

UNIVERSIDADE TIRADENTES – UNIT
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ BEZERRA DE ALMEIDA
RAUL MORAES LIMA FILHO
RUBENS CARLOS DOS SANTOS FILHO

**PATOLOGIAS E REABILITAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO
ARMADO: ESTUDO DE CASO EM UMA PONTE RODOVIÁRIA NO
MUNICÍPIO DE LARANJEIRAS/SE.**

ARACAJU-SE

2018

ANDRÉ BEZERRA DE ALMEIDA
RAUL MORAES LIMA FILHO
RUBENS CARLOS DOS SANTOS FILHO

**PATOLOGIAS E REABILITAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO
ARMADO: ESTUDO DE CASO EM UMA PONTE RODOVIÁRIA NO
MUNICÍPIO DE LARANJEIRAS/SE**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Tiradentes
como um dos pré-requisitos para
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil no período de 2018.2.

Orientador: Prof. Diego Faro.

ARACAJU-SE

2018

ANDRÉ BEZERRA DE ALMEIDA
RAUL MORAES LIMA FILHO
RUBENS CARLOS DOS SANTOS FILHO

**PATOLOGIAS E REABILITAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO
ARMADO: ESTUDO DE CASO EM UMA PONTE RODOVIÁRIA NO
MUNICÍPIO DE LARANJEIRAS/SE**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Tiradentes
como um dos pré-requisitos para
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil no período de 2018.2.

Aprovada em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Msc. Diego Faro Alves (Orientador)
Universidade Tiradentes (UNIT)

Prof^a. Msc. Raquel Alves Cabral Santana
Universidade Tiradentes (UNIT)

Prof^a. Msc. Robon Rabelo de Santana
Universidade Tiradentes (UNIT)

RESUMO

O atual estudo de caso identificou as patologias mais comuns encontradas na estrutura da ponte sobre o rio Sergipe, localizada no município de Laranjeiras/SE. A ponte tem como característica ser uma ponte rodoviária, onde faz parte do elemento rodoviário da BR-101 e é toda constituída em concreto armado e sua fundação em tubulão. Para o desenvolvimento do estudo de caso, foi utilizada a metodologia de levantamento de dados por vistoria in Loco, identificando uma grande diversidade de manifestações patológica e a sua provável causa, por fim acompanhou as obras de recuperação da estrutura e verificou por meio de cálculo de suas solicitações se o reforço que está sendo realizado atende ou não a demanda de carga e se é suficiente para prolongar a vida útil da obra de arte. O trabalho tem como objetivo explicar as principais causas do aparecimento das manifestações patológicas e identificar as prováveis ações corretivas a serem utilizadas. Ficou evidenciado que no Brasil, existe uma preocupação muito grande com a construção e não dando tanta importância para a manutenção das estruturas existentes. Assim foi observado que intervenções corretivas, nas quais estão sendo executadas, detém de um grau de complexidade muito maior do que as manutenções preventivas, sendo possivelmente muito mais dispendiosas e gerando transtornos maiores para a sua estrutura como um todo.

Palavras-Chaves: Manifestações Patológicas, ponte, intervenção.

ABSTRACT

The current case study identified as the most common pathologies in the structure of the bridge over the Sergipe river, located in the city of Laranjeiras / SE. The bridge has as characteristic the road bridge, that is part of BR-101 road element and is all made of reinforced concrete and its foundation in "tubulão". For the development of the case study, a methodology of in loco data collection was used, identifying a great diversity of pathological manifestations and its own likely causes, finally following the recovery works of the structure and verified by calculation of their solicitations if the strength that are being made or demand for cargo is sufficient to extend the useful life of the work of art. The main objective of this study is to explain the main causes of pathological manifestations and identify corrective actions most likely to be used. It was evidenced that in Brazil, there is a great concern with the construction and don't giving importance to the maintenance of existing structures. It was observed that corrective performances, which are being made, holds of degree of knowledge much higher than preventive maintenances, being possibly more expensive and mailing more disorder to its structure as to all.

Keywords: Manifestation pathological, bridge, intervention.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos.....	21
Figura 2: Lei de evolução dos custos	22
Figura 3: Elementos de uma ponte.....	27
Figura 4: Medidores de atividade das fissuras fontes.....	28
Figura 5: Por flexão, consequência da insuficiência de armadura negativa. ...	29
Figura 6: Por flexão, consequência da insuficiência de armadura positiva. ...	30
Figura 7: Por compressão, consequência da insuficiência de armadura de compressão.....	30
Figura 8: Por cisalhamento, consequência da insuficiência de estribo	30
Figura 9: Fissura causada pelo deslocamento da armadura principal em relação à posição original.....	30
Figura 10: Ilustração de possíveis deformações nas formas.....	31
Figura 11: Vazio causado pela barra com o assentamento do concreto, chamado de efeito sombra.....	32
Figura 12: Interação entre fissuras em consequência do espaçamento entre as barras.....	32
Figura 13: Fissura entre apoio e viga, causado por recalque diferencial.....	33
Figura 14: Infiltração por entre os poros e fissuras de uma laje de concreto ..	35
Figura 15: Relação A/C e permeabilidade do concreto	36
Figura 16: Desagregação do concreto na base do pilar	37
Figura 17: Fases que antecedem deterioração da estrutura devido a corrosão	41
Figura 18: Fissura causada pela corrosão da armadura	41
Figura 19: Corrosão da armadura em estado avançado de deterioração	42
Figura 20: Tipos de corrosão em armadura	45
Figura 21: Sais em superfície de concreto	47
Figura 22: Corrosão da viga na mesoestrutura	51
Figura 23: Corrosão acentuada em viga na mesoestrutura.....	51
Figura 24: Corrosão do pé do pilar na infraestrutura	52
Figura 25: Corrosão no topo do pilar da infraestrutura	52
Figura 26: Corrosão no meio do pilar da infraestrutura	52

Figura 27: Fissura de cisalhamento entre viga e apoio.....	54
Figura 28: Fissura de flexão entre viga e apoio.....	54
Figura 29: Fissura entre viga e apoio.....	55
Figura 30: Fissura possibilitando a passagem de água da superfície.....	56
Figura 31: Junta com infiltração.....	56
Figura 32: Desagregação na base do pilar.....	57
Figura 33: Desagregação na base do pilar.....	57
Figura 34: Eflorescência no pilar.....	58
Figura 35: Eflorescência na laje.....	59
Figura 36: Segregação na base do pilar.....	59
Figura 37: Segregação no pilar.....	60
Figura 38: Conclusão do reforço no pilar.....	61
Figura 39: Diagrama de cargas.....	63
Figura 40: Diagrama de Momento fletor.....	63
Figura 41: Diagrama de esforço cortante.....	64
Figura 42: Cargas dos veículos.....	64
Figura 43: Características dos veículos.....	65
Figura 44: Veículo Tipo 30 e 45.....	65
Figura 45: Local do guarda roda.....	66
Figura 46: Aplicação das cargas das rodas.....	66
Figura 47: Reações nos apoios.....	67
Figura 48: Aplicação das cargas distribuídas p e p'	67
Figura 49: Reações nos apoios.....	68
Figura 50: Aplicação das cargas distribuídas em um lado da estrutura.....	68
Figura 51: Reações nos apoios.....	68
Figura 52: Reações nos pilares.....	74
Figura 53: Ftool com a tabela de cargas preenchida.....	75
Figura 54: Variação da cortante.....	75
Figura 55: Simulação dos resultados no software Oblíqua.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classe de agressividade ambiental.....	18
Tabela 2: Valores das reações nos apoios	69
Tabela 3: Reações nos apoios majoradas.....	70

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ISO: Organização Internacional de Normalização

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	13
1.2. OBJETIVOS	14
1.2.1. Objetivo Geral.....	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. ESTRUTURA DA PESQUISA.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	16
2.1.1. O Conceito de Patologias	16
2.1.2. Ações Ambientais	17
2.1.3. Vida útil e durabilidade em estruturas de concreto	18
2.1.4. Desempenho	20
2.1.5. Manutenção	21
2.2. ORIGEM DAS PATOLOGIAS	23
2.2.1. Concepção Na Fase De Projeto	24
2.2.2. Concepção Na Fase De Execução.....	24
2.2.3. Concepção Na Fase De Utilização	25
2.3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE PONTES EM CONCRETO ARMADO	26
2.3.1. Pontes	26
2.4. PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	28
2.4.1. Fissuras	28
2.4.2. Infiltrações	35
2.4.3. Desagregação do Concreto.....	37
2.4.4. Segregação	38
2.4.5. Ataque De Sulfatos.....	39
2.4.6. Ataque de Cloreto.....	39
2.4.7. Carbonatação do Concreto.....	42
2.4.8. Reação Álcali-Agregados	43
2.4.9. Corrosão	44
2.4.10. Eflorescência	46
3. METODOLOGIA	48
3.1. O MÉTODO DO ESTUDO DE CASO	48

3.2. CONSTATAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM VISITA IN LOCO	48
3.3. MÉTODO DE CÁLCULO DO REFORÇO ESTRUTURAL DO PILAR MAIS CARREGADO	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS.....	50
4.1.1. Caso 1- Corrosão	50
4.1.2. Caso 2- Fissuras.....	53
4.1.3. Caso 3- Infiltrações.....	55
4.1.4. Caso 4- Desagregação do Concreto	56
4.1.5. Caso 5- Eflorescências.....	58
4.1.6. Caso 6- Segregação.....	59
4.2. AÇÕES CORRETIVAS DA ESTRUTURA.....	60
4.3. CÁLCULOS DO TREM-TIPO DA PONTE.....	61
4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	76
5. CONCLUSÃO.....	78
6. REFERÊNCIAS	80
7. ANEXOS:	83

1. INTRODUÇÃO

O concreto é a mistura de areia, brita, cimento e água. Embora o uso do concreto seja datado de centenas de anos atrás, foi somente no final do século XIX que veio o surgimento de estruturas em concreto armado. Atualmente, o concreto é o elemento mais utilizado na construção civil por apresentar características como grande resistência mecânica, estabilidade, durabilidade, e ser um material de baixo custo e de grande facilidade de execução (AZEREDO, 1977). O concreto requer certos cuidados na confecção, tendo em vista a otimização da sua vida útil e do seu desempenho. A correta execução envolve um estudo de traço preciso, além de um correto manuseio e dosagem adequada que, não sendo devidamente seguidos, resultam em problemas futuros na estrutura, como o início de manifestações patológicas e prováveis danos a mesma.

Para que a estrutura construída atenda às necessidades do futuro cliente, tendo como garantia de função estética e estrutural corretas, é de fundamental importância a execução preventiva de manutenção e reparos. É neste processo que identificamos as origens e causas das patologias e se tornam eficazes para a garantia funcional do ambiente previsto na fase de projeto (PASQUALOTTO, 2012).

As patologias encontradas nas estruturas são as principais causas de altos custos de reparos e redução da vida útil de um sistema construtivo, podendo ser amenizados ainda na concepção do projeto. Diante dessas ocorrências dá-se a importância ao estudo da sua origem, manifestações, causas, consequências e ocorrência de falhas. (LANER, 2001)

A falta de uma cultura de manutenção, em especial a preventiva, faz com que os órgãos federais priorizem apenas a execução da estrutura e não levando em consideração preocupações relacionadas a manutenção, em especial, as obras de infraestrutura como pontes e viadutos, consideradas Obras de Arte Especiais (VILLANUEVA, 2015).

No Brasil, ainda é desconhecido o tema sobre avaliação das condições estruturais e estabilidade de uma estrutura de pontes rodoviárias, principalmente as pontes que foram construídas a mais tempo. O que vale

ressaltar é a importância de avaliações na estrutura, pois de modo geral, essas análises são feitas de acordo com a peculiaridade de cada situação encontrada e é levado muito em conta o grau de experiência e conhecimento dos engenheiros projetistas e executores de obras desse padrão estrutural (BARROS et al, 2011).

A análise da degradação das estruturas não pode se desenvolver sem considerar as características das manifestações patológicas e sua respectiva fase ou etapa de ocorrência. São condições necessárias para obter-se mais certeza do diagnóstico e mais segurança ao projetar estas estruturas. (LANER, 2001)

1.1. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A área de Patologias na Engenharia Civil, por vezes acaba sendo esquecida durante a sua graduação e posteriormente na atuação do profissional. Estudar manifestações patológicas aliadas ao ramo da construção civil requer um estudo aprofundado que nos remete a entender e classificar os materiais que serão empregados durante a execução da obra.

A conscientização na importância à prevenção na ocorrência dessas patologias deverá vir da intervenção das construtoras e dos profissionais atuantes, os quais deverão buscar investimentos para um aperfeiçoamento nesta área para entender as causas, consequências e soluções (OLIVARI, 2003).

Este presente trabalho faz uma abordagem de análises as manifestações tações patológicas existentes na estrutura da Ponte sobre o rio Sergipe, e o acompanhamento da recuperação a estrutura sob intervenção do DNIT e governo Federal.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O presente trabalho pretende identificar as manifestações patológicas na ponte da BR-101, no município de Laranjeiras/SE, mostrando sua natureza, causas e acompanhar o tratamento e reforço da estrutura.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar as origens das patologias observadas na ponte sobre o rio Sergipe, e a natureza dos problemas ocasionados;
- Citar os tratamentos das patologias;
- Acompanhar os trabalhos de recuperação estrutural da ponte, inclusive verificando se o reforço atende aos esforços solicitados.

1.3. ESTRUTURA DA PESQUISA.

O capítulo 2 desta pesquisa aborda o referencial teórico onde serão mencionados tópicos relativos às patologias na construção civil, desempenho, vida útil e durabilidade de estruturas, sendo abordados também os principais tipos de patologias encontrados na ponte analisada, explicando conceitos, causas e possíveis tratamentos.

No capítulo 3 é demonstrada a metodologia para a realização da pesquisa, onde é definido o método do estudo de caso, os critérios para delimitação do estudo de caso e as constatações das manifestações patológicas em visitas.

No capítulo 4 é a apresentação dos resultados e discussões, onde são diagnosticadas as manifestações patológicas encontradas, a possível causa, e o tratamento adequado de acordo com o referencial teórico. Após explicar todas as patologias encontradas foi feito o cálculo do trem-tipo da ponte, encontrados os valores das reações nos apoios, diagramas de esforço cortante e momento fletor, e encontrado as reações de apoio (Nd), para posteriormente inserir os valores no programa oblíqua e analisar o resultado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1.1. O Conceito de Patologias

O crescimento acelerado da construção civil provocou uma necessidade de inovação, e conseqüentemente, a aceitação implícita de maiores riscos. Devido ainda existir uma série de limitações no âmbito de desenvolvimento de pesquisas no país, além das inevitáveis falhas involuntárias e casos de imperícia, tem sido constatado que algumas estruturas não tiveram o seu desempenho satisfatório mediante a finalidade na qual foi projetada (Souza & Ripper, 1998).

Conforme Lotterman (2013, apud Heerdt, Pio e Bleichvel, 2016)

O termo Patologia é uma derivação do grego (pathos - doença, e logia - ciência, estudo) e significa "estudo da doença". Na construção civil pode-se atribuir patologia aos estudos dos danos ocorridos em edificações. Essas patologias podem se manifestar de diversos tipos, tais como: trincas, fissuras, infiltrações e danos por umidade excessiva na estrutura. Por ser encontrada em diversos aspectos, recebe o nome de manifestações patológicas.

