

**CENTRO UNIVERSITÁRIO CURITIBA – UNICURITIBA
ENGENHARIA CIVIL**

**INGRID BRITES VIEIRA
ISABELA DA COSTA
THAIS CAROLINA DA CRUZ**

**ELABORAÇÃO DE CADERNO DE RECOMENDAÇÕES DE TRATAMENTO DE
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

**CURITIBA
2021**

**INGRID BRITES VIEIRA
ISABELA DA COSTA
THAIS CAROLINA DA CRUZ**

**ELABORAÇÃO DE CADERNO DE RECOMENDAÇÕES DE TRATAMENTO DE
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado
a disciplina de TCC II, como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil do Centro Universitário
Curitiba.**

Orientador (a): Prof.^a Mestre Patrícia Fontana.

**CURITIBA
2021**

**INGRID BRITES VIEIRA
ISABELA DA COSTA
THAIS CAROLINA DA CRUZ**

**ELABORAÇÃO DE CADERNO DE RECOMENDAÇÕES DE TRATAMENTO DE
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil do Centro Universitário Curitiba, pela banca examinadora formada pelos professores:

Orientadora: _____
Patricia Fontana

Prof. Membro da Banca

Prof. Membro da Banca

Curitiba, 15 de novembro 2021.

VIEIRA, Ingrid Brites; DA COSTA, Isabela; DA CRUZ, Thais Carolina.

Elaboração de caderno de recomendações de tratamento de manifestações patológicas em obras de arte especiais / Ingrid Brites Vieira, Isabela da Costa, Thais Carolina da Cruz – Curitiba: Unicuritiba,2021.

Orientador (a): Prof.^a Mestre Patrícia Fontana

Projeto de graduação – UNICURITIBA – Engenharia Civil, 2021.

Referências Bibliográficas – p.82 - 88

1.Introdução. 2.Fundamentação teórica. 3.Desenvolvimento do caderno de procedimentos e materiais recomendados para recuperação das estruturas de concreto armado de pontes e viadutos. 4. Considerações Finais. I. Patrícia Fontana. II Centro Universitário Curitiba – UNICURITIBA, Curso de Engenharia Civil. III Título.

**AOS NOSSOS PAIS, MÃES, AVÓS E
IRMÃOS (AS) E DEMAIS FAMILIARES E
AMIGOS, DEDICAMOS ESSE TRABALHO A
VOCÊS QUE SEMPRE NOS APOIARAM E
ACREDITARAM EM NOSSOS SONHOS,
NOSSO MUITO OBRIGADA.**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados, durante todos os anos de estudos, pois, sem Ele, não teríamos chegado até aqui.

Agradecemos em especial nossos pais, irmãos e avós, que sempre incentivaram, apoiaram, aconselharam e ajudaram durante toda nossa caminhada acadêmica nos últimos anos. Essa conquista também é de vocês!

Agradecemos a nossa orientadora, professora Mestre Patrícia Fontana, pela orientação, dedicação e paciência durante toda a elaboração desse trabalho.

Aos amigos, que sempre estiveram ao nosso lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que nos dedicamos a este trabalho.

Aos professores do Centro Universitário Curitiba, que ao longo da graduação contribuíram, também, para nossa formação profissional, com seus ensinamentos e experiência compartilhadas.

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos.”

Provérbios 16:3

RESUMO

VIEIRA, Ingrid Brites; DA COSTA, Isabela; DA CRUZ, Thais Carolina. **ELABORAÇÃO DO CADERNO DE RECOMENDAÇÕES DE TRATAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OAEs**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário Curitiba – UNICURITIBA, Curitiba – PR, 2021.

Atualmente, a falta de programas específicos voltadas para a manutenção de pontes e viadutos, designadas tecnicamente como obras de arte especiais (OAEs), é um problema recorrente relacionado ao sistema rodoviário, ocasionando em estruturas com condições de estabilidade afetadas. Antigamente as estruturas de concreto armado pareciam ter durações indefinidas, mais especificamente as pontes, porém as mesmas estão sujeitas à diversas ações que ocasionam o seu envelhecimento e deterioração, comprometendo a sua estrutura e funcionalidade para qual foi projetada. Para que uma estrutura atinja sua vida útil para qual foi projetada e necessário que haja inspeção e manutenções periódicas, a fim de analisar possível surgimento de manifestações patológicas nessas obras, pois nenhuma estrutura está livre de patologias, até mesmo aquela com as melhores execuções tecnológicas possíveis. Isto ocorre devido ao meio em que as obras estão inseridas. Este trabalho, parte do princípio de conhecer as tipologias das OAEs e o histórico de evolução dessas obras no Brasil, particularmente das pontes e viadutos, sendo referenciados os principais conceitos que se encontram associados ao tema de patologia em estruturas de concreto, como também as principais manifestações patológicas que afetam as obras de pontes e viadutos rodoviários, buscando assim conhecer como esses mecanismo de degradação afetam a estrutura e possíveis recomendações de tratamento dessas obras. O caderno de recomendações de tratamento de manifestações patológicas em OAEs, foi desenvolvido com intuito auxiliar de profissionais da área da construção civil a analisarem os mecanismos de degradação que as estruturas de meso e super estão sujeitas, como também conhecer as causas que fazer com que o mesmo se prolifere, também é importante realizar o prognóstico para ter um levantamento das hipóteses de evolução do problema e por fim foi apresentado uma etapa executiva de tratamento para a recuperação da estrutura afetada.

Palavras-chave: Obras de Arte Especiais, Concreto Armado, Manifestações Patológicas, Tratamento, Recuperação.

ABSTRACT

VIEIRA, Ingrid Brites; DA COSTA, Isabela; DA CRUZ, Thais Carolina.
**ELABORATION OF THE BOOK OF RECOMMENDATIONS FOR THE TREATMENT
OS PATHOLOGICAL MAIFESTATIONS IN BRIDGES AND VIADUCTS.** Course,
Centro Universitário Curitiba – UNICURITIBA, Curitiba – PR, 2021.

Currently, the lack of specific programs aimed at the maintenance of bridges and viaducts, technically designated as special works of art (OAEs), is a recurrent problem related to the road system, causing structures with affected stability conditions. In the past, reinforced concrete structures seemed to have indefinite durations, more specifically bridges, but they are subject to various actions that cause their aging and deterioration, compromising the structure and functionality for which they were designed. For a structure to reach its useful life for which it was designed and there must be periodic inspection and maintenance, to analyze the possible emergence of pathological manifestations in these works, as no structure is free from pathologies, even the one with the best possible technological executions. This is due to the environment in which the works are inserted. This work starts from the principle of knowing the typologies of OAEs and the history of the evolution of these works in Brazil, particularly of bridges and viaducts, concerning the main concepts associated with the theme of pathology in concrete structures, as well as the main pathological manifestations that affect the works of bridges and highway viaducts, thus seeking to know how these degradation mechanisms affect the structure and possible recommendations for the treatment of these works. The booklet of recommendations for the treatment of pathological manifestations in OAEs was developed to help professionals in the field of construction to analyze the mechanisms of degradation that mesostructures and superstructures are subject to, as well as to know the causes that cause the same if it proliferates, it is also important to carry out the prognosis to have a survey of the hypotheses for the evolution of the problem and because an executive stage of treatment for the recovery of the affected structure was presented.

Keywords: Special Structures, Reinforced Concrete, Pathological Manifestations, Treatment, Recovery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ponte Guaíba – Porto Alegre/RS	23
Figura 2 - Viaduto BR - 376 Apucarana/PR	23
Figura 3 - Esquema ilustrativo de viaduto de acesso	24
Figura 4 - Esquema ilustrativo de viaduto de encosta	24
Figura 5 - Elementos Componentes de um Viaduto na BR - 376 – Apucarana/PR...	25
Figura 6- Armadura de bloco de fundação da Ponte sobre o Rio Bandeirantes.....	26
Figura 7 - Mesoestrutura Ponte sobre o Rio Bandeirantes	27
Figura 8 –Execução dos pilares do Viaduto no km 239 da BR-163/PR	27
Figura 9 - Vista encontro Viaduto Espírito Santo do Turvo/SP.....	31
Figura 10 – Tabuleiro Ponte Rio Paraná	32
Figura 11- Vigas longarinas do Viaduto da BR-277	33
Figura 12 - Pré-lajes Ponte sobre o Rio das Cinzas.....	34
Figura 13 – Barreira New Jersey executada no Viaduto Costa e Silva na BR-277 ...	35
Figura 14 - Ala Ponte sobre o Rio das Cinzas em Bandeirantes.....	35
Figura 15- Seção transversal de obra em laje maciça	41
Figura 16 – Seção longitudinal de obras em vigas simplesmente apoiadas com vários vãos.....	41
Figura 17 - Esquemas de obras em pórticos.....	42
Figura 18 - Fluxograma para resolução de patologias da construção civil.....	47
Figura 19 – Origem dos problemas patológicos	49
Figura 20 - Distribuição relativa de manifestações patológicas em estruturas de concreto	52
Figura 21– Esquema de carbonatação	56
Figura 22 - Esquema de carbonatação	57
Figura 23 - Corrosão na Ponte Estácio Coimbra em Recife/PE.....	58
Figura 24 – Célula de corrosão ou pilha em concreto armado	60
Figura 25 – Tipos de corrosão.....	60
Figura 26 - Degradação do concreto - Viaduto José Colassuono – Ipiranga	63
Figura 27 – Fases da despassivação da armadura.....	64
Figura 28 – Concreto segregado por vibração deficiente - Viaduto General Olímpio da Silveira	65
Figura 29 – Segregação no aparelho de apoio – OAE Brasília – DF	65

Figura 30 - Laje com manchas de eflorescência	66
Figura 31 - Patologias por infiltração na estrutura.....	67
Figura 32 - Falha do Sistema de Drenagem – Viaduto Pres. Costa e Silva – SP	71
Figura 33 - Falha do Sistema de Drenagem – Ponte Sobre o Rio Tocantins.....	71
Figura 34 - Manchas escuras de umidade - Viaduto Elevado Pres. Costa e Silva/ SP	72
Figura 35 – Cabeçalho das fichas	75
Figura 36 – Campo com o conceito da manifestação patológica	76
Figura 37 – Imagem da manifestação patológica.....	76
Figura 38 – Campo com as possíveis causas do aparecimento do fenômeno.....	77
Figura 39 - Campo com o prognóstico	77
Figura 40 - Campo com as recomendações de prevenção.....	77
Figura 41 - Campo com as recomendações de terapia.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos tipos de aparelho de apoio.	29
Tabela 2 - Tipos de Aparelhos de Apoio	30
Tabela 3 - Tipos de Juntas	38
Tabela 4 - Elementos e dimensões constituintes das OAEs	39
Tabela 5 - Carregamento para classes de pontes.....	39
Tabela 6 – Evolução da Seção Transversal de Pontes.....	44
Tabela 7 – Dimensões das aberturas.....	53
Tabela 8 - Tipos de fissuras	55
Tabela 9 – Casos reais de manifestação da corrosão	62
Tabela 10 - Classificação dos aparelhos NBR 9452/2016	68
Tabela 11 – Manifestações Patológicas abordadas nas fichas	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT – Agencia Nacional de Transportes Terrestres
Apud – é uma expressão latina que significa “com”, “junto a”, “em”.
BR – nomenclatura que significa que a rodovia é federal
DER – Departamento de Estradas de Rodagem
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ES – Estado do Espírito Santo
IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto
kgf/m² – Kilo Grama Força por Metro quadrado
kN – Kilo Newton
Km – quilômetro
m – Metro
mm – milímetro
MPa – Mega Pascal
MT – Ministério do Transporte
NBR – Norma Técnica Brasileira
OAEs – Obras de Arte Especiais
PR – Paraná
PROARTE – Programa de Reabilitação de Obras de Arte Especiais
RS – Rio Grande do Sul
SINAENCO - Sindicato Nacional das Empresas de Engenharia Consultiva e
Arquitetura
SP – São Paulo
TCU – Tribunal de Contas da União
tf – Tonelada força
TO – Tocantins

LISTA DE SÍMBOLOS

Ca (OH)₂ – Hidróxido de Cálcio

CaCO₃ – Carbonato de Cálcio

CO₂ – Dióxido de Carbono

PH – Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3	JUSTIFICATIVA	18
1.4	LIMITAÇÃO DO ESTUDO	20
1.5	ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DE PONTES E VIADUTOS	22
2.2	CLASSIFICAÇÃO DAS OAEs	39
2.2.1	Vinculações típicas de OAEs em vigas	42
2.2.2	Histórico das Obras de Arte Especiais no Brasil	43
2.3	CONCEITOS RELACIONADOS À PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES	45
2.3.1	Origem e causa das manifestações patológicas	48
2.4	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	49
2.4.1	Principais Manifestações Patológicas em Pontes e Viadutos de Concreto Armado	50
2.4.1.1	Fissuras e Trincas	52
2.4.1.2	Carbonatação	56
2.4.1.3	Corrosão das armaduras	57
2.4.1.3.1	Formas de manifestação da corrosão	60
2.4.1.4	Presença de Cloretos	63
2.4.1.5	Segregação	64
2.4.1.6	Lixiviação e Eflorescência	65
2.4.1.7	Infiltração	66
2.4.1.8	Problemas nas juntas de dilatação	67
2.4.1.9	Danos no aparelho de apoio	68

2.4.1.10 Falhas na Drenagem	70
2.4.1.11 Manchas	71
3 DESENVOLVIMENTO DO CADERNO DE PROCEDIMENTOS E MATERIAIS RECOMENDADOS PARA RECUPERAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE PONTES E VIADUTOS.....	73
3.1 FICHA TÉCNICA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	74
3.1.1 Recomendações para utilização das fichas.....	78
3.1.2 Documentos de Referência para Elaboração das Fichas.....	79
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
4.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
LISTA DE APÊNDICES	89

1 INTRODUÇÃO

No ramo da engenharia civil o termo Obras de Arte Especiais (OAEs) é designado para pontes, viadutos e passarelas, que são estruturas de grande importância para o desenvolvimento econômico e social do país (ARAUJO, 2019).

Segundo Vitório (2006), a falta de uma cultura de manutenção, em especial a preventiva, faz com que os órgãos públicos responsáveis pelas obras priorizem apenas a execução, não havendo maiores preocupações com as questões relacionadas à conservação e vida útil destas estruturas.

Conforme apresentado na ABNT NBR 6118:2014¹, essas obras estão submetidas às ações permanentes e variáveis, sendo que as ações permanentes são provenientes do peso próprio dos elementos estruturais e as ações variáveis externas são provenientes de cargas móveis de veículo, forças devidas ao vento, ações das águas dos rios e variações de temperatura. Além disso, vale ressaltar que essas construções são executadas em ambientes sujeitos a diversos tipos de classes de agressividade.

As pontes e viadutos em concreto armado são sistemas adotados para a transposição de passagens, viabilizando o traçado de estradas e rodovias. Por serem obras de maior complexidade, necessitam de mão de obra especializada para a sua execução, em todas as etapas da construção, portanto, é importância enfatizar que essas obras sejam adequadamente executadas e que, quando colocadas em uso, sejam submetidas a adequadas manutenções.

O emprego de mão de obra desqualificada, a redução de custos e prazos curtos, podem gerar 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 manifestações patológicas às estruturas de concreto (REIS, 2001).

De acordo com Souza e Ripper (1998), a patologia na construção civil busca estudar as estruturas com sua funcionalidade comprometida, como por

¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento

exemplo, manifestações de “doenças” nas estruturas de concreto, suas causas e efeitos.

Conforme o relatório do Tribunal de Contas da União (2012), o DNIT não possui um programa para prevenir as manifestações patológicas ou para prever o colapso de Obras de Arte Especiais e, por isso, age apenas quando aparecem danos estruturais graves. Essa situação ocorre pela falta de políticas e estratégias voltadas para a manutenção das obras públicas ao longo das últimas décadas o que contribui para o surgimento de um processo de desgaste e deterioração das rodovias, atingindo diretamente as obras de arte especiais que, de modo geral, apresentam diversas manifestações patológicas e danos estruturais.

Portanto, verifica-se a importância de que sejam planejadas e realizadas as manutenções periódicas OAEs, minimizando a necessidade de realização de manutenções corretivas, que podem apresentar custos elevados, superiores àqueles referentes às manutenções preventivas.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar um caderno que ajude os profissionais da área de engenharia no processo de recuperação das estruturas em concreto armado de OAEs. O caderno será composto por orientações e procedimentos que auxiliem no processo de recuperação dessas obras, assim como, indicação dos materiais que podem ser empregados em sua recuperação, visando assim prevenir e reduzir custos com manutenção, reparos e reforço estrutural.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos caracterizados nesse projeto, são apresentados a seguir:

- a) Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre a morfologia e classificação de pontes e viadutos rodoviários;

- b) Realizar pesquisa bibliográfica para levantamento das manifestações patológicas mais comuns presentes em Pontes e Viadutos, como também os procedimentos de recuperação e materiais disponíveis no mercado da construção civil;
- c) Elaborar um caderno de tratamento das principais manifestações patológicas em OAEs.

1.3 JUSTIFICATIVA

No Brasil, ainda falta conhecimento técnico-científico sistemático e aprofundado para avaliar as condições de estabilidade estrutural das pontes rodoviárias existentes, especialmente das pontes rodoviárias mais antigas (VITÓRIO, 2015). A degradação das estruturas das pontes e viadutos está vinculada a questões como: idade, uso à qual foi projetada, exposição ao meio onde está inserida e falta de atividades de manutenção (ARAUJO, 2014).

Normalmente, quando necessário, tais avaliações são feitas com base na particularidade de cada situação apresentada, conforme a experiência e conhecimento de engenheiros especializados em projeto e execução de pontes e viadutos (VITÓRIO, 2015).

Conforme as informações do Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT² (2004), no Brasil os projetos originais da maioria das obras antigas não existem nos arquivos dos órgãos. Portanto, a vida útil das pontes é assumida pelas características da seção transversal do tabuleiro, considerando a evolução do gabarito transversal de acordo com o período do projeto e construção da ponte (VITÓRIO, 2015).

De acordo com a Resolução N^o6, de 10 de março de 2004, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é um dos órgãos responsável por gerenciar os modais rodoviário, ferroviário e aquaviário do Brasil que estão sob gestão federal, sendo responsável pela fiscalização, sendo que através do mesmo é possível analisar as necessidades do sistema

² Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), é uma autarquia federal brasileira vinculada ao Ministério da Infraestrutura, responsável pela manutenção, ampliação, construção, fiscalização, e elaboração de estudos técnicos para a resolução de problemas relacionados ao Sistema Federal de Viação como também do tráfego multimodal de pessoas e bens, nos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário.

de infraestrutura, buscando assim realizar melhorias nas rodovias através da elaboração e execução de projetos, reformulações de rodovias, criação de viadutos ou pontes, pavimentação de estradas, entre outros serviços.

A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT)³ é outro órgão que regula as atividades relacionadas à infraestrutura, no entanto, gerenciando as atividades relacionadas às concessões rodoviárias.

No que diz respeito à manutenção e gerenciamento das OAEs no país, em 2016 foi criado o Programa de Manutenção e Reabilitação de Estruturas (PROARTE)⁴. Trata-se de um programa desenvolvido pela Coordenação-Geral de Manutenção e Restauração Rodoviária (CGMRR/DIR) com o intuito de auxiliar no gerenciamento dos serviços de manutenção e de reabilitação em Obras de Arte Especiais (OAEs), tais como, pontes, túneis, viadutos, passarelas e estruturas de contenção, das rodovias federais que estão sob responsabilidade do DNIT.

Apesar da existência do PROARTE e de órgãos de gestão de infraestrutura de transportes rodoviários, observa-se que a quantidade de OAEs no Brasil necessitando de manutenção é grande. Segundo Vitório (2002, p. 33), as estruturas das pontes, assim como os seres humanos, podem sofrer os efeitos de males congênitos e adquiridos, sendo vulneráveis a acidentes e à deterioração com o passar do tempo.

Portanto, em função desse problema busca-se estudar procedimentos e materiais que auxiliem na recuperação das estruturas de concreto armado no Brasil, ou seja, compreender as manifestações patológicas mais comuns que pontes e viadutos estão sujeitos, a fim de analisar as manifestações patológicas

³ Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), é uma autarquia Federal Brasileira responsável pela regulação das atividades de exploração da infraestrutura ferroviária e rodoviária federal e de prestação de serviços de transporte terrestre, a ANTT absorveu, dentre outras, as competências relativas às concessões de rodovias federais outorgadas pelo extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e às concessões ferroviárias decorrentes do processo de desestatização das malhas da também extinta Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA).

⁴ Programa de Manutenção e Reabilitação de Estruturas – PROARTE é responsável pelo gerenciamento de serviços de manutenção e de reabilitação em Obras de Arte Especiais (OAEs) – pontes, túneis, viadutos, passarelas e estruturas de contenção, que integram a malha rodoviária federal em todo o país.

e apresentar os procedimentos de recuperação dessas estruturas, bem como, os materiais disponíveis no mercado da construção civil.

1.4 LIMITAÇÃO DO ESTUDO

O estudo desse trabalho irá se limitar a analisar as manifestações patológicas em Obras de Arte Especiais, focando nos elementos de meso e superestrutura de concreto armado em pontes e viadutos, como também procedimentos e materiais disponíveis no mercado da construção civil, que podem ser empregados para a recuperação dessas. Não serão abordadas as manifestações patológicas ou técnicas de recuperação para infraestrutura (fundações). Ainda, não serão abordadas técnicas de reforço estrutural, que envolvem conhecimentos específicos na área, além dos conceitos relacionados à Patologia das Construções.

1.5 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho é composto por 4 capítulos, sendo o capítulo 1 a apresentação da morfologia e classificação das obras de Pontes e Viadutos rodoviários, visando conhecer mais a fundo as particularidades e elementos estruturais que compõem esse tipo de obra.

No capítulo 2 foi abordado conceitos referentes à patologia das construções, que se trata do ramo da engenharia civil que busca estudar os sintomas, causas e origens dos vícios construtivos que ocorrem em estruturas e a partir dessa análise, encontrar possíveis meios de evitar que as patologias se tornem um problema para as estruturas (DO CARMO,2003).

Do Carmo (2003), ainda ressalta que é importante detectar as manifestações patológicas ainda no início, para que possa evitar perdas referentes ao desempenho da estrutura e custos com recuperação estrutural.

Segundo Lichtenstein (1985), os problemas patológicos estão presentes na maioria das estruturas com intensidade maior ou menor, porém, podem se apresentar de forma simples, com diagnóstico e reparo evidentes, ou de maneira complexa, exigindo uma análise mais específica e individualizada, para poder definir o adequado diagnóstico da estrutura.

O capítulo 3 apresenta a elaboração de um “Caderno de procedimentos e materiais recomendados para recuperação das estruturas de concreto armado em pontes e viadutos no Brasil”, esse material tem por objetivo auxiliar profissionais da área da construção civil a diagnosticarem manifestações patológicas nesse tipo de obra e entenderem como deve ser o processo de recuperação das mesmas, com o auxílio desse caderno técnico de orientações.

Por fim, no capítulo 4 será apresentado as considerações finais, que foi embasada em todas as referências bibliográficas usadas para a elaboração do presente trabalho, como também os resultados obtidos e conhecimento adquirido com o mesmo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo serão abordados os conceitos relacionados a morfologia, classificação e patologia das construções, que se trata do ramo da engenharia civil que busca estudar os sintomas, causas e origens dos vícios construtivos que ocorre em estruturas e a partir dessa análise, encontrar possíveis meios de evitar que os problemas patológicos se tornem um problema para as estruturas (DO CARMO,2003).

2.1 MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DE PONTES E VIADUTOS

As Obras de Arte Especiais, de acordo com Pfeil (1983, p. 9), são todas as obras destinadas a transpor obstáculos à continuidade da via, tais como rios, braços de mar, vales profundos, etc., que recebem a denominação de ponte. Quando a obra tem por objetivo a transposição de vales, outras vias, ou obstáculos não constituídos por água, estas são denominadas viaduto.

Segundo Pfeil (1983, p.12), as obras que transpassam acidentes geográficos ou viários são consideradas estruturas de grande porte, tais como pontes, viadutos ou túneis, e que requerem um projeto específico para cada uma delas. Essas estruturas se tornaram imprescindíveis quando se tem obstáculos nas grandes cidades urbanas, sendo que essas obras podem ser consideradas verdadeiros equipamentos urbanos indispensáveis para a vida cotidiana de suas populações, pois definem os principais escoamentos de vias, articulação de cruzamentos das grandes avenidas, encurtamento de caminhos e compensação de acidentes geográficos. Um exemplo é a ponte do Guaíba, localizada em Porto Alegre - RS que faz a ligação entre a BR - 290⁵ e a BR - 116⁶, conforme a Figura 1.

⁵ BR-290 - Rodovia Osvaldo Aranha, é uma das mais importantes rodovias do Rio Grande do Sul, no Brasil, com 726 km de extensão, situada no estado do Rio Grande do Sul que parte do litoral centro-norte do estado em sentido oeste, até o município de Uruguaiana, na fronteira com a Argentina.

⁶ BR-116 é uma rodovia longitudinal brasileira que tem início no município de Fortaleza, no estado do Ceará, e termina em Jaguarão, no Rio Grande do Sul, na fronteira com o Uruguai, é um dos principais eixos rodoviários do país, sendo também a maior rodovia totalmente pavimentada do Brasil, com 4.486 km de extensão.

Figura 1 - Ponte Guaíba – Porto Alegre/RS



Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2020)

Na Figura 2, um exemplo de 2 viadutos que fazem a transposição sobre a BR-376⁷ em Apucarana - PR.

Figura 2 - Viaduto BR - 376 Apucarana/PR



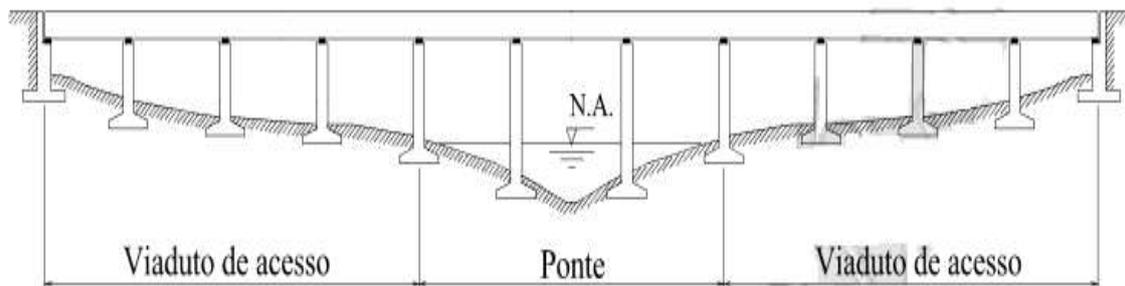
Fonte: Diário de obras – BDO Engenharia Eireli (2017)

⁷ BR-376 é uma rodovia diagonal brasileira, que liga Dourados, em Mato Grosso do Sul, a Garuva, em Santa Catarina, no trecho paranaense, é conhecida como Rodovia do Café, e em Curitiba, de Contorno Sul.

De acordo com El Debs e Takeya (2003), as Figuras 3 e 4 ilustram que os viadutos recebem diferentes denominações conforme suas particularidades, tais como:

- **Viaduto de acesso:** Serve para dar acesso a uma ponte.

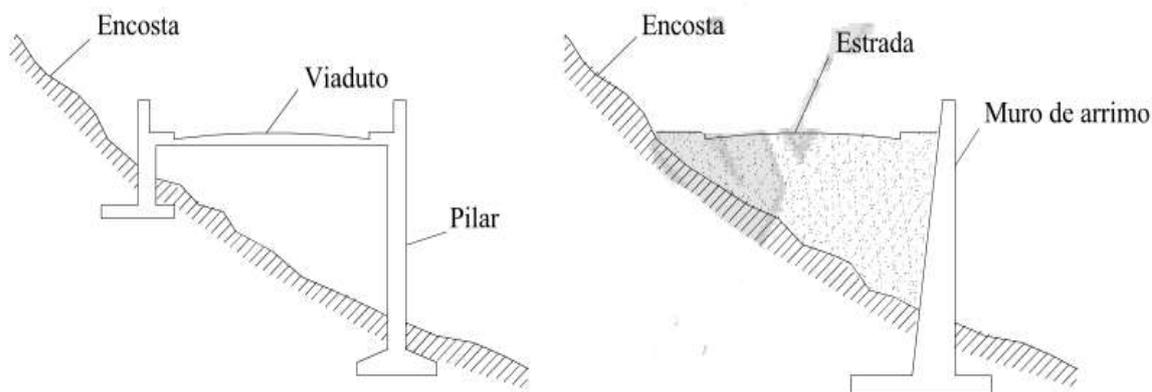
Figura 3 - Esquema ilustrativo de viaduto de acesso



Fonte: El Debs e Takeya (2003, p.3)

- **Viaduto de meia encosta:** Empregado nas encostas para minimizar a movimentação de solo e em encostas íngremes.

Figura 4 - Esquema ilustrativo de viaduto de encosta



Fonte: El Debs e Takeya (2003, p.3)

Ainda segundo El Debs e Takeya (2003), existe um tipo de construção que pode ser enquadrada como pontes que são as galerias. São obras parcialmente ou totalmente enterradas e fazem parte do sistema de drenagem das vias ou das passagens inferiores.

Vitório (2002) cita que esses tipos de obras podem ser realizados com os principais materiais estruturais, como, a alvenaria, madeira, concreto e aço.

A escolha do material implica e estará diretamente ligada com a capacidade, finalidade, qualidade, durabilidade, custo e entre outros.

No que diz respeito à composição estrutural das OAEs, a nomenclatura utilizada neste trabalho é a de El Debs e Takeya (2003, p.9) que desmembra os elementos em três grupos, tais como:

- Infraestrutura;
- Mesoestrutura;
- Superestrutura.

De acordo com o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), cada elemento da estrutura é projetado para resistir a combinações das três tensões básicas como: tração, compressão e força cortante.

Na Figura 5, demonstra-se a divisão dos elementos estruturais de meso e superestrutura que compõe um viaduto.

Figura 5 - Elementos Componentes de um Viaduto na BR - 376 – Apucarana/PR



Fonte: Diário de obras – BDO Engenharia Eireli (2019)

a) Infraestrutura: Recebem os esforços da mesoestrutura e transmitem eles ao solo (PFEIL, 1983). São classificados como infraestrutura de obras de arte especiais os blocos de fundação, conforme a Figura 5.

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1997, p.133), divide as fundações em superficiais e profundas, sendo isoladas ou corridas.

Caputo (1998, p.174), define as fundações superficiais como diretas ou rasas, quando as camadas do subsolo são capazes de suportar as cargas da estrutura.

Já as fundações profundas ou indiretas, quando as cargas são transmitidas para o solo através das estacas e tubulões. Pfeil (1983, p.45), descreve as estacas como elementos estruturais alongados, cravados por meio de golpes, vibração ou carga estática.

A Figura 6, mostra o processo de montagem de um bloco de fundação da Ponte sobre o Rio das Cinzas na Rodovia PR - 436 no município de Bandeirantes - PR, onde a armadura já foi posicionada e está sendo finalizada a montagem das formas para seguir a próxima etapa de concretagem.

Figura 6- Armadura de bloco de fundação da Ponte sobre o Rio Bandeirantes.



Fonte: Diário de obras – BDO Engenharia Eireli (2017)

b) Mesoestrutura: Recebem os esforços da superestrutura e conduzem para a infraestrutura, sendo constituída por pilares, aparelhos de apoios e encontros (PFEIL, 1983).

Para Leonhardt (1979), os pilares podem ser divididos em pilares-paredes e pilares comuns. Os pilares comuns podem ser considerados mais econômicos e não obstruem a visibilidade, porém sua esbelteza deve ser limitada para adequado controle da flambagem, já os pilares-parede estendem-se pela

largura total da superestrutura e são mais espessos, podendo ser de concreto simples, maciços armados ou vazados.

De acordo com Vitório (2002), os pilares ficam localizados a cada linha de apoio transversal do tabuleiro e o volume de material, formas e dimensões depende de diversas características como altura da obra, largura, superestrutura e tipo de fundação.

Figura 7 - Mesoestrutura Ponte sobre o Rio Bandeirantes



Fonte: Diário de obras – BDO Engenharia Eireli (2017)

A Figura 7 mostra a finalização dos encontros da Ponte sobre o Rio das Cinzas na Rodovia PR-436, podemos ver sobre os pilares as vigas travessas que são também conhecidas como vigas de apoio às longarinas.

Figura 8 –Execução dos pilares do Viaduto no km 239 da BR-163/PR



Fonte: Diário de obras – Castilho Engenharia e Empreendimentos S/A (2020)

Na Figura 8, pode-se observar a execução dos pilares de um viaduto no km 239, no trecho de Toledo a Marechal Cândido Rondon, na Rodovia BR-163/PR.

De acordo com El Debs e Takeya (2010), fazem parte da mesoestrutura os aparelhos de apoio, que são elementos colocados entre a infraestrutura e superestrutura e que tem por objetivo transmitir as reações de apoio e permitir movimentos da mesma.

I. Aparelhos de apoio

Conforme o catálogo da Rudloff (2015), os aparelhos de apoio são considerados elementos fundamentais para a movimentação natural que ocorre na estrutura, devido à retração e dilatação dos materiais utilizados, além de transmitir os esforços entre a superestrutura e a mesoestrutura.

Suas principais funções são:

- Transmitir as cargas da superestrutura à mesoestrutura ou infraestrutura;
- Permitir os movimentos da superestrutura, devido à expansão e retração da própria superestrutura provocado principalmente pela variação térmica;
- Permitir as rotações da superestrutura, devido deflexões provocadas pela carga permanente e cargas acidentais.

