

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ADER BEZ FONTANA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTE DE
CONCRETO ARMADO**

CASCADEL - PR
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ADER BEZ FONTANA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTE DE
CONCRETO ARMADO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professor Orientador: Engenheiro Civil Mestre Izan
Gomes de Lacerda.**

CASCADEL - PR
2017

DEDICATÓRIA

Aos meus pais.

RESUMO

As pontes são de extrema importância para o desenvolvimento de qualquer país, visto que elas facilitam o transporte rodoviário e ferroviário, possibilitando a diminuição no prazo de entrega de insumos e menor consumo de combustível, já que tais obras diminuem o percurso a ser realizado pelos veículos. Porém, em pontes de concreto armado, como toda obra que utiliza esse material, há a ocorrência de uma série de manifestações patológicas como fissuras, corrosão de armaduras, deterioração do concreto, deslocamento de aparelhos de apoio ou dilatação excessiva das juntas de concretagem em seu tabuleiro, que podem ser provenientes de vários fatores. Objetivando apontar estas implicações, o presente trabalho traz a inspeção de uma ponte em concreto armado localizada em um trecho de uma rodovia do oeste do Paraná, tendo a finalidade de determinar a incidência das manifestações patológicas por meio de um formulário (*check list*) e realizar um registro fotográfico para a devida análise de tais problemas através de relatos bibliográficos. Por meio deste estudo, pôde-se notar como a água é o agente causador da maior parcela dos problemas encontrados e, além disso, como atribui-se as patologias à falta de mão de obra qualificada para as etapas construtivas, falta de manutenção preventiva, a possível falta de controle de qualidade e, principalmente à deficiência no sistema de drenagem. O trabalho propõe detectar as principais manifestações patológicas, apontar as causas mais prováveis, assim como modos de prevenção e métodos corretivos para tais anomalias.

Palavras-chave: Inspeção. Patologias. Causas. Água. Métodos Corretivos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elementos constituintes de uma ponte	13
Figura 2: Pontes retas ortogonais e esconsas.....	15
Figura 3: Ponte curva	15
Figura 4: Pontes horizontais ou em nível	15
Figura 5: Pontes em rampa, retilíneas ou curvilíneas	16
Figura 6: Sistema de vigas.....	16
Figura 7: Sistema de pórtico.....	16
Figura 8: Sistema de arco	17
Figura 9: Sistema Pênsil	17
Figura 10: Sistema Estaiado	17
Figura 11: Tabuleiro na posição superior.....	18
Figura 12: Tabuleiro na posição intermediária.....	18
Figura 13: Tabuleiro na posição inferior.....	18
Figura 14: Distribuição percentual de falhas patogênicas nas etapas de construção no Brasil	21
Figura 15: Corrosão em Estrutura da Ponte do Rio Casqueiro	22
Figura 16: Causas Intrínsecas das patologias nas estruturas de concreto	25
Figura 17: Causas extrínsecas das patologias nas estruturas de concreto	26
Figura 18: Fissuras de Flexão e Cisalhamento	28
Figura 19: Fissuras de Flexão e Cisalhamento	28
Figura 20: Fissuras de Torção	28
Figura 21: Fissuras por Perda de Aderência e Colapso da Ancoragem da Armadura.....	28
Figura 22: Fissuras por Corrosão das Armaduras.....	29
Figura 23: Fissuras por Formação de Espaços Vazios ou Poros sob Barras Horizontais	29
Figura 24: Trincas de Ruptura Frágil em Apoios Extremos Mal Posicionados	29
Figura 25: Dentes de Articulação Fissurados ou Trincados.....	30
Figura 26: Fissuras em Pilares.....	30
Figura 27: Fissuras em Pilar Parede.....	30
Figura 28: Fissuras em Laje Armada em Uma Direção.....	31
Figura 29: Fissuras de Retração em Muro de Arrimo.....	31
Figura 30: Eflorescência em fissura no concreto aparente.....	33
Figura 31: Ponte de concreto armado mondada <i>in loco</i>	39
Figura 32: Fluxograma do procedimento utilizado na pesquisa.....	41

Figura 33: Acesso à ponte pela margem de Corbélia e acúmulo de sujeira nos acostamentos	46
Figura 34: Fissuras primárias de flexão na face inferior da laje.....	47
Figura 35: Ataque de microorganismos e lixiviação na face inferior da laje.....	48
Figura 36: Fissura com eflorescência em viga longarina.....	50
Figura 37: Segregação no concreto da viga longarina	51
Figura 38: Acúmulo de sujeira nos acostamentos e a eventual obstrução dos drenos.....	53
Figura 39: Presença de lixiviação no tabuleiro de uma ponte causado por deficiência no sistema de drenagem	53
Figura 40: Localização dos aparelhos de apoio 01 e 02 na extremidade noroeste da ponte	55
Figura 41: Aparelho de apoio A.A.01.....	56
Figura 42: Deformação devido ao deslocamento horizontal da placa de neoprene	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tratamentos usuais das estruturas de concreto armado	20
Tabela 2: Tabela de registro para a inspeção visual da ponte	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Quantificativo de manifestações patológicas registradas nos grupos inspecionados	57
Gráfico 2: Quantificativo de manifestações patológicas registradas nos diversos elementos inspecionados.....	58
Gráfico 3: Quantidade dos tipos de manifestações patológicas registradas na inspeção visual da ponte.....	58
Gráfico 4: Percentual de manifestações patológicas na ponte inspecionada	59

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1.....	10
1.1	INTRODUÇÃO.....	10
1.2	OBJETIVOS.....	11
1.2.1	Objetivo Geral.....	11
1.2.2	Objetivos específicos	11
1.4	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	12
2	CAPÍTULO 2.....	17
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1.1	PONTES E VIADUTOS	13
2.1.1.1	Tipologias de Pontes e Viadutos.....	13
2.1.1.2	Classificação das Pontes	14
2.1.2	Patologias estruturais.....	19
2.1.2.1	Fundamentos da Patologia	19
2.1.2.2	Patologias em Estruturas de Pontes.....	21
2.1.2.3	Formas de manifestação e formação de patologias	23
2.1.2.3.1	Fissuras	23
2.1.2.3.2	Deterioração do concreto por reações químicas.....	23
2.1.2.4	Causas das patologias	24
2.1.2.4.1	Fissuras	26
2.1.2.4.2	Corrosão das Armaduras do Concreto.....	32
2.1.2.4.3	Carbonatação.....	32
2.1.2.4.4	Lixiviação	33
2.1.2.4.5	Desagregações.....	34
2.1.2.4.6	Disgregações	34
2.1.2.5	Métodos de recuperação e tratamentos.....	35
2.1.2.5.1	Remoção e Substituição de Concreto	35
2.1.2.5.4	Tratamento de deterioração do concreto (Lixiviação).....	36
3	CAPÍTULO 3	38
3.1	METODOLOGIA.....	38
3.1.1	Classificação da pesquisa	38

3.1.2. Caracterização da amostra.....	38
3.1.3 Planejamento da pesquisa	39
3.1.4 Procedimento de coleta e interpretação dos dados.....	40
3.1.5 Análise dos dados.....	43
4 CAPÍTULO 4	45
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1.1 Patologias localizadas.....	45
4.1.1.1 Encontros/Acessos.....	45
4.1.1.2 Superestrutura	46
4.1.1.2.1 Laje	46
4.1.1.2.2 Vigas Longarinas e Transversinas.....	49
4.1.1.2.3 Sistema de Drenagem	52
4.1.1.2.4 Mesoestrutura.....	54
4.1.2 Gráficos	57
5 CAPÍTULO 5	60
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
6 CAPÍTULO 6.....	61
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
REFERÊNCIAS.....	63
ANEXO A – FICHA DE INSPEÇÃO	65

1 CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

As pontes constituem um dos elementos indispensáveis de um sistema viário e devem ser periodicamente inspecionadas e estudadas devido à sua extrema importância. Atualmente há dois objetivos principais na engenharia de pontes; um é o desenvolvimento de novos projetos, considerando novas tecnologias construtivas e novos materiais; o outro, que é provavelmente a mais importante, é a manutenção de pontes já existentes com o intuito de prevenir suas rápidas deteriorações e manter suas funcionalidades perante o acréscimo de cargas de tráfego ocasionado com o passar dos anos. Medidas para prevenir deteriorações devem começar já no projeto estrutural e no estágio de execução, assegurando a qualidade dos materiais, do projeto e da execução, o que implica o conhecimento das possíveis patologias e suas causas (JOHNSON, 1973).

O sistema rodoviário brasileiro é formado por pontes de diferentes idades, projetadas e dimensionadas segundo diferentes critérios e solicitadas a suportar o tráfego de cargas móveis sempre crescentes, situação que também se verifica no município de Cafelândia – Paraná. Essas obras devem ser cuidadas e regularmente inspecionadas em termos de capacidade de carga, segurança e conforto, com a realização de manutenção e melhoramentos (BRASIL, 2004).

Garantir a qualidade de qualquer obra, principalmente de arte especial, é de extrema importância, uma vez que se requer grandes recursos econômicos e profissionais técnicos para uma reconstrução de tal obra caso as deteriorações sejam tamanhas a ponto de tornar a estrutura inutilizável. Para Souza e Ripper (1998), as falhas construtivas chamadas de patologias em construções podem ser interpretadas como o baixo, ou o fim, do desempenho de uma estrutura em relação à estabilidade, estética, uso e, principalmente, a durabilidade das construções para os fins a que se destinam.

No Brasil, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2004), a vistoria técnica em pontes já é um trabalho que vem acontecendo periodicamente, possibilitando a recuperação preventiva em estruturas onde foi constatado algum tipo de risco aos usuários. Porém, devido a carências econômicas, as estruturas excedem a expectativa de vida útil, não recebendo as devidas medidas de manutenção.

Para Souza e Ripper (2008), o conhecimento dos problemas patológicos em edificações é indispensável a todos os trabalhadores da construção civil, começando desde o operário até o engenheiro ou arquiteto. Assim, quando se conhece a problemática, torna-se mais fácil a identificação de erros e as chances de cometê-los podem ser reduzidas drasticamente.

Entretanto, observa-se a importância da realização de uma pesquisa que vise aprofundar o assunto, pois a busca da qualidade e segurança das obras de arte especiais é muito grande, visto que estas anomalias podem ser evitadas ou corrigidas quando se identifica a causa, sempre buscando a maneira mais acessível, tanto técnica quanto economicamente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Levantar as patologias aparentes existentes em uma ponte de concreto armado localizada na PR-574 que interliga os municípios de Cafelândia e Corbélia – PR.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar as principais manifestações patológicas aparentes;
- Levantar as causas das patologias encontradas;
- Propor os possíveis métodos para reparo das falhas.

1.3 JUSTIFICATIVA

“Em muitas edificações, problemas estruturais costumam aparecer bem antes de seus 50 anos de vida” (SACHS. A, 2015). Esse é o prazo mínimo de vida útil de projeto estabelecido pela NBR 15.575/2013 - Edificações Habitacionais – Desempenho. Geralmente, esses problemas estão associados à carência de boas técnicas durante a execução da obra,

aliados à falta de manutenção e acompanhamento periódico dos sistemas construtivos por profissionais especializados.

Pelo fato de essas anomalias se tornarem aparentes, eles causam incômodo ao usuário, concedendo o desgaste da imagem dos responsáveis pela execução da obra, prejuízos financeiros e, até mesmo, problemas mais graves que provavelmente levariam a estrutura à ruína. Felizmente, devido a estudos aprofundados na área, as patologias podem ser corrigidas assim que identificadas.

O levantamento dos problemas patológicos da ponte a ser estudada é de suma importância, visto que ela interliga o acesso rápido à BR-369, e também há um enorme fluxo de veículos que transitam pela rodovia, incluindo ônibus com estudantes, trabalhadores e caminhões de carga de alimentos, cereais e animais. Logo, a condição estrutural e aparente da ponte é muito importante, já que elas refletem diretamente em sua confiabilidade.

Com esta pesquisa, busca-se levantar as anomalias visíveis ocorrentes na ponte, causadores de desconforto e perturbações ao ser humano, apurando as causas do aparecimento e formas de corrigir dessas patologias.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Quais são as principais manifestações patológicas aparentes existentes em uma ponte de concreto armado na PR-574 que interliga os municípios de Cafelândia e Corbélia - PR, como surgiram e qual é o melhor método corretivo?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi estabelecida no levantamento das manifestações patológicas ocorrentes em uma ponte de concreto armado *in-loco* destinada a interligar a região de Cafelândia e Corbélia - PR, fazendo a travessia do Rio Melissa pela PR-574.

Limita-se à pesquisa a análise das manifestações patológicas mais evidentes causadoras de impacto estético na ponte e insegurança ao ser humano. Restringe-se à pesquisa a localização da patologia, reconhecimento das causas mais prováveis e recomendação do método corretivo.

2 CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Pontes e Viadutos

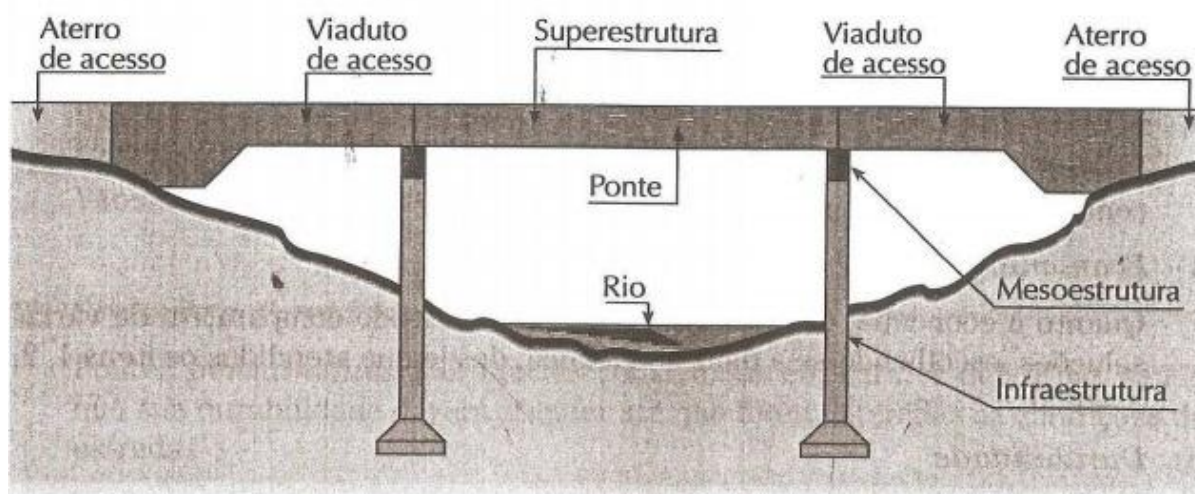
2.1.1.1 Tipologias de Pontes e Viadutos

Denomina-se ponte a obra destinada a permitir a transposição de obstáculos à continuidade de uma via de comunicação qualquer. Os obstáculos podem ser: rios, braços de mar, vales profundos, outras vias, entre outros (MARCHETTI, 2008). Propriamente, denomina-se ponte quando o obstáculo transposto é um rio, e viaduto quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via.