De acordo com Heerdt, Pio e Bleichvel (2016, apud FÓRUM DA CONSTRUÇÃO, 2016), o termo patologia tem sua origem nas ciências médicas. Estado patológico significa estado doentio e de anormalidade. Ao citarmos construção civil o significado é o mesmo. Na prática a patologia das construções é o estudo de situações de ocorrências de problemas, de falhas ou defeitos que comprometem uma ou mais funções do edifício, ou todo seu conjunto, como se o edifício estivesse mesmo doente e sua doença precisasse ser diagnosticada e tratada, usa-se a expressão "estados patológicos" para nos referirmos a estados mórbidos ou doentios.

Neste contexto, patologia na construção civil é identificada através de manifestações externas seguindo um padrão característico. Análise sobre estas manifestações permitem investigar sintomas, mecanismos, causas, origens, bem como estimar prováveis conseqüências vinculadas à evolução de cada

patologia atuante, viabilizando-se então o diagnóstico que fundamentará o adequado tratamento a ser aplicado na estrutura (ALMEIDA, 2008).

2.1.2. Ações Ambientais

A agressividade ambiental é uma das grandes causadoras dos surgimentos de patologias na construção civil, os materiais componentes das estruturas estão sujeitos a ações físico-químicas do ambiente em que estão em contato, causando uma perda de desempenho do material, podendo comprometer a possibilidade de uso da estrutura, ou até mesmo a segurança estrutural. De maneira geral, essas ações são classificadas em (BERTOLINI 2013):

- **Ações químicas**

São as ações que fazem a interação entre substâncias químicas presentes no ambiente e o material, essas ações são específicas para cada material utilizado, exemplo: a corrosão para os metais, ataque de sulfato para o concreto e etc.

- **Porosidade dos Materiais**

No caso de materiais com alta porcentagem de porosidade, (concreto, tijolos, rochas), as substâncias agressivas podem penetrar através dos poros agredindo assim o material. As principais formas de agressão são: permeabilidade, absorção capilar, difusão e etc.

- **Variação de umidade e temperatura**

Estas variações podem afetar na variação das dimensões do material, e quando essa variação é bloqueada podem gerar pressões no material, podendo então danificá-lo em uma única variação ou quando as variações se alternam a longo tempo.

De acordo com a NBR 6118, itens 6.4.2, nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na tabela 1 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes. Conhecendo o ambiente em que a estrutura estará localizada, o projetista deve adotar a classe de

agressividade ambiental maior ou igual a ilustrada na tabela para assim executar o cobrimento necessário.

Classe de Agressividade ambiental	Agressividade	Classificação Geral do tipo de ambiente para efeito do projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1 2}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹	Grande
		Industrial ^{1 2}	
IV	Muito Forte	Industrial ^{1 3}	Elevado
		Respingos de maré	

1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (Salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%. Partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas

Tabela 1: Classe de agressividade ambiental.

Fonte: NBR 6118 – item 6.4.

2.1.3. Vida útil e durabilidade em estruturas de concreto

Ao decorrer do tempo os elementos de uma construção sofrem uma decadência de forma progressiva do seu desempenho, causado por ações do ambiente que afetam os materiais que compõem a estrutura. Portanto pode-se entender como vida útil de uma estrutura o período que a estrutura conserva o seu desempenho e sua funcionalidade para os quais foi projetada (BERTOLINI 2013).

De acordo com a NBR 6118, item 6.2.1, entende-se por vida útil de projeto, o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme 7.8 e 25.4, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

Quando um material chega no fim da sua vida útil o seu uso é considerado inseguro ou antieconômico, pois suas propriedades foram modificadas a partir da sua deterioração, causando assim a interrupção da sua utilização (ANDRADE, 1997).

Segundo Bertolini (2013), o conceito de Durabilidade é interligado a definição de vida útil de projeto, uma vez que uma estrutura só é considerada durável se sua vida útil for no mínimo igual a vida útil estabelecida no projeto. Para garantir a durabilidade de uma estrutura na fase de projeto, se faz necessário:

- Definir vida útil do projeto;
- Definir agressividade do ambiente que a estrutura estará inserida;
- Escolher os materiais para realizar a estrutura;
- Projetar a estrutura;
- Executar efetivamente as escolhas de projeto.

Para a execução de uma estrutura durável se faz necessário garantir a qualidade dos materiais, e um conjunto de decisões e procedimentos para que as estruturas tenham um bom desempenho durante toda sua vida útil. Uma estrutura durável não está somente associada a resistência mecânica, entende-se por estrutura durável uma estrutura que possa durar no mínimo a vida útil que foi requerida ao ser projetada (SOUZA E RIPPER, 1998).

De acordo com a NBR 6118 no item 6.1 prescreve que “as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil”.

Segundo Helene 2001, mais especificamente, durabilidade da estrutura de concreto é determinada por quatro fatores, identificados como regra dos 4C.

- Composição ou traço do concreto;
- Compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura;
- Cura efetiva do concreto na estrutura;
- Cobrimento ou espessura do concreto de cobrimento das armaduras.

2.1.4. Desempenho

Antigamente entendia-se por concreto, um material indestrutível e vitalício, nos tempos modernos foi mudada essa percepção, tendo a certeza que o concreto é um material de construção que com o passar do tempo altera suas propriedades físicas e químicas com uma velocidade que pode variar dependendo do ambiente que este esteja inserido. Esses processos de alterações das características do concreto podem comprometer o desempenho da estrutura, e é denominado deterioração (SOUZA E RIPPER,1998).

Desempenho pode ser definido como o comportamento de cada material no decorrer da sua vida útil, com durabilidade, levando em conta as intervenções das manutenções e satisfazendo as condições de utilização. Uma estrutura com um desempenho satisfatório, quer dizer que o trabalho foi bem feito na etapa de projeto, execução e manutenção (SOUZA E RIPPER, 1998).

Quando uma estrutura apresentar um desempenho insatisfatório nem sempre significa que ela esteja condenada. Diagnosticando a situação, pode-se definir qual intervenção técnica será utilizada para que seja possível reabilitar a estrutura (SOUZA E RIPPER, 1998).

Na figura 1, segundo Souza e Ripper (1998), representam três possíveis causas de desempenhos insatisfatórios em função de diversos fenômenos patológicos.

No primeiro caso, representado pela curva traço-duplo ponto, representa o desgaste natural da estrutura, quando é feita a intervenção a estrutura se recupera e segue com um desempenho acima do exigido. No segundo caso, representado por uma linha cheia, representa uma estrutura sujeita a um problema imprevisível, como um acidente por exemplo, que é necessária uma ação emergencial, ou seja, uma imediata intervenção corretiva para que a estrutura possa voltar a seu desempenho satisfatório. No terceiro caso, representado pela linha traço-monoponto, representa uma estrutura com falhas de projeto, execução, ou mudança da função estrutural, na qual é necessário um reforço estrutural, onde a intervenção será feita muito antes das outras duas.

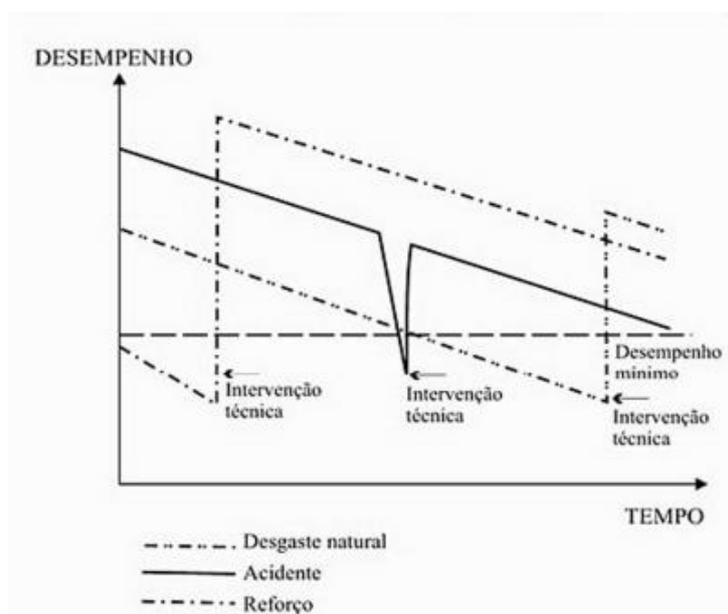


Figura 1: Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

2.1.5. Manutenção

Manutenção é definida como o conjunto de atividades que tem a função de aumentar a vida útil e garantir o desempenho satisfatório de uma estrutura, analisando o custo-benefício. Para que uma manutenção seja considerada eficiente, devem ser feitas com metodologias adequadas, analisando custo-benefício e com controle da execução (SOUZA E RIPPER, 1998).

Na maioria dos casos os problemas patológicos geralmente evoluem e aumentam com o passar do tempo, podendo ser a porta de entrada para outros tipos de patologias. Então é necessário tratar os danos antes que possam se agravar, ou seja, as correções são mais fáceis, mais econômicas e de melhor execução quando são executadas mais cedo. A “lei de Sitter” Confirma essa afirmação, mostrando que o custo para manutenção da estrutura cresce em uma progressão geométrica de razão cinco (HELENE, 1992).

Conforme Sitter (1984 apud Helene 1992), explica a lei de evolução de custos dividindo as etapas de uma construção em fase de projeto, execução,

manutenção preventiva e manutenção corretiva, conforme apresenta a figura abaixo.

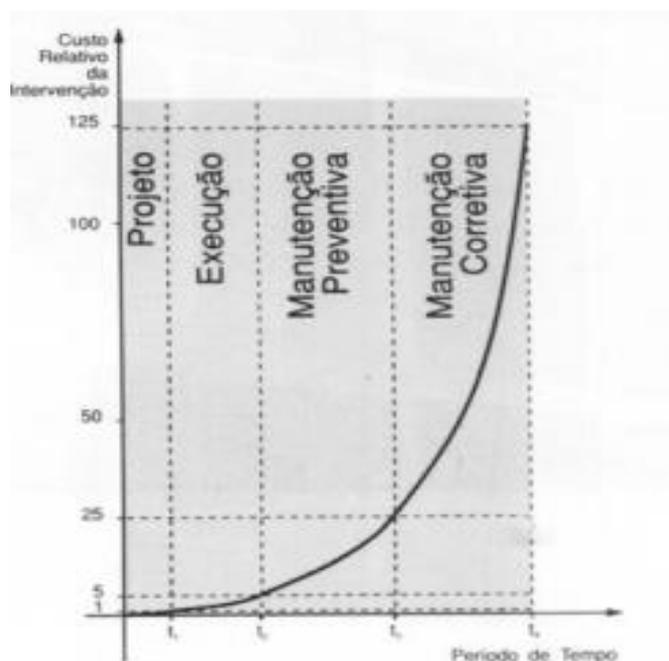


Figura 2: Lei de evolução dos custos.

Fonte: Helene, 1992.

Fase 1 - Projeto

Quando as medidas são tomadas ainda no projeto com o objetivo de aumentar a proteção e a vida útil da estrutura, implica no menor custo para reparos estruturais podendo ser avaliado em um custo de nível 1(um), visto que as mudanças são feitas antes da fase de execução como por exemplo, aumento do cobrimento das armaduras, alteração de detalhes construtivos, aumentar ou diminuir a relação água/cimento do concreto, especificar tipos de cimentos (HELENE, 1992).

Fase 2 - Execução

Quando as medidas são tomadas após o projeto está feito, durante a execução da obra, implica em um custo 5 vezes maior do que quando as medidas são tomadas na fase de projeto para que a estrutura fique com a mesma proteção e durabilidade. Quando as decisões são tomadas na fase de execução mesmo que seja eficaz e oportuna, podem alterar dimensões da estrutura, características do concreto, comprometendo assim a vida útil e a durabilidade da estrutura (HELENE, 1992).

Fase 3 - Manutenção Preventiva

É o tipo de manutenção mais vantajoso para ser executado, por ser feita com antecedência e previsão, durante o período de uso da estrutura, pode ter um custo 5 vezes menor de que uma correção de problemas explícitos que é o caso da manutenção de correção, e um custo que pode ser 25 vezes maior do que se esse problema fosse tratado na fase de projeto, para que a estrutura tenha uma mesma vida útil e durabilidade (HELENE, 1992).

Fase 4 - Manutenção corretiva

É o tipo de manutenção mais caro para ser feito, é executado quando o problema já está exposto na estrutura, sendo necessário fazer o reparo e a proteção das estruturas que apresentam as manifestações patológicas, pode ter um custo de 125 vezes maior do que se as medidas fossem tomadas na fase de projeto para que a estrutura possa tenha uma mesma durabilidade e vida útil (HELENE, 1992).

2.2. ORIGEM DAS PATOLOGIAS

As patologias que surgem em estruturas podem ter sua origem motivada por falhas que podem ocorrer durante a realização de uma ou mais atividades do processo construtivo de construção civil, este processo pode ser dividido em três etapas básicas: concepção de projeto, execução (construção) e utilização, salvo nos casos de catástrofes naturais, em que as solicitações de esforços são imprevisíveis, toda estrutura deve ser projetada para durar o mínimo de sua vida útil, que em geral para obras de artes especiais é de 50 anos, especialmente as estruturas de concreto que sempre se esperam um completo uso das suas finalidades (SOUZA E RIPPER, 1998).

As patologias podem ter origem em qualquer etapa do processo construtivo e estão diretamente relacionadas com o nível de qualidade da execução de cada um, ou seja, as patologias dependem do controle de qualidade executado nas etapas citadas acima (CREMONINI, 1988).

As causas das patologias da construção civil podem ser de origem interna ou externa, é dito como uma causa externa quando os agentes causadores são ambientais, como agressividade do meio, vento e variações de

temperaturas. As Causas internas são as que têm origem durante o processo construtivo da estrutura, a influência da qualidade de mão de obra, e dos materiais e métodos de construção utilizados, são responsáveis pelo surgimento das patologias, que podem ser identificadas durante ou após a execução do serviço (CREMONINI, 1988).

2.2.1. Concepção Na Fase De Projeto

Na elaboração de um projeto, os erros podem ser cometidos na fase de lançamento da estrutura e na elaboração do projeto final, na fase de lançamento da estrutura onde a escolha de um sistema estrutural em conjunto com a falta ou o mal posicionamento de seus elementos estruturais influenciam para o surgimento de futuras patologias, é também nesta fase que, por equívoco, uma análise da viabilidade de projeto fique fora de condições financeiras (SOUZA E RIPPER, 1998).

Para a fase de elaboração do projeto final de engenharia os erros que podem ocorrer são os mais variados e são os que podem gerar sérios danos a uma estrutura, nesta etapa temos erros em relação ao dimensionamento, a falta de adequação entre o projeto arquitetônico e os demais projetos complementares, a insuficiência ou falta de detalhes construtivos, principalmente em relação ao detalhamento de armaduras e formas, e na especificação de materiais inadequados (SOUZA E RIPPER, 1998).

Segundo o DNIT (2010)

No projeto estrutural, devem ser atendidas todas as prescrições normativas pertinentes, inclusive os referentes às condições ambientais, com influência direta na qualidade do concreto, na resistência do concreto, no fator água/cimento e no cobrimento mínimo das armaduras. No projeto estrutural devem ser bem dimensionados e detalhados juntas de dilatação e contração, aparelhos de apoio, drenos e declividades, para o bom escoamento das águas pluviais.