De acordo com El Debs e Takeya (2003), os aparelhos podem ser classificados em três tipos: articulações fixas, móveis e elásticas. As articulações fixas permitem movimentos de rotação e geram reações verticais e horizontais. As articulações móveis permitem rotação e translação gerando reações na vertical e as articulações elásticas permitem os dois movimentos e geram reações na vertical e horizontal.

As articulações fixas e móveis podem ser metálicas e de concreto e as elásticas de elastômero (neoprene), que de acordo com El Debs e Takeya (2003), é uma borracha sintética a base de policloropreno, que podem ser intercaladas chapas de aço de fretagem. Nesse caso, o aparelho de apoio é nomeado de neoprene fretado.

De acordo com o DNIT (092/2006), a Tabela 1 descreve os tipos de aparelhos de apoio.

Tabela 1 - Classificação dos tipos de aparelho de apoio.

Articulações de concreto	Articulação Freyssinet, possui uma redução de seção da peça a articular e possui em geral 2 cm de altura devendo trabalhar com tensões elevadas para atingir a plastificação.	Articulações Mesnager, transmitem os esforços por aderência por barras cruzadas ancoradas nos blocos a articular. Transmitem a força normal à cortante.
Articulações metálicas	Combinação de chapas e roletes metálicos permitem movimentos rotacionais e impossibilitando os movimentos longitudinais	
Aparelhos de apoio elastoméricos	Permitem movimentos de rotação e geram resistência à compressão normal na direção vertical.	

Fonte: Adaptado DNIT (092/2006).

Os aparelhos de apoio metálicos de acordo com Chimuaga (2015), são combinações de chapas e roletes metálicos e a sua manutenção e inspeção deve ser periódica devido ao risco de corrosão do metal. Cordeiro (2014) cita que outro tipo de aparelho metálico são os roletes ou esferas cilíndricas, que permitem movimentação tridimensional.

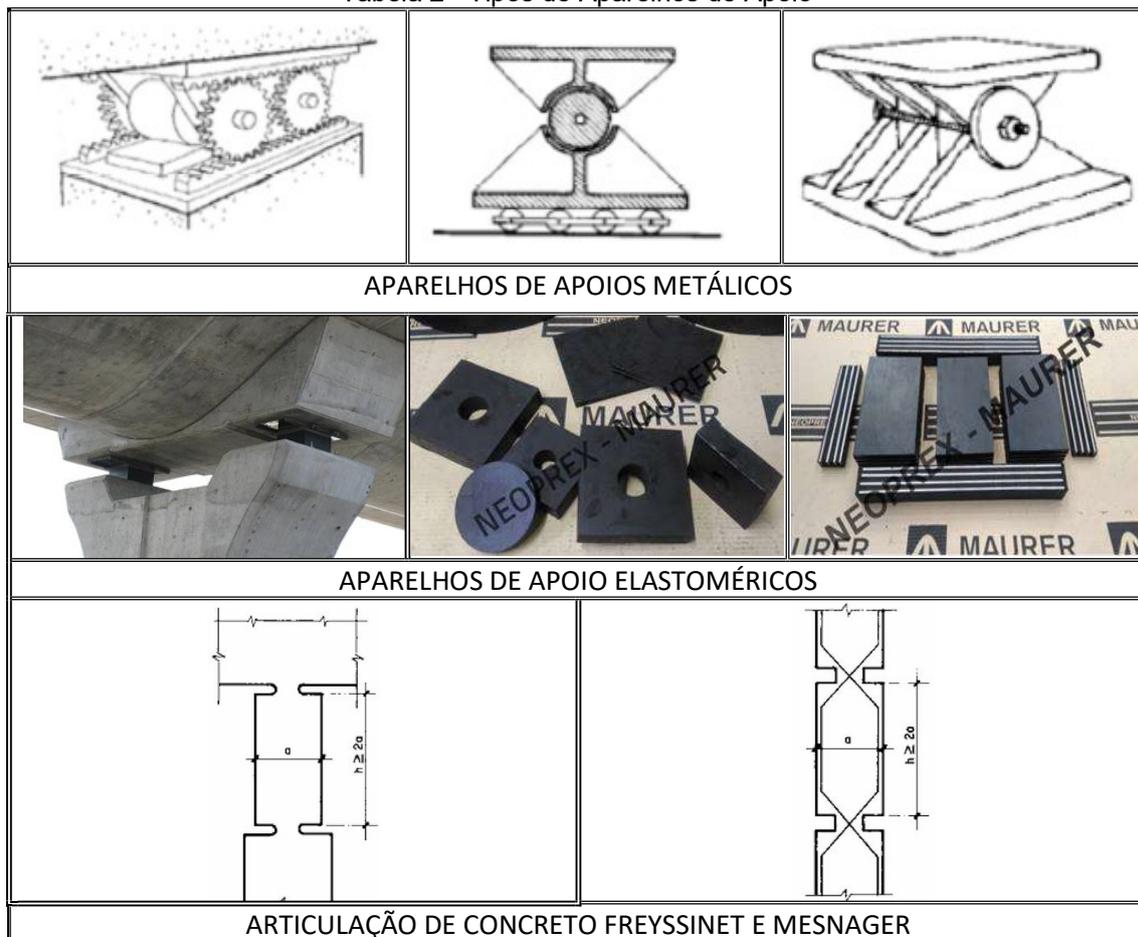
Já os aparelhos de apoio de concreto são construídos junto à própria estrutura e suportam maiores solicitações de esforços que os demais tipos de apoio, porém necessitam de maiores cuidados (MACHADO 2010).

A Norma DNIT-091-ES (2006), apresenta algumas desvantagens com relação ao uso de aparelhos de concreto e alguns cuidados necessários para a sua utilização e descreve que:

A articulação, permite uma reduzida rotação da superestrutura, deve ser mantida limpa e desimpedida de detritos; a articulação, se convenientemente executada, não se degrada, mas pode provocar fissuras, trincas e quebras de cantos de suportes mal dimensionados e com fretagem deficiente.

Os aparelhos de apoio com vinculações flexíveis de material elastomérico, são um tipo de material que não necessitam de tantas manutenções, mas necessitam de uma instalação correta para não acontecer cargas concentradas em determinados pontos, conforme o Ministério de Transporte – MT (2006). Na tabela 2 estão exemplificados os tipos de apoios.

Tabela 2 - Tipos de Aparelhos de Apoio



Fonte: El Debs e Takeya (2010) e Catálogo Uniontech (2016)

II. Encontros

Elementos que fazem parte da mesoestrutura são os encontros, que de acordo com Pfeil (1983), são elementos de transição entre a estrutura e o aterro, que suportam grandes esforços horizontais pela frenagem dos veículos. Na Figura 9 têm-se um exemplo de encontro em um viaduto, localizado no município de Espírito Santo do Turvo – SP.

Figura 9 - Vista encontro Viaduto Espírito Santo do Turvo/SP



Fonte: Diário de obras – BDO Engenharia Eireli

Superestrutura: De acordo com o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), é a parte que se utiliza para suportar o estrado e todas as cargas aplicadas nele, como as cargas móveis que atuam diretamente no estrado. Sua função principal é transferir essas cargas ao longo dos vãos até os apoios, as superestruturas podem ser definidas por meio da forma de transmissão das cargas, por: tração, flexão, compressão ou pela combinação dos três tipos de solicitações.

I. Tabuleiro

Segundo Pfeil (1983), a laje do tabuleiro é o elemento que recebe as cargas diretamente da pista de rolamento, como mostra a Figura 10, o tabuleiro da ponte rio Paraná. De acordo com Vitório (2002), tem-se utilizado regularmente as pré-lajes, que são apoiadas sobre as vigas principais e servem como forma, sem a necessidade de escoramento para a concretagem da laje.

Figura 10 – Tabuleiro Ponte Rio Paraná



Fonte: Acervo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2011)

II. Vigas do tabuleiro

As vigas principais e transversinas suportam as cargas atuantes sobre o tabuleiro que as transfere para os elementos da mesoestrutura.

De acordo com Leonhardt (1979), as vigas mais utilizadas nas Obras de Arte Especiais são as vigas de seção T, I e viga caixão. As vigas T e I, que possuem seção transversal apropriada para concreto armado ou protensão parcial para absorver os momentos fletores positivos.

Já as vigas de seção caixão, conforme O'Connor (1971), possuem grande resistência à torção, sendo utilizadas em estruturas curvas em planta e retas que possuem cargas excêntricas, auxiliando na distribuição efetiva da carga na direção transversal.

De acordo com O'Connor (1971, p.200):

A expressão “viga em caixão” pode ser aplicada a elementos com geometrias muito diferentes. Para que seja empregada corretamente, a seção transversal deve apresentar um contorno multiconexo, correspondendo a uma superfície exterior e, no mínimo, uma interior. Além disso, a expressão é usualmente limitada a situações em que a espessura é pequena, quando comparada com as dimensões principais da seção transversal.

As transversinas podem ser ou não ligadas na laje, com a função principal de contraventamento das vigas longarinas, além de auxiliar nas distribuições de cargas do tabuleiro até as vigas principais (VITÓRIO, 2002). De acordo com Leonhardt (1979), podem ser divididas em três tipos, tais como, entrada, apoio e meio de vão, cada um desempenhando uma função diferente na superestrutura.

Transversinas de apoio são elementos que absorvem os esforços do vento e enrijecimento à torção das vigas longarinas. Nesse tipo de transversina segundo Leonhardt (1979), a alma da transversina é apoiada em toda a largura das vigas principais e as transversinas de meio de vão, ainda seguindo Leonhardt, são dispostas no meio do vão para possuir melhor distribuição de carga e são mais utilizadas quando a estrutura possui mais de duas vigas principais que realizam a transferência das cargas.

Na Figura 11 pode-se ver as vigas longarinas e juntamente com a instalação da pré-laje do Viaduto Costa e Silva, localizado na entre a Rodovia BR - 277 e a Av. Costa e Silva, em Foz do Iguaçu – PR.

Figura 11- Vigas longarinas do Viaduto da BR-277



Fonte: Diário de obras – Castilho Engenharia e Empreendimentos S/A (2019)

III. Pré-Lajes

De acordo com Diniz (2006), o uso de pré-lajes complementa a superestrutura, além de ser uma das principais soluções em estruturas de concreto pré-moldado. El Debs (1992), diz que geralmente as pré-lajes

posicionadas entre as vigas longarinas servem de forma para o concreto moldado no local, dispensando o uso e custo de formas e cimbramentos. Esse sistema promove uma ligação entre os elementos pré-moldados e a estrutura moldada no local, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Pré-lajes Ponte sobre o Rio das Cinzas



Fonte: Diário de obras – BDO Engenharia Eireli (2018)

IV. Barreiras de proteção

Impedem a saída dos veículos da pista de rolamento, sendo metálicas ou de concreto armado (PFEIL, 1983). São dimensionados para conter o impacto de um veículo desgovernado.

De acordo com a especificação técnica do Departamento de Estradas e Rodagem – DER esses dispositivos podem ser chamados de barreira rígida tipo New Jersey, barreiras flexíveis e guarda-corpos, como demonstrando a Figura 13.

Figura 13 – Barreira New Jersey executada no Viaduto Costa e Silva na BR-277



Fonte: Diário de obras – Castilho Engenharia e Empreendimentos S/A (2019)

V. Cortinas e Alas

Vitório (2002), define a função das alas e cortinas como elementos para melhorar as condições de contenção lateral dos aterros. Também podem ser chamadas de transversinas de entrada. Pfeil (1983), define as transversinas de entrada como cortinas projetadas para conter o aterro e ser apoio para a laje, possuindo a largura da ponte. Na figura 14 pode-se ver as alas concretadas de uma ponte em concreto armado.

Figura 14 - Ala Ponte sobre o Rio das Cinzas em Bandeirantes



Fonte: Diário de obras – BDO Engenharia Eireli (2018)

VI. Laje de transição

Faz a ligação entre o tabuleiro e o terrapleno, possuiu a largura igual à do tabuleiro e um comprimento mínimo recomendado de 4 metros. Vitória (2002), define que as lajes de transição amenizam a diferença do nível entre o aterro e as cabeceiras da obra de arte especiais, promovendo entradas mais suaves dos veículos na OAE.

Segundo Briaud et al (1997), a função das lajes de transição é:

- Cobrir o vazio que se pode desenvolver por baixo da laje;
- Prevenir a deflexão da laje, que poderá resultar em assentamentos perto do encontro;
- Atenuar o assentamento diferencial entre o aterro e o encontro, essa função é afetada pelo comprimento da laje de transição e pelo assentamento diferencial;
- Fornecer uma melhor selagem contra a percolação da água e contra a erosão do aterro.

VII. Juntas de dilatação

De acordo com Lima (2006), as juntas são elementos deformáveis que ficam localizados entre o tabuleiro e o encontro ou entre dois tabuleiros. Tem como principal função permitir movimentos de: retração ou fluência, oriundos da variação de temperatura, ação de arranque e frenagem, força do vento e força centrífuga, entre as duas partes da estrutura mantendo as mesmas em segurança e garantindo a durabilidade da estrutura.

“A junta de dilatação é uma separação física entre duas partes de uma estrutura, para que estas partes possam se movimentar sem transmissão de esforço entre elas. As juntas de dilatação devem garantir a transição suave entre os acessos e a ponte e também entre os trechos por ela divididos”. (NORMA DNIT 092/2006 – ES, p. 02).

A empresa Uniontech, especializada na fabricação das juntas de dilatação, informa em seu Manual Técnico (2016) que as juntas nas estruturas de obras de arte especiais estão em trabalho constante de movimentação,

retração e dilatação. Com base neste fator, os materiais utilizados para a fabricação das juntas devem possuir boa elasticidade.

VIII. Juntas abertas

De acordo com Ferreira (2013), o vão entre duas vigas em estrutura são definidas como juntas abertas, nesse tipo de junta ocorre a passagem de detritos e água, comprometendo a durabilidade dos apoios e, junto com impacto das rodas dos veículos nos cantos das juntas, reduz a vida útil do material.

Juntas dentadas são chapas metálicas fixadas em cada lado das duas estruturas, funcionando como consola, na outra extremidade da junta existem saliências que se encaixam umas nas outras de acordo com a retração e dilatação da estrutura. De acordo com Pinho (2011), é utilizado em estrutura com tráfego pesado e extensas, proporcionam movimentações de até 500 mm.

IX. Juntas Fechadas

De acordo com o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), as juntas fechadas são projetadas com a finalidade de impedir a passagem de detritos e águas, podendo ser elastoméricas, asfálticas ou de betume.

Juntas elastoméricas de compressão, conforme Pinho (2011), são definidas como um perfil contínuo e alveolar de borracha natural ou neoprene, fixados por cantoneiras ou blocos de concreto. Utilizadas em vários tipos de estruturas por permitir movimentações de 15mm a 50mm.

Juntas asfálticas, de acordo com Lima (2009), são as juntas utilizadas em tabuleiros de pequenas dimensões, pois sua movimentação é apenas de 10 mm. São placas metálicas apoiadas entre os dois trechos da estrutura e são utilizadas mantas de geotêxtil para evitar fissuras no pavimento.

Juntas de betume modificado de acordo com Lima e Brito (2009), são utilizadas em estruturas de pequenas dimensões por permitir 25 mm de movimentação, nesse tipo de junta são adicionados elastômeros e agregados

siliciosos ou basálticos no asfalto para garantir flexibilidade prolongando a vida útil da junta.

Juntas de elastômero com chapas metálicas segundo Pinho (2011, pg.18), é:

Conhecida como juntas do tipo Transflex, são constituídas por módulos elastômero e chapas de aço dispostas em planos horizontais. Esses módulos têm recortes que permitam a deformação da junta. As chapas metálicas (fretagens) conferem à junta a rigidez e a resistência necessárias a transmissão das cargas do tráfego.

São utilizadas em estruturas que necessitam de grandes movimentações e possuem um alto custo. (DNIT 092/2009 – ES).

Junta tipo Jeene conforme o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), é um tipo de junta constituída por uma câmara elástica de elastômero, policloropreno ou neoprene que possuiu diversas cavidades conforme a movimentação desejada, adesivo epóxi e pressurização e nucleação que ajuda a garantir a aderência da junta e o adesivo contra as paredes. A Tabela 3 exemplifica os tipos de juntas utilizadas em obras de arte especiais:

Tabela 3 - Tipos de Juntas

		
Juntas JEENE	Juntas Elastômero com chapas metálicas	Juntas asfálticas
		
Juntas de Betume	Juntas de Compressão	Juntas dentadas

Fonte: Catálogo Uniontech; Acervo VOS Obras e Serviços (2015); Acervo MOTAENGIL Engenharia; LIMA (2009); Catálogo Transflex e Catálogo JEENE; SICRO DNIT

De acordo com Leonhardt (1979) e El Debs e Takeya (2003), existem outros elementos que são encontrados nas seções transversais e longitudinais, sendo relacionados na Tabela 4.

Tabela 4 - Elementos e dimensões constituintes das OAEs

Elemento ou dimensão	Descrição
Pista de rolamento	Largura disponível para o tráfego normal de veículos ou pedestres que pode ser subdividido em faixas.
Acostamento	Largura adicional à pista de rolamento utilizada em casos de emergência pelos veículos.
Defensa	Elemento de proteção aos veículos, paralelo ao acostamento.
Passeio	Largura adicional destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres.
Guarda-roda	Elemento destinado a impedir a invasão dos veículos no passeio.
Guarda-corpo	Elemento de proteção aos pedestres.
Viga principal ou Longarina	Elemento destinado a vencer o obstáculo.
Viga secundária	Elemento transversal às vigas principais, destinado a evitar efeitos secundários das vigas principais e redistribuir os esforços.
Tabuleiro	Elemento de placa destinado a receber as ações diretas dos veículos e pedestres.
Comprimento da ponte ou vão total	Distância medida horizontalmente segundo o eixo longitudinal, entre as seções extremas da ponte.
Vão, vão teórico ou tramo	Distância medida horizontalmente entre os eixos de dois suportes consecutivos.
Vão livre	Distância entre faces de dois suportes consecutivos.
Altura da construção	Distância entre o ponto mais baixo e o mais alto da superestrutura.
Altura livre	Distância entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais alto do obstáculo. Pode variar conforme os dados hidrológicos no caso de o obstáculo ser um rio ou canal.

Fonte: Adaptado de El Debs e Takeya (2003)

2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS OAEs

A classificação das Obras de Pontes e Viadutos pode seguir diferentes critérios conforme os autores como Leonhardt (1979) e El Debs e Takeya (2003), sendo elas, de natureza de tráfego, materiais e dimensões da estrutura, posição do tabuleiro, processo construtivo, vida útil ou período de utilização e de acordo com as cargas móveis.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR-7188/13) classifica as obras conforme o seu carregamento, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Carregamento para classes de pontes

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

Fonte: Adaptado da ABNT (NBR 7188:2013 p2)

a) Marchetti (2013), classifica quanto a sua finalidade ou natureza do tráfego: Rodoviárias, para pedestres, aqueduto, mistas, ferroviárias, canal e aeroviárias.

b) Quanto aos materiais empregados VITÓRIO (2002, p.10) apresenta as seguintes possibilidades:

- **Madeira:** as primeiras obras com madeira foram realizadas entre o século XVI e início de XIX. Com o tempo foram sendo substituídas e atualmente a madeira é utilizada na construção de pontilhões para travessia de riachos e córregos;

- **Pedra:** foram muito utilizadas no início das construções de pontes pelos etruscos e adaptadas pelos romanos. No Brasil, as primeiras pontes de madeira foram construídas entre 1850 e 1970 em Minas Gerais. Com o tempo a utilização da pedra foi adaptada e continua sendo um bom material de construção devido a sua resistência;

- **Metálica:** Surgiram no final do século XVIII, com o surgimento das ferrovias se tornou muito necessária em obras para suportar grandes cargas. Em 1883 começa o período da execução de grandes pontes pênseis e em treliças metálicas. Depois da revolução industrial e da segunda guerra mundial as pontes em aço estrutural começaram a ser utilizadas em grande escala;

- **Concreto armado:** As primeiras obras surgiram no final do século XIX na França, eram utilizados abóboda e arcos como forma de vencer grandes vãos. Desde então, a utilização de concreto armado vem crescendo em grade escala se tornando um dos principais materiais na construção e alcançando alto nível de qualidade e aprimoramento tecnológico;

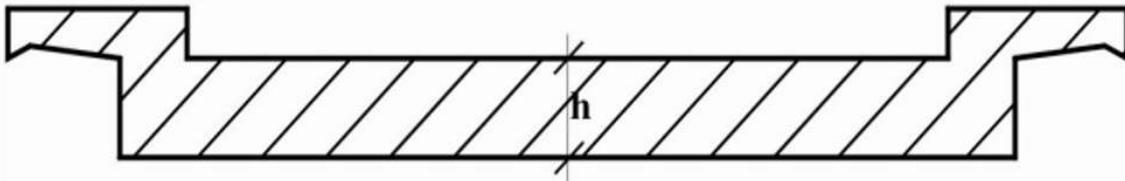
- **Concreto protendido:** Surgiu na Alemanha depois da segunda guerra mundial, pois precisavam construir as estruturas de forma rápida e seu desenvolvimento se deve ao engenheiro francês Eugéne Freyssinet. No Brasil, as primeiras obras em concreto protendido se começam em 1948 com até 250 metros em vão. Atualmente o uso desse material é um dos mais utilizados em pontes rodoviárias por uma série de vantagens;

- **Pré-moldadas:** no Brasil, a utilização de concreto pré-moldado se limita em alguns elementos da superestrutura como as vigas longarinas, placas pré-moldadas ou pré-lajes e também as estacas pré-moldadas na fundação.

c) Quanto ao sistema estrutural VITÓRIO (2002, p.12) define as principais:

A superestrutura com laje maciça é um sistema estrutural sem qualquer tipo de vigamento, uma solução muito útil e adotada para vencer pequenos vãos, conforme a Figura 15. Possui grande resistência e tração, fissuramento, porém elevado peso próprio.

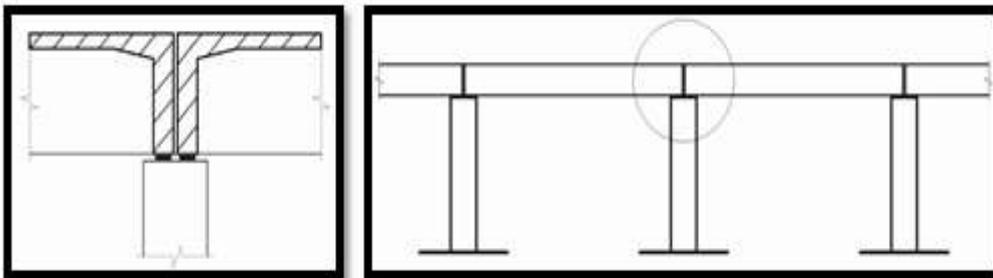
Figura 15- Seção transversal de obra em laje maciça



Fonte: Afonso Vitório (2002, p.12)

A Figura 16 ilustra vigas simplesmente apoiadas que são consideradas um sistema estrutural estaticamente determinado, sua seção é constantemente variável e possui uma grande facilidade de execução e da economia.

Figura 16 – Seção longitudinal de obras em vigas simplesmente apoiadas com vários vãos



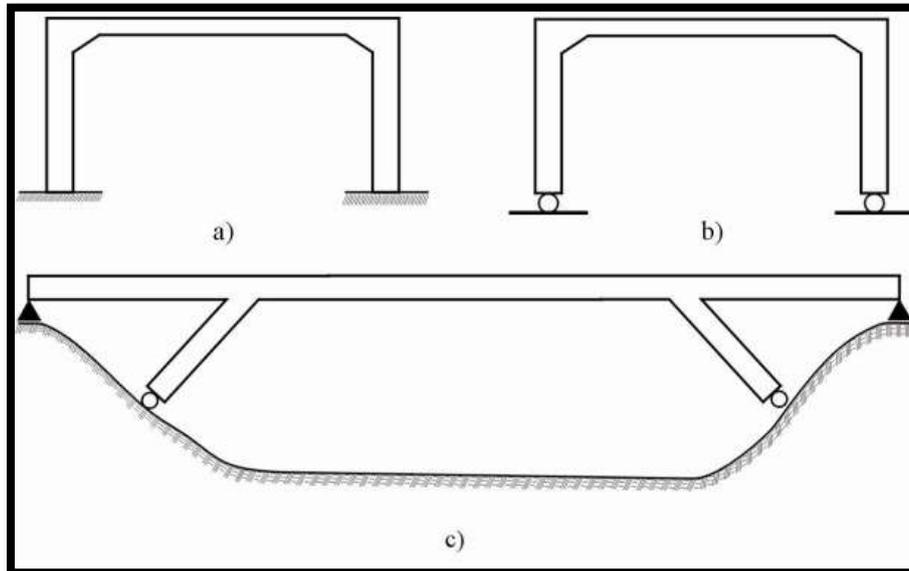
Fonte: Afonso Vitório (2002, p.13)

As vigas contínuas são muito utilizadas pois possuem uma vantagem de ordem estética, funcional e estrutural. As vigas contínuas podem ter inércia constante em caso de vãos pequenos e inércia variável em casos de grandes vãos, permitindo uma boa distribuição dos esforços solicitantes.

Os pórticos são formados pela ligação das vigas com os pilares ou com as paredes dos encontros, sendo a continuidade entre os elementos, substituindo as articulações. Os mais utilizados são os biengastados e

biarticulados. Conforme mostra a Figura 17 – a) biengastados, b) biarticulados e c) biarticulados com montantes inclinados.

Figura 17 - Esquemas de obras em pórticos



Fonte: Afonso Vitório (2002, p.15)

Os arcos eram utilizados nas primeiras obras como a única alternativa de vencer grandes vãos, pois existia uma grande dificuldade na execução de apoios intermediários e escoramentos sobre a água.

Pontes Pênseis são obras construídas por cabos dispostos de forma parabólica e pendurais verticais, executadas em grande parte com vigamentos metálicos suspensos em cabos de aço.

Pontes Estaiadas consistem em um tabuleiro suspenso por cabos inclinados e fixados em torres, geralmente constituídos de elementos metálicos ou concreto protendido.

2.2.1 Vinculações típicas de OAEs em vigas

El Debs e Takeya (2010) classificam quatro tipos de vinculações típicas para obras em vigas, sendo elas: vigas simplesmente apoiadas sem balanço, com balanço, contínuas e Gerber.

I. Vigas simplesmente apoiadas sem balanço: esse tipo de estrutura se limita ao tamanho do vão, por existir poucas alternativas de

distribuição dos esforços, de acordo com El Debs e Takeya (2010), podem ser usadas com um tramo único ou sucessão de tramos. Os vãos utilizados nesse tipo de estrutura não ultrapassam 50 metros e o seu processo construtivo são em vigas pré-moldadas.

II. Vigas simplesmente apoiadas com balanços: possui uma melhor distribuição dos esforços solicitantes, pois ao inserir o momento negativo nos apoios ocorrerá uma diminuição do momento positivo no meio do vão conforme El Debs e Takeya (2010).

III. Vigas contínuas: Ferreira (2015), define esse tipo de estrutura como uma maior capacidade de redistribuir os esforços em caso de sobrecargas. Esse tipo de viga pode ser utilizado quando o vão da ponte pode ser dividido em vãos parciais, onde os momentos fletores sejam aproximadamente iguais ocasionando em uma melhor distribuição dos esforços solicitantes.

IV. Vigas Gerber: de acordo com El Debs e Takeya (2010), as vigas gerber são vigas que possuem articulações que tornam a estrutura isostática, onde não receberá esforços adicionais dos recalques diferenciais dos apoios, além de possibilitar diversas alternativas construtivas.

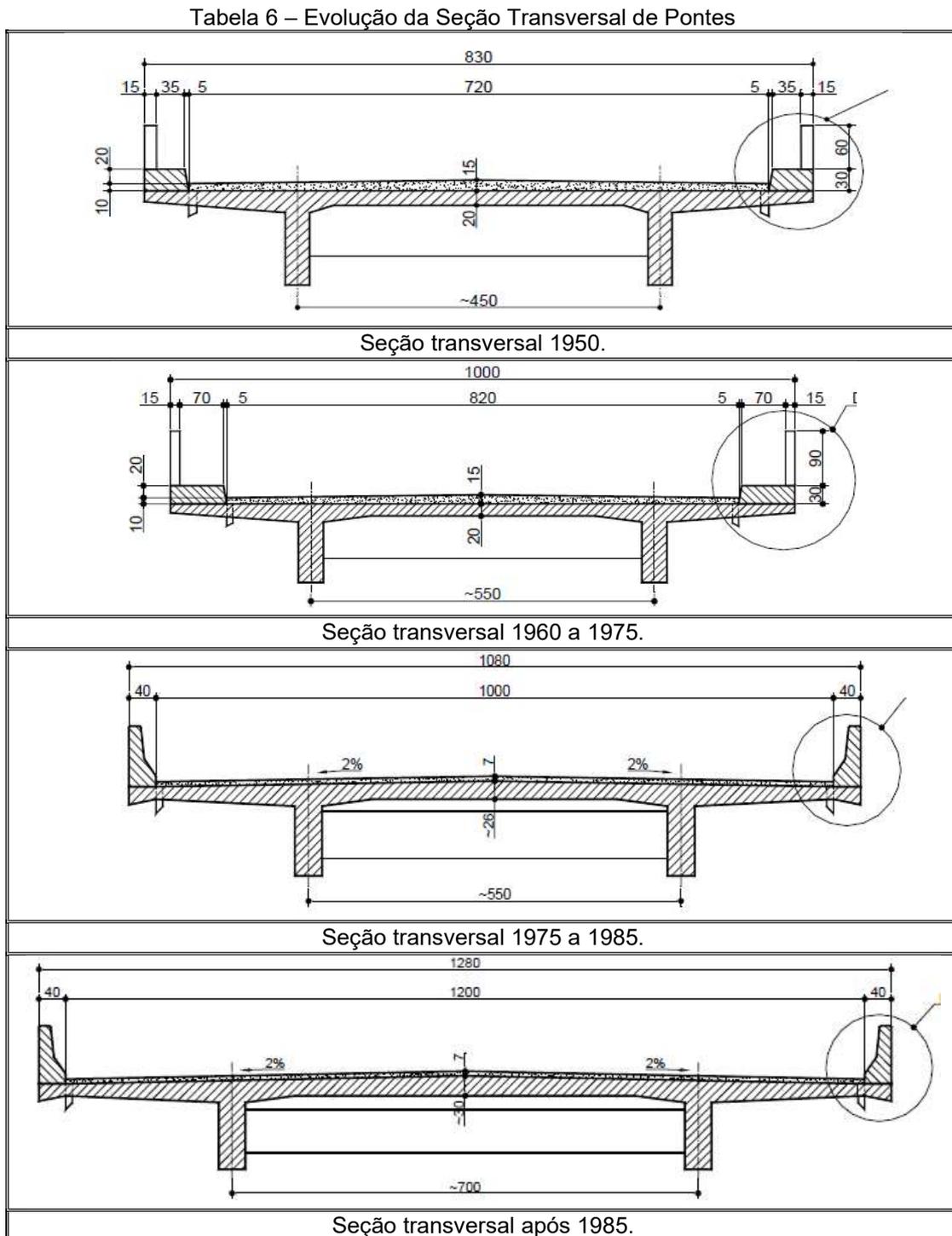
2.2.2 Histórico das Obras de Arte Especiais no Brasil

O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (2004, p.23) descreve que a malha rodoviária federal foi implantada na década de 40, junto com a implantação das Normas Brasileiras para cálculo de estruturas de concreto armado. Essa norma abrange obras com diferentes geometrias transversais, calculadas para solicitações provocadas por diferentes carregamentos e dimensionadas e detalhadas segundo critérios vigentes nas épocas dos projetos.

De 1950 à 1960, de acordo com o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias as obras projetadas tinham largura de 8,30 m e as cargas móveis consideradas eram de 450 kgf/m². Desde 1950 a largura e as cargas móveis das estruturas começaram a aumentar, devido a evolução das técnicas de construção, com as exigências cada vez maiores do tráfego, surgindo, então, a necessidade de serem construídas obras-de-arte de boa aparência e integradas

no meio ambiente. Para isso, tornou-se necessário a elaboração do projeto geométrico da rodovia, onde se define previamente o traçado da rodovia, em planta e perfil, documento esse que passou a comandar os projetos de obras-de-arte especiais.

Na tabela 6 pode-se ver a evolução da seção transversal das pontes ao longo do tempo.



Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (2004)

2.3 CONCEITOS RELACIONADOS À PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

De acordo com Padrão (2004), a palavra patologia é de origem grega (páthos, doença, e lógos, estudo), sendo amplamente utilizada nas diversas áreas da ciência, com denominações do objeto de estudo que variam de acordo com o ramo de atividade. Assim como os pacientes na Medicina, as edificações também podem apresentar “doenças”, como trincas, manchas, rupturas, corrosões, fissuras, entre outras (IANTAS, 2010).

O termo patologia na construção civil é a ciência que estuda os problemas construtivos que surgem nas estruturas, depois da sua execução, tais como enfermidades, falhas e defeitos, que podem acabar comprometendo sua funcionalidade (MEDEIROS, 2010).

Para entendimento da patologia das construções é necessário conhecer as etapas de estudo dessa ciência, pois as manifestações patológicas podem ser classificadas como os que afetam as condições de segurança da estrutura, como por exemplo fissuras de grandes aberturas onde se é possível visualizar a armadura e as que comprometem somente as condições de higiene e estética, como lixiviação e eflorescência no concreto (HELENE, 1992).