Segundo Marchetti (2008), quando se tem um curso d'água de grandes dimensões, a ponte necessita de uma parte extensa antes de atravessar o curso d'água. Essa parte em seco é denominada de Viaduto de Acesso.

Na Figura 1, têm-se os elementos constituintes de uma ponte.

Figura 1: Elementos constituintes de uma ponte



Fonte: Marchetti (2008)

Em relação aos elementos constituintes de uma ponte, segundo o Manual de Inspeção de Pontes e Viadutos do DNIT (2004) estes ainda podem ser subdivididos em infraestrutura, superestrutura e mesoestrutura.

Infraestrutura é a parte da ponte constituída por elementos que se destinam a apoiar no terreno (rocha ou solo) os esforços transmitidos da superestrutura para a mesoestrutura. A infraestrutura é constituída por blocos de estacas, sapatas, tubulões, entre outros.

Superestrutura é a parte constituída de vigas e lajes. É o elemento de suporte do estrada por onde se trafega, sendo assim a parte útil da obra.

Mesoestrutura é a parte da ponte constituída pelos pilares, aparelhos de apoio e encontros. É a parte que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura.

2.1.1.2 Classificação das Pontes

Segundo Marchetti (2008), pode-se classificar as pontes segundo vários fatores, como por exemplo:

1) Extensão do vão (total)

Vão até 2 metros: ----- Bueiros

Vão de 2 metros a 10 metros: ----- Pontilhões

Vão maior do que 10 metros: ----- Pontes

2) Durabilidade

Pontes permanentes são aquelas construídas em caráter definitivo, sendo que sua durabilidade deverá atender enquanto não forem alteradas as condições da estrada.

Pontes provisórias são as construídas para uma duração limitada, geralmente enquanto não se construa a obra definitiva, prestam-se quase sempre a servir como desvio de tráfego.

Pontes desmontáveis são construídas para uma duração limitada, sendo que diferem das provisórias por serem reaproveitáveis.

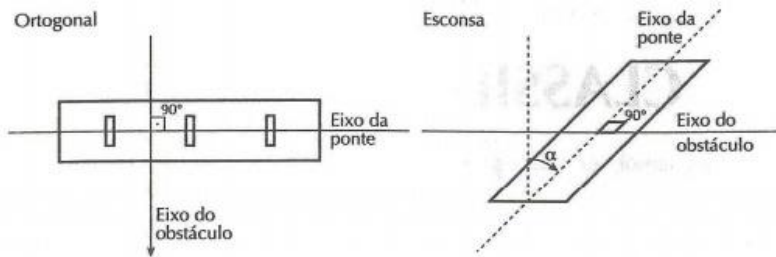
3) Natureza do tráfego

Têm-se: pontes rodoviárias, pontes para pedestres (passarelas), pontes aqueduto, pontes mistas, pontes ferroviárias, pontes canal e pontes aeroviárias.

4) Desenvolvimento planimétrico

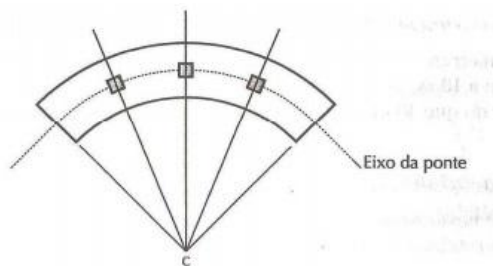
Segundo Marchetti (2008), considera-se a projeção do eixo da ponte em um plano horizontal (planta), pode-se ter pontes retas (ortogonais e esconsas) e pontes curvas, conforme Figura 2 e Figura 3, respectivamente.

Figura 2: Pontes retas ortogonais e esconsas



Fonte: Marchetti (2008)

Figura 3: Ponte curva



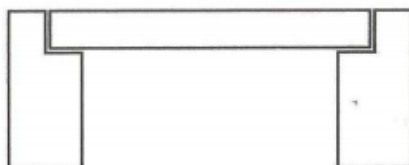
Fonte: Marchetti (2008)

5) Desenvolvimento altimétrico

Ao considerar-se a projeção do eixo da ponte em plano vertical (elevação), pode-se ter a seguinte classificação:

a) Pontes horizontais ou em nível

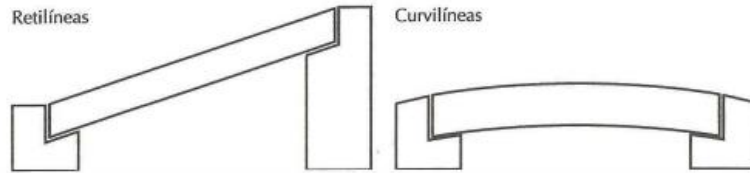
Figura 4: Pontes horizontais ou em nível



Fonte: Marchetti (2008)

b) Pontes em rampa, retilíneas ou curvilíneas

Figura 5: Pontes em rampa, retilíneas ou curvilíneas



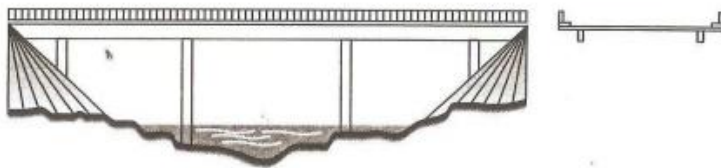
Fonte: Marchetti (2008)

6) Sistema estrutural da superestrutura

a) Em vigas: pode ser em vigas isostáticas ou hiperestáticas de seção constante ou variável. As vigas podem ainda ter seção em forma retangular, T, L invertido ou caixão, sendo que pontes metálicas possuem comumente vigas em forma de I e pontes de madeira em formato circular (madeira roliça).

Figura 6: Sistema de vigas

Ponte em viga reta de alma cheia

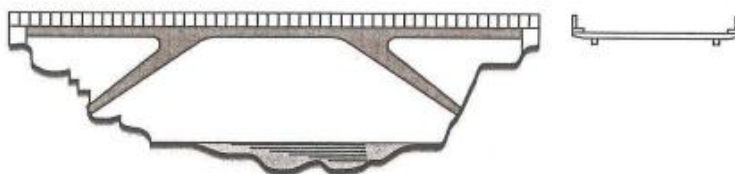


Fonte: Marchetti (2008)

b) Em pórticos: este sistema é aquele em que as vigas do tabuleiro são contínuas com os pilares. Esta solução é utilizada para diminuir os vãos da viga reta.

Figura 7: Sistema de pórtico

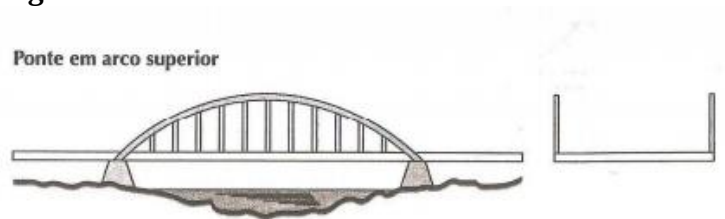
Ponte em quadro rígido



Fonte: Marchetti (2008)

c) Em arco: nestas estruturas, os esforços predominantes são normais de compressão, agindo simultaneamente ou não, com momentos fletores.

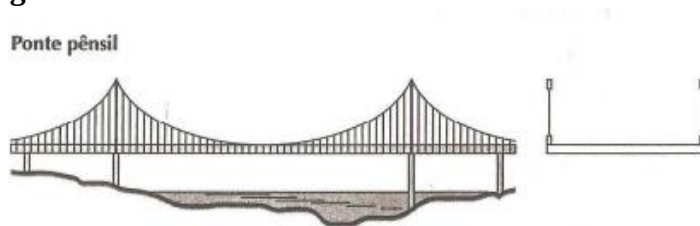
Figura 8: Sistema de arco



Fonte: Marchetti (2008)

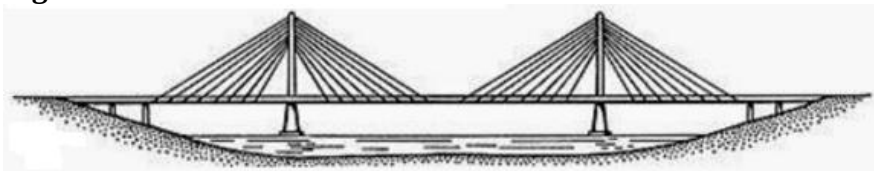
d) Pontes Suspensas (Pênseis e Estaiadas): Segundo o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), nestas pontes as solicitações de tração dos cabos de suspensão são propagadas às ancoragens na infra-estrutura após provocar solicitações de compressão nas torres intermediárias.

Figura 9: Sistema Pênstil



Fonte: Marchetti (2008)

Figura10: Sistema Estaiado



Fonte: Marchetti (2008)

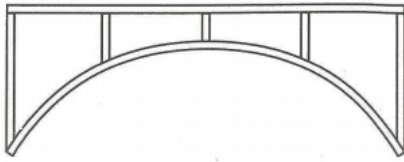
7) Material da superestrutura

Têm-se pontes de madeira, de alvenaria, pedras, tijolos, de concreto armado, de concreto protendido e pontes de aço.

8) Posição do tabuleiro

a) Tabuleiro Superior:

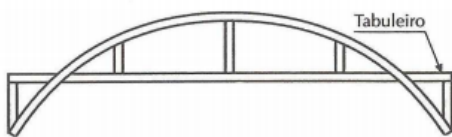
Figura 11: Tabuleiro na posição superior



Fonte: Marchetti (2008)

b) Tabuleiro Intermediário:

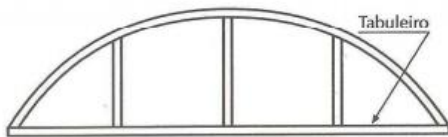
Figura 12: Tabuleiro na posição intermediária



Fonte: Marchetti (2008)

c) Tabuleiro Inferior:

Figura 13: Tabuleiro na posição inferior



Fonte: Marchetti (2008)

9) Mobilidade dos tramos

- a) Ponte basculante de pequeno vão;
- b) Ponte levadiça;
- c) Ponte corrediça;
- d) Ponte giratória.

10) O tipo estático da superestrutura, tem-se: isostáticas e hiperestáticas.

11) O tipo construtivo da superestrutura

a) *In loco*: a superestrutura é executada no próprio local da ponte, na posição definitiva, sobre escoramento apropriado (cimbramento, treliça etc.), apoiando-se diretamente nos pilares (MARCHETTI, 2008).

b) Pré-moldada: segundo Marchetti (2008), os elementos da superestrutura são moldados fora do local definitivo, sendo esses na própria obra, em canteiro adequado, ou em usina distante, e em seguida transportados e colocados no local de implantação.

c) Em balanços sucessivos: neste caso, a ponte tem sua superestrutura executada progressivamente a partir dos pilares já construídos. Cada parte nova da superestrutura apoia-se em balanço na parte já executada. A utilização em concreto protendido é indicada em grandes vãos ou quando o cimbramento é muito dispendioso ou mesmo impossível de ser executado (MARCHETTI, 2008).

d) Em aduelas ou segmentos: este processo construtivo é semelhante ao dos balanços sucessivos, permitindo eliminar o cimbramento, sendo também utilizado em obras de concreto protendido. Difere, porém do processo anterior, em que as partes sucessivamente colocadas em balanço e apoiadas no trecho já construído são pré-moldadas (MARCHETTI, 2008).

2.1.2 Patologias estruturais

2.1.2.1 Fundamentos da Patologia

O estudo das patologias estruturais engloba a análise detalhada do problema descrevendo as causas, as formas de manifestação, os mecanismos de ocorrência, a profilaxia e a manutenção estrutural.

Conforme Soriano (2004, p.2), o grande fundamento da patologia das construções “está em avaliar uma estrutura que num dado período de sua vida apresente desempenho inadequado, uma vez que o quadro apresentado pela mesma não caracterize necessariamente a condenação”.

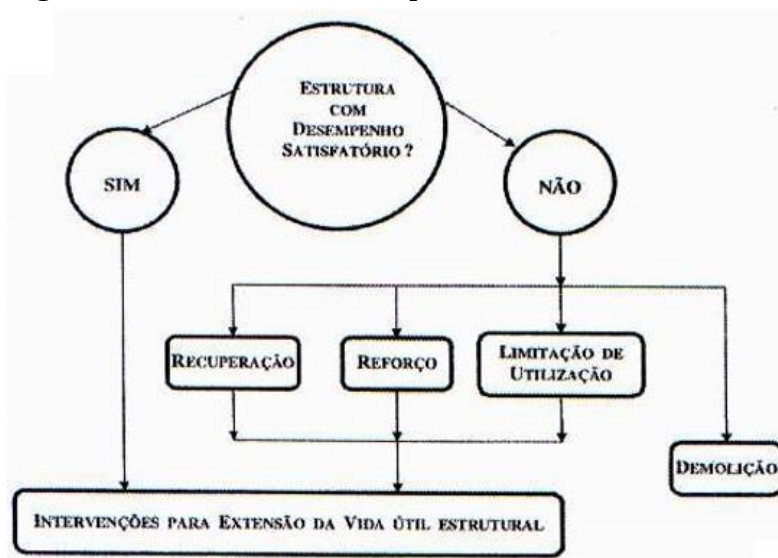
Exercendo o diagnóstico correto do caso, é possível determinar uma das quatro medidas terapêuticas usuais. Segundo Helene (1992), cabe estudar técnicas ou métodos para corrigir e solucionar esses problemas patológicos. Para a melhor escolha e execução da terapia, existe a importância de um estudo que detalhe e apresente o verdadeiro diagnóstico do princípio da patologia. Na Tabela 1 são apresentadas terapias utilizadas nas estruturas de concreto armado, que devem ser adotadas conforme o caso.

Tabela 1: Tratamentos usuais das estruturas de concreto armado

Tratamento	Características
Recuperação	Como recuperação, entendem-se os procedimentos, necessários para a restauração da capacidade resistente ou portante de uma estrutura. A recuperação, ainda pode ser entendida como uma intervenção que recondiciona a estrutura aos aspectos estéticos e de capacidade portante originais.
Restauração	Intervenção que restabelece somente as condições estéticas da estrutura.
Reforço	São as atividades promovidas para o aumento da resistência, ou capacidade portante da estrutura.
Limitação de utilização	Esta é a opção que deve ser escolhida quando a terapia de recuperação não se mostrar economicamente favorável. Também pode ser adotado no caso de não se optar por um reforço estrutural, limitando, portanto, a estrutura a determinadas condições que poderiam ser extrapoladas quando da utilização de um reforço.
Demolição	É a terapia extrema, que pode variar desde uma demolição parcial até completa da estrutura. É optada quando nenhuma das alternativas terapêuticas anteriores mostra-se viável.

Fonte: Souza e Ripper (1998)

Na Figura 13 são apresentadas as alternativas de terapia das estruturas com base no fundamento da patologia.

Figura 13: Alternativas de terapia da estrutura

Fonte: Souza e Ripper (1998, p.21)

2.1.2.2 Patologias em Estruturas de Pontes

As patologias apuradas em pontes e viadutos apresentam natureza variada e, quando não são tratadas de modo adequado, comprometem a funcionalidade da estrutura. Uma explicação para a evolução de patologias nas estruturas é a ocorrência de defeitos em uma das etapas de construção (LOURENÇO, 2007).