2.2.2. Concepção Na Fase De Execução

Segundo Souza e Ripper (1998), o processo de construção de uma estrutura é a etapa que mais está sujeita a ocorrência de erros, e pode ocorrer desde o planejamento da obra, que é a parte inicial desta fase, até a liberação

para uso. Durante esse processo a ocorrência de erros pode influenciar diretamente ao surgimento de patologias, pois a todo instante durante a execução de um serviço, alguns fatores, principalmente em relação à mão de obra, tem a participação direta para a ocorrência de diversas patologias na estrutura a que foram sujeitas a erros durante o andamento da obra. Também podemos citar a influência de um projeto mal-acabado, ou seja, que em sua fase de elaboração não tenha tido um controle rigoroso em seu processo, se estendendo a fase de execução, pela necessidade de alterações em seu projeto já em meio à obra em andamento.

Em geral, a falha humana neste processo é o principal fator para a ocorrência de erros, e está relacionado à falta de qualidade técnica e comprometimento do indivíduo que está executando determinado serviço, sendo eles, de fiscalização e de construção. Outro fator que também está ligado ao aparecimento de patologia em estruturas de concreto é a baixa qualidade dos materiais e componentes que o compõe, seja por especificações inadequadas ou pelo fruto da incompetência da indústria, que falham ao produzir produtos que não chegam a atender de forma eficiente as exigências técnicas e funcionais ao usuário (SOUZA E RIPPER, 1998).

Segundo o DNIT (2010):

Na execução, devem ser empregados materiais de boa qualidade, testados, e operados por mão-de-obra especializada. Fôrmas e escoramentos bem dimensionados, existência de planos de concretagem e de protensão, se for o caso, são indispensáveis para uma boa execução.

2.2.3. Concepção Na Fase De Utilização

Após a liberação para o uso, são dois os fatores podem influenciar ao aparecimento de patologias durante a vida útil de uma estrutura. Primeiro temos o uso inadequado do usuário, que ocorre devido à falta de atenção para as possibilidades e limitações de uma estrutura, ou até mesmo pela falta ou desconhecimento dessas informações, principalmente quando se pretende fazer uma reforma, as alterações feitas em alguns elementos estruturais podem trazer danos graves à estrutura (SOUZA E RIPPER, 1998).

Segundo Souza e Ripper (1998), outra ocorrência de patologia nesta etapa está ligada a falta de manutenção periódica, geralmente em ambientes que possuem agentes agressivos e que atuam diretamente na estrutura, causando o seu desgaste e deterioração.

2.3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE PONTES EM CONCRETO ARMADO

2.3.1. Pontes

Pontes são elementos estruturais construídos com a finalidade de transpor obstáculos dando continuidade de comunicação em vias. Esses obstáculos podem ser de várias naturezas: rios, braços de mar, vales e outras vias. Porém, por definição, o termo “ponte” só deve ser usado quando o obstáculo a ser transposto for um curso d’água em qualquer natureza. Quando isso não ocorre, denomina-se viaduto (MARCHETTI, 2008).

Ao ser comparado com outras edificações é possível estabelecer algumas particularidades desse tipo de estrutura no que diz respeito a fatores como ações, processos construtivos, composição e análise estrutural. Esses fatores são levados em conta desde a concepção do projeto, onde é considerado o efeito das cargas dinâmicas de alta intensidade e a necessidade de vencer vãos maiores, até as adversidades dos locais de implantação, nos quais geralmente as pontes são construídas em locais inóspitos e de difícil acesso (DEBS E TAKEYA, 2007).

No projeto de uma ponte, é necessário atender quesitos como segurança, funcionalidade, economia e estética, nos quais a estética e funcionalidade devem ser destacados por ser uma estrutura considerada “obra de arte”.

As pontes podem ser classificadas em diversos critérios:

- Extensão dos vãos;
- Durabilidade;
- Natureza do tráfego;
- Desenvolvimento planialtimétrico;

- Sistema estrutural;
- Seção transversal; e
- Processo executivo.

Segundo Debs & Takeya (2007), tendo em vista os aspectos estruturais, os elementos da ponte são subdivididos em infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

A infraestrutura é a parte da ponte constituída por elementos que tem por finalidade apoiar a estrutura no terreno (rocha ou solo) e transmitir os esforços gerados pela mesoestrutura e superestrutura. A infraestrutura é constituída por blocos de estacas, sapatas, tubulões, etc (MARCHETTI, 2008).

A mesoestrutura, ainda segundo Marchetti (2008), são elementos de transição que recebem as cargas da superestrutura e transmite os esforços para a infraestrutura. É a parte constituída pelos pilares da estrutura.

Já a superestrutura, segundo o mesmo autor, corresponde a um conjunto de elementos estruturais, localizados na porção superior de uma ponte, responsável pelo transporte de cargas horizontalmente e a transmissão dessas cargas para a mesoestrutura, absorvendo diretamente os esforços resultantes do tráfego rodoviário, ferroviário, ciclovário ou pedonal. É constituída de vigas e lajes.

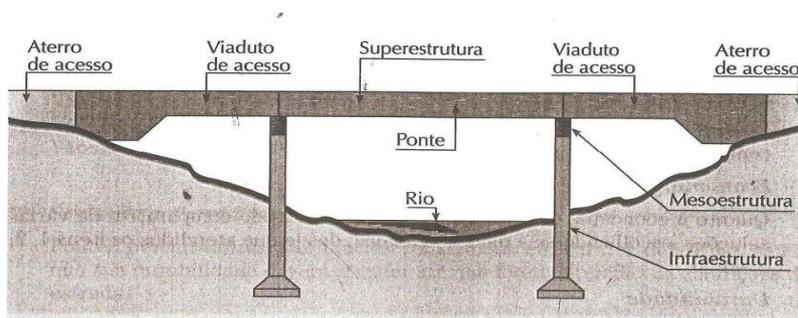


Figura 3: Elementos de uma ponte.

Fonte: Marchetti, 2008.

2.4. PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

2.4.1. Fissuras

A aparição de fissuras é um dos sintomas mais comuns encontrados em estruturas de concreto e ocorre devido a uma tensão acima do limite que o material suporta, após ultrapassagem desse estado limite ocorre o alívio da tensão, que dá origem a fissura (CORSINI, 2010).

Segundo Souza e Ripper (1998), Diversos são os fatores que influenciam diretamente no surgimento da patologia, ao fazer a análise da fissura é importante se atentar a origem, intensidade e magnitude da mesma, e posteriormente fazer o mapeamento e classificação em relação a atividade, que pode ser ativa ou passiva, “Uma fissura é dita ativa, ou viva, quando a causa responsável por sua geração ainda atua sobre a estrutura, sendo inativa, ou estável, sempre que sua causa se tenha feito sentir durante um certo tempo e, a partir de então, deixado de existir” (SOUZA E RIPPER, 1998).

Para fazer a verificação da atividade de uma fissura podem ser utilizados selos rígidos, como o gesso e a lâmina de vidro, que se rompem ao sofrer uma variação de abertura, ou ainda através da medição direta da variação da abertura, esses testes são executados a fim de saber se a causa até então está atuando sobre a estrutura (PIANCASTELLI, 1997).

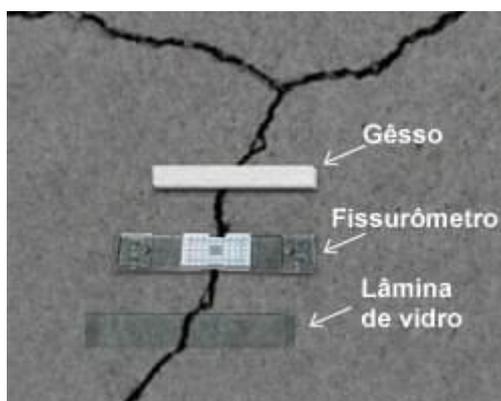


Figura 4: Medidores de atividade das fissuras.

Fonte: Piancastelli.

Dá-se uma importância maior a aberturas ditas ativas, pois estas não param de aumentar as suas dimensões, indicando que algo de errado está acontecendo à estrutura, como por exemplo, o excesso de carga atuante ou possíveis recalques diferenciais, necessitando de uma melhor análise e intervenção mais rápida para que não cause danos mais graves (THOMAZ, 2003).

2.4.1.1. Fatores para o Surgimento Das Fissuras

Segundo Souza e Ripper (1998), todas as etapas que envolvem a elaboração e execução de uma estrutura de concreto, podem e vão influenciar no aparecimento de fissuras caso sejam feitas sem a devida atenção. O engenheiro projetista é responsável por analisar e indicar os melhores meios de construção e adequar a estrutura a sofrer o mínimo possível as ações internas e externas. Abaixo indicamos alguns fatores que geram fissuras em uma estrutura.

a) Deficiências De Projeto e Execução

Segundo Souza e Ripper (1998), na elaboração de um projeto de concreto armado todos os agentes que podem influenciar em uma futura fissura devem ser levados em consideração, nesta fase a estrutura está sujeita aos mais diversos erros que podem ser cometidos, temos como exemplo de deficiência de projeto a falta de detalhamento construtivo, da capacidade de carga da estrutura e insuficiência de armadura.

Abaixo vemos ilustrações de como seriam as fissuras devido à insuficiência de armadura, citadas por Souza e Ripper (1998).



Figura 5: Por flexão, consequência da insuficiência de armadura negativa.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

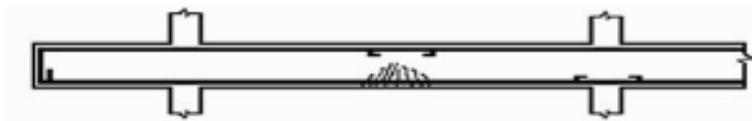


Figura 6: Por flexão, consequência da insuficiência de armadura positiva.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.



Figura 7: Por compressão, consequência da insuficiência de armadura de compressão.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.



Figura 8: Por cisalhamento, consequência da insuficiência de estribo

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Mesmo com um projeto bem elaborado e dimensionado ainda é provável o aparecimento de fissuras, estas agora dependem da fase de execução. A falta de cuidado e conhecimento nos processos de execução de uma estrutura de concreto pode gerar falhas durante ou após a liberação para o uso. O surgimento de fissuras nesta fase está relacionado a qualidade e compromisso da mão de obra, inclusive a do engenheiro responsável por fiscalizar a execução. Abaixo vemos um erro que pode ocorrer devido à baixa qualidade da mão de obra e falta de fiscalização (SOUZA E RIPPER, 1998).

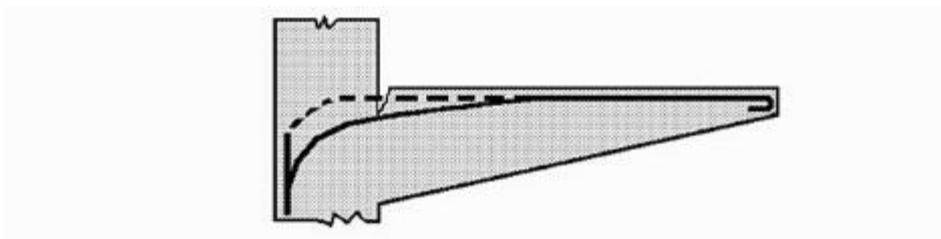


Figura 9: Fissura causada pelo deslocamento da armadura principal em relação à posição original.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

b) Movimentação de formas e escoramentos

Qualquer que seja o movimento imposto ao concreto em sua fase de endurecimento a chance de que ele venha a fissurar é bem provável, a falta de fixação, de juntas mal vedadas e mau posicionamento das fôrmas ou escoramento, fazem com que haja o deslocamento do concreto, o que altera a sua geometria e as suas características de resistência (SOUZA E RIPPER, 1998).

As figuras abaixo ilustram a deformação após um determinado tempo depois do lançamento do concreto:



Figura 10: Ilustração de possíveis deformações nas fôrmas.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

c) Contração Plástica Do Concreto

As fissuras ocasionadas devido a contração plástica são superficiais, possuem pequenas dimensões, direções aleatórias e são mais comuns em superfícies com maiores extensões. O processo ocorre logo após o lançamento e adensamento do concreto, que conta com uma quantidade de água excessiva em sua mistura, fazendo com que uma parte da água que fica localizada em sua superfície venha a evaporar rapidamente devido a agentes externos, como por exemplo, temperatura elevada e ventos fortes, que possibilita a perda da água do concreto, diminuindo de volume e em consequência surgindo as fissuras (SOUZA E RIPPER, 1998).

d) Retração Do Concreto

Iniciada a pega do concreto, em um processo natural, ocorre a perda de água em sua fase de endurecimento devido às reações químicas da mistura, ao perder água a sua estrutura começa a retrair devido a diminuição de volume,

logo após surgem as fissuras. As exposições diretas a ambientes desfavoráveis podem acelerar a perda de água do concreto, exemplos de agentes ambientais que aceleram esse processo é a temperatura acima dos 30°C, que aumenta o calor de hidratação e posteriormente a evaporação da água, outros fatores que aliados a temperatura também favorecem diretamente é a incidência solar, a baixa umidade do ar e os ventos fortes (SOUZA E RIPPER, 1998).

e) Assentamento Do Concreto

Segundo Piancastelli (1997), no processo de lançamento do concreto é possível que bolhas de ar fiquem retidas entre a armadura e a mistura, causando a perda de aderência entre os dois. As armaduras e formas para o concreto podem ser os responsáveis pelo vazio criado entre eles, impedindo o movimento natural de assentamento do concreto como mostra na figura 11.

Podem surgir casos mais graves caso a estrutura possua grande número de barras com pouco espaçamento, pois facilita a interação entre as fissuras como mostra na figura 12, e conseqüentemente a perda total de aderência entre a armadura e o concreto após algum tempo (SOUZA E RIPPER, 1998).

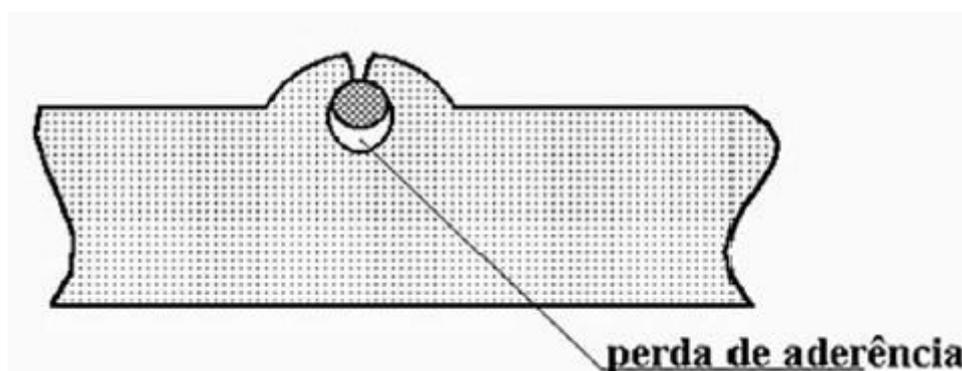


Figura 11: Vazio causado pela barra com o assentamento do concreto, chamado de efeito sombra.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

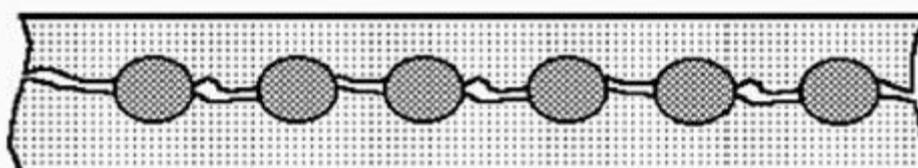


Figura 12: Interação entre fissuras em consequência do espaçamento entre as barras.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

f) Recalques Diferenciais

Segundo Oliveira (2012), o solo tende por natureza a se deformar com a aplicação de tensões sobre ele, a interação entre a estrutura e o solo que estão suportando a tensão aplicada pela fundação sempre vai gerar uma deformação com maior ou menor intensidade, a depender das dimensões da fundação e do tipo de solo presente, “Se as deformações forem diferenciadas ao longo do plano das fundações de uma obra, tensões de grande intensidade serão introduzidas na estrutura da mesma, podendo gerar o aparecimento de trincas.” (OLIVEIRA, 2012), essas deformações diferenciadas ao longo da estrutura são chamadas de recalque diferencial.