De acordo com Do Carmo (2003):

O conhecimento da causa que gerou o problema é importante para que se possa prescrever a terapêutica adequada para o problema em questão, uma vez que se tratarmos os sintomas sem eliminar a causa, o problema tende a se manifestar novamente (DO CARMO, 2003, p. 11).

Os problemas patológicos podem ser provocados geralmente pela ação de agentes agressivos, os quais as estruturas não são capazes de se adaptar (HELENE, 1992).

Ainda segundo Do Carmo (2003), uma forma de compreender o problema é através da anamnese que consiste em realizar um levantamento histórico da construção, dos profissionais que estiveram envolvidos no projeto e execução, usuários ou proprietários, sendo assim uma prévia do que será encontrado no diagnóstico.

Do Carmo (2003) ainda ressalta que a vistoria ao local afetado é a primeira etapa para o levantamento e avaliação. Através de um olhar profissional, faz-se uma determinação do nível de agravos à estrutura em questão e se a mesma apresenta níveis de desempenho aceitáveis e que não ponha em risco a segurança dos usuários. (DO CARMO, 2003, p. 10).

Considera-se que uma anomalia é um determinado problema construtivo, que altera e afeta o comportamento de um edifício, e o impede de desempenhar determinadas funções (PADRÃO, 2004).

Através dos sintomas, mecanismos, causas e origens dos defeitos que ocorrem nas estruturas, podem-se diagnosticar o que está acontecendo com a mesma, uma vez que as manifestações patológicas possuem caráter evolutivo a partir do seu aparecimento na estrutura, como por exemplo fissuras que dependendo da sua causa e se não tratadas, podem aumentar a abertura e comprometer a estrutura (CÁNOVAS, 1988).

O termo diagnóstico no ramo da engenharia é definido como o entendimento dos fenômenos, trata-se das múltiplas relações de causa e efeito e entendimento dos principais motivos de ocorrência a partir de dados conhecidos, tentando-se determinar a possível origem do problema através de seus efeitos (DO CARMO, 2003).

Para se diagnosticar uma patologia é necessário definir as causas dos mecanismos que levaram a sua formação, sendo o mecanismo um processo através do qual a manifestação patológica se origina e se desenvolve. Neste sentido, “conhecer o mecanismo do problema é fundamental para uma terapêutica adequada” (HELENE, 1992, p. 20).

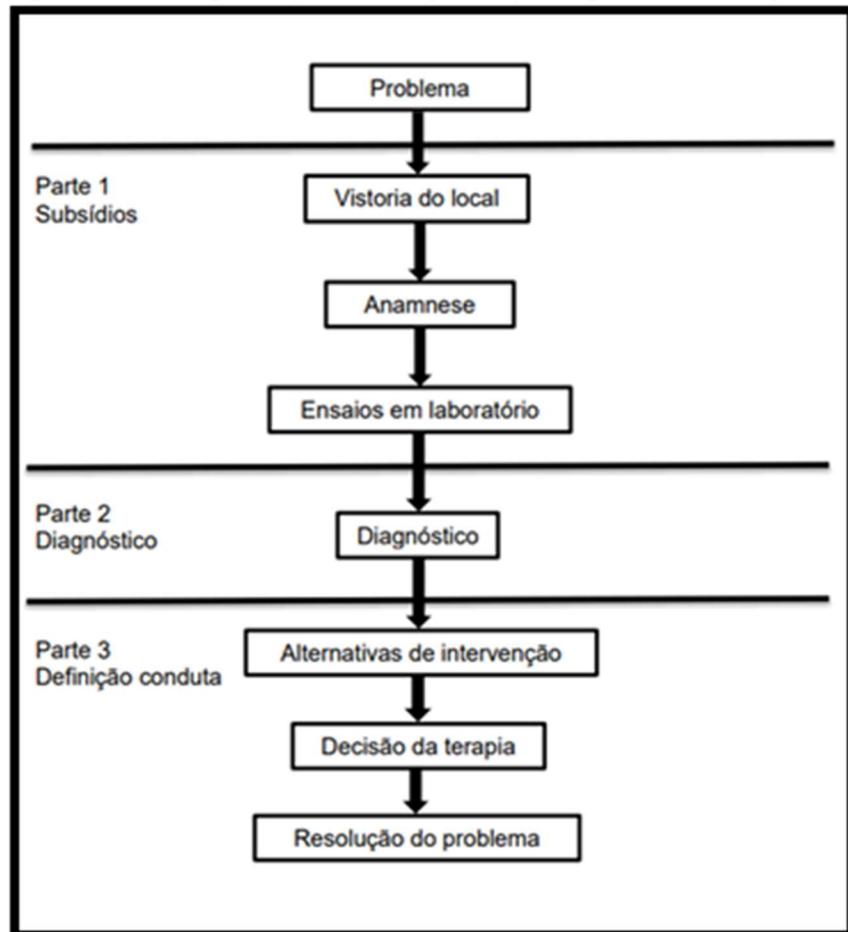
De acordo com o Boletim Técnico 01 - Inspeção, diagnóstico e prognóstico na construção civil da ALCONPAT⁸, depois de estabelecido o diagnóstico da enfermidade em questão, passa-se para a definição da conduta a ser seguida. Porém, antes que se tome qualquer atitude, é necessário que seja feito um levantamento das hipóteses de evolução do problema, isto é, o prognóstico do caso.

⁸ Associação Brasileira de Patologia das Construções (ALCONPAT).

A terapia deve ter como parâmetros a especificação do desempenho pretendido e o nível de qualidade exigido para a intervenção, a melhor alternativa é a que apresenta os níveis de desempenho e qualidade exigidos a um menor custo. Para se ter uma análise dos custos deve-se levar em consideração a quantidade de dinheiro a ser aplicado até o fim da vida útil da edificação, pois alguns procedimentos não cumprem os requisitos de desempenho desejados durante muito tempo (DO CARMO, 2003).

Na Figura 18, está representado um fluxograma que busca demonstrar as etapas para a resolução de patologias na construção civil, tendo como ponto de partida a identificação do problema.

Figura 18 - Fluxograma para resolução de patologias da construção civil



Fonte: Lichtenstein, (1985)

2.3.1 Origem e causa das manifestações patológicas

Segundo Souza e Ripper (1998), a origem das manifestações patológicas de maneira geral indica que há falhas durante a execução da obra e no controle de qualidade de uma ou mais etapas do processo de construção civil.

É fundamental ter conhecimento sobre as causas e origens do processo patológico, para que se possa identificar e solucionar essas manifestações através de terapia adequada, como também para assegurar que, depois de reparada, a estrutura não volte a se deteriorar (SOUZA; RIPPER, 1998).

Para Grandiski (1995), a origem das manifestações patológicas nas construções podem ser classificar em três grupos:

I – Origem Exógena: causada por fatores com origem produzida fora da obra, tais como, vibrações provocadas por estaqueamento ou máquinas, ou tráfego externo, escavação de obras vizinhas, rebaixo do nível freático, entre outros.

II – Origem Endógena: causada por fatores com origem na própria estrutura, tais como, falhas de projetos, falha de gerenciamento e execução, falhas de utilização, deteriorização da estrutura por conta do esgotamento de sua vida útil.

III – Origem Natural: causada por fatores com falhas previsíveis ou imprevisíveis, tais como, ação dos ventos, terremotos, inundações provocadas por chuva ou neve, variações de temperaturas, entre outros.

De acordo com Iantas (2010), a maioria das manifestações patológicas ocorrem pelo fato que os cuidados necessários com as estruturas são ignorados durante a fase de planejamento, projeto, execução e uso, portanto por falta dos mesmos ocorre o surgimento de patologias.

Os fenômenos que causam as manifestações patológicas podem ser:

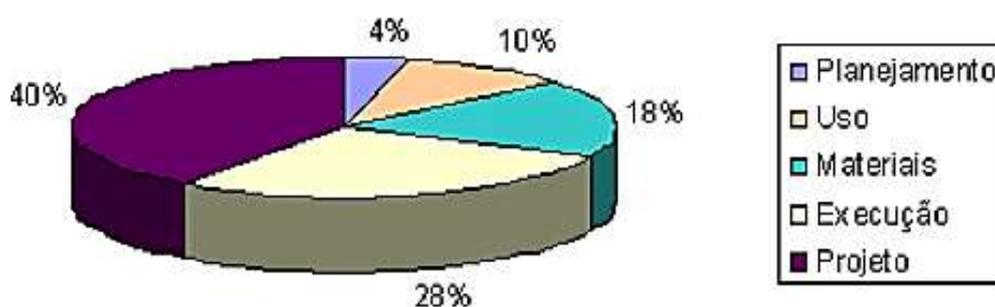
- Agentes biológicos;
- Variações térmicas intrínsecas e extrínsecas;
- Agentes atmosféricos;
- Variação de umidade;
- Incompatibilidade de materiais, entre outros.

Os fenômenos patológicos podem ocorrer por diversas causas, desde o envelhecimento natural da estrutura, acidentes, negligência de profissionais e

usuários que optam pela utilização de materiais fora das especificações recomendadas e também pela falta de manutenção correta da estrutura, muitas vezes por razões econômicas, dentre outras (RIPPER; SOUZA, 1998).

Para Helene e Figueiredo (2003), as manifestações patológicas em edificações se originam na maioria das vezes nas fases de projeto e do planejamento, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Origem dos problemas patológicos



Fonte: Adaptado de HELENE & FIGUEIREDO, (2003)

Conforme pode ser observado na figura 18 constata-se que a falta de planejamento aliado ao baixo controle de qualidade na execução, a mão de obra desqualificada e a utilização de materiais de baixa qualidade, somados a ausência de manutenção periódica, tem sido as principais causas das patologias nas estruturas (IANTAS 2010).

Do Carmo (2003), refere-se à origem das manifestações patológicas, como uma falha ou erro que ocorre em alguma etapa do projeto, podendo ser durante a execução, fabricação das matérias-primas, planejamento, projeto e uso.

2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

As estruturas de concreto têm sua durabilidade afetada quando não realizada manutenção, pois se deterioram com o passar do tempo e não alcançam sua vida útil se não são bem projetadas, executadas com esmero,

utilizadas com critério e, finalmente, submetidas a uma manutenção preventiva (SOUZA e RIPPER, 1998). Devido a diversos fatores, o estudo de manifestações patológicas na construção civil vem obtendo patamares muito grandes, pelo fato que antigamente existia a ideia de que as construções durariam para sempre.

O cenário atual da construção civil mostra situações frequentes que envolvem o mau uso de materiais, erro de projeto, erro de execução e muitas vezes negligência em relação a construções de OAE. A garantia de segurança e altos orçamentos em relação a manutenção e recuperação estrutural tornam a necessidade de minimização das manifestações patológicas que possam surgir sobre uma estrutura. O conceito da Lei de Sitter⁹ diz que uma medida preventiva tomada durante alguma etapa do projeto e execução pode evitar um custo 5 vezes maior se eventualmente for necessária a execução de uma medida preventiva durante o uso da estrutura.

As patologias podem variar em intensidade e incidência, gerando alto custo para restauração, segundo Helene (1992), dessa forma quando ocorre o comprometimento da estética e diminuição da capacidade resistente e em alguns casos a única solução é a demolição parcial ou total da estrutura.

A ABNT NBR 6118:2014, no item 6.2.1, define que a vida útil de um projeto é o período de tempo que se mantém a característica da estrutura de concreto, sendo atendido os requisitos de uso e manutenção estabelecidos pelo construtor e projetista e as disposições de execução dos reparos necessários para os danos acidentais adquiridos ao longo dos anos. O material atinge sua vida útil quando suas propriedades deterioram a certo ponto que não é possível continuar com o uso do mesmo, sendo considerado inseguro.

2.4.1 Principais Manifestações Patológicas em Pontes e Viadutos de Concreto Armado

O concreto armado está sujeito a alterações ao longo do tempo, em função de interações entre os elementos que o constituem (cimento, areia, brita,

⁹ Lei de Sitter – Também conhecida como Lei dos Cinco é utilizada para interpretar a evolução da manutenção dos custos de maneira progressiva em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção é feita.

água e aço), com os aditivos e com agentes externos, como ácidos, bases, sais, gases, vapores e micro-organismos. Muitas vezes, dessas interações resultam anomalias que podem comprometer o desempenho da estrutura, provocar efeitos estéticos indesejáveis ou causar desconforto psicológico nos usuários (PIANCASTELLI, ÉLVIO, 1997).

As manifestações patológicas verificadas em pontes e viadutos têm natureza variada e, quando não tratadas adequadamente, comprometem a funcionalidade da estrutura. Uma possível explicação para o desenvolvimento de patologias em uma estrutura é ocorrência de falhas e incorreções em uma das etapas de construção (LOURENÇO, 2007).

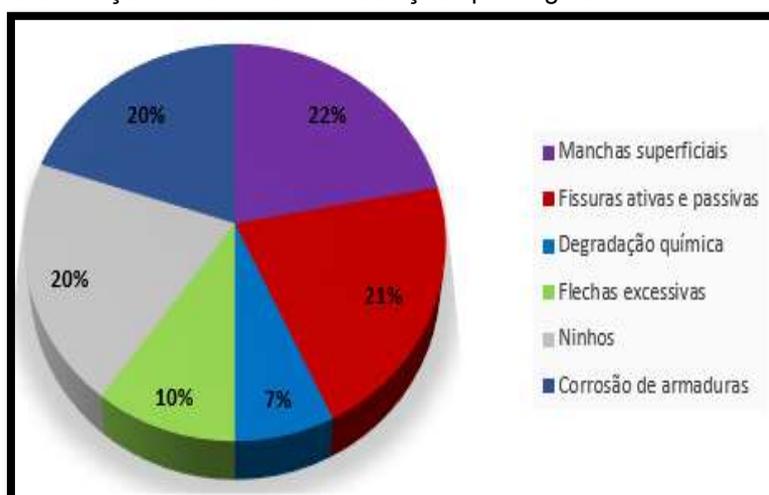
Segundo DNIT (2010), as principais causas que provocam a deterioração de pontes, podem ser classificadas em cinco fatores:

- **Fatores intrínsecos:** Esses fatores estão relacionados a estrutura, ou seja, a estrutura está sujeita a danos e degradação. Os principais fatores intrínsecos são a idade e a qualidade do concreto.
- **Fatores resultantes do tráfego rodoviário:** Os fatores resultantes do tráfego rodoviário estão ligados com o meio externo e ocorrem através da utilização da estrutura. As cargas que as pontes estão sujeitas provocam vários efeitos negativos, tais como: desgaste da pavimentação e juntas de dilatação, aumento da fadiga e fissuração da estrutura.
- **Fatores ambientais:** As variações climáticas e atmosféricas causam os fatores ambientais. Chuvas ácidas, tempestades, pressão do vento são exemplos desses fatores, que são independentes da ação humana, e podem causar danos tanto nas superestruturas como nas infraestruturas.
- **Fatores resultantes do tipo e intensidade da manutenção:** Ainda que a estrutura tenha sido projetada e construída com materiais e equipamentos adequados, a falta de manutenção influencia diretamente na durabilidade das pontes. A manutenção preventiva ou corretiva, com limpeza, proteção anticorrosiva e medidas de conservação, irá assegurar estrutura em estado conservado.

- **Fatores correlacionados à atividade humana:** Esses fatores podem ser divididos em: fatores objetivos, que independem do domínio e atividade humana; e fatores subjetivos: que dependem da atividade humana.

A Figura 20 a seguir ilustra a distribuição relativa de manifestações patológicas que as estruturas de concreto armado estão sujeitas (HELENE 1988).

Figura 20 - Distribuição relativa de manifestações patológicas em estruturas de concreto



Fonte: Adaptado de HELENE (1992)

Souza e Ripper (1998), afirma que é de extrema importância buscar conhecer o motivo do surgimento e desenvolvimento das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, para assim averiguar e encontrar uma possível solução para sanar o problema.

2.4.1.1 Fissuras e Trincas

Segundo Oliveira (2012), as trincas e fissuras são manifestações patológicas mais comuns em vigas, pilares, lajes e entre outros, geralmente causadas por tensões dos materiais. Se o esforço solicitado na estrutura for maior que sua resistência, ocorre a falha provocando uma abertura, a qual é classificada como fissura, trica, rachadura, fenda ou brecha.

As trincas e fissuras podem ser de diferentes tipos e sua importância depende do tipo estrutural da obra, da sua localização, de sua origem, de sua

abertura e de serem ativas, quando comprimento e abertura aumentam com o tempo e/ou a passagem das cargas móveis, ou inativas, quando estes fatores não causam modificações nas trincas e fissuras (DNIT, 2010).

De acordo com Sussekind (1985), as fissuras são indesejáveis e antiestéticas, causam um efeito negativo, geram altos gastos para reparos além de chamar atenção para o fato de que algo anormal está acontecendo na estrutura.

Souza e Ripper (1998) mostram que conhecer os mecanismos e formas de deterioração do concreto, possibilitam estudos fundamentais para a avaliação e recuperação das estruturas danificadas.

Conforme Thomaz (1996), a Tabela 7 classifica as dimensões:

Tabela 7 – Dimensões das aberturas

Tipos de aberturas	Tamanho
Fissura capilar	Menos de 0,2 mm
Fissura	De 0,2 mm a 0,5 mm
Trinca	De 0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	De 1,5 mm a 5 mm
Fenda	De 5 mm a 10 mm
Brecha	Mais de 10 mm

Fonte: Thomaz (1998)

Segundo Sartorti (2008) as fissurações possuem diversos fatores geradores, que se manifestam em um ponto diferente cada, sendo possível classifica-las conforme sua causa.

Fissuras de tração pelo esforço de flexão: De acordo com Thomas (1989) e Souza Ripper (1998), as fissuras de tração por flexão ocorrem quando a rigidez, da área de aço são insuficientes ou se o carregamento for alto fazendo com que a peça sofra uma deformação excessiva. Nas vigas essa fissura se estende da borda mais tracionada, elevando-se até a altura da linha neutra. Helene (1992), define que nas lajes a fissuração inicia nas bordas e ramificando-se até o centro, esse efeito é devido aos momentos volventes.

Fissuras de compressão pelo esforço de flexão: Essa classificação de fissuras ocorre quando o elemento fletor ultrapassa o limite da resistência de compressão do concreto. Helene (1992), diz que esse efeito ocorre pela sobrecarga ou resistência imprópria do concreto, também por erro em projeto

onde a armadura de compressão ou armadura dupla não foi corretamente dimensionada. Geralmente elas são dispostas nas regiões comprimidas da peça, sendo considerada uma fissura de alto estado crítico levando a estrutura a ruína.

Fissuras causadas pelo esforço cortante: Leonhardt (1979) informa que as bielas de compressão são formadas pelo concreto e montantes tracionados, os estribos. As tensões nas bielas geram tensões de tração perpendiculares, parte absorvida pelas barras dobradas e outra parte absorvida por embricamento e engrenamento de agregados (mecanismo de resistência à força cortante associado à rugosidade da superfície fissurada, segundo Lantsoght et al., 2015b). Quando a armadura não é suficiente, ocorrem fissuras que formam ângulos de 35° a 45° com a horizontal próxima ao apoio.

Fissuras causadas pela torção: Leonhardt (1979) assemelha as fissuras causadas pela torção como as causadas pelo esforço cortante e com direções contrárias, formando um tipo de rosca de parafuso. Segundo Marcelli (2007), ocorrem em vigas com flechas excessivas e que apoiam em outras vigas causando uma rotação na mesma.

Fissuras causadas pela fluência: De acordo com Sartorti (2008), a fluência causa deformações excessivas que são semelhantes às fissuras causadas pelo esforço de flexão, podendo ser de difícil interpretação e muitas vezes ignorada.

Fissuras causadas pela retração: A retração pode ocorrer por secagem também chamada de contração plástica, onde ocorre a perda de água do concreto por exsudação causando o fissuramento nas faces externas dos elementos estruturais, fazendo um ângulo de 45° junto aos cantos, de acordo com Souza e Ripper (1998), em relação a esbeltez da peça essas fissuras podem até secioná-la. Pode ocorrer também a retração química, que acontece pela alta concentração de armadura em uma peça, sendo considerada uma retração aleatória e geram fissuras paralelas às sessões.

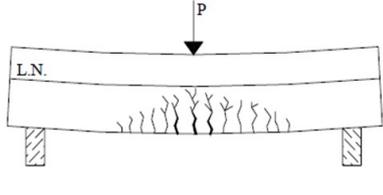
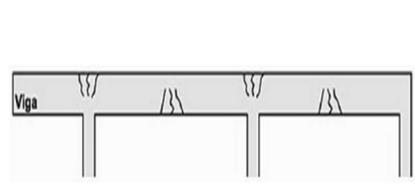
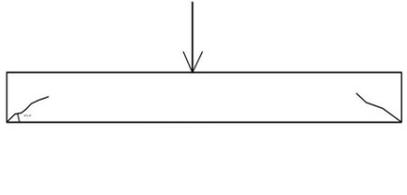
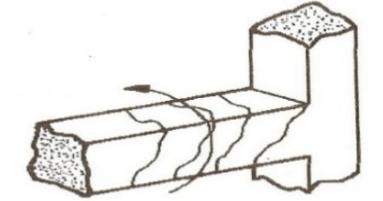
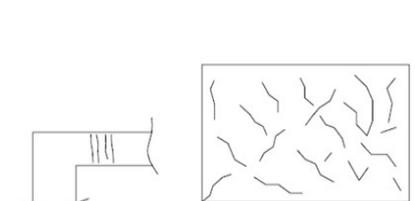
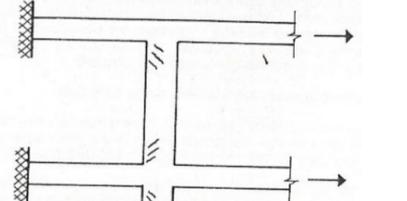
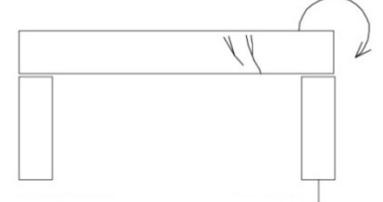
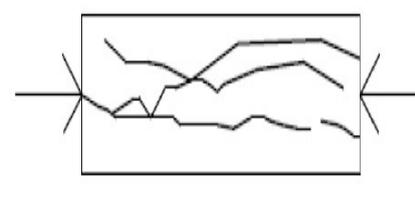
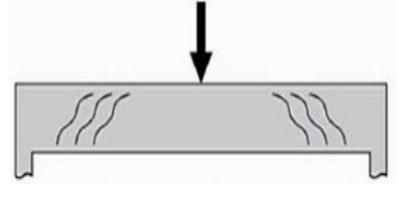
“Nas vigas que possuem vários vãos, as fissuras de retração manifestam-se nas proximidades dos apoios, especialmente se eles são fixos. Nos muros de concreto diretamente apoiados no solo, as fissuras aparecem devido à resistência oferecida pelo atrito do concreto com o solo.” (VITÓRIO, pág. 28, 2003).

Fissuras causadas por deformações térmicas: de acordo com Thomaz (1996), os materiais construtivos são sujeitos a dilatações quando a temperatura é elevada e contração quando a variação é inversa. Com as variações de temperatura ocorrem as movimentações térmicas, dilatação e contração que vai de acordo também com as propriedades dos materiais utilizados. Essas variações geram movimentações em partes do elemento de concreto, pois os materiais possuem coeficientes de dilatação térmica diferentes, como consequência dessa movimentação pode surgir fissuras. De modo geral, são caracterizadas por aberturas constantes, perpendiculares ao eixo do elemento de forma a seccioná-lo (THOMAZ, 1996).

“Os movimentos de dilatação e contração são restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os elementos componentes, desenvolvendo-se nos materiais, por este motivo, tensões que poderão provocar o aparecimento de fissuras.” (THOMAZ, 1996, pág. 19).

A Tabela 8 abaixo exemplifica os tipos de fissuras que podem ocorrer nas estruturas.

Tabela 8 - Tipos de fissuras

		
Fissuras de tração por flexão	Fissura de compressão por flexão	Fissuras por esforço cortante
		
Fissura por torção	Fissuras por retração	Fissura por deformação térmica
		
Fissuras por recalques	Fissuras por compressão	Fissuras por fluência

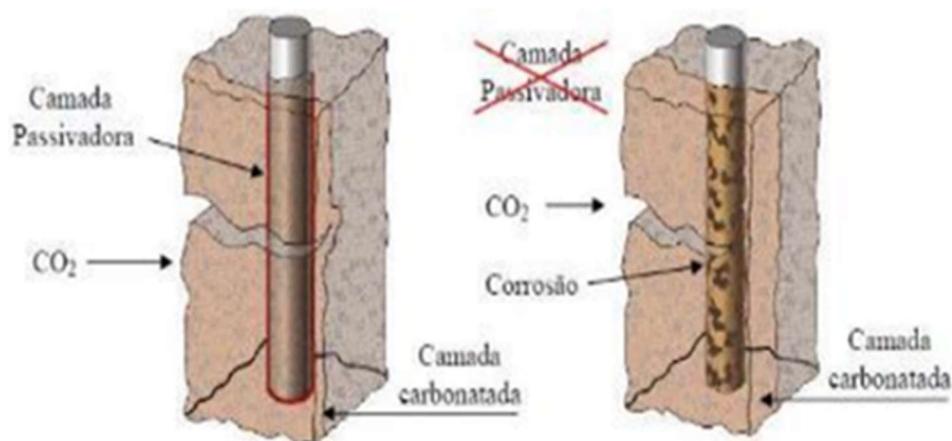
Fonte: Thomaz (1996), Souza Ripper (1998), Helene (1992), Zatt e Cadamuro Júnior (2007)

2.4.1.2 Carbonatação

Uma das causas mais frequentes da corrosão em estruturas de concreto armado é a carbonatação que consiste na transformação do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), com alto PH, em carbonato de cálcio (CaCO_3), que tem um PH mais neutro (VITÓRIO, 2003). Segundo Costa (2016), no processo de carbonatação ocorre a reação entre CO_2 (dióxido de carbono) presente na atmosfera que penetra pelos poros do concreto e reage com os constituintes alcalinos do mesmo.

As reações químicas da carbonatação são iniciadas a partir do momento em que os compostos hidratados do cimento entram em contato com CO_2 e água, basicamente as reações se iniciam na face externa e a partir do transporte de dióxido de carbono para dentro da peça, por difusão, esse fenômeno vai migrando para o interior do concreto (HELENE, 1986). Na Figura 21 a seguir é possível verificar como ocorre o processo de carbonatação.

Figura 21– Esquema de carbonatação



Fonte: Costa (2016)

A carbonatação é um dano difícil de ser visualizado numa inspeção. Para ser detectado faz-se necessário o uso de um ensaio simples, com a aplicação de fenolftaleína com indicador na superfície recém fraturada do concreto. A parte do concreto carbonatada fica incolor ($\text{pH} < 9$) e a parte não carbonatada adquire a cor vermelha – carmim (DNIT, 2010).

Na Figura 22 a seguir é possível verificar a carbonatação no pilar da ponte do município de Porto Nacional/TO.

Figura 22 - Esquema de carbonatação



Fonte: Souza e Gomes (2018)

2.4.1.3 Corrosão das armaduras

A corrosão pode ser definida como sendo a deterioração de um material, por ação química, física ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Esse fenômeno pode incidir sobre diversos tipos de materiais, sejam metálicos como os aços ou ligas de cobre, por exemplo, ou não metálicos, como plásticos, cerâmicas ou concreto (GENTIL, 2003).

Segundo Vitória (2002), os principais fatores destrutivos do concreto são: os agentes ácidos, os sulfatos, o cloro e seus compostos, os nitratos e nitritos. A corrosão de armadura no concreto armado é um fenômeno que só acontece quando as condições de proteção proporcionadas pelo cobrimento desse concreto são insuficientes, ocorrendo geralmente em locais mais expostos à umidade e agentes agressivos, ou em áreas com muitas falhas, como ninhos de concretagem que, pela alta porosidade local, acaba por facilitar a penetração de agentes agressivos. A região da base dos pilares tende a ser uma área de maior incidência da corrosão de armaduras.

Na Figura 23 a Ponte Estácio Coimbra em Recife está pela manifestação patológica de corrosão.

Figura 23 - Corrosão na Ponte Estácio Coimbra em Recife/PE



Fonte: Diário de Pernambuco

Basicamente são dois os processos principais de corrosão que podem sofrer as armaduras de aço para concreto armado: a oxidação e a corrosão propriamente dita (HELENE, 1986, p. 08).

A oxidação é definida como um ataque provocado por uma reação gás-metal, com a formação de uma película de óxido. Esse tipo de corrosão é extremamente lento à temperatura ambiental e não provoca exteriorização substancial das superfícies metálicas, salvo se existirem gases extremamente agressivos na atmosfera (WEXLER & WOLYNEC apud HELENE, 1986, p. 08). De acordo com HELENE (1986), a oxidação ocorre durante a fabricação de fios e barras de aço, formando uma película que posteriormente deve ser removida.

Por corrosão propriamente dita entende-se o ataque de natureza preponderantemente eletroquímica que ocorre em meio aquoso. A corrosão acontece quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície dos fios e barras de aço, esta película é formada pela presença de umidade no concreto (HELENE, 1986). Esse tipo de corrosão pode se manifestar antes da utilização no concreto, quando a armadura ainda está armazenada no canteiro.

A corrosão pode ser acelerada por agentes agressivos contidos ou absorvidos pelo concreto. Entre eles pode-se citar os íons sulfetos, os íons cloretos, o dióxido de carbono, os nitritos, o gás sulfídrico, o cátion amônio, os óxidos enxofre, fuligem, etc. (HELENE, 1986).

De acordo com Meira (2017), o processo de corrosão pode assumir duas formas: corrosão química e corrosão eletroquímica, sendo que a corrosão eletroquímica é mais comum de ocorrer em estruturas de concreto armado.

Segundo Gentil (2003), a corrosão eletroquímica pode ocorrer sempre que existir heterogeneidade no sistema material metálico-meio corrosivo, isso porque a diferença de potencial resultante possibilita a formação de áreas anódicas e catódicas.

Em qualquer caso o processo de corrosão do aço é eletroquímico, ou seja, dá-se pela geração de um potencial elétrico, na presença de um eletrólito - no caso, a solução aquosa existente no concreto – em contato com um condutor metálico, a própria barra de aço (SOUZA E RIPPER, 1998).

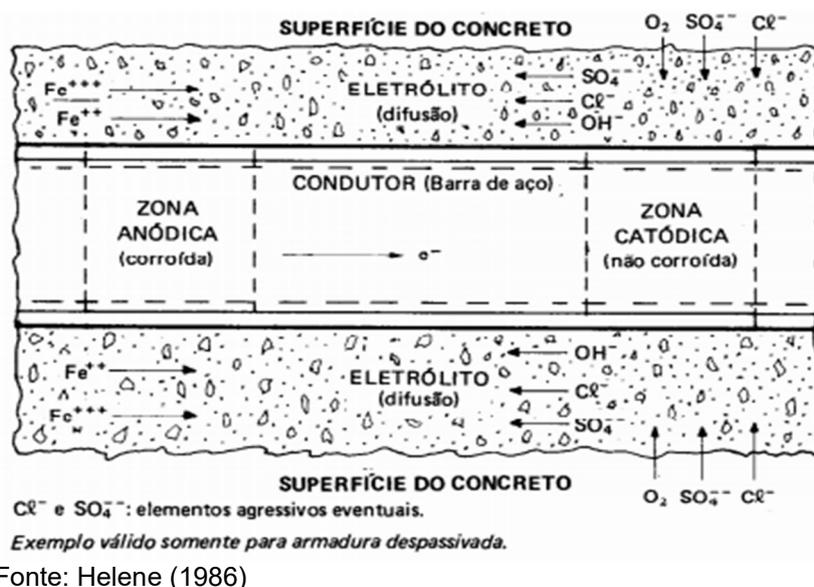
Na corrosão eletroquímica os elétrons são cedidos em determinada região e recebidos em outra, aparecendo uma pilha de corrosão. Esse processo eletroquímico de corrosão pode ser decomposto em três etapas principais: processo anódico, deslocamento dos elétrons e íons e processo catódico (GENTIL, 2003). No processo anódico ocorre a passagem dos íons para a solução, no deslocamento dos elétrons e íons pode-se observar uma transferência de elétrons das regiões anódicas para as catódicas, e no processo catódico acontece uma recepção de elétrons, na área catódica, através dos íons ou moléculas existentes na solução.

Portanto, sobre o processo eletroquímico de corrosão Meira (2017), cita que:

A corrosão eletroquímica pressupõe a formação de uma pilha eletroquímica, existindo: a presença de um ânodo que se caracteriza pela passagem do material do estado metálico para o estado iônico (oxidação); um cátodo, onde são consumidos os elétrons gerados na região anódica (redução); uma diferença de potencial entre ambos, sendo o ânodo de potencial mais eletronegativo; uma ligação metálica entre o ânodo e o cátodo, que pode ser caracterizada pelo mesmo material metálico; e uma ligação externa caracterizada pela condução iônica através do eletrólito. (MEIRA, 2017, p. 16).

Na Figura 24 a seguir é possível verificar como funciona a formação de uma célula de corrosão ou pilha.

