

3

Sistemática de Avaliação de Pontes e Viadutos

3.1.

Panorama Geral do que é Feito

A avaliação da integridade de pontes e viadutos ferroviários existentes, geralmente, tem como objetivo principal a realização da análise de segurança estrutural. As análises realizadas visam identificar, avaliar e caracterizar o comportamento estrutural, com o fim de fazer uma avaliação precisa sobre as atuais condições de segurança, e de forma auxiliar o desenvolvimento de um programa apropriado de manutenção dessas construções, para as condições atuais de carregamento e também para condições futuras (trens tipos modificados).

O estudo do comportamento estrutural das obras de arte existentes é feito a partir de um programa de investigação experimental, que contempla a realização de ensaios destrutivos e não destrutivos e através de simulações computacionais. Com base nesses procedimentos são realizadas avaliações do projeto original e readequações para melhorar a vida útil das obras inspecionadas, observando as recomendações para verificação de segurança das normas técnicas vigentes.

É conhecido que cada obra tem suas particularidades, e que determinadas análises mais específicas podem ser necessárias em algumas obras de arte especiais. Porém, em geral, nas avaliações da integridade de pontes e viadutos ferroviários existentes, onde se visa atender os requerimentos mínimos necessários para uma avaliação completa e detalhada, são consideradas as seguintes etapas de análise:

- Análise preliminar
- Análise do material construtivo
- Análise numérica
- Monitoramento estrutural
- Calibração do modelo
- Verificação do projeto segundo as normativas vigentes

Inicialmente, faz-se uma análise preliminar dos relatórios referentes aos trabalhos já realizados, em conjunto com uma inspeção visual da meso e da superestrutura das obras de arte. Essa abordagem tem o propósito de permitir a verificação de quais alterações ocorreram desde a última inspeção e quais as condições atuais da estrutura, além de identificar os pontos críticos que possam estar afetando o comportamento estrutural.

Para caracterizar fisicamente e quimicamente o material construtivo, faz-se uma análise do material por meio de ensaios mecânicos (resistência e módulo de elasticidade) e ensaios petrográficos e mineralógicos (caso seja detectado algum indicio de reação álcali-agregado no concreto), ambos quando se julgar necessário. Além desses ensaios são realizados testes preliminares de caráter não destrutivo *in loco*, para estimativas das propriedades do concreto. Os ensaios não destrutivos são feitos mediante ensaios dinâmicos considerando a excitação ambiente da estrutura, tais como o vento e a passagem do trem. Nesses ensaios são determinados os parâmetros modais, tais como frequência natural, modos de vibração e taxas de amortecimento.

A análise numérica é uma idealização computacional utilizando o método dos elementos finitos para análise linear estática e modal das obras de arte. O objetivo das análises é dar informações para avaliação do comportamento estrutural das pontes. As análises auxiliam na identificação dos pontos críticos prioritários para fixação de instrumentação (extensômetros, LVDT's e acelerômetros) e permitem a determinação numérica de modos e frequências de vibração da estrutura submetida a condições de carregamento dinâmico, que juntamente com os resultados experimentais permitem a caracterização dinâmica da estrutura. Outros resultados pertinentes a essa fase são tensão, deformação e esforços na estrutura.

Os carregamentos considerados na análise estática, geralmente são a carga permanente, a carga móvel, frenação e aceleração, e impacto lateral, a carga de vento, retração e variação de temperatura, empuxo de terra, e ou empuxo oriundo do trem na vizinhança do encontro.

A calibração dos modelos numéricos é realizada a partir dos ensaios não destrutivos empregando-se técnicas de re-análise. Com isso, são obtidas ferramentas de análise capazes de simular, de forma mais realista, o comportamento da estrutura considerando suas condições reais.

São feitas as correções necessárias, quanto ao tipo de modelo adotado para os elementos estruturais, quanto ao tipo de vínculos nas fundações (considerando de forma simplificada a rigidez do solo suportante), quando à

rigidez das conexões nos nós da estrutura e correções em relação a algum tipo de dano existente na estrutura e identificado nas monitorações. Tem-se o propósito de simular, nesse novo modelo numérico, as reais condições da estrutura. Uma vez obtidos os resultados numéricos e experimentais, é feita uma análise comparativa entre as duas respostas.