Nesta situação, vários autores têm buscado conceituar e elaborar estatísticas com o intuito de demonstrar em qual fase da construção ocorrem as principais falhas geradoras de patologias. A literatura informa que essas estatísticas variam conforme a região ou país no qual o estudo está sendo desenvolvido. No Brasil, verifica-se que, erros patogênicos ocorrem no momento da execução da estrutura, na maioria dos eventos (SOUZA, 1991). A Figura 14 apresenta a distribuição percentual das falhas que geram patologias dentre as etapas de construção.

Figura 14: Distribuição percentual de falhas patogênicas nas etapas de construção no Brasil



Fonte: Ripper (2002)

Outra razão capaz de contribuir para o aparecimento de manifestações patológicas em uma estrutura é o caso de catástrofes naturais (sinistros) que, devido ao fato de serem imprevisíveis, exigem da estrutura um potencial resistente alto, o qual não é normalmente atendido pela capacidade resistente da obra estabelecida no projeto (LOURENÇO, 2007).

Em consequência da singularidade estrutural de pontes e viadutos, percebe-se uma maior susceptibilidade à ocorrência de anomalias características nessas construções. Dada a tendência natural de deterioração das estruturas, a inexistência de um processo eficiente de manutenção acelera o surgimento dos problemas patológicos. De modo geral, a corrosão (Figura 15) e a existência de fissuras de origem mecânica constituem as formas mais comuns de patologias em estruturas de obras de arte especiais, sendo necessário cuidados especiais no sentido da prevenção e reabilitação das mesmas.

Dessa maneira, a descrição destas patologias e a caracterização de suas manifestações são bastante relevantes para o processo global de avaliação das mesmas.

Figura 15: Corrosão em Estrutura da Ponte do Rio Casqueiro



Fonte: Infoenge (2007)

2.1.2.3 Formas de manifestação e formação de patologias

2.1.2.3.1 Fissuras

A fissura é uma fratura linear no concreto que pode se estender parcial ou completamente através do elemento; excetuados alguns casos particulares, a fissuração, isoladamente não indica perda de resistência ou de durabilidade: nos elementos de concreto armado convencional, a fissuração pode ser inevitável, em virtude de tensões de tração provocadas pela flexão, força cortante, torção e restrições à movimentação (DNIT, 2004).

A NB-1/78 considerava que a fissuração seria nociva quando a abertura das fissuras da superfície do concreto armado, não protendido, ultrapassava os seguintes valores:

- a) 0,1 mm para peças não protegidas em meio agressivo;
- b) 0,2 mm para peças não protegidas em meio não agressivo;
- c) 0,3 mm para peças protegidas.

As fissuras, segundo o DNIT (2004), podem ser classificadas como capilares, médias ou grandes. Se ultrapassarem a abertura de 0,5 mm, devem ser consideradas trincas. As fissuras capilares, que não reduzem a capacidade da estrutura, não precisam ser registradas; as fissuras médias e grandes, visíveis sem instrumentos devem ser mapeadas, no comprimento, na largura, na localização e na orientação. A presença de ferrugem, a eflorescência e a movimentação das fissuras não estabilizadas ou vivas, em contraposição às estabilizadas ou mortas, devem ser anotadas.

2.1.2.3.2 Deterioração do concreto por reações químicas

A deterioração ou corrosão do concreto pode ser vista como a destruição do mesmo por meio de reações químicas ou eletroquímicas não propositadas que começam na superfície do sólido, assim como menciona Ripper (1998).

Com relação ao processo de deterioração do concreto, ele depende das propriedades do meio onde se encontra, incluindo a concentração de ácidos, sais e bases, como das propriedades do próprio concreto. Ainda, pelo fato do processo de corrosão do concreto ser puramente químico, ocorrendo por causa da reação da pasta de cimento com determinados elementos químicos, isso acaba gerando, em alguns, casos a dissolução do ligante ou, ainda, a

formação de compostos expansivos, que são fatores deteriorantes do concreto, segundo Souza e Ripper (1998).

Pode-se classificar a corrosão do concreto segundo três tipos, dependendo das ações químicas que lhe dão origem: corrosão por lixiviação, corrosão química por reação iônica, e corrosão por expansão.

A corrosão por lixiviação consiste na dissolução e arraste do hidróxido de cálcio existente na massa de cimento Portland endurecido (liberado na hidratação) devido ao ataque de águas puras ou com poucas impurezas, e ainda de águas pantanosas, subterrâneas, profundas ou ácidas, que serão responsáveis pela corrosão do concreto e logo diminuindo o pH do mesmo (RIPPER 1998).

Quanto maior a porosidade do concreto, maior a intensidade da corrosão. A dissolução, o transporte e a deposição do hidróxido de cálcio dão lugar à decomposição de outros hidratos, com o consequente aumento da porosidade do concreto que, com o tempo, se desintegra. Este fenômeno que ocorre no concreto é similar à osteoporose do esqueleto humano, e pode levar, em um espaço de tempo relativamente curto, o elemento estrutural atacado à ruína. É o processo de corrosão que ocorre com mais frequência.

Quanto a corrosão química por reação iônica e a corrosão por expansão, a corrosão por reação iônica ocorre em virtude da reação de substâncias químicas existentes no meio agressivo com componentes do cimento endurecido, enquanto na corrosão por expansão ocorrem reações dos sulfatos com componentes do cimento, resultando em um aumento do volume do concreto que provoca sua expansão e desagregação, assim como mencionado em Ripper (1998).

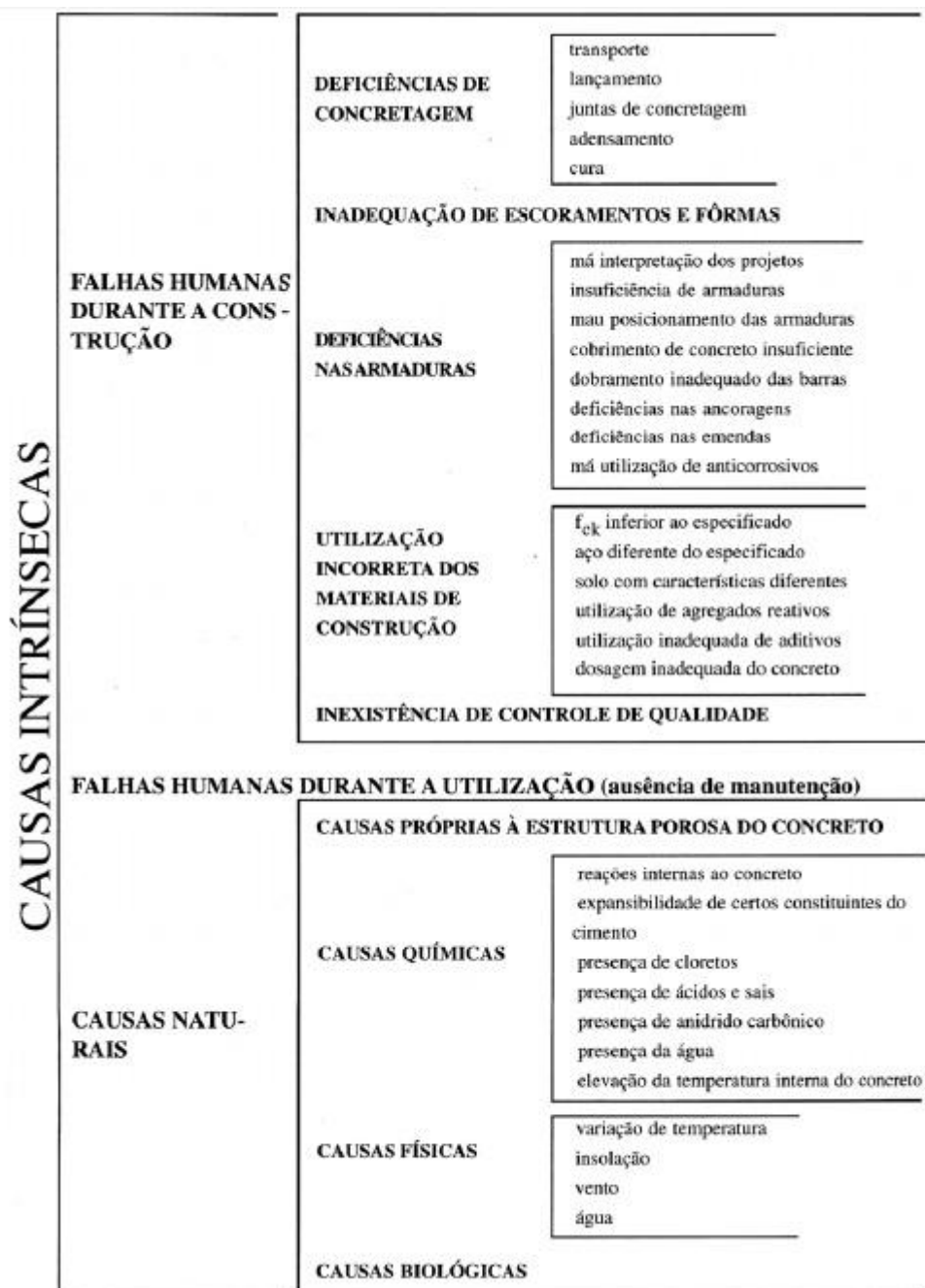
2.1.2.4 Causas das patologias

Na análise de uma estrutura danificada, é de indispensável importância que se conheçam as causas patológicas, pois além de um correto tratamento, é necessário que se garanta a minimização da patologia pós-recuperação. As causas de deterioração das estruturas podem ser divididas em dois grandes grupos, como mencionam Souza e Ripper (1998). Sendo estas as chamadas causas intrínsecas e extrínsecas.

As causas intrínsecas são as causas de deterioração inerentes à própria estrutura, como ilustra a Figura 16. Possuem origem nos materiais e componentes da estrutura. Essas

causas são geradas por falhas humanas na fase de execução e/ou utilização, e por agentes naturais externos, como ataques químicos e até acidentes.

Figura 16: Causas Intrínsecas das patologias nas estruturas de concreto



Fonte: Souza & Ripper (1998)

Já as causas extrínsecas, como menciona Souza e Ripper (2008), são as que independem da estrutura em si, bem como da sua composição ou falhas que provêm da fase de execução. Podem ser entendidas como fatores que atacam estruturas “de fora para dentro”

ao longo do processo da concepção, execução ou da vida útil da mesma, como apresentado na Figura 17.

Figura 17: Causas extrínsecas das patologias nas estruturas de concreto

CAUSAS EXTRÍNSECAS	FALHAS HUMANAS DURANTE O PROJETO	Modelização Inadequada da Estrutura Má Avaliação das Cargas Detalhamento Errado ou Insuficiente Inadequação ao Ambiente Incorreção na Interação Solo-Estrutura Incorreção na Consideração de Juntas de Dilatação
	FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO	Alterações Estruturais Sobrecargas Exageradas Alteração das Condições do Terreno de Fundação
	AÇÕES MECÂNICAS	Choques de Veículos Recalque de Fundações Acidentes (Ações Imprevisíveis)
	AÇÕES FÍSICAS	Variação de Temperatura Insolação Atuação da Água
	AÇÕES QUÍMICAS	
	AÇÕES BIOLÓGICAS	

Fonte: Souza & Ripper (1998)

2.1.2.4.1 Fissuras

Em relação às estruturas de concreto, as causas da fissuração podem ser variadas e, nem sempre, de fácil identificação, entretanto, as mesmas causas produzem idênticos padrões de fissuras, o que facilita bastante a tarefa do inspetor. Segundo o DNIT (2004), as principais causas são as que se relacionam a seguir:

- a) Cura deficiente;
- b) Retração;
- c) Expansão;
- d) Variações de temperatura;
- e) Ataques químicos;
- f) Excesso de carga;

- g) Erros de projeto;
- h) Erros de execução;
- i) Recalques diferenciais.

As três primeiras causas são próprias do concreto, como material e, as demais, devidas a erros de projeto, de utilização ou de execução.

Basicamente, as fissuras de origem estrutural, causadas pelas tensões provocadas pela carga permanente e pela carga móvel são:

- a) Fissuras de Flexão;
- b) Fissuras de Força Cortante;
- c) Fissuras de Torção.

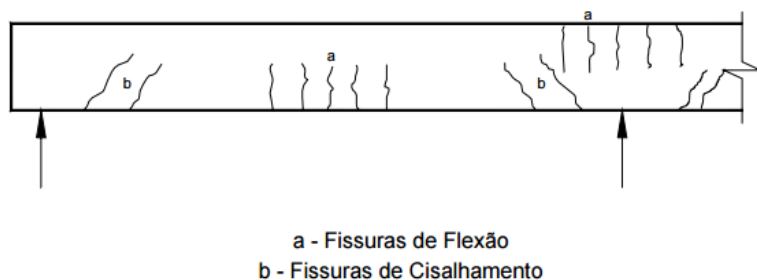
Segundo o Manual de Inspeção em Pontes e Viadutos do DNIT, as fissuras de flexão são verticais, têm início na zona de tração máxima ou na zona de momento fletor máximo e prosseguem até a zona de compressão. Em vigas, nas proximidades dos centros dos vãos, as fissuras de flexão podem ser encontradas nas faces inferiores, prolongando-se pelas faces laterais e, nos apoios, elas podem ser encontradas nas faces superiores, prolongando-se pelas faces laterais.

As fissuras de força cortante são fissuras com inclinação pronunciada que ocorrem nas almas das vigas, nas proximidades dos apoios, são bem mais perigosas que as fissuras de flexão, visto que podem prenunciar uma ruptura frágil.

As fissuras de torção são semelhantes às da força cortante, mas com direções contrárias nas faces opostas.

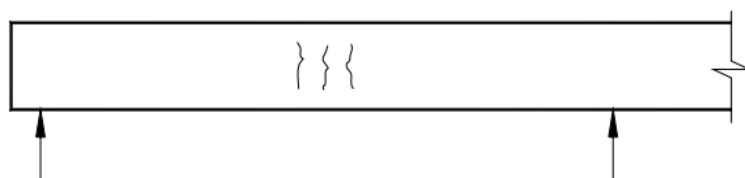
Alguns esquemas de elementos estruturais com trincas, fissuras e outras patologias são apresentados a seguir; convém notar que estas discontinuidades somente ocorrem em peças mal dimensionadas, detalhadas ou executadas incorretamente, conforme afirma o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004).