Figura 24 – Célula de corrosão ou pilha em concreto armado

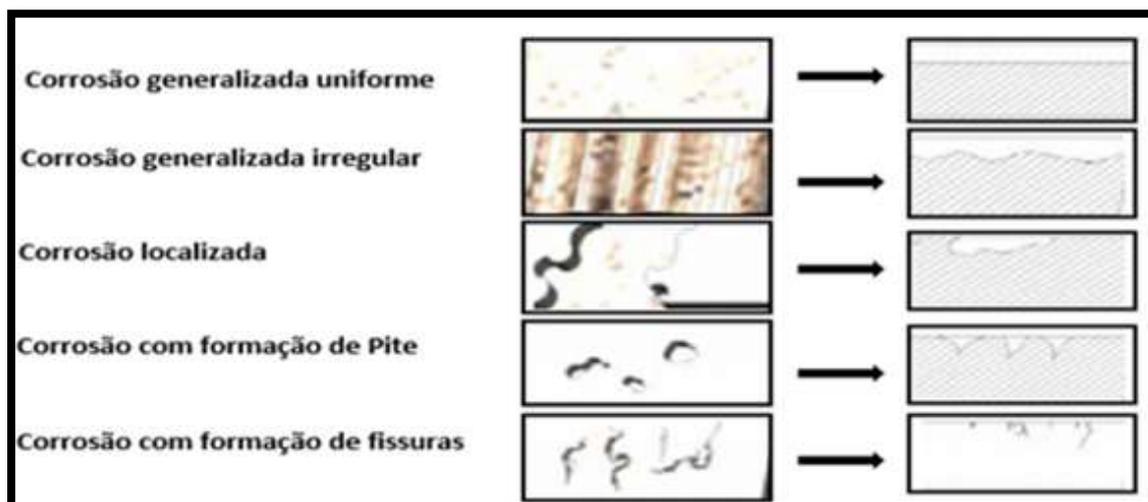


2.4.1.3.1 Formas de manifestação da corrosão

Segundo Meira (2017), a corrosão pode ocorrer de forma generalizada ou localizada, sendo que essas manifestações corrosivas podem sofrer algumas variações morfológicas, podendo apresentar outras formas, tais como: aparência superficial uniforme ou irregular, com a formação de pites ou fissuras.

Os tipos de corrosão podem ser definidos conforme Figura 25 a seguir (Meira, 2017):

Figura 25 – Tipos de corrosão



Fonte: Adaptado de Meira (1984 apud FELIÚ, 2017)

Segundo Gentil (2003), a corrosão generalizada, também chamada de corrosão uniforme, ocorre na armadura em toda a sua extensão quando exposta ao meio corrosivo. A corrosão generalizada provoca um grande aumento de volume no interior do concreto, resultante da formação do óxido de ferro; o óxido de ferro chega a ocupar um volume cerca de nove vezes maior que o material de origem, provocando tensões internas que podem alcançar 40 MPa; o concreto não resiste a estas tensões e fratura. (DNIT,2010).

A corrosão localizada trata-se de um ataque intermediário entre a corrosão uniforme e a corrosão por pites. O ataque se produz em zonas mais ou menos extensas do material, as quais, por diferentes razões, são anódicas em relação às demais. (FIGUEIREDO E MEIRA, 2013).

Na corrosão por Pite, ocasiona a formação de cavidades que podem atingir profundidades razoáveis e, além disso, os pites podem agir como regiões de concentração de solicitações mecânicas, possibilitando a corrosão sob tensão fraturante (GENTIL, 2003, p.201).

A corrosão com formação de fissuras ocorre quando, além das condições propícias para a corrosão, o metal se encontra submetido a tensões importantes de tração. Nesse caso, surgem fissuras no material que se propagam na direção transversal à carga, produzindo rupturas com níveis baixos de tensão (FIGUEIREDO E MEIRA, 2013).

No caso de corrosão com deslocamento do concreto, a manifestação patológica vai ocorrer devido às tensões internas ao concreto exercidas pelos produtos expansivos da corrosão. Quando a tensão limite de tração do concreto é superada pelas tensões geradas pelos produtos expansivos, ocorre, segundo Cascudo e Helene (2001), a fissuração do concreto em direções paralelas à armadura corroída.

Igualmente tem-se a degradação do concreto, que é provocada, em geral, pela expansão devido à oxidação ou dilatação das armaduras, e também pelo aumento de volume do concreto quando este absorve água. Pode ocorrer também devido às movimentações estruturais e choques. (VITÓRIO, 2002).

A Tabela 9, a seguir, ilustra casos reais de manifestação de corrosão em estruturas de concreto.

Tabela 9 – Casos reais de manifestação da corrosão

	
Corrosão Generalizada	Corrosão Localizada
	
Corrosão com formação de Fissuras	Corrosão com Desplacamento de Concreto

Fonte: DNIT (2010), Revista Pini. Edição 160. Julho/2010 e Silva (2019)

Segundo o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários (DNIT, 2010), as estruturas de concreto armado são degradáveis, e a degradação pode ser de origem física, química ou eletroquímica. Na Figura 26 a degradação do concreto ocorreu devido a um incêndio, a massa de concreto se descolou e ocorreu a exposição da armadura.

Figura 26 - Degradação do concreto - Viaduto José Colassuono – Ipiranga



Fonte: Google Earth

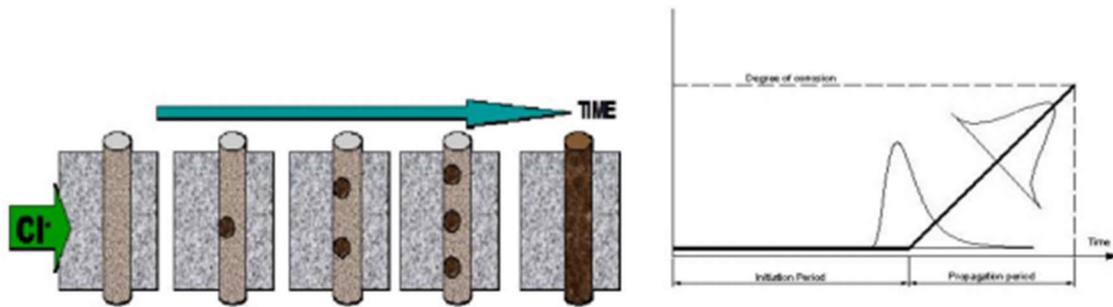
2.4.1.4 Presença de Cloretos

Assim como a carbonatação, o ingresso dos íons cloretos também deteriora as estruturas de concreto. Podem ser oriundos de névoas salinas, com possibilidade de infiltração nos diversos elementos estruturais, ocasionando assim a corrosão das armaduras (GOMES; MONTEIRO; VITORIO, 2017, p. 5).

Segundo o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários (DNIT, 2010), quando o cobrimento do concreto é permeável ou insuficiente, a camada passiva protetora pode ser rompida na presença de grande quantidade de íons-cloreto.

O acesso dos cloretos à estrutura ainda pode ser agravado, caso se encontre próxima a mares e a oceanos ou até mesmo tenha-se utilizado aceleradores de pega no momento da construção da Obra de Arte Especial (GOMES; MONTEIRO; VITORIO, 2017). A Figura 27 ilustra as fases de despassivação da armadura, através da presença de cloretos (ANDRADE, 2013, apud GOMES, MONTEIRO, VITORIO, 2017).

Figura 27 – Fases da despassivação da armadura



Fonte: Andrade (2013), apud Gomes, Monteiro, Vitorio, (2017)

De acordo com a NBR 6118:2014 a despassivação é a ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura.

2.4.1.5 Segregação

A segregação do concreto é a separação entre os elementos do concreto, a brita e a argamassa logo após o lançamento. Segundo Costa (2016), a segregação ocorre devido ao lançamento em alturas elevadas, por excesso de vibração, dosagem inadequada da pasta, incoerência para com o diâmetro dos agregados. Em alguns casos chega a deixar exposta a armadura, o que incita o início de danos.

Os meios de transporte não devem provocar a segregação, não permitindo perda de argamassa ou de pasta de cimento, nem promovendo a separação entre os componentes do concreto. Se uma nova quantidade de massa é lançada sobre uma superfície que já completou o processo de endurecimento, pode acontecer a segregação dos seus diversos componentes (SOUZA E RIPPER, 1998).

Na Figura 28 a seguir é possível verificar o concreto segregado pelo motivo de vibração deficiente, e a Figura 29 ilustra a segregação do concreto próximo ao aparelho de apoio da viga da OAE localizada em Brasília.

Figura 28 – Concreto segregado por vibração deficiente - Viaduto General Olímpio da Silveira



Fonte: Sinaenco – SP

Figura 29 – Segregação no aparelho de apoio – OAE Brasília – DF



Fonte: Costa (2016)

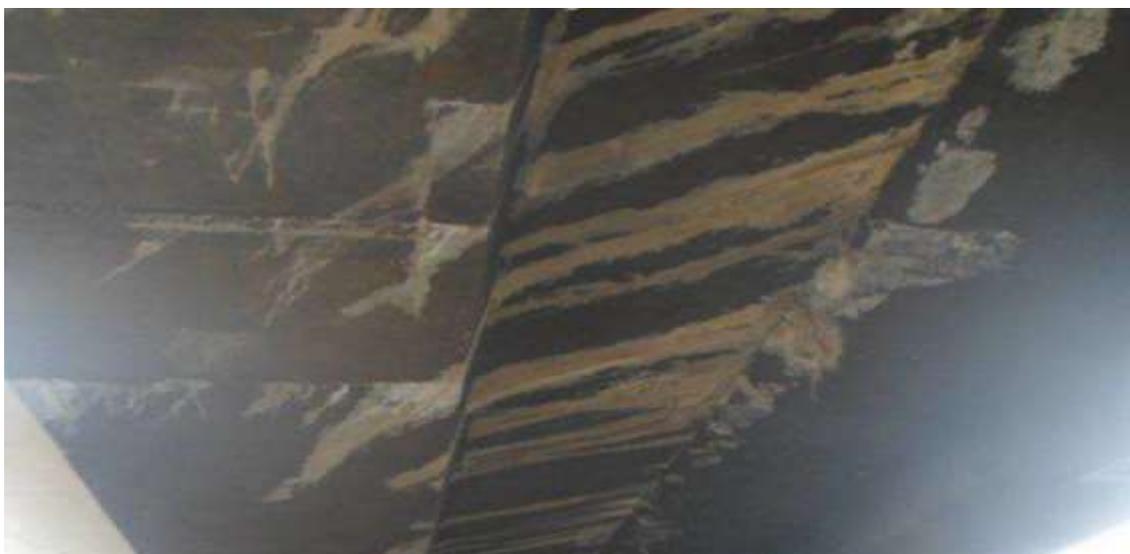
2.4.1.6 Lixiviação e Eflorescência

O Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários (DNIT, 2010) exemplifica que a água contém pouco ou nenhum íon de cálcio e quando entra em contato com a pasta de cimento Portland, tende a hidrolisar ou dissolver os produtos que há presença de cálcio. Na Figura 30, podemos notar a presença de manchas esbranquiçadas com aspecto escorrido nas superfícies da laje.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994, p. 149), além da perda de resistência, a lixiviação do Hidróxido de cálcio do concreto pode ser considerada indesejável por razões estéticas, pois o produto lixiviado interage com o CO₂ presente no ar e resulta na precipitação superficial de crostas brancas de Carbonato de cálcio, um fenômeno conhecido por eflorescência.

A eflorescência é uma manifestação patológica que ocorre através do processo de carreamento do hidróxido de cálcio pela água que infiltra no interior do concreto, geralmente acontece pelas fissuras presentes na estrutura (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Figura 30 - Laje com manchas de eflorescência



Fonte: Sinaenco-SP (2017)

2.4.1.7 Infiltração

A infiltração ocorre através dos poros de concreto, fissuras, falhas ou aberturas na superfície, que estão expostos ao acúmulo de água da chuva em cantos ou pontos mais baixos, podendo ser também até pela umidade proveniente do solo por capilaridade, entre outros. A presença de água na estrutura tende a incitar processos patológicos (COSTA, 2016). Na Figura 31 pode-se notar a presença de infiltração nos elementos estruturais.

Figura 31 - Patologias por infiltração na estrutura



Fonte: Manual de inspeção de pontes rodoviárias (2004)

2.4.1.8 Problemas nas juntas de dilatação

Conforme DNIT 091 (ES, 2006), as juntas de dilatação são elementos colocados para garantir movimentação entre duas estruturas contínuas, onde não ocorre transferência de esforços entre elas, resistindo os movimentos causados pela variação de temperatura, retração, fluência da estrutura e estanqueidade garantindo a segurança.

Com o tempo a junta de dilatação pode se tornar um problema de patologia, necessitando de reparos em intervalos de tempo, causando maiores gastos de manutenção das estruturas de Obra de Arte Especiais, de acordo com Milititsky (2005), as juntas causam um impacto grande no custo e desempenho da estrutura.

As patologias nas juntas de dilatação, de acordo com Tejedor (2013), sofrem por um incorreto dimensionamento das mesmas, quando não é previsto as expansões e retrações do concreto, corretas, impactos de veículos pesados e desgaste ou ausência do material da junta devido ao uso ou má conservação.

Segundo Baltimore (2013), as patologias mais comuns são relacionadas a problemas de corrosão ou por problemas na estanqueidade da estrutura. A corrosão gera vazamentos, onde a água ou detritos da rodovia infiltram nas extremidades da viga, gerando sujeiras, pedras e lixo nas estruturas.

2.4.1.9 Danos no aparelho de apoio

DNIT (2004), descreve os aparelhos de apoio como elementos estruturais de difíceis inspeções devido ao seu local. A deterioração da estrutura pode ocorrer por diversas causas, Souza e Ripper (1998), descrevem desde o envelhecimento natural até a negligência da utilização de materiais fora da especificação.

A NBR 9452:2016 considera os parâmetros de avaliação de acordo com a Tabela 10 abaixo:

Tabela 10 - Classificação dos aparelhos NBR 9452/2016

Condição	Descrição
Crítica	Aparelhos de apoio e/ou seu entorno apresentam avarias com risco de colapso estrutural requerendo intervenção de reparo e/ou troca do aparelho imediata.
Ruim	Aparelhos de apoio e/ou seu entorno apresentam avarias que comprometem a segurança estrutural, sem risco de colapso, requerendo intervenção de reparo e/ou troca do aparelho de curto prazo. Todos os aparelhos que apresentam rompimentos com exposição de fretagem se enquadram nesta classificação. Recomenda-se acompanhamento.
Regular	Aparelhos de apoio e/ou seu entorno apresentam avarias que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de deterioração dos aparelhos, nem comprometimento da estabilidade da obra. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.
Boa	Aparelhos de apoio e/ou seu entorno não apresentam avarias. Intervenções podem ser necessárias a longo prazo.
Excelente	Aparelhos de apoio e/ou seu entorno não apresentam avarias e os aparelhos foram fabricados a partir de 1987 seguindo as recomendações da ABNT NBR 9783 – Aparelhos de apoio fretados.

Fonte: NBR 9452/2016

a) Patologia nos aparelhos metálicos

Cordeiro (2014), descreve as principais manifestações patológicas em aparelhos metálicos como:

- Degradação das superfícies de contato e das superfícies de deslizamento;
- Corrosão dos elementos constituintes do apoio: placas de deslizamento, guias ou batentes;
- Mau estado de conservação das soldas;
- Posição incorreta e eventual deformação de elementos de rotação;

- Existência de fissuras de algum elemento constituinte do AA;
- Capacidade de rotação ou deslocamento horizontal ultrapassada;
- Arqueamento da chapa de deslizamento.

b) Patologia nos aparelhos de concreto

Os aparelhos de apoio em concreto sofrem com a causa intrínseca e extrínseca, de acordo com Cordeiro (2014), principais manifestações patológicas são:

- Esmagamento ou fissuração dos cantos;
- Corrosão das armaduras;
- Inclinação excessiva;
- Aparecimento de fendas, fissuras e perda de secção.

Cánovas (1988), descreve que as patologias em concreto são evidenciadas por trincas e fissuras, resultantes da fragilidade do concreto por ser um material não resistente à tração e que entra colapso repentina e explosivamente.

c) Patologia nos aparelhos Neoprene

De acordo com Cordeiro (2014), as principais manifestações patológicas em aparelhos de apoio neoprene são:

- Distorção elevada do Neoprene;
- Fissuração ou fluência no Neoprene;
- Desligamento da zona de contato da estrutura;
- Compressão elevada no Neoprene;
- Perda da capacidade de serviço e de distorção;
- Variações na espessura da camada de borracha;
- Descolagem da vulcanização das chapas interiores;
- Degradação das chapas de deslizamento, das guias ou dos batentes;
- Oxidação dos elementos de aço.

2.4.1.10 Falhas na Drenagem

Segundo Laner (2001), as falhas em instalações de drenagem devem ser evitadas, pois são fatores que influenciam na degradação do concreto e das armações. A água não deve se acumular em pontos críticos como, por exemplo, encontros de apoio de vigas, nos caixões, nos encontros com tabuleiros, na pista de rolamento, nos aparelhos de apoio, nas contenções entre outros.

De acordo com DNIT (2004), a finalidade dos sistemas de drenagem é remover rapidamente as águas pluviais do estrado, evitando acidentes de tráfego e comprometimento do concreto.

Nas Obras de Arte o acúmulo e águas pluviais pode ser provocada por três fatores: inclinação deficiente ou inadequada da pista de rolamento, rebaixamentos locais das pistas e deficiência ou entupimento dos tubos de drenagem LANER (2001).

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, em estruturas de concreto faz-se necessário o cuidado com a presença ou acumulação de água, proveniente da chuva ou água decorrente de limpeza e lavagem. As superfícies expostas horizontais e as juntas de movimento ou de dilatação devem ser drenadas, seladas e projetadas com a disposição de ralos e condutores.

A Norma DNIT 010/2004 – PRO – Inspeções em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Protendido orienta que se deve verificar se os dutos de utilidade pública estão bem fixados, certificando se não há vazamento de água nas estruturas.

Na Figura 32 é retratada a falta de tubulação de drenagem para escoamento das águas pluviais do viaduto Pres. Costa e Silva, localizado em São Paulo, já na Figura 33 pode-se verificar o acúmulo de água na pista, em decorrência da obstrução das tubulações de drenagem.

Figura 32 - Falha do Sistema de Drenagem – Viaduto Pres. Costa e Silva – SP



Fonte: Sinaenco-SP (2017)

Figura 33 - Falha do Sistema de Drenagem – Ponte Sobre o Rio Tocantins



Fonte: IX Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

2.4.1.11 Manchas

De acordo com Helene (1986), as manchas em estrutura de concreto armado são causadas pela umidade, fungos, cloreto, fuligem, lixiviação e entre outros. Quando a água infiltra nos poros do concreto, ela dissolve os sais presentes no cimento e no cal, principalmente o hidróxido de cálcio. Esses sais são conduzidos até a superfície durante a evaporação da água através da

percolação, com a evaporação da água, esses sais se cristalizam, gerando manchas de cor clara, chamadas de eflorescências.

As manchas marrons avermelhadas ou esverdeadas na superfície do elemento estrutural podem ser causadas por agentes agressivos do ambiente impregnados na estrutura ou agentes agressivos incorporados involuntariamente ao concreto durante seu amassamento (HELENE 1986).

Na Figura 34 é possível verificar manchas escuras na lateral do Viaduto Elevado Pres. Costa e Silva/ SP, em decorrência da infiltração de água.

Figura 34 - Manchas escuras de umidade - Viaduto Elevado Pres. Costa e Silva/ SP



Fonte: Sinaenco-SP (2017)

3 DESENVOLVIMENTO DO CADERNO DE PROCEDIMENTOS E MATERIAIS RECOMENDADOS PARA RECUPERAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE PONTES E VIADUTOS

No presente trabalho foi desenvolvido um caderno contendo procedimentos e materiais recomendados para recuperação das estruturas de concreto armado, tais como pontes e viadutos. Esse documento é apresentado no apêndice A e neste item são apresentadas informações sobre a composição desse documento.

O caderno foi desenvolvido baseado no Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT em parceria com a Diretoria de Planejamento e Pesquisa do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, bem como pesquisa aprofundada em teses, dissertações, monografias, artigos, publicações de congressos e catálogos técnicos dos materiais recomendados.

Com o objetivo de auxiliar engenheiros e profissionais da área de Infraestrutura Rodoviária no processo de recuperação de pontes e viadutos de concreto, o presente caderno foi elaborado visando apresentar as alternativas de tratamento das principais manifestações patológicas que se desenvolvem em obras de arte especiais, bem como, os materiais que podem ser empregados em sua recuperação.

O caderno é constituído por capa, objetivo, limitação, introdução, resumo geral das manifestações patológicas e as fichas técnicas.

O primeiro tópico aborda os principais objetivos do caderno e o segundo tópico a limitação de estudo apresentando os campos de aplicação, que focará nas principalmente manifestações patológicas de Obras de Arte Especiais, ou seja, as manifestações que ocorrem nos elementos da meso e superestrutura de concreto armado.

No tópico 3 é apresentada a introdução onde foi descrito o conceito de obra de arte especiais e termos relacionados a manifestações patológicas em estruturas de concreto, tais como: Patologia, causa, origem, diagnostico, prognostico, correção, recuperação, reforço e reconstrução.

Logo após a introdução foram inseridos resumos das manifestações patológicas que foram estudadas e analisadas. Esse resumo tem por objetivo

explicar de modo claro e conciso as manifestações patológicas que estão sendo estudada e suas características.

Por fim, no último tópico é apresentada a Ficha técnica de manifestações patológicas, composta por cabeçalho, conceito, causas prováveis, prognóstico, recomendações de prevenção e recomendações de terapia.

3.1 FICHA TÉCNICA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

No apêndice A, junto com o caderno, são apresentadas as fichas técnicas de recuperação de estruturas de concreto. No desenvolvimento das fichas foram apresentadas recomendações de tratamento das obras de arte especiais que apresentam manifestações patológicas.

As fichas são divididas de acordo com o tipo de anomalia, havendo 10 grupos de manifestações patológicas, conforme Tabela 11 a seguir:

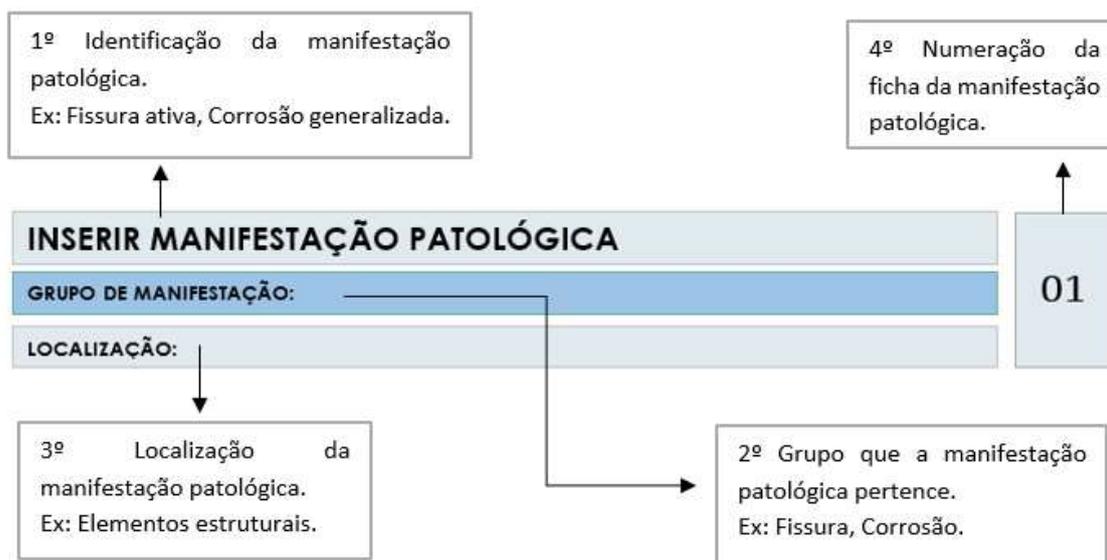
Tabela 11 – Manifestações Patológicas abordadas nas fichas

GRUPOS	FICHAS DA MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA
Fissuras	01 - Fissura por Retração Plástica. 02 - Fissura Ativa por Flexão. 03 - Fissura devido a Esforço Cortante em Vigas.
Corrosão	04 - Corrosão Localizada. 05 - Corrosão Localizada com reparo maior que 5 cm. 06 - Corrosão Generalizada. 07 - Corrosão Generalizada com perda de seção da armadura.
Deslocamento do concreto	08 - Deslocamento do Concreto.
Lixiviação	09 - Lixiviação e Eflorescência do concreto.
Segregação	10 – Segregação do Concreto.
Fuligem	11 - Fuligem no Concreto.
Aparelho de apoio	12 - Substituição de Aparelhos de Apoio.
Junta de Dilatação	13 - Recuperação de Juntas de Dilatação. 14 - Recuperação de Juntas de Dilatação no Encontro.
Manchas	15 - Manchas na Superfície do Concreto.
Talude	16 - Recuperação de Taludes Revestidos.

Fonte: Os autores (2021)

O cabeçalho na Figura 35 é o tópico inicial da ficha, sendo elaborado com o objetivo de ter fácil identificação da anomalia em estudo, nomeando o tipo de manifestações patológicas, o grupo a qual ela pertence e com informação da área em que está localizada. O campo é destinado a reunir todos os dados gerais da mesma.

Figura 35 – Cabeçalho das fichas



Fonte: Os autores (2021)

Abaixo do cabeçalho foi descrito o conceito da anomalia, abordando questões importantes, as principais particularidades, a forma que se manifesta, descrevendo as principais características visíveis que facilitam a identificação como cor, aspecto, rugosidade e tamanho (abertura, extensão e profundidade)

No conceito é descrita a forma que a manifestação patológica se desenvolve na estrutura, os locais mais propícios para o seu aparecimento que muitas vezes auxiliam na identificação mais rápida da anomalia, conforme a Figura 36.

Através destas informações, pode-se escolher qual o tratamento mais rápido, eficiente e conveniente para o elemento estrutural.

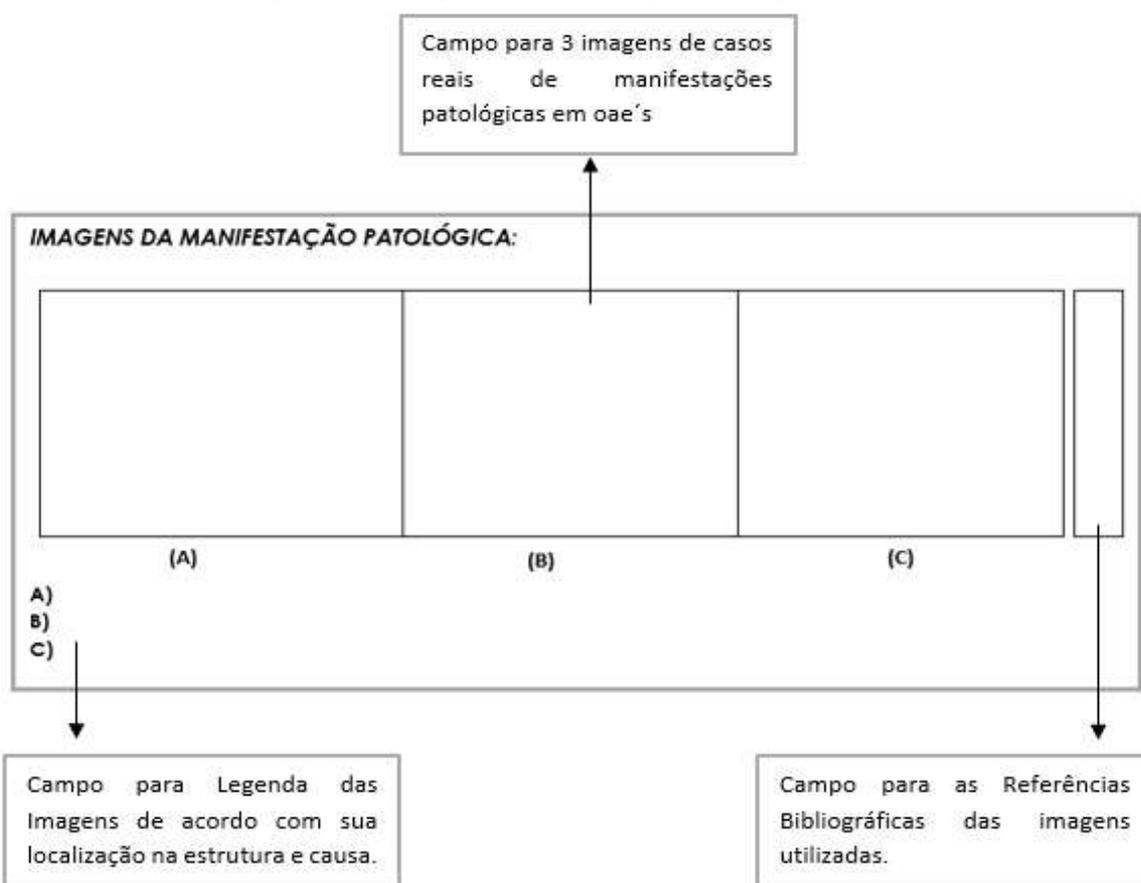
Figura 36 – Campo com o conceito da manifestação patológica

CONCEITO:

Fonte: Os autores (2021)

O próximo campo tem por objetivo a apresentação de imagens bibliográficas ou registros fotográficos para a melhor identificação da anomalia, conforme a Figura 37, pois na maioria das vezes as anomalias são identificadas de forma visual. Abaixo das imagens foi colocado uma legenda vinculando as imagens às principais causas prováveis da patologia.

Figura 37 – Imagem da manifestação patológica



Fonte: Os autores (2021)

Na sequência são listadas as principais causas prováveis que levaram a ocorrer a patologia na Figura 38. É fundamental ter conhecimento sobre as causas e origens do processo patológico, para que se possa identificar e

solucionar essas manifestações através de terapia adequada, como também para assegurar que, depois de reparada, a estrutura não volte a se deteriorar.

Figura 38 – Campo com as possíveis causas do aparecimento do fenômeno

CAUSAS PROVÁVEIS: <ul style="list-style-type: none">•••
--

Fonte: Os autores (2021)

Em continuação é apresentado o prognóstico na Figura 39, que tem por objetivo indicar um acontecimento futuro, o que poderá acontecer caso a manifestação patológica não for tratada. Esse campo deve alertar ao responsável técnico a importância da escolha do correto tratamento, para garantir a segurança tanto da estrutura quanto dos usuários.

Figura 39 - Campo com o prognóstico

PROGNÓSTICO <ul style="list-style-type: none">•••
--

Fonte: Os autores (2021)

Em algumas fichas, foi considerado um campo de recomendações de prevenção, conforme a Figura 40, que é em casos que as patologias em questão são fáceis de serem evitadas. As recomendações de prevenção são de extrema importância para garantir a durabilidade da estrutura e evitar o futuro aparecimento de manifestações patológicas.

Figura 40 - Campo com as recomendações de prevenção

RECOMENDAÇÕES DE PREVENÇÃO: <ul style="list-style-type: none">•••
--

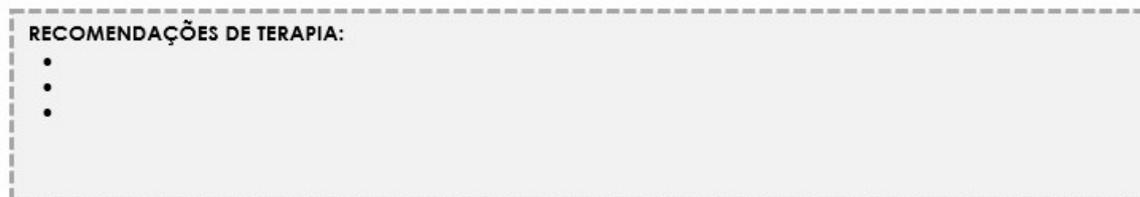
Fonte: Os autores (2021)

A ficha se finaliza com a apresentação das recomendações de terapia e tratamento, que tem por objetivo descrever a metodologia de terapia e reparação da anomalia com a sequência de procedimentos que devem ser realizados.

De acordo com Silva e Jonov (2019) a necessidade de reparar uma estrutura restaurando sua segurança e aumentando sua durabilidade tem sido cada vez mais comum.

Então, tanto a terapia como as recomendações de prevenção são procedimentos que podem elencar inúmeras etapas que devem ser observadas e bem descritas, para evitar maiores danos a estrutura, sendo acompanhados por figuras para facilitar a compreensão, no campo da Figura 41. Ainda, são apresentadas informações sobre os equipamentos e materiais recomendados para o tratamento indicado, bem como alguns cuidados importantes que os profissionais responsáveis pelo procedimento de recuperação estrutural precisam tomar.

Figura 41 - Campo com as recomendações de terapia



Fonte: Os autores (2021)

O caderno de procedimentos e materiais recomendados para recuperação das estruturas de concreto armado de pontes e viadutos está localizado no apêndice A do presente trabalho.

3.1.1 Recomendações para utilização das fichas

As metodologias de tratamento aqui descritas são orientativas e devem ser complementadas com as considerações específicas de cada obra, conforme necessário.

Os produtos e materiais apresentados nas fichas foram considerados conforme recomendações normativas, mas destacamos que a utilização de novos produtos poderá ser realizada conforme as considerações do responsável técnico e boletins técnicos dos fabricantes.

Deverá haver um estudo técnico do projetista ou inspetor para complementar ou modificar a estrutura, caso necessário, os materiais e as metodologias aqui apresentados de modo a adequá-los às especificidades de cada obra.

Os projetistas devem ajustar as características requeridas dos materiais conforme classe de agressividade ambiental em que se encontra a estrutura conforme normas ABNT NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.

Na execução das metodologias é importante que a equipe que irá executar os serviços esteja devidamente treinada e habilitada para o manuseio de equipamentos e o preparo e aplicação dos materiais.

