



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII – PROF.^a MARIA DA PENHA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARIA JÚLIA DE OLIVEIRA HOLANDA

**TÉCNICAS PREVENTIVAS E DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO**

**ARARUNA
2015**

MARIA JÚLIA DE OLIVEIRA HOLANDA

**TÉCNICAS PREVENTIVAS E DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.
Área de concentração: Patologia das Estruturas de Concreto.

Orientador: Prof.Esp. Tércio Pereira Jovem.
Coorientador: Prof. Msc. Daniel Baracuy da Cunha Campos

**ARARUNA
2015**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

H722t Holanda, Maria Júlia de Oliveira.
Técnicas preventivas e de recuperação de estruturas de concreto [manuscrito] / Maria Julia de Oliveira Holanda. - 2015.
47 p. : il. color.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, 2015.
"Orientação: Prof. Esp. Tércio Pereira Jovem, Departamento de Engenharia Civil".

1. Patologias. 2. Concreto. 3. Engenharia estrutural. I.
Título.

21. ed. CDD 690.028

MARIA JÚLIA DE OLIVEIRA HOLANDA

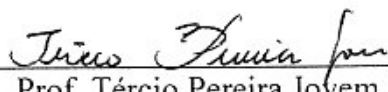
**TÉCNICAS PREVENTIVAS E DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO**

Programa de Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

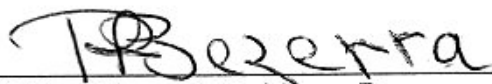
Área de concentração: Patologia das Estruturas
de Concreto.

Defendido em: 17/07/2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Tércio Pereira Jovem (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos meus pais, pelo incentivo, inspiração e amizade,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por seus traçados tão perfeitos em minha vida.

A minha família: meus pais Edinaldo Holanda e Jandira Costa e ao meu irmão Jefferson Henrique, que me deram oportunidades, através da educação, estímulo, crédito, orações e força nos momentos de ansiedade e cansaço.

A Júlio Vinicius pela dedicação integral, companheirismos e compreensão.

Aos meus orientadores Tércio Pereira Jovem e Daniel Baracuy, pela orientação e acompanhamento durante esse trabalho.

Ao Prof. Armando Carneiro da Universidade Estadual de Pernambuco pelas leituras sugeridas, orientação e atenção dispensada nas eventuais consultas.

Aos professores e funcionários do Campus VIII da UEPB, que ao longo da graduação contribuíram, também, para minha formação profissional, com suas experiências compartilhadas.

Aos colegas e amigos conquistados nesse período, na UEPB, em especial, Thiago Pires, pelo constante aprendizado durante nosso convívio.

RESUMO

A patologia das estruturas é um ramo da engenharia civil que estuda as origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas e degradação das estruturas. A quantidade de produtos que são rejeitados, ou aceitos sob condições, ou ainda com baixo desempenho demonstram a necessidade de desenvolvimento desse campo, que aborda de maneira científica o comportamento e problemas das estruturas, através de técnicas de recuperação, reforço e manutenção preventiva. O objetivo do trabalho foi estudar patologias em concretos, assim como técnicas de recuperação e manutenção, através de fundamentação teórica e estudo de caso da Ponte Governador Paulo Guerra, localizada na cidade de Recife-PE. A metodologia utilizada no trabalho consistiu no conhecimento de obras com planejamento e qualidade, indicação de técnicas de inspeção como: averiguação da tipologia construtiva, análise da estrutura com determinação das características geométricas dos elementos estruturais, identificação das patologias e possíveis causas e obtenção de características mecânicas dos materiais usados na construção, bem como o estado de conservação dos mesmos será realizado o diagnóstico das patologias encontradas na Ponte Governador Paulo Guerra, indicando assim técnicas de manutenção preventivas e técnicas de recuperação dos danos atuais. Através da vistoria local, do histórico da ponte e do estudo dos relatórios de conclusão de recuperação da mesma, pode-se identificar o RAA (reação álcali-agregado), do tipo álcali-silicato, e a corrosão eletroquímica como sendo as patologias de maior agressividade à obra, afetando principalmente a superestrutura e infraestrutura que estão posicionadas em situações de maior agressão. Entretanto como o estudo das patologias ainda necessita de uma maior sistematização dos conhecimentos científicos faz-se necessário, nesses casos, o uso de soluções intuitivas dos engenheiros estruturais.

Palavras-Chave: Patologias, Concreto, Recuperação.

ABSTRACT

The pathology of the structures is a branch of civil engineering that studies the origins, manifestations, consequences and mechanisms of occurrence of failures and degradation of systems and structures. The amount of products that are rejected or accepted under conditions, or underperforming demonstrate the need for development of this field, which deals in a scientific manner the behavior and problems of the structures through recovery techniques, strengthening and preventive maintenance. The objective was to study pathologies in concrete, as well as techniques of rehabilitation and maintenance, through theoretical framework and case study of Governor Paulo Guerra Bridge, located in the city of Recife-PE. The methodology used in the study consisted in the knowledge of work with planning and quality inspection techniques statement such as: investigation of building typology, the structure analysis to determine the geometrical characteristics of the structural elements, identification of disease and possible causes and obtaining mechanical characteristics materials used in construction, as well as the conservation state thereof and will be held diagnosis of pathologies found in Paul War governor bridge, thereby indicating techniques preventive maintenance and recovery techniques damage from the current. Through the site survey, the history of the bridge and the study of recovery completion reports from the same, can identify the RAA (alkali-aggregate reaction), the alkali-silicate type, and the electrochemical corrosion as the most pathologies aggression to work, mainly affecting the superstructure and infrastructure that are positioned in higher aggression situations. However as the study of diseases still needs a more systematic scientific knowledge it is necessary in such cases the use of intuitive solutions for structural engineers.

Keywords: Pathologies. Concrete. Recovery.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Ponte Governador Paulo Guerra.....	28
Figura 2 –	Lei de Sitter.....	30
Figura 3 –	Fissuras e manchas de lixiviação no bloco de fundação.....	31
Figura 4 –	Manchas de lixiviação na vista inferior das longarinas.....	32
Figura 5 –	Corrosão eletroquímica das armaduras.....	32
Figura 6 –	Degradação do concreto e corrosão das armaduras no apoio extremo das longarinas	33
Figura 7 –	Degradação do apoio extremo das longarinas.....	34
Figura 8 –	Fissuras formadas pelo deslocamento do concreto, tornaram-se pontos de depósito de sementes.....	35
Figura 9 –	Fissuras nos blocos de fundação.....	36
Figura 10 –	Buzinotes entupidos e carbonatação nas longarinas.....	36
Figura 11 –	Corrosão das armaduras e degradação dos aparelhos Neoprene.....	36
Figura 12 –	Recuperação das vigas longarinas.....	37
Figura 13 –	Recuperação dos dispositivos de drenagem.....	40
Figura 14 –	Colmatação das fissuras e injeção de microcimento.....	41
Figura 15 –	Cintamento dos blocos de apoio.....	42
Figura 16 –	Implante dos cabos de protensão.....	42
Figura 17 –	Execução dos consoles.....	43
Figura 18 –	Consoles pra macaqueamento e blocos de apoio com protensão.....	44
Figura 19 –	Recuperação dos encontros.....	44
Figura 20 –	Extremidades das longarinas recuperados.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT	Departamento Nacional de Infraestruturade Transportes
FADE	Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
RAA	Reação Álcali-Agregado

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	12
2.0	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Específico	13
3.0	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
3.1	Qualificação na Construção Civil.....	13
3.2	Planejamento de Qualidade.....	14
3.3	Inspeção e Diagnóstico.....	16
3.4	Manifestações Patológicas e Suas Causas.....	19
3.5	Técnicas de Manutenção das Estruturas.....	21
3.6	Técnicas e Materiais Adotados em Recuperação/Reforço.....	22
4	ESTUDO DE CASO	26
4.1	Histórico da Construção.....	26
4.2	Descrição da Ponte.....	27
5.0	MÉTODOS.....	28
6.0	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
6.1	Diagnóstico – Inspeções e Manifestações Patológicas.....	29
6.2	Causa da Deterioração Estrutural.....	36
6.3	Origem dos Problemas.....	38
6.4	Intervenções e Reparos.....	39
7.0	CONCLUSÃO.....	45
8.0	REFERÊNCIAS	46

1.0 INTRODUÇÃO

A patologia nas estruturas de concreto surge como um ramo de estudo da engenharia como consequência da necessidade de correção dos vários problemas existentes devido à má execução das obras, deficiência dos materiais e/ou erros cometidos em projetos.

O emprego da mão de obra desqualificada, a redução de custos e o cumprimento de prazos, geram deficiências generalizadas na construção civil. As alterações ambientais, causadas por ações do homem, como erosão, inversão térmica, ilhas de calor, chuvas ácidas, reações álcali-agregado, hidrólise e trocas iônicas, aceleram os processos de deterioração, trazendo os mais variados tipos de patologia às estruturas de concreto (REIS, 2001).