- 1) Vigas
 - a) Fissuras de Flexão e Cisalhamento

Figura 18: Fissuras de Flexão e Cisalhamento

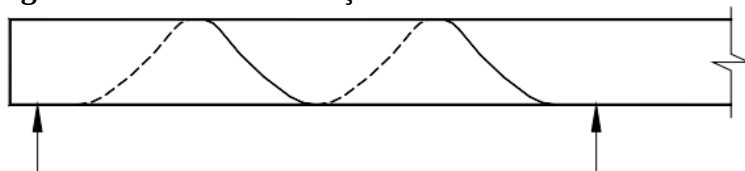
Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

b) Fissuras de Retração e Temperatura

Figura 19: Fissuras de Retração e Temperatura

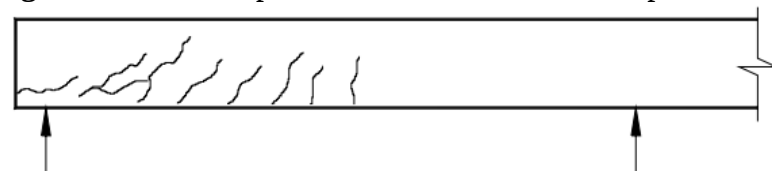
Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

c) Fissuras de Torção

Figura 20: Fissuras de Torção

Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

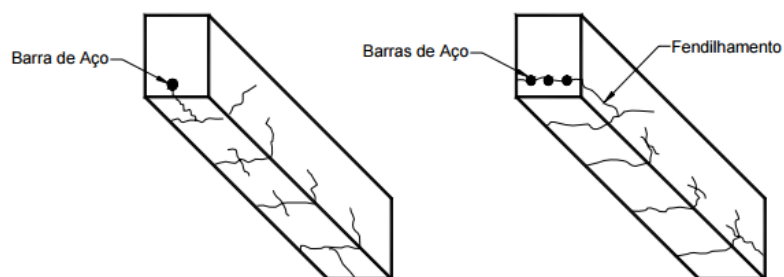
d) Fissuras por Perda de Aderência e Colapso da Ancoragem da Armadura

Figura 21: Fissuras por Perda de Aderência e Colapso da Ancoragem da Armadura

Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

e) Fissuras por Corrosão das Armaduras

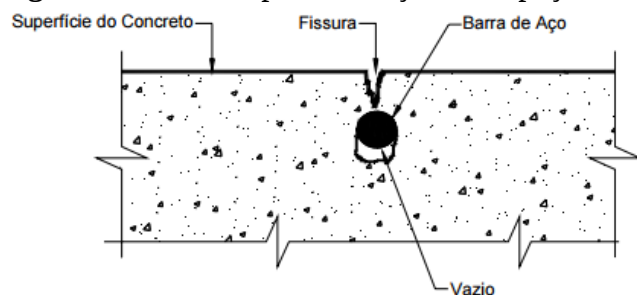
Figura 22: Fissuras por Corrosão das Armaduras



Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

f) Fissuras por Formação de Espaços Vazios ou Poros sob Barras Horizontais

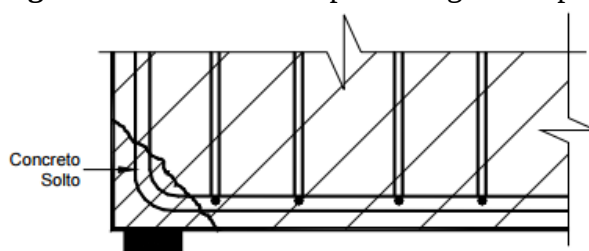
Figura 23: Fissuras por Formação de Espaços Vazios ou Poros sob Barras Horizontais



Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

g) Trincas de Ruptura Frágil em Apoios Extremos Mal Posicionados

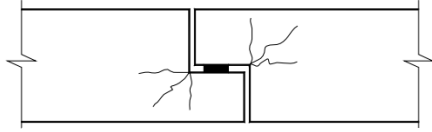
Figura 24: Trincas de Ruptura Frágil em Apoios Extremos Mal Posicionados



Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

h) Fissuras e/ou Trincas em Dentes de Articulação: Dependendo da gravidade, há riscos de ruptura frágil.

Figura 25: Dentes de Articulação Fissurados ou Trincados

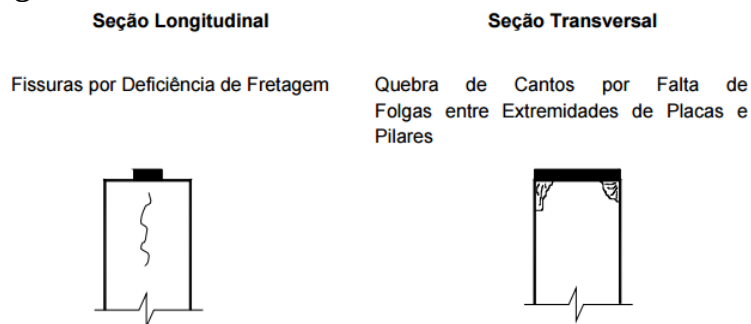


Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

2) Pilares

a) Pilares Isolados e Parcialmente Carregados

Figura 26: Fissuras em Pilares

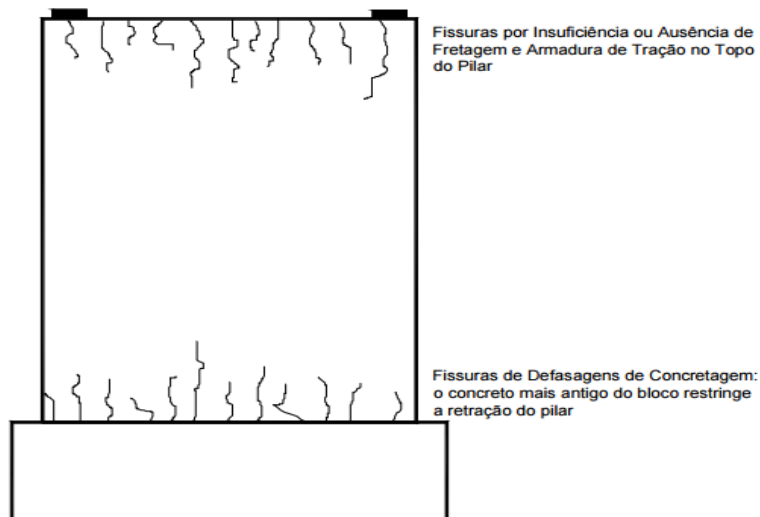


Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

b) Pilares Parede e Parcialmente Carregados

- Fissuras Superiores: fissuras por insuficiência ou ausência de fretagem e armadura de tração no topo do pilar.
- Fissuras Inferiores: fissuras de defasagens de concretagem (o concreto mais antigo do bloco restringe a retração do pilar).

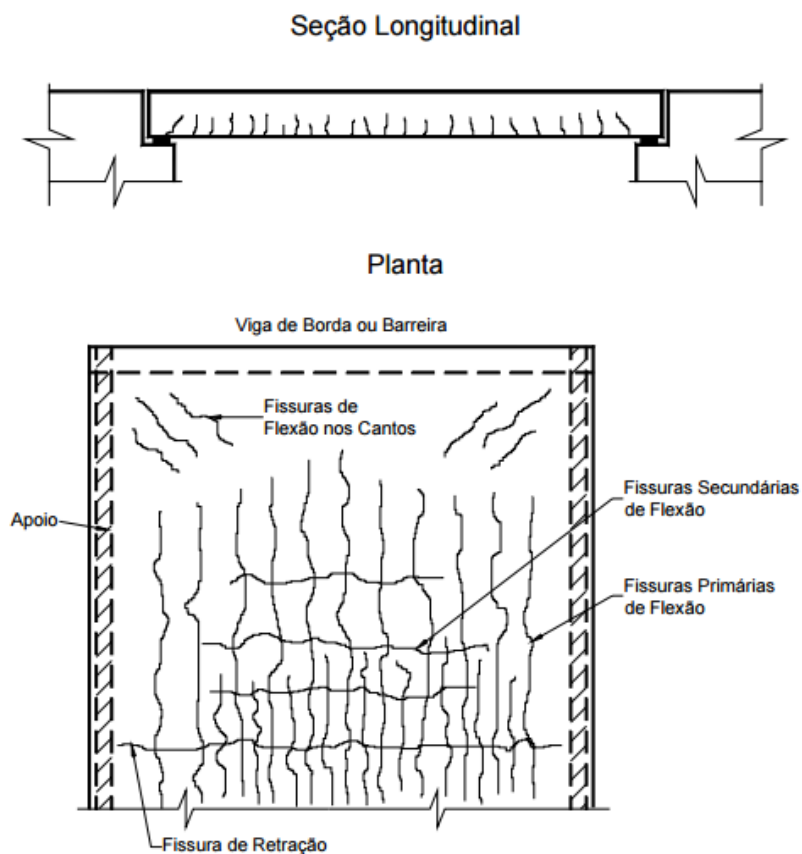
Figura 27: Fissuras em Pilar Parede



Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

3) Laje armada em uma direção

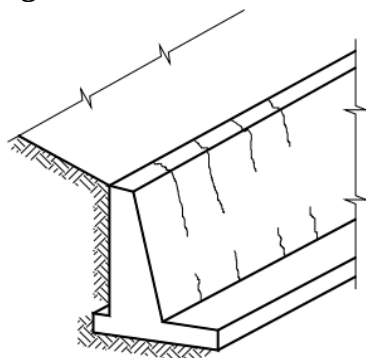
Figura 28: Fissuras em Laje Armada em Uma Direção



Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

4) Fissuras típicas de retração em muros de arrimo

Figura 29: Fissuras de Retração em Muro de Arrimo



Fonte: Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (2004)

2.1.2.4.2 Corrosão das Armaduras do Concreto

As armaduras das estruturas de concreto estão, em princípio, protegidas e passivadas contra a corrosão, que é, basicamente, a sua deterioração por ação química ou eletro-química, esta proteção é proporcionada pelo cobrimento, que forma uma barreira física ao ingresso de agentes externos e, principalmente, por uma proteção química, adequado pela alta alcalinidade da solução aquosa que contém nos poros do concreto (DNIT, 2004).

Segundo o Manual de Inspeção de Pontes e Viadutos do DNIT (2004), a água, o oxigênio e os íons cloreto desempenham papéis importantes na corrosão das armaduras e fissuração do concreto; daí resulta a necessidade de limitar e controlar a permeabilidade do concreto, dos conteúdos máximos de cloreto permissíveis no cimento, bem como efetuar adensamento e cura adequados na execução do concreto.

Os efeitos degenerativos da corrosão das armaduras se manifestam na forma de manchas superficiais causadas pelos produtos de corrosão, fissuras, destacamento do concreto de cobrimento, redução da seção resistente das armaduras e até rompimento de estribos e redução, e eventual perda de aderência das armaduras principais (DNIT,2004).

2.1.2.4.3 Carbonatação

Carbonatação do concreto é a transformação dos compostos do cimento hidratado em carbonatos, por ação do gás carbônico, CO_2 ; a carbonatação é uma das causas mais frequentes da corrosão em estruturas de concreto armado e, apesar de responsável por um pequeno incremento de retração do concreto, não prejudica, por si só, o concreto simples; os concretos carbonatados são mais sólidos e mais impermeáveis à penetração de agentes agressivos que os mesmos concretos não carbonatados, entretanto, a carbonatação provoca uma redução de alcalinidade da solução presente nos poros ao redor das armaduras; o pH do carbonato de cálcio, CaCO_3 , em torno de 8 a 9, reduz a estabilidade química da capa passivadora do aço, em torno de 13 a 14, facilitando o início da corrosão da armadura e o surgimento de fissuras (DNIT, 2004).

As fissuras permitem a absorção de umidade, que tem sua presença no concreto evidenciada pela formação de depósitos superficiais de cor branca, conhecidos como eflorescência; esta é a combinação do carbonato de cálcio, extraído da pasta do cimento com outros carbonatos e compostos de cloretos (DNIT, 2004).

2.1.2.4.4 Lixiviação

Dentre os mecanismos de envelhecimento e deterioração do concreto, destaca-se a lixiviação, devido a ocorrência de eflorescências na ponte analisada.

Segundo Thomaz (Techné, Edição 151, 2009) as reações de hidratação do cimento Portland produzem cal hidratada/hidróxidos de cálcio e de magnésio, estes parcialmente solúveis em água, principalmente no caso de água corrente. Ao processo de dissolução e transporte da cal hidratada dá-se o nome de lixiviação.

Devido a este processo de extração de hidróxidos de cálcio e de magnésio para a superfície do concreto, forma-se depósitos de sais conhecido como eflorescência. Este fenômeno poderá ocorrer quando o concreto for mal adensado, estiver, por algum motivo, fissurado ou apresentar juntas mal executadas, permitindo, desta forma, percolação da água através do material (HELENE, 1992). Com isso, além de problemas relacionados à estética da estrutura ou da peça, tem-se a redução da resistência mecânica do concreto, o aumento da permeabilidade e, conseqüentemente, maiores possibilidades de corrosão das armaduras (SANTOS, 2014).

Figura 30: Eflorescência em fissura no concreto aparente



Fonte: Tresuno (2010)

2.1.2.4.5 Desagregações

Segundo o Manual de Inspeção de Pontes e Viadutos do DNIT (2004), a desagregação do concreto é um dos sintomas mais característicos da existência de um ataque químico, quando acontece, o cimento perde seu caráter aglomerante, deixando os agregados livres.

O fenômeno da desagregação se inicia na superfície dos elementos do concreto, por uma mudança de coloração, segue-se um aumento na abertura das fissuras entrecruzadas que surgiram e de um empolamento das camadas externas do concreto, devido aos aumentos de volume que o concreto experimenta, finalmente, acontece a desintegração da massa do concreto, com seus materiais componentes perdendo a coesão e, o conjunto, a sua resistência, com a destruição do cimento (DNIT, 2004).

Quanto a causa principal das desagregações, o Manual de Inspeção de Pontes e Viadutos do DNIT (2004) afirma que é, quase sempre, a presença dos sulfatos e dos cloretos, concreto com cimento inadequado ao meio ambiente, ou preparado com aditivo acelerador de pega com excesso de cloreto ou, ainda, imperfeitamente adensado, pode dar origem ao fenômeno da desagregação.

2.1.2.4.6 Disgregações

Diferentemente da desagregação, a disgregação é consequência de fenômenos físicos, tais como solicitações internas que provocam fortes trações localizadas e sobrecargas anormais provocando substanciais deformações nos elementos estruturais (SOUZA E RIPPER, 2008). Entretanto, segundo o Manual de Inspeção de Pontes e Viadutos do DNIT (2004), um dos motivos mais frequentes de disgregações é a corrosão de armaduras, onde a grande pressão exercida pela camada expansiva do óxido de ferro provoca um forte estado de tensões no concreto.

A disgregação do concreto se definem por rupturas do mesmo, principalmente em zonas salientes das peças. O concreto disgregado é um concreto são, que conserva suas boas características de origem, mas que foi incapaz de suportar as solicitações anormais a que foi submetido (DNIT, 2004).

2.1.2.5 Métodos de recuperação e tratamentos

2.1.2.5.1 Remoção e Substituição de Concreto

a) Remoção de Concreto: qualquer remoção de concreto deve ser iniciada após ser verificada que a estabilidade do elemento estrutural ou da obra não será prejudicada, terminada a remoção, a superfície do concreto remanescente deve ser sadia e áspera o bastante para garantir a aderência com o novo concreto, argamassa cimentícia ou não, grout, entre outros, que será colocado. A remoção é chamada de superficial, quando a camada a ser removida é inferior ao cobrimento da armadura, e profunda, quando ultrapassa o cobrimento da armadura e a própria armadura (744 - DNIT, 2010).

b) Substituição de Concreto: a substituição de concreto, em extensas e contínuas áreas, deve-se processar da mesma forma que na construção da estrutura, entretanto, algumas particularidades da junção de dois concretos diferentes, o velho e o novo, devem ser consideradas. A escolha do material de recuperação depende do volume de concreto a ser substituído, da profundidade do reparo, dos efeitos das cargas sobre o reparo e das condições de acesso e trabalhabilidade do local do reparo (744 - DNIT, 2010).