3.1.2 Documentos de Referência para Elaboração das Fichas

Especificações técnicas – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP e Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes – DNIT.

Publicação IPR-744 – Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários – 2010 – Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes – DNIT.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi proposto um caderno técnico composto por fichas com recomendações de tratamento de algumas das principais manifestações patológicas que podem afetar os elementos de meso e superestrutura em obras de arte especiais. Nas fichas foram apresentadas informações como a definição dos mecanismos que desencadearam o aparecimento das manifestações na estrutura e as possíveis causas que despertaram esse fenômeno, como também o prognóstico, trazendo as consequências que podem ocorrer se as mesmas não receberem terapia ou tratamento adequado logo no início que for constatado sua deterioração.

A eficiência do processo de recuperação de uma estrutura depende da adequada sequência de estudo das manifestações patológicas, para posterior definição da melhor metodologia de terapia ou tratamento a ser feita. Para tal, é importante que o profissional que se depare com uma estrutura doente realize todo o estudo de investigação, passando pelas etapas de anamnese, diagnóstico, prognóstico e, por fim, definição da adequada sequência executiva de tratamento de uma anomalia, a fim de que se obtenha uma estrutura sadia, em perfeito estado e com a funcionalidade recuperada após as intervenções.

Portanto, o desenvolvimento desse caderno de tratamento de manifestações patológicas irá proporcionar aos profissionais da área da construção civil, principalmente engenheiros civis inspetores de obras de arte especiais, um entendimento rápido e fácil das anomalias que as OAEs estão sujeitas e como agir diante do aparecimento dessas irregularidades nas estruturas.

4.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A questão da recuperação das obras de arte especiais é um tema que precisa ser muito desenvolvido ainda no Brasil, pois há uma grande deficiência na catalogação dessas obras no país, uma vez que os órgãos de gestão não têm conhecimento sobre a real situação de conservação das obras de arte especiais existentes na malha rodoviária brasileira.

Então, a fim de contribuir para o estudo dos conhecimentos relacionados à conservação e recuperação de obras de arte especiais rodoviárias, a seguir são listadas algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Dar continuidade ao desenvolvimento das fichas técnicas de recomendações de tratamento para manifestações patológicas em obras de arte especiais, buscando acrescentar outros tipos de anomalias.
- Elaborar um plano de manutenção para uma obra de arte especial específica, com o objetivo de apresentá-lo para as autoridades responsáveis e promover a recuperação das estruturas danificadas.
- Elaborar um caderno de recomendações de prevenção para as obras de arte especiais, a fim de evitar que problemas patológicos venham se desenvolver nos elementos estruturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações– procedimento. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188**: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452**: Vistorias de pontes, viadutos e passarelas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ARAGÃO, J. W. M.; NETA, M. A. H. M. **Metodologia Científica**. Especialização em produção de mídias para educação online - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

ARAÚJO, C. J. R. V. **INSPEÇÕES DE PONTES E VIADUTOS: Principais anomalias, a importância da manutenção e estudo de caso**. Federação Nacional dos Engenheiros. Brasília, 2019.

ARAÚJO, C. J. R. V. **Vistoriando Obras de Arte Especiais**. *Revista Notícias da Construção*. São Paulo, v. 1, n. 1, p.60-62, out. 2014.

BRASIL. Ministérios dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Resolução Nº6**. Rio de Janeiro, 2004.

BRIAUD, J. L, R.W. JAMES, e S.B, HOFFMAN. **Sttlement of bridge approaches**. NCHRP synthesis 234, transportation Research Board, national Research Council, Washington, D.C, 1997.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. 1ª ed. São Paulo: Ed. Pini, 1988.

CARMONA F. A. **Curso Prático de Diagnóstico, Reparo, Reforço e Proteção de Edificações em Concreto**. São Paulo: Abece, 2005.

CASCUDO, O. e HELENE, P.R.L. **Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001.

CAPUTO, Homero P. **Mecânica dos solos e suas aplicações - Volume 1**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 6ª Edição. Rio de Janeiro-RJ, 1998.

CIRIBELLI, M. C. **Como elaborar uma dissertação de Mestrado através da pesquisa científica**. Marilda Ciribelli Corrêa, Rio de Janeiro: 7 Letras, 2003.

CHIMUAGA, Líticia Purificação da Benigna. **Estudo do Comportamento Estrutural dos Aparelhos de apoio da Ponte Rio-Niterói**. Niterói, 2015

CORDEIRO, João Gonçalo Paulo. **Aparelhos de apoios em pontes: vida útil e procedimentos de instituição**. 2014. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia, Lisboa, 2014.

COSTA, H. O. **Avaliação de patologias em obras de arte especiais utilizando a metodologia GDE/UNB**. Monografia (Graduação) – Faculdade de Tecnologias e Ciências Sociais Aplicadas – Curso de Engenharia Civil, Brasília, 2016.

CUNHA, D. J. E. **Análise de Fissuração em Vigas de Concreto Armado**. 2011. 53 f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Manual de projeto de obras-de-arte especiais**. Rio de Janeiro, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Manual de projeto de obras-de-arte especiais**. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER. **Manual de Inspeção Rodoviária**, MT – Instituto de pesquisas rodoviárias. Rio de Janeiro, 1980.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Juntas de Dilatação - Especificação de serviço 092/2009**. Espírito Santo: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Inspeções em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Protendido**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Tratamento de aparelhos de apoio: concreto, neoprene e metálicos – Especificação de serviço**, Norma 091. Rio de Janeiro, 2006.

DINIZ, José Zamarion Ferreira. **Pré-fabricados de Concreto: Rapidez, Economia e Sustentabilidade na Construção**. Concreto & Construções. São Paulo, Ano 34, n. 43, p. 10- 12, jun./ago. 2006;

DO CARMO, Paulo Obregon. **Patologia das construções**. Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.

El Debs, M. K., & Takeya, T. **Comportamento a fadiga do concreto armado e protendido**: notas de aula. Sao Carlos: Eesc-Usp, 1992..

EL DEBS, M. K.; TAKEYA, T. **Pontes de Concreto**. São Carlos, USP – Universidade São Paulo, 2003. Notas de aula.

EL DEBS, M. K.; TAKEYA, T. **Introdução às Pontes de Concreto**. São Carlos, USP – Universidade São Paulo, 2010.

FAVENI – Faculdade venda nova do imigrante – **Apostila: Metodologia Científica**. Curso de Pós - Graduação Lato Sensu – Espírito Santo, 2013. Disponível em: <http://ava.institutoalfa.com.br/tcc/apostila-de-metodologia-cient%C3%ADfica.pdf> . Acesso em: 11 mai. 2021.

FERREIRA, R.T.L. **Sistemas estruturais: pontes em viga, treliça e em laje**. Nova Xavantina: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2015.

FERREIRA, C. M. S. **Tipologia, instalação, funcionamento e manutenção de diversos tipos de juntas de dilatação em Obras de Arte**. Instituto superior de engenharia de Lisboa, 2013. 82-91 p.

FERREIRA, R.T.L. **Sistemas estruturais: pontes em viga, treliça e em laje**. Nova Xavantina: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2013.

FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. **Corrosão das armaduras das estruturas de concreto**. Boletim Técnico ALCONPAT Internacional, Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Mérida - Mexico, 2013.

GRANATO, J. E. **Patologia das construções**. 2015. 250 p. Disponível em :< <http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadadasconstrucoes2002.pdf> >. Acesso em 01 jun. 2021.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 341 p.

GOMES, C.; MONTEIRO, E.; VITÓRIO, A. **Um estudo sobre a degradação estrutural de pontes e viadutos rodoviários**. XXII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA Y REHABILITACION DE ESTRUCTURAS-CINPAR, Crato-CE, 2017.

GRANDISKI, P. **Perícias Judiciais**, São Paulo: CREA-SP/IBAPE-SP, 1995.

HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2 ed. São Paulo: Ed. Pini, 1992.

HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2 ed. São Paulo: Ed. Pini, 2005.

HELENE, P. R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. Editora Pini – Instituto de pesquisas Tecnológicas IPT, 47p. São Paulo, Brasil, 1986.

HELENE, P. R.L. **Manual de reparo e reforço de estruturas de concreto**. . São Paulo, Red Rehabilitar, 2003.

HELENE, P. R.L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. Editora Pini – Instituto de pesquisas Tecnológicas IPT. São Paulo, Brasil, 1988.

IANTAS, L. C. **Estudo de Caso: Análise de Patologias Estruturais em Edificação de Gestão Pública**. Monografia, Especialização - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. IBRACON, 2005.

LANTSOGHT, E. O. L. et al. **Base de dados de membros largos de concreto com falha de cisalhamento**. Revista of Concrete Research, v. 67, n. 1, pág. 33–52, 2015.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Belo Horizonte, 2008.

LANER, F. J. **Manifestações Patológicas nos Viadutos, Pontes e Passarelas do Município de Porto Alegre**. (Dissertação de Mestrado). UFRS. Porto Alegre, 2001. Acesso em: 08 maio de 2021.

LEONHARDT, F. **Construções de concreto, v. 6: Princípios básicos da construção de pontes de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

LIMA, João Marques. **Juntas de Dilatação em Pontes Rodoviária - Desenvolvimento de um Sistema de Gestão**. Universidade Técnica de Lisboa, 2006.

LIMA, João Marques; BRITO, Jorge de. **Classificação das juntas de dilatação em obras de arte rodoviárias Portuguesas**. n.14, p.31-41, Outubro, 2009.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**: São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1985. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 1985.

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

MACHADO, R. N.; SARTORTI, A. L. **Pontes: patologias de dois dispositivos de suporte**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS, 6. 2010, Córdoba. Anais [...]. Córdoba: UTN, 2010.

MARCELLI, Mauricio. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: PINI, 2007. 270 p.

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

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Blucher, 2013.

MASON, J. **Pontes em concreto armado e protendido: princípios do projeto e cálculo**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977

Medeiros, R., **Reparação de Anomalias**. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2010.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto**. João Pessoa: IFPB, 2017. 127 p.

MENDES, L. C., PUGA, M., & ALVES, V. (2010). **A Importância dos Aparelhos de Apoio na Reabilitação de Estruturas de Pontes**. Córdoba, Argentina: CINPAN.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 207 p.

NBR, ABNT. 19783. **Aparelhos de apoio de elastômero fretado - Especificação e métodos de ensaio**, 2015.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo. PINI, 1982.

O'CONNOR, C. **Pontes-superestruturas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1971.

O'CONNOR, COLIN. **Pontes Superestruturas**, Editora da Universidade de São Paulo Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1975.

OLIVEIRA, D. F. **Levantamento de causas de patologias na construção civil**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2013.

OLIVEIRA, A. M. D. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 96. 2012.

OLIVEIRA, J.C.C. **Avaliação de Patologias em Obras de Arte Especiais Utilizando a Metodologia Gde/Unb**. 2016. 66 f. Monografia (Graduação) – Centro Universitário de Brasília, Curso de Engenharia Civil, Brasília, 2016.

Padrão, J., **Técnicas de Inspeção e Diagnóstico e Estruturas**. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2004.

PINHO, Mauricio Fernando. **Pontes integrais, aspectos de projeto e construção**. Recife, 2011. 132-178 p.

PFEIL, W. **Pontes: Curso Básico**. Rio de Janeiro: Campus, 1983.

PIANCASTELLI, E.M. **Comportamento e desempenho do reforço à flexão de vigas de concreto armado, solicitado a baixa idade e executado inclusive sob carga**. (Dissertação de Mestrado). UFMG. (1997).

RAISDORFER, J. W. **Influência da adição ou substituição de adições minerais ao cimento portland: efeitos na carbonatação, absorção capilar e resistividade de concretos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Construção Civil, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2015.

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

SARTORTI, A. L. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2008. 203p.

SENA, G. O.; NASCIMENTO, M. L. M.; NETO, A. C. N. **Patologia das construções**. 1. ed. Salvador: 2B Editora, 2020. 256 p.

SILVA, A. C.; CAMPOS, G.R.; FILHO, M. L. S. **Análise de Manifestações Patológicas em Obras de Arte Especiais - Estudo de Caso e Propostas de Recuperação**. Revista Técnico Científica – CREA-PR. Paraná, 2017.

SILVA, A. P.; JONOV, C. M. P.; **Patologia das Construções - Curso de especialização em construção civil – UFMG**. 2019. Disponível em: <<http://www.demc.ufmg.br/adriano/Patologia%20das%20Construcoes.pdf> >. Acesso em 01 jun. 2021.

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

SUSSEKIND, J. C. **Curso de concreto**, vol. 2, 2ª Ed. Rio de Janeiro. Ed. Globo, 1985.

RUDLOFF, **Catálogo de Concreto Protendido**. (2015). Disponível em :<
http://www.rudloff.com.br/downloads/catalogo_concreto_protendido_rev-06.pdf
>. Acesso em 08 mai.2021.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1.ed.
São Paulo: Pini, 1996. 194p.

THOMAZ, Érico. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação**.
São Paulo: Pini, 1989. 194 p.

TUTIKIAN, B; PACHECO; M. **Boletín Técnico - Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil**. Merida, ALCONPAT BRASIL, 2013.

Uniontech, **Catálogo Tecnologia de juntas**. Disponível em:
http://www.uniontech.com.br/pdf/catalogo_uniontech_2016.pdf. Acesso em: 10
mai. 2021.

VITÓRIO, J A.P. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia**. Recife, CREA-PE,2003.

VITÓRIO, J A.P. **Pontes e Viadutos Rodoviárias: Conceituação, Conservação, Segurança e Reforço Estrutura**. Recife, CREA-PE,2015.

VITÓRIO, J A.P. **Pontes Rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão**.
Recife, CREA-PE,2002.

VITÓRIO, J A.P. **Vistorias, conservação e gestão de pontes e viadutos de concreto**. Recife, CREA-PE,2006.

ZATT, P.J.R.; CADAMURO JÚNIOR, I.W. **Um estudo sobre fissuras em concreto**. 2007. 6f., publicação on-line do Departamento de Engenharia Civil -
Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

LISTA DE APÊNDICES

**APÊNDICE A - CADERNO DE RECOMENDAÇÕES DE TRATAMENTO DE
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OAES**

An aerial photograph of a city skyline, likely Curitiba, Brazil. In the foreground, a large cable-stayed bridge with yellow cables spans across a river. The city is densely packed with modern high-rise buildings. A multi-lane highway with a bus lane runs parallel to the river. The sky is blue with scattered white clouds.

CADERNO DE RECOMENDAÇÕES DE TRATAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OAEs

PONTES E VIADUTOS

**Dezembro, 2021
Curitiba/PR - Brasil.**

AUTORES:
INGRID BRITES VIEIRA
ISABELA DA COSTA
THAIS CAROLINA DA CRUZ

1. OBJETIVO

O presente caderno tem por objetivo apresentar orientações e procedimentos que auxiliem os engenheiros e profissionais da área de Infraestrutura Rodoviária no processo de recuperação de estruturas de concreto, tais como pontes e viadutos, como também os materiais que podem ser empregados nos trabalhos de tratamento das manifestações patológicas observadas nas obras.

2. LIMITAÇÃO

O material desse caderno irá se limitar a analisar apenas manifestações patológicas em Obras de Arte Especiais, focando nos elementos de meso e superestrutura de concreto armado, de obras em concreto armado. Não são abordadas informações referentes a estruturas em concreto protendido, nem referentes aos elementos da infraestrutura (fundações).



3. RECUPERAÇÃO DE PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS

As obras de arte especiais (OAE) tem uma grande importância para o desenvolvimento das cidades, sendo obras que tem como função a transposição de obstáculos tais como avenidas, vales e rios.

Essas obras estão submetidas as ações externas provenientes de cargas moveis de veículos, forças devidas ao vento, ações das águas dos rios e variação de temperatura, além disso, estão construídas em ambiente sujeito a diversos tipos de classes de agressividade, conforme apresentadas na ABNT NBR 6118:2014.

De acordo com o Tribunal de Contas da Uniao TCU (2015), cerca de 75% das pontes existentes nas rodovias brasileiras encontram-se em condições precárias e necessitam de intervenção de recuperação, reforços ou alargamento para se adaptarem as exigências dos serviços.

A degradação dessas estruturas estão vinculada a questões como: idade, exposição ao ambiente e falta de atividades de manutenção, por isso e importante detectar as anomalias e as controlar previamente evita problemas maiores na durabilidade da estrutura.

A palavra Patologia no geral está relacionada com o estudo as doenças, assim vale ressaltar que assim como os pacientes na Medicina, as edificações também podem apresentar “doenças”, como trincas, manchas, rupturas, corrosões, fissuras, entre outras.

Patologia é a parte da Engenharia que examina os sintomas, o mecanismo, as origens e as causas das falhas das construções civis, ou seja, é o estudo de todos os componentes que formam o diagnóstico do problema.



Após o aparecimento de manifestações patológicas em uma estrutura, o problema tende a se agravar rapidamente, por isso, é necessário o conhecimento de cada parte do problema para que o diagnóstico e o tratamento possam ser realizados de maneira rápida e adequada.

Vida útil e durabilidade, apesar de serem conceitos diferentes, estão diretamente relacionadas de maneira que sua associação é inevitável. Ambas são determinadas de acordo com o tempo e dependem de uma correta manutenção pré-determinada em projeto, sendo a vida útil um período previsto para a utilização da obra, e durabilidade a tendência da peça de funcionar durante o período determinado pela vida útil.

Para se ter um entendimento melhor sobre a recuperação dessas estruturas é necessário que o profissional tenha em mente alguns conceitos, tais como:

- **Causa:** é o fenômeno que despertou a manifestação.
- **Origem:** é a inconformidade construtiva ou dano que proporcionou a causa de determinada manifestação.
- **Diagnóstico:** é a determinação das causas e origens das manifestações patológicas.
- **Prognóstico:** é a previsão da consequência do desdobramento de uma manifestação patológica.
- **Correção:** é a metodologia para a eliminação dos defeitos causados pelos problemas patológicos.
- **Recuperação:** é a correção dos problemas patológicos.
- **Reforço:** é o aumento da capacidade de resistência de um elemento, estrutura ou fundação em relação ao projeto original, devido à alteração de utilização, degradação ou falha que reduziram ou não atendem à sua capacidade resistente inicial.



- **Reconstrução:** é o refazimento de um elemento, estrutura ou fundação em razão de, mesmo que esse recebesse uma ação corretiva, não atenderia mais a um desempenho mínimo aceitável ou, de um custo dado de intervenção corretiva seja maior que o custo de sua reconstrução.

Nesse caderno são apresentadas fichas descrevendo as principais manifestações patológicas observadas em pontes e viadutos rodoviários de concreto armado, assim como, indicando ações de tratamento. Abaixo segue uma relação das fichas que irão compor esse caderno:

Tabela 01 – Manifestações Patológicas abordadas nas fichas

GRUPOS	FICHAS DA MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	PÁGINA
Fissuras	01 - Fissura por Retração Plástica	6
	02 - Fissura devido a Esforço de Flexão em Vigas	9
	03 – Fissura devido a Esforço Cortante em Vigas	14
Corrosão	04 - Corrosão Localizada	20
	05 - Corrosão Localizada com reparo maior que 5 cm	24
	06 - Corrosão Generalizada	28
	07 - Corrosão Generalizada com perda de seção da armadura	31
Deslocamento do concreto	08 - Deslocamento do concreto	36
Lixiviação	09 - Lixiviação e Eflorescência do concreto	40
	10 – Segregação do Concreto	43
Fuligem	11 - Fuligem no Concreto	47
Junta de Dilatação	12 – Recuperação de Juntas com troca de perfil nos Apoios	50
	13 – Recuperação de Juntas de Dilatação Asfáltica nos Encontros	54
Aparelhos de Apoio	14 – Substituição de Aparelhos de Apoio	60
Manchas	15 – Manchas na superfície do Concreto	65
Talude	16 – Recuperação de Taludes Revestidos	68

Os autores (2021)

FISSURA

As Fissuras podem ser definidas como descontinuidades de pequena ou grande abertura originadas pela ação de forças que provocam o aparecimento de tensões de tração que superam a capacidade resistente do material componente de estrutura. É considerada uma anomalia que indica a gravidade que a estrutura está submetida, podendo ser associada ao colapso que a estrutura pode vir a sofrer.

Como dito anteriormente, o surgimento da fissura se dá quando as solicitações de uma estrutura são maiores que sua resistência, como por exemplo: erro de projeto, erro de execução, mudança de uso ou quando algum esforço imprevisível tenha influência sobre a estrutura, insuficiência de armadura que diminuiu a capacidade de resistência à tração e flexão da estrutura aumentando a chance de colapso, cálculo inadequado ou falta de identificação de todos os esforços que atuaram sobre a estrutura e entre outros.

A ABNT NBR 6118 (2014) – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, estabelece o estado limite de abertura de fissuras caracterizado pela situação que as aberturas características se apresentam, podendo ser iguais ou menores ao máximo especificado. Os limites máximos dessas aberturas são em função das classes de agressividade ambiental descrita na norma. Com isso, as fissuras só passam a se tornar um problema patológico quando apresentam abertura superior aos valores admissíveis ou quando não possuem origem do funcionamento normal da estrutura.

Em estruturas bem projetadas, construídas e desempenhando as corretas funções para as quais foram projetadas a presença de fissura com aberturas dentro do limite da norma não indica perda de durabilidade e segurança quanto aos estados limites últimos.

FISSURA POR RETRAÇÃO PLÁSTICA

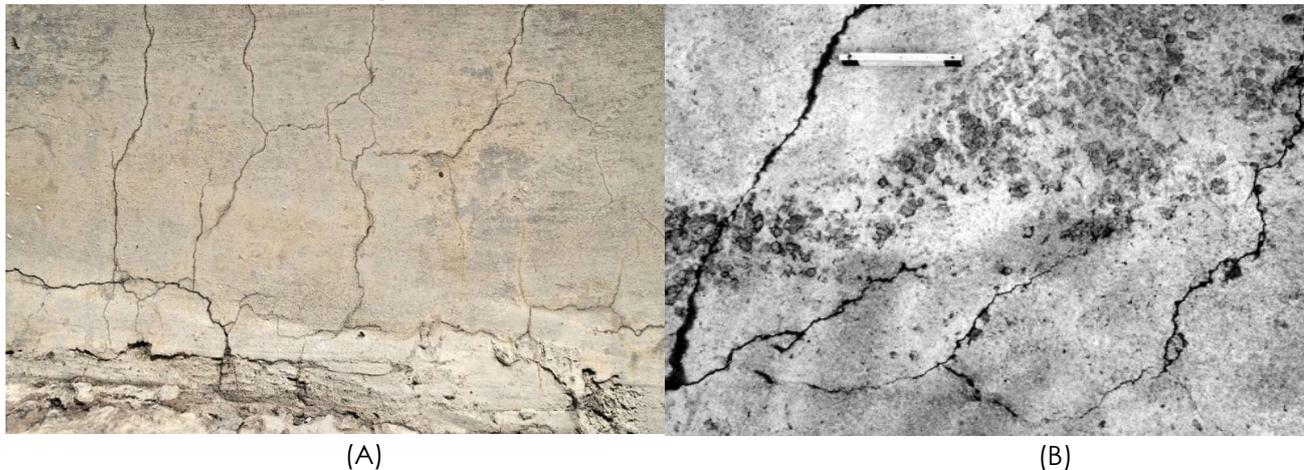
GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: TRINCAS E FISSURAS

01

LOCALIZAÇÃO: ELEMENTOS ESTRUTURAIS

CONCEITO: Fissura por retração plástica é quando ocorre a redução do volume do concreto através da perda de água para o meio quando o concreto ainda está em seu estado fresco, uma vez que a água destinada ao processo de hidratação da pasta é perdida para o meio, fazendo com que ocorra a diminuição da resistência e o surgimento de fissuras. Essas fissuras são pouco profundas de pequena abertura (inferior a 0,5mm) e de comprimento limitado, sua ocorrência é aleatória, podendo se desenvolver formando ângulo de 45° a 60° com o maior eixo longitudinal do elemento.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



Fonte: TECNOSIL BR (2021) / CANOVA (1994) / Civil Engineering Portal

Notas de aula: Eduardo Thomaz

- A)** Fissura por retração plástica na lateral de uma viga longarina;
B) Fissuras por retração plástica na superfície do concreto algumas horas após o lançamento.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Falta de cura, através da molhagem constante, asperção irrigação, alagamento, cobertura com tecidos e/ou mantas úmidas e cura química;
- Evaporação da água do concreto após o seu lançamento devido a temperaturas elevadas no momento da concretagem, baixa umidade do ar e elevada temperatura durante a hidratação/cura do cimento;
- Relação do fator água-cimento com a granulometria dos agregados, quando o concreto possui uma maior quantidade de água em relação aos materiais secos;
- Condições climáticas, a qualidade do concreto está diretamente relacionada às condições climáticas a qual estará exposto e pela taxa de evaporação da água da mistura, quando ele está em sua fase de cura, elevadas temperaturas fazem com que o processo de evaporação ocorra mais rápido, ocorrendo a retração plástica. A NBR 14931 estabelece que a concretagem não pode acontecer em temperatura ambiente superior a 40 °C;
- Umidade do ar, esse fator influencia no processo de evaporação da água, quando ocorre a baixa umidade do ar, a água do concreto é evaporada mais rápido.

PROGNÓSTICO: As fissuras são manifestações que causam desconforto visual e influenciam na duração da vida útil da obra. O maior problema independente de sua abertura ou causa, e que as mesmas aceleram o processo de degradação do concreto, pois as aberturas permitem que agentes agressivos adentrem além da camada de cobrimento e com isso ocorrendo a oxidação das armaduras ou infiltração de água.

RECOMENDAÇÕES DE PREVENÇÃO:

- Usar água fria na mistura, para obter uma temperatura do concreto $T > 20$ °C;
- Proteger os agregados da incidência do sol;
- Em épocas mais quentes, realizar a concretagem a noite pela temperatura mais baixa;
- Não realizar a concretagem com ventos fortes;
- Após a concretagem, cobrir o concreto com esteiras encharcadas com água;
- Utilizar fibras de polipropileno na mistura do concreto, microfibras sintéticas de polipropileno para concreto e argamassa. Por exemplo, (SIKA SIKAFIBER – 12 MICRO PP) ou similar;
- Aplicação de um retardador de evaporação de água, pois facilita o acabamento e reduz a evaporação. Por exemplo, (SIKA SIKAFILM) ou similar.

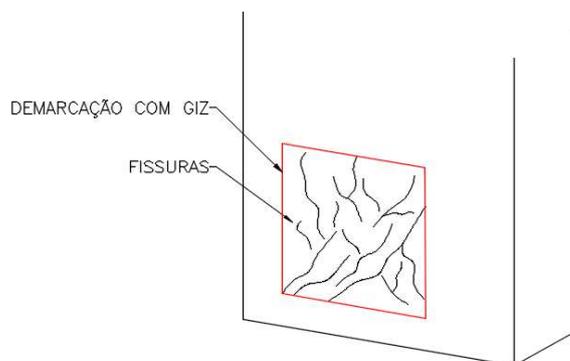
RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: Aplicação de adesivo estrutural à base de resina epóxi, fixotrópico de alta viscosidade, bicomponente e de pega normal. Esse tipo de material pode ser aplicado em superfícies horizontais e verticais (não escorre). Com endurecimento rápido, impermeável, com alta resistência mecânica a tração e compressão.

Para a sequência de tratamento, as fissuras devem ser superficiais, de pequena abertura (inferior a 0,5 mm) e de comprimento limitado.

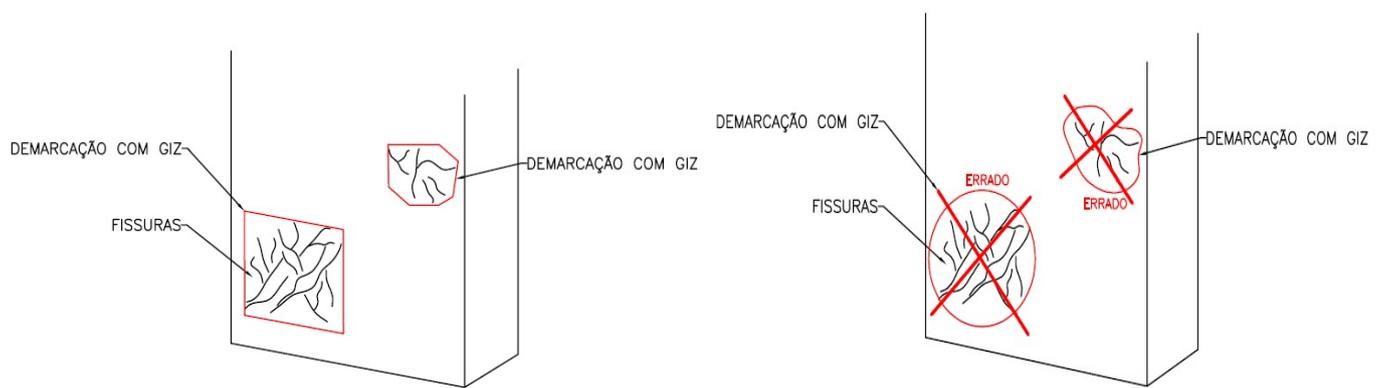
Antes de qualquer mudança na estrutura, deve-se contratar um profissional habilitado, para realizar os estudos de cargas para verificação das consequências das intervenções, fazer o escoramento prévio das estruturas quando forem realizadas mudanças nas estruturas.

A sequência executiva a ser seguida para a metodologia de terapia ou tratamento de Fissuras Superficiais por Retração Plástica do concreto segue as seguintes etapas:

1. Localizar, identificar os locais na estrutura que apresentam as manifestações patológicas. Essa identificação é realizada de forma visual.



2. Demarcar com giz as regiões das patologias a serem reparadas com figuras geométricas deixando uma folga, não se deve utilizar figuras circulares ou onduladas.



3. Realizar limpeza das fissuras através de uma raspagem superficial, com o auxílio de espátula e escovação com escova de aço ao redor da fissura, não sobre a fissura. Caso necessário utilizar limpeza com jateamento de ar.
4. Escariar e abrir a fissura com um riscador de metal.
5. Realizar a mistura dos componentes, até a homogeneização dos componentes, a mistura pode ser realizada por um agitador mecânico de baixa rotação por 3 minutos ou manualmente por 5 minutos até obter uma cor uniforme.
6. Utilizando de uma espátula ou trinchas, realizar a aplicação de adesivo estrutural à base de resina epóxi, bi-componente. A resina utilizada deve estar de acordo com o tempo disponível de cura, exigindo no mínimo 24h de cura inicial e 7 dias de cura final.

A metodologia descreve tratamento para fissuras passivas (que não produzem movimento), deve-se utilizar adesivo estrutural à base de resina epóxi. Por exemplo (MC BAUCHEMIE MC-DUR 1300 TX – Resina epóxi e SIKADUR 31 – Adesivo estrutural à base de resina epóxi, tixotrópico ou similares).

Aplicar uma camada entre 1 e 2 mm de espessura, sendo o suficiente para promover aderência.

É importante aguardar os tempos mínimos necessários para ganho de resistência e cura dos materiais aplicados.

FISSURA DEVIDO A ESFORÇO DE FLEXÃO EM VIGAS

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: TRINCAS E FISSURAS

02

LOCALIZAÇÃO: ELEMENTOS ESTRUTURAIS

CONCEITO: As fissuras de flexão ocorrem nas estruturas de concreto armado, geralmente de aberturas reduzidas e desenvolvidas no meio da viga e em posição vertical. As aberturas maiores ficam em direção à face inferior da viga, onde estão as fibras tracionadas, e na face superior onde as fibras são comprimidas as aberturas são menores e pontuais. Nos apoios as fissuras por flexão formam um ângulo de 45° com a horizontal devido ao esforço cortante, em vigas mais altas a inclinação forma um ângulo de 60° com a horizontal. Não é possível prever a quantidade de trincas de flexão ocorrerá em uma viga o tamanho de sua abertura e sua extensão, pois isso dependerá de fatores, como: características geométricas da peça, das propriedades físicas e mecânicas dos materiais e do tipo de carga que essa estrutura está sendo submetida. A abertura das fissuras pode variar devido ao tempo ou alterações de tensões, quando varia, é chamada de fissura ativa, em caso de concreto protendido e passiva no caso de concreto armado.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



Fonte: Boletim técnico - Antônio Carmona Filho & Thomas Carmona (2013)
Estudo de caso - Ponte Governador Magalhães Pinto (2019).

- A)** Viga principal com fissura decorrente da sobrecarga na estrutura;
- B)** Fissuras devido à flexão em ponte provocada pela passagem de veículos com carga excessiva, não prevista em projeto;
- C)** Exemplificação do aumento da fissuração por flexão devido ao aumento do carregamento e principalmente pela flexão das barras longitudinais de suporte dos estribos desta região, formando fissuras no centro da viga, inclinadas próximas a 45° ou quase em posição vertical.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Alteração do tráfego na rodovia, com acréscimo de cargas atuantes, com oscilação de cargas atuantes;
- Fissuras inclinadas decorrentes do excesso de carga do tráfego atual sobre as travessas;
- Detalhamento insuficiente de armaduras;
- Erro de cálculo, subdimensionamento no projeto, não avaliando as cargas que atuarão na estrutura;
- Erro de execução, com posicionamento incorreto das armaduras;
- Deficiência nos materiais utilizados;
- Deficiência na análise estrutural inicial, pois na elaboração do projeto não foi previstos todas as cargas que a estrutura deveria suporta;

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Aumento do peso próprio da superestrutura devido à pavimentação e acréscimo de passeios;
- Grande variações de temperatura provocando grandes solicitações, gerando deformações no tabuleiro aumentando os momentos positivos em uma viga contínua, causando em certas seções efeitos comparáveis aos das cargas de serviço.