A análise da origem das patologias é fundamental nos processos construtivos seja ela, oriunda de projeto, construção ou utilização, além dos conhecimentos dos mecanismos e formas de deterioração do concreto, possibilitando o reestabelecimento das condições originais das estruturas danificadas (recuperação) ou promovendo adequações da capacidade resistente das estruturas em função do uso (reforço).

A evolução dos materiais e técnicas para a execução de edificações, o desenvolvimento e conhecimento mais aprofundado de tais técnicas e dos materiais, assim como o apelo econômico-financeiro, fez com que as obras pudessem ser executadas com um coeficiente de segurança menor. Em contrapartida, o maior conhecimento sobre a execução do concreto nas obras levou parte do controle destas aos encarregados, tarefa que caberia aos profissionais de engenharia (SOUZA E RIPPER, 1998).

Quanto aos materiais e técnicas propriamente ditos, os maiores destaques são os concretos e argamassas, já que em termos de qualidade e economia, se bem projetados e executados, suas estruturas não apresentariam deficiências provenientes dos materiais que a constituem, passíveis apenas de envelhecimento próprio (SOUZA E RIPPER, 1998). Além desses materiais, vem sendo analisados de forma consciente e específica para cada caso, concretos com polímeros, sílica ativa, fibras e adesivos, além de tecnologias de recuperação e reforços como formas de preparo das superfícies, reforços com o concreto, perfis metálicos e uso de polímeros reforçados com fibras, como as folhas flexíveis de carbono, considerando sempre a constante minimização dos riscos (REIS, 2001).

O objetivo do trabalho foi um estudo através de revisão teórica baseando-se nas etapas de projeto, processo executivo, mão de obra qualificada e materiais de qualidade, a fim de se

evitar processos patológicos, apresentando técnicas de manutenção preventiva e de reparos e materiais adotados nesses processos.

Sendo possível concluir com a inspeção realizada que era necessário agir imediatamente, tanto por condições de segurança como do ponto de vista econômico usando a intervenção corretiva imediata sobre a estrutura, sem que precisasse ocorrer interferência no tráfego intenso de veículos sobre a ponte.

2.0 OBJETIVOS

Estudo através de revisão bibliográfica e estudo de caso da Ponte Governador Paulo Guerra, Recife-PE.

2.1 Objetivos Específicos

- Conhecimento de obra com planejamento de qualidade desde os materiais de construção, projetos, mão de obra;
- indicar técnicas de inspeção e diagnóstico;
- identificar as possíveis causas patológicas de deterioração de estruturas de concreto;
- mencionar técnicas de monitoramento e manutenção preventiva;
- apresentar técnicas e materiais adotados em recuperação/reforço das estruturas.

3.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Qualificação na Construção Civil

As diversas construções executadas pelo homem ao longo de sua trajetória lhe proporcionou uma vasta experiência, que contribuíram para a construção civil. Surgindo assim, uma aceleração no crescimento, bem como um maior desenvolvimento na tecnologia e inovação. Dessa forma o crescimento tecnológico constituiu-se de uma questão natural e, junto com ele, o conhecimento sobre estruturas e materiais (SOUZA E RIPPER, 1998).

A má gestão do processo produtivo e o uso/manutenção indevido são observados em casos onde há desatenção na fiscalização, utilização de materiais de baixa qualidade e onde

não é considerada a complexidade das construções, sendo assim a necessidade de se considerar tais fatores como possíveis causadores de patologias (STRAPASSON, 2010).

A irresponsabilidade de alguns profissionais que optam pelo uso de materiais irregulares, ou adaptações fora das especificações, alegando muitas vezes razões econômicas, juntamente com um complexo de fatores negativos, são consideradas possíveis causadores da chamada deterioração estrutural, mais especificamente as deteriorações das mais diversas espécies, desde o envelhecimento natural da estrutura, até os acidentes (LAUFER; TUCKER, 1987).

A partir dessa deterioração ou degradação das edificações, frequentemente são desencadeadas manifestações patológicas indesejáveis sob o ponto de vista estético, do conforto e até da segurança estrutural, além da redução da durabilidade da obra. Entretanto, é sabido que a ocorrência de sinistros também pode desencadear tais manifestações patológicas.

Ioshimoto (1988) destaca a importância do estudo sistemático dos problemas patológicos, a partir das manifestações de suas características, permitindo um conhecimento mais aprofundado de suas causas, subsidiando, com informações, os trabalhos de recuperação e manutenção, neste caso, feitos pela seguradora e contribuindo para o entendimento do processo de habitações, nas diversas etapas, minimizando a incidência total dos problemas e permitindo ações preventivas.

A necessidade de uma sistematização, de todos os conhecimentos adquiridos na engenharia estrutural, leva o profissional atuante nessa área a analisar todo o comportamento estrutural, desde a concepção (projeto) até a manutenção da estrutura, com o necessário enfoque sobre as etapas de projeto e construção.

A formação da mão de obra desqualificada ocorre devido à aglomeração de muitos trabalhadores no setor da construção civil, aprendendo de forma inadequada sobre a execução dos devidos serviços. Dessa forma esses profissionais devem procurar cursos que beneficiem a construção segura e responsável, atualizando, direcionando e aperfeiçoando seus conhecimentos. Segundo Strapasson (2010) as empresas podem incentivar esses profissionais modernizando o setor, investindo nas inovações e assim diminuindo o esforço físico desses profissionais.

A falta de qualificação profissional, a falta de planejamento e a dificuldade do trabalhador de assimilar novas tecnologias, são as principais causas de erros na indústria da construção civil. As patologias mais recorrentes no mundo decorrem de um cenário de três tipos de deficiência profissional: a falta de informação e conhecimento, as obras sazonais que

ocorrem com pouco planejamento e o não acompanhamento pelo trabalhador das novas tecnologias adotadas pela indústria (GRANATO, 2012).

3.2 Planejamento de Qualidade

A presença de falhas construtivas, tão frequentemente desencadeadas nas edificações, remete a uma série de problemas de consequências patológicas, principalmente no que diz respeito à má gestão das etapas construtivas, tais como: projeto, execução, materiais e uso/manutenção, causando assim danos aos consumidores e à indústria da construção na forma de desperdícios de materiais, retrabalho, atrasos na entrega das mesmas, edificações com rachaduras e fissuras aparentes, não funcionais, entre outras.

Entretanto, o surgimento de inovações nos processos construtivos traz resultados positivos para as empresas construtoras, reduzindo o retrabalho, obtendo maiores lucros e consequentemente aumentando o capital financeiro. Com relação às questões ambientais, as inovações trazem benefícios quanto à redução de desperdícios, dimensionando as quantidades de materiais usados nas obras com uma baixa margem de erro. Strapsson (2010) afirma que as reduções no desperdício de materiais, possibilitam destinar resíduos de obra para outras construções que demandem esse tipo de material, ou ainda em aterros, ou reforço de subleitos de ruas e rodovias.

Tucker Laufer (1987) e Formoso (1991) relatam sobre a ausência ou elaboração inadequada de um planejamento de obra acarretando em prejuízos para todos os envolvidos. Há um crescente consenso a respeito do uso de planejamento na construção civil, entretanto, na prática, o uso dessa técnica ainda não é realizado com qualidade, sendo necessária a elaboração de planejamento que tenha eficácia, que é uma das principais funções de um gerente de uma organização.

O planejamento é o processo de tomar decisões baseadas em noções de um futuro desejado através de caminhos eficazes para a conquista dos objetivos. Segundo Laufer (1987) e Formoso (1991), o planejamento pode ser dividido em estágios específicos: definição do escopo e dos objetivos, dos recursos e limitações e finalmente o curso das ações selecionadas. Entretanto, o controle não é realizado de maneira proativa e, geralmente, é baseado na troca de informações verbais do engenheiro com o mestre de obras, visando um curto prazo de execução e sem vínculos com um plano de longo prazo, resultando, muitas vezes, na utilização ineficiente de recursos.

Ballard (2000) afirma que o planejamento e controle da produção são essenciais tanto para a execução das obras quanto para o desempenho das empresas construtoras, necessitando de um planejamento formulado com o auxílio do mestre de obras, considerado o mais comum dos planejamentos a curto prazo. Esse prazo é considerado, usualmente, de um dia de trabalho até a quinzena, detalhando as necessidades de recursos para a execução de atividades e as tarefas de cada dia. Um planejamento falho pode ocasionar falta de material no almoxarifado por erro no quadro quantitativo e interrupção da execução de determinadas etapas construtivas, sendo de responsabilidade do engenheiro as falhas de gestão decorrentes de má administração ou de um planejamento ineficaz.

3.3 Inspeção e Diagnóstico

Para permitir com definição clara o tipo de intervenção mais adequado e urgente para a eliminação das causas que dão origem aos danos da obra, é necessário um bom diagnóstico dos problemas, através de uma inspeção detalhada, feita por um profissional habilitado, que atualmente conta com vários testes simples e procura obter o maior número de informações possíveis.