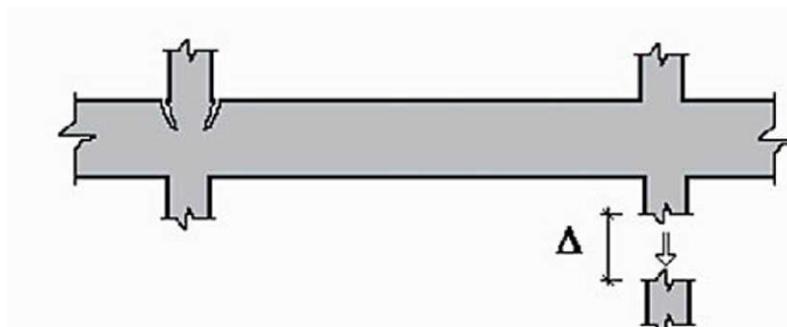


Figura 13: Fissura entre apoio e viga, causado por recalque diferencial.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

g) Reações Químicas Expansivas

Segundo Souza e Ripper (1998), as presenças de agentes químicos em uma estrutura de concreto podem gerar várias reações em sua parte interna, uma delas pode provocar a formação de um composto que chega a expandir em seu interior. Os possíveis agentes que podem contribuir para a formação de um composto expansivo são o ataque de sulfatos, a reação álcali-agregados, a hidratação tardia do óxido de cálcio e de magnésio e o ataque de cloretos. Inicialmente pode ser que não seja notável o aparecimento de fissuras devido ao processo de expansão, mas ao decorrer do tempo o concreto por não ter uma resistência muito boa a tração pode fissurar, tornando a estrutura cada vez frágil com o passar dos anos, pois a abertura de uma simples fissura torna a ação dos agentes agressivos mais rápidas, pois penetram mais facilmente por entre elas.

h) Mudança de temperatura

Uma estrutura exposta a um ambiente onde há variação térmica pode estar sujeita a alterações em seu interior, uma dessas alterações são movimentos de expansão e contração do concreto e de sua armadura que podem variar de acordo com a temperatura, esse processo pode gerar uma tensão acima do limite suportado pelo concreto e em decorrência o aparecimento de fissuras. As fissuras nessa fase ocorrem com a diminuição de temperatura, fazendo com que o material entre em um processo de retração e que por estar restringidas a esses movimentos, fissure. MEHTA E MONTEIRO, (1994; apud ASSIS E RABELO, 2013).

- Tratamento de fissuras

Analisada uma fissura e apresentado um diagnóstico preciso, com suas causas e efeitos, já é possível determinar a escolha de um método de tratamento que melhor se adeque a estrutura e ao meio em que ela se encontra, juntamente com a escolha dos materiais (HELENE, 1992).

Segundo Souza e Ripper (1998), é de suma importância estar atento a atividade da fissura, que pode ser ativa ou passiva. A facilidade no reparo das fissuras está ligada às dimensões e atividade, para as fissuras superficiais, e que não atinjam a armadura do concreto, o reparo tem o objetivo de vedar para evitar a passagem de agentes químicos externos que prejudiquem o concreto e sua armadura. Segundo o DNIT (2010), sobre fissuras inativas, o tratamento é feito escovando ou até alargando a fissura, com posterior preenchimento de argamassa cimento e areia ou resina epóxi.

Quanto às fissuras que surgiram com o ataque de agentes químicos ou esforços mecânicos, que possuem maiores dimensões ou ainda estão em atividade, estas devem ser analisadas e tratadas com maior cuidado. Analisada a causa da fissura, pode se utilizar selantes elásticos para casos em que a estrutura não esteja comprometida, já em casos mais graves, é necessário o reforço da mesma, fazendo-se a limpeza do local com posterior aumento de seção ou utilização de chapas e perfis metálicos (SOUZA E RIPPER, 1998).

2.4.2. Infiltrações

Na construção civil, especificamente em estruturas de concreto, o processo de infiltração se dá quando há a passagem de água por entre os poros do concreto, e até mesmo por fissuras e juntas mal executadas, que são meios mais fáceis de circulação de água. O acúmulo e a presença constante de água em uma estrutura podem gerar danos e riscos ao bem-estar do usuário, principalmente quando a água possua em sua composição, agentes nocivos, e que aceleram o processo de degradação do concreto e de sua armadura (SOUZA E RIPPER, 1998).



Figura 14: Infiltração por entre os poros e fissuras de uma laje de concreto.

Fonte: Fors ideia e arquitetura.

A presença de água pode ocorrer de várias maneiras, inicialmente nas instalações hidrossanitárias a má execução das tubulações, geram problemas futuros devido a vazamentos que não foram identificados na fase de execução ou que surgiram durante o tempo de uso, outros dois fatores são, a água da chuva e a água proveniente da umidade do solo, que é absorvida pela fundação. A falta de impermeabilização em pontos onde há a presença de água é o fator que mais influência para a ocorrência de infiltrações, estas teriam objetivo de criar uma camada superficial sobre o concreto com o objetivo de impedir que a água presente escoasse por entre os seus poros (VERÇOSA, 1991 apud SOUZA, 2008).

Segundo Piancastelli (1997), erros cometidos no processo de mistura e adensamento de um concreto facilita a ocorrência de vazios em sua estrutura,

outra razão para a qual influi em um maior índice de vazios é o fator água cimento (A/C), quanto mais alto este fator, maior será o seu coeficiente de permeabilidade, resultando em um concreto com maior volume de vazios após a sua secagem. Abaixo temos a figura da relação entre o fator água cimento e o seu coeficiente de permeabilidade, nele podemos observar o que foi dito acima.

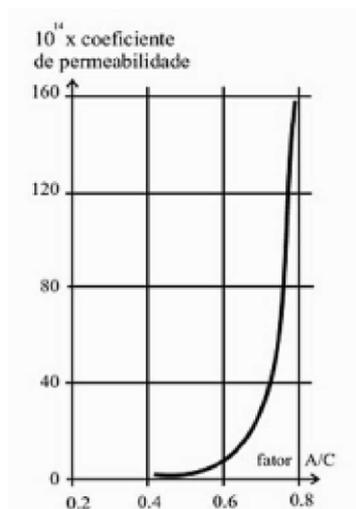


Figura 15: Relação A/C e permeabilidade do concreto.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

A falha ou falta de sistema de drenagem na superfície de uma ponte pode gerar o acúmulo de água em pontos onde não há a possibilidade de escoamento, esses dois fatores, aliados a falta de impermeabilização nesses pontos, faz com que a água presente ali infiltre e gere danos graves a estrutura (LANER, 2011 apud BASTOS, 2017).

A presença de água no interior de uma estrutura de concreto não é nada boa e traz sérios riscos ao usuário, dependendo do nível de agressividade do ambiente torna o problema maior ainda, a infiltração também é o fator para o surgimento de outras patologias, no geral, a corrosão do concreto e da armadura, que estão relacionadas à presença de água (SOUZA E RIPPER, 1998).

Em geral o tratamento é feito para impedir a passagem de água para o interior da estrutura, nesse tratamento é necessário fazer a impermeabilização da superfície e a norma NBR 9689 orienta para a escolha dos sistemas de impermeabilização, já para os casos onde a água fica acumulada é necessário adotar um sistema que faça a drenagem dessa água (GRANATO, 2005).

Segundo Granato (2005):

A complexidade na escolha de um sistema impermeabilizantes para uma determinada necessidade está diretamente relacionado ao conhecimento das propriedades dos impermeabilizantes e das exigências e condições específicas do local que se deseja impermeabilizar. Portanto, quanto mais se conhece das propriedades dos sistemas impermeabilizantes e do local que se deseja impermeabilizar, mais acertada será a escolha.

2.4.3. Desagregação do Concreto

A desagregação do concreto pode ser definida como a perda da função de aglomerante do cimento devido a um ataque químico que provoca a expansão dos produtos que estão inseridos ao concreto ou podendo ser causado também pela sua baixa resistência, que provoca a separação de suas partes. Sendo definido como concreto fraco, de fácil remoção, conforme apresentado na figura abaixo (MEHTA E MONTEIRO, 2008).



Figura 16: Desagregação do concreto na base do pilar

Fonte: DNIT 2018

Em geral as principais causas da desagregação do concreto são por ataque de origem química, pela expansão das armaduras devido a oxidação, exsudação do concreto, falta de cura, excesso de água de amassamento, água de amassamento com a presença de impurezas, areia contaminada com matéria

orgânica entre outras. Vale ressaltar que pode ocorrer também devido às movimentações estruturais e choques na estrutura (LANER, 2001).

Segundo Piancastelli (1997):

“A desagregação inicia-se, geralmente, com a alteração da coloração do concreto. A seguir surgem fissuras cruzadas em todas as direções, que aumentam rapidamente de abertura, devido à expansão da pasta de cimento. Um abaulamento da superfície do concreto pode também ser observado”.

Para fazer o tratamento e a reabilitação de uma estrutura degradada é necessário seguir várias etapas, são elas: A primeira etapa é preparar e limpar cuidadosamente a estrutura através da escarificação, para retirar todo o material solto até atingir o concreto sã, e o lixamento que serve para preparar a superfície e as barras da armadura para receber o concreto novo. A Segunda etapa é o jateamento de vapor que serve para remoção de graxa, gordura, óleo e todos os resíduos que possam afetar a aderência do concreto novo ao antigo. A Terceira etapa é a concretagem, após a superfície estar preparada para receber o concreto novo são colocados as formas e o concreto (HELENE, 1992).

2.4.4. Segregação

O concreto é um produto composto por areia, pedra (brita), cimento e água, onde quando realizado o seu preparado e lançado de forma correta, transforma-se em uma mistura de carácter homogêneo, onde todos os agregados encontram-se misturados e uniformes. Caso ocorra algum tipo de falha no lançamento ou no adensamento, os agregados graúdos se separam da argamassa, formando um concreto poroso, permeável, no qual permite a passagem de água com facilidade (ARIVABENE, 2015). Já Piancastelli (1997) traz que esse processo de separação pode ser provocado, entre outras causas, por: lançamento livre de grande altura; concentração de armadura que impede a passagem da brita; vazamento da pasta de cimento através das fôrmas; má dosagem do concreto; uso inadequado de vibradores.

2.4.5. Ataque De Sulfatos

Segundo Souza e Ripper (1998), as estruturas de concreto em contato com a umidade, que atravessam por entre os seus poros, principalmente quando há um maior índice de vazios, poderá sofrer e muito com o ataque de águas mais agressivas, como a água proveniente do mar, do subsolo e de resíduos industriais, que possuem em sua composição a presença de um agente extremamente agressivo, o sulfato.

Os sulfatos podem ser encontrados em águas sulfatadas, os mais encontrados são o de magnésio, de cálcio, potássio, sódio e o de amônio, que ao entrarem em contato com alguns componentes do cimento reagem e formam um composto que se expande em seu interior, inicialmente causando fissuras até chegar a casos mais graves onde há a deterioração do concreto, variando de acordo com o tempo (SOUZA E RIPPER, 1998).

Segundo Neville (1997, apud KULISCH, 2011):

O concreto atacado por sulfatos tem uma aparência esbranquiçada característica. A deterioração geralmente começa nos cantos e arestas seguida de uma fissuração progressiva e lascamento que reduzem o concreto a uma condição friável ou mesmo mole.

Para o DNIT (2010), pode se evitar o ataque de sulfatos com a utilização de cimentos especiais, como por exemplo, o cimento Portland resistente a sulfatos, Cimento Portland pozolânico e Cimento Portland de alto forno. “O objetivo principal é conseguir um concreto denso, com redução da porosidade e da permeabilidade e, conseqüentemente, da movimentação da umidade, inibindo a reação química com os sulfatos” (DNIT,2010).

2.4.6. Ataque de Cloreto

A presença de cloreto em uma estrutura de concreto traz sérios riscos, principalmente a sua integridade, esses elementos atacam principalmente a armadura, quebrando a camada óxido protetora do aço e posteriormente causando a sua corrosão (SOUZA E RIPPER, 1998).

Segundo Souza e Ripper (1998), os cloretos podem estar presentes em uma estrutura de duas maneiras, na fase de mistura do concreto e através

da penetração por entre os seus poros. Na fase da mistura, quando a presença de cloreto supera um valor acima de 0,4% em relação ao peso do cimento, traz sérios danos a sua armadura quando os dois estão em contato, o aumento deste teor pode ter ocorrido em sua fase de preparo, principalmente com a utilização de materiais que estão contaminados com esse elemento, que podem estar presentes nos agregados e na água, e nos que já possuem em sua composição, como no cimento e principalmente nos aditivos que são usados para acelerar o endurecimento do concreto.

Para o DNIT (2010), os cloretos também estão presentes em ambientes marítimos, e estes agora penetram a sua estrutura, de fora para dentro, podendo chegar a sua armadura caso não possua um cobrimento adequado ao nível de agressividade do ambiente ou possua uma estrutura porosa, o que facilita a penetração desses agentes por entre eles.

Segundo Souza e Ripper (1998), as armaduras possuem em sua superfície uma camada passiva que tem o objetivo de protegê-la contra alguns elementos químicos que podem provocar a corrosão deste material, essa camada óxido protetora em contato com o cloreto se rompe devido a grande quantidade e ação dos íons Cl^- na armadura, dando passagem para a corrosão do aço. Segundo o DNIT (2010), as reações de corrosão do aço há um aumento de volume devido da armadura oxidada, gerando tensões em torno desta e posteriormente o aparecimento de fissuras, ficando mais grave ao passar do tempo, quando ocorre o destacamento do concreto, deixando a estrutura mais suscetível à ação do ambiente.

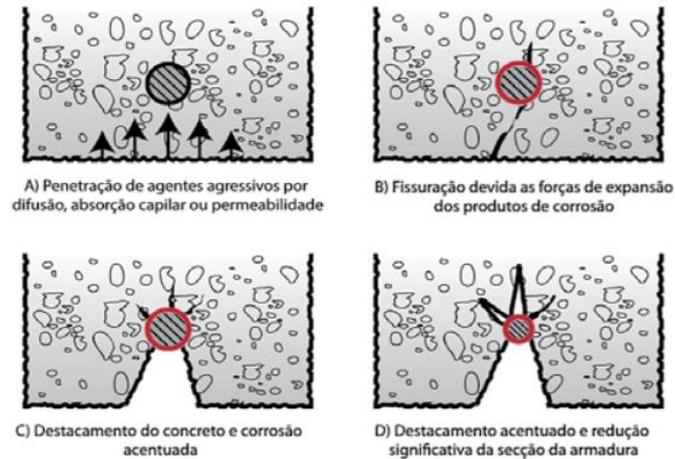


Figura 17: Fases que antecedem deterioração da estrutura devido a corrosão.

Fonte: Helene, 1986.

O sintoma inicial que podemos observar para diagnóstico do ataque de cloretos são manchas escuras e fissuras em sua estrutura, essas manchas são fruto do composto gerado com a corrosão da armadura (Figura 18).