2.1.2.5.2 Tratamento de trincas e fissuras.

O tratamento de trincas e fissuras não deve ser iniciado antes da perfeita identificação de suas causas. As trincas e fissuras podem ser separadas em duas classes distintas, para orientar sobre o tipo de reparo: Fissuras mortas ou inativas, cujas aberturas não aumentam e nem diminuem, e também não crescem de tamanho, e fissuras vivas ou ativas, as que ainda estão sujeitas a movimentações.

a) Tratamento de Fissuras Inativas: para impedir a penetração de águas superficiais, é suficiente apenas escovar a fissura e comprimir uma argamassa de cimento e areia, ou alargar a fissura, em forma de V, e recompor a superfície, também com argamassa de cimento e areia. Recentemente apareceram formulações com resina epóxica que podem endurecer até em ambientes úmidos e em presença do concreto fresco (744 – DNIT, 2010).

b) Tratamento de Fissuras Ativas: segundo o DNIT (2010), há um grande número de selantes para vedação de fissuras ativas, os mais conhecidos são os compostos à base de

betume, os poliuretanos e os modificados. Dentre as fissuras ativas, têm-se fissuras de pequena e grande abertura (fratura), as primeiras sendo possível ser reparadas com injeção de resina epóxi, enquanto a segunda é encarada como uma junta de concretagem, sendo recomendado o preenchimento com um selante elástico adequado.

2.1.2.5.3 Tratamento de corrosão da armadura

O tratamento da corrosão envolve duas fases, a preparação e a recomposição da proteção. Se o concreto, primitivamente de proteção da armadura, necessita ser removido, toda a armadura do trecho afetado deve ser totalmente exposta; se a armadura apresenta sinais de corrosão, esta deve ser inteiramente removida, por escova de aço ou jato de areia. Quanto a recomposição da proteção, se a corrosão não reduziu a seção da armadura em mais de 10%, uma proteção contra corrosão deve ser aplicada na armadura já tratada. Esta proteção pode ser alcançada com o envolvimento da armadura em argamassa com alto teor de cimento, em grout ou em argamassa epóxica. Para este envolvimento, a alternativa do concreto projetado é preferível. Se a corrosão já reduziu a armadura em mais de 10%, há necessidade da colocação de armadura suplementar, devidamente ancorada (DNIT, 2010).

2.1.2.5.4 Tratamento de deterioração do concreto (Lixiviação)

A grande maioria das eflorescências (causada pela Lixiviação no concreto) pode ser removida por processos simples, tais como: escovação com uma escova dura e seca, leve jateamento d'água e leve jateamento de areia (LAPA, 2008, p. 35). Contudo, existem sais em algumas eflorescências que não se dissolvem na água logo após entrarem em contato com a atmosfera, então podem ser retiradas com soluções diluídas de ácido, contanto que adotados os cuidados e procedimentos apresentados a seguir.

As soluções sugeridas, que devem ser testadas em pequenas áreas não contaminadas, são:

- a) 1 parte de ácido muriático diluído em 9 a 19 partes de água;
- b) 1 parte de ácido fosfórico diluído 9 partes de água;
- c) 1 parte de ácido fosfórico mais uma parte de ácido acético diluídos em 19 partes de água.

A aplicação da solução diluída de ácido envolve quatro etapas:

a) saturar a superfície de concreto com água pura, para evitar a absorção da solução ácida;

b) aplicar a solução ácida em pequenas áreas, não maiores que 0,5 m²;

c) aguardar 5 minutos e remover a eflorescência com uma escova dura;

d) lavar a superfície tratada com água pura imediatamente após a remoção da eflorescência. A prevenção da recorrência de novas eflorescências implica na necessidade de reduzir a absorção de água, o que pode ser realizado com o tratamento de trincas e fissuras e pinturas hidrofugantes.

Um método de prevenção das eflorescências, segundo o Guia Básico de Utilização do Cimento Portland (2002), é fazer uso de cimento com aditivos, utilizando-se de cimento CP IV (pozolânico) ou cimento tipo RS (resistente a sulfatos). Outra opção é utilizar o cimento CPIII, com baixo teor de hidróxido de cálcio. A utilização de aditivos redutores de água e uma eficiente cura do concreto (baixa porosidade superficial) também são benéficas, pois proporcionam uma argamassa mais densa, impermeável e de menor porosidade capilar.

3 CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Classificação da pesquisa

O estudo exposto teve como propósito a inspeção visual de uma determinada ponte de concreto armado, assim como o levantamento de dados das manifestações patológicas, e a forma adequada de repará-las.

A pesquisa pode ser classificada como qualitativa, tendo em vista que a interpretação das informações coletadas e atribuição de soluções são básicas no método de pesquisa qualitativa. Da mesma forma, se classifica como uma pesquisa teórica, onde foram analisadas situações usuais e apropriadas de patologias de deslocamento estrutural na bibliografia e comparado aos dados obtidos na ponte em estudo.

3.1.2 Caracterização da amostra

O presente estudo foi realizado em uma ponte de concreto armado moldada *in loco*, localizada na PR-574, fazendo a conexão da região de Cafelândia com Corbélia – PR. A ponte contida na amostra, como é possível observar na Figura 31, tem o tabuleiro composto pela laje em concreto armado, pista de rolamento simples de material asfáltico de concreto betuminoso com acostamentos, guarda-corpos *New Jersey*, duas vigas longarinas contínuas e as vigas transversinas. O tabuleiro distribui seus esforços na mesoestrutura da ponte, composta por aparelhos de apoio executados em elastômero fretado e pórticos de concreto armado moldados no local contendo pilares e viga de contraventamento (ou viga travessa). A infraestrutura absorve os esforços transmitidos pela mesoestrutura e é formada por blocos, e provavelmente por tubulões. É importante lembrar que não foi inspecionada a infraestrutura devido à dificuldade de obtenção dos dados no local, e também que os dados referentes à ponte em questão não foram informados devido à dificuldade de obtenção dos arquivos no DER-PR.

Figura 31: Ponte de concreto armado moldada *in loco*



Fonte: Autor (2017)

3.1.3 Planejamento da pesquisa

Diante da vasta quantidade de construções com problemas relativos a um desempenho inferior, surge a necessidade de investigar parte desses problemas individualmente e a procura por implantação de métodos para essas análises. Segundo Lichtenstein (1986), a prática profissional da análise desses problemas tem sido muitas vezes caracterizada pela falta de uma metodologia universalmente aceita. São as intuições pessoais fundamentadas na experiência que prevalecem e não podem ser transmitidas. Muitas vezes é a habilidade que prevalece, no lugar do método. A habilidade na patologia das construções não pode ser expressa e sim, no máximo, transmitida a pessoas receptivas na prática.

Ainda que a análise da patologia não se deva basear somente nas intuições pessoais, a eficiência na resolução dos problemas é função da vivência do profissional envolvido. O êxito na resolução dos problemas depende do alcance, da abertura e plenitude da capacidade

do profissional de perceber e vivenciar a própria experiência. Consequentemente, quem quer que seja o responsável pela resolução de um problema, terá de possuir uma conceituação firme do método a ser empregado e de cada uma de suas etapas.

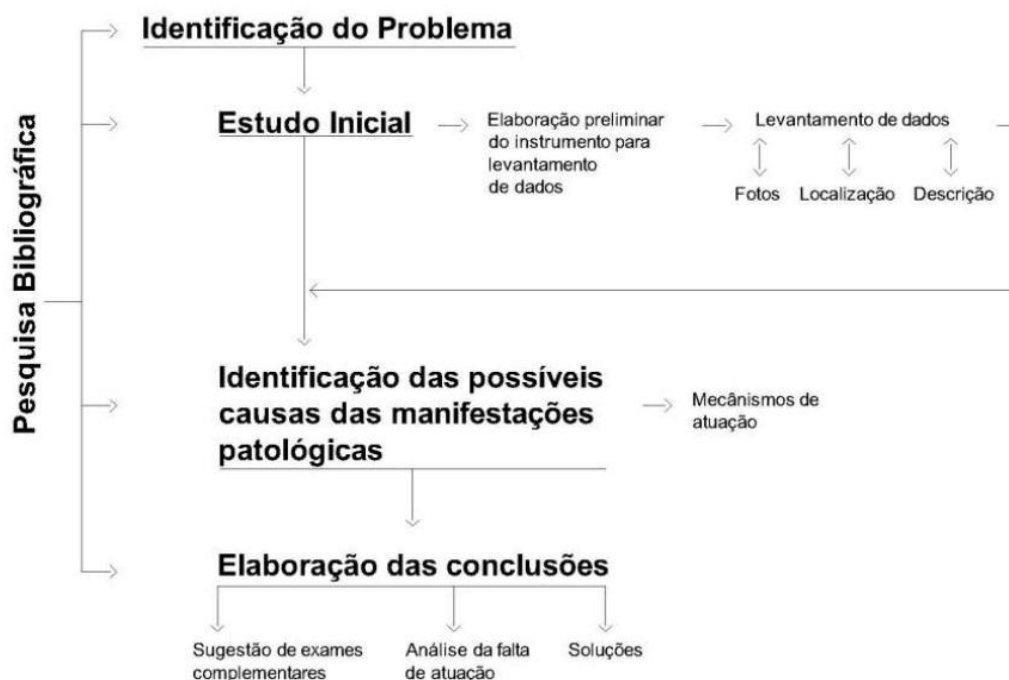
Segundo Lichtenstein (1986), a técnica e a metodologia de registro e organização dos subsídios coletados têm uma importância fundamental para sua utilização na formulação do diagnóstico. Portanto, foi definido uma sequência de inspeção, em que começou-se examinando os acessos, partindo para o sistema de drenagem, elementos da superestrutura, e por fim os elementos da mesoestrutura.

3.1.4 Procedimento de coleta e interpretação dos dados

De acordo com Lichtenstein (1986), o levantamento de subsídios é a etapa onde as informações fundamentais e suficientes para o entendimento completo das manifestações patológicas são organizadas. Estas informações são obtidas através de três formas: vistoria do local, levantamento histórico do problema e da obra e o resultado das análises.

A organização da pesquisa pode ser explicada com o auxílio do fluxograma apresentado na Figura 32, que foi adaptado da dissertação de mestrado realizada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, *Contribuição para a identificação dos principais fatores e mecanismos de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porta Alegre*, de Inês Martina Lersch, no ano de 2003.

Figura 32: Fluxograma do Procedimento utilizado na pesquisa



Fonte: Adaptado de Lersch, I. M (2006)

Segundo Lersch (2006), os procedimentos para controle são:

a) Identificação do Problema:

Na identificação do problema, devem-se analisar fatores responsáveis pelo surgimento da patologia na estrutura inspecionada, seja em termos de materiais, técnicas ou maneira de utilização da edificação. Também se necessita analisar os mecanismos de ocorrência dessas patologias para se entender como esses fenômenos surgem e evoluem. Por fim, analisar as soluções possíveis, buscando-se através do entendimento dos mecanismos de ocorrência, alternativas para solucionar os fenômenos encontrados.

b) Pesquisa Bibliográfica:

Assim como Lersch (2003) propôs, a pesquisa bibliográfica ocorre de forma paralela às atividades da pesquisa, pois é a etapa que alimenta o desenvolvimento da mesma.

c) Estudo Inicial:

É a fase de estudo realizada para a obtenção de resultados, e onde se realiza o levantamento de dados usando-se de fotografias, realizando localizações e descrições.

d) Identificação das possíveis causas de manifestações patológicas:

É a etapa do estudo onde se identifica os agentes causadores dos fenômenos patológicos, sejam eles remotos ou imediatos. O agente remoto caracteriza-se como aquela causa de um fenômeno patológico que, por sua vez, irá desencadear outro, enquanto que o agente imediato é aquele responsável diretamente pelo surgimento de um fenômeno patológico. Nesta etapa, além da identificação dos agentes, também se realiza a descrição dos mecanismos de ocorrência de cada fenômeno.

e) Elaboração de conclusões:

É a etapa final, onde se sugere a execução de exames complementares com maior precisão, analisa-se a situação no caso de não intervenção e, por fim, definem-se soluções possíveis para os problemas.

Entretanto, a interpretação dos dados fotográficos será visual e amparada pela bibliografia disponível, onde para cada situação de patologia serão abordadas soluções específicas.

A inspeção do local foi idealizada com a coleta de dados, através do levantamento fotográfico das manifestações patológicas de uma ponte de concreto armado na PR-574, com a devida descrição e localização das mesmas. Foram utilizadas as duas margens da ponte para coleta dos subsídios, assim como a inspeção sobre a ponte. Os dados foram coletados com o auxílio de um *check-list* e registrados em planilha para a melhor interpretação dos dados, auxiliando na organização e realização da análise dos mesmos. Pode-se analisar a planilha de registro na Tabela 2.