Nas fases de inspeção e diagnóstico a primeira maneira de se combater danos ou erros na execução de uma obra consiste numa análise rigorosa do estado de conservação da obra, recorrendo a visitas minuciosas ao local, bem como, conhecer a origem e os processos construtivos iniciais ou quaisquer registros da mesma. Posteriormente, diagnosticar os elementos que necessitam de reparos, verificar a gravidade visando à segurança dos usuários, quais as melhores medidas a ser tomadas, definir a extensão do quadro patológico e a sequência da vistoria por meio dos sentidos humanos, testes e instrumentos simples (TAVARES; COSTA; VARUM, 2011).

A tipologia da construção, usada para identificar quais os aspectos originais da obra, determina uma série de patologias distintas para cada tipo de edifício, facilitando a identificação de causas que podem ser comuns a uma mesma patologia. Quanto mais antiga a obra, mais difícil à existência e o acesso a tais elementos, dificultando a conclusão da análise. Além disso, as técnicas construtivas e os materiais usados podem não ser os mesmo usados no período da recuperação. Nesses casos de construções históricas, o levantamento da história evolutiva do problema, englobando desde a construção, a utilização e a manutenção da edificação, é utilizado quando os dados obtidos na vistoria local não são suficientes para

diagnosticar a patologia. Esse levantamento é feito através de informações orais recolhidas com usuários, projetistas, construtores, operários, fiscalização e vizinhos; esta prática necessita de técnica, pois cada pessoa tem um interesse em relação à obra. (BRIK; MOREIRA; KRÜGER, 2013).

Se ainda assim não for possível concluir o diagnóstico, é necessário recorrer a um levantamento arquitetônico e planimétrico numa primeira fase, e posteriormente proceder-se a um levantamento estrutural com o intuito de compreender o comportamento global da estrutura, através de exames complementares que podem ser físicos, químicos ou biológicos, executados em laboratório ou *in loco*, sendo escolhidos de acordo com a patologia. Externando assim a importância de avaliar todas as características e particularidades da obra a ser recuperada, estruturando soluções e metodologias conforme a realidade encontrada.

As etapas da campanha de inspeção são definidas por SANTOS (2013) como as seguintes:

- averiguar a tipologia construtiva do edifício e conseqüentemente se este respeita a construção inicial;
- analisar a estrutura do edifício e determinar as características geométricas dos elementos estruturais;
- identificar as patologias presentes no edifício bem como as respectivas causas;
- obter as características mecânicas dos materiais utilizados na construção do edifício, bem como o estado de conservação dos mesmos, recorrendo a ensaios que permitam avaliar e caracterizar, essencialmente, o módulo de elasticidade de Young e as tensões admissíveis à compressão, flexão e corte.

Os ensaios não destrutivos devem ser obtidos através de: fotografias, utilização de ficha de caracterização da obra contendo identificação dos materiais, sistema construtivo, zona e tipo de danos, áreas sujeitas a alterações, identificação de datas, entre outros. O grau de interferência na obra determinará qual gama de aspectos deverão ser abordados na análise para avaliação, intervenção e diagnóstico. Eventuais irregularidades podem ser detectadas com um estudo geométrico, analisando tais como desvios verticais e horizontais relacionados com danos estruturais (COSTA et al., 2006).

Igualmente, outros aspectos como o levantamento das cargas solicitadas pelo edifício em processos de alterações, ampliações da construção ocorrida no decorrer da sua vida útil, o

levantamento estrutural e de localização de eventuais processos de reparação ou substituição de componentes, são dados necessários para uma caracterização da construção e planejamento da intervenção a preconizar (BORGES; SÁLES. 2007).

Os exames feitos em laboratório podem determinar as características mecânicas, propriedades físicas e quantificar a presença de elementos ou compostos químicos. Já os exames realizados *in loco* são os executados diretamente na edificação e podem ser não destrutivos ou destrutivos.

Os exames não destrutivos são:

- esclerometria –avaliação da dureza superficial, identificando a resistência do concreto à compressão - fck;
- ultrasonografia - verificação da estrutura interna e faz a estimativa da resistência e do módulo de elasticidade;
- pacometria - avaliação do cobrimento da armadura e realiza a estimativa de bitolas;
- sonometria - verificação de aderência entre os materiais;
- resistividade e potencial eletroquímico - determinação do potencial de corrosão;
- raios X - verificação da estrutura interna;
- gamagrafia - verificação da estrutura interna;
- sondagem sônica - realiza a verificação da integridade do concreto de estruturas enterradas;
- prova de carga - verificação do comportamento e do desempenho da estrutura.

Os exames destrutivos são feitos a partir da padronização e confecção de corpos de prova, para determinação das resistências a compressão e módulo de elasticidade, além de ensaios de arrancamento, avaliação de aderência entre materiais e estimativas da resistência. (BRIK; MOREIRA; KRÜGER, 2013).

Após o diagnóstico, o profissional poderá escolher entre corrigir a patologia, impedir ou controlar sua evolução, ou apenas estimar o tempo de vida da estrutura, limitando sua utilização ou, em casos mais extremos, indicando a demolição. Um diagnóstico equivocado acarretará em desperdício de dinheiro caso seja recomendado um reparo inadequado, além de não solucionar o problema e acabar atrapalhando em análises futuras que serão

imprescindíveis para diagnosticar corretamente a patologia (TAVARES; COSTA; VARUM, 2011).

3.4 Manifestações Patológicas e Suas Causas

A identificação das origens e problemas patológicos permite, também, reconhecer para fins judiciais quem cometeu as falhas. Estudos apresentam que um elevado percentual dos problemas patológicos nas edificações é originado nas fases de planejamento e projetos. Isso ocorre devido à falta de investimentos dos proprietários, públicos ou privados, em projetos mais elaborados e detalhados, havendo, muitas vezes, necessidade de adaptações durante a fase de execução e futuramente problemas de ordens funcional e estrutural (VITÓRIO, 2002).

As fissuras são os sintomas mais frequentes nas estruturas, sendo suas causas muito variadas. Para um correto tratamento de uma fissura é necessário conhecer o agente causador, pois se ele não mais atua, a fissura pode ser considerada estável (passiva), caso contrário, instável (ativa). As fissuras estáveis não apresentam variação em suas aberturas ao contrário das instáveis. A sua posição em relação à peça estrutural, a abertura, a direção e sua forma de evolução (com relação à direção e à abertura), também indicam causas prováveis (PIANCASTELLI, 1997).

A carbonatação, transformação do hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio, é uma das causas mais frequentes de corrosão de estruturas de concreto armado, devido à perda de pH do concreto. Tal perda é considerada um problema para as armaduras porque em situação de alcalinidade – pH variando entre 12 e 13 -, as armaduras estão protegidas da corrosão, mas, em situações de pH mais neutro – abaixo de 9,5 -, tem-se o processo de formação de células eletroquímicas de corrosão, a partir daí surgem fissuras e desprendimentos da camada de cobertura. Esse processo pode ser agravado através da existência de umidade no concreto, a quantidade de CO₂ no meio ambiente, a permeabilidade do concreto e a existência de fissuras (VITÓRIO, 2002).

A desagregação é iniciada a partir da mudança de coloração do concreto, posteriormente surgem fissuras cruzadas em todas as direções, que aumentam sua amplitude rapidamente, devido à expansão da pasta de cimento. Além do surgimento de um abaulamento da superfície de concreto. A perda do poder aglomerante desse faz com que os agregados graúdos se destaquem da argamassa que se desfaz, posteriormente. Tal manifestação pode ser provocada por: ataques químicos, reação álcali-agregado, águas puras e com pouco teor de

sais, águas servidas, micro organismos, substâncias orgânicas, e uso de formas absorventes, nos casos de “não agregação” da argamassa superficial (PIANCASTELLI, 1997).

A disgregação, deslocamento ou esfoliação caracteriza-se pela ruptura e destacamento do concreto superficial, em especial nas partes salientes da estrutura. Esse, geralmente apresenta características originais de resistência, porém houve o deslocamento provocado por: deformações por cargas excessivas, expansão por corrosão de armaduras, congelamento de águas retidas, impactos, cavitação e expansão resultante da reação álcali-agregado (PIANCASTELLI, 1997).

O conceito de segregação consiste na separação entre a argamassa e a brita podendo ocorrer durante ou logo após o lançamento do concreto. E pode ser provocada por: lançamento livre de grande altura, concentração de armadura que impede a passagem da brita, vazamento da pasta pela fôrma, má dosagem do concreto e uso inadequado de vibradores que isolam as pedras grandes da argamassa (PIANCASTELLI, 1997).

A perda de aderência pode ocorrer entre a armação e o concreto ou entre concretos. Entre o concreto e o aço ocorre geralmente devido a oxidação ou dilatação da ferragem. Já entre concretos, é caracterizada pelo surgimento de fissuras na interface das juntas de concretagem e é normalmente provocada pela falta de tratamento do concreto endurecido antes do lançamento do novo concreto, associada a fenômenos de retração (PIANCASTELLI, 1997).