Figura 18: Fissura causada pela corrosão da armadura

Fonte: Axfiber, desenvolvimento de compósitos.



Figura 19: Corrosão da armadura em estado avançado de deterioração

Fonte: Helene, 1986

Para o DNIT (2010) “A prevenção contra-ataques de cloretos faz-se com a dosagem de um concreto denso e utilizando-se agregados bem lavados, cimento com percentual baixo de cloretos, aditivos selecionados e água de boa qualidade”.

2.4.7. Carbonatação do Concreto

A deterioração do concreto resulta da infiltração de água, em forma líquida ou de vapor, nos poros da estrutura, que em conjunto com elevados níveis de permeabilidade, possibilita o transporte de CO₂ advindo dos veículos e outros gases, reagindo na estrutura da pasta hidratada (BENAZZOUK, 2004 apud GUABIROBA 2012).

Segundo Guabiroba (2012), a principal causa da carbonatação da estrutura vem com utilização de concretos com elevada relação (a/c) e o desrespeito aos valores de cobrimento mínimo estipulado em normas e códigos que acabam interferindo na vida útil do concreto.

Segundo Aguiar (2006), a carbonatação surge com a penetração do CO₂ da superfície para o interior da estrutura. Em concretos de mediada qualidade, pode-se observar que a patologia se manifesta a uma velocidade média entre 1 a 3 mm por ano (SILVA, 1995).

Porém, ainda segundo Silva (1995), se o concreto tem em todos os seus poros a presença de água, o gás carbônico não tem como penetrar na estrutura e sendo assim não consegue se difundir. Por outro lado, se os poros estiverem secos, o CO₂ não tem como se ionizar, fazendo que com a carbonatação seja de forma lenta.

Para uma comprovação das áreas carbonatadas, pode ser feita através de análises como a difração do Raio-X, análise térmica diferencial, termografia e observação microscópica da estrutura. Embora que a análise mais utilizada para a comprovação é através de indicadores de pH da base e fenolftaleína ou timolftaleína (AGUIAR, 2006).

Ainda segundo Aguiar (2006), para a prevenção da ocorrência da manifestação, alguns procedimentos podem ser adotados, como a aplicação de barreiras espessas de reboco, revestimentos de pedras e cerâmico, além da pintura. Todas essas intervenções tem o princípio de fechamento dos poros da estrutura e assim evitando a entrada do CO₂.

2.4.8. Reação Álcali-Agregados

A reação álcali-agregado pode criar expansões e severas fissuras nas estruturas de concreto. O mecanismo que causa esta reação não é perfeitamente entendido. É conhecido que certos agregados, como algumas formas reativas de sílica, reagem com o potássio, sódio e hidróxido de cálcio do cimento, e formam um gel em volta dos agregados reativos. Quando o gel é exposto à umidade ele expande-se, criando tensões internas que causam fissuras em torno dos agregados (umidade interna do concreto em torno de 80%) (ANDRADE, 2005).

O concreto sob reação álcali-agregado exibe em sua superfície um mapa de fissuras, que permite a entrada de mais umidade, acelerando ainda mais a reação. Esta reação pode passar despercebida durante um período de tempo, possivelmente anos, antes que possa estar evidenciada. Para se confirmar a reação álcali-agregado é necessário exame com microscopia eletrônica (EMMONS, 1993 apud AGUIAR 2006).

Geralmente ocorrem dois tipos de ataque, o ataque álcali-carbonato, envolvendo alguns agregados calcários dolomíticos e o ataque álcali-sílica, com agregados silicosos, como calcedônia, opalas e quartzo tectonizado (FERREIRA, 2000).

2.4.9. Corrosão

A corrosão é definida como a interação destrutiva de um material com o ambiente, podendo implicar na inutilização do mesmo, sendo por reação química ou eletroquímica. Um dos principais materiais que sofrem a corrosão são os metais, perdendo suas qualidades essenciais como ductilidade, resistência e capacidade de elasticidade (Casculo, 1997).

Existem dois processos principais da corrosão que as armaduras de aço podem sofrer, a oxidação e a corrosão. O primeiro tipo é conhecido também como corrosão seca, provoca a formação de uma película de óxido, ao ocorrer a reação gás-metal, é um tipo de corrosão que geralmente não provoca deterioração das superfícies metálicas, somente se houver a presença de gases muito agressivos no ambiente. O segundo tipo é conhecido como corrosão úmida, provoca a formação de uma película de eletrólito nas barras de aço, causada pela umidade do meio, é um tipo de corrosão preocupante para o engenheiro civil, sendo mais viável preveni-la do que recuperá-la (Helene, 1986).

Segundo Casculo, 1997, os tipos de corrosão estão diretamente relacionados ao modo que acontece o ataque, os mais comuns no concreto armado podem ser divididos em corrosão uniforme e corrosão localizada que tem como subgrupos a corrosão por pite e a corrosão sob tensão.

A corrosão uniforme ou generalizada ocorre em toda a superfície do metal, com velocidade de propagação semelhante; mesmo ocorrendo em toda a superfície do metal, não é uma das mais perigosas, visto que, a sua velocidade de propagação é lenta. Para prevenir esse tipo de corrosão é necessário escolher bem o material para o tipo de ambiente de utilização, fazendo a aplicação de tintas ou revestimentos metálicos e no caso de estruturas enterradas pode ser utilizado a proteção catódica (BERTOLINI, 2013).

A corrosão por pite ou puntiforme é um tipo de corrosão localizada que ocorrem em locais específicos, podendo levar a pontos de desgaste e até ocasionar a ruptura pontual na área afetada. Sendo que na maioria dos casos, quando já estão com o desgaste propriamente dito, que é um estágio que a corrosão evoluiu, as barras ficam com pontos que se assemelham a “crateras” e não a pontos (CASCUDO, 1997).

A corrosão sob tensão, é um tipo de corrosão localizada que pode dar origem a fissuras na estrutura de concreto, visto que é causada por tensões de tração da armadura. Ocorre em estruturas de concreto protendido, ambientes ricos em cloretos, e tem uma velocidade de propagação maior do que os outros tipos, se tornando um tipo de corrosão preocupante (CASCUDO, 1997).

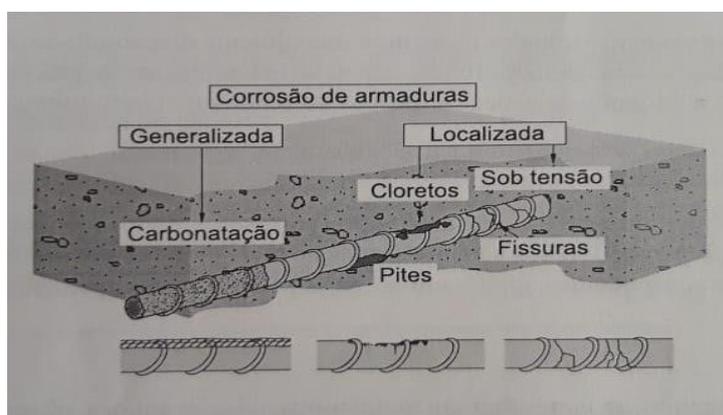


Figura 20: Tipos de corrosão em armadura

Fonte: Cascudo, 1997

Segundo Marcelli (2007):

Nos elementos estruturais em que o aço já foi vítima do processo de corrosão, ocorre um aumento de volume em até oito vezes na parte afetada da armadura, produzindo tensões de tração que o concreto não resiste, surgindo então pequenas fissuras ao longo das armaduras situadas mais próximas da superfície do elemento.

Com ilustração na figura 17, para se iniciar o processo de corrosão é necessário a penetração dos agentes agressivos podendo ser por difusão, absorção ou permeabilidade, Posteriormente irá ocorrer a expansão da barra, fazendo esforços no concreto onde irão aparecer pequenas fissuras, a terceira etapa será a desagregação do concreto, após ocorrerem as fissuras o concreto fica solto nas áreas atingidas, e a quarta e última etapa, ocorrerá o

desprendimento do concreto e a redução da secção da armadura (HELENE, 1986).

2.4.10. Eflorescência

A eflorescência é uma patologia caracterizada pela formação de depósitos salinos na superfície das alvenarias, concretos ou argamassas, revestimentos. Quimicamente a eflorescência se forma por sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio, solúveis ou parcialmente solúveis em água). O depósito acontece através do transporte dos sais solúveis nas águas oriundas de infiltrações, evaporação de soluções aquosas salinizadas, ação da chuva, através dos poros que os materiais possuem. Sendo assim, para que esta manifestação ocorra é necessário a presença de umidade na superfície do local (GRANATO, 2005).

Uma das principais causas para o aparecimento das eflorescências são as trincas ou fissuras, onde a água se torna alcalina, ao permear e dissolver os hidróxidos do cimento. E quando encontra condições para se manifestar por percolação ou evaporação, ocorre a aparência desta patologia. Geralmente as eflorescências não causam problemas estruturais, porém há casos que seus sais constituintes podem causar a degradação profunda (GRANATO, 2005)

Como mostra a Figura 21, a característica marcante desta manifestação patológica é pela acumulação de cristais salinos, na cor branca, que ficam depositados na superfície do concreto.



Figura 21: Sais em superfície de concreto

Fonte: Mapa da Obra

As infiltrações são uma das grandes razões para o aparecimento das eflorescências, ao fazer o tratamento da eflorescência na estrutura é necessário verificar a existência de infiltrações na mesma, se existir devem ser tratadas para que não voltem a surgir novas eflorescências (UEMOTO 1988).

Um dos métodos de tratamento para a eliminação ou atenuação da ação dos sais Trata-se da remoção mecânica das eflorescências, que consiste em sua eliminação na superfície porosa por meio de escovas de aço com hidróxido de cálcio combinado com dióxido de carbono, para remover os sais que foram solidificados e se tornam insolúveis a água. Este é um método de fácil execução, que tem como principal vantagem a não reabsorção dos sais pelo material poroso (PUIM ,2010).

3. METODOLOGIA

No desenvolvimento deste trabalho, é apresentada uma pesquisa qualitativa e quantitativa a respeito das patologias encontradas na estrutura da ponte sobre o rio Sergipe no município de Laranjeiras/SE, onde estão sendo abordados os principais pontos de risco na qual a estrutura está correndo, como também ações a serem tomadas com a finalidade de minimizar os riscos da estrutura.

Na primeira etapa do trabalho realizou-se a vistoria local onde foi feita a coleta de todos os dados encontrados. Observou-se a recuperação/reforço estrutural e verificou se a intervenção está sendo realizada de forma correta de acordo com a NBR, como também indicar outras maneiras para a recuperação dos elementos.

3.1. O MÉTODO DO ESTUDO DE CASO

Para a realização deste trabalho, foi elaborado um estudo de caso na estrutura da ponte sobre o rio Sergipe, localizada na BR-101 KM 75, município de Laranjeiras/SE. O estudo de caso nada mais é que um método qualitativo, geralmente com o objetivo de aprofundar uma unidade individual. Tem como objetivo gerar respostas para questionamentos em que o pesquisador não obtém controle sobre o fenômeno em pauta. Contudo, trata-se de uma pesquisa de forma detalhada e minuciosa da situação real estudada por meio de fontes de evidências que colaborem para o desenvolvimento de suposições teóricas levando-as para a coleta e análise de resultados.

3.2. CONSTATAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM VISITA IN LOCO

Foram realizadas inúmeras visitas na ponte entre os meses de Junho e Novembro de 2018, Município de Laranjeiras -SE, a fim de elaborar catálogos descritivos e fotográficos das manifestações patológicas encontradas nas partes dos elementos da ponte. As fotos obtidas na visita foram selecionadas e foi

definido pelos autores o tipo de patologia e a possível causa de acordo com as fotos obtidas. Pode ser acompanhado também a execução das etapas de reabilitação da mesoestrutura, infraestrutura e superestrutura, com visitas semanais ou quinzenais ao local analisado. As fotos da execução das etapas de reabilitação da estrutura estão apresentadas nos anexos.

3.3. MÉTODO DE CÁLCULO DO REFORÇO ESTRUTURAL DO PILAR MAIS CARREGADO

O cálculo do reforço estrutural foi realizado com base no livro de Marchetti 2008, cálculo do trem tipo, onde é necessário seguir uma série de etapas até obter o resultado final, que são os esforços solicitantes da estrutura. A primeira etapa é encontrar valor das cargas permanente e concentrada, após encontradas são lançadas no software Ftool onde são gerados os gráficos de momento fletor e esforço cortante. Posteriormente são calculadas as cargas móveis, que dependem da classe da ponte e do tipo de veículo, sendo lançadas na seção transversal o peso de cada roda, respeitando as distâncias do guarda roda onde será lançado o primeiro ponto, e entre as rodas onde será lançado o segundo ponto, resultando nos valores das reações nos apoios, então, são lançados o p e p' obtendo novas reações para comparar com a anterior, utilizando para o cálculo do N_d a maior reação nos pilares, já majorados.

Assim que são encontradas as cargas móveis, permanentes e as reações, foi calculado o coeficiente de segurança que é a multiplicação entre coeficiente de impacto vertical, coeficiente de número de faixa, coeficiente de impacto acidental, para majoração das cargas com uma margem de segurança nos cálculos das reações de apoio. Posteriormente foram calculadas as ações horizontais longitudinais, que são as forças de aceleração, frenagem e a força do vento. E finalizando o cálculo foram calculados os momentos no pilar mais carregado e os esforços da reação de apoio (N_d).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS

São apresentadas neste tópico, por meio de registros fotográficos, as manifestações patológicas através de observações visuais dos fenômenos encontrados. Com base nestes indicativos é possível destacar as possíveis causas acompanhadas da descrição do desenvolvimento da ocorrência e o tratamento de cada patologia.

4.1.1. Caso 1- Corrosão

As figuras 22 a 26 apresentam a corrosão, que é a manifestação em maior quantidade observada na estrutura da ponte, podendo ser encontrada em quase todos os pilares e algumas vigas. Segundo (Cascardo, 1997) A corrosão ocorre quando o concreto é permeável, possui alta porosidade ou existem áreas com muitas falhas com aberturas suficientes para permitir que íons penetrem pelo concreto até a armadura juntamente com água, gases nocivos e oxigênio, agentes que dão início ao processo de corrosão. A região da base dos pilares devido a sua elevada densidade de armaduras tende a ser uma área de maior incidência da corrosão de armaduras, pois este fato pode dificultar o adensamento do concreto lançado, causando um alto nível de porosidade e maior foco de corrosão.

Conforme (Helene, 1986) citou as principais causas patológicas, foram analisadas e diagnosticadas que possivelmente as causas para essa patologia foram o cobrimento da armadura inferior ao cobrimento necessário para a agressividade do meio, visto que a agressividade era muito alta, pois é uma estrutura em contato direto com água.

De acordo com NORMA DNIT 084/2006 – ES Tratamento da corrosão – Especificação de Serviço. O tratamento da armadura corroída deve seguir algumas etapas fundamentais para que a estrutura esteja própria para uso novamente. O concreto contaminado ao redor da armadura com corrosão deverá ser removido com jato d'água ou ferramentas manuais, e essa remoção deve até

atingir a parte da barra isenta de corrosão. Posteriormente a remoção do concreto devem executar a limpeza das barras corroídas com escova de aço ou jato de areia. após limpas as barras passam por uma análise de perda de sua capacidade, esta análise tem relação com a perda de seção das barras, se essa perda for superior a 10% das barras devem ser reforçadas. Antes da concretagem é necessário pintar com tinta especial anti-ferruginosa as armaduras para estender a vida útil da estrutura, e então são colocadas as fôrmas e é executada a concretagem.