Tabela 2: Tabela de registro para a inspeção visual da ponte

INSPEÇÃO VISUAL					
GRUPO	ELEMENTO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	SENTIDO	LOCALIZAÇÃO	DATA DA VISTORIA
SUPERESTRUTURA	VIGA LONGARINA	FISSURA SUPERFICIAL PASSIVA	SUDOESTE	FACE MAIOR EXTERNA	09/04/2017
SUPERESTRUTURA	VIGA LONGARINA	EFLORESCÊNCIA	SUDOESTE	FACE MAIOR EXTERNA	09/04/2017
SUPERESTRUTURA	VIGA LONGARINA	FISSURA SUPERFICIAL PASSIVA	NORDESTE	FACE MAIOR EXTERNA	09/04/2017
SUPERESTRUTURA	VIGA LONGARINA	EFLORESCÊNCIA	NORDESTE	FACE MAIOR EXTERNA	09/04/2017
SUPERESTRUTURA	VIGA LONGARINA	FISSURA SUPERFICIAL PASSIVA	SUDOESTE	FACE MAIOR EXTERNA	10/04/2017
SUPERESTRUTURA	LAJE	EFLORESCÊNCIA	-	-	10/04/2017
SUPERESTRUTURA	LAJE	FISSURA SUPERFICIAL PASSIVA	-	-	10/04/2017
SUPERESTRUTURA	LAJE	EFLORESCÊNCIA	-	-	10/04/2017
SUPERESTRUTURA	LAJE	FISSURA SUPERFICIAL PASSIVA	-	-	10/04/2017
MESOESTRUTURA	APARELHO DE APOIO	MAL ESTADO	SUDESTE	VINCULAÇÃO VIGA LONGARINA/PILAR	12/07/2016
MESOESTRUTURA	APARELHO DE APOIO	MAL ESTADO	SUDESTE	VINCULAÇÃO VIGA LONGARINA/PILAR	12/07/2016
SUPERESTRUTURA	LAJE	FISSURA SUPERFICIAL PASSIVA	-	VÃO DE ENCONTRO	26/05/2017
SUPERESTRUTURA	LAJE	FISSURA SUPERFICIAL PASSIVA	-	VÃO DE ENCONTRO	26/05/2017
SUPERESTRUTURA	LAJE	FISSURA SUPERFICIAL PASSIVA	-	VÃO DE ENCONTRO	26/05/2017
SUPERESTRUTURA	LAJE	FISSURA SUPERFICIAL PASSIVA	-	VÃO DE ENCONTRO	26/05/2017
MESOESTRUTURA	APARELHO DE APOIO	ELASTÔMERO DEFORMADO	NOROESTE	VINCULAÇÃO VIGA LONGARINA/PILAR	26/05/2017
MESOESTRUTURA	APARELHO DE APOIO	ELASTÔMERO DEFORMADO	NOROESTE	VINCULAÇÃO VIGA LONGARINA/PILAR	26/05/2017
SUPERESTRUTURA	VIGA LONGARINA	FISSURA SUPERFICIAL PASSIVA	NORDESTE	FACE MAIOR EXTERNA	26/05/2017
MESOESTRUTURA	VIGA TRAVESSA	EFLORESCÊNCIA	-	FACE MAIOR SENTIDO AO ENCONTRO	26/05/2017
SUPERESTRUTURA	VIGA TRANSVERSINA	SEGREGAÇÃO DO CONCRETO	-	FACE MAIOR SENTIDO AO ENCONTRO	26/05/2017
SUPERESTRUTURA	VIGA LONGARINA	SEGREGAÇÃO DO CONCRETO	NORDESTE	FACE MAIOR INTERNA	26/05/2017
SUPERESTRUTURA	VIGA LONGARINA	SEGREGAÇÃO DO CONCRETO	NORDESTE	FACE MAIOR INTERNA	26/05/2017
SUPERESTRUTURA	VIGA LONGARINA	SEGREGAÇÃO DO CONCRETO	SUDOESTE	FACE MAIOR INTERNA	26/05/2017
SUPERESTRUTURA	VIGA LONGARINA	SEGREGAÇÃO DO CONCRETO	SUDOESTE	FACE MAIOR INTERNA	26/05/2017

Fonte: Autor (2017)

O levantamento de dados através de projetos, memoriais, histórico de materiais utilizados, histórico de mão de obra e seus métodos, não foram utilizados neste estudo devido à dificuldade de obtenção desses arquivos por parte do DER-PR.

3.1.5 Análise dos Dados

A análise dos dados foi realizada após a identificação das manifestações patológicas aparentes incidentes na estrutura da ponte em estudo. Seguindo a metodologia para inspeção rotineira de pontes de concreto armado elaborado pelo DNIT (2004) foi possível realizar o correto manuseamento dos subsídios, separando a inspeção por etapas. A devida análise dos

dados foi feita com base nas causas intrínsecas e extrínsecas classificadas segundo Souza e Ripper (2008). Foram sugeridas soluções para a correção das manifestações patológicas seguindo métodos de reparo encontrados na bibliografia disponível. Além disso, as manifestações patológicas foram organizadas por meio de planilha, conforme Tabela 2, e analisadas a partir de gráficos de barras conforme sua incidência nos elementos e seus respectivos grupos.

4 CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Patologias localizadas

Em relação às manifestações patológicas localizadas na ponte de concreto armado, nota-se uma grande ocorrência de fissuras com eflorescências em vigas e laje, a ocorrência de falhas de concretagem (bicheira) também foi registrada, há drenos danificados e curtos, e infiltrações com manchas em sua estrutura. Na inspeção do tabuleiro, verificou-se um intenso número de drenos curtos e quebrados, possibilitando infiltrações e manchas na superfície inferior do tabuleiro, tornando a pingadeira sem uma real função na área atingida pela infiltração da água nos drenos danificados.

Em seguida, são apresentadas as etapas de inspeção realizadas e a devida menção das manifestações patológicas registradas por meio do levantamento fotográfico, indicando-se a localização na ponte, assim como os fenômenos por observação visual, e a indicação das causas mais prováveis junto com a descrição do mecanismo de ocorrência de cada manifestação patológica localizada.

4.1.1.1 Encontros/Acessos

O estado de pavimentação dos acessos foi examinado e não há irregularidades, como assentamentos ou asperezas incomuns, segundo o Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), defeitos como estes podem causar impactos indesejáveis de veículos na entrada da ponte. Também não foi notado irregularidades entre as juntas e os acessos da ponte, não se percebe a transição entre a pista e a ponte, o que é bom pois evita acidentes. Neste quesito, a ponte se encontra em bom estado e não houve registro de manifestações patológicas incidentes nos acessos. Porém, nota-se um grande acúmulo de sujeira nos acostamentos, conforme ilustra a Figura 33, causando entupimento de vários drenos, o que acaba gerando uma concentração de água da chuva em cima da pista de rolamento, e levando ao aumento de cargas excedentes devido à coluna de água concentrada na pista.

Figura 33: Acesso à ponte pela margem de Corbélia e acúmulo de sujeira nos acostamentos



Fonte: Autor (2017)

4.1.1.2 Superestrutura

4.1.1.2.1 Laje

a) Fissuras e Eflorescência

Na inspeção visual da laje, foram registradas diversas fissuras superficiais no centro do vão da margem de Corbélia-PR, e na área em balanço, sendo algumas no sentido longitudinal do tabuleiro, assim como mostra a Figura 34. Para essa configuração de fissuras, a Norma de Inspeção de Pontes e Viadutos do DNIT (2009) classifica como sendo fissuras primárias de flexão.

Figura 34: Fissuras primárias de flexão na face inferior da laje



Fonte: Autor (2017)

Porém, como fissuras com a mesma configuração podem ter sido causadas por diversos fatores, podem-se apontar as causas prováveis para a fissuração em questão, segundo as causas classificadas por Souza e Ripper (2008), em que se têm causas extrínsecas, como ações físicas e químicas, tendo a possibilidade de ter sido originada nas variações de temperatura, retração e dilatação térmica, expansão do concreto ou até mesmo retração hidráulica. Ainda nas causas extrínsecas, pode também ter tido relação a falhas humanas durante o projeto, como a má avaliação das cargas ou o detalhamento inadequado. Agora, quanto as causas intrínsecas para o aparecimento dessas fissuras, pode-se apontar para falhas humanas durante a concretagem, tendo origem possivelmente na cura deficiente do concreto da laje. Já para o método corretivo dessas fissuras superficiais, segundo Souza e Ripper (2008), a aplicação de nata de cimento Portland incorporada com aditivos expansores seria suficiente para vedar as fissuras e evitar que a umidade aja em conjunto com agentes agressivos para o concreto ou o aço.

Agora, notam-se na Figura 35 três casos de manifestações patológicas diferentes em registro feito no fundo da laje, sendo elas: fissura no sentido transversal, eflorescência ao longo da fissura, e a biodeterioração do concreto.

Figura 35: Ataque de microorganismos e lixiviação na face inferior da laje



Fonte: Autor (2017)

Quanto à fissura, diferentemente da anterior, essa é caracterizada por estar no sentido transversal da laje, começando e terminando a certa distância das faces internas das vigas longarinas, o que segundo o Manual de Inspeções em Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), tem a mesma configuração classificada como fissura secundária de flexão, ou seja, causados por cargas excedentes na estrutura. Porém, como dito anteriormente, a mesma configuração de fissura pode estar relacionada a várias causas intrínsecas e extrínsecas, classificadas segundo Souza e Ripper (2008). Dentre as causas intrínsecas, podem-se apontar as falhas humanas durante a coragem, como a cura deficiente. Já as causas extrínsecas, podem ser falhas humanas, durante o projeto, ou causas físicas e químicas, como a retração e dilatação térmica. O método corretivo seria o mesmo para as fissuras mencionadas anteriormente, por serem fissuras superficiais, apenas a correção com nata de cimento Portland com adição de aditivo expensor.

A lixiviação é a causadora da eflorescência no concreto, em que manchas esbranquiçadas ocorrem ao longo da fissura, o que acontece, segundo Souza e Ripper (2008) é que o hidróxido de cálcio contido na pasta de cimento é extraído do concreto por meio da ação da água e depositado em sua superfície, ocorrendo, assim, eflorescência em áreas específicas do concreto, geralmente em fissuras, onde há poros que auxiliam na extração do hidróxido de cálcio. Dentre as causas intrínsecas para o aparecimento da eflorescência, destacam-se as falhas humanas durante a concretagem, como a utilização inadequada de aditivos, ou a dosagem inadequada do concreto. Já as causas extrínsecas podem ser causas

naturais, as causas físicas e químicas, como a atuação da água, variação de temperatura e presença de sais no concreto. Quanto ao método corretivo da eflorescência, recomenda-se, segundo Souza e Ripper (2008), apenas a escovação manual do local seguido por jato de ar comprimido e, por fim, a aplicação de impermeabilizante na área afetada, para que possa ser evitado o reaparecimento do problema.

É registrada também outra manifestação muito comum de deterioração do concreto na Figura 35, ela é facilmente notada pelas manchas escuras em sua superfície. O que acontece, segundo Shirakawa (1994) é que micro-organismos se depositam e se proliferam na superfície desse concreto onde há a presença de umidade, iniciando o processo de biodeterioração do concreto, que nada mais é que a liberação de ácido sulfúrico e cítrico por meio da proliferação desses micro-organismos, esses ácidos são extremamente nocivos ao concreto e geram a redução do pH do concreto, fazendo com que o mesmo se torne muito mais suscetível ao ataque de agentes agressivos e à aparência de manifestações patológicas. Dentre as causas para o aparecimento dessas manchas, pode-se apontar como causa extrínseca a ação biológica (micro-organismos se proliferando), juntamente com causas naturais, como a presença de água no formato de umidade. Para a correção, segundo Shirakawa (1994) a limpeza com a aplicação de biocidas, como compostos quaternários de amônio, policlorofenóis ou poliamidas são bastante efetivas para a remoção dessas manchas.

4.1.1.2.2 Vigas Longarinas e Transversinas

Observou-se diversas fissuras verticais nas vigas longarinas, como mostra a Figura 36. No Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004) observa-se a configuração semelhante, sendo classificada como fissuras de retração e temperatura, em que as fissuras começam a partir de uma distância da base da viga e terminam perto da base superior da mesma. O método corretivo, como dito anteriormente, por ser uma fissura superficial, segue apenas sendo a aplicação de nata de cimento Portland com aditivo expensor na área afetada. Ainda há a manifestação de eflorescência na área fissurada, a maneira correta de remoção da eflorescência foi explicada anteriormente e pode ser usada também nesse caso.

Figura 36: Fissura com eflorescência em viga longarina



Fonte: Autor (2017)

No que diz respeito a outro método corretivo das fissuras superficiais passivas registradas, Pimentel e Teixeira (1978) recomenda fazer a limpeza das fissuras com jateamento de ar, e então realizar a injeção de resina epóxi líquida bastante fluída, com viscosidade em torno dos 500 cPs a 20° C. Segundo Ripper (2008), as resinas epóxi são as preferidas na grande maioria dos casos em que se pretende injetar fissuras inativas, por serem produtos não retrateis, de baixa viscosidade, altas capacidades resistente e aderente, e bom comportamento em presença de agentes agressivos, além de endurecerem muito rapidamente e de continuarem a manter suas características básicas mesmo quando carregadas com *fillers*.

Quanto à eflorescência, outro método sugerido por Tresuno (2010) é a associação da escovação da área com a aplicação de endurecedor de superfície à base de Silicato de Lítio. Não se deve limpar a área com água, pois o processo só irá se repetir e a eflorescência irá voltar a agir. O que deve ser feito para prevenir o surgimento, segundo Souza e Ripper (2008), é a impermeabilização do concreto, evitando com que a água infiltre nos poros do concreto.

Outra manifestação aparente registrada na inspeção das vigas longarinas, foi a segregação do concreto, gerando o que é chamado de vazios de concretagem ou bicheiras, como são popularmente conhecidos. Os vazios de concretagem são manifestações bem comuns, porém, como menciona a revista *Techné* (ed. 109, 2006), deve-se tomar cuidado,

pois são mais do que um problema estético, eles podem afetar a durabilidade e resistência das estruturas de concreto, que poderão sofrer deformações ou até mesmo entrar em colapso. As principais causas do problema são as falhas no processo de concretagem da estrutura, por exemplo, no lançamento ou adensamento do concreto.

A Figura 37 mostra um dos casos de segregação no concreto da viga longarina, originados na etapa de execução da obra e ocasionadas, segundo Souza e Ripper (2008), à falhas no transporte, no lançamento e no adensamento do concreto, que provocam a segregação entre o agregado graúdo e a argamassa, além da formação de ninhos de concretagem e de cavidades no concreto.

Figura 37: Segregação no concreto da viga longarina



Fonte: Autor (2017)

Seguindo as tabelas de causas intrínsecas e extrínsecas, elaboradas por Souza e Ripper (2008), podem-se classificar as causas desse problema seguindo o raciocínio lógico dessas tabelas. Chega-se à conclusão de que dentre as causas intrínsecas que podem ter gerado essa falha, pode-se apontar para falhas humanas durante a construção da obra, e está diretamente ligada a deficiências de concretagem, podendo ter como origem no adensamento deficiente, inadequação de fôrmas e lançamento inadequado do concreto. Outra causa intrínseca para esse problema poderia ser a utilização incorreta dos materiais de construção, como ter feito a dosagem inadequada do concreto.

Em relação ao método corretivo das bicheiras, segundo a NBR 6118/2014, os nichos

de concretagem devem ser corretamente reparados, a fim de evitar problemas relacionados à durabilidade das estruturas que, em casos mais graves, pode acarretar deformações e até risco de entrar em colapso. Então, assim como menciona na revista *Techné* (ed. 109, 2006), o material solto deverá ser removido com um ponteiro e martelo até que se atinja um concreto sadio ou homogêneo. Depois de limpo, lavado e saturado, o substrato deverá ser preenchido, impreterivelmente por argamassa com propriedades semelhantes ao do concreto existente, como o mesmo módulo de elasticidade, isso garantirá a compatibilidade de deformação entre o material de reparo e o existente.