A partir dos resultados obtidos nas análises e do memorial de cálculo é elaborada a verificação de segurança atendendo as recomendações das normas técnicas em vigor, para projeto de estruturas de pontes. Pelas normas vigentes, em cada elemento estrutural devem ser feitas as verificações a seguir.

Nas longarinas, transversinas e lajes fez-se a verificação de fissuras e verificação no estado limite último em flexão simples e cisalhamento, segundo a NBR-6118:2003, e verificação à fadiga de acordo com o CEB-90.

No estado limite último é verificada se os momentos solicitantes são menores ou iguais ao momento resistente, $M_{sd} \leq M_r$ na flexão simples. São considerados esforços devidos ao carregamento permanente e à carga móvel, seguindo as recomendações da NBR6118:2003, no item 17.2.2.

Para a verificação do cisalhamento são seguidas as recomendações da NBR6118:2003, item 17.4.2.1, que considera atendida a resistência à força cortante em estado limite último quando o cortante solicitante de cálculo é maior ou igual à força cortante resistente de cálculo relativa à ruína por compressão diagonal do concreto, e à força cortante resistente de cálculo relativa à ruína por tração diagonal, composta pela contribuição do concreto e das armaduras.

O estado limite de abertura de fissuras (item 17.3.3 da NBR6118:2003) é caracterizado pela situação em que as fissuras se apresentam com aberturas características (w_k) iguais ou menores aos máximos especificados. Os limites máximos dessas aberturas são em função das classes de agressividade ambiental, descritas na NBR6118:2003, Tabela 6.1 – classes de agressividade ambiental.

Em estruturas bem projetadas e construídas e submetidas a ações previstas na normalização, a presença de fissuras com aberturas que respeitem os limites estipulados na norma, não denota perda de durabilidade ou perda de segurança quando aos estados limites últimos, segundo as prescrições da NBR6118:2003.

As verificações de vida útil à fadiga das longarinas são realizadas para os esforços normais e tangenciais. A contagem de ciclos é realizada por meio do algoritmo de Rainflow (Schijve, 1992). Após da contagem de ciclos, o dano é

calculado para a passagem de um trem, empregando-se a Teoria de Miner (Schijve, 1992), onde a vida útil à fadiga para um trem é o inverso do dano.

Para lajes, a verificação da vida útil à fadiga do concreto é realizada a partir do método simplificado do CEB-FIP, que é análogo ao recomendado pela NBR6118.

No caso dos pilares, faz-se a verificação no estado limite último em flexão composta com efeitos de segunda ordem seguindo o proposto pela NBR-6118:2003, e a determinação da vida útil a fadiga segundo o CEB-90.

Inicialmente, devem ser utilizadas as propriedades dos materiais (f_{ck}, f_{yk}) especificadas no projeto. Caso os elementos estruturais não atendam aos critérios normativos na verificação (utilizando-se as propriedades especificadas no projeto) uma análise mais elaborada deve ser feita utilizando os dados do obtidos nos ensaios, além de empregar modelos mais refinados.

Ao final das análises, numéricas e experimental, deve ser dado um parecer técnico para cada obra de arte analisada, com informações das atividades realizadas, mapeamento das anomalias, resultados dos ensaios, observações técnicas e especificações de recuperação.

3.2. Normas Técnicas

A seguir estão listadas algumas Normas Técnicas Brasileiras e Internacionais referentes ao projeto e execução de pontes e viadutos ferroviários:

- ABNT NBR – 07187/87 (NB-2) – Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido.
- NBR9452 – Vistorias de pontes e viadutos de concreto
- NBR7189 (NB7) – Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias.
- BS105 – Light and heavy bridge type railway rails.
- UIC777-1 – Measures to protect railway bridges against impacts from road vehicles, and to protect rail traffic from road vehicles fouling the track.
- UIC774-1 – Recommendations for the design of railway bridges.
- UIC776-1 – Loads to be considered in the design of railway bridges.