Figura 22: Corrosão da viga na mesoestrutura

Fonte: DNIT, 2017



Figura 23: Corrosão acentuada em viga na mesoestrutura

Fonte: DNIT, 2017



Figura 24: Corrosão do pé do pilar na infraestrutura

Fonte: DNIT, 2017



Figura 25: Corrosão no topo do pilar da infraestrutura

Fonte: DNIT, 2017



Figura 26: Corrosão no meio do pilar da infraestrutura

Fonte: DNIT, 2017

4.1.2. Caso 2- Fissuras

O aparecimento de fissura pode indicar que algo de errado está acontecendo a uma estrutura, essa pequena abertura em meio ao concreto é efeito do alívio de tensões que atuam sobre o material, atentando-se às aberturas que variam ao longo do tempo, pois estas podem vir a se romperem no futuro.

Encontradas e analisadas as trincas são diagnosticadas as possíveis causas, com base nos estudos de Souza e Ripper (1998) que cita algumas das possíveis causas para o aparecimento de fissuras. Analisando as fissuras encontradas na ponte, ilustradas nas figuras 27, 28 e 29, uma causa comum às duas ocorrências de na estrutura é a sobrecarga, essa sobrecarga pode ter ocorrido devido a um possível recalque diferencial ou a carga estipulada no cálculo estrutural foi menor que a carga real que a estrutura está absorvendo, ocasionando assim as fissuras no concreto.

Para o diagnóstico é importante identificar o local da fissura e a direção em que ela percorre. Diante dos fatos podemos dizer que o surgimento das fissuras ocorreu devido à falta de armaduras ou ao mau posicionamento destas, a fissura identificada na figura 27 pode ter ocorrido devido a tensão de cisalhamento, onde possivelmente houve insuficiência ou o mal posicionamento de estribos. Já na figura 28, a fissura pode ter surgido devido a uma tensão de flexão, tendo com causa a falta de ancoragem das armaduras negativas no bloco de fundação, ou por falta de armaduras negativas.

Para o tratamento de fissuras primeiro temos que analisar quanto a sua atividade, que pode ser ativa ou passiva, no caso de uma fissura passiva, superficial e que não esteja atingindo a sua armadura o tratamento é feito com a aplicação de selantes que podem ser argamassa de cimento e areia ou resina epóxi, antes ainda é necessário fazer a limpeza da fissura ou até o alargamento, com posterior preenchimento do local. Para fissuras ativas que não comprometam a estrutura o reparo é feito com a aplicação de selantes elásticos, que se adequa conforme a abertura na estrutura. Já em casos mais graves é necessário fazer o reforço da estrutura com o aumento de suas dimensões ou com a utilização de chapas metálicas, esse tipo de reparo é feito nas fissuras

que possuem maiores dimensões, nas ativas e nas que sofreram ataque químico.



Figura 27: Fissura de cisalhamento entre viga e apoio.

Fonte: DNIT, 2017



Figura 28: Fissura de flexão entre viga e apoio.

Fonte: DNIT, 2017



Figura 29: Fissura entre viga e apoio

Fonte: DNIT, 2017

4.1.3. Caso 3- Infiltrações

O concreto sendo um material poroso e sujeito a fissuras facilita a passagem de água por entre eles, a chamada infiltração.

Com base nos estudos de Bastos (2008), como em sua estrutura não há nenhuma tubulação de água ou esgoto podemos dizer que a causa para as infiltrações, nas figuras 30 e 31, ocorrerem é a falta de impermeabilização em sua parte superior ou a falta de drenagem para escoamento das águas da chuva, consequência disso é a passagem de água entre os seus poros ou fissuras, mais facilmente entre as fissuras e juntas de dilatação, como notamos nas figuras. Essas fissuras ocorrem tanto na estrutura de concreto como no pavimento asfáltico, possibilitando a passagem de água por elas.

Tratar as fissuras, fazer a impermeabilização em pontos críticos e fazer a drenagem superficial da ponte são possíveis tratamentos para evitar o aparecimento dessa patologia, que logo pode acarretar o surgimento de outro caso permaneça a infiltração.



Figura 30: Fissura possibilitando a passagem de água da superfície

Fonte: DNIT, 2017



Figura 31: Junta com infiltração

Fonte: DNIT, 2017

4.1.4. Caso 4- Desagregação do Concreto

As figuras 32 e 33 mostram o pilar de concreto em estado de desagregação, conforme Mehta e Monteiro (2008), esta é uma patologia que causa a separação física do concreto, que se desprende em pedaços ou placas, esse problema ocorre devido a perda da função de aglomerante do concreto. As principais causas são fissuras, movimentação de formas, corrosão ou calcinação do concreto, ataques biológicos, carbonatação, perda de aderência e desgaste do concreto. Analisando é possível diagnosticar a principal causa sendo a

corrosão, que causou a expansão das barras do pilar e viga ocasionando trincas que posteriormente levaram para a desagregação do concreto.

É de grande importância que o tratamento seja realizado de forma rápida, pois, quando a desagregação acontece, a estrutura perde a capacidade de resistir aos esforços solicitados podendo levar ao colapso da estrutura. A recuperação deve ser o mesmo tratamento utilizado para a corrosão, visto que o concreto desagregado está exatamente nas áreas onde estão as barras corroídas. O concreto afetado deve ser removido, as barras devem receber o tratamento adequado e deverá ser feita uma nova concretagem (HELENE, 1992).



Figura 32: Desagregação na base do pilar

Fonte: DNIT, 2017



Figura 33: Desagregação na base do pilar

Fonte: DNIT, 2017

4.1.5. Caso 5- Eflorescências

Nas figuras 34 e 35 pode-se identificar a presença de eflorescência na mesoestrutura dos pilares e na laje da estrutura. Esta manifestação tem como característica aparecimento de manchas esbranquiçadas na superfície. Segundo Granato, (2005) a principal causa para a existência dessa patologia é a alta umidade, ou seja, infiltração de água pelos poros do concreto, quando há problemas na camada de impermeabilização ou a água utilizada na construção estava contaminada. É necessário tratar essa patologia com bastante atenção, pois a eflorescência pode ser responsável pela entrada para gases e os outros materiais que causam corrosão da estrutura

Conforme citado por Puim (2010) O tratamento a ser adotado é a limpeza do local para retirar os sais depositados, que são solúveis e a utilização de argamassas com boa aderência e capacidade de deformação, pois estas reduzem a passagem de umidade através das fissuras.



Figura 34: Eflorescência no pilar

Fonte: DNIT, 2017



Figura 35: Eflorescência na laje

Fonte: DNIT, 2017

4.1.6. Caso 6- Segregação

Nas imagens 36 e 37 pode-se observar que houve segregação na base do pilar. Conforme Arivabene (2015), segregação nada mais é do que a separação dos agregados constituintes do concreto e a formação de uma mistura heterogênea de modo que a sua distribuição não fique mais uniforme. A possível causa da segregação foi, na construção da estrutura, não foi respeitada a altura de lançamento em queda livre que, de acordo com a NBR 14931/04 não deve ultrapassar de 2 m. O tratamento mais indicado é a escarificação da área atingida, a limpeza do local para retirada de impurezas e a concretagem da parte escarificada para garantir a resistência de projeto do pilar.



Figura 36: Segregação na base do pilar

Fonte: DNIT, 2017



Figura 37: Segregação no pilar

Fonte: DNIT, 2017

4.2. AÇÕES CORRETIVAS DA ESTRUTURA

Observando o estado de deterioração que se encontrava a ponte, o responsável Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT, iniciou as obras de reabilitação/reforço da mesma por ser uma ponte localizada na BR -101 uma rodovia Federal com grande fluxo de veículos, as obras foram iniciadas em caráter emergencial.

Em consonância com a NBR 14931/04, como na maior parte da estrutura já tenha ocorrido acentuada perda na área resistente da armadura devido a corrosão, teve-se que optar pelo reforço do pilar com concreto e armaduras suplementares. Após o correto escoramento da estrutura, por se tratar de uma edificação com um volume de tráfego e carga muito intenso, foi feita a limpeza da superfície por meio de lixamento e escarificação das partes do concreto para remover todo o material comprometido da estrutura. Após isso, foi realizada a limpeza da região com o auxílio de bombas de hidrojateamento de alta pressão a fim de remover todo o tipo de impurezas ainda restantes na superfície. Com a estrutura toda limpa, foi posicionada a armadura complementar com a utilização de presilhas chumbadas na estrutura para garantir o posicionamento correto da nova armadura.

Antes da concretagem, as formas, previamente preparadas, vão sendo colocadas em etapas, para garantir o perfeito recobrimento e que não ocorra problemas na concretagem, como no caso a segregação da mistura

homogénea do concreto. E por fim, foi realizada a concretagem dos pilares com a utilização de concreto estrutural com resistência à compressão de 40Mpa de todo o entorno do pilar, criando um reforço estrutural de 30 cm de espessura utilizando aço Ø 25 mm com espaçamento de 17cm para cada barra como mostrado na figura abaixo:



Figura 38: Conclusão do reforço no pilar

Fonte: Arquivo pessoal, 2018

4.3. CÁLCULOS DO TREM-TIPO DA PONTE

Para este levantamento, foi tomado como base o modelo de cálculo do trem-tipo do livro de Marchetti (2008), considera-se o peso específico de 25 kN/m³ para o concreto armado. A seguir, apresenta-se a expressão (01) para a determinação de cargas permanentes uniformemente distribuídas sobre a longarina. A expressão (02) indica o cálculo para as cargas concentradas sobre a longarina.

$$g = \frac{\gamma \cdot A}{2} \quad (1)$$

$$Q = \frac{\gamma \cdot V}{2} \quad (2)$$

Onde:

g: carga permanente distribuída;

γ : peso específico do material constituinte;

A: área considerada obtida com o AutoCAD;

Q: carga concentrada;

V: volume do elemento; produto da área obtida no AutoCAD pelo comprimento.

Determinação da carga permanente g

A carga g refere-se ao peso próprio da meia seção transversal da ponte, além do peso das barreiras de concreto. A partir das áreas obtidas para os elementos de concreto ($A_1 = 5,64 \text{ m}^2$) que compõem a meia seção transversal da ponte, determina-se a carga g:

$$g = \frac{\gamma \cdot A}{2}$$

$$g = \frac{25 \times 5,64}{2}$$

$$g = 70,5 \text{ KN/m}$$

- **Determinação da carga concentrada Q**

A carga concentrada Q refere-se aos pesos das transversinas no apoio. Sendo calculada através da fórmula (02).

$$Q = \frac{\gamma \cdot V}{2}$$

$$Q = \frac{25 \times (1,5 \times 1,65 \times 9)}{2}$$

$$Q = 278,438 \text{ KN}$$

Encontrando os valores da carga permanentes e da carga concentradas, lançados os resultados no Ftool, determina-se o esquema estrutural da longarina, conforme a Figura 39.

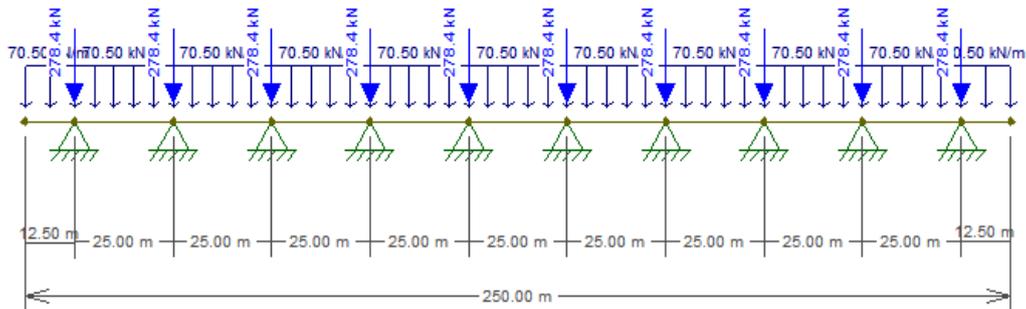


Figura 39: Diagrama de cargas.

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

- **Esforços solicitantes devidos à carga permanente**

O cálculo dos esforços permanentes nas longarinas foi feito com auxílio do software *Ftool* (MARTHA, 2015). Com os valores de cargas mostrados na figura anterior, determinam-se os diagramas de esforços.

- **Momento fletor**

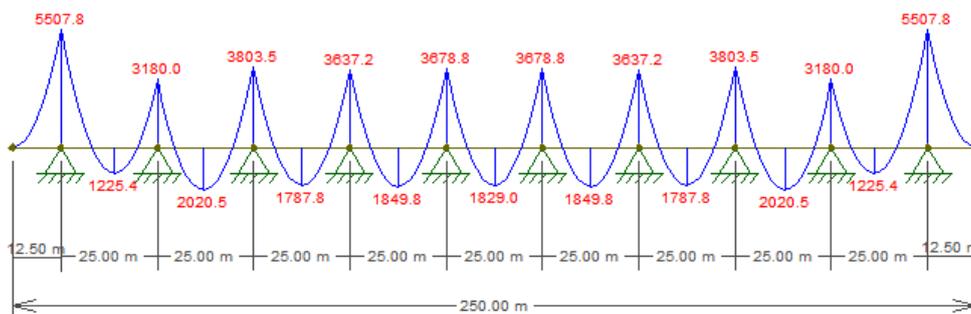


Figura 40: Diagrama de Momento fletor

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

- **Esforço cortante**

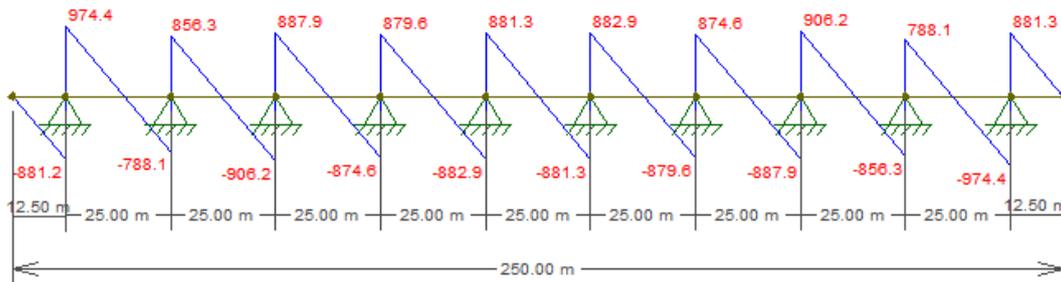


Figura 41: Diagrama de esforço cortante

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

- **Carga móvel rodoviária**

Segundo Marchetti 2008, Os Trens-tipo compõem-se de um veículo e de cargas uniformemente distribuídas, de acordo com a tabela a seguir

Cargas dos veículos								
Classe de ponte	Veículo			Cargas uniformemente distribuídas				Disposição da carga
	Tipo	Peso total		p		p'		
		kN	tf	kN/m ²	kgf/m ²	kN/m ²	kgf/m ²	
45	45	450	45	5	500	3	300	Carga p em toda a pista Carga p' nos passeios
30	30	300	30	5	500	3	300	
12	12	120	12	4	400	3	300	

Figura 42: Cargas dos veículos

Fonte: Marchetti, 2008

As características dos veículos são encontradas na tabela abaixo, relacionando o peso do veículo com a classe da ponte.