4.1.1.2.3 Sistema de Drenagem

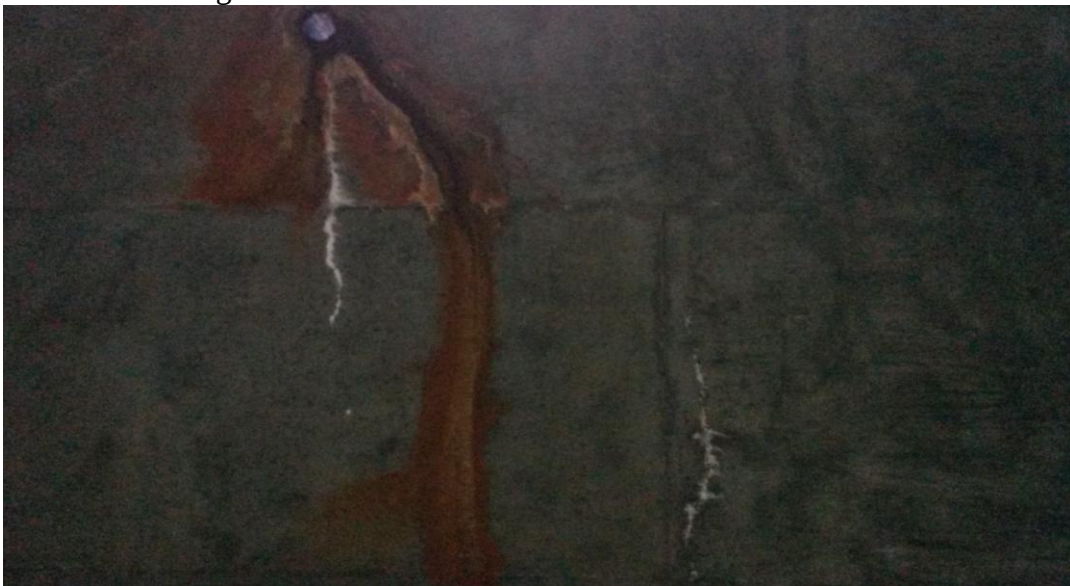
Verificou-se uma concentração de sujeira (terra, galhos, folhas, plásticos) no acostamento dos dois lados da pista de rolamento, conforme relatado anteriormente na inspeção dos acessos, a Figura 38 mostra o acostamento da ponte analisada com acúmulo de sujeira, ocasionando o entupimento de vários drenos e as eventuais infiltrações e manchas no fundo da laje, faces de vigas e pilares. A obstrução dos drenos causou inclusive o acúmulo de água de chuva no estrado, o que geram cargas excedentes na ponte devido à altura de coluna de água concentrada na pista. Também, notou-se a deterioração do concreto em volta de drenos quebrados e curtos, em que se fez possível a infiltração da água junto com sujeira e agentes agressivos na superfície do concreto. É notável a deficiência do sistema de drenagem na ponte geradora de diversos problemas, assim registrados na Figura 39.

Figura 38: Acúmulo de sujeira nos acostamentos e a eventual obstrução dos drenos



Fonte: Autor (2017)

Figura 39: Presença de lixiviação no tabuleiro de uma ponte causado por deficiência no sistema de drenagem



Fonte: Autor (2017)

Todas as construções devem estar sujeitas a uma rotina de limpeza bem estabelecida, de forma a estender as suas vidas úteis. No caso de estruturas expostas à ação do tempo, ou localizadas em zonas rurais, este serviço se reveste em uma importância ainda maior pelo fato de que resíduos em geral, bem como sementes de plantas, carregados por pássaros, pelo vento, ou pelas enxurradas, podem ser os agentes causadores de sérios danos à estrutura (SOUZA E RIPPER, 2008).

Ainda segundo Souza e Ripper, devem também ser removidos limos e vegetações em geral, e os drenos devem estar sempre desentupidos. Portanto, recomenda-se a limpeza do local com jato de água ou até mesmo com vassoura para remoção da sujeira, então deve-se realizar a desobstrução dos drenos entupidos e a devida substituição dos drenos quebrados e curtos, evitando, assim, a possível manifestação de patologias na superfície do concreto afetado pelas infiltrações e o eventual comprometimento de algum elemento estrutural.

4.1.1.2.4 Mesoestrutura

Na inspeção dos pilares, não houve registros de manifestações patológicas, porém, em alguns aparelhos de apoio notam-se pequenas deformações devido a deslocamentos horizontais ou esforços de compressão. O aparelho de apoio é constituído por um elastômero fretado, na Figura 40 está registrada a extremidade noroeste da ponte com a localização dos devidos elastômeros fretados inspecionados.

Figura 40: Localização dos aparelhos de apoio 01 e 02 na extremidade noroeste da ponte



Fonte: Autor (2017)

Inspecionaram-se os aparelhos de apoio nos encontros dos pilares e vigas longarinas das duas extremidades da ponte, sudoeste e noroeste. Foram vistoriadas as faces acessíveis dos aparelhos de apoio, não foram detectadas nenhuma fissura. Visivelmente não se observou chapas de aço fretante visíveis ou oxidadas. As faces inferiores e superiores se encontram totalmente em contato com a estrutura. Não há indícios de presença de óleos ou graxas nocivas ao elastômero. Porém, nota-se uma leve deformação longitudinal no aparelho de apoio A.A.01 (Figura 41), devido às forças transferidas da viga longarina para o pilar, e também devido aos deslocamentos ocasionados pela retração térmica e hidráulica da estrutura. É mencionado na norma do DNIT (091/2006) que o aparelho de apoio é utilizado para absorver os movimentos longitudinais da superestrutura, devidos à retração própria da superestrutura e aos efeitos da temperatura, expansão e retração. Esses esforços absorvidos pelo apoio normalmente lhes geram deformações devido ao deslocamento horizontal, esforços de rotação e compressão no aparelho de apoio, segundo a norma alemã DIN-4141-14 (1985).

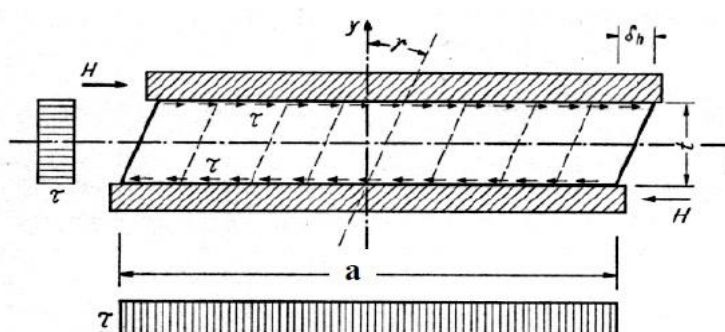
Figura 41: Aparelho de apoio A.A.01



Fonte: Autor (2017)

É possível ver na Figura 42, a ilustração de um aparelho de apoio de neoprene fretado deformado devido à força e deslocamento horizontal da peça, semelhante ao notado em aparelhos de apoio na ponte inspecionada. Nota-se a deformação por meio do surgimento de um ângulo em relação ao eixo y , ocasionado pela força horizontal H gerada por ações de frenagem e aceleração de veículos na pista de rolamento, fazendo com que o tabuleiro sofra deslocamentos e transfira-os para os aparelhos de apoio.

Figura 42: Deformação devido ao deslocamento horizontal da placa de neoprene



Fonte: E. Basler, E. Witta (1966)

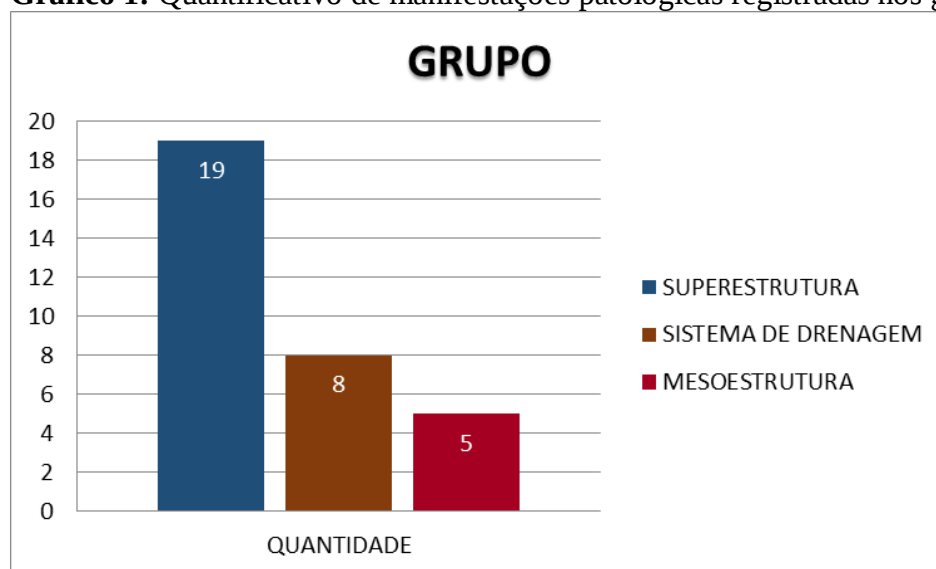
Não seria necessária a troca dos aparelhos de apoio devido à inexistência de fissuras ou a manchas de oxidação, porém quando vier ser o caso, deve ser realizado o

macaqueamento do tabuleiro pelos nichos contidos nas ligações entre a superestrutura e a mesoestrutura e, por fim fazer a eventual substituição dos elastômeros fretados por novos.

4.1.2 Gráficos

A seguir, são mostrados gráficos de coluna para os dados registrados durante a inspeção visual rotineira feita na ponte em estudo.

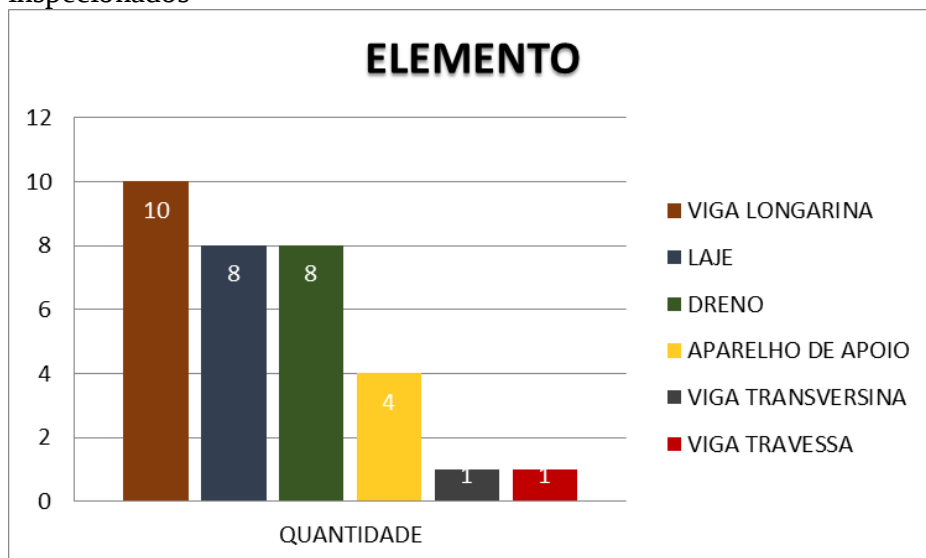
Gráfico 1: Quantificativo de manifestações patológicas registradas nos grupos inspecionados



Fonte: Autor (2017)

Como mostra o Gráfico 01, dentre os grupos inspecionados na ponte, 19 manifestações patológicas foram registradas na superestrutura, 8 no sistema de drenagem, e 5 na mesoestrutura. Sabe-se que o sistema de drenagem defeituoso foi o causador de muitas das manifestações patológicas na superestrutura e mesoestrutura da ponte estudada, o que mostra a importância de manutenção rotineira a fim de evitar problemas em geral, mas principalmente ocasionados pela infiltração de água na estrutura, que, segundo Souza e Ripper (2008), é o agente causador da maioria dos problemas relacionados com o concreto.

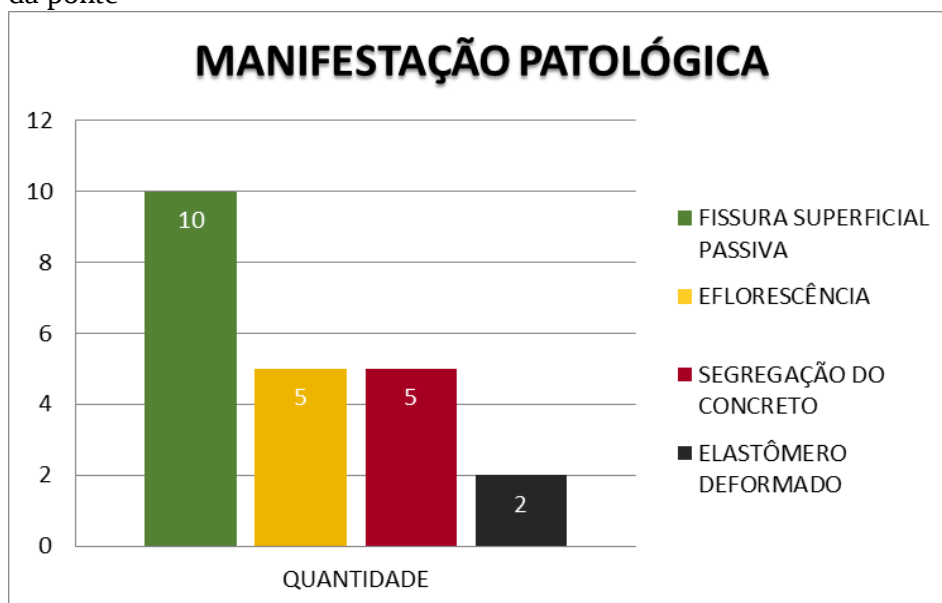
Gráfico 2: Quantificativo de manifestações patológicas registradas nos diversos elementos inspecionados



Fonte: Autor (2017)

No Gráfico 2, tem-se a quantidade de manifestações patológicas registradas nos elementos inspecionados da ponte. São 10 problemas encontrados em vigas longarinas, 8 nas lajes e drenos, 4 problemas relacionados aos aparelhos de apoio, e apenas 1 problema de manifestação patológica na viga transversina e 1 na viga travessa. É importante notar que a maioria dos problemas encontram-se nas vigas longarina e lajes, fato muito relatado em várias bibliografias

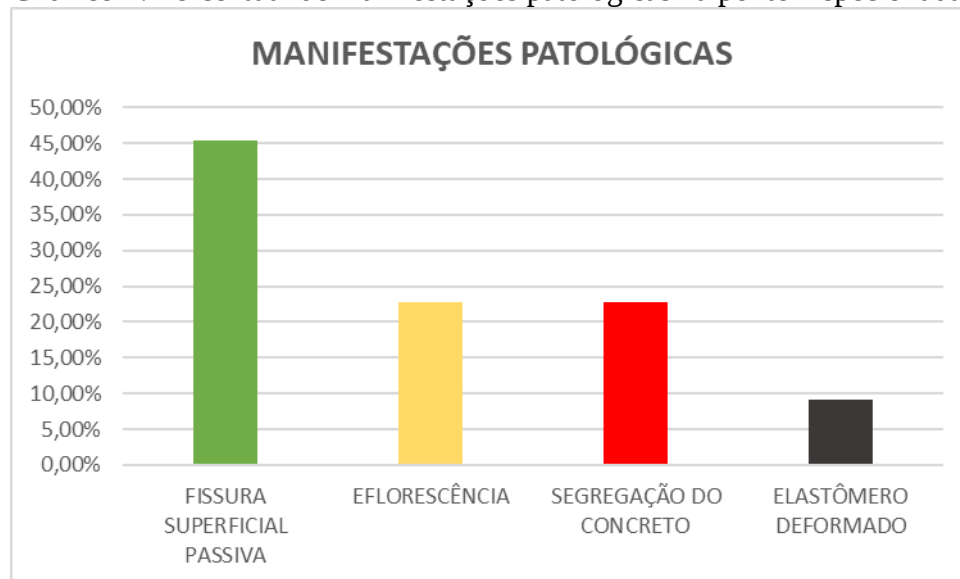
Gráfico 3: Quantidade dos tipos de manifestações patológicas registradas na inspeção visual da ponte



Fonte: Autor (2017)

Assim, quanto às manifestações patológicas registradas na ponte, obteve-se 10 casos de fissura superficial passiva, 5 casos de eflorescência e segregação do concreto, e 2 casos de elastômero deformado. É interessante também analisar o Gráfico 4, que mostra o percentual das manifestações patológicas registradas na ponte utilizando-se dos mesmos dados do Gráfico 3.