A corrosão das armações ocorre quando a armação é atingida por elementos agressivos fazendo com que a parte oxidada aumente seu volume em aproximadamente 8 vezes, assim, a força de expansão expelle o revestimento do concreto, expondo totalmente a armadura à ação agressiva do meio. Causada principalmente por: porosidade no concreto, existência de trincas e deficiência na camada de revestimento (VITÓRIO, 2002).

Já o concreto, mesmo sendo de boa qualidade e resistente, está sujeito à corrosão, principalmente em presença de agentes agressivos, como ácidos, sulfatos, cloros e seus compostos, nitratos e nitritos, além da água totalmente pura, como é o caso de águas de chuvas. Que agem através de infiltração e do acúmulo ao longo do tempo (VITÓRIO, 2003).

A calcinação é o ressecamento das camadas superficiais (até 3 cm – excepcionalmente até 10 cm) do concreto devido a altas temperaturas como é o caso de incêndios. O concreto é considerado um material de boa resistência ao fogo, incombustível e não emite gases tóxicos, resistindo por períodos longos a temperaturas de 700 - 800°C (PIANCASTELLI, 1997).

Por fim, a reatividade álcali-sílica que ocorre entre a sílica de determinados tipos de agregados e o álcali (pode ser o de sódio ou o de potássio) presente no cimento, forma um gel no agregado reativo quando da presença de umidade, que se expande causando um estado triaxial de tensões de tração e compressão no concreto, que acaba destruindo-o. Condições de umidade relativa do concreto em torno de 80%, com temperatura no intervalo de 21 - 24°C, contribuem para o rápido desenvolvimento dessa reação, já que as fissuras permitem a penetração de mais umidade no concreto (ANDRADE E SILVA, 2006).

3.5 Técnicas de Manutenção das Estruturas

A manutenção planejada/estrutural já é uma técnica adotada nos países desenvolvidos onde as estruturas são submetidas a inspeções periódicas para correção criteriosa e oportuna de qualquer sinal de deterioração constatado, evitando assim que pequenos danos se transformem em grandes danos, cuja eliminação é tardia e mais cara, ou o que é pior, que venham a ocorrer acidentes com perdas materiais e humanas.

“Uma estrutura, durante a vida para a qual foi projetada, deve ser utilizada segundo as premissas de projeto e estar sempre sujeita a manutenção mais apropriada.” (ROWE, R. E, 1989 – Apud SOUZA E RIPER, 1998). Sendo vista como talvez a última das intervenções em uma estrutura, a manutenção estrutural, deve estar presente desde a etapa de concepção, onde as obras são projetadas, calculadas, detalhadas e construídas sob a consideração do ambiente que as envolve, tornando possível ao longo de sua vida útil o desenvolvimento das atividades de manutenção adequada, podendo assim ser inspecionadas sem que haja empecilhos para as atividades rotineiras da estrutura.

Diante disso, destaca-se a necessidade de definir as estratégias de manutenção para cada obra, considerando identificar de forma clara os pontos mais vulneráveis, estabelecendo para tais, condições de trabalho e rotinas específicas e mais intensas, de inspeções e manutenções.

Tais estratégias são definidas em função da confiança e dos cuidados que deverão ser tomados desde a concepção até a construção da obra, avaliando de forma particular a estrutura e suas principais peças em termos de utilização. Assim, podem ser observados casos em que a estrutura terá um só responsável durante toda vida útil, como no caso de estruturas de grande porte (pontes, viadutos, estádios, ginásios, estruturas industriais ou fabris, usinas, etc.) e também casos em que o(s) proprietário(os) se alternarão durante toda vida útil, é esse o caso de edifícios comerciais ou residenciais. Nesses casos, para que a manutenção estrutural

acorra com planejamento necessário, é essencial que os órgãos diretivos competentes e os proprietários e responsáveis pelas obras em geral tenham possibilidades de gerir as políticas de manutenção, além de dispor de mão de obra capacitada e devidamente instrumentada para exercer as atividades com aptidão. No caso de haver vários proprietários será mais difícil estabelecer estratégias confiáveis de inspeções e de manutenção. Assim a concepção das estruturas deve seguir ao máximo as normas e códigos já estabelecidos (SOUZA E RIPPER, 1998).

O processo de recuperação deve ser visto como parte integrante desse conjunto de estratégias, podendo assim melhorar a exploração das capacidades resistentes ainda disponíveis possibilitando a extensão da vida útil da estrutura.

A partir de todas as constantes apresentadas tem-se a premissa da British Standards 3811 (1984) que define:

“Manutenção estrutural a combinação de todas as ações de caráter técnico e/ou administrativo que tenham por fim garantir ou reestabelecer, para uma determinada estrutura, as condições necessárias para que esta desempenhe, de forma capaz, as funções para as quais foi concebida.”

As manutenções preventivas incluem aí eventuais intervenções corretivas e emergenciais, adotando sistemas comportamentais mais intensos no âmbito de projeto, construção, ou mesmo em serviços de recuperação. Pode ocorrer necessidade de inspeções adicionais, às periódicas já realizadas, quando peças específicas da estrutura apresentam desempenho prejudicado ou inferior ao estabelecido em projeto, havendo aí necessidade de uma manutenção esporádica (SOUZA E RIPPER, 1998).

O cadastramento das estruturas é um registro referente à sua construção ou manutenção, no qual é possível observar o controle das atividades rotineiras de inspeção, além de programar as manutenções e reparos a serem feitos durante a vida útil da estrutura. Entretanto, as Normas Brasileiras não fazem nenhuma exigência quanto à existência de tais cadastros e acompanhamentos, a maioria dos proprietários não compreende a importância do controle cadastral atribuindo às estruturas qualidade inabalável e dispensando o trabalho imprescindível da manutenção (SOUZA E RIPPER, 1998).

3.6 Técnicas e Materiais Adotados em Recuperação/Reforço

Após definido o diagnóstico e dos objetivos da intervenção serão escolhidas as interferências possíveis com base em uma média de parâmetros como: grau de incerteza sobre os efeitos que produzirão; relação custo / benefício; disponibilidade de tecnologia para a execução dos serviços.

As intervenções que visam erradicar uma enfermidade consistem em: corrigir pequenos danos (*Reparo*), devolver à estrutura o desempenho original perdido (*Recuperação*), ou aumentar tal desempenho (*Reforço*) (LAPA, 2008).

A sistemática empregada na execução de serviços de recuperação do concreto deteriorado por patologias podem ser agrupadas em duas categorias: patologias de ordem física ou química.

As causas físicas da deterioração do concreto podem ser agrupadas em duas categorias:

- desgaste superficial, ou perda de massa devida à abrasão, à erosão e à cavitação;
- fissuração, devidas, a gradientes normais de temperatura e umidade, a pressões de cristalização de sais nos poros, a carregamento estrutural e à exposição a extremos de temperaturas, tais como congelamento ou fogo.

As causas químicas da deterioração do concreto podem ser agrupadas em três categorias:

- hidrólise dos componentes da pasta de cimento por água pura;
- trocas iônicas entre fluidos agressivos e a pasta de cimento;
- reações causadoras de produtos expansíveis, tais como expansão por sulfatos, reação álcali- agregado e corrosão da armadura no concreto (LAPA, 2008).

Na recuperação dos elementos deteriorados por desgaste superficial devido à abrasão deve ser observado, em princípio, o percentual de área a ser recuperado. Se tal área está na ordem de 20% a 30% da área total, tem-se um caso de recuperação localizada e artesanal. Entretanto se a área a ser recuperada for percentualmente maior a recuperação é geral e mecanizada (DNIT 090/2006). Em virtude das pequenas espessuras das camadas desgastadas,

a preparação superficial do concreto deve aumentar um pouco esta espessura, com auxílio de escafificadores e alargar a área afetada; o material de reposição deve ser no mínimo, uma argamassa de cimento Portland enriquecida por microsílica, acrílico, látex ou epóxi. (LAPA, 2008)

A recuperação de elementos devida à erosão pode ser efetuada após a verificação de contaminação do concreto; caso não haja contaminação a execução é feita com uma limpeza com jato de água e posterior aplicação de concreto projetado de boa resistência à erosão, ou seja, alta dureza, baixa relação água/cimento e resistência à compressão (DNIT 090/2006).

No caso de cavitação, primeiro devem ser eliminadas suas causas como desalinhamentos nas superfícies do concreto e mudanças bruscas de declividade e posteriormente reparo (DNIT 090/2006).

Em casos de incêndio, a recuperação da estrutura inicia-se pela verificação de sua estabilidade e da necessidade de escoramentos parciais ou totais. Há uma obrigação de análise de corpos de prova retirados dos elementos afetados pelo fogo, para devido diagnóstico sobre demolição ou aproveitamento parcial ou total dos elementos. Quaisquer dados técnicos adicionais sobre o incêndio podem contribuir para um diagnóstico mais completo. Para a recuperação devem ser feitos descascamentos de concreto, reforços de armaduras e encamisamentos de concreto (DNIT 090/2006).

A recuperação das fissuras deve começar com o mapeamento das mesmas, e posterior indicação do tipo de tratamento adequado e de eventuais desvios e limitações do tráfego. No caso de trincas ativas, deve-se definir se é necessário tratar a trinca ativa como junta móvel, selecionar um selante plástico e o comprimento que a junta móvel deverá ter para absorver a movimentação da trinca ativa. Após alargamento da trinca, limpar e secar com jateamentos de água e ar e encher as juntas com selante plástico. As trincas especiais, provenientes de corrosão de armaduras, reação sílica-agregado ou excesso de cloretos na composição do cimento, devem ter tratamento especial. Nas trincas com origem em corrosão de armaduras é feita a remoção do concreto e o tratamento é dado às armaduras; já as trincas originárias da reação sílica-agregado ou excesso de cloreto no cimento, devem ser monitoradas e obter tratamento com impregnações no concreto. As trincas passivas, que não as de tipo especial, devem ser limpas com jato de água, secas com jato de ar, seladas superficialmente para iniciar a injeção de epóxi (DNIT 083/2006).

Os elementos com formação de sais solúveis e insolúveis não expansivos de cálcio, quando lixiviados, não podem ser recuperados, mas impedidos com o tratamento de trincas e

fissuras e, em alguns casos, com pinturas impermeabilizantes e revestimentos. A ação do ácido hímico pode ser evitada com operações simples de manutenção (DNIT 090/2006).

Ataques químicos por soluções contendo sais de magnésio ocasionados por agentes externos podem ser impedidos com o tratamento de trincas e fissuras e o revestimento dos elementos afetados, com concreto de alta resistência, pouca porosidade e aditivado por micro sílica. Dependendo da gravidade dos ataques fica determinado também um reforço estrutural (DNIT 090/2006).

Já reações envolvendo hidrólise e lixiviação dos componentes da pasta de cimento endurecido (eflorescência), devem ser removidas com soluções diluídas de ácido, desde que adotados os cuidados e procedimentos adequados. As soluções, a seguir, devem ser testadas em pequenas áreas não contaminadas:

- traço 1:9 a 1:19 de ácido muriático diluído em água;
- traço 1:9 de ácido fosfórico diluído em água;
- traço 1:1:19 parte de ácido fosfórico mais ácido acético diluídos em água.

E obedecer tais etapas:

- saturar a superfície de concreto com água pura, para evitar a absorção da solução ácida;
- aplicar a solução ácida em pequenas áreas, não maior que 0,5 m²;
- aguardar cinco minutos e remover a eflorescência com uma escova dura;
- lavar a superfície tratada com água pura, imediatamente após a remoção da eflorescência (LAPA, 2008).

Para prevenir a recorrência de novas eflorescências é necessário reduzir a absorção de água através do tratamento de trincas e fissuras e pinturas hidrofugantes.

Para ataques por sulfato, a literatura técnica recomenda que, para um concreto com peso normal, uma relação água/cimento mais baixa deve ser usada para estanqueidade ou para proteção contra a corrosão; para condições de ataque muito severas, exige-se o uso de cimento Portland resistente a sulfato, uma relação água/cimento máxima de 0,45, um consumo mínimo de cimento de 370 kg/m³ e uma camada protetora de concreto. Entretanto é

indicado adotar medidas preventivas, qualidade construtiva e camadas protetoras (DNIT 090/2006).

A reação álcali-agregado (RAA) pode ser identificada através de ensaios laboratoriais e ensaios de campo. Para recuperação superficial das estruturas afetadas, o principal objetivo é impedir ou diminuir o ingresso de umidade, com pinturas a base de silano ou siloxanos ou membranas; além disso, aplicação de forças externas, como protensão ou aumento de seções de concreto e armadura, podem restringir a livre expansão do concreto. Em pequenas estruturas, afetadas, podem ser tratadas com injeção de epóxi em casos estabilizados e em casos recentes com argamassa mais fraca para evitar a entrada de materiais agressivos.

O tratamento da armadura corroída deve iniciar com a remoção de todo o concreto contaminado em redor da armadura com corrosão, com jato d'água ou ferramentas manuais, para não prejudicar ainda mais a armadura ou sua aderência ao concreto; a remoção deve deixar um espaço livre entre a armadura e o concreto de 2 cm, no mínimo, e ser prolongada até atingir um comprimento de ancoragem de barra íntegra. Após limpeza das barras corroídas com escova de aço ou jato de areia, examinar se a perda de sua capacidade resistente foi superior a 10%, caso seja as barras devem ser suplementadas. Assim, as barras devem ser pintadas com tinta especial anti-ferruginosa e a seção pode ser recomposta com concreto convencional aditivado ou concreto projetado aditivado (a depender da estrutura), e efetuar uma cura prolongada, mínima de sete dias. Pode-se também usar a proteção catódica como alternativa tecnológica (DNIT 084/2006).

4.0 ESTUDO DE CASO

4.1 Histórico da Construção

A ponte Paulo Guerra, localizada na cidade de Recife-PE, liga os bairros da Cabanga e do Pina e dá acesso à Zona Sul, onde se encontra o bairro de Boa Viagem, considerado o mais populoso da cidade. Foi inaugurada no ano de 1979. Fica sobre a bacia do Rio Pina, formada pelos rios Tejipió, Jordão, Pina, e pelo braço morto do Capibaribe, uma região muito próxima ao mar, sujeita à variação das marés.

A construção que foi iniciada no ano de 1977 foi inovadora na execução dos blocos de coroamento das estacas, onde sobre as estacas foi construída uma caixa de concreto armado, chamada de “cálice”, que serviu de fôrma para a execução dos blocos. Os cálices

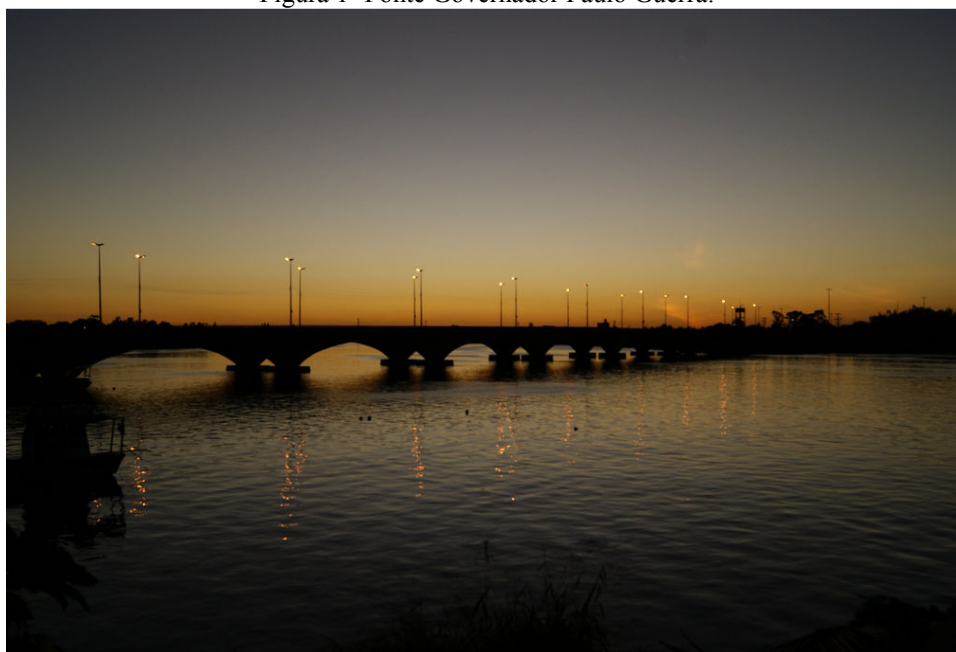
foram construídos em duas etapas: primeiro a laje de fundo depois as paredes, similar ao que foi utilizado na execução dos blocos da ponte Rio Niterói, no início da década de 70, segundo informações do Eng^o Guilherme Miguel Rossi, da empresa Estacas Franki, responsável pela execução das estacas e dos blocos de coroamento das estacas e do Eng^o Valdir José de Melo, responsável pelo projeto estrutural (HELENE et al, 2002).

A superestrutura da ponte foi construída pela empresa Queiroz Galvão, tendo o Fck do concreto nos blocos de 17 MPa e o concreto da superestrutura, de 22 MPa.

Não há registro do início da fissuração dos blocos e apoios, que são a parte da superestrutura que se apoia sobre os blocos, mas o estado crítico das fissuras culminou na contratação do laudo, no final da década de 90, emitido pela FADE/UFPE apresentado por Fonte e Ávila, (1999).

As empresas especializadas em recuperação estrutural na região de Recife informaram que, durante os 24 anos de existência da ponte, não foi realizado nenhum serviço de recuperação, reabilitação ou proteção do concreto da ponte.

Figura 1- Ponte Governador Paulo Guerra.



Fonte - Matheus Ferraz,(2010).

4.2 Descrição da Ponte

A ponte é constituída de uma estrutura em concreto protendido, com comprimento total de 453 m, faixa de rolamento de 15 m de largura, passeios laterais de 2 m e guarda rodas de 50 cm de espessura.

A superestrutura é formada por dois caixões unicelulares unidos pela laje superior. A laje inferior tem altura variável e a superior, constante. Possui nove vãos contínuos de 47 m, e dois vãos extremos de 15 m cada. Esses dois vãos constituem apoios enterrados, formando um conjunto de encontro, cortinas de contenção de aterros e contrapeso de balanço. O primeiro e o último vão de 47 m contém um trecho de 10,10 m de extensão, do tabuleiro apoiados sobre dois dentes Gerber com juntas de dilatação, em dois balanços, um saindo do encontro e o outro do primeiro (ou do último) apoio.

Os encontros extremos são rígidos. As vigas laterais do caixão têm altura variando em 1,30 m no centro a 6,00 m nos apoios ou pilares (a mesoestrutura). Sobre os apoios há um trecho de 3,20 m de extensão, com altura de 6,00 m, constante. Cada caixão celular apoia-se diretamente sobre um bloco de apoio. Em cada apoio existem, dois blocos iguais, com dimensões 3,20 x 5,80 m, com altura variável.

As estacas utilizadas são do tipo Franki, com comprimento médio de 30 m e diâmetros de 0,60 m. No trecho onde os caixões apoiam-se nos blocos existem duas transversinas com a mesma altura dos caixões. Os aparelhos de apoio são colocados sob essas transversinas de apoio, diretamente sobre os blocos e são todos do tipo neoprene (HELENE et al. 2002).

Os blocos de apoio são revestidos no fundo e parcialmente em suas faces laterais por camadas de concreto armado formando caixas, chamadas de “cálices”, que foram construídas para serem utilizadas como formas para a execução dos blocos.

5.0 MÉTODOS

A princípio, foi realizada uma inspeção preliminar, numa vistoria geral do local a fim de observar o estado geral da ponte, localizando, avaliando e estimando a gravidade das manifestações patológicas encontradas. Em seguida foram realizados ensaios *in loco* e posteriores coletas para ensaios realizados em laboratório. A partir dos critérios da nova norma brasileira NBR 6118/2014, referente a projetos de estruturas de concreto, foram feitos, estudos sobre a exposição ao ambiente e a agressividade da água, a fim de identificar alguns causadores das manifestações patológicas relatadas. Para análise da água foram feitas duas abordagens: análise físico-química e bacteriológica, chegando ao seguinte resultado, de acordo com a Norma CETESB L 1.007: “água do mar, salobra, e esgoto ou poluída

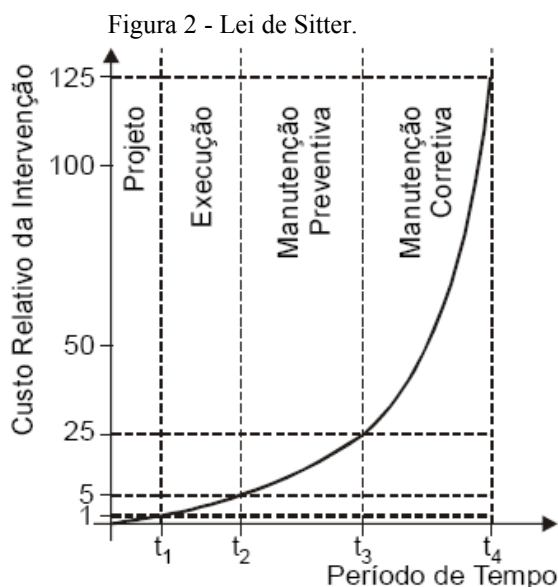
industrialmente”. Além disso, foram retiradas amostras de seis blocos da ponte e realizada a determinação de acordo com o método ABNT NBR 9917/1987 – Agregados para Concreto – Determinação de Sais, Cloretos e Sulfatos solúveis.

6.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Diagnóstico – Inspeções e Manifestações Patológicas

Os problemas patológicos, existentes e diagnosticados, atingiram uma porção significativa da estrutura, e necessitaram uma intervenção corretiva imediata (recuperação e proteção adicional), para interromper o rápido e grave processo de deterioração observado, e para aumentar a vida útil da obra.

Considerando a evolução dos custos de intervenção em estruturas, ao longo do tempo, sabe-se que quanto maior for a demora para se tratar uma obra que está em processo de deterioração, maior o custo da correção dos problemas, variando em progressão geométrica de razão 5, conforme o gráfico conhecido como Lei de Sitter (HELENE et al, 2002).



Fonte - Sitter, (1984).

Na inspeção preliminar, a vistoria geral da ponte, observou-se a natureza das manifestações patológicas presentes, avaliou-se o grau de incidência e estimou-se a gravidade das mesmas, a fim de definir regiões para estudo detalhado. Onde foi constatado:

- manchas típicas de corrosão de armaduras nos apoios, expostas e, em alguns casos, destruídas em toda a seção;
- manchas típicas de lixiviação dos componentes do concreto, principalmente na face externa dos blocos de fundação;
- fissuras nos blocos de fundação em forma de “mapa”, provavelmente de expansão dos produtos de corrosão de armaduras e de outras reações expansivas tipo álcali-agregado ou expansão por sulfatos ou ainda por expansão tardia dos óxidos de magnésio e de cálcio;
- sinais evidentes de deterioração precoce nos blocos de fundação e nos apoios extremos junto aos encontros;
- deterioração no tabuleiro, deterioração em juntas de dilatação, buzínates, drenagem e guarda corpos (TECOMAT, 2002).

Figura 3 - Fissuras e manchas de lixiviação no bloco de fundação.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Figura 4 – Manchas de lixiviação na vista inferior das longarinas.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Figura 5 – Corrosão eletroquímica das armaduras.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Figura 6 – Degradação do concreto e corrosão das armaduras no apoio extremo das longarinas.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Após a identificação da região com deterioração mais crítica, foi realizada a segunda etapa da inspeção, que foi a inspeção detalhada, realizando ensaios “in loco”, tais como (TECOMAT, 2002):

- observação visual minuciosa;
- esclerometria;
- cobrimento horizontal;
- cobrimento vertical;
- carbonatação;
- resistividade seca;
- resistividade úmida;
- potencial de corrosão;
- corrente de corrosão;
- bitola horizontal;
- bitola vertical;
- velocidade de propagação das ondas ultrassônicas.

As patologias em estado crítico foram identificadas e localizadas, exigindo maior atenção dos projetos de recuperação estrutural.

- **Superestrutura:** os apoios extremos das longarinas apresentaram sinais de maior desgaste com corrosão eletroquímica nas armaduras devido ao movimento das marés que os expunhamas condições de submersão e emersão, causando a penetração dos cloretos por difusão e absorção capilar; além da espessura de cobrimento de concreto, no fundo dos apoios, ser insuficiente para garantir a durabilidade das armaduras no ambiente marinho apresentando corrosão da armadura e risco de esmagamento do concreto. Expondo assim, as armaduras, já em estado de corrosão, e fazendo com que essas estivessem diretamente apoiadas no concreto e nos aparelhos de apoio, onde as concentrações de tensão são maiores e não previstas no projeto estrutural. Quanto às outras partes das longarinas, estavam de um modo geral em estado satisfatório, com poucos sinais de corrosão e eflorescência. As fissuras formadas pelo deslocamento do concreto tornaram-se pontos de depósito de sementes por pássaros que propiciaram o crescimento de árvores, agravando assim, a situação das fissuras (GOMES, 2008).

Figura 7 – Degradação do apoio extremo das longarinas.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Figura 8 –Fissuras formadas pelo deslocamento do concreto tornaram-se pontos de depósito de sedimentos.



Fonte - TECOMAT, (2002).

- **Infraestrutura:**

- **Aparelhos de Apoio:** o caso dos aparelhos de apoio das vigas principais se assemelha com as extremidades das longarinas, pois também sofriam com a variação marítima, a penetração de cloretos, que promoveram a despassivação do aço, acelerada por fenômenos de carbonatação e reduzido e variável cobrimento de armadura (GOMES, 2008).

- **Blocos de Fundação:** os blocos de apoio dos vãos centrais apresentavam quadro fissuratório bem variável, quanto às suas formas, profundidade e abertura das fissuras (em alguns blocos a abertura chegaram a ordem de 5 mm), todos dignos de atenção, o fenômeno estava mais intenso na periferia dos blocos (de 15 a 20 cm) sendo que no núcleo o fenômeno, embora existisse, não tinha destruído o concreto. O formato geral das fissuras lembrava “mapas” ou “teias de aranha” o que alertava para uma característica comum aos casos de reação álcali-agregado. Os apoios dos vãos centrais apresentavam situação mais intensificada, apesar de os apoios extremos se localizarem em meio mais agressivo (submersão e emersão), condição favorável para acontecimento de RAA e ataque de cloretos e sulfatos. Os cálices e as placas pré-moldadas, que revestem o cálice em suas bases, também apresentam quadro fissuratório, menos danoso (GOMES, 2008).

Figura 9 – Fissuras nos blocos de fundação.



Fonte - TECOMAT, (2002).

- **Aparelhos Auxiliares:** Lixiviação por falta de pingadeiras, buzínates entupidos, carbonatação, enrijecimento de juntas de movimentação, etc (GOMES, 2008).

Figura 10 – Buzínates entupidos e carbonatação nas longarinas.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Figura 11 – Corrosão das armaduras e degradação dos aparelhos Neoprene.



Fonte - TECOMAT, (2002).

6.2 Causas da Deterioração Estrutural

A elevada umidade do ambiente e a presença de sais característicos da atmosfera marinha, além da ação de agentes agressivos, decorrentes da atmosfera urbana e industrial, levou o ambiente circundante à obra ter agressividade forte a muito forte, correspondendo a grau 3 a 4, numa escala de 4 graus de agressividade, o que implica que o risco de deterioração da estrutura é de grande a elevado.

Os elevados teores de cloretos, magnésio e sulfatos, enquadraram a água como de grau 4 (muito forte), tendendo a provocar o fenômeno da expansão por gipsita ou estringita secundária, acompanhadas de lixiviação. Os elevados teores de cloreto também podem penetrar no concreto e despassivar o aço, promovendo a corrosão das armaduras. A grande umidade do ambiente e o grau de saturação do concreto, nas estacas e blocos e coroamento das estacas, geram riscos de reações expansivas do tipo álcali-agregado. E a contaminação por coliformes totais e termotolerantes acarreta no risco de uma ação deletéria de natureza biológica. Entretanto, as amostras também comprovaram que os teores de sulfatos deletérios não eram suficientes para estar havendo ingresso expressivo nos poros do concreto (TECOMAT, 2002).

A temperatura tem grande influência no desenvolvimento das reações químicas. Estruturas situadas em países de clima equatorial e tropical têm uma deterioração química mais grave que nos países de clima temperado. Nas regiões urbanas densamente povoadas, em especial, os gases ácidos presentes na atmosfera são dissolvidos pela água da chuva e precipitam sobre as estruturas de concreto impregnando-as e contribuindo para a redução da alcalinidade original, favorecendo a aceleração do processo de carbonatação. Já, as partículas em suspensão típicas de atmosfera marinha, urbana e industrial são depositadas por impacto nas superfícies das estruturas de concreto, contribuindo para a retenção da água, penetração por difusão e absorção capilar, tornando a superfície, do concreto, mais ácida ou mais neutra quando essa deve ser alcalina (TECOMAT, 2002).

Para o ambiente agressivo onde a obra foi construída, deveria ter sido usado um concreto de qualidade muito superior, para evitar o envelhecimento precoce, mesmo que o usado atenda às exigências do ponto de vista estrutural da época, não assegurando a durabilidade de uma estrutura situada em ambiente tão agressivo, sob a ótica dos conhecimentos atuais. Considerando os resultados obtidos, as informações levantadas e as análises realizadas, pode-se afirmar que os dois principais problemas patológicos de envelhecimento acelerado e precoce dessa ponte são: corrosão das armaduras nos apoios e reação álcali agregado nos blocos de fundação (TECOMAT, 2002).

A ausência de manutenção preventiva adequada permitiu o livre desenvolvimento do processo corrosivo das armaduras nos apoios, assim como a não substituição periódica dos aparelhos de apoio acarretou esforços excessivos no concreto dessa região, não previstos no projeto original, e que acabaram por destruir grande parte do concreto, localmente, por fissuração e destacamento, devido às forças de expansão dos produtos da corrosão com o natural risco de esmagamento do concreto. Nos blocos de fundação, além da corrosão das armaduras de alguns cálices, há principalmente, intensa deterioração do concreto por reações expansivas álcali-agregado (TECOMAT, 2002).

Além desses, outros agentes aceleraram ou facilitaram a ocorrência desses problemas patológicos como: carbonatação do concreto, cobrimento reduzido do concreto em locais específicos; concreto em alta porosidade e baixa resistividade, facilitando a movimentação de íons em zonas anódicas e catódicas das armaduras, concreto dosado com agregados e cimento reativos entre si (TECOMAT, 2002).

Dessa forma, ficam identificados os mecanismos de agentes causadores das manifestações patológicas mais críticas:

- nas vigas da superestrutura: ambiente agressivo com umidade e teores de cloretos e sulfatos elevados, favorecendo a desagregação de concreto e o ataque às armaduras, que só ocorrem, intensamente, nas extremidades dos blocos;
- nos blocos de apoio: raa causando fissuramento, destacamento leve e expansão do concreto;
- nos demais aparelhos suporte: ocorreu esgotamento do período de vida útil dos aparelhos Neoprene, intensificado pelo ambiente agressivo e situação de submersão; além da ação do meio ambiente e do uso sobre tais partes da estrutura que não recebem manutenção preventiva. (TECOMAT, 2002).

6.3 Origem dos Problemas

De acordo com o projeto foi utilizado aço CA-50, com diâmetro de 12,50mm na malha superior e 20mm e 22mm na malha inferior. Nas paredes, bitola de 12,50mm horizontalmente e 20mm e 22mm verticalmente, nas superfícies laterais do tronco da pirâmide. Quanto ao recobrimento, foi adotado 10cm na face superior do bloco, 15cm na face superior, 12,5cm na superfície lateral do tronco da pirâmide e 10cm no trecho da parede vertical do bloco(TECOMAT, 2002).

Através de um detector eletromagnético, conhecido como “pacômetro”, foi avaliada a posição, diâmetro e espessura de cobrimento das armaduras e, comparado com os valores determinados em projeto, foi confirmada as falhas originárias na etapa de execução. Encontrando cobrimentos médios de até 79mm, e nos piores casos, junto à borda do cálice, que tem forma trapezoidal, o cobrimento médio chegou a 25mm, enquanto 5% das armaduras estavam apenas com 14mm de cobrimento.

Dessa forma, ficam confirmadas as execuções inadequadas feitas para as espessuras de cobrimento e qualidade de Fck do concreto, assim como nível dos apoios muito baixo que permite ser encoberto em parte e diariamente pela variação da maré.

No caso da reação álcali-agregado, expansiva e deletéria, a origem do problema foi na fase de escolha dos materiais durante a etapa de execução da obra. Ensaios exploratórios de reação álcali-agregado potencial, com o cimento e com os agregados empregados no concreto utilizado nos blocos de fundação deveriam ter sido realizados tendo em vista o desenvolvimento dos estudos para detectar tal reação.

Os demais problemas, de importância menor em relação à gravidade dos dois primeiros, tiveram origem em várias etapas: falta de pingadeira no projeto; lixiviação na escolha do concreto durante etapa e execução, e enrijecimento de juntas e falta de substituição de aparelhos de apoio, tipicamente da etapa de manutenção.

6.4 Intervenções e Reparos

Quando foi feita a inspeção, a ponte encontrava-se em um estágio onde ainda era possível a recuperação dos blocos e apoios, sem que houvesse a necessidade de demolição e reconstrução das peças danificadas e sem que precisasse ocorrer interferência no tráfego intenso de veículos sobre a ponte (TECOMAT, 2002).

Portanto, não só do ponto de vista técnico, era necessário e conveniente agir imediatamente, mas também do ponto de vista econômico era recomendável a intervenção corretiva imediata sobre essa estrutura. Enfatizando que qualquer que fosse a solução adotada, deveria ser definitiva e segura e sempre haver a necessidade de inspeção periódica a cada quatro anos (TECOMAT, 2002).

Os principais elementos afetados na estrutura são as laterais e os fundos das vigas longarinas e o fundo das vigas transversinas (ou apoios), os blocos de fundação e outras partes, tais como muretas laterais da laje, aparelhos de apoio, dispositivos de drenagem e encontros (extremidades) (TECOMAT, 2002).

Figura 12 – Recuperação das vigas longarinas.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Figura 13 – Recuperação dos dispositivos de drenagem.



Fonte - TECOMAT, (2002).

A obra de recuperação foi iniciada em 2005 e foi concluída em 2006. Quanto à recuperação dos blocos, inicialmente foi feito um fechamento exterior das fissuras (colmatação) com epóxi, para possibilitar a injeção das fissuras no interior dos blocos, com microcimento. Posteriormente, foi executada uma camada de concreto em cada face lateral (cintamento), ao longo de toda a altura. Nas duas faces laterais maiores foram colocados três cabos de protensão, em cada lado, cada um com 12 cordoalhas de 15,2 mm (6 x 12 Ø 15,2 mm). Cada cabo tem uma ancoragem ativa e passiva. Além da proteção, todas as faces são armadas com uma armadura frouxa, com aço CA-50 (TECOMAT, 2002).

Figura 14 – Colmatação das fissuras e injeção de microcimento.