PROGNÓSTICO: As fissuras são manifestações que causam desconforto visual e influenciam na duração de vida útil da obra. Independentemente de sua abertura ou causa, as fissuras aceleram a degradação do concreto, as aberturas permitem que agentes agressivos adentrem além da camada de cobrimento e com isso ocorrendo a oxidação das armaduras e também infiltração de água.

Em estruturas onde o estado de fissuração é consolidado, ou seja, todas as fissuras já foram formadas, com o aumento de carga, fissuras existentes irão aumentar de abertura, necessitando de outros tratamentos mais complexos e de maior custo como por exemplo, reforço na estrutura.

RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: Em um primeiro momento deve ser realizada uma análise estrutural por profissional habilitado, a fim de identificar a necessidade de execução de reforço estrutural. O reforço de uma estrutura é realizado quando a mesma não demonstra um desempenho satisfatório. A norma ABNT NBR 6118/2014 separa requisitos de qualidade de uma estrutura, sendo eles a capacidade resistente, o desempenho em serviço e sua durabilidade. Quando a estrutura não atende a esses requisitos, é optado pelo reforço estrutural.

Essa análise pode ser realizada através de formulações para calcular e limitar a abertura dessas fissuras, podendo prever diversas aberturas das fissuras por flexão ou ensaios não destrutivos e semi-destrutivos que possuem o objetivo de contextualizar de forma mais precisa a situação do problema identificado anteriormente. Os mais utilizados são: esclerometria, ultrassom e pacometria.

No que diz respeito à manifestação patológica, para o tratamento de fissuras por flexão sugere-se a execução de injeção das aberturas com uso de resina epóxi ou poliuretano. Para o procedimento de injeção deverão ser utilizados bicos de perfuração em concreto (Bicos de Injeção de alumínio), que são utilizados para a injeção de resinas de epóxi ou poliuretano. Os bicos em alumínio são recomendados pois não sofrem corrosão, caso permaneçam na estrutura. Os mesmos também podem ser retirados.

Antes de qualquer mudança na estrutura, deve-se contratar um profissional habilitado, para realizar os estudos de cargas para verificação das consequências das intervenções, fazer o escoramento prévio das estruturas quando forem realizadas mudanças nas estruturas

Esse tratamento é recomendado para fissuras estáticas horizontais com abertura acima de 0,4 mm aplicação por gravidade, e fissuras verticais com aberturas acima de 0,2 mm aplicação por injeção.

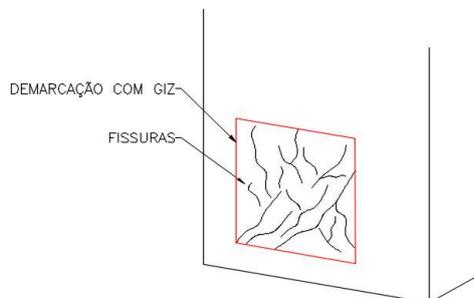
O objetivo desta metodologia é reestabelecer a condição original de uma peça, portanto, precisa ser um material rígido que realize tal função.

Por isso é recomendado a resina epóxi ou poliuretano, que possuiu as seguintes características:

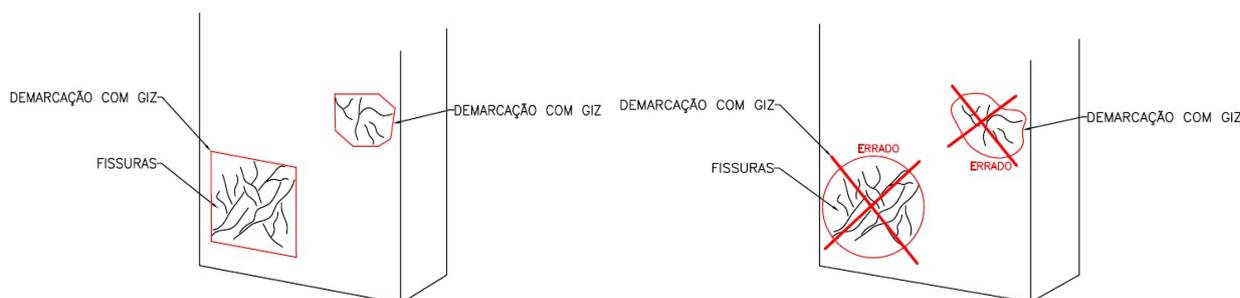
- Elevada aderência e sem retração;
- Tratamento de fissuras e trincas estáticas (0,2 a 5,0 mm);
- Reparos localizados em estruturas de concreto com alto tráfego, cargas cíclicas e pontuais;
- Evita a penetração dos agentes agressivos pelas fissuras;
- Objetivos de recuperar o monolitismo de estruturas de concreto, com a injeção das fissuras estáticas;
- Resistência química a diversos tipos de produtos;
- Resistência à tração de 25 MPa e resistência à flexão de 50 MPa.

A sequência executiva a ser seguida para a metodologia de tratamento de fissuras por flexão segue as seguintes etapas:

1. Localizar, identificar os locais na estrutura que apresentam as manifestações patológicas. Essa identificação é realizada de forma visual.



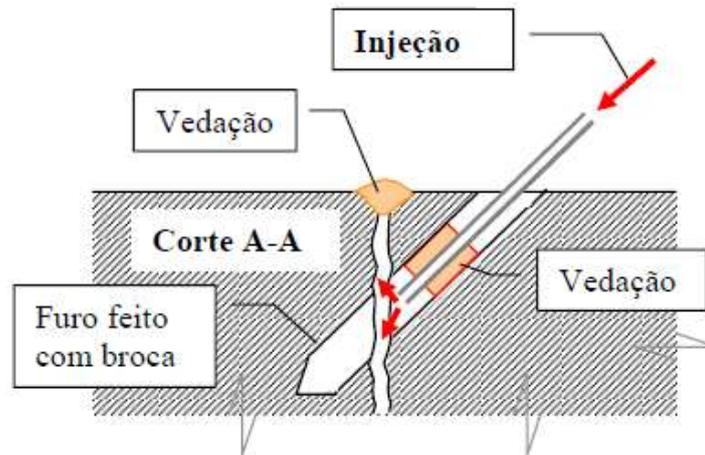
2. Demarcar com giz as regiões das patologias a serem reparadas com figuras geométricas deixando uma folga, não se deve utilizar figuras circulares ou onduladas.



3. Realizar limpeza das fissuras com raspagem superficial com espátula e escovação com escova de aço ao redor da fissura, não sobre a fissura.
4. Limpeza das fissuras com jateamento de ar comprimido para a remoção de detritos provenientes da etapa anterior.
5. Utilizando uma broca de vídia, executar furos ao longo da fissura, alternadamente com inclinação de 45° em direção à fissura e fixar os bicos de perfuração;

O espaçamento entre os bicos de injeção são variáveis de acordo com o tipo de bico utilizado, pode-se adotar a seguinte regra:

- Bicos metálicos de adesão: distância entre bicos = espessura da peça;
- Bicos metálicos de perfuração: distância entre bicos = espessura da peça.



Fonte: Exemplo 150 – Casos Reais – Eduardo Thomaz

6. Depois da distribuição e fixação dos bicos de injeção, deve-se colmatar a fissura em toda a sua extensão (entre os bicos) utilizando um adesivo bicomponente de base epóxi, de consistência tixotrópica, indicado para colagem de concreto, aço, alumínio, cerâmica e outros. Por exemplo, (Viapoxi Adesivo Tix, SIKA Sikadur 31) ou similar.

Aguardar o tempo de cura, conforme especificação do fabricante.

7. Injetar ar comprimido pelo primeiro bico para fazer a intercomunicação entre os bicos, mantendo os outros bicos fechados. Essa etapa tem por objetivo verificar a não obstrução passagem de ar entre eles;
8. Realizar a injeção dos sistemas com material vedante. O material recomendado para essa etapa é:
 - Adesivo estrutural de base epóxi, de baixa viscosidade, isento de solventes, bicomponente, para injeção em trincas e fissuras estáticas em estruturas de concreto. Por exemplo, (VIAPOXI INJEÇÃO, SIKA SIKADUR 52) ou similar.

A pressão de injeção usual é de 0,5 a 1,0 MPa (5 a 10 atm). Deve ser utilizado um purgador (suspiro) com o objetivo de permitir a saída do ar para facilitar o fluxo do material de pré-enchimento.

Em fissuras verticais, deve-se iniciar o processo de injeção pelo bico inferior, mantendo a injeção neste bico enquanto o sistema estiver vazando pelos bicos superiores, após isso é feita a troca para o bico superior (2º bico), repetindo-se a operação. Deve-se injetar somente por um dos lados da estrutura.

Em fissuras horizontais com abertura maior que 0,4mm, a aplicação pode ser realizada por gravidade. É recomendado abrir previamente as fissuras com disco de corte, com uma espessura mínima de 3 mm e profundidade de 25 mm.

Obs: O material de injeção só poderá ser aplicado após no mínimo 12 horas da colmatação da fissura e fixação dos bicos de injeção.

9. Retirar os bicos injetores e o material de colmatação após 24 horas, tamponando os furos com argamassa para reparo monocomponente, formulado à base de cimento Portland, fibras, agregados selecionados, aditivos especiais e agente inibidor de corrosão de armadura, e realizar o acabamento superficial. Por exemplo, (Eucorepair VI60) ou similar.

Aguardar os tempos mínimos necessários para ganho de resistência e cura dos materiais aplicados.

FISSURA DEVIDO A ESFORÇO CORTANTE EM VIGAS

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: TRINCAS E FISSURAS

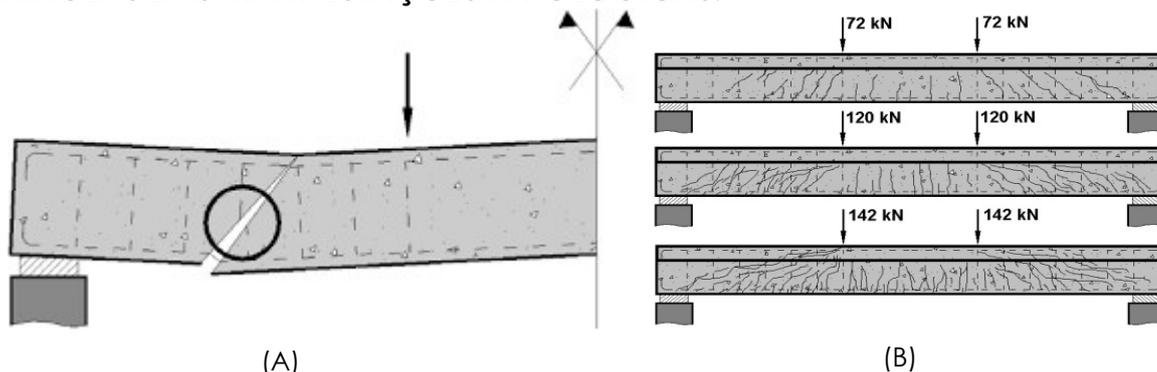
03

LOCALIZAÇÃO: ELEMENTOS ESTRUTURAIS

CONCEITO: Fissura por esforço cortante tem origem nas fissuras de flexão tornando-se inclinadas conforme o aumento das cargas, ocorrem normalmente nos pontos de cortante máximo. Em uma viga, os estribos são colocados desviados da direção principal do esforço de tração, com isso acabam sendo não tão eficazes, gerando fissuras de cisalhamento. Sua abertura ocorre de maneira mais rápida do que as fissuras por flexão.

Enquanto a tensão de tração for inferior à resistência do concreto à tração na flexão, a viga não irá apresentar fissuras por esforços. Com o aumento do carregamento no momento máximo, a resistência do concreto à tração é ultrapassada fazendo com que ocorram as primeiras fissuras a flexão e conforme o carregamento aumenta, surgem fissuras entre as forças e os apoios inclinadas, devido a inclinação das tensões principais de tração. A inclinação desse tipo de fissura correspondem à inclinação das trajetórias das tensões principais, perpendicular à direção das tensões principais de tração.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



A) Exemplificação de fissuras devido à força cortante próxima aos apoios;

B) Exemplificação do aumento da fissuração por força cortante devido ao aumento do carregamento, formando fissuras no centro da viga, inclinadas de 45° próxima aos apoios.

Fonte: Boletim técnico - Antônio Carmona Filho & Thomas Carmona (2013)

Cisalhamento em vigas - Capítulo 13 - Libano M. Pinheiro, Cassiane D. Muzardo, Sandro P. Santos.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Alteração do tráfego na rodovia, com acréscimo de cargas atuantes, com oscilação de cargas atuantes;
- Fissuras inclinadas decorrentes do excesso de carga do tráfego atual sobre as travessas;
- Detalhamento insuficiente de armaduras ou armaduras dispostas de forma incorreta;
- Armadura transversal insuficiente;
- Erro de cálculo, subdimensionamento no projeto, não avaliando as cargas que atuarão na estrutura;
- Deficiência na análise estrutural inicial, pois na elaboração do projeto não foi previstos todas as cargas que a estrutura deveria suporta;
- Influência da seção transversal ou seção insuficiente.

PROGNÓSTICO: As fissuras são manifestações que causam desconforto visual e influenciam na duração de vida útil da obra. Independentemente de sua abertura ou causa, as fissuras aceleram a degradação do concreto, as aberturas permitem que agentes agressivos adentrem além da camada de cobrimento e com isso ocorrendo a oxidação das armaduras e também infiltração de água.

Em estruturas onde o estado de fissuração é consolidado, ou seja, todas as fissuras já foram formadas, com o aumento de carga, fissuras existentes irão aumentar de abertura, necessitando de outros tratamentos mais complexos e de maior custo como por exemplo, reforço na estrutura.

RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: Em um primeiro momento deve ser realizada uma análise estrutural por profissional habilitado, a fim de identificar a necessidade de execução de reforço estrutural. O reforço de uma estrutura é realizado quando a mesma não demonstra um desempenho satisfatório. A norma ABNT NBR 6118/2014 separa requisitos de qualidade de uma estrutura, sendo eles a capacidade resistente, o desempenho em serviço e sua durabilidade. Quando a estrutura não atende a esses requisitos, é optado pelo reforço estrutural.

Essa análise pode ser realizada através de formulações para calcular e limitar a abertura dessas fissuras, podendo prever diversas aberturas das fissuras por flexão ou ensaios não destrutivos e semi-destrutivos que possuem o objetivo de contextualizar de forma mais precisa a situação do problema identificado anteriormente. Os mais utilizados são: esclerometria, ultrassom e pacometria.

No que diz respeito à manifestação patológica, para o tratamento de fissuras por esforço cortante sugere-se a execução de injeção das aberturas com uso de resina epóxi ou poliuretano. Para o procedimento de injeção deverão ser utilizados bicos de perfuração em concreto (Bicos de Injeção de alumínio), que são utilizados para a injeção de resinas de epóxi ou poliuretano. Os bicos em alumínio são recomendados pois não sofrem corrosão, caso permaneçam na estrutura. Os mesmos também podem ser retirados.

Antes de qualquer mudança na estrutura, deve-se contratar um profissional habilitado, para realizar os estudos de cargas para verificação das consequências das intervenções, fazer o escoramento prévio das estruturas quando forem realizadas mudanças nas estruturas

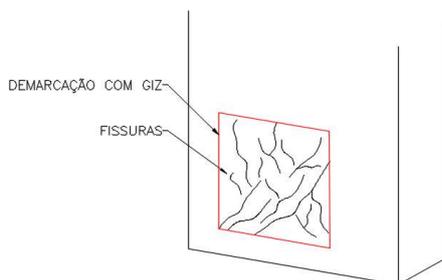
O objetivo desta metodologia é reestabelecer a condição original de uma peça, portanto, o material utilizado deve ser rígido que realize tal função.

Por isso é recomendado a resina epóxi ou poliuretano, que possuiu as seguintes características:

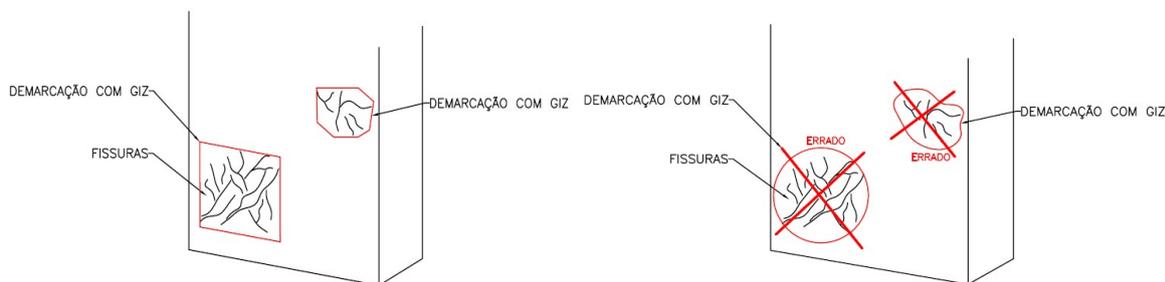
- Elevada aderência e sem retração;
- Tratamento de fissuras e trincas estáticas (0,2 a 5,0 mm);
- Reparos localizados em estruturas de concreto com alto tráfego, cargas cíclicas e pontuais;
- Evita a penetração dos agentes agressivos pelas fissuras;
- Objetivos de recuperar o monolitismo de estruturas de concreto, com a injeção das fissuras estáticas;
- Resistência química a diversos tipos de produtos;
- Resistência à tração de 25 MPa e resistência à flexão de 50 MPa.

A sequência executiva a ser seguida para a metodologia de tratamento de fissuras por flexão segue as seguintes etapas:

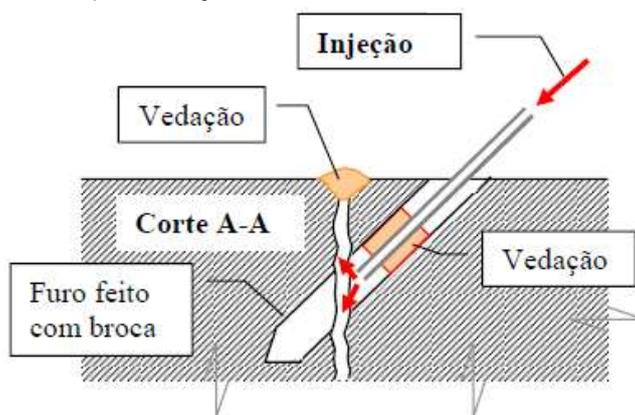
1. Localizar, identificar os locais na estrutura que apresentam as manifestações patológicas. Essa identificação é realizada de forma visual.



2. Demarcar com giz as regiões das patologias a serem reparadas com figuras geométricas deixando uma folga, não se deve utilizar figuras circulares ou onduladas.



3. Realizar limpeza das fissuras com raspagem superficial com espátula e escovação com escova de aço ao redor da fissura, não sobre a fissura.
4. Limpeza das fissuras com jateamento de ar comprimido para a remoção de detritos provenientes da etapa anterior.
5. Utilizando uma broca de vídia, executar furos ao longo da fissura, alternadamente com inclinação de 45° em direção à fissura e fixar os bicos de perfuração;
O espaçamento entre os bicos de injeção são variáveis de acordo com o tipo de bico utilizado, pode-se adotar a seguinte regra:
 - Bicos metálicos de adesão: distância entre bicos = espessura da peça;
 - Bicos metálicos de perfuração: distância entre bicos = espessura da peça.



Fonte: Exemplo 150 – Casos Reais – Eduardo Thomaz

6. Depois da distribuição e fixação dos bicos de injeção, deve-se colmatar a fissura em toda a sua extensão (entre os bicos) utilizando um adesivo bicomponente de base epóxi, de consistência tixotrópica, indicado para colagem de concreto, aço, alumínio, cerâmica e outros. Por exemplo, (Viapoxi Adesivo Tix, SIKA Sikadur 31) ou similar.

Aguardar o tempo de cura, conforme especificado o fabricante.

7. Injetar ar comprimido pelo primeiro bico para fazer a intercomunicação entre os bicos, mantendo os outros bicos fechados. Essa etapa tem por objetivo verificar a não obstrução passagem de ar entre eles;
8. Realizar a injeção dos sistemas com material vedante. O material recomendado para essa etapa é:
 - Adesivo estrutural de base epóxi, de baixa viscosidade, isento de solventes, bicomponente, para injeção em trincas e fissuras estáticas em estruturas de concreto. Por exemplo, (VIAPOXI INJEÇÃO, SIKA SIKADUR 52) ou similar.

A pressão de injeção usual é de 0,5 a 1,0 MPa (5 a 10 atm). Deve ser utilizado um purgador (suspiro) com o objetivo de permitir a saída do ar para facilitar o fluxo do material de pré-enchimento.

Em fissuras verticais, deve-se iniciar o processo de injeção pelo bico inferior, mantendo a injeção neste bico enquanto o sistema estiver vazando pelos bicos superiores, após isso é feita a troca para o bico superior (2º bico), repetindo-se a operação. Deve-se injetar somente por um dos lados da estrutura.

Em fissuras horizontais com abertura maior que 0,4mm, a aplicação pode ser realizada por gravidade. É recomendado abrir previamente as fissuras com disco de corte, com uma espessura mínima de 3 mm e profundidade de 25 mm.

Obs: O material de injeção só poderá ser aplicado após no mínimo 12 horas da colmatação da fissura e fixação dos bicos de injeção.

9. Retirar os bicos injetores e o material de colmatação após 24 horas, tamponando os furos com argamassa para reparo monocomponente, formulado à base de cimento Portland, fibras, agregados selecionados, aditivos especiais e agente inibidor de corrosão de armadura, e realizar o acabamento superficial. Por exemplo, (Eucorepair VI60) ou similar.

Aguardar os tempos mínimos necessários para ganho de resistência e cura dos materiais aplicados.

CORROSÃO

A corrosão pode ser definida como sendo a deterioração de um material, por ação química, física ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Esse fenômeno pode incidir sobre diversos tipos de materiais, sejam metálicos como os aços ou ligas de cobre, por exemplo, ou não metálicos, como plásticos, cerâmicas ou concreto (GENTIL, 2003). A corrosão de armadura no concreto armado é um fenômeno que só acontece quando as condições de proteção proporcionadas pelo cobrimento desse concreto são insuficientes, ocorrendo geralmente em locais mais expostos à umidade e agentes agressivos, ou em áreas com muitas falhas, como ninhos de concretagem que, pela alta porosidade local, acaba por facilitar a penetração de agentes agressivos. A região da base dos pilares tende a ser uma área de maior incidência da corrosão de armaduras.

De acordo com Meira (2017), o processo de corrosão pode assumir duas formas: corrosão química e corrosão eletroquímica, sendo que a corrosão eletroquímica é mais comum de ocorrer em estruturas de concreto armado. A corrosão eletroquímica pressupõe a formação de uma pilha eletroquímica, existindo:

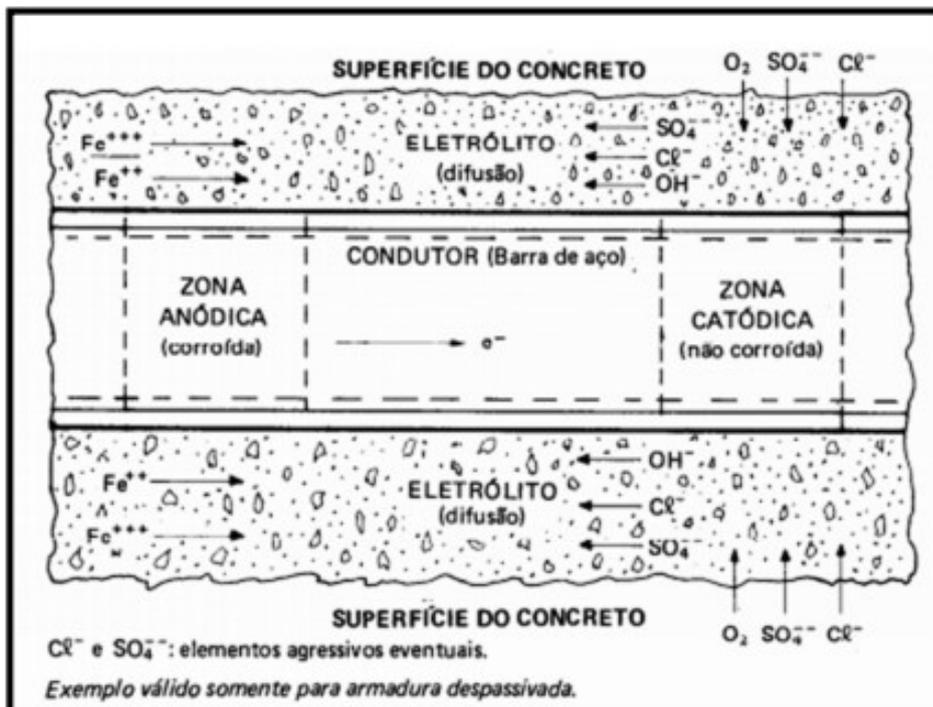
- a presença de um ânodo que se caracteriza pela passagem do material do estado metálico para o estado iônico (oxidação);
- um cátodo, onde são consumidos os elétrons gerados na região anódica (redução);
- uma diferença de potencial entre ambos, sendo o ânodo de potencial mais eletronegativo;

- uma ligação metálica entre o ânodo e o cátodo, que pode ser caracterizada pelo mesmo material metálico;
- e uma ligação externa caracterizada pela condução iônica através do eletrólito.

Segundo Meira (2017), a corrosão pode ocorrer de forma generalizada ou localizada, sendo que essas manifestações corrosivas podem sofrer algumas variações morfológicas, podendo apresentar outras formas, tais como: aparência superficial uniforme ou irregular, com a formação de pites ou fissuras.

Na figura a seguir é possível verificar como ocorre o processo de corrosão eletroquímica, com a formação de uma pilha.

Figura 1 - Pilha eletroquímica em estruturas de concreto.



Fonte: Helene (1986).

CORROSÃO LOCALIZADA

04

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: CORROSÃO

LOCALIZAÇÃO: ELEMENTOS ESTRUTURAIS;

CONCEITO: A corrosão localizada se manifesta em regiões pontuais da estrutura, o desgaste se processa em uma superfície limitada e, usualmente, tende a se aprofundar de modo mais rápido do que em um processo de corrosão generalizada. É tipicamente causada pela penetração de íons cloreto no meio, vindos do exterior ou pertencente a algum constituinte do concreto.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



(A)



(B)



(C)

Fonte: MANUAL DE RECUPERAÇÃO DE PONTES E viadutos RODOVIÁRIOS, (2010).

A) Pilar com corrosão localizada da armadura;

B) Viga com corrosão localizada, ocasionada pelo cobrimento insuficiente da armadura;

C) Viga caixão com corrosão localizada devido ao impacto com veículos.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Cobrimento insuficiente da armadura, que resulta na desproteção do aço contra o ataque de agentes agressivos;
- Presença de umidade, que ocorre por falha na impermeabilização;
- Agentes agressivos, como os íons cloretos. Quanto maior a concentração de cloretos menor será a probabilidade de passivação do aço;
- Falha na concretagem, que ocasiona bicheiras, ninhos e vazios nos elementos estruturais;
- Impactos que podem gerar a exposição da armadura;
- Impactos de veículos, que causam a remoção da camada de cobrimento.

PROGNÓSTICO: A corrosão localizada que se manifesta nos elementos estruturais de pontes e viadutos, se não tratada pode levar a uma corrosão completa ou seja generalizada ocasionando:

- Degradação completa da estrutura;
- Redução da área do aço;
- Desagregação do concreto;
- Comprometimento da vida útil da estrutura;
- Desenvolvimento da corrosão generalizada;
- Comprometimento estético da ponte ou viaduto.

RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: A corrosão localizada se manifesta em pequenas ou grandes áreas dos elementos estruturais, pra evitar essa manifestação patológica faz necessário a utilização de métodos complementares de proteção da armadura. Para o início do reparo da estrutura deve-se conhecer a causa do problema.

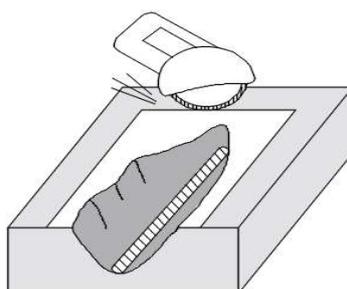
Os reparos podem ser classificados em rasos, semiprofundos e profundos, de acordo com a profundidade alcançada, sendo:

- Rasos: 0 até 2 cm;
- Semiprofundos: 2 até 5 cm;
- Profundos: a partir de 5 cm.

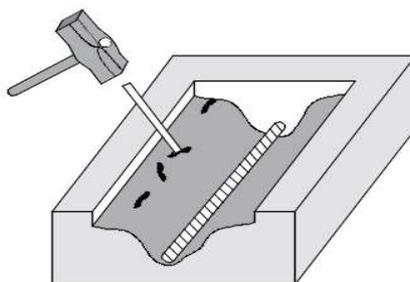
Quando um elemento estrutural está danificado, a corrosão não existe somente nas áreas que visualmente estão deterioradas, as redondezas também podem estar corroídas, sem sinal algum de danos externos visíveis. Por esse motivo deve-se inspecionar a armadura até encontrar as partes que não se encontram danificadas.

A seqüência executiva a ser realizada para a metodologia de terapia ou tratamento da Corrosão Localizada segue as etapas descritas abaixo:

1. Localizar e efetuar a delimitação da área que sofreu a corrosão localizada. Para essa etapa utilizar uma serra de corte circular.

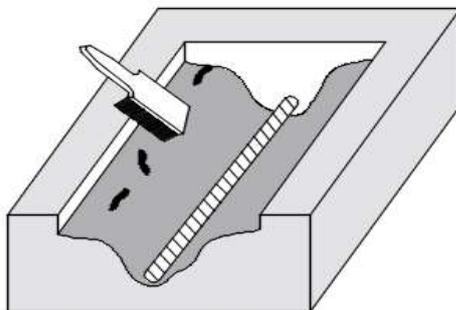


2. Após analisar a área afetada deve-se começar a escarificação da estrutura danificada, removendo todo o concreto contaminado e deteriorado. Quando a parte deteriorada for pequena, essa limpeza pode ser feita utilizando uma marreta junto com a talhadeira e ponteiro, caso seja maior efetuar a remoção com o martetele.

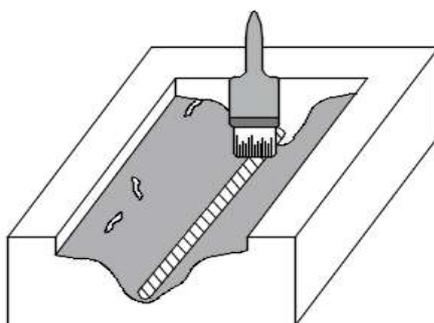


3. O profissional responsável pelo procedimento deverá verificar se a delimitação da área atingiu todo o material afetado.

4. Terminado a escarificação, deve-se efetuar uma limpeza cuidadosa do concreto e das armaduras, para remoção de toda a oxidação. Essa limpeza pode ser realizada manualmente com lixas e escova de aço, ou através de jato de água.



5. O profissional responsável deverá conferir se toda a oxidação foi removida e comprovar se não houve perda superior a 15% da área de seção da barra de aço. Caso haja essa perda, deverá ser realizado o procedimento indicado na FICHA 07 "Corrosão generalizada com perda de seção da armadura".
6. Após a limpeza, aplicar em toda a armadura exposta que sofreu a corrosão, o protetor anticorrosivo (recomenda-se usar da marca VEDACIT, ou similar), que é um revestimento polimérico bicomponente de grande eficiência. Esse material anticorrosivo irá formar sobre a superfície do aço uma proteção anticorrosiva. Para a aplicação pode ser utilizado pincel, ou rolo.

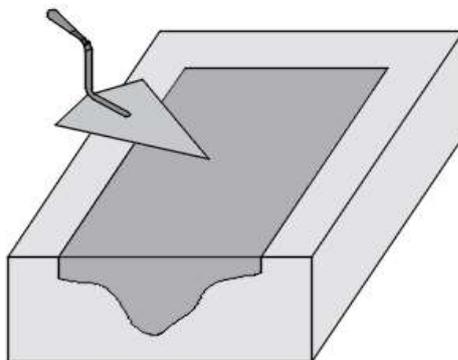


7. Na última etapa efetuar a reconstituição da geometria da peça. Caso esse reparo seja de até 5 cm utilizar argamassa estrutural polimérica (recomenda-se usar da marca VEDACIT, ou similar), que é um material à base de cimento e aditivos especiais, e apresenta elevada resistência mecânica.

A mistura poderá ser feita com misturador mecânico.

Para a aplicação do material a superfície deve estar limpa, íntegra, seca e sem impregnação de desmoldantes, agentes de cura ou qualquer outro tipo de material que prejudique a aderência da argamassa independentemente do tamanho da área.

A aplicação poderá ser realizada com uma colher de pedreiro e desempenadeira ou com projetor de argamassa.



8. Com a estrutura reparada, o profissional responsável deve verificar se a superfície encontra-se regular e com a geometria original recuperada. Conforme recomendações específicas de cada material, deve-se promover cura úmida ou química, para tal, aplicar o agente de cura química (recomenda-se usar o VEDACIT Pro Agente de Cura REV, ou similar), sobre a superfície recuperada.
9. Se o reparo estrutural devido a corrosão localizada for do tipo profundo (reparos acima de 5 cm), verificar o procedimento de recuperação recomendado na **FICHA 05 “Corrosão localizada com reparo maior que 5 cm”**.