Gráfico 4: Percentual de manifestações patológicas na ponte inspecionada.



Fonte: Autor (2017)

Tem-se no Gráfico 4 que aproximadamente 45,5% dos casos das anomalias registradas foram fissuras superficiais passivas, 22,5% dos casos são eflorescências, 22,5% segregação do concreto, e 9% de problemas de elastômero deformado, somando-se todos as manifestações patológicas registradas na ponte.

5 CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dos resultados obtidos, entre as manifestações patológicas registradas, destacam-se as fissuras superficiais nas lajes e vigas decorrentes de esforços de flexão, retração/dilatação térmica, assim como expansão e cura deficiente do concreto, destacam-se inclusive as eflorescências causadas por ações físicas e químicas, a segregação do concreto em trechos das vigas longarinas e travessa, causadas por falhas humanas no processo de concretagem, e aparelhos de apoio danificados por esforços de compressão e deslocamentos horizontais.

Acredita-se que os problemas encontrados podem ser atribuídos, na sua maioria, à falta de mão de obra qualificada para as etapas construtivas, falta de manutenção preventiva, uma possível falta de controle de qualidade e, principalmente à deficiência no sistema de drenagem. O sistema de drenagem em uma ponte é fundamental para a obtenção da durabilidade e mantimento da integridade da obra, porém, na análise dos dados obtidos na inspeção, fica claro que a grande parte dos problemas encontrados na superestrutura e mesoestrutura são decorrentes do falho sistema de drenagem.

Em virtude dos fatos mencionados, é notável que água seja o agente causador da maior parcela das manifestações patológicas encontradas, assim como é mencionado em várias bibliografias. Dessa forma, leva-se a acreditar que deve haver mais foco na obtenção de técnicas e métodos construtivos alternativos em que se alcance uma maior durabilidade da estrutura de concreto, adquirindo um concreto impermeável, ou seja, com maior estanqueidade, porém, ainda assim mantendo sua resistência mecânica.

Finalmente, conclui-se que a melhor alternativa para evitar as manifestações patológicas analisadas no trabalho seja a devida prevenção das mesmas. Prevenção esta, gerada não somente por um correto projeto ou por uma execução dentro dos parâmetros de qualidade, mas principalmente por um programa de manutenção estrutural. Estes programas possuem papel importantíssimo em qualquer estrutura, facilitando as verificações dos estados de deterioração estrutural e favorecendo a redução de custos dos tratamentos. Esses procedimentos, certamente, evitarão a formação de patologias acentuadas e generalizadas.

6 CAPÍTULO 6

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de garantir a segurança da ponte de concreto armado analisada, é necessário averiguar sua condição com um nível elevado de precisão e detalhe, então fica a sugestão para realização de ensaios não-destrutivos na estrutura de concreto, assim como o Teste de Fenolftaleína nas áreas onde ocorreram segregação do concreto, gerando falhas de concretagem nas vigas longarinas e viga travessa do viaduto de acesso sudeste, isso deverá promover a completa análise da alcalinidade do concreto e a definição do método de reparo definitivo para essa falha.

Outros estudos relevantes que deverão agregar ao trabalho apresentado é a utilização de fibras de álcool polivinílico na mistura de cimento para obtenção de um concreto estanque, e um estudo comparativo das manifestações patológicas em pontes de concreto armado da região de Cascavel – PR, podendo ainda ser comparado com os resultados da ponte em estudo neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVIM, R. de C.; ALVIM, R. de A. A. **Metodologia para avaliação do estado de conservação de pontes em concreto armado**. 2006. Diálogo & Ciência. Revista da Rede de Ensino FTC. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/ees/disciplinas/ec2/PontePauSeco.pdf> . Acesso em: 27 ago. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452/2016** – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento.
- _____. **NBR 15.575/2013** - Edificações Habitacionais – Desempenho.
- _____. **NBR 7187/2003** - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido
- BASLER, E; WITTA, E. **Basics of structural connections in prefabrication**. Wildegg, 1966.
- BRASIL. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, 2004.
- CLUBE DO CONCRETO. **A deterioração da carbonação do concreto armado (Itália)**. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/02/a-deterioracao-da-carbonatacao-do.html> Acesso em: 28 ago. 2016.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004.
- DIN-4141-14. **Structural bearings; laminated elastomeric bearings; design and construction**. [S.l] 14ª ed, 1985.
- DNIT 010/2004-PRO – **Inspeções em pontes e viadutos de concreto**. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dnit010_2004_pro.pdf Acesso em: 10 out. 2016.
- DNIT 091 - **Tratamento de aparelhos de apoio: concreto, neoprene e metálicos – Especificação de serviço**. IPR, 2006.
- HELENE, Paulo Roberto Lago; **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.
- INFOENGE. Recuperação da ponte sobre o Rio Casqueiro , Km 65 + 800 da Rodovia dos Imigrantes. Disponível em: <http://www.infoenge.com.br/obra2.php> Acesso em 30 ago. 2016.
- INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS – IPR 744. **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**. 2010. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/744_manual_recuperacao_pontes_viadutos.pdf Acesso em: 10 nov. 2016.
- JOHNSON, S. M. **Deterioro, conservacion y reparacion de estructuras**. Editorial Blumc, Madri d, 1973.

LAPA, S. J. **Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto**. Belo Horizonte. Monografia (Curso de Especialização em Engenharia Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

LERSCH, I. M. **Contribuição para a Identificação dos Principais Fatores e Mecanismos de Degradação em Edificações do Patrimônio Cultural de Porto Alegre**. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS, Porto Alegre, 2003.

LICHTENSTEIN, N. B. **Boletim Técnico 06/86: Patologia das Construções**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 1986.

LOURENÇO, L.C. **Análise da corrosão em estruturas de pontes metálicas e em concreto armado**. (Dissertação de Mestrado). UFF. 2007.

MARCHETTI, O. **Pontes de Concreto Armado**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

PIMENTEL, C. C. D.; TEIXEIRA, L. **Patologia do Concreto e Recuperação das Estruturas**. Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 1978.

RIPPER, T. **Desempenho das Construções: Durabilidade, resistência e manutenção**. Formação contínua reabilitação e manutenção do patrimônio, Módulo RM1. Ordem dos Arquitetos, Seção regional Sul, 2002.

RIPPER, T; MOREIRA, V. C. S. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo, Editora PINI, 1998.

SACHS, A. **Recuperação de estruturas de concreto armado exige planejamento e documentação dos serviços**. Revista Técnica. <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/220/recuperacao-de-estruturas-de-concreto-armado-exige-planejamento-e-documentacao-357493-1.aspx>. Acesso em: 16 out. 2016.

SANTOS, C. F. **Patologia de estruturas de concreto**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014

SHIRAKAWA, M. A. **Estudo da Biodeterioração do concreto por Thiobacillus**. São Paulo, 1994. Apresentado como Trabalho Acadêmico (TCC) de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares.

SOUZA, V. C. M; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 2008.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998

SOUZA, M. T. **Clínica geral: erros de projeto, materiais, execução, uso**. Construção. Vol. 30, p.4-8. 1991

.

SORIANO, J. **Patologias das Construções**. Itatiba, USF – Universidade São Francisco, agosto 2004. Notas de aula.

TRESUNO Criações em Concreto. **Eflorescência no concreto aparente**. Disponível em <<http://tresuno.com.br/post/eflorescencia-no-concreto-aparente-patologia/>> Acesso em: 11 mar. 2017.

ANEXO A – FICHA DE INSPEÇÃO

I. IDENTIFICAÇÃO

OBRA: Ponte do Rio Melissa

Localização: Cafelândia/Corbélia-Paraná (PR-576)

Data da Inspeção: 27/05/2017

Hora da Inspeção: 14:00

Tempo: SOL() NU(x) CHU()

Equipe: Ader Bez Fontana; Inez Kopceski Fontana; Suelin Letícia de Souza

Foto da Obra:


II. DADOS DE INSPEÇÃO

II.1. ENCONTROS/ACESSOS

	Lado SUDESTE	Lado NOROESTE
Prumo:	B(x) R()	B(x) R()
Alinhamento:	B(x) R()	B(x) R()
Recalque:	S() N(x)	S() N(x)
Erosão dos taludes:	S() N(x)	S() N(x)
Drenagem:	B(x) R()	B(x) R()
Fissuras:	S() N(x) Tipo: _____	S() N(x) Tipo: _____
Falhas de concretagem:	S() N(x)	S() N(x)
Concreto desagregado:	S() N(x)	S() N(x)
Manchas de fuligem:	S() N(x)	S() N(x)
Lixiviação:	S() N(x) ()Manchas ()Estalactites	S() N(x) ()Manchas ()Estalactites
Manchas de óxidos de corrosão:	S() N(x)	S() N(x)
Armadura exposta:	S() N(x)	S() N(x)
Armadura corroída:	S() N(x)	S() N(x)
Armadura com perda de seção:	S() N(x)	S() N(x)

Observações:

II.2. LAJE/TABULEIRO

Revestimento: Concreto () Asfalto (x)
 Desgastado: S () N(x) Fissuras: S(x) N ()
 Juntas: Abertas () Revestidas(x) Fixação: B () R ()
 Limpeza: B () R ()
 Drenagem: Existência de furos de drenagem: S(x) N () Comprimento Adequado: S () N(x)
 Há furos de drenagem deficientes(entupidos)?: S(x) N ()
 Condições gerais de drenagem: B () R(x)
 Irregularidades no pavimento: S(x) N () Tipo: Ondulações
 Fissuras: S(x) N () Tipo: Superficiais Passivas, Fissuras Primárias de Flexão
 Falhas de concretagem: S () N(x)
 Concreto desagregado: S () N(x)
 Manchas de fuligem: S () N ()
 Lixiviação: S(x) N () (x) Manchas () Estalactites
 Manchas de óxidos de corrosão: S () N(x)
 Armadura exposta: S () N(x)
 Armadura corroída: S () N(x)
 Armadura com perda de seção: S () N(x)

Observações: Drenos curtos/quebrados foram causadores de várias manchas no fundo da laje, inclusive pontos de lixiviação, e ajuda no deslocamento de concreto.

Há casos de fissuras registrados na laje pelo acesso SUDESTE.

II.3. VIGAMENTOS

Flechas: B(x) R ()
 Alinhamento: B(x) R ()
 Fissuras: S(x) N () Tipo: Superficiais Passivas, Fissuras de Flexão
 Falhas de Concretagem: S(x) N ()
 Concreto desagregado: S () N ()
 Manchas de fuligem: S () N(x)
 Lixiviação: S(x) N () (x) Manchas () Estalactites
 Manchas de óxidos de corrosão: S () N(x)
 Armadura exposta: S () N(x)
 Armadura corroída: S () N(x)
 Armadura com perda de seção: S () N(x)

Observações: Há vários casos de fissuras superficiais passivas, todas de flexão, nas duas vigas longarinas, algumas com presença de eflorescência.

Devido à infiltração de água por um dreno, isso influenciou no deslocamento do concreto da borda da viga longarina de encontro com o pilar.

II.4. APARELHOS DE APOIO

Posição: B(x) R ()
 Drenagem: B(x) R ()
 Limpeza: B () R(x)
 Danos (ruptura, fissura): S () N(x)
 Estado geral: B(x) R ()

Observações: Há casos de elastômeros fretados deformados longitudinalmente devido à esforços de deslocamento horizontal, e um caso de deformação por compressão no lado NOROESTE.

II.5. PILARES

Prumo: B(x) R() Alinhamento: B(x) R() Recalque: S() N(x) Drenagem: B(x) R()

Fissuras: S() N(x) Tipo: _____
 Falhas de concretagem: S() N(x)
 Concreto desagregado: S() N(x)
 Manchas de fuligem: S() N(x)
 Lixiviação: S() N(x) ☐ Manchas ☐ Estalactites
 Manchas de óxidos de corrosão: S() N(x)
 Armadura exposta: S() N(x)
 Armadura corroída: S() N(x)
 Armadura com perda de seção: S() N(x)

Observações: Há apenas um caso de um pilar manchado pela infiltração de um dreno quebrado, mas ainda não houve indícios de manifestação patológica devido a essa deficiência.

III. OBSERVAÇÕES GERAIS**III.1 GUARDA-CORPO**

Existente: S() N(x) () Metálico () Concreto
 Degradado: S() N()

Observações:

III.2 BARREIRA DE PROTEÇÃO PARA VEÍCULOS

Existente: S(x) N() () Metálico (x) Concreto
 Degradado: S() N(x)

Observações:

III.3 ILUMINAÇÃO

Existente: S() N(x) Adequada/Suficiente: S() N()
 Sistema de iluminação: Degradado: S() N(x)
 Corrosão dos postes () Impacto por veículos () Outro () _____

Observações:

III.4 SINALIZAÇÃO VIÁRIA

Existente: S() N(x) Adequada/Suficiente: S() N() Conservação: B() R()

Observações:

III.5 VANDALISMO (fogo, urina, pichações): S(x) N()

Quais: Urina, pichações, fogo

Observações: Há sinais de fogueira.

III.6 TUBULAÇÃO (águas pluviais, gás, fibra ótica, etc): S () N(x)

Observações:

III.7 TRÁFEGO

Características: Urbano () Intermunicipal (x) Interestadual () Pedestres ()
 Tráfego intenso: S(x) N() Elevado volume de veículos de carga: S(x) N()

Observações:

III.8 ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO DA OBRA

Vegetação em crescimento entre os elementos estruturais: S () N(x)
 Limpeza: B () R(x)
 Aspecto geral: B(x) R()

Observações:

IV. CARACTERÍSTICAS DO MEIO

V.1. AGENTES FÍSICO-QUÍMICOS EM CONTATO COM A ESTRUTURA

(x) Atmosfera

Rural(x) Urbana() Marinha() Industrial() Tipo: _____

(x) Água

Natural(x) Doméstica() Industrial()
 Doce(x) Potável()
 Salgada() Residual()

(x) Solo

Natural(x) Aterro()

() Outros (quando sua determinação for possível)

Altas temperaturas() Agentes químicos() _____()
 Atmosfera específica() Que tipo? _____

Observações:

IV.2. PROPRIEDADES FÍSICAS DO MEIO

(quando a obtenção desses dados for possível)

(x) Atmosfera:

(médias características do local, na época do ano em que foi realizada a inspeção)

() umidade relativa: _____ (x) temperatura (°C): 21°C _____
() regime de ventos: _____ () chuvas _____
() _____: _____

() Água:

(considerar relatos de pessoas e a proximidade de fontes emissoras)

() coloração: _____ () temperatura (°C): _____
() sulfatos: _____ () cloretos: _____
() pH: _____ () _____: _____

() Solo:

() cloretos: _____ () umidade: _____
() sulfatos: _____ () _____: _____
() pH: _____

Observações:

V. DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA