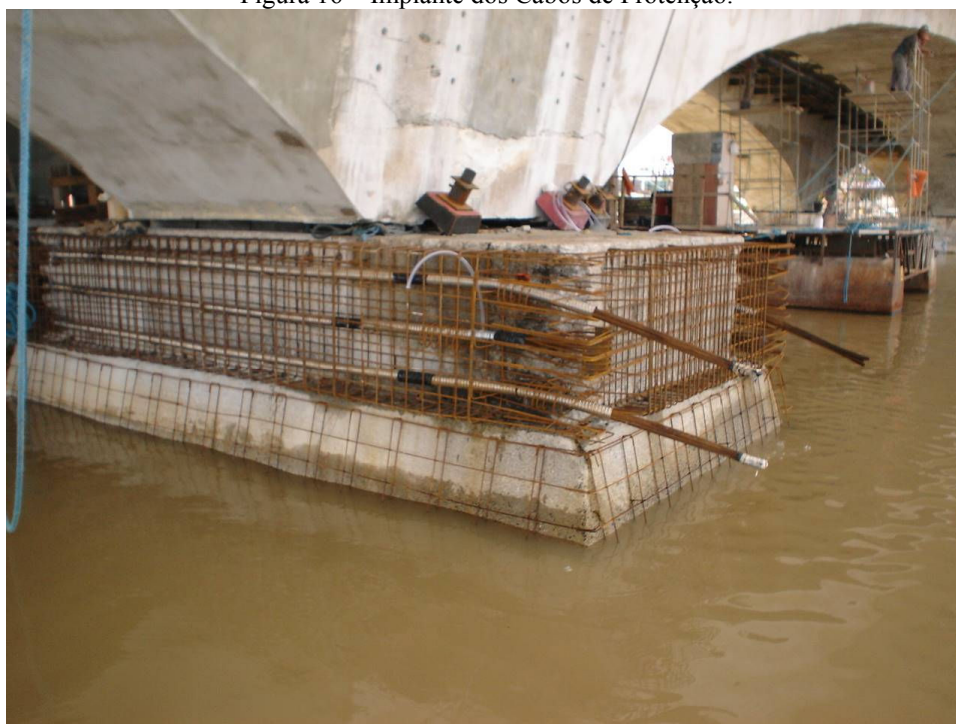
Fonte - TECOMAT, (2002).

Figura 15 – Cintamento dos Blocos de Apoio.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Figura 16 – Implante dos Cabos de Protensão.



Fonte - TECOMAT, (2002).

No projeto foi especificada a execução de consoles metálicos nas laterais das longarinas, acima dos blocos (ou seja, nos apoios), para promover o macaqueamento dos apoios e a troca dos aparelhos de apoio. Estes consoles apoiam-se sobre um berço de regularização de concreto e são posicionados nas laterais das longarinas, em número de quatro por apoio, fixados dois a dois nas longarinas com 12 tirantes, 32 mm, não aderentes (TECOMAT, 2002).

Figura 17 – Execução dos Consoles.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Figura 18 – Consoles pra Macaqueamento e Blocos de Apoio com Protensão.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Após o macaqueamento dos apoios, foi retirada uma camada de concreto de 10 cm do fundo do apoio para recuperar este concreto e a ferragem deteriorada pela corrosão, e finalmente feita a substituição dos aparelhos de apoio. Para tal, foi usado concreto com

inibidores de reação, a base de lítio, por exemplo, resistência à compressão mínima de 50 MPa ($F_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$) (TECOMAT, 2002).

Figura 19 – Recuperação dos Encontros.



Fonte - TECOMAT, (2002).

Figura 20 – Extremidades das longarinas recuperados.



Fonte - TECOMAT, (2002).

7.0 CONCLUSÕES

Através do estudo realizado, pôde-se constatar a carência de profissionais capacitados para elaborarem os projetos, bem como uma boa equipe de execução e ausência das manutenções preventivas desencadeiam problemas de deterioração da estrutura e de seus materiais componentes, sendo necessário, nesses casos, uma recuperação ou reforço das estruturas e, em casos extremos, até a demolição.

Tais diagnósticos devem ser dados a partir de uma inspeção detalhada onde se conclui que erros nestes, ocasionariam na não resolução do dano, além de desperdícios financeiros e empecilhos para análises futuras.

Por isso a manutenção planejada deve ser considerada visando além do ponto de vista técnico, com correções imediatas a partir das inspeções e diagnósticos, mas também do ponto de vista económico, que se baseia em tal economia segundo a Lei de Sitter.

No estudo da Ponte Governador Paulo Guerra, onde a recuperação já havia sido executada, foi necessário o preenchimento das fissuras, protensão nas faces laterais dos blocos de apoio e uma camada de concreto armado na face superior. Além disso, foram observadas trincas horizontais de grande magnitude mostrando que além da RAA as armações não foram suficientes, ajudando a potencializar os efeitos desta.

Assim, fica claro, pelo estudo feito, que há necessidade de muitas pesquisas ainda, sobre o conhecimento e evolução das manifestações patológicas além de leis regulamentadoras que tornem obrigatórias inspeções e estudo prévio do funcionamento mecânico estrutural das obras a fim de minimizar os riscos e preservar a integridade das estruturas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, T. W.; SILVA, J. J. R. Reação Alkali-Agregado. Recife: Editado por SIDUSCON/PE e SEBRAE/PE, 2006.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. The foundations of learn construcion, Construction Engineering and Management Program, Department of Civil and Enviroment Engineering, University of California, 2000.
- BORGES, M. L., SÁLES, J. J. Recuperação Estrutural de Edificações Históricas Utilizando Perfis Formados a Frio. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, São Carlos, v. 9, n. 39, p.45-62, 2007.
- BRIK, E. M. J., MOREIRA, L. P., KRUGER. J. A. Estudo das Patologias em Estruturas de Concreto Provenientes de Erros em Ensaios e em Procedimentos Executivos. Campos Gerais, 2013.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. BS 3811: Glossary of general terms used in maintenance organization. London, 1984.
- CARNEIRO, A. Inspeção nas pontes da cidade do Recife. Relatório Técnico – Prefeitura da cidade do Recife. Recife- PE, 2004. 228p.
- COSTA, Arede A. Construction and Building Materials, V. 20. Portland: Issue, 2006.
- DNIT. Norma 083-ES – Tratamentos de trincas e fissuras – Especificação de serviço – Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT. Norma 084-ES – Tratamento da corrosão – Especificação de serviço, Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT. Norma 090-ES – Patologias de concreto – Especificação de serviço, Rio de Janeiro, 2006.
- FONTE, A. O.; Ávila, J. I. S. L. Projeto de recuperação estrutural da ponte Paulo Guerra – Recife/PE. Relatório Técnico N.01 – EST/99. Recife: Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE, FADE, 1999.
- FORMOSO, C. A Knowledge Based Framework for Planning House Building Projects. Salford: University of Salford – Department of Quantity and Building Surveying, 1991.
- FORMOSO, C. et al. Termo de referência para o processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras. Núcleo orientado para inovação da edificação. Universidade Federal do Rio Grande doSul. Porto Alegre, 1999.
- GOMES, E. A. O. Recuperação Estrutural de Blocos de Fundação Afetados pela Reação Álcali-Agregado – A Experiência do Recife. Recife, 2008.

GRANATO, J. E. Patologia das construções. São Paulo: AEA Cursos, 2012.

HELENE, P.; CORRREIA, J.; ANDRADE, T.; CRUZ NETO, J.; ARAÚJO, J.; PEREIRA, F.; LACERDA, C.; MARTORELLIS, S.; OLIVEIRA, M. Relatório Técnico – Inspeção e Diagnóstico dos Apoios e dos Blocos de Fundação da Ponte Governador Paulo Guerra – TECOMAT, Tecnologia da Construção e Materiais Ltda. Recife, 2002.

IOSHIMOTO, E. Incidência de Manifestações Patológicas em Edificações Habitacionais. In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: PINI: IPT, 1988, p. 545 – 548.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is Construction Planning Really Doing Its Job? A Critical Examination of Focus, Role and Process. Construction Management and Economics, London, 1987.

LAPA, J. S. Patologia, Recuperação e Reparos das Estruturas de Concreto. Belo Horizonte, 2008.

PIANCASTELLI, E.M. - Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado - Ed. Depto. Estruturas da EEUFMG - 1997 - 160p.

REIS, L. S. N. Sobre a Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001.

SANTOS, D. E. O. M. Processos de Construção na Reabilitação de Edifícios Antigos. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2013.

SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T. Patologia recuperação e reforço da estrutura de concreto, São Paulo, Editora PINI, 1998.

STRAPASSON, D. C., SANTOS, A., SANTOS, A. P. L. Falhas do Desempenho Devido ao Planejamento Ineficaz em Edificações de Ensino Públicas. Campos Gerais, 2010.

TAVARES, A.; COSTA, A., VARUM, H. Manual de Reabilitação e Manutenção de Edifícios – Guia de Intervenção. Junho, 2011.

VITÓRIO, J. A. P. – Pontes Rodoviárias – Fundamentos, Conservação e Gestão, Livro editado pelo Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Pernambuco. Recife, 2002.