destrutivas são utilizadas durante processos de inspeção de obras-de-arte especiais em todo o mundo. Estudos recentes realizados nos Estados Unidos constataam a evolução do uso de ensaios não-destrutivos, verificando-se que houve um crescimento da utilização dessas técnicas de ensaio nas pontes da grande maioria dos países do mundo. Esse crescimento se justifica pela preocupação com a manutenção da integridade estrutural das pontes, levando os profissionais da Engenharia a optarem por métodos de análise bem eficientes e que não comprometam a estabilidade da estrutura.

A Fig. 10 mostra a aplicação de ensaio de líquido penetrante em um pilar de concreto de uma ponte no interior de Minas Gerais, sobre a represa de Peti, Brasil.



Figura 10: Utilização da técnica de ensaio não-destrutivo na base de líquido penetrante em pilar de ponte sobre a represa de Peti, Minas Gerais, Brasil.

Alguns casos específicos exigem a realização de testes semidestrutivos, como o ensaio do furo cego, para a melhor compreensão da situação estrutural de uma ponte. Métodos como estes costumam ser simples e economicamente viáveis, o que facilita o seu uso e ampliam as suas aplicações.

As normas brasileiras [7] de inspeção de pontes metálicas e de concreto armado não apresentam muitas referências quanto à sintomatologia dos



processos corrosivos, sendo necessária a realização de mais estudos sobre a observação dos sintomas de corrosão em inspeções visuais.

O foco de tratamento destas normas está no detalhamento de procedimentos a serem realizados e na caracterização dos tipos de estruturas avaliados.

Cumpridos os procedimentos previstos para a inspeção em uma determinada obra-de-arte especial, a metodologia empregada deve atingir os objetivos do processo de inspeção que, em linhas gerais, são: levantamento das anomalias, avaliação das situações observadas, elaboração de diagnósticos conclusivos e indicações de providências necessárias. Entre as possíveis providências, podem ser citadas: alteração de limite de velocidade de circulação, controle de tráfego, limitação de sobrecarga, monitoramento permanente ou periódico, interdição, reforço emergencial, reparo ou recuperação.

O relatório final de um processo de inspeção deve considerar todas as avaliações realizadas na estrutura, detalhar seus resultados e propor eventuais intervenções na estrutura.

A padronização dos relatórios irá depender dos procedimentos realizados na estrutura. Uma inspeção rotineira deve adotar uma única forma de relatório, enquanto que uma verificação extraordinária pode fugir a esses padrões. Alguns órgãos de fiscalização estabelecem modelos de relatórios a serem adotados, embora nem sempre estes sejam ideais para a descrição das patologias da estrutura. A Fig. 11 ilustra um exemplo de providência necessária, nada rotineira, como a retirada de excesso de vegetação sobre o bloco de coroamento de uma ponte sobre o rio Tocantins, no Pará, Brasil.



Figura 11: Vegetação (juncos) sobre o bloco de coroamento de ponte no rio Tocantins, Pará, Brasil.



Cabe observar a importância da descrição das condições ambientais em um relatório final de inspeção. principalmente quando se trata de um ambiente nativo ou então um ambiente fortemente agressivo. Todos os fatores ambientais e climáticos, sejam eles momentâneos ou permanentes, que puderem ser observados, devem ser descritos. Considerando-se um processo periódico de manutenção, esses dados podem permitir a compreensão da evolução de uma determinada patologia. Além disso, eventuais condições climáticas e ambientais excepcionais que possam ter interferido nos procedimentos de inspeção, tais como chuvas, enchentes, solapamentos de fundações e ventos fortes, devem ser relatadas.

Outro cuidado a ser adotado quando da elaboração de um relatório de inspeção em obras-de-arte especiais é relativo ao aspecto setorial da estrutura. A estrutura de uma ponte é composta de várias regiões com características e propriedades diferentes sendo, portanto, atingida por diferentes patologias locais. Nesse sentido, deve-se evitar que a abordagem das patologias seja feita apenas de maneira global, esquecendo-se dos danos localizados, cuja expansão pode gerar graves problemas à estrutura inteira. Sendo assim, a análise individual dos setores da estrutura constitui um parâmetro a ser adotado em qualquer procedimento de inspeção.

Todo o levantamento das anomalias encontradas nas obras-de-arte especiais constitui um documento importante para os passos subseqüentes, que são o caminho das prioridades das execuções dos trabalhos e a metodologia pertinente ao processo de recuperação e reforço estrutural. Dessa maneira, a produção de materiais auxiliares, tais como fotografias, vídeos e croquis, auxilia no entendimento da condição estrutural, na formulação de um diagnóstico concreto e na definição de uma metodologia de reabilitação.

De modo geral, uma obra-de-arte especial pode ser dividida em três grandes regiões: infra-estrutura, mesoestrutura e superestrutura[8]. A infra-estrutura compreende as estacas, tubulões e blocos de coroamento. A mesoestrutura está relacionada aos pilares e aparelhos de apoio. A superestrutura compreende as longarinas, transversinas, cortinas e lajes. Além destes, devem ser considerados os encontros, placas de transição, juntas de dilatação, dormentes, elementos de drenagem e a pista de rolamento.

As patologias mais freqüentes em pontes e viadutos se inserem nos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade, que estão intimamente interligados. O estado estrutural, assim como sua funcionalidade e vida útil, são componentes influenciadas pelo macroambiente. No entanto, as manifestações patológicas normalmente apresentam um modo localizado, cuja origem é devida ao microambiente onde o dano surgiu. Neste aspecto, é importante ter a noção de que a justaposição de diferentes microambientes irá compor o macroambiente final no qual a estrutura está inserida.