Características dos veículos				
	Unidade	Tipo 45	Tipo 30	Tipo 12
Quantidade de eixos	Eixo	3	3	2
Peso total do veículo	kN – tf	450 – 45	300 – 30	120 – 12
Peso de cada roda dianteira	kN – tf	75 – 7,5	50 – 5	20 – 2
Peso de cada roda traseira	kN – tf	75 – 7,5	50 – 5	40 – 4
Peso de cada roda intermediária	kN – tf	75 – 7,5	50 – 5	–
Largura de contato b , roda dianteira	m	0,50	0,40	0,20
Largura de contato b , roda traseira	m	0,50	0,40	0,30
Largura de contato b , roda intermediária	m	0,50	0,40	–
Comprimento de contato de cada roda	m	0,20	0,20	0,20
Área de contato de cada roda	m ²	$0,20 \times b$	$0,20 \times b$	$0,20 \times b$
Distância entre eixos	m	1,50	1,50	3,00
Distância entre os centros de roda/eixo	m	2,00	2,00	2,00

Figura 43: Características dos veículos

Fonte: Marchetti, 2008

A ponte é categorizada na classe 45. Segundo as tabelas acima, a esta classe corresponde um veículo-tipo de 450 kN de peso total, cuja configuração em planta é exposta adiante, e p de 5 kN/m² e p' de 3 kN/m² disposta segundo a Figura 40.

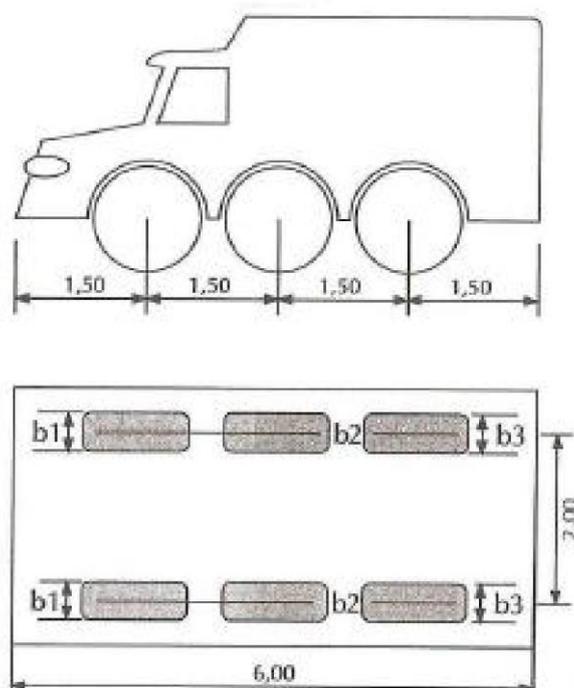


Figura 44: Veículo Tipo 30 e 45

Fonte: Marchetti, 2008

Cada roda apresenta peso de 75 kN. As dimensões b_1 , b_2 e b_3 são iguais a 0,40 m e o comprimento de contato de cada roda é de 0,20 m. A distância entre os eixos é de 1,50 m e entre centros de roda de cada eixo, de 2,00 m.

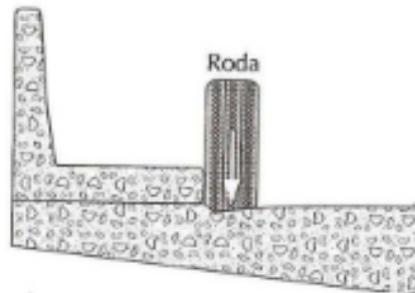


Figura 45: Local do guarda roda

Fonte: Marchetti, 2008

Conhecidas as características do veículo de projeto, determina-se a composição longitudinal do trem-tipo pelo processo das reações de apoio, que considera, separadamente, a seção que passa pelo veículo-tipo e a seção que compreende apenas a carga uniformemente distribuída, como demonstrada nas figuras a seguir.



Figura 46: Aplicação das cargas das rodas

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015)..

Colocando o eixo da roda ao final do guarda rodas, temos uma distância de 2 m da ponta do balanço até o local onde irá ficar a primeira roda, e

como foi visto na figura 42, a outra roda fica posicionada a uma distância de 2 m. Obtendo então as seguintes reações nos apoios.



Figura 47: Reações nos apoios

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

Atribuindo as cargas p e p' na estrutura, distanciando 1 metro do ponto das cargas concentradas, temos a seguinte estrutura.

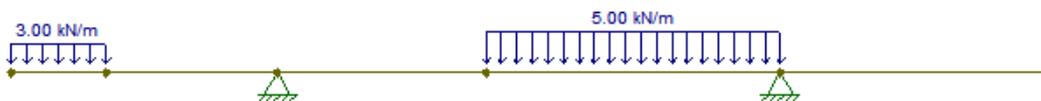


Figura 48: Aplicação das cargas distribuídas p e p'

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

Com as cargas distribuídas na estrutura, foram obtidos os seguintes resultados para as reações nos apoios.



Figura 49: Reações nos apoios

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

Atribuindo as cargas de p' para o passeio e p para a rodovia, temos a seguinte estrutura

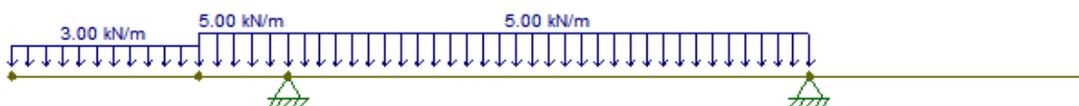


Figura 50: Aplicação das cargas distribuídas em um lado da estrutura

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

Calculando as reações nos pilares a partir da estrutura acima, temos os seguintes valores para os apoios.



Figura 51: Reações nos apoios

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

Ao terminar o lançamento das estruturas com as respectivas cargas no software, foram obtidos os seguintes resultados.

Figura	Reações (KN)
Figura 44	144,3
Figura 46	8,8
Figura 48	25,8

Tabela 2: Valores das reações nos apoios

Fonte: Autor 2018

- **Coefficiente de Impacto Vertical**

As cargas móveis verticais características devem ser majoradas para o dimensionamento de todos os elementos estruturais pelo CIV, dado por:
 CIV = 1,35 (para vão menor que 10 m)

$$CIV = 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{(Liv + 50)} \right)$$

Onde:

Liv = Vão entre apoios em metros

CIV é adimensional

$$CIV = 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{(25 + 50)} \right)$$

$$\mathbf{CIV = 1,283}$$

- **Cálculo do coeficiente de número de faixa**

As cargas móveis características devem ser ajustadas pelo CNF, dado por:

$$CNF = 1 - 0,05 \cdot (n - 2) > 0,9$$

Onde:

n: número inteiro de faixas de tráfego rodoviário a serem carregadas sobre um tabuleiro transversalmente contínuo. Acostamentos e faixas de segurança não são faixas de tráfego da rodovia.

$$CNF = CNF = 1 - 0,05x(2-2)$$

$$CNF = 1$$

- **Coeficiente de impacto accidental**

Os esforços das cargas móveis definidas devem ser majorados na região das juntas estruturais e extremidades da obra. As estruturas devem ser dimensionadas com os esforços das cargas móveis majorados pelo *CIA*, definido a seguir.

CIA = 1,25, para obras em concreto ou mistas

CIA = 1,15, para obras em aço

- **Cálculo do coeficiente de segurança (CI)**

$$CI = CIV \times CNF \times CIA$$

Onde:

CIV = Coeficiente de impacto vertical

CNF = Coeficiente de número de faixa

CIA = Coeficiente de impacto accidental

$$CI = 1,283 \times 1,0 \times 1,25$$

$$CI = 1,604$$

Para majorar as reações nos apoios nas figuras 44, 46 e 48, é necessário multiplicar os valores das reações nos apoios do lado analisado pelo coeficiente de segurança (*CI*).

Figura	Reações (KN)	Reações majoradas (KN)
Figura 44	144,3	231,457
Figura 46	8,8	14,115
Figura 48	25,8	41,383

Tabela 3: Reações nos apoios majoradas

Fonte: Autor 2018

- **Ações horizontais longitudinais**

As principais ações horizontais longitudinais consideradas no cálculo são aceleração, frenagem e componente longitudinal do vento. Podemos determinar cada uma, de acordo com os cálculos a seguir:

- **Aceleração e frenagem**

De acordo com a seção 7.2.1.5 da NBR 7187:2003 *Efeitos da frenagem e da aceleração*, nas pontes rodoviárias, a força devida aos efeitos em análise deve ser considerada aplicada na superfície de rolamento e igual ao maior dos valores: 5% do peso do carregamento do tabuleiro com as cargas móveis distribuídas (excluídos os passeios) ou 30% do peso do veículo-tipo.

$$F \text{ aceleração} = 5\% \times C \times L \times V \times CI$$

Onde:

C = Carga de distribuição

L = Largura da pista

V = Comprimento do vão

CI = Coeficiente de segurança

$$F \text{ aceleração} = 5\% \times 5 \times 7 \times 25 \times 1,604$$

$$\mathbf{F \text{ aceleração} = 70,175 \text{ KN}}$$

$$F \text{ frenagem} = 30\% \times P \times CI$$

Onde:

P = Peso do veículo

CI = Coeficiente de segurança

$$F \text{ frenagem} = 30\% \times 450 \text{ kN}$$

$$\mathbf{F \text{ frenagem} = 216,54 \text{ kN}}$$

Dos valores acima, temos que a força relativa aos efeitos de aceleração e frenagem e que será aplicada nos pilares da ponte é de 216,54 kN

- **Componente longitudinal do vento**

Foram adotados 2 (dois) procedimentos, que envolvem duas situações possíveis: a primeira a ponte estando descarregada (Fv1) e a segunda a ponte estando carregada (Fv2). Para o cálculo influência do vento, analisou um vão da estrutura e foram utilizadas as seguintes fórmulas.

$$S1 = H \times V \text{ (01)}$$

$$S2 = (H + 2) \times V \text{ (02)}$$

Onde:

H = Corresponde à altura da projeção normal ao vento transversal (viga + barreira lateral)

V = Comprimento do vão

$$S1 = 2,8 \times 25$$

$$S1 = 70 \text{ m}^2$$

Em S2 aumenta 2 m de altura, considerando a altura dos carros quando a ponte está carregada.

$$S2 = (2,8 + 2) \times 25$$

$$S2 = 120 \text{ m}^2$$

Depois de encontrado as áreas de influência do vento na estrutura, são executados os cálculos de Fv1 e Fv2 na primeira situação, para o cálculo de Fv1, considera-se uma pressão do vento de 1,5 kN/m². Na segunda situação, para o cálculo de Fv2, considera-se uma pressão do vento de 1,0 kN/m².

$$Fv1 = 1,5 \times 70$$

$$Fv1 = 105 \text{ KN}$$

$$Fv2 = 1 \times 120$$

$$Fv2 = 120 \text{ KN}$$

Adotando o maior valor de força do vento (Fv) encontrado para o cálculo dos momentos.

- **Cálculo dos momentos**

$$\mathbf{Mdx = Fv \times L \times Cs}$$

Onde:

Fv = Força do vento

L= comprimento do pilar

Cs = Coeficiente de segurança

$$Mdx = 120 \times 6 \times 1,4$$

$$Mdx = 1008 \text{ KN.m}$$

$$\mathbf{Mdy = F \times L \times Cs}$$

Onde:

F = Maior valor entre F aceleração ou F frenagem

L= comprimento do pilar

Cs = Coeficiente de segurança

$$Mdy = 216,54 \times 6 \times 1,4$$

$$Mdy = 1818,94 \text{ KN.m}$$

- Para o cálculo dos esforços solicitantes temos a seguinte fórmula

$$N_d = C_p \times R_p + C_m \times D_c$$

Onde:

C_p = Coeficiente de segurança das cargas Permanentes

R_p = Maior reação nos pilares

C_m = Coeficiente de segurança de cargas móveis

D_c = Maior diferença do cortante

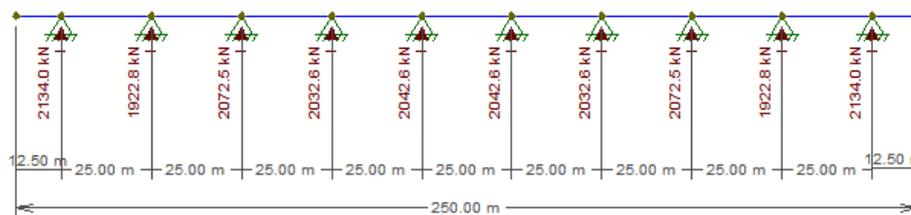


Figura 52: Reações nos pilares

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

Observando o resultado do Ftool, temos o maior valor da reação dos pilares de 2134 kN. Atribuindo os valores de acordo com a bibliografia consultada, no Ftool, temos a seguinte configuração.

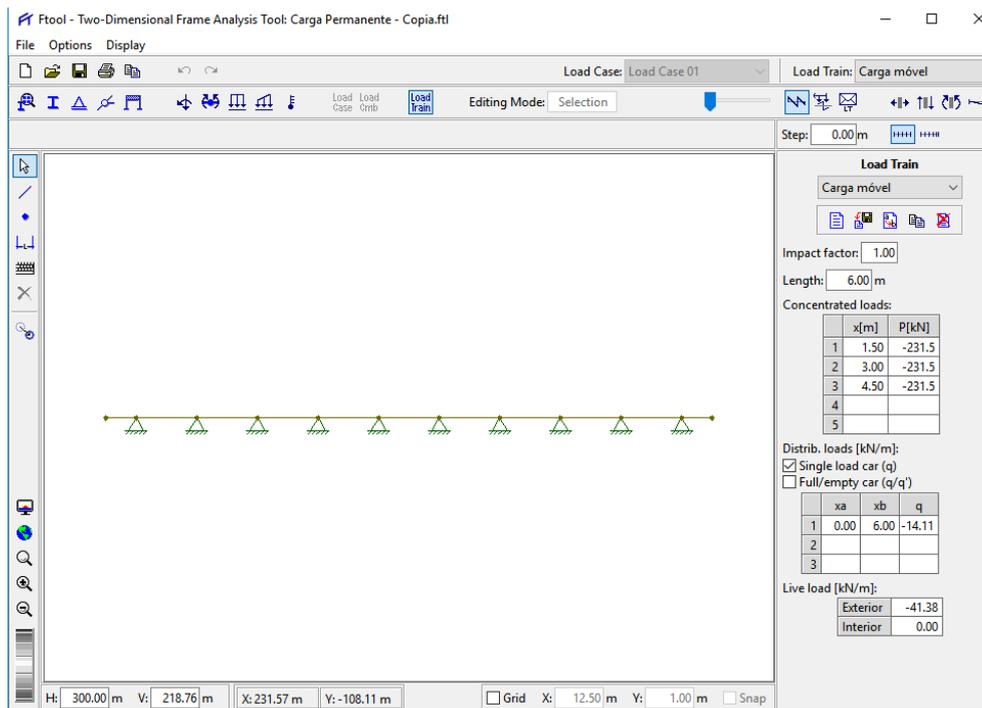


Figura 53: Ftool com a tabela de cargas preenchida

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

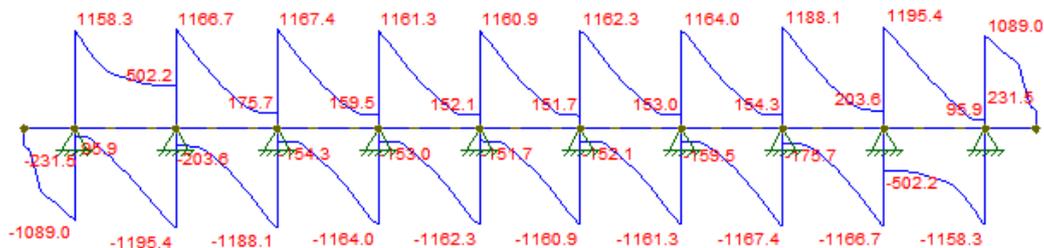


Figura 54: Variação da cortante

Fonte: Ftool (MARTHA, 2015).