CORROSÃO LOCALIZADA COM REPARO MAIOR QUE 5cm

05

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: CORROSÃO

LOCALIZAÇÃO: ELEMENTOS ESTRUTURAIS

CONCEITO: A corrosão localizada se manifesta em regiões pontuais da estrutura, o desgaste se processa em uma superfície limitada e, usualmente, tende a se aprofundar de modo mais rápido do que em um processo de corrosão generalizada. É tipicamente causada pela penetração de íons cloreto no meio, vindos do exterior ou pertencente a algum constituinte do concreto. A corrosão localizada profunda (com reparo estrutural maior que 5 cm), necessita de um reparo de maior intensidade.

IMAGENS DA MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA:



Fonte: MANUAL DE RECUPERAÇÃO DE PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS (2010).

(A)

(B)

(C)

- A) Pilar com corrosão localizada profunda, devido a impacto com veículos;
- B) Viga com corrosão localizada;
- C) Pilar com corrosão localizada, devido a agentes agressivos e umidade.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Cobrimento insuficiente da armadura, que resulta na desproteção do aço contra o ataque de agentes agressivos;
- Presença de umidade, que ocorre por falha na impermeabilização;
- Agentes agressivos, como os íons cloretos. Quanto maior a concentração de cloretos menor será a probabilidade de passivação do aço;
- Falha na concretagem, que ocasiona bicheiras, ninhos e vazios nos elementos estruturais;
- Impactos que podem gerar a exposição da armadura;
- Impactos de veículos, que causam a remoção da camada de cobrimento.

PROGNÓSTICO: A corrosão localizada que se manifesta nos elementos estruturais de pontes e viadutos, se não tratada pode ocasionar:

- Degradação completa da estrutura;
- Redução da área do aço;
- Desagregação do concreto;
- Diminuição da vida útil da estrutura;
- Desenvolvimento da corrosão generalizada;
- Comprometimento estético da ponte ou viaduto.

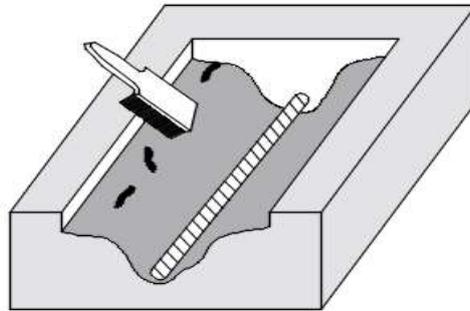
RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: A corrosão localizada se manifesta em pequenas ou grandes áreas dos elementos estruturais, pra evitar essa manifestação patológica faz necessário a utilização de métodos complementares de proteção da armadura. Para o início do reparo da estrutura deve-se conhecer a raiz do problema.

Um grande erro que ocorre nos processos de tratamento de corrosão de armadura do concreto é a quantificação dos problemas apenas com base nas regiões com sintomas visíveis, faz-se necessário a análise ao longo da estrutura. A corrosão localizada com reparo maior que 5 cm são classificadas como profundas.

A sequência executiva a ser realizada para a metodologia de terapia ou tratamento da Corrosão Localizada com reparo maior que 5 cm segue as etapas descritas abaixo:

1. Localizar e efetuar a delimitação da área que sofreu a corrosão localizada. Para essa etapa utilizar uma serra de corte circular.
2. Após analisar a área afetada deve-se começar a escarificação da estrutura danificada, removendo todo o concreto contaminado e deteriorado.
Quando a parte deteriorada for pequena, essa limpeza pode ser feita utilizando uma marreta junto com a talhadeira e ponteiro, caso seja maior efetuar a remoção com o martelete.
3. O profissional responsável pelo procedimento deverá verificar se a delimitação da área atingiu todo o material afetado.
4. Terminado a escarificação, deve-se efetuar uma limpeza cuidadosa do concreto e das armaduras, para remoção de toda a oxidação.
Essa limpeza pode ser realizada manualmente com lixas e escova de aço, ou através de jato de água.
5. O profissional responsável deverá conferir se toda a oxidação foi removida e comprovar se não houve perda superior a 15% da área de seção da barra de aço. Caso haja essa perda, deverá ser realizado o procedimento indicado na FICHA 07 "Corrosão generalizada com perda de seção da armadura".

6. Após a limpeza, aplicar em toda a armadura exposta que sofreu a corrosão, o protetor anticorrosivo (recomenda-se usar da marca VEDACIT, ou similar), que é um revestimento polimérico bicomponente de grande eficiência. Esse material anticorrosivo irá formar sobre a superfície do aço uma proteção anticorrosiva. Para a aplicação pode ser utilizado pincel, ou rolo.



7. Em continuidade, será realizado a reconstituição da estrutura corroída. Quando esse reparo for maior que 5 cm, faz-se necessário realizar o grauteamento.

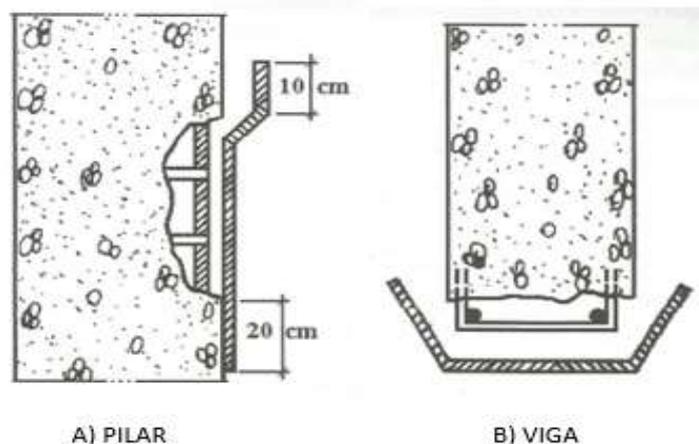
O graute é um tipo de argamassa com consistência fluida de base mineral, expansão controlada e resistência elevada, não há necessidade de vibradores para adensamento justamente pela sua característica fluída, conferindo maior agilidade.

O material é formado por cimento, areia, quartzo, sílica, cal, brita comum, granita, pozolanas, calcários, alguns minerais e aditivos superplastificantes.

8. Antes do graute, construir uma forma ao redor da estrutura a ser reparada, de maneira que permita o lançamento do graute posteriormente, mantendo a geometria do elemento estrutural.

As formas podem ser compostas por diversos materiais, como madeira, aço. O formato pode ser variado.

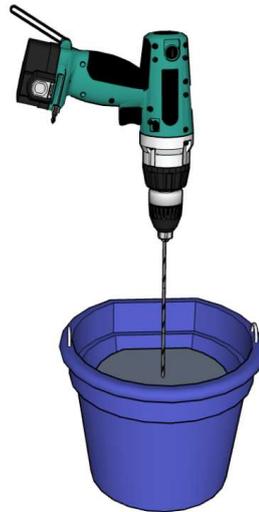
Deve-se conferir a necessidade de realizar escoramento ou apoio das formas.



9. Na última etapa será realizado o grauteamento, utilizando o Supergraute (recomenda-se usar da marca Quartzolit, ou similar), que é um graute que possui alta resistência inicial e final, grande fluidez com características de auto nivelamento, retração controlada e não agride a armadura.

Esse material já vem pronto para uso, e requer apenas a adição da quantidade de água para a obtenção de um material fluido, essa quantidade de água está descrita na embalagem do material.

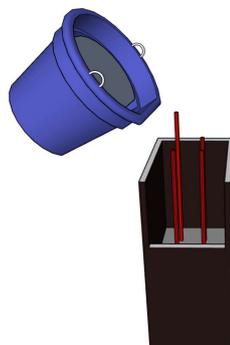
Para grandes volumes pode-se adicionar até 30% do peso do material em brita 0 ou brita 1. A mistura pode ser feita com haste metálica acoplada a furadeira ou em betoneira, durante 3 a 4 minutos.



10. Para a aplicação do material o substrato deve estar limpo, isento de óleos, graxas ou outros materiais contaminantes, partículas soltas, pó ou qualquer outro tipo de material que prejudique a aderência do graute independentemente do tamanho da área.

Antes da aplicação de super graute, sature a superfície preparada com água, evitando-se empoçamento e deixando-a na condição de "saturada e seca"

O graute deve ser lançado no prazo máximo de 30 minutos, e o endurecimento tem início em até 2h. O lançamento pode ser feito manualmente, ou com projetor de argamassa.



11. Após a finalização dos reparos, preserve as formas por, no mínimo, 24 horas e aplique o agente de cura química (recomenda-se usar o VEDACIT Pro Agente de Cura REV, ou similar) ou promova a cura úmida por, no mínimo, 3 dias. Não aplique os produtos sob insolação direta e, se necessário, utilize anteparos.
12. Após a cura, as formas podem ser retiradas, e a estrutura estará recuperada.

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: CORROSÃO

LOCALIZAÇÃO: ELEMENTOS ESTRUTURAIS

CONCEITO: A corrosão generalizada, também chamada de corrosão uniforme, ocorre na armadura em toda a sua extensão quando exposta ao meio corrosivo. A corrosão generalizada provoca um grande aumento de volume no interior do concreto, resultante da formação do óxido de ferro; o óxido de ferro chega a ocupar um volume cerca de nove vezes maior que o material de origem, provocando tensões internas que podem alcançar 40 MPa; o concreto não resiste a estas tensões e fratura.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA:



(A)

(B)

(C)

- A)** Veículo colidiu com o pilar, ocasionando a exposição da armadura. A corrosão da armadura está se acelerando em virtude da constante umidade no local;
- B)** Viga com corrosão generalizada de armaduras;
- C)** Pilar com corrosão generalizada, devido a umidade, e agentes agressivos.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Presença de umidade, e infiltração nos elementos estruturais, que ocorre por falha na impermeabilização;
- Cobrimento insuficiente da armadura, que deixa a estrutura vulnerável a agentes agressivos, como os ataques de íons cloretos.;
- Lançamento do concreto sem os devidos cuidados;
- Perda de aderência entre o concreto e a armadura;
- Ausência de manutenção nos elementos estruturais;
- Impactos de veículos, que causam a perda da camada de cobrimento e exposição da armadura.

PROGNÓSTICO: A corrosão generalizada que se manifesta nos elementos estruturais de pontes e viadutos se não tratadas e corrigidas podem ocasionar:

- Riscos à integridade dos usuários dessas construções, devido a corrosão das armaduras que pode ocasionar a redução da vida útil da estrutura;
- Degradação da armadura;
- Pode levar a um aumento de volume no interior do concreto, provocando tensões internas que podem chegar até 40 Mpa;
- Ocasionar fraturas na estrutura, devido as fissuras e também ocorre comprometimento estético da ponte ou viaduto.

RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: A corrosão generalizada se manifesta em grandes áreas dos elementos estruturais, então, para promover o tratamento da estrutura, é necessário proteger a superfície do concreto.

A sequência executiva a ser realizada para a metodologia de terapia ou tratamento da Corrosão Generalizada segue as etapas descritas abaixo:

1. Para aplicar um tratamento corretivo o caminho até as barras de aço presentes na estrutura devem ser desobstruído, sendo assim, o concreto degradado que envolve a armadura deve ser retirado completamente. Essa etapa pode ser realizada manualmente com auxílio de talhadeira e marreta ou martelete.



2. O profissional responsável pelo procedimento deverá verificar se a delimitação da área atingiu todo o material afetado.
3. Deve-se efetuar a limpeza da armadura que sofreu a corrosão mediante lixamento manual, lixadeira elétrica ou com aplicação de escova com cerdas de aço. Esta operação de limpeza tem por objetivo remover a camada de óxido solta ou semisolta do contorno da barra.



4. O profissional responsável deverá conferir se toda a oxidação foi removida e comprovar se não houve perda superior a 15% da área de seção da barra de aço. Caso haja essa perda, deverá ser realizado o procedimento indicado na FICHA 07 "Corrosão generalizada com perda de seção da armadura".
5. Com as armaduras limpas, deve-se realizar a pintura anticorrosiva, no mínimo duas demãos. Efetuar a pintura com o protetor anticorrosivo a base de zinco (recomenda-se utilizar da marca VEDACIT, ou similar). O material é pronto para o uso e deve ser aplicado com intervalo mínimo de 3 horas entre cada demão, na temperatura de 25 °C. A aplicação poderá ser feita com um pincel, rolo, pistola ou compressor de ar.

6. Na última etapa efetuar a reconstituição da geometria da peça. Caso esse reparo seja do tipo raso ou semiprofundo (reparo de até 5 cm), utilizar a argamassa estrutural polimérica, que é um material à base de cimento e aditivos especiais, (recomenda-se utilizar da marca VEDACIT, ou similar).

O material apresenta elevada resistência mecânica e é indicado para reparos com espessuras de 3 a 5cm.

Para a mistura utilizar preferencialmente um misturador mecânico, haste metálica acoplada a furadeira ou em betoneira, por cerca de 4 minutos.

Para a aplicação do material a superfície deve estar limpa, íntegra, seca e sem impregnação de desmoldantes, agentes de cura ou qualquer outro tipo de material que prejudique a aderência da argamassa independentemente do tamanho da área.

A aplicação poderá ser feita com um projetor de argamassa.



7. Com a estrutura reparada, o profissional responsável deve verificar se a superfície se encontra regular e com a geometria original recuperada.

Conforme recomendações específicas de cada material, deve-se promover cura úmida ou química, para tal, aplicar o agente de cura química (recomenda-se usar o VEDACIT Pro Agente de Cura REV, ou similar), sobre a superfície recuperada.

8. Se a reconstituição estrutural devido a corrosão generalizada for do tipo profunda, verificar o procedimento de recuperação recomendada na sequência executiva 8 a 10 descrita na **FICHA 05 “Corrosão localizada com reparo maior que 5 cm”**.

CORROSÃO GENERALIZADA COM PERDA DE SEÇÃO DA ARMADURA

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: CORROSÃO

LOCALIZAÇÃO: ELEMENTOS ESTRUTURAIS

07

CONCEITO: A corrosão generalizada, também chamada de corrosão uniforme, ocorre na armadura em toda a sua extensão quando exposta ao meio corrosivo. Na corrosão generalizada, o ataque é produzido em uma grande superfície do metal, na qual existem inúmeros ânodos e cátodos, formando micropilhas que mudam a todo tempo. A perda de seção e massa sofrida pelo aço e o efeito dos óxidos expansivos resulta no comprometimento do tempo de vida útil da estrutura. Quando ocorre a perda de seção da armadura, faz-se necessário a substituição.

IMAGENS DA MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA:



Fonte: MANUAL DE RECUPERAÇÃO DE PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS (2010).

(A)

(B)

(C)

- A)** Elemento estrutural com corrosão avançada e perda de seção do aço;
B) Vigas e Pilar com corrosão generalizada devido a cobertura insuficiente;
C) Pilar com corrosão em estágio avançado, com perda de seção da armadura.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Presença de umidade, e infiltração nos elementos estruturais, que ocorre por falha na impermeabilização;
- Cobrimento insuficiente da armadura;
- Agentes agressivos, como os ataques de íons cloretos.;
- Lançamento do concreto sem os devidos cuidados;
- Perda de aderência entre o concreto e a armadura;
- Ausência de manutenção nos elementos estruturais;
- Impactos que podem gerar a exposição da armadura;
- Impactos de veículos, que causam a remoção da camada de cobertura.

PROGNÓSTICO: A corrosão generalizada com perda de seção que se manifesta nos elementos estruturais de pontes e viadutos se não tratadas e corrigidas podem ocasionar:

- Riscos à integridade dos usuários dessas construções, devido a corrosão das armaduras que irá ocasionar a redução da vida útil da estrutura;
- Degradação da estrutura;
- Ocasional fraturas e fissuras na estrutura;
- Pode levar a um aumento de volume no interior do concreto, provocando tensões internas que podem chegar até 40 Mpa;
- Colapso estrutural, com um desabamento;

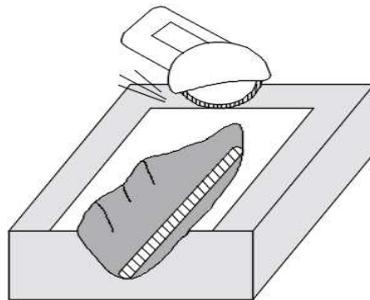
RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: A corrosão generalizada se manifesta em grandes áreas dos elementos estruturais.

As normas brasileiras recomendam um cobrimento mínimo de concreto sobre as seções de aço, para que não haja exposição da armadura. Deve haver um volume mínimo de concreto ao redor da ferragem para evitar a corrosão. Caso o cobrimento mínimo não seja respeitado, a estrutura corre sério risco de sofrer a corrosão generalizada, ocasionando a perda de seção da armadura. Quando ocorre redução de 15% ou mais da seção transversal da armadura, indica uma situação de urgência ou crítica, necessitando a estrutura, ou parte dela, reparo imediato, pois sua vida útil já se encontra esgotada.

Diante dessa anomalia, faz-se necessário a substituição das armaduras corroídas. Entende-se por substituição de armadura corroída a substituição controlada de um segmento comprometido da barra por um segmento íntegro.

A sequência executiva a ser realizada para a metodologia de terapia ou tratamento da Corrosão Generalizada com perda de seção da armadura segue as etapas descritas abaixo:

1. Para início do reparo, efetuar a delimitação da área que sofreu a corrosão generalizada. Com uma serra circular, penetra-se o disco na superfície até uma profundidade não muito grande, geralmente em torno de 50 milímetros. Durante o corte, é interessante tentar manter o disco em uma rotação moderada e constante, para o melhor desempenho deste.



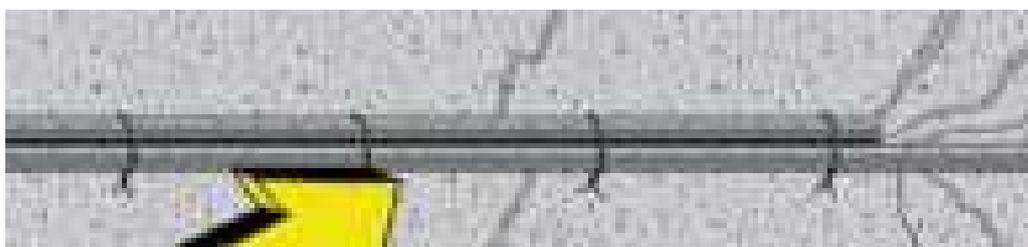
2. Após a delimitação, efetuar a remoção de todo o concreto danificado, expondo a armadura que está corroída, deixando, no mínimo, 2 cm livres em seu contorno. A remoção poderá ser realizada com o auxílio de um martelo.
3. O profissional responsável pelo procedimento deverá verificar se a delimitação da área atingiu todo o material afetado.
4. Terminado a remoção do concreto, deve-se efetuar a limpeza da armadura que sofreu a corrosão mediante lixamento manual, lixadeira elétrica, com aplicação de escova com cerdas de aço ou através de jato de água.
5. Com a armadura exposta e limpa, realizar a medição da espessura das barras de aço corroídas, para verificar se houve perda significativa da área da seção transversal da barra. O profissional responsável poderá realizar essa verificação com o auxílio de um paquímetro ou medidor de espessura do aço (PosiTector UTC, ou similar).



6. Constatando que essa perda foi igual ou superior a 15% da área da seção transversal da barra, efetuar o reforço ou substituição da armadura.
7. Primeiramente efetuar o corte da barra corroída para realização da emenda da barra. Essa emenda pode ser por transpasse, por soldagem ou emenda com luvas. O corte da armadura corroída pode ser realizado com o auxílio de uma makita.
8. O tipo de emenda a ser feito, irá depender da bitola do aço.
 - **Emenda por Transpasse:** A emenda por transpasse é feita pela simples justaposição longitudinal das barras, conforme comprimento de transpasse definidos pela NBR 6118, sendo permitidas para barras de diâmetro até 32 mm. A transferência da força entre as barras é feita pela aderência ao concreto, dependendo assim da resistência do concreto. A emenda das barras pode ser feita com arame. Não é permitido mais que 25% de barras emendadas em uma mesma seção. O comprimento de ancoragem do transpasse deve ser de acordo com classe do aço e a resistência do concreto.

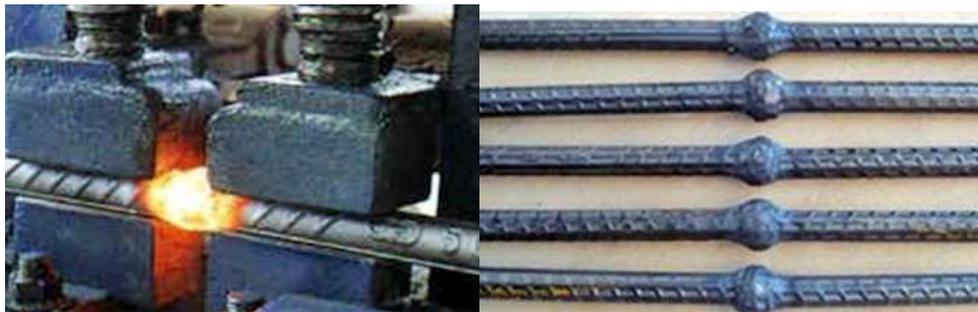
Concreto fck	CA25	CA50	CA60
20 Mpa	51 x Ø da barra	44 x Ø da barra	53 x Ø da barra
25 Mpa	45 x Ø da barra	38 x Ø da barra	46 x Ø da barra
30 Mpa	41 x Ø da barra	34 x Ø da barra	40 x Ø da barra

Fonte: Botelho e Marchetti, 2019.



- **Emenda por Solda:** As emendas por solda exigem cuidados especiais quanto à composição química dos aços e dos eletrodos e quanto às operações de soldagem que devem atender às especificações de controle do aquecimento e resfriamento da barra. Podem ser por caldeamento para bitolas maiores que 10 mm, com eletrodo para bitolas maiores que 20 mm, por traspasse, para todas as bitolas, com pelo menos dois cordões de solda longitudinais, cada um deles com comprimento não inferior a 5Φ afastados de no mínimo 5Φ .

Para a soldagem as pontas do aço são aquecidas por uma corrente elétrica próxima à temperatura de fusão, as duas barras são pressionadas, uma contra a outra, topo a topo, fazendo com que as barras se fundam. O resfriamento é natural.



- **Emenda por Luvas:** A exigência básica pertinente às ligações com luvas impõe que as luvas apresentem resistência superior à das barras emendadas. A luva pode ser rosqueada ou prensada ao redor da armadura.



9. Com a armadura recuperada, efetuar a reconstituição da geometria da peça, respeitando o cobrimento mínimo da armadura.
Para essa etapa final, utilizar o Graute para a recomposição da estrutura.
Para melhor entendimento verificar o procedimento de aplicação do Graute, descrito na sequência executiva da **FICHA 05 “Corrosão localizada com reparo maior que 5 cm”**.

DESPLACAMENTO DO CONCRETO

O deslocamento do concreto caracteriza-se pela ruptura e destacamento do concreto superficial, principalmente das partes salientes da estrutura. O fenômeno ocorre em função do surgimento de tensões de tração acima da resistência do concreto, sendo que quando a tensão limite de tração do concreto é superada pelas tensões geradas pelos produtos expansivos, ocorre, segundo Cascudo e Helene (2001), a fissuração do concreto em direções paralelas à armadura corroída. Normalmente, o deslocamento em um nível mais grave é facilmente identificável, pois deixa a armadura de ferro exposta. Então, o ideal é detectar o problema antes dessa fase.

As principais causas da manifestação do deslocamento do concreto nos elementos estruturais são: oxidação da armadura, excesso de fissuração na superfície, infiltração, impactos e choques com os veículos, cobrimento insuficiente da proteção da armadura.

DESPLACAMENTO DO CONCRETO

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO

LOCALIZAÇÃO: ELEMENTOS ESTRUTURAIS

08

CONCEITO: O deslocamento em estruturas de concreto é uma anomalia que causa perda da capacidade resistente e faz com que a camada de cobrimento se desprenda dos elementos estruturais da OAE, assim deixando a mesma vulnerável a agentes agressivos, fazendo com que apareça as manifestações patológicas.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



Fonte: MANUAL DE RECUPERAÇÃO DE PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS (2010).

- (A) Pilar com deslocamento do concreto e armaduras aparentes e corroídas.
(B) Deslocamento do concreto devido a impacto de veículos.
(C) Viga principal com deslocamento do concreto, armadura exposta e corroída.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Excesso de fissuração na superfície dos elementos estruturais, deixando brecha para entrada de agentes agressivos;
- Oxidação da armadura devido a exposição em ambientes agressivos, fazendo com que aumente de tamanho e empurra uma parte do concreto;
- Baixa camada da espessura de cobrimento da proteção armadura.
- Perda de aderência entre os materiais, devido ao processo de corrosão da armadura;
- Infiltração na superfície da estrutura, por inexistência ou deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais;
- Choques e impactos com os elementos estruturais da OAE, por veículos automotores ou embarcações;
- Acidentes imprevisíveis (inundações, grandes tempestades, explosões e abalos sísmicos);
- Ausência de sinalização para alertar os usuários da existência do obstáculo.

PROGNÓSTICO: Dentre os efeitos indesejados nos elementos estruturais das OAEs devido à essa anomalia, destaca-se:

- Redução da vida útil e a durabilidade das estruturas de concreto;
- Deformação excessivas na superfície do concreto;
- Afeta a estética da estrutura, passam a sensação de abandono para os usuários;
- Acidentes aos usuários, por causa do material que se desprende da superfície da estrutura e fica solto na pista.

RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: O deslocamento do concreto pode ocorrer em áreas pequenas ou grandes, sendo no presente documento utilizada a seguinte classificação de tratamento:

- **Reparos em áreas pequenas:** São aqueles que não ultrapassam a espessura da camada de cobrimento das armaduras.
- **Reparos em áreas grandes:** São feitos em função de disgregações, desagregações, segregações, erosões, desgastes, contaminações ou calcinações que atingem grandes áreas do concreto de cobrimento das armaduras.

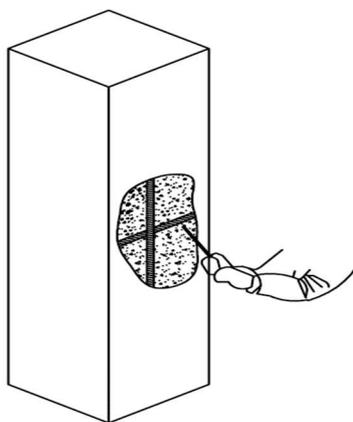
Antes de qualquer mudança na estrutura, deve-se contratar um profissional habilitado, para realizar os estudos de cargas para verificação das consequências das intervenções, fazer o escoramento prévio das estruturas quando forem realizadas mudanças nas estruturas.

A sequência executiva a ser seguida para a metodologia de terapia ou tratamento do Deslocamento do Concreto devido a corrosão das armaduras segue as seguintes etapas:

1. Localizar e delimitar os locais afetados na estrutura que apresentam a manifestação patológica. Essa identificação pode ser realizada de forma visual;
2. Após analisar a área afetada deve-se começar o processo de retirar por completo de todo o revestimento que estiver danificado, através de uma escarificação manual com auxílio de talhadeira, ponteiro, martetele ou marreta em áreas pequenas.

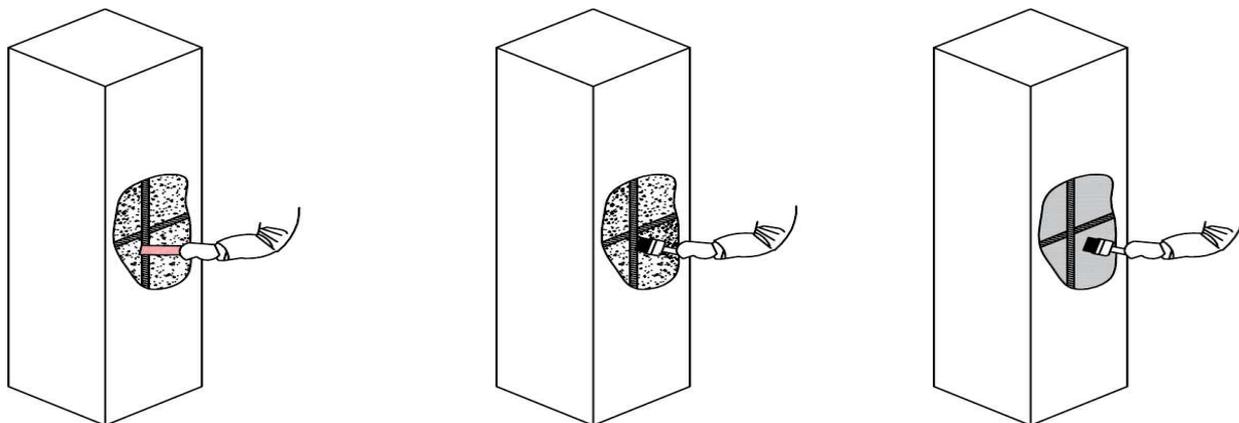
Quando este reparo for em área grandes deve ser feito de forma mecânica, fazendo o uso de martetele, rompedor e fresa.

Independentemente do tamanho da área comprometida deve-se retirar no mínimo mais 2 cm entorno da área afetada, para que sai todo tipo de materiais pulverulentos e resíduos.



3. Com a escarificação finalizada, deve-se analisar a armadura da estrutura para ver se o problema do deslocamento não está associado à corrosão, caso isso ocorra é necessário trata a armadura quando a mesma estiver exposta, conforme **FICHA 04 "Corrosão Localizada**.

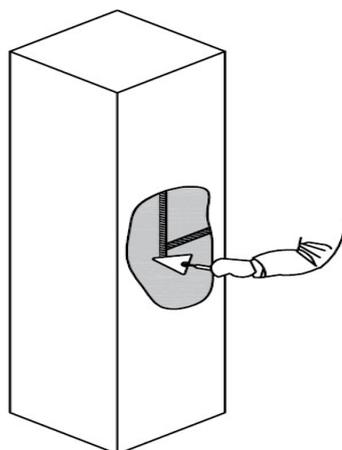
4. Com toda área da superfície do concreto limpa, porosas, isentas de pó ou oleosidade, fazer a aplicação de um adesivo estrutural de base epóxi, recomenda-se usar a marca (COMPOUND), esse material irá servir como ponte de aderência preenchendo toda a superfície a ser coladas ou reparadas, podendo ser aplicado com pincel, trincha ou espátula.



5. Por fim, fazer o fechamento do local com a aplicação da argamassa estrutural polimérica, recomenda-se usar a marca (VEDACIT) se o reparo for no máximo de 5cm, esse material apresenta elevada resistência mecânica e é indicado para reparos com espessuras de 3 a 7cm.

Para a aplicação a superfície deve estar limpa, íntegra, seca e sem impregnação de desmoldantes, agentes de cura ou qualquer outro tipo de material que prejudique a aderência da argamassa independentemente do tamanho da área, essa aplicação é feita com o auxílio de uma colher de pedreiro ou desempenadeira em áreas pequenas.

Já em área grandes, recomenda-se fazer uma forma de madeira e utilizar concreto graute ou concreto projetado, esses processos exemplificados na **FICHA 07 “Corrosão com perda se seção transversal do aço”**.



Obs: Verificar se não teve perda de seção do aço, caso houver realizar o tratamento conforme a **FICHA 07**.

Após a execução da sequência executiva de tratamento deve-se aguardar o tempo mínimos necessários para ganho de resistência e cura dos materiais aplicados.

LIXIVIAÇÃO

A lixiviação do concreto é uma das manifestações patológicas mais comuns. Ela é causada basicamente pelo contato da estrutura com a água. Durante o processo de hidratação do cimento é formado um composto chamado hidróxido de cálcio — Ca(OH)_2 . Essa substância, quando em contato com a água, pode ser dissolvida e carregada para fora da superfície de concreto. A remoção do hidróxido de cálcio recebe o nome de lixiviação.

O processo de lixiviação ocorre na presença de água quando o concreto for mal adensado, e/ou estiver, por algum motivo, fissurado ou apresentar juntas mal executadas, permitindo a penetração da água.

O produto da lixiviação, íons de cálcio, reagem facilmente com CO_2 presente na atmosfera, resultando no aparecimento de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto, conhecidas como eflorescências. E além da estética indesejável, a lixiviação ainda causa perda de resistência mecânica do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

CONCEITO: A lixiviação do concreto é uma das manifestações patológicas mais comuns, causada basicamente pelo contato da estrutura com a água. De acordo com Mehta e Monteiro (1994, p. 149), além da perda de resistência, a lixiviação do Hidróxido de cálcio do concreto pode ser considerada indesejável por razões estéticas, pois o produto lixiviado interage com o CO₂ presente no ar e resulta na precipitação superficial de crostas brancas de carbonato de cálcio, um fenômeno conhecido por eflorescência. O material branco é o carbonato de cálcio resultante da reação entre o hidróxido de cálcio lixiviado e o CO₂ da atmosfera.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



Fonte: MANUAL DE RECUPERAÇÃO DE PONTES E VIADUTOS RODOVIARIOS (2010).

(A)

(B)

(C)

A) Face inferior da laje superior: Infiltração e eflorescência.

B) Trincas, fissuras e eflorescência na face inferior da laje.

C) Vista inferior da superestrutura: Infiltrações, trincas, eflorescência, armaduras expostas e corroídas.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Fissura mapeada presente na superfície do concreto, que deixam aberturas para que ocorrer a Infiltração de águas pluviais;
- Umidade, devido ao acúmulo de água em contato com o concreto, geralmente acontece quando água empossa sobre a superfície da estrutura;
- Falha no sistema de drenagem pela ausência de tubulação ou obstrução das saídas de água pluviais, pelo fato de haver canos quebrados ou entupidos;
- Ausência de pigadeiras, para desviar a água da chuva e impedir que a mesma escorra ao longo da superfície do concreto.