Em cada região da estrutura da ponte, existem diferentes níveis de prioridade relativos aos parâmetros de patologia, sendo possível idealizar e estabelecer um mapa geral de prospecção que possa servir de base para o planejamento de inspeções e metodologias de reparo.



Aplicações da engenharia de estruturas para a minimização de problemas ambientais

A geração de problemas ambientais motiva a engenharia estrutural a buscar por métodos, tecnologias e novos materiais no sentido de evitar danos e minimizar impactos ao meio ambiente local, aos ecossistemas nativos devidos à implantação e execução de novas obras. As primeiras pesquisas nessa área foram iniciadas na década de 90 do século passado e, atualmente, tem-se verificado uma intensificação dos trabalhos, devido ao aumento da preocupação com as causas ambientais.

Ainda na década de 90, duas construções, uma em âmbito nacional e outra internacional, se destacaram como marcos de preocupação ambiental e respeito à natureza. A duplicação da Rodovia dos Imigrantes com a construção de viadutos sobre áreas nativas. Esta é uma importante referência para os futuros empreendimentos de engenharia inseridos em ecossistemas fechados.

Para a realização da obra, foram feitas adequações que reduziram em mais de 80% o impacto sobre as áreas de Mata Atlântica local. Basicamente, as adequações consistiram em instalar quatro estações de tratamento de água, para drenagem e limpeza das águas oriundas das escavações, e também o uso de um sistema de perfuração a laser, para se obter mais precisão nas fundações e se evitar uma elevada taxa de desmatamento.

No caso da construção do complexo Oresund Link, que liga por via rodoviária a Dinamarca à Suécia, a preocupação preponderante foi com a preservação do ecossistema do Mar Báltico.

Um eventual desequilíbrio ecológico traria sérias implicações econômicas, pois interferiria na pesca do bacalhau, uma das principais atividades de trabalho da região. Esse projeto de proteção ao meio ambiente incluiu medidas como a reutilização do material dragado do substrato na formação de ilhas artificiais, interrupção das obras em certos períodos do ano, especialmente em épocas de reprodução de certos peixes e também o monitoramento constante da emissão de gases poluentes na região.

Conclusões

A ocorrência de problemas patológicos é um fenômeno comum dentre as pontes e viadutos em todo mundo. A singularidade dessas estruturas é um agente facilitador dessas patologias e, em alguns casos, não são verificados programas eficientes de manutenção.

Os processos de inspeção constituem etapa indispensável da manutenção de uma estrutura e devem levar em consideração as particularidades da construção. Nesse aspecto, o conhecimento e a descrição das diferentes regiões da ponte se torna fundamental à medida que há diferentes incidências de problemas patológicos ao longo de uma estrutura.

Qualquer metodologia de reparo e manutenção que venha ser empregada na obra-de-arte especial deve ter como ponto de partida um levantamento correto e minucioso das incidências patológicas em sua estrutura. Essas informações permitem uma caracterização global do estado



presente da obra-de-arte e são as ferramentas necessárias para o diagnóstico correto e preciso para as futuras intervenções de manutenção e reforço.

A corrosão e as anomalias de origem mecânicas têm se mostrado como patologias com incidência severa sobre pontes e viadutos, exigindo que seus critérios de detecção sejam cuidadosamente definidos. Além disso, outros danos também podem comprometer o desempenho da estrutura. Logo, faz-se necessário estimular a elaboração de tabelas de prospecção, de modo a catalogar e sistematizar as incidências patológicas em relação a determinados parâmetros de avaliação, como os abordados nesta ocasião. Por fim, espera-se que este trabalho ressalte a importância do planejamento e da abordagem criteriosa em um processo de avaliação de estruturas de obras-de-arte especiais, de modo a contribuir efetivamente para a recuperação e reabilitação das mesmas.

Quanto à preservação do meio ambiente, é importante que se observem os modelos de desenvolvimento de projetos de construção que eventualmente possam ter impacto sobre ambientes nativos e preservados. As medidas adotadas pelos construtores devem ser suficientes e primordiais para se reduzir as agressões ao meio ambiente. As aplicações de outros procedimentos que levem à manutenção das condições naturais devem ser encorajadas.

O planejamento é uma peça essencial de qualquer atividade de construção civil e, quando associado a riscos ambientais, exige maior cuidado e perícia em sua elaboração. Assim, deve ser feita a verificação da compatibilidade entre a evolução tecnológica, que tanto contribui para a melhoria da qualidade de vida do ser humano, e a preservação dos ambientes naturais nativos, dos quais a humanidade depende para se perpetuar a vida no planeta. Nos entremeios dessa relação encontra-se a engenharia que permite o desenvolvimento tecnológico, e propicia meios para que esse desenvolvimento seja sustentável.

Referências

- [1] L. C. Lourenço. *Análise da corrosão em estruturas de pontes metálicas e em concreto armado*. Dissertação de Mestrado. UFF. (2007).
- [2] E. P. Odum. *Ecologia*. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro. 1a Ed., 434 p. (1988).
- [3] IBAMA. *Relatório Perspectivas do Meio Ambiente Mundial Geo-Brasil*. Pub. IBAMA. (2002).
- [4] V. Gentil. *Corrosão*. Editora Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 4a Ed., 341p. (2003).
- [5] O. Cascudo. *O controle da corrosão de armaduras em concreto – inspeção e técnicas eletroquímicas*. Editora UFG, Goiânia, 237p. (1997).
- [6] PRO: *Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento*. (2004).



Cinpar
2010

VI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE
PATOLOGÍA Y RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS
2, 3 y 4 junio 2010 · Córdoba, Argentina

- [7] DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Trânsito. Norma 010/(2004).
- [8] L. C. Mendes. *Pontes*. Editora da Universidade Federal Fluminense. Niterói, (2003).