Obtendo a maior variação da cortante o valor de 2361,3 KN

Encontrados os valores de C_p , e C_m , são colocados na fórmula abaixo para obter o resultado de N_d .

$$N_d = 1,35 \times 2134 + 1,5 \times 2361,3$$

$$N_d = 6422,85 \text{ KN}$$

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.

Com os dados obtidos no cálculo do esforço aplicado na estrutura, foi feita uma análise de eficiência da estrutura de reforço que está sendo realizada na infra e mesoestrutura da ponte. Como não há como mensurar o grau de deterioração interno dos pilares, foi decidido que não seria levado em conta a estrutura anterior no cálculo da resistência aos esforços da estrutura. Assim, utilizando o software “Obliqua”, executou-se uma modelagem do reforço da estrutura, visto que o programa não tem a opção de estrutura circular, então foram lançados 66 pontos formando retas para conseguir executar a modelagem do pilar circular vazado, posteriormente foram lançados os dados do reforço, como número de barras, bitola como também a espessura do concreto para poder verificar se apenas o reforço que está sendo implementado na estrutura atende às solicitações:

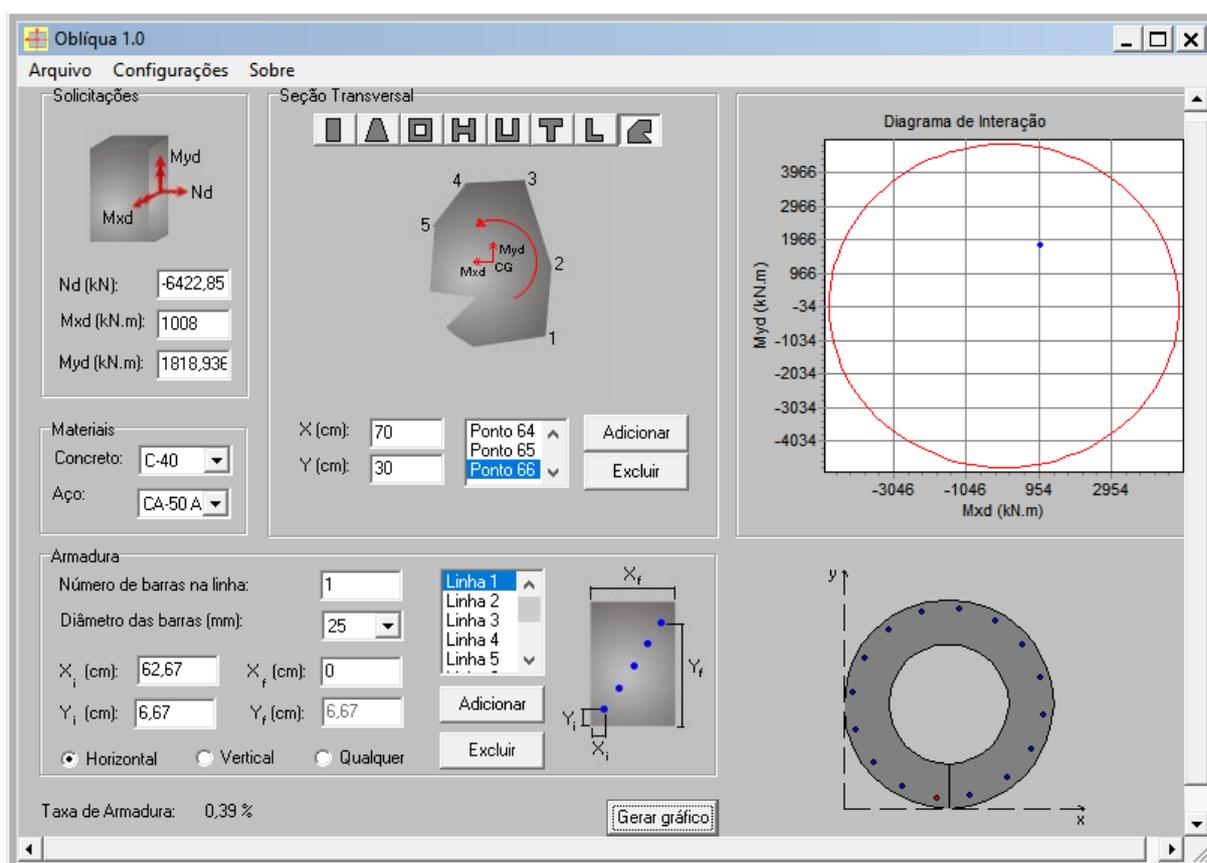


Figura 55: Simulação dos resultados no software Obliqua

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Na figura 55, na qual corresponde a interface do software, pode-se perceber que foram lançados os dados obtidos no cálculo dos esforços solicitantes da estrutura em “solicitações”, a armadura de reforço na seção correspondente a “armaduras” e a seção do pilar. Pode-se perceber que como foi desprezado o pilar deteriorado da estrutura, foi simulado um pilar redondo com diâmetro de 1,40 m vazado e calculado os resultados.

Através do “Diagrama de Interação” ainda na figura 55, pode-se observar que o ponto de influência dos esforços do gráfico está dentro do limite de resistência da estrutura, onde corresponde ao círculo vermelho no mesmo gráfico. Se o ponto estivesse fora desse círculo, significaria que a estrutura não resiste aos esforços e assim o reforço não seria suficiente. Também de acordo com a modelagem na figura 55, pode-se perceber que o ponto está distante da curva e quanto mais distante o mesmo estiver, significa que a estrutura de reforço que está sendo aplicada está superdimensionada gerando custos excessivos para a intervenção.

Foi possível identificar, também com a modelagem, que a taxa de armadura do reforço do pilar foi de 0,39%, ficando em consonância com a norma NBR 6118 que delimita que a taxa de armadura em estruturas deve apresentar valores mínimos de 0,15% e máximos de 4,0%.

5. CONCLUSÃO

Ao analisar os dados das anomalias encontradas na estrutura da ponte sobre o rio Sergipe, foi possível evidenciar que as patologias encontradas em maior quantidade foram trincas e corrosão da armadura. Pode-se perceber que o fator determinante para a presença dessas anomalias é o fato de que, na concepção da ponte, no ano de 1982, provavelmente não se foi levado em conta o aumento das cargas que trafegariam na estrutura, uma vez que no ano de projeto, os veículos não possuíam as cargas e resistências como possuem hoje. Devido ao rio ser um braço de mar, o grau de agressividade do meio considerado está abaixo do que realmente pode-se encontrar em circunstâncias atuais, assim o recobrimento da estrutura possivelmente estaria abaixo do necessário, o que ocasionou as várias manifestações patológicas.

Por se tratar de um elemento de uma via de alta importância para o país, BR-101, e com um fluxo de veículos de cargas pesadas altíssimo, como também devido ao grau de deterioração da estrutura, foi necessária uma intervenção de modo emergencial, pois corria risco que a estrutura não suportasse mais os esforços e viesse a cair. Intervenção essa realizada pela “Construtora AGASPAR LTDA” na qual optou em fazer um reforço estrutural drástico através da intervenção por “armadura auxiliar”. Através das análises obtidas, pode-se concluir que a técnica adotada é suficiente para devolver a estrutura sua capacidade de carga e prolongar a vida útil da mesma.

No Brasil, preocupa-se mais com a construção das estruturas do que com a sua manutenção. Por conta disso, da mesma forma que a ponte correspondente ao nosso estudo de caso encontrava-se em risco de desabamento, demais obras passam pela mesma situação causando um risco até mesmo para a população que trafega por ela. Assim, cabe ao poder público, uma maior atenção nesses quesitos, pois uma reconstrução de uma estrutura é muito mais dispendiosa do que apenas uma simples recuperação e evita expor ao público esse tipo de risco.

- **Sugestões para trabalhos futuros:**

A partir das informações encontradas neste estudo de caso, foi aberto um leque de possibilidade de novos temas para serem discutidos em trabalhos posteriores, dentre os quais encontram-se alguns temas elencados abaixo:

- a) Análise da estrutura auxiliar de reforço ideal para ser aplicada na recuperação da estrutura da ponte sobre o rio Sergipe;
- b) Acompanhamento das manifestações patológicas nas demais pontes que compõem a malha rodoviária no estado de Sergipe;
- c) Verificar se as pontes rodoviárias construídas no século XX foram dimensionadas para suportar aos esforços atuais em sua estrutura.

6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. E. Avaliação dos ensaios de durabilidade de concreto armado a partir de estruturas duráveis. Dissertação de Mestrado. Minas Gerais, 2006.

ALMEIDA, R. manifestações patológicas em prédio escolar: uma análise qualitativa e quantitativa. Dissertação de Mestrado, PPGEC/UFMS, 2008.

ANDRADE, T. Tópicos sobre durabilidade do concreto. São Paulo: IBRACON, 2005

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

ARIVABENE, A. C. Patologia em estruturas de concreto armado estudo de caso. Revista online especialize. Vitória- ES, 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro, 2003. 170p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 9689: Materiais e sistemas de impermeabilização. Rio de Janeiro, 1986. 3p

AXFIBER, DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS. Disponível em: <https://www.axfiber.com.br/single-post/2017/01/12/Ataque-em-estruturas-de-concreto-por-acao-de-cloretos>. Acessado em: 17 de agosto de 2018

AZEREDO, H. A. de. O edifício até sua cobertura. São Paulo: Edgard blücher, 1977.

BASTOS, H. C. N. Principais patologias em estruturas de concreto pontes e viaduto: manuseio e manutenção das obras de artes especiais. Revista construindo. Belo horizonte, 2017.

BERTOLINI, L. Materiais de construção, patologia, reabilitação e prevenção. São Paulo: Oficina de textos,2013.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários. - Rio de Janeiro, 159p. (IPR. Publ., 744).

CASCUDO, O. O controle da corrosão de estruturas em concreto armado, São Paulo: Pini, 1997

CORSINI, V. Trinca ou Fissura? 2010. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/160/trinca-ou-fissura-como-se-originam-quais-os-tipos-285488-1.aspx>. Acessado em: 05 de outubro de 2018.

CREMONINI, R. A. Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares da região de Porto Alegre: Recomendações para projeto, execução e manutenção. Dissertação de Mestrado, UFRS, 1988.

- DEBS, M. K. E; TAKEYA, T. Introdução às pontes de concreto. Apostila de aula. São Carlos, 2007
- FERREIRA, R. M. Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão. Dissertação de mestrado. Braga, 2000
- FORD IDEIA E ARQUITETURA. Manual básico para entender sobre infiltrações. Disponível em: <http://www.forsarquitetura.com.br/problemas-com-infiltracao>. Acessado em: 05 de setembro de 2018
- GRANATO, J. E. Patologia das fachadas revestidas de cerâmica e granito. Notas de aula do curso de patologia das construções. São Paulo: Viapol, 2005.
- GUABIROBA, R. T. Patologias em canais de drenagem em concreto estudo de caso de BH. Monografia. Belo Horizonte, 2012.
- HEERDT, G. B.; PIO V. M.; BLEICHVEL, N. C. T. Principais patologias na construção civil. 2016. 24 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade Metropolitana de Rio de Sul. Rio de Sul, 2016.
- HELENE, P. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas. São Paulo: Pini, 1992.
- HELENE, P. R. L. corrosão em armaduras para concreto armado, são Paulo: Pini ,1986.
- HELENE, P. R. L. Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São José dos Campos, 2001.
- KULISCH, D. Ataque por sulfatos em estruturas de concreto. Monografia. Curitiba, 2011)
- LANER, F. J. Manifestações Patológicas nos Viadutos, Pontes e Passarelas do Município de Porto Alegre. Porto Alegre, 2001.
- Mapa da Obra. Os Problemas causados pela lixiviação do concreto. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/os-problemas-causados-pela-lixiviacao-do-concreto>>.Acessado e: 10 de setembro de 2018
- MARCELLI, M. Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: Pini, 2007.
- MARCHETTI, O. Pontes de concreto armado. São Paulo: Editora Blucher, 2008
- MEHTA P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.
- OLIVARI, G. Patologias em edificações. TCC (Graduação) – Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2003.
- OLIVEIRA, A.M. Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial. Monografia. Belo Horizonte, 2012.
- PASQUALOTTO, N. Mapeamento de manifestações patológicas em edificação histórica: estudo no prédio do observatório astronômico da UFRGS. TCC (graduação) - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do sul. Porto Alegre ,2012.

PIANCASTELLI, E. M. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado. Dissertação de mestrado. Ed. Departamento de Estruturas da EEUFMG.1997

PIANCASTELLI, E. M. Portal AECweb. Patologias do concreto. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0>. Acessado em: 22 de agosto de 2018

PUIIM, P. G. A. C. Controlo e reparação de anomalias devidas à presença de sais solúveis em edifícios antigos, 95 f. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

SILVA, P. F. Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana. 1.ed. São Paulo: Pini, 1995

SOUZA, M. F. Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. Monografia. Belo Horizonte, 2008

SOUZA, V.C; Ripper, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, E. C. S. Fissuração – 168 casos reais. Artigo. Rio de Janeiro, 2003

UEMOTO, K. L. Patologia: Danos causados por eflorescência. Tecnologia de Edificações, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT, 1988.

VILLANUEVA, M. M. A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação, Monografia. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015

7. ANEXOS:

Figura: Jateamento de ar
Fonte: Arquivo pessoal 2018



Figura: Colocação das presilhas para a armadura
Fonte: Arquivo pessoal 2018



Figura: Pilares reforçados
Fonte: Arquivo pessoal 2018

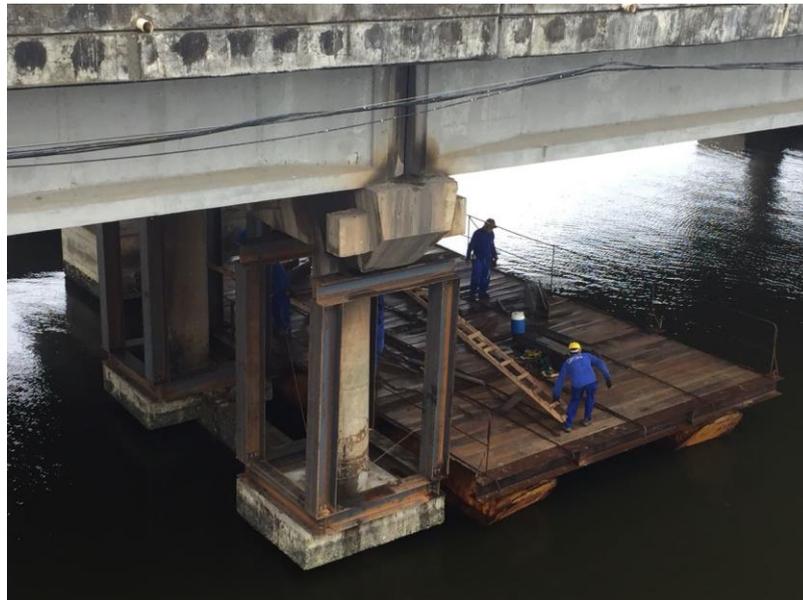


Figura: Escoramentos dos pilares para a reabilitação
Fonte: Arquivo Pessoal, 2018.