PROGNÓSTICO: A Lixiviação e Eflorescência do concreto, pode ocorrer em qualquer peça de concreto, seja recém executada ou naquelas com idade avançada, esse tipo de manifestação patológica pode acarretar a estrutura:

- Manchas brancas na superfície de concreto, afetada também a estética da estrutura;
- Enfraquecimento do concreto e redução da sua resistência, devido ao processo de lixiviação;
- Pode ocorrer a corrosão das armaduras, devido a penetração de CO₂.

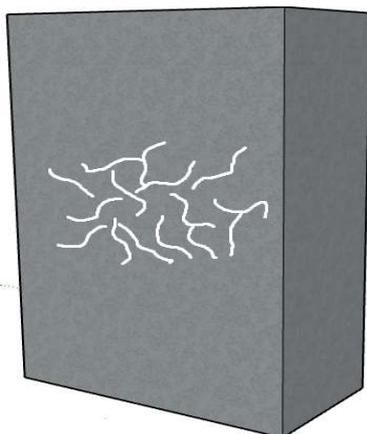
RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: Para recuperar estruturas que tenham a presença de Lixiviação e Eflorescência na superfície do concreto, é necessário conhecer o processo de lixiviação do concreto, pois uma vez que a solução de contato atinge o equilíbrio químico, a hidrólise adicional da pasta de cimento vai parar.

No entanto, caso a presença de água seja contínua, ocorre a diluição da solução de contato, proporcionando, portanto, a continuação da hidrólise, dessa forma, antes de proceder com a sequência de tratamento indicada a seguir, é necessário encontrar e corrigir a causa da infiltração de água na região. Caso contrário, poderá ocorrer a reincidência do problema de lixiviação do concreto.

Obs: Em casos mais graves, pode ser necessária a reconstrução da área da estrutura afetada. Antes de qualquer mudança na estrutura, deve-se contratar um profissional habilitado, para realizar os estudos de cargas para verificação das consequências das intervenções.

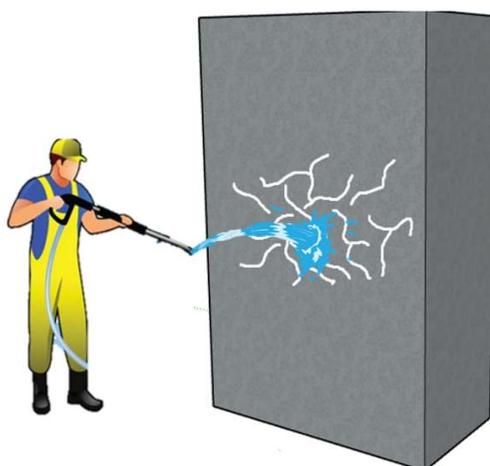
A sequência executiva a ser seguida para a metodologia de terapia ou tratamento da Lixiviação e Eflorescência do concreto segue as seguintes etapas:

1. Localizar e delimitar os locais afetados na estrutura que apresentam a manifestação patológica. Essa identificação é realizada de forma visual, pois no local afetado se forma uma costa branca na superfície do concreto.



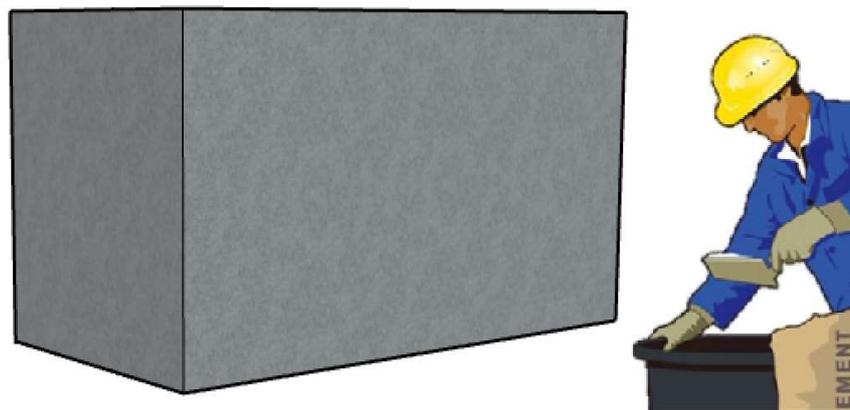
2. Após analisar a área afetada deve-se começar a limpeza para remover o concreto deteriorado até atingir o concreto sã, esse processo é feito com o auxílio de um jato de d'água sob pressão, em toda a área afetada.

Depois da limpeza já finalizada, verificar a configuração das fissuras e trincas presentes na superfície do concreto, a fim de fazer a identificação da causa das mesmas. Para orientação dessa etapa, pode ser utilizado a **FICHA 01 "Fissura por retração"**.



3. Após a limpeza e verificação das fissuras, recomenda-se vedar o caminho onde ocorreu a manifestação patológica, para isso realiza-se a aplicação de materiais impermeabilizantes como argamassa estrutural polimérica, podendo ser usado a marca (VEDACIT), para a aplicação a superfície deve estar limpa, íntegra, seca e sem impregnação de desmoldantes, agentes de cura ou qualquer outro material que prejudique a aderência da argamassa, essa aplicação é feita com o auxílio de uma colher de pedreiro ou desempenadeira, esse produto apresenta elevada resistência mecânica e é indicado para reparos com espessuras de 3 a 7cm.

Caso a área afeta seja muito grande, fazer o uso de concreto projetado para fazer o reparo da mesma.



Obs: Caso seja observada corrosão nas armaduras, a mesma deve ser limpa conforme a **FICHA 04 “Corrosão Localizada”**.

Após a execução da sequência executiva de tratamento deve-se aguardar o tempo mínimos necessários para ganho de resistência e cura dos materiais aplicados.

SEGREGAÇÃO DO CONCRETO

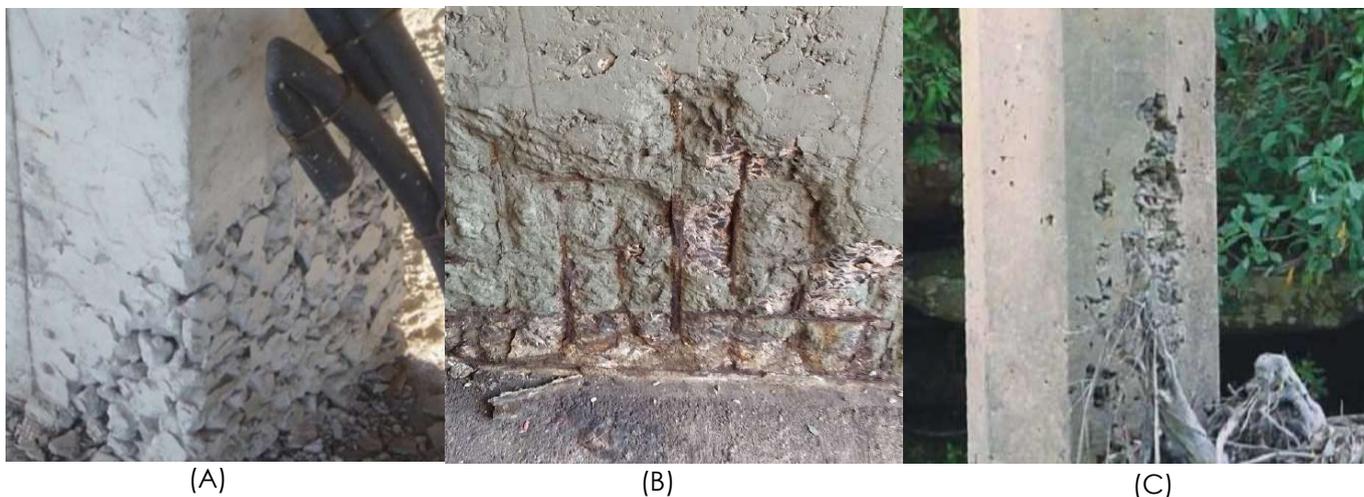
10

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO

LOCALIZAÇÃO: ELEMENTOS ESTRUTURAIS

CONCEITO: Os vazios de concretagem, conhecido como bicheiras, acarretam na segregação dos componentes do concreto e a presença de vazios indesejáveis na estrutura, causados pelo não preenchimento de partes da peça de concreto que tornam o concreto mais poroso e propiciando a ataques químicos, devido a segregação do agregado graúdo, que separa do agregado miúdo e da pasta de cimento. Uma das principais características do concreto é sua trabalhabilidade que deve ser apropriada às dimensões das peças a serem concretadas e a forma de vibração a ser aplicada, quando a mesma não está adequada, o concreto não consegue preencher todos os espaços das peças e aí surgem vazios.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



Fonte: MANUAL DE RECUPERAÇÃO DE PONTES E VIADUTOS
RODOVIÁRIOS (2010).

A) Pilar com a presença de ninhos de concretagem.

B) Segregação, deslocamento e corrosão severa na base de um pilar.

C) Pilar com falhas de concretagem.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Concreto não dever ser lançado de alturas superiores a 2 metros, pois pode causar bicheiras ou nichos de concretagem;
- Vazamento do concreto pela má execução das formas de madeira.
- Dosagem inadequada do concreto;
- Uso inadequado de vibradores que isola as pedras grandes no concreto na hora do adensado;
- Incoerência entre o diâmetro dos agregados e dimensões das peças;
- Detalhamento inadequado das armaduras, com espaçamento entre as barras insuficientes para adequada passagem dos agregados graúdos.

PROGNÓSTICO: Dentre os efeitos adversos sobre os elementos estruturais das OAE decorrentes dessa anormalidade, destacam-se os seguintes pontos:

- Problemas estéticos na superfície da estrutura, devido a segregação do material;
- Compromete a capacidade de suporte e durabilidade da estrutura;
- Deixar as armaduras exposta, pois há perda da camada de cobrimento;
- Pode causar o rompimento dos elementos estruturais, devia a má concretagem.

RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: Quando se tem elementos estruturais segregado é importante buscar a causa que fez ocorrer o aparecimento da manifestação patológica e então resolver esse problema o mais rápido possível, pois a partir dos vazios presentes na superfície da estrutura, a mesma ficará vulnerável a agentes agressivos, que poderão agravar ainda mais a situação. Quando se tem uma falha pontual e não há exposição das ferragens, basta fazer o reparo com aplicação da argamassa indica nas etapas do tratamento.

Antes de qualquer mudança na estrutura, deve-se contratar um profissional habilitado, para realizar os estudos de cargas para verificação das consequências das intervenções, fazer o escoramento prévio das estruturas quando forem realizadas mudanças nas estruturas.

A sequência executiva a ser seguida para a metodologia de terapia ou tratamento da Segregação do Concreto segue as seguintes etapas:

1. Localizar e delimitar os locais afetados na estrutura que apresentam a manifestação patológica. Essa identificação é realizada com uma simples análise visual para detectar o problema.



2. Realizar a remoção de todo o concreto degradado da região, cuidando para que as armaduras não sejam afetadas. Essa etapa é importante para garantia da adequada aderência entre material de recuperação e estrutura existente, contribuindo para a eficiência do tratamento.
3. A limpeza e escarificação da área do concreto deteriorado deve ser realizada, conforme o exemplificado na **FICHA 08 “Deslocamento do Concreto”**. São consideradas bicheiras pequenas aquelas que apresentam algumas cavidades dispersas de até 3 cm de profundidade ou largura, é de grande extensão com mais de 3 cm nesse caso há o aparecimento da armadura e o tratamento será mais trabalhoso.

5. Após realizar todos o processo anterior, deve-se começar a recomposição da estrutura, para solucionar o problema com a aplicação de argamassa estrutural polimérica, recomenda-se a marca VEDACIT, se o reparo for no máximo de 3 cm, a mesma é feita com o auxílio de uma colher de pedreiro ou desempenadeira, já em reparos maiores é necessário fazer uma forma de madeira e utilizar concreto graute ou concreto projetado em área muito extensas.



Após a finalização da sequência executiva de tratamento deve-se aguardar os tempos mínimos necessários para ganho de resistência e cura dos materiais aplicados.

FULIGEM

A fuligem se manifesta nos elementos estruturais através de manchas escuras na superfície. É identificada como uma substância preta, gordurosa, na forma de diminutas partículas, proveniente da queima de combustível e incêndio. Os veículos que trafegam pelas obras de arte especiais acabam espalhando fumaças da queima de combustíveis através do escapamento. Os moradores de rua muitas vezes acabam provocando incêndios e, então, essas ações acabam resultando no acúmulo de fuligem na superfície dos elementos estruturais das OAE's.

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO

LOCALIZAÇÃO: ELEMENTOS ESTRUTURAIS

CONCEITO: A fuligem é uma substância preta, gordurosa, pulverulenta, na forma de diminutas partículas, proveniente da queima de combustível, incêndio. Ela se manifesta nos elementos estruturais através de manchas escuras na superfície, a mesma pode ser considerada um agente agressivo, quando em contato com a armadura, podem acelerar o processo de corrosão.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



- A)** Manchas de fuligem na lateral do pilar, devido a possível queima;
- B)** Fuligem presente de forma muito visível no teto do viaduto, por cima das faixas de rodagem. Essa fuligem é proveniente da fumaça do escapamento de veículos;
- C)** Pilar com mancha de fuligem, devido a fogo feito por moradores de rua, próximo a estrutura.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Queima de combustíveis que se espalham através do escapamento dos veículos;
- Incêndio devido a habitação de moradores de ruas abaixo das OAE's.

PROGNÓSTICO: Essa anomalia, pode resultar a estrutura efeitos indesejados, tais como:

- Corrosão das armaduras;
- Afetar a estética da OAE, devido as manchas escuras pela superfície do concreto passando a sensação de uma estrutura suja.

RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: Antes de qualquer mudança na estrutura, deve-se contratar um profissional habilitado, para realizar os estudos de cargas para verificação das consequências das intervenções.

A sequência executiva a ser seguida para a metodologia de terapia ou tratamento da Fuligem do concreto segue as seguintes etapas:

1. Localizar e delimitar os locais afetados na estrutura que apresentam a manifestação patológica. Essa identificação é realizada de forma visual, pois no local afetado se forma uma mancha negra na superfície do concreto.

2. Antes de iniciar a etapa de tratamento deve-se identificar a causa do problema, a fim de sanar com a mesma, para então começar o processo de tratar a área afetada da estrutura, para orientação dessa etapa pode ser utilizado a **FICHA 09 “Lixiviação e Eflorescência do Concreto”**.

Obs: Caso seja observada corrosão nas armaduras, a mesma deve ser limpa conforme a **FICHA 04 “Corrosão Localizada”**. Após a execução da sequência executiva de tratamento deve-se aguardar o tempo mínimos necessários para ganho de resistência e cura dos materiais aplicados.

JUNTA DE DILATAÇÃO

Juntas de dilatação são elementos utilizados para garantir movimentação entre duas estruturas contínuas sem que ocorra transferência dos esforços entre elas, de modo a resistir os movimentos causados pela variação de temperatura, retração e fluência da estrutura, além de garantir a estanqueidade da superestrutura. Elas também garantem a suave transição entre os acessos e a ponte e entre os trechos divididos.

Com o tempo, podem se tornar um problema patológico pelo fato de sua vida útil ser menor do que a estrutura necessitando de reparos em menores intervalos de tempo e manutenções. As juntas tem um impacto significativo sobre o custo e desempenho da obra ao longo da sua vida útil em serviço e conforme comecem a danificar, podem causar perigo aos usuários gerando desconfortos ao tráfego pelo contato com o pneu por serem executadas desniveladas com o pavimento.

As juntas em obras de arte estão em constante trabalho em relação a retração e dilatação da estrutura, portanto, os materiais utilizados nas aplicações das juntas necessitam ser de boa elasticidade. As características desejáveis, além de absorver alongamentos, são de estanqueidade, facilidade de condução, baixo nível de ruído, resistência ao desgaste e aos danos causados por veículos pesados. Para atender a variedade de estruturas, aberturas e solicitações de esforços, existem vários modelos e formatos de juntas.

RECUPERAÇÃO DE JUNTAS COM TROCA DE PERFIL NOS APOIOS

12

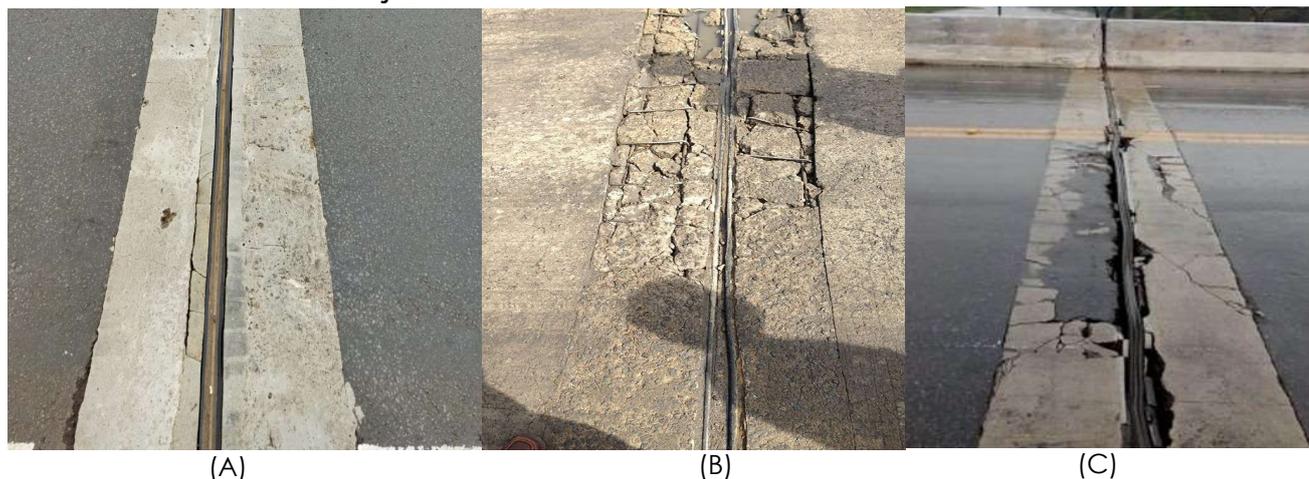
GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: JUNTAS ELASTOMÉRICAS

LOCALIZAÇÃO: ENCONTROS E APOIOS

CONCEITO: As juntas são elementos instalados na estrutura com objetivo de absorver movimentações impostas por variações de temperatura, tráfego, ventos e entre outros. Elas são consideradas uma separação física entre duas partes de uma estrutura e garantem a transição suave entre os acessos e a obra de arte especial entre os trechos que são divididos por elas. As juntas mal projetadas quanto ao tipo, a abertura e a movimentação necessária, tem pequena duração da vida útil podendo ser perigosas e desconfortáveis para o tráfego.

Na década de 70, sistema mais utilizado eram juntas de betume modificado com elastômeros e agregados siliciosos ou basálticos e apenas em obras de pequena extensão, pois a amplitude horizontal de movimentos permitida não podia exceder 25 mm. Com o passar do tempo e a fim de atender as necessidades de novas obras, passou a ser utilizados juntas elastoméricas por não terem limitações de tráfego, variando de intenso a pesado como nas auto-estradas e amplitude de movimentos reduzida com intervalo recorrente entre 15 a 50mm.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



Fonte: Acervo Uniontech; Acervo BDO Engenharia (2021) e ponte do Acesso Oeste (Avenida Francisco Fortes Filho)

- A)** Rompimento do berço da junta de dilatação;
B) Rompimento do berço, armadura e junta exposta devido ao impacto de veículos pesados;
C) Degradação do berço e da junta de dilatação exposta.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Condições ambientais agressivos a estrutura;
- Elevado carregamento devido ao tráfego;
- Efeitos dinâmicos e de fadiga;
- Atingimento da vida útil do material;
- Acumulo de detritos prejudicando a movimentação.

PROGNÓSTICO: Com a falta das juntas ou quando estão degradadas a nível de não conseguir exercer as funções para as quais foram projetadas, ocorrerá a transmissão de esforços entre os tabuleiros, não haverá estanqueidade da estrutura permitindo com que haja carregamento de resíduos e líquidos que podem degradar o concreto e geram desconforto aos usuários em veículos que passam pelo local.

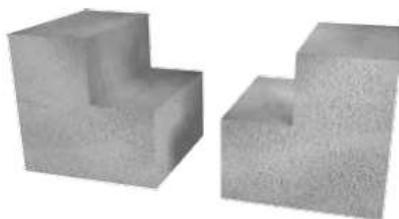
RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA:

O tratamento visa recuperar juntas de dilatação que foram danificadas ao longo do período de uso ou que sofreram solicitações acima do que foi dimensionado. A recomendação de terapia deve ser definida se o local da junta é nos encontros ou apoios.

Sequência executiva a ser seguida para a metodologia de recuperação de juntas com troca do perfil segue as seguintes etapas:

1. Delimitar a área que será demolida.
2. Com martelos rompedores, demolir a área no berço de aproximação e lábios poliméricos.
3. Limpeza e remoção de toda a armação antiga do berço danificado. A área deve estar limpa e livre de qualquer resíduo, pois os mesmos podem dificultar a aderência entre o graute e substrato. Para essa etapa, pode ser utilizado um compressor de ar para auxiliar na limpeza.
4. Instalação das ferragens do berço de concreto.
5. Instalação e posicionamento de formas e gabaritos para a execução do berço de concreto. Nesta etapa, pode ser utilizado isopores como fôrma a posição e dimensões do perfil elastomérico que será instalado, com objetivo de não obstruir o vão de movimentação da junta ao ser lançado o graute.
6. Lançamento do graute autodesenvolvido de alto desempenho, sobre o substrato úmido, limpo e rugoso.
O substrato que irá receber o graute, deve ser umedecido para evitar que retire água da mistura do concreto e influencie no processo de cura. Para essa etapa, são recomendados materiais:
 - Graute de alto desempenho que atinge elevada temperatura e resistência em curto intervalo de tempo. Por exemplo, QUARTZOLIT SUPER GRAUTE ALTA RESISTÊNCIA ou similar; graute com pedra 77 veber sp2090 tcnosil.

NICHO PARA RECEBER O LÁBIO POLIMÉRICO



ENCAIXAR O GABARITO PARA PRESERVAR A JUNTA



PREENCHER COM A ARGAMASSA POLIMÉRICA

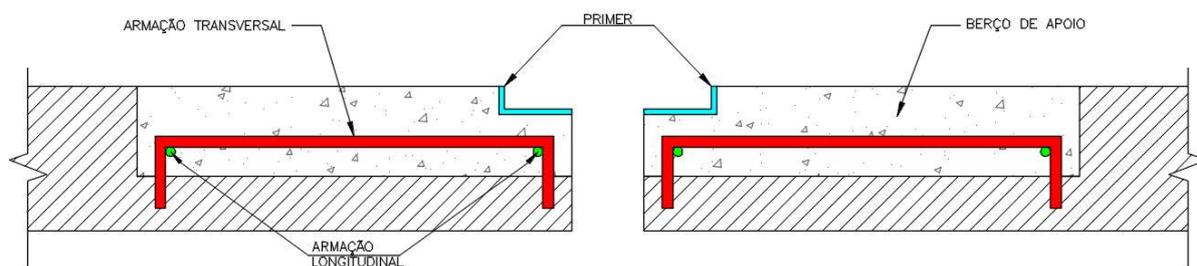


RETIRAR O GABARITO



Catálogo da Jeene (2021)

7. Dado o adensamento do graute, realizar cura hidráulica para evitar que haja perda de umidade.
8. Retirada dos gabaritos, deixando a forma do lábio polimérico.
9. Aplicação de primer que irá proporcionar aderência entre o berço de aproximação e o lábio polimérico. Para essa etapa, são indicados os seguintes materiais:
 - Adesivo a base de resina epoxídica bi-componente com polímeros de alta aderência e resistência.
10. Com o primer ainda úmido, realizar a aplicação da argamassa epoxídica lábio polimérico. A aplicação pode ser feita com uma colher de pedreiro e deve estar nivelada com o nível superior do berço de concreto. Para essa etapa, os materiais recomendados são:
 - Lábios poliméricos. Por exemplo, UNIONTECH RB 66 E ou similar.



11. Aguardar o período de cura, conforme especifica o fabricante;

Obs: Se for considerado necessário, lixar a superfície do berço utilizando uma esmerilhadeira para melhorar o acabamento. A forma de isopor deverá ser retirada.

- 12.** Aplicação de adesivo epóxi nas laterais do perfil e na sede. Para essa etapa são recomendados os seguintes materiais:
 - Adesivo a base de resina epoxídica bi-componente com polímeros de alta aderência e resistência.

- 13.** Instalação da junta elastomérica, utilizando adesivo monocomponente instantâneo o perfil deve ser cortado ou emendado conforme a largura da via.
Realizar um pequeno furo em umas das extremidades da junta para a fixação de uma válvula de pressurização e nas duas extremidades deverá ser colocado tampão, a fim de permitir que o perfil infle na etapa de pressurização.

- 14.** Com a finalização da etapa de instalação da junta elastomérica, realizar a pressurização através da válvula com um compressor de ar.
Através da pressurização, o perfil dilata-se contra as paredes do lábio, garantindo assim, a total aderência.

- 15.** Remoção da válvula de pressurização, obtendo equilíbrio isobárico.

RECUPERAÇÃO DE JUNTAS DILATAÇÃO ASFÁLTICA NOS ENCONTROS

13

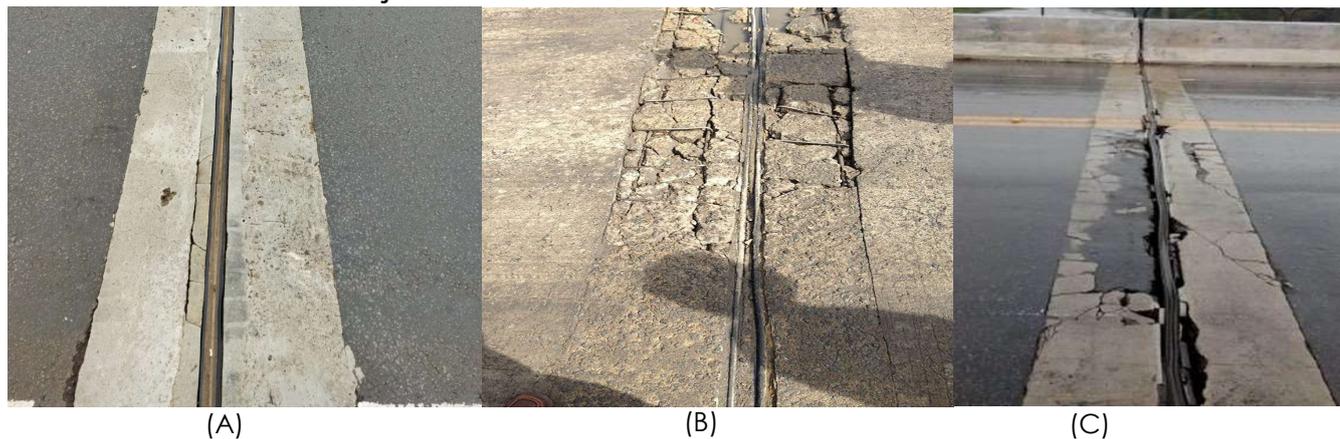
GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: JUNTAS ELASTOMÉRICAS

LOCALIZAÇÃO: ENCONTROS

CONCEITO: As juntas são elementos instalados na estrutura com objetivo de absorver movimentações impostas por variações de temperatura, tráfego, ventos e entre outros. Elas são consideradas uma separação física entre duas partes de uma estrutura e garantem a transição suave entre os acessos e a obra de arte especial entre os trechos que são divididos por elas. As juntas mal projetadas quanto ao tipo, a abertura e a movimentação necessária, tem pequena duração da vida útil podendo ser perigosas e desconfortáveis para o tráfego.

Na década de 70, sistema mais utilizado eram juntas de betume modificado com elastômeros e agregados siliciosos ou basálticos e apenas em obras de pequena extensão, pois a amplitude horizontal de movimentos permitida não podia exceder 25 mm. Com o passar do tempo e a fim de atender as necessidades de novas obras, passou a ser utilizados juntas elastoméricas por não terem limitações de tráfego, variando de intenso a pesado como nas auto-estradas e amplitude de movimentos reduzida com intervalo recorrente entre 15 a 50mm.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



Fonte: Acevo Uniontech; Acevo BDO Engenharia (2021) e ponte do Acesso Oeste (Avenida Francisco Fortes Filho).

- A)** Rompimento do berço da junta de dilatação;
B) Rompimento do berço, armadura e junta exposta devido ao impacto de veículos pesados;
C) Degradação do berço e da junta de dilatação exposta.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Condições ambientais agressivos a estrutura;
- Elevado carregamento devido ao tráfego;
- Efeitos dinâmicos e de fadiga;
- Atingimento da vida útil do material;
- Acumulo de detritos prejudicando a movimentação.

PROGNÓSTICO: Com a falta das juntas ou quando estão degradadas a nível de não conseguir exercer as funções para as quais foram projetadas, ocorrerá a transmissão de esforços entre os tabuleiros, não haverá estanqueidade da estrutura permitindo com que haja carregamento de resíduos e líquidos que podem degradar o concreto e geram desconforto aos usuários em veículos que passam pelo local.

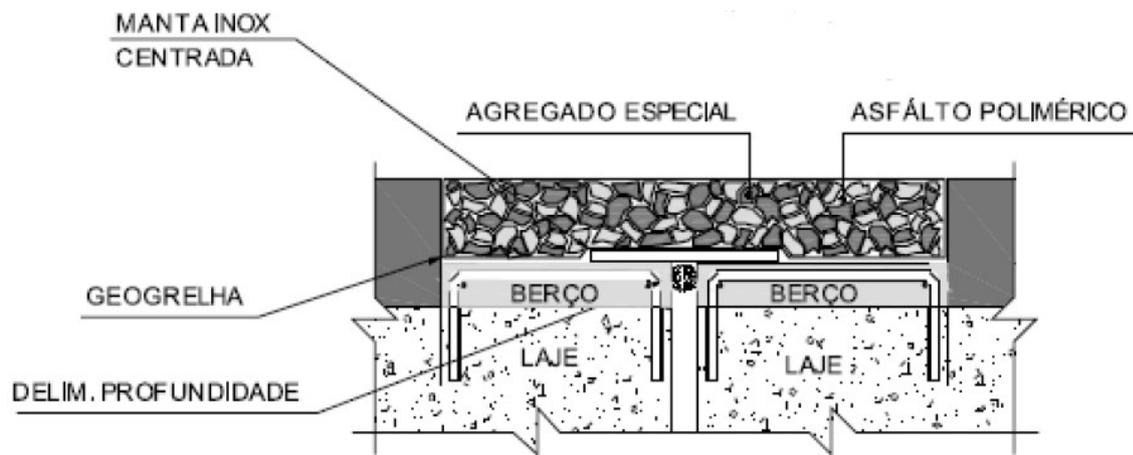
RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA:

O tratamento visa recuperar juntas de dilatação que foram danificadas ao longo do período de uso ou que sofreram solicitações acima do que foi dimensionado. A recomendação de terapia deve ser definida se o local da junta é nos encontros.

Sequência executiva a ser seguida para a metodologia de recuperação de juntas com reaproveitamento de berço existente, segue as seguintes etapas:

1. Corte e delimitação da área de 26,5 cm para cada lado em relação ao eixo da junta, formando uma trincha em toda a extensão da junta e com profundidade de 6 a 16cm. Se na área reparada houver capa asfáltica, deverá ser removida através de fresagem do pavimento asfáltico.
2. Demolição do berço de concreto ou grout, até a face superior da laje.
3. Remoção da armação existente;
4. Reconstrução do berço de concreto engastado na laje, com a colocação da armação;
5. Apicoamento da superfície da laje do tabuleiro com a utilização de martetele ou ponteiro;
6. Limpeza da superfície com a utilização de jato de ar comprimido.
7. Realização de furos na laje para o engastamento da armadura, fixando os grampos de aço com resina epóxi nos furos, os produtos recomendados são:
 - Resinas para chumbamento (chumbador químico de cura rápida). Por exemplo, (HILT HIT MM Plus, HILT HIT RE 500 ou similares).
8. Colocação de isopor na junta, dessa forma impedindo a invasão de concreto ou outros elementos.
9. Limpeza da superfície do concreto com jato de ar comprimido;

10. Molhagem do substrato com água até a saturação, aguardando a secagem da superfície.
11. Lançamento de microconcreto de alta resistência inicial na região do novo berço em camadas sequenciais. Por exemplo (Rapflex 10 da Bautech, Zentrifix FS da MC Bauchemie, Sika graut RB85 ou similares).
12. Realizar cura seguida de cura química base acrílica.
13. Instalação do limitador de profundidade, com objetivo de cobrir toda a largura do berço com manta geotêxtil para drenagem e realizar o preenchimento provisório com massa fria para liberação do tráfego.
14. Aguardar o período de resfriamento para a remoção do preenchimento provisório e limpeza da região com ar comprimido.
15. Prever empolamento da mistura (PMQ) para a construção da junta asfáltica através de ensaios de massa específica aparente solta e massa específica aparente compactada. O cálculo considera um valor percentual para determinar a altura solta da camada, comumente utilizado 23%, se a espessura da trincheira for 6,0 cm, deve-se considerar:
 - Espessura da trincheira = 6,0 cm;
 - Empolamento = 23%;
 - Espessura solta = $6,0 \times 1,23 = 7,38$;
 - Sarrafo para gabarito, 1,40 cm.
16. Aplicação de camada de primer.
17. Colocação de manta de alumínio sobre a abertura da junta, na face que estará em contato com a junta deve ser aplicado uma camada de silicone.
18. Aplicação de camada de asfalto modificado a 180°.
19. Colocação de geogrelha na trincheira.
20. Aplicação de outra camada de asfalto modