

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização: Produção e Gestão do
Ambiente Construído

Pedro Henrique Maciel de Souza

PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO DE PONTES LOCALIZADAS EM MINAS
GERAIS

Belo Horizonte,
2019

Pedro Henrique Maciel de Souza

**PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO DE PONTES LOCALIZADAS EM MINAS
GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

**Belo Horizonte,
2019**

Pedro Henrique Maciel de Souza

**PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE
PONTES LOCALIZADAS EM MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 15 de Fevereiro de 2019, ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído, aprovado pela banca examinadora constituída dos professores:

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva
UFMG – Escola de Engenharia

Prof. Dra. Cristiane Machado Parisi Jonov
UFMG – Escola de Engenharia

RESUMO

A necessidade de expansão territorial torna-se imprescindível, e para isso muitas vezes são necessárias a construção de pontes e viadutos, para que as cidades isoladas por rios e oceanos sejam interligadas, porém devido a falta de conservação e monitoramento de pontes e viadutos (Obras de Arte Especiais – OAES), tais estruturas ficam susceptíveis ao aparecimento de diversos tipos de patologias. Assim o presente trabalho busca analisar as patologias existentes nas pontes: Ponte sobre o Rio Cipó – Jaboticatubas, Sem nome – Raposos, Ponte sobre o Rio das Velhas – Sabará, localizadas no estado de Minas Gerais próximas a região metropolitana de Belo Horizonte. A partir de revisões bibliográficas das referentes pontes e de diferentes estudos patológicos tem-se o presente trabalho como um estudo de caso qualitativo, o qual analisa as patologias presentes nas pontes, as possíveis causas e maneiras de remediação dessas patologias, sempre enfatizando a importância da norma NBR 9452, a qual busca inspecionar as OAE's, identificar problemas patológicos, má concepção construtiva e aplicar remediações para solução dos problemas. As pontes no geral apresentaram em sua maior parte as patologias de carbonatação do concreto armado e oxidação da armadura, os problemas patológicos identificados foram classificados como regulares, de nível 3 de acordo com a NBR 9452. Contudo, os problemas patológicos em sua maioria foram derivados do meio ambiental, e as más concepções de proteção e construtivas podem agravar ainda mais as patologias existentes, sendo necessário realizar as medidas paliativas, solucionar as adversidades ambientais e as falhas no projeto para que as OAE's garantam segurança e maior funcionalidade à população.

Palavras-chave: Pontes. OAE's. Patologias. Problemas. Minas Gerais. Concreto armado. NBR 9452. Nível 3.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concreto armado	3
Figura 2 – Relações entre a durabilidade do concreto e o desempenho das estruturas.	4
Figura 3 - Elementos estruturais de uma ponte.....	5
Figura 4 - Ponte em laje	7
Figura 5 - Ponte em quadro rígido, Ponte St. Goustan	8
Figura 6 - Ponte Ernesto Dornelles ou ponte do Rio das Antas	8
Figura 7 - Maior ponte pênsil do mundo, localizada em Florianópolis, denominada ponte Hercílio Luz.	9
Figura 8 - Ponte estaiada localizada em São Paulo, Ponte Octávio Frias de Oliveira.	10
Figura 9 - Exemplo de lixiviação na superfície de concreto.	13
Figura 10 - Exemplo de Reação Álcali Agregado em pilar de ponte.	13
Figura 11 - Exemplificação da Carbonatação.....	15
Figura 12 - Ação dos íons cloreto (Cl-).....	15
Figura 13 - Tipos de Fissuras em estruturas de concreto armado.	16
Figura 14 - Fluxograma de vistoria especial.....	22
Figura 15 - Vista superior da Ponte sob o Rio Cipó sentido Jaboticatubas - Cardeal Mota.	27
Figura 16 - Vista lateral esquerda da Ponte sob Rio Cipó sentido Jaboticatubas - Cardeal Mota.....	27
Figura 17 - Vista inferior (da laje do 3º vão) sentido Jaboticatubas - Cardeal Mota ..	28
Figura 18 - Vista inferior 2 da laje do 3º vão sentido Jaboticatubas - Cardeal Mota .	28
Figura 19 - Vista inferior (da laje e da longarina lateral esquerda do 6º vão) sentido Cardeal Mota.....	29
Figura 20 - Vista inferior (da laje e da longarina lateral direita do 5º vão) sentido Cardeal Mota.....	29
Figura 21 - Longarina lateral esquerda do 6º vão da Ponte sob o Rio Cipó.....	31
Figura 22 - Parede do 3º pilar da Ponte sob o Rio Cipó.....	31
Figura 23 - Vista superior sentido MG-030 - Raposos.	33
Figura 24 - Vista superior sentido Raposos - MG-030.	33

Figura 25 - Vista inferior lateral direita sentido MG-030 - Raposos	35
Figura 26 - Vista inferior sentido MG-030 - Raposos	35
Figura 27 - Vista inferior pilar direito sentido MG-030 - Raposos	35
Figura 29 - Vista superior sentido Sabará - BR-262 - (lado Sabará)	38
Figura 30 - Vista lateral esquerda sentido Sabará - BR-262 - (lado Sabará).	38
Figura 31 - Vista inferior lateral esquerda sentido BR-262 - Sabará - (lado BR-262).	39
Figura 32 - Vista inferior da laje com concreto quebrado com armadura exposta e oxidada.....	39
Figura 33 - Longarina lateral esquerda com concreto quebrado, armadura exposta e oxidada.....	39
Figura 34 - Longarina lateral esquerda com concreto quebrado, armadura exposta e oxidada, devido colisão de veículos, por causa do gabarito rodoviário vertical baixo.	40
Figura 35 - Longarina lateral direita e esquerda com concreto quebrado armadura exposta e oxidada, formando broca ou ninho de concretagem.	40
Figura 36 - Pilar P15 com concreto quebrado e armadura exposta e oxidada.....	40
Figura 37 - Vista inferior lateral esquerda sentido Sabará - BR-262 (lado Sabará)...	41
Figura 38 - Vista da longarina lateral esquerda apoiada no pilar P2.	41
Figura 39 - Fundações com estacas expostas necessitando de proteção.	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das patologias.	16
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais manifestações patológicas nas OAE´s de concreto armado....	17
Tabela 2 - Características da ponte sobre do rio cipó.	25
Tabela 3 – Características da ponte não identificada – Raposos/MG.....	32
Tabela 4 - Ponte sobre o Rio das velhas – Sabará/MG	37

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO	2
1.1 Concreto Armado	2
1.1.1 Durabilidade e Desempenho do Concreto Armado.....	3
1.1.2 Pontes de Concreto Armado	5
1.1.2.1 Ponte em laje	6
1.1.2.2 Ponte em Quadro Rígido.....	7
1.1.2.3 Ponte em Arco	8
1.1.2.4 Ponte pênsil ou suspensa	9
1.1.2.5 Ponte estaiada	10
1.2 Patologias no concreto armado.....	10
1.2.1 Patologias em estruturas de concreto armado de pontes e viadutos.....	12
1.2.1.1 Corrosão do concreto armado.....	12
1.2.1.1.1 Lixiviação	12
1.2.1.1.2 Reação Expansiva Álcali Agregado	13
1.2.1.1.3 Reação expansiva por Sulfato	14
1.2.1.1.4 Reação Iônica	14
1.2.2.1 Corrosão das Armaduras	14
1.2.2.1.1 Carbonatação.....	14
1.2.2.1.2 Íons Cloreto.....	15
1.2.3 Fissuração.....	16
1.3 NBR 9452 – Inspeção de pontes em concreto armado.....	18
1.3.1 Inspeção cadastral	20
1.3.2 Inspeção rotineira.....	20
1.3.3 Inspeção especial	21
1.3.4 Inspeção Extraordinária	22
CAPÍTULO 2: PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE PONTES	24
2.1 Relato da pesquisa	24
2.2 Metodologia de obtenção de análise.....	24
2.3 Resultados e Discussões.....	25
2.3.1 Ponte sobre o Rio Cipó – Jaboticatubas/MG	25
2.3.2 Ponte sem identificação – Raposos/MG	32
2.3.3 Ponte sobre o Rio das Velhas – Sabará.....	37
CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

INTRODUÇÃO

Como o crescimento populacional vem aumentando consideravelmente, a necessidade de expansão territorial torna-se obrigatória, e para isso muitas vezes são necessárias a construção de pontes e viadutos para que possam ser interligadas cidades isoladas por rios e oceanos, unir novos bairros, vias e promover melhorias no fluxo do tráfego de veículos, dentre outros aspectos.

Portanto, a importância da construção destas obras de arte impulsiona o avanço nos conhecimentos e estudos de tecnologias necessárias para novas construções e futuras manutenções, que não são realizados de forma simples.

Porém, segundo Vítório (2006), a falta de uma cultura de manutenção, em especial a preventiva, faz com que os órgãos responsáveis pelas obras públicas priorizem apenas a execução, não havendo maiores preocupações com as questões relacionadas à conservação das pontes, viadutos e passarelas. Em um futuro próximo essas negligências proporcionam o aparecimento de diversos tipos de patologias em tais estruturas.

Acredita-se que muitas vezes durante a fase de sua concepção são feitos estudos e considerações de forma inadequada, o que ocasiona: falhas durante a execução da construção, adoção de mão de obra com baixa qualificação, a utilização de materiais que se diferem dos especificados no projeto, quando o carregamento limite suportado pela estrutura é ultrapassado, ou então quando a forma de sua utilização difere-se da qual foi especificada no projeto. Também são fatores que impulsionam o desenvolvimento de patologias nas estruturas.

Assim, o objetivo geral do presente trabalho é uma revisão bibliográfica atualizada sobre os problemas que as pontes, viadutos e passarelas (Obras de Arte Especiais – OAES) podem ter durante sua vida útil, dando ênfase nas que utilizam o concreto armado, apresentando estudos de casos reais de engenharia. Os objetivos específicos englobam a análise de três pontes: Ponte sobre o Rio Cipó – Jaboticatubas, Ponte sem identificação – Raposos e a Ponte sobre o Rio das Velhas – Sabará. Serão apresentadas as características de cada patologia existentes nas pontes, suas causas e origem, e maneiras de remediação, buscando dar maior importância a nova norma de inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto, NBR 9452.

CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Concreto Armado

No início dos anos 20 o concreto começou a ser utilizado nas construções no Brasil, o qual era patenteado por firmas estrangeiras presentes no país. O concreto tornou-se popularmente conhecido e utilizado no Brasil, quando indústrias cimenteiras desenvolveram-se nos país especificamente nos anos de 1930 (SANTOS, 2008).

Santo (2008) afirma que em 1940 o concreto já era utilizado nas mais diversas construções, seu uso foi normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, sendo regulado pelas atribuições profissionais do sistema CONFEA-CREAs¹ e passou a ser incluso nos currículos das escolas de engenharia e arquitetura. O concreto já estava presente nas ruas, diversas edificações, obras da arquitetura do Movimento Moderno e nas chamadas obras de arte da engenharia (pontes, viadutos e passarelas).

O concreto armado ou betão armado é caracterizado como um sistema de estrutura composto por armações de barras de aço (ditas ferragens ou vergalhões de aço) em vigas e pilares e por uma mistura de cimento (BASTOS, 2006). Essa mistura de cimento é constituída por agregados graúdos (pedras britadas, seixos rolados, dentre outros) agregados miúdos (areia, pedregulhos), aglomerantes (cimento), água, adições minerais (sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz, dentre outros) e aditivos (aceleradores, retardadores, fibras, corantes, dentre outros) (CORDEIRO, 2011). Segundo Bastos (2006) os vergalhões são barras feitas de uma liga metálica resistente formada por ferro e carbono, que pode ser modelada. O conjunto de vergalhões de aço é denominado como armadura.

Os vergalhões de aço (barras de aço) são responsáveis por resistirem aos esforços de tração enquanto que o concreto (mistura de cimento) possui o papel de resistir a compressão. A Figura 1 demonstra a associação dos vergalhões de aço com o concreto, dando origem ao concreto armado.

Figura 1 - Concreto armado



Fonte: Marcellino, 2017.

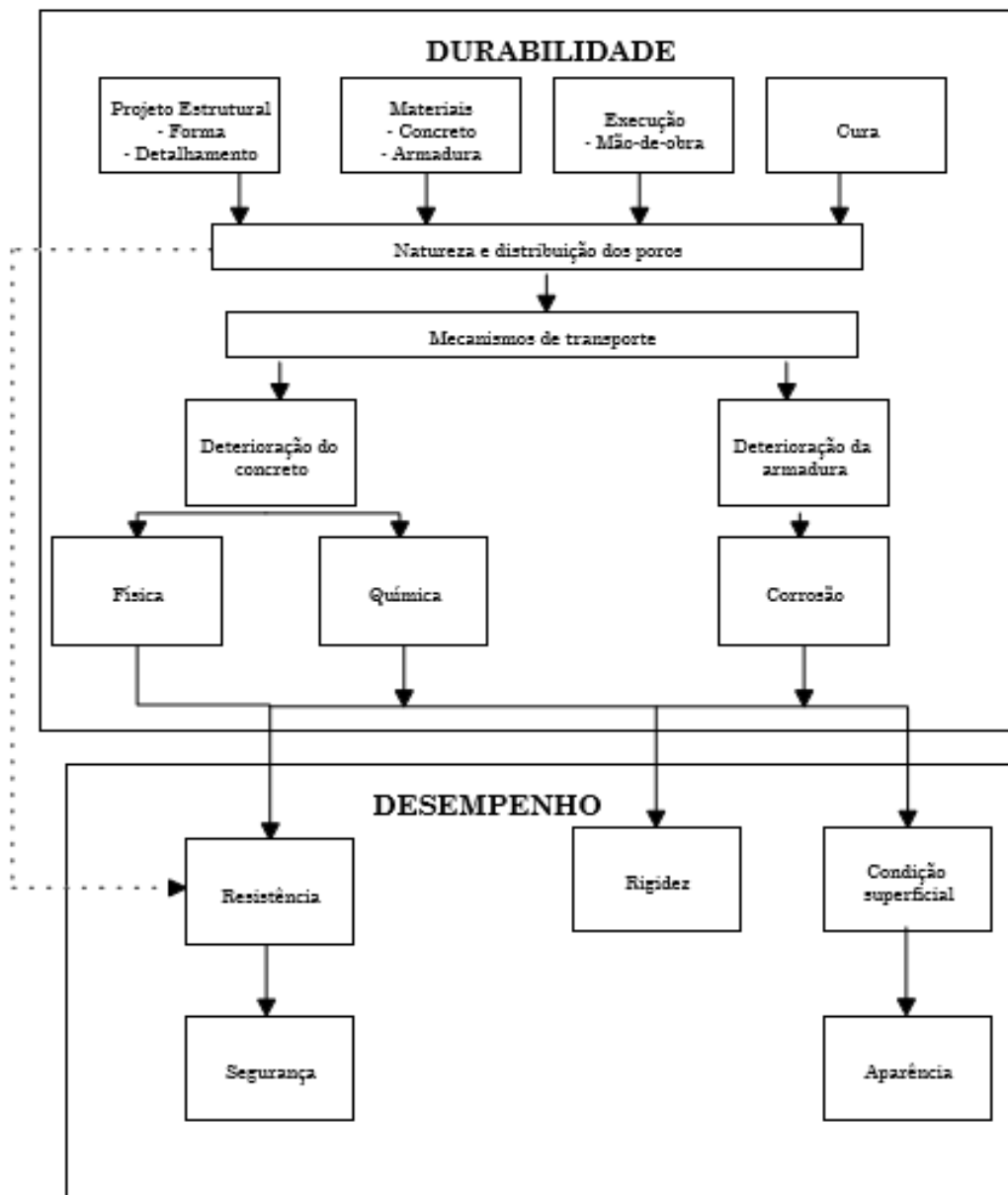
Marcellino (2017) afirma que é simples desenvolver a estrutura de concreto, porém é necessário ter conhecimento de suas propriedades para que haja qualidade e segurança no produto final. Portanto, é importante que o profissional saiba das propriedades do material, dos fundamentos de projeto, das normas e da tecnologia de execução.

1.1.1 Durabilidade e Desempenho do Concreto Armado

Durante a década de 90 as estruturas de concreto armado eram criadas para cumprir a função de segurança e estabilidade, a durabilidade e o desempenho como garantia da sua vida útil não era algo prioritário, pois imaginava-se que o concreto armado mantinha suas propriedades, físicas, químicas e mecânicas com o passar do tempo, o que não ocorre (HELENE; ANDRADE, MEDEIROS).

Existem diversos fatores que interferem na durabilidade do concreto que influenciam no desempenho das estruturas constituídas por ele. A partir da Figura 2, tem-se o esquema dos pressupostos que influenciam diretamente no processo de deterioração do concreto armado.

Figura 2 – Relações entre a durabilidade do concreto e o desempenho das estruturas.



Fonte: CEB, 1992.

Diante da Figura 2, infere-se que o movimento/transporte de substâncias químicas através dos poros do concreto e contato direto do meio ambiente com a estrutura, afetam na durabilidade das mesmas, acarretando no surgimento de diferentes tipos de processos de degradação, no próprio concreto, como também em sua armadura.

De acordo com Roque e Moreno (2005) determinar a vida útil de uma estrutura de concreto está associado a diversos fatores, como a qualidade do projeto, construção e nível de manutenção. Segundo Aranha e Dal Molin (1993):

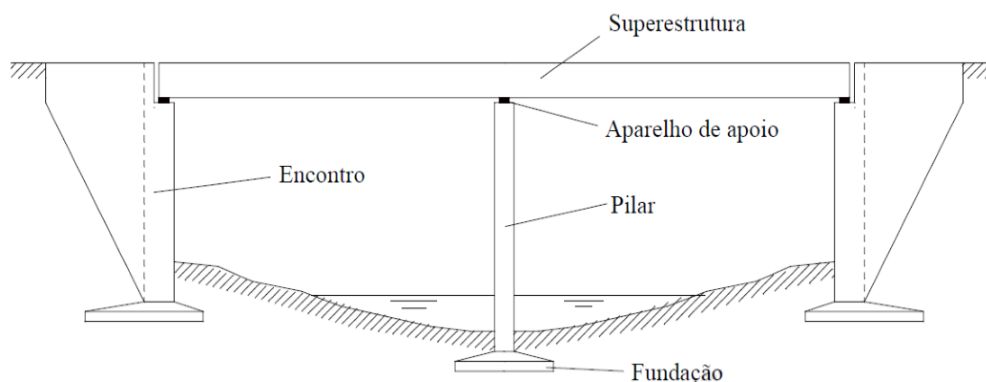
As estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e operadas de tal forma que, sob condições ambientais esperadas, mantenham sua segurança, funcionalidade e a aparência aceitável durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem requer altos custos para manutenção e reparo (ARANHA;DAL MOLIN, 1993, p. 50.)

Assim, a durabilidade e a vida útil das estruturas constituídas de concreto armado são difíceis de serem determinadas por ser um problema atemporal, o qual leva certo tempo para que ocorra. Não há a determinação de quanto tempo uma estrutura é ou não durável, pois a durabilidade está relacionada a vida útil que é desejada, que varia com uma serie de fatores que ainda não são bem definidos.

1.1.2 Pontes de Concreto Armado

As pontes são caracterizadas como estruturas que permitem interligar dois pontos, são comumente utilizadas para a transposição de obstáculos naturais ou criados pelo homem, permitindo assim a passagem dos mais diversos tipos de veículos (MATTOS, 2001). As pontes são subdivididas em três elementos estruturais, sendo eles: a superestrutura, infraestrutura e mesoestrutura, evidenciados na Figura 3.

Figura 3 - Elementos estruturais de uma ponte



Fonte: Mattos, 2001.

De acordo com Mattos (2001) a superestrutura é a parte da ponte destinada a vencer o obstáculo, sendo subdividida em dois elementos: a estrutura principal, sistema estrutural principal ou simplesmente sistema estrutural (cuja função é vencer o vão livre) e a estrutura secundária, tabuleiro ou estrado (recebe a ação direta das cargas e a transmite para a estrutura principal). Ainda, segundo Mason (1977):

(..) a superestrutura recebe diretamente as cargas do tráfego, caracteriza as vigas principais de uma ponte como longarinas e as transversais como transversinas, sendo que o tabuleiro e o sistema principal de vigas funcionam de forma integrada (MASON, 1977, p. 76).

A infraestrutura é designada pela parte da ponte que recebe as cargas da superestrutura através dos aparelhos de apoio e transmite-as ao solo (MATTOS, 2001).

A mesoestrutura é composta pelo aparelho de apoio, encontros e pilares. O aparelho de apoio é o elemento colocado entre a infraestrutura e a superestrutura, destinado a transmitir as reações de apoio e permitir determinados movimentos da superestrutura. Os encontros dos elementos situados nas extremidades da ponte possuem a função de suporte e de arrimo do solo. Os pilares ditos elementos de suporte, normalmente situam-se na região intermediária (MATTOS, 2001).

Além da classificação dos elementos estruturais de uma ponte, a mesma pode ser classificada de acordo com a sua finalidade de uso, os materiais utilizados para sua concepção, extensão do vão, o tipo estrutural, durabilidade e o tráfego a ser empregado. Pode ser denominada como ponte em laje, ponte em quadro rígido, ponte em arco, ponte em pênseis e ponte estaiada.

1.1.2.1 Ponte em laje

Segundo Mattos (2001) a ponte em laje possui a seção transversal sem a presença de vigamentos, e o sistema estrutural encontra-se apoiado ou contínuo. Este sistema estrutural apresenta algumas vantagens, como pequena altura de construção, boa resistência à torção e rapidez de execução. Podem ser moldadas no local ou constituídas de elementos pré-moldados. A Figura 4 demonstra um exemplo de ponte em laje.

Figura 4 - Ponte em laje



Fonte: Mattos, 2001.

A ponte em laje pode ser concebida em concreto armado ou protendido com a relação entre a espessura da laje e o vão variando de 1/15 a 1/20 para concreto armado e até 1/30 para concreto protendido. Quando os vãos são extensos, o peso próprio é muito alto e costuma-se adotar a solução da seção transversal em laje alveolada, onde os vazios podem ser conseguidos com fôrmas perdidas, através de tubos ou perfilados retangulares de compensado ou de plástico (MASON, 1977).

1.1.2.2 Ponte em Quadro Rígido

A ponte em quadro rígido é formada pela ligação da superestrutura e a mesoestrutura, o que extingue a necessidade de utilizar aparelhos de apoio. Este sistema estrutural é viável quando há pilares esbeltos, sendo necessária a redução do comprimento de flambagem ou a manutenção da ponte deve ser mínima, uma vez que inexistem articulações e aparelhos de apoio (MATTOS, 2001). A Figura 5 demonstra o exemplo de uma ponte de quadro rígido.

Figura 5 - Ponte em quadro rígido, Ponte St. Goustan



Fonte: Rosebium, 2009.

1.1.2.3 Ponte em Arco

A ponte em arco constituída por concreto armado possuem grandes vãos com pequeno consumo de material. Segundo Mason (1977) O eixo do arco é preferencialmente projetado coincidindo com a linha das pressões devido às carga permanentes, pois usa-se como vantagem a boa resistência a compressão que o concreto possui. As estruturas em arco podem ser projetadas com tabuleiro superior, sustentado por montantes, ou com tabuleiro inferior, sustentado por tirantes/pendurais. Há também o sistema misto com o arco intermediário, que é sustentado por montantes e, na área central, por pendurais. A Figura 6 demonstra um exemplo de ponte em arco.

Figura 6 - Ponte Ernesto Dornelles ou ponte do Rio das Antas



Fonte: Carcamano, 2013.

Mason (1977) ainda firma que as estruturas com arcos inferiores e intermediários geram altos valores de esforços horizontais na base do arco, o que gera a necessidade de um excelente terreno de fundação. Quando a ponte em arco é construída por concreto armado, deve-se prever um plano de concretagem bem definido para reduzir os efeitos de retração e deformação lenta do material.

1.1.2.4 Ponte pênsil ou suspensa

A ponte em pênsil ou suspensa é a que suporta maiores vãos, pois o tabuleiro contínuo é sustentado por vários cabos metálicos ligados a dois cabos maiores que, por sua vez, ligam-se às torres de sustentação (MATTOS, 2001). De acordo com Mattos 2001:

A transferência das principais cargas às torres e às ancoragens em forma de pendurais é feita simplesmente por esforços de tração. Os cabos comprimem as torres de sustentação, que transferem os esforços de compressão para as fundações (MATTOS, 2001, p. 35).

Segundo Mattos (2001) a ponte pênsil, quando sujeita a grandes cargas de vento, apresenta movimentos no tabuleiro que podem tornar o tráfego desconfortável e até perigoso, assim é fundamental que o tabuleiro seja projetado com alto grau de rigidez à torção, para que este efeito seja mínimo. A Figura 7 demonstra um exemplo de ponte pênsil.

Figura 7 - Maior ponte pênsil do mundo, localizada em Florianópolis, denominada ponte Hercílio Luz.



Fonte: Orguel, 2016.

1.1.2.5 Ponte estaiada

Mattos (2001) afirma que a ponte estaiada é semelhante a ponte pênsil, porém diferem-se como os cabos são conectados às torres. Na ponte pênsil os cabos passam livremente através das torres e, na ponte estaiada os cabos são ancorados nas torres. Foi concedida

Na ponte estaiada o vigamento de maior rigidez à torção se apoia nos encontros, nas torres de ancoragem e no sistema de cabos retos esticados, denominados estais, partindo dos acessos do vigamento, passando pelas torres de ancoragem e conseguinte ao vão central para a ancoragem causando maior sustentação. A Figura 8 demonstra um exemplo de ponte estaiada (MATTOS, 2001).

Figura 8 - Ponte estaiada localizada em São Paulo, Ponte Octávio Frias de Oliveria.



Fonte: Folha Online, 2010.

As torres/pilones da ponte estaiada podem ser projetadas com grande esbeltez, pois transmitem apenas pequenas forças provenientes do vento e contribuem muito para a segurança contra a flambagem (MATTOS, 2001).

1.2 Patologias no concreto armado

O termo patologia é utilizado na engenharia civil quando uma estrutura vem a sofrer algum dano físico ou químico em seus elementos. Tal termo foi retirado de uma expressão comumente usada na área da saúde, esta palavra neste ramo referencia o estudo de doenças, seus sintomas e suas modificações provocadas no organismo.

Os principais problemas encontrados nos projetos arquitetônicos que causaram patologias nas estruturas segundo Isaia (2005) são: dificuldade na realização de manutenções preventivas e formação de microclimas sujeitos a deterioração e elementos de concreto aparentemente não concebido para a durabilidade.

De acordo com Isaia (2005) os projetos estruturais muitas vezes são elaborados considerando um dimensionamento que promove o aparecimento de fissuras, são utilizados fatores como água/cimento e cobrimentos nominais inferiores à classe onde o concreto está exposto, a utilização incorreta de materiais inadequados ao meio que o mesmo se encontra, e adoção de juntas estruturais sujeitas à infiltração de água.

Em relação aos projetos de fundação Isaia (2005) declara que podem ocorrer recalques e acomodações diferenciais que geram fissuras. Além disso, muitas vezes os projetos executivos são elaborados com pouco detalhamento, o que pode promover o aparecimento de fissuras também.

A patologia pode estar relacionada à escolha do cimento, dos agregados, da quantidade/qualidade da água e da armadura. Quanto ao cimento, segundo Isaia (2005), as patologias estão relacionadas à escolha incorreta da resistência a compressão, finura, início e fim de pega, expansibilidade, calor de hidratação, sua composição, perda ao fogo, etc. Em relação aos agregados as patologias estão relacionadas segundo Isaia (2005), à distribuição granulométrica, o formato de seus grãos, análise petrográfica e reatividade potencial. Já as patologias relativas à água segundo Isaia (2005), podem ser ocasionadas devido a contaminação por cloretos, sulfatos, alcalis e ao seu teor de pH.

Por fim, a armadura empregada segundo Isaia (2005), pode não atender ao limite de resistência, alongamento mínimo, dobramento, dentre outros.

De acordo Isaia (2005) as patologias ocorridas durante a execução do projeto surgem caso não haja uma análise correta em relação ao tempo de mistura do concreto, quantidade de materiais utilizados, tempo e perda de abatimento durante o transporte do mesmo, peças com grandes alturas durante o lançamento e a má determinação do tempo necessário para a interação do concreto com a água durante sua cura inferior ao mínimo.

As patologias mais comuns segundo Isaia (2005) referentes ao uso e manutenção ocorrem devido à sobrecarga nos pavimentos, originando fissuras e quebra de placas, desgaste do componente elástico das juntas estruturais, o que favorece a criação de microclimas, levando a deterioração do concreto e de armaduras, desgaste do aparelho de apoio, das fissuras e quebra de peças, deslocamentos excessivos o que pode ocasionar no colapso da estrutura de concreto.

1.2.1 Patologias em estruturas de concreto armado de pontes e viadutos

As patologias em estruturas de concreto armado englobam a corrosão do concreto armado (lixiviação, Reação Expansiva Álcali Agregado e reação expansiva do sulfato), corrosão das armaduras (carbonatação e íons de cloreto) e fissuração.

1.2.1.1 Corrosão do concreto armado

A corrosão do concreto é o mecanismo que provoca a sua degradação provocando desagregação ou até deslocamento. Esta patologia ocorre geralmente onde o concreto está exposto à umidade, agentes agressivos ou então a áreas onde houveram falhas durante a execução. A corrosão do concreto armado incluem os processos de lixiviação, reação expansiva álcali agregado, reação expansiva por sulfato e reação iônica.

1.2.1.1.1 Lixiviação

A lixiviação segundo Laner (2001) pode ser definida pela remoção de compostos hidratados da pasta de cimento por reações químicas e conseqüentemente o seu pH reduz. Tal patologia se manifesta formando manchas brancas na superfície do concreto, e conseqüentemente ocorre o aparecimento de estalactite e estalagmite. A Figura 9 apresenta como a lixiviação manifesta na estrutura de concreto.

Figura 9 - Exemplo de lixiviação na superfície de concreto.



Fonte: ECIVIL, 2018.

1.2.1.1.2 Reação Expansiva Álcali Agregado

Segundo Laner (2001) a reação álcali-agregado mais comum é a que envolve a sílica ativa composta no agregado com o alcalis do cimento. Sua manifestação é em forma de fissuras de 0,1 mm até 10 mm, podendo facilitar a entrada de agentes agressivos à estrutura. Tais fissuras podem ser comparadas à uma teia de aranha. A Figura 10 mostra a maneira como ocorre esta manifestação na estrutura do concreto.

Figura 10 - Exemplo de Reação Álcali Agregado em pilar de ponte.



Fonte: Silva, 2017.

1.2.1.1.3 Reação expansiva por Sulfato

Segundo Laner (2001) o sulfato de sódio em contato com o hidróxido de cálcio e umidade ocorre uma reação química denominada reação expansiva por sulfato, que promove a lixiviação do Ca(OH)_2 . Esta reação de acordo com Neville (1997), gera um aumento localizado de volume, e não total, e também deixa a estrutura mais porosa. Fato explicado pela formação etringita orientada acicular.

1.2.1.1.4 Reação Iônica

Segundo Cassal (2000) a reação iônica ocorre quando a pasta endurecida do concreto reage com substâncias existentes nas soluções agressivas, formando compostos solúveis que são removidos pela água posteriormente.

1.2.2.1 Corrosão das Armaduras

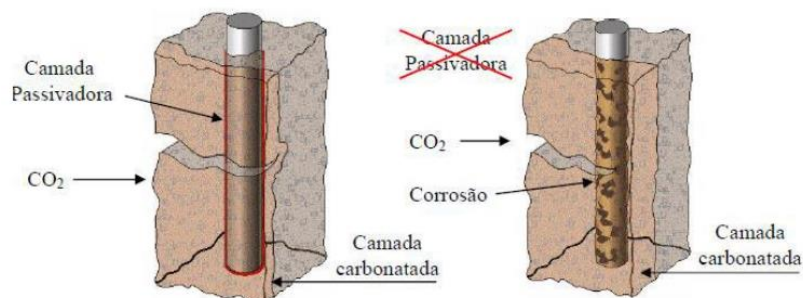
Os dois principais mecanismos responsáveis pela corrosão das armaduras são a carbonatação e ataques de íons cloretos.

1.2.2.1.1 Carbonatação

Segundo Poglialli (2009), a carbonatação ocorre quando a superfície da estrutura de concreto passa a ter duas zonas de pH diferentes, uma faixa de 12 e outra de 8. Conseqüentemente a carbonatação vai entrantado para o interior da estrutura promovendo a despassivação da armadura, iniciando então a corrosão generalizada da mesma.

Segundo Cantuária e Carmona (2005), seus principais efeitos são redução do pH, redução da permeabilidade, aumento da resistência superficial, incremento de resistividade elétrica, etc. A Figura 11 apresenta a corrosão da armadura devido à carbonatação.

Figura 11 - Exemplificação da Carbonatação



Fonte: Bazan, 2014.

1.2.2.1.2 Íons Cloreto

Segundo Fortes e Andrade (2001), os íons cloreto (Cl^-) atuam na estrutura de concreto promovendo a redução de seu pH de 12,5 a 13,5 para 5. Tais íons atacam a armadura de forma que a camada passivadora fique comprometida, provocando a corrosão por pite, e conseqüentemente, diminui o diâmetro da barra de aço.

Segundo Cascudo (1997), os íons cloreto podem ser transportados para dentro da estrutura de concreto através de absorção capilar, difusão, permeabilidade e migração. A difusão ocorre em um tempo maior, já por absorção capilar os íons penetram facilmente. A Figura 12 demonstra um concreto armado que teve sua estrutura danificada devido a ação dos íons cloreto.

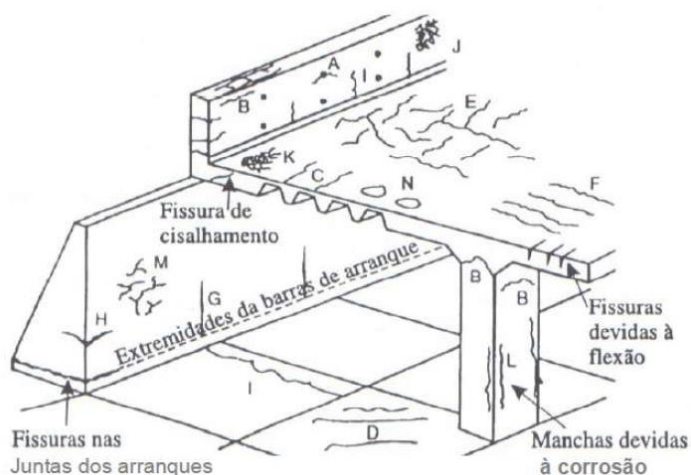
Figura 12 - Ação dos íons cloreto (Cl^-)

Fonte: Guerra, 2013.

1.2.3 Fissuração

As fissuras são uma das patologias mais recorrentes que as estruturas de concreto podem sofrer. Alguns tipos de fissuras são demonstrados na Figura 13.

Figura 13 - Tipos de Fissuras em estruturas de concreto armado.



Fonte: Neville, 1997

Para identificar cada trinca, geralmente são analisadas as inclinações, espaçamento, abertura, trajetória e posições que as fissuras estão apresentando.

Vale ressaltar que as patologias, possuem suas características específicas e acontecem devido a particularidades definidas no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação das patologias.

Tipo	Subdivisão	Posição	1ª Causa	2ª Causa	Medidas	Tempo
Assentamento plástico	Na armadura	Seções espessas	Exsudação excessiva	Secagem rápida	Revibração ou redução de exsudação	10 minutos a 3 horas
	Arqueamento	Topos pilares				
	Variação profundidade	Lajes variáveis				
Retração Plástica	Diagonal	Lajes e pavimentos	Secagem rápida prematura	Exsudação lenta	Melhorar cura inicial	30 minutos a 6 horas
	Aleatória	Lajes	Secagem rápida prematura ou armadura próxima da superfície			
	Na armadura	Lajes armadas				

Contração térmica prematura	Restrição interna	Paredes espessas	Calor excessivo	Resfriamento rápido	Reduzir o calor ou isolar	1 a 2 dias ou 3 semanas
	Restrição externa	Lajes espessas	Gradiente térmico excessivo			
Retração hidráulica a longo prazo	-	Lajes e paredes delgadas	Juntas ineficazes	Retração excessiva, cura ineficiente.	Reduzir água, melhorar a cura.	Algumas semanas ou meses
Gretamento	Junto as formas	Paredes	Formas impermeáveis	Misturas ricas, cura inadequada	Melhorar a cura e acabamento	1 a 7 dias, as vezes mais tarde
	Concreto desempenho	Placas	Acabamento excessivo			
Corrosão da armadura	Carbonatação	Colunas e vigas	Cobrimento inadequado	Concreto de baixa qualidade	Eliminar causas inadequadas	Mais de 2 anos
	Cloretos					
Reação álcali-agregado	-	Locais úmidos	Agregado reativo e cimento com alto teor de alcais	-	Eliminar causas inadequadas	Mais de 5 anos
Bolhas	-	Lajes	Água de exsudação aprisionada	Usar desempenadeira metálica	Eliminar causas inadequadas	Ao toque
Fissuração	-	Bordas de placas	-	Agregado danificado por congelamento	Reduzir tamanho do agregado	Mais de 10 anos

Fonte: Neville, 1997.

A partir da identificação da causa e do tipo de patologia, pode-se aplicar medidas preventivas e corretivas que também são específicas para cada caso. Ainda, cada tipo de patologia desenvolve-se a partir de um tempo determinado após uma atividade errônea específica.

Machado (2002) desenvolveu observações e estudos em diversas estruturas de concreto e relacionou a incidência das principais manifestações patológicas nas estruturas com suas ocorrências, descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais manifestações patológicas nas OAE's de concreto armado.

Manifestações patológicas	Ocorrência %
Manchas na superfície do concreto armado	22
Deformações (flechas e rotações) excessivas	21
Segregação dos materiais componentes do concreto	20
Corrosão das armaduras do concreto armado	20
Fissuras e trincas ativas ou passivas nas peças de concreto armado	10
Deterioração e degradação química da construção	07

Fonte: Machado, 2002.

Diante da Tabela 1, pode-se evidenciar que as manifestações patológicas desenvolvem-se nos mais variados tipos, porém existem determinadas patologias que ocorrem de maneira mais frequente nas OAES que utilizam concreto armado.

1.3 NBR 9452 – Inspeção de pontes em concreto armado

As pontes e os viadutos que compõe a malha viária brasileira possuem maus aspectos de conservação que advém da sua má concepção. Os órgãos responsáveis por estas obras preocupam-se apenas com a execução, anulam as políticas e estratégias do âmbito federal, estadual e municipal, relacionadas à manutenção dessas obras públicas. Essa situação contrapõe as diretrizes pré-estabelecidas pela norma 9452, a qual exige vistorias constantes em pontes e viadutos de concreto, cujo objetivo é apontar o estado geral dessas obras civis, detalhando suas reais condições de utilização e as necessidades de reparo (MIOTTO, 2010).

De acordo com Vitorio (2015), as pontes, viadutos e passarelas são comumente denominadas como obras de arte especiais (OAE), as quais localizam-se distantes dos centros urbanos sendo sujeitas a deterioração devido a ação do meio ambiente, desgastes naturais e a carregamentos acidentais durante a sua longa utilização. Comumente as OAE são encontradas apresentando problemas patológicos, como: oxidação das armaduras, carbonatação e fadiga, as quais causam depreciação às obras em questão. Vale ressaltar que as OAE devem receber maiores fiscalizações, já que estão diretamente associadas à mobilidade e à segurança social.

Assim, a NBR 9452 busca identificar através das inspeções aspectos falhos ou que possam comprometer estruturalmente a OAE futuramente. As inspeções na OAE são realizadas ao longo de suas etapas de operação, a qual baseia-se na coleta de dados, desenvolvimento de laudos técnicos detalhando o andamento do projeto e os possíveis problemas patológicos a serem desenvolvidos com o decorrer do tempo, para que então possam ser recuperados corretamente (ABNT, 2016). Além disso, essas verificações são realizadas com o intuito de conseguir manter os aspectos estruturais, funcionais e de durabilidade das OAE's, sendo uma medida de prevenção.

A NBR 9452 foi concedida em 1986, porém Rocha e Oliveira (2017) declaram que não apresentava assertivamente, critérios a serem realizados para desenvolver protocolos de análises e classificações estruturais em relação as OAE's. De acordo com Araújo (2017) havia apenas um roteiro superficial para realização das vistorias, contendo os dados a serem levantados e as principais ocorrências a serem observadas (sem padronização), onde o profissional era submetido a realizar o roteiro de inspeção a seu critério, o que em alguns casos não garantia credibilidade ao projeto.

Em 2016 a NBR 9452 foi revogada, trazendo maior detalhamento quanto ao conteúdo do processo de inspeção, a identificação e a avaliação dos elementos constituintes das OAE's. Foram promulgados parâmetros para a classificação adequada quanto ao estado de conservação, proporcionaram subsídios para priorizar ações com o objetivo de manutenção e a possibilidade de maior intervenção nas obras quanto à gravidade dos problemas observados (ABNT, 2016).

De acordo com a NBR 9452 os elementos associados as pontes e viadutos são identificados e classificados de acordo com seu nível de importância e em relação a sua segurança estrutural. Essa classificação busca dar maior prioridade aos elementos possíveis de ocorrência de algum dano, colapso parcial ou total da obra. Posteriormente, vêm os elementos secundários, que podem ocasionar a ruptura em apenas uma parte de um vão. Consequente, vem os elementos terciários ou complementares, cujos danos não ocasionarão nenhum comprometimento estrutural (CRUZ, *et al.*, 2017).

Em relação ao processo de inspeção de obras especiais, Vitorio (2015) define que a partir da coleta de dados do projeto e da própria construção, deve-se desenvolver um exame detalhado da obra: elaboração de relatórios e laudos, os quais definem o estado da obra, para determinação de novas vistorias, manutenções, recuperações, reforços estruturais ou reabilitação. Além desses fatores, a documentação da inspeção deve possuir documentos fotográficos da obra e fichas de inspeção padronizadas preenchidas.

Em relação as vistorias a norma estabelece a necessidade da realização de 4 inspeções, sendo elas: a cadastral, a rotineira, a especial e a extraordinária (a qual foi acrescentada em 2016).

1.3.1 Inspeção cadastral

De acordo com a NBR 9452:2016 a inspeção cadastral é realizada no início de execução da obra, sendo caracterizada pela inspeção em que são anotados os primeiros dados associados à segurança e durabilidade da mesma. Esses dados advêm da documentação referente ao projeto e aos relatórios de fiscalização, os quais contêm todas as informações da OAE (ABNT, 2016).

Está inspeção primária caracteriza-se por ser bastante documentada, utilizando-a de referência para as inspeções: rotineira, especial e extraordinária. É de suma importância que os relatórios da inspeção cadastral contenham registro da vistoria, documentos e informes construtivos, anotações adicionais e documentário fotográfico (ABNT, 1986).

De acordo com Cruz, *et al.*, (2017) caso a OAE necessite de modificações como alargamento, reforços para mudanças de classe, bloqueio de articulações, dentre outras correções, deve-se realizar uma nova inspeção cadastral.

1.3.2 Inspeção rotineira

A inspeção rotineira serve para atualizar os documentos da inspeção cadastral, a qual deve ser realizada de dois em dois anos, porém a NBR 9452:1986 e a NBR 9452:2016 divergem neste quesito de intervalo de tempo, pois a norma atualizada em 2016 define que essa inspeção deve ocorrer em períodos não superiores a um ano (ABNT, 2016).

Nas inspeções rotineiras ocorrem avaliações visuais, e se caso seja identificado algum dano na OAE a mesma é acompanhada a cada vistoria, bem como, a necessidade de anotações de novos defeitos e ocorrências, tais como reparos, reforços, recuperações e qualquer modificação de projeto, realizadas no período. Ainda, a NBR 9452:1986 declara que a inspeção rotineira pode ser realizada sem auxílio de instrumentos de precisão ou equipamentos especiais (ABNT, 1986).

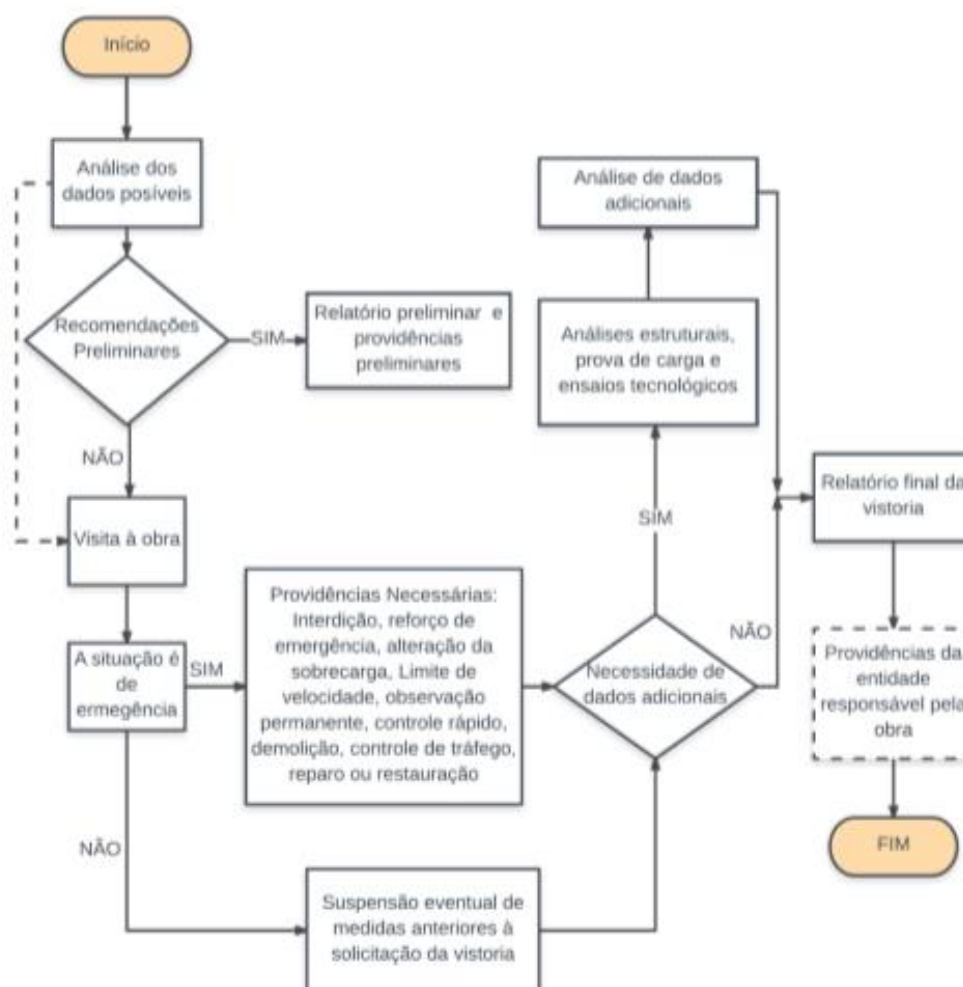
1.3.3 Inspeção especial

A NBR 9452 defende que a inspeção especial é um tipo de vistoria visual e instrumental, a qual deve ser realizada por um engenheiro especialista, para avaliar como estão os danos na OAE. Para uma inspeção minuciosa, deve-se utilizar lunetas, andaimes ou veículos especiais (dotados de lança ou gôndolas), flechas e instrumentos para medição de deformações (ABNT, 1986).

Segundo Cruz, *et al.*, (2017) este tipo de inspeção deve ser realizada de maneira rotineira, em intervalos inferiores a cinco anos. As inspeções especiais devem ser realizadas quando a inspeção cadastral ou quando a inspeção rotineira detectarem irregularidades graves, que possam comprometer a estrutura ou em ocasiões que haja passagens de cargas superiores a suportada pela obra.

Para a inspeção especial, a NBR 9452 apresenta um fluxograma a ser seguido para realização da vistoria, evidenciado na Figura 14.

Figura 14 - Fluxograma de vistoria especial



Fonte: NBR 9452, ABNT, 1986

A Figura 14 demonstra todo o processo de inspeção especial de maneira detalhada de acordo com a NBR 9452, evidenciando as diferentes medidas a serem tomadas diante de uma ação específica.

1.3.4 Inspeção Extraordinária

Segundo a ABNT (2016) a inspeção extraordinária foi promulgada com a atualização da norma 9452 em 2016, esta vistoria deve ser realizada sempre que haja uma data definida, quando a situação da obra é emergencial, quando é necessária alguma medida na estrutura devido a interferências humanas ou ambientais, ou quando necessita-se de análises detalhadas em um determinado local na OAE.

Dependendo do tamanho do dano averiguado, deve-se realizar intervenção para limitar a passagem de veículos e a magnitude da carga transportada.

De acordo com Helene (1997) quando ocorre identificação da possibilidade de algum dano futuro na OAE, a manutenção preventiva é fundamental para assegurar as boas condições da estrutura durante o período da sua vida útil. Caso essas manutenções sejam realizadas apenas quando ocorrer o dano, podem custar 25 vezes mais do que se fossem realizadas manutenções preventivas antes que ocorresse o agravo, por isso é fundamental que ocorra as inspeções regidas pela norma 9452.

Helene (1997) ainda afirma que as medidas preventivas podem ser cinco vezes mais econômicas caso a estrutura apresente problemas patológicos identificados desde os primórdios das inspeções.

Portanto, as correções dos problemas patológicos serão mais duráveis, efetivas, econômicas e mais fáceis de serem executadas quando mais cedo forem identificadas e realizadas as intervenções necessárias.

CAPÍTULO 2: PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE PONTES

2.1 Relato da pesquisa

O presente estudo busca realizar uma revisão bibliográfica de três diferentes pontes localizadas em cidades diversas, são elas: Ponte sobre o Rio Cipó – Jaboticatubas, Sem nome – Raposos, Ponte sobre o Rio das Velhas – Sabará. A análise enfatiza as patologias existentes nas pontes, as possíveis causas e maneiras de remediação, sempre enfatizando a importância da norma NBR 9452.

A pesquisa fundamenta-se em relatórios das pontes disponibilizados pelo Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER – MG) – Sistema de Gerenciamento de obras de Artes Especiais (SGO). O DER – MG é responsável por atender o usuário das estradas estaduais e o usuário de transporte coletivo da Região Metropolitana de BH. Tem como principais atividades: autorizar circulação de cargas em veículos especiais, averiguar o transporte fretado de passageiros intermunicipal e metropolitano, construir passagem para animais e máquinas em rodovias, consultar cadastro de empresas e veículos autorizados a prestarem o serviço de transporte fretado intermunicipal, averiguar normas técnicas para construção e sinalização de rodovias, e sobre as condições das rodovias sob responsabilidade do DER-MG.

A pesquisa em questão é classificada como qualitativa, a qual não há representatividade numérica, mas que busca produzir informações aprofundadas e ilustrativas, dando ênfase aos aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão da temática do presente trabalho. A pesquisa possui caráter exploratório, sendo um estudo de caso, o qual visa compreender o evento em estudo e ao mesmo tempo desenvolver teorias mais genéricas a respeito dos fenômenos observados, tendo como objetivo explorar, descrever, explicar e avaliar as patologias presentes nas pontes em questão.

2.2 Metodologia de obtenção de análise

Para o desenvolvimento do estudo de caso em questão o referencial teórico foi construído através de referências científicas: monografias, dissertações, artigos

técnicos acadêmicos, periódicos e catálogos, cuja temática contém compatibilidade ao conteúdo proposto. Houve levantamento junto aos arquivos da entidade competente, no caso Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER – MG), além de pesquisas exploratórias para contemplar a situação das pontes (Ponte sobre o Rio cipó – Jaboticatubas, Sem nome – Raposos e a Ponte sobre o Rio das velhas – Sabará).

Analisaram-se os requisitos propostos pela NBR 9452 para averiguação correta das reais condições das pontes. A argumentação referente as possíveis causas e maneiras de remediação das patologias, foram extraídas de diferentes estudos científicos e através de conhecimentos prévios adquiridos de estudos quanto a temática.

2.3 Resultados e Discussões

Abaixo as análises referentes as revisões bibliográficas das pontes: Ponte sobre o Rio cipó – Jaboticatubas, Sem nome – Raposos, Ponte sobre o Rio das velhas – Sabará.

2.3.1 Ponte sobre o Rio cipó – Jaboticatubas/MG

Jaboticatubas é um município brasileiro do estado de Minas Gerais, pertencente à Região Metropolitana de Belo Horizonte. A ponte sobre o Rio cipó pertence ao município de Jaboticatubas, e está localizada na rodovia MG 10 (trecho 010EMG0240), do sentido de Jaboticatubas a Cardeal Mota. A Tabela 2 contém as características e parâmetros da ponte sobre o Rio cipó.

Tabela 2 - Características da ponte sobre do rio cipó.

Ponte sobre o Rio cipó – Jaboticatubas/MG	
Ano do projeto	1991
Ano de construção	-
Tipo de estrutura	Grelha
Tipo de sistema construtivo	Moldado local C. A.
Tipo de região	Ondulada
Comprimento (m)	55,00
Largura (m)	4,60
Largura útil da pista (m)	4,35
Nº de faixas/Largura da faixa (m)	1,0 / 3,50
Largura Acost/Faixa Segurança Esq / Dir (m):	0,42 / 0,42
Guarda-Rodas	-

Tipo de Drenagem	-
Sentido da Correnteza	DIR->ESQ
Diâmetro Drenos (mm)	-
Altura Greide (m)	7,15

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As pontes de estrutura de grelha são comumente utilizadas em rodovias, suportam alto peso de carga, sendo compatível a funcionalidade da Ponte sobre a Serra do Cipó, que se encontra em uma rodovia e está susceptível a passagem de transportes com diferentes pesos de carga, cuja a frequência de carga pesadas é superior a 50%. A estrutura da ponte tipo grelha é constituída de um tabuleiro, formado por uma laje flexível e um sistema de vigas longitudinais e transversais. Durante a concepção da ponte avalia-se que o concreto armado foi moldado no próprio local de construção, neste caso é necessário tomar cuidado para uso correto das armaduras, uma vez que devem ser adequadas para atuarem como reforço do concreto. A fundação para construção da ponte foi realizada em rochas, sendo a região caracterizada como ondulada, possivelmente possui declividades entre 8% e 20%. Devido a ondulação da região, a mesma possui desnível entre o greide e o gradil, superior a 6m.

A ponte é composta por pavimento asfáltico, guarda-corpo em concreto armado (vazado), defesa metálica, aterro de encabeçamento, laje superior de concreto armado, viga T ou I principal de concreto armado, transversina de concreto armado ligado à laje, pilar parede de concreto armado, parede frontal de encontro de concreto armado e parede lateral de encontro de concreto armado. As Figuras 15 e 16 demonstram a Ponte sobre o Rio Cipó.

Figura 15 - Vista superior da Ponte sob o Rio Cipó sentido Jaboticatubas - Cardeal Mota.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 16 - Vista lateral esquerda da Ponte sob Rio Cipó sentido Jaboticatubas - Cardeal Mota.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

De acordo com a NBR 9452 a classificação da OAE consiste da atribuição de avaliação de sua condição, a saber excelente, boa, regular, ruim e crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. Essas

notas de avaliação, variam de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados. Assim, através das Figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22 demonstrase as patologias existentes na presente ponte.

Figura 17 - Vista inferior (da laje do 3º vão) sentido Jaboticatubas - Cardeal Mota



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 18 - Vista inferior 2 da laje do 3º vão sentido Jaboticatubas - Cardeal Mota



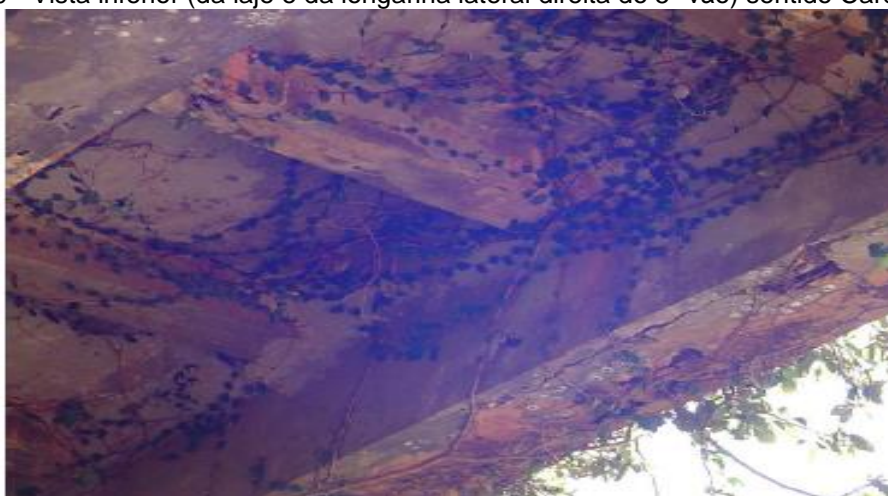
Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 19 - Vista inferior (da laje e da longarina lateral esquerda do 6º vão) sentido Cardeal Mota



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 20 - Vista inferior (da laje e da longarina lateral direita do 5º vão) sentido Cardeal Mota



Fonte: Acervo do autor, 2019.

As Figuras 17 (laje do 3º vão), 18 (laje do 3º vão de outras perspectiva), 19 (laje e longarina lateral esquerda do 6º vão) e 20 (laje e da longarina lateral direita do 5º vão) das lajes da ponte sobre o Rio Cipó em todos os casos apresentam o processo de carbonatação em suas regiões centrais e nas laterais houve oxidação/corrosão do concreto e fissuras.

As patologias, carbonatação, oxidação e fissuras, neste caso foram provocadas pela infiltração de águas, porém em diferentes níveis de gravidade. Em relação a fissura a mesma originou-se devido a falhas na execução do projeto.

Avalia-se que para a carbontação o nível é 4, considerado como bom, pois a estrutura apresenta danos pequenos e em pequenas áreas, sem comprometer a segurança estrutural. Relacionado a funcionalidade, as mesmas apresentam pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário. Já de acordo com a durabilidade, as lajes apresentam pequenas e poucas manifestações patológicas, em região de baixa agressividade ambiental. Para remediação do processo de carbontação, as lajes necessitam de aplicação de concreto no local.

Em relação as oxidações/corrosões presentes nas lajes, as mesmas possuem nível 3, cujas condições são classificadas como regulares. Em relação ao comprometimento da estrutura há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas e intervenções podem ser necessárias.

Tal patologia interfere na caracterização funcional das lajes, podendo apresentar desconforto ao usuário, com defeitos que dispensem intervenções imediatas, mas requerem ações de médio prazo. Em relação a durabilidade das lajes, o processo de oxidação neste nível apresenta de pequenas a poucas manifestações, podendo comprometer a vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental. Para remediação do processo de oxidação nas lajes há necessidade de aplicação de concreto no local.

Em relação as fissuras presentes nas lajes da pontes, as mesmas apresentam também nível 3, e os mesmos pressupostos das oxidações quanto ao grau de emergência estrutural, de funcionalidade e durabilidade.

Existem patologias também presentes na da longarina lateral esquerda do 6º vão e do 3º pilar parede da Ponte sob o Rio Cipó, evidenciadas nas Figuras 21 e 22.

Figura 21 - Longarina lateral esquerda do 6º vão da Ponte sob o Rio Cipó



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 22 - Parede do 3º pilar da Ponte sob o Rio Cipó



Fonte: Acervo do autor, 2019.

A longarina lateral esquerda do 6º vão também apresenta patologia característica de oxidação do concreto, do mesmo nível das oxidações presentes nas lajes, portanto a remediação é a mesma como também as características emergenciais quanto a estrutura, funcionalidade e durabilidade. Além do processo de oxidação, pela Figura 21 pode-se evidenciar que futuramente haverá carbonatação no local, devido ao início do surgimento das manchas escuras, específicas do processo de início da carbonatação, só que neste caso a estrutura ainda não foi degradada.

Em relação a parede do 3º pilar da viga há uma broca ou ninho de concreto próximo a base da viga que ocorreu devido a falhas na execução do projeto, sendo classificada como nível 3. Tal defasagem manifestou-se devido ao mal adensamento do concreto na armadura. Caso a broca aumente de tamanho com o tempo, a mesma pode comprometer a capacidade de suporte e a durabilidade da estrutura, caso não seja remediada com adição de concreto de maneira correta. Sem a adição do concreto na broca e inspeção adequada poderá agravar ainda mais a situação, ocasionando à segregação do concreto, exposição das armaduras, sua corrosão e, em último grau, o colapso da ponte.

2.3.2 Ponte sem identificação – Raposos/MG

Raposos é um município brasileiro do estado de Minas Gerais, pertencente a Região Metropolitana de Belo Horizonte. A ponte sem identificação localiza-se a 2,5 km da cidade de Raposos, especificamente na rodovia MG 030 (trecho 900AMG0140). As características da Ponte pertencente ao município de Raposos encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Características da ponte não identificada – Raposos/MG

Ponte não identificada – Raposos/MG	
Ano do projeto	-
Ano de construção	-
Tipo de estrutura	Dois pilares principais
Tipo de sistema construtivo	Moldado local C. A.
Tipo de região	Motanhosa
Comprimento (m)	42,20
Largura (m)	9,95
Largura útil da pista (m)	8,15
Nº de faixas/Largura da faixa (m)	2,0 / 3,50
Largura Acost/Faixa Segurança Esq / Dir (m):	0,55 / 0,60
Guarda-Rodas	Laterais
Tipo de Drenagem	-
Sentido da Correnteza	ESQ->DIR
Diâmetro Drenos (mm)	0
Altura Greide (m)	11,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O comprimento total da ponte foi fixado em 42,20 metros devido ao traçado curvo da rodovia e a escolha dos melhores pontos para fixação dos pilares,

permitindo que dois pilares permaneçam fora da água mesmo nos períodos de cheia.

Como a rodovia AMG 900 possui traçado curvo, a ponte foi projetada com traçados verticais e horizontais curvos, cujo raio é de 130,0 m, ângulo $8,98^\circ$ e 7% de rampa máxima. As Figuras 23 e 24 demonstram a Ponte curva

Figura 23 - Vista superior sentido MG-030 - Raposos.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 24 - Vista superior sentido Raposos - MG-030.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

A Ponte e a região encontram-se submetidas a diversos aspectos ambientais e físicos que podem ter originado certas patologias, e se caso esses problemas não forem solucionados podem agravar ainda mais a situação da ponte, mesmo que ela seja reparada. Verifica-se que água do rio onde a ponte foi construída está poluída, e os pilares da ponte encontram-se em constante contato com essa água. Devido a essa contaminação pode ocasionar corrosões na armadura, umidade permanente e eflorescências na superfície do concreto. Quando o rio atinge seu ponto máximo de cheia nos períodos, a água entra em contato com a superestrutura da ponte.

Vale ressaltar que as cheias representam um fenômeno com capacidade de produzir graves danos em uma ponte por causa da rápida elevação do nível da água, associada a grandes descargas e velocidades. A grande intensidade da força de arrasto aumenta o poder erosivo da água, que atinge maiores profundidades no leito do rio, causando o solapamento das fundações e criando uma situação que pode provocar a ruptura estrutural da ponte. O poder de destruição de uma cheia é geralmente ampliado por deficiências do projeto, falhas de construção e ausência de manutenção

Há um desnível elevado entre o greide e o terreno (>6m), esse desnível pode gerar um degrau formado entre o greide e o terreno, geralmente acompanhado da separação dessas bordas. Além de ser um perigo para a circulação dos veículos, também pode gerar fissuras na ponte com o passar do tempo. As Figuras 25,26, 27 demonstram as patologias existentes na ponte.

Figura 25 - Vista inferior lateral direita sentido MG-030 - Raposos



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 26 - Vista inferior sentido MG-030 - Raposos



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 27 - Vista inferior pilar direito sentido MG-030 - Raposos



Fonte: Acervo do autor, 2019.

A Figura 25 ilustra a laje superior da ponte, a qual pode ser evidenciada desgastes no concreto e a oxidação da armadura. Essas patologias são classificadas como nível 3 (regular) de acordo com a norma NBR 9452 e ocorreram devido a infiltração de água no concreto armado durante o período de chuvas (não há presença de pingadeiras), sendo necessário aplicar no local concreto projetado com armadura.

A Figura 26 como também a Figura 27, demonstram a saia do aterro/pé do aterro, onde há o processo de erosão, causada devido a infiltração das águas do rio contaminado. Como método de remediação é necessário que ocorra a recomposição do aterro com solo. Tal patologia também é classificada como nível 3.

A Figura 27 além de evidenciar a patologia presente na saia do aterro, também demonstra o processo de oxidação da armadura e quebra do concreto no pilar da coluna, sendo que a causa provável dessas patologias é o intemperismo, o qual baseia-se em transformações físicas (desagregação, no caso a quebra do concreto) e químicas (através da decomposição também do concreto). Em ambos os casos o processo de intemperismo ocorre devido a presença de água e umidade, para atenuar a situação é necessário que ocorra aplicação de concreto no local. Tal patologia também foi classificada como nível 3.

Vale ressaltar que as patologias existentes na OAE do município de Raposos, foram classificadas como nível 3, sendo regulares.

Em relação as estruturas danificadas: laje superior, saia do aterro e no pilar da coluna, as mesmas podem ocasionar deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da OAE. Recomenda-se acompanhamento dos problemas, sendo necessária realizar as recomendações para não agravar ainda mais as patologias.

As patologias presentes nessas estruturas podem apresentar desconforto ao usuário, sendo necessária a realização das ações remediadoras em médio prazo. De acordo com a classificação da NBR 9452 (nível 3 – regular) as patologias são moderadas, mas podem comprometer a vida útil e o desempenho da OAE, em região de baixa agressividade ambiental.

2.3.3 Ponte sobre o Rio das velhas – Sabará

O município de Sabará pertence ao estado de Minas Gerais e está localizado na região metropolitana de Belo Horizonte. É constituído pelos distritos de Carvalho de Brito, Ravena e Mestre Caetano, além do distrito Sede. A Ponte sobre o Rio das velhas está localizada a 8 km do município de Sabará, especificamente na rodovia BR 262, trecho 262BMG0490. As características da Ponte sobre o Rio das velhas estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 - Ponte sobre o Rio das velhas – Sabará/MG

Ponte sobre o Rio das velhas – Sabará/MG	
Ano do projeto	-
Ano de construção	-
Tipo de estrutura	Long princ e secund
Tipo de sistema construtivo	Moldado local C. A.
Tipo de região	Ondulada
Comprimento (m)	115
Largura (m)	8,20
Largura útil da pista (m)	7,20
Nº de faixas/Largura da faixa (m)	2,0 / 3,50
Largura Acost/Faixa Segurança Esq / Dir (m):	0,10 / 0,10
Guarda-Rodas	Laterais
Tipo de Drenagem	Bi-Lateral
Sentido da Correnteza	ESQ->DIR
Diâmetro Drenos (mm)	75
Altura Greide (m)	16,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A ponte sobre o Rio das velhas é a única em relação as duas pontes apresentadas que possui sistema de drenagem, sendo um sistema fundamental em qualquer ponte, já que é destinado a captar e conduzir as águas pluviais. Tal sistema abrange o escoamento das águas pluviais da pista, o tratamento de trincas e fissuras do pavimento e da laje estrutural da ponte e a drenagem dos caixões celulares, quando for o caso. Diante das Figuras 28 e 29 têm-se as fotos reais da Ponte sobre o Rio das velhas de Sabará.

Figura 28 - Vista superior sentido Sabará - BR-262 - (lado Sabará).



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 29 - Vista lateral esquerda sentido Sabará - BR-262 - (lado Sabará).



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Apesar do fator positivo do sistema de drenagem existente na ponte, a mesma apresenta fatores estruturais negativos devido a má concepção do projeto e fatores ambientais que influenciam no desenvolvimento e agravamento de determinadas patologias presentes na ponte.

Em relação aos fatores estruturais a Ponte sobre o Rio das velhas possui nível de vibração do tabuleiro elevado e desnível elevado entre o greide e o terreno (>6m). Já em relação aos fatores ambientais evidencia-se que a água do rio está poluída e há presença de lâmina d'água normal profunda (>2m). As patologias

existentes na Ponte sobre o Rio das Velhas estão presentes nas Figuras 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38.

Figura 30 - Vista inferior lateral esquerda sentido BR-262 - Sabará - (lado BR-262).



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 31 - Vista inferior da laje com concreto quebrado com armadura exposta e oxidada.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 32 - Longarina lateral esquerda com concreto quebrado, armadura exposta e oxidada.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 33 - Longarina lateral esquerda com concreto quebrado, armadura exposta e oxidada, devido colisão de veículos, por causa do gabarito rodoviário vertical baixo.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 34 - Longarina lateral direita e esquerda com concreto quebrado armadura exposta e oxidada, formando broca ou ninho de concretagem.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 35 - Pilar P15 com concreto quebrado e armadura exposta e oxidada.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 36 - Vista inferior lateral esquerda sentido Sabará - BR-262 (lado Sabará).



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 37 - Vista da longarina lateral esquerda apoiada no pilar P2.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

Figura 38 - Fundações com estacas expostas necessitando de proteção.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

As Figuras 30 e 31, da laje em balanço e da laje central, respectivamente, apresentam oxidação nas armaduras, porém devido a causas diferentes por estarem em posições diferentes. A oxidação da Figura 30 provavelmente ocorreu devido a falta de pingadeira na ponte, especificamente na lateral esquerda sentido BR-262, enquanto que a causa da oxidação das armaduras na laje central pode estar associada a falhas no projeto ou durante a execução. Para solução dessas oxidações é necessário aplica concreto com armadura nos locais. Em ambos os casos, a classificação da situação dessas patologias na OAE é de nível 3, sendo regular.

A Figura 32 evidência uma junta aberta, a qual foi desenvolvida devido a excessiva utilização das pontes com veículos transportando cargas com capacidade superiores com que a OAE suporta ou devido a excessivas movimentações de veículos, o que leva a uma variação volumétrica da estrutura pro que provoca aberturas (fissuras). A condição dessa patologia também é classificada como nível 3, regular. Para extinguir esse tipo fadiga, é necessário a implementação de uma junta do tipo JEENE (JJ3550VV), a qual tem como finalidade aliviar as tensões nas estruturas causadas por vibrações, variações de temperatura ou pela deformação que acontece lentamente no concreto, garantindo assim maior segurança a ponte.

As Figuras 33, 34 e 36 e o pilar das Figuras 35 e 37 projetado em diferentes posições apresentam patologias classificadas como oxidação da armadura devido a falhas durante o projeto e construção da ponte, pois há evidências de cobertura insuficiente e deslocamento do concreto armado, como solução torna-se necessário aplicar concreto projetado com armadura de maneira correta nesses lugares defasados. Diante da situação dessa patologia nas diferentes vigas da ponte as mesmas são classificas como grau 3, regulares.

A Figura 38 evidência patologias presentes na saia do aterro e no encabeçamento do mesmo, apresentam erosão no trecho frontal e desague inexistente de água nas extremidades, respectivamente. Tais patologias são oriundas da má concepção do projeto e da construção da ponte. Especificamente a erosão pode estar associada a erros no projeto quanto a dimensões dos sedimentos do leito do rio, forma dos pilares, ângulo entre o escoamento e os pilares, seção de vazão insuficiente, locação inadequada da ponte, fundações de pilares e encontros

mal concebidas e/ou executadas com profundidade insuficiente ou até mesmo modificação do leito original do rio.

A erosão representa uma das maiores causas dos problemas que acontecem nas fundações e nos aterros das pontes, podendo ser considerada responsável por significativa quantidade dos colapsos estruturais desses tipos de obras, carecendo de maior atenção. Vale ressaltar que este tipo de erosão é denominado como localizada ou fossa de erosão, que se desenvolve em torno dos pilares e encontros.

Como maneira de solucionar ou mitigar tais patologias, é indicado implementar uma descida d'água em degraus no aterro encabeçamento e recompor o solo na saia do aterro. Avalia-se que a situação dessas patologias são classificadas como nível 3 (regulares) de acordo com a NBR 9452.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do levantamento de dados e análises fotográficas das pontes do tipo laje, obtidas de revisões bibliográficas: Ponte sobre o Rio Cipó – Jaboticatubas/MG, Ponte sem identificação – Raposos/MG e a Ponte sobre o Rio das Velhas – Sabará/MG, apresentam no geral estado de conservação e gravidade patológica, regulares, de nível 3 de acordo com as premissões da NBR 9452.

As principais patologias presentes nas OAE's apresentadas são a de carbonatação do concreto. Evidencia-se que além da carbonatação as pontes sem identificação e a ponte sobre o rio das velhas apresentam oxidação da armadura, a ponte sobre o rio das velhas apresenta tal patologia em todas as longarinas, lajes, vigas e na saia do aterro, além das armaduras estarem completamente expostas ao ambiente, podendo agravar ainda mais o processo de oxidação.

Os rios que contemplam as pontes sem identificação e do rio das velhas apresentam-se poluídos, o que gerou patologias erosivas nas saias e no encabeçamento do aterro dessas pontes.

Muitas das patologias identificadas nas pontes foram em sua maioria causadas pelo ambiente natural, porém evidencia-se que as pontes apresentam erros gerados durante a execução do projeto ou de construção. Em alguns casos essas falhas podem agravar ainda mais as patologias geradas pelo ambiente ou até gerarem outras patologias.

Em relação a má concepção do projeto das pontes, tem-se como fatores preocupantes a inexistência de guarda-rodas e sistema de drenagem nas pontes sobre a serra do cipó e a sem identificação. A ponte sobre o rio das velhas é a única que possui o guarda-rodas e o sistema de drenagem, mas é a ponte que apresenta maiores evidências de má concepção do projeto, como também problemas patológicos.

Avalia-se que muitas medidas de remediação a serem tomadas são apenas paliativas, ou seja, com o passar do tempo irão acontecer novamente e podem até causar problemas mais graves. O correto é realizar tais medidas paliativas e buscar a raiz do problema ambiental, da má concepção construtiva e solucioná-los. Além desses quesitos é fundamental realizar dentro do prazo as inspeções adequadas de acordo com as diretrizes da NBR 9452.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-NBR 9452. **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: 1986.

ABNT-NBR 9452. **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: 2016.

BAZAN, G.C.G. **Análise do cobrimento e carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo**. Trabalho de Conclusão de curso. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2014, 151 p.

BASTOS, Paulo Sergio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. 98 f. 2006. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru – São Paulo, 20016.

CANTUÁRIA, L.L.; CARDOSO, E.N. **Análise do processo de passivação das armaduras no concreto**. Trabalho de conclusão de curso. Coordenação de Construção Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Goiânia: 2005, 81 p.

CARCAMO. **Ponte Ernesto Dornelles**. 2013. Disponível em: <<http://raizesdaarquitectura.blogspot.com/2013/03/ponte-ernesto-dornelles.html>>. Acessado em 24 de janeiro de 2019.

CARMONA, T.C. **Modelos de Previsão da desp passivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação**. Dissertação de mestrado. Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 1994, 88 p.

CASSAL, S.B. **Influência da cinza de casca de arroz na resistência de concretos à Ácidos**, Dissertação de Mestrado – Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo: PINI, 1997. 237 p.

CORDEIRO, Guilherme Chagas. **Concreto de alto desempenho com metacaulinita**. 143 f. 2001. (Dissertação) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2001

CRUZ, Rafael Barreto Castelo da., SILVA, Flávio Aguiar., CAVALCANTE, Pamella Leal., PACHECO, Rodrigo Raeder Martins., SANTOS, Rodrigo Ribeiro. Contribuições sobre Inspeções em Pontes e Viadutos Conforme NBR 9452:2016 – Vistoria de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concret0. In: **Revista Engenharia Estudo e Pesquisa. ABPE**, v. 17 - n. 1 - p. 18-29 - jan./jun. 2017

DAL MOLIN, D. C. C.; ARANHA, P. M. S. **Morbidades das Estruturas de Concreto Armado na Região Amazônica**. In: III Congresso Ibero-americano de la Construcción – CONPAT, La Habana, 1995.

ECIVIL. **Lixiviação**. Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-lixiviacao.html>> Acesso em 05 de outubro de 2018.

HELENE, Paulo R. L. **Vida Útil das Estruturas de Concreto**. Porto Alegre, 1997.

HELENE, Paulo., ANDRADE, Jairo José de Oliveira., MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. Disponível em: <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc55.pdf>> . Acessado em 24 de janeiro de 2019.

FOLHA ONLINE. **Ponte Octavio Frias de Oliveira entra para galeria de pontes mundiais**. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1105200821.htm>> Acessado em 24 de janeiro de 2019.

FORTES, L.R.; ANDRADE, J.C. **Corrosão na armadura de concreto armado: influência dos agentes cloretos e da carbonatação**. Disponível em <http://www.electus.com.br/usuarios/lyttelto>. Acesso em 05 out de 2018.

GUERRA, R. S. T. **A corrosão induzida por cloretos (RCC)**. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/12/a-corrosao-induzida-por-cloretos-rcc.html>> Acesso em 05 de outubro de 2018.

ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. 1.600 p.

LANER, Felice José. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre**. Dissertação pré requisito mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001. 157 f.

MACHADO, Ari de Paula. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. São Paulo: Pini, 2002.

MARCELLINO, Narbal. **Concreto é a solução durável e econômica**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=31&Cod=1943>>. Acessado em 24 de janeiro de 2019.

MASON, J. **Pontes em concreto armado e protendido**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1977.

MATTOS, Tales Simões. **Programa para análise de superestruturas de pontes de concreto armado e protendido**. 156 f. 2001. (Tese) – Engenharia Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MIOTTO, Daniella. **Estudo de caso de patologias observadas em edificação escolar estadual no município de Pato Branco – PR**. 2010. 63f. Estudo de Caso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Pato Branco – PR, 2010.

NEVILLE, ADAM MATTHEW. **Propriedades do Concreto**, 2ª Ed. São Paulo: PINI, 1997. 826 p.

ORGUEL. **Maiores pontes penseis do mundo**. Disponível em: <<http://www.grupoorguel.com.br/blog/maiores-pontes-penseis-mundo/>>. Acessado em 24 de janeiro de 2019.

POGLIALLI, F.S.J. **Durabilidade de estruturas de concreto em usinas siderúrgicas**. Monografia. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009, 81 p.

ROCHA, Gabriel Saraiva., OLIVEIRA, Henrique Leite de Oliveira. **Inspeção e avaliação de Patologias em pontes de concreto armado sob a ótica da NBR 9452: 2016 – Estudo de Caso em Viaduto da BR 37**. 2017. 114 f. Estudo de Caso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2017.

ROQUE, Antônio Jemes., JUNIOR, Armando Lopes. **Considerações sobre vida útil do concreto**. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/125.pdf. Acessado em 24 de janeiro de 2019.

ROSENBLUM, Anna. **Pontes em estruturas segmentadas pré-moldadas protendidas**. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAg128AK/pontes?part=3>>. Acessado em 24 de janeiro de 2019.

SANTOS, Roberto Eustáquio. **História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. 338 f. 2008. (Tese) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SILVA, Cristiane. **O que é RAA, a reação álcali-agregado**. Disponível em: <<https://blog.mettzer.com/referencia-de-sites-e-artigos-online/>> Acesso em 05 de Outubro de 2018.

VITÓRIO, J. A. P. **Pontes Rodoviárias: Fundamentos, Conservação e Gestão**. Recife: CREA-PE, 2002.

VITÓRIO, J. A. P. **Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**. Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto, 2006.

VITÓRIO, J. A. P. **Avaliação do grau de risco estrutural de pontes rodoviárias de concreto**. Rio de Janeiro: IBRACON, 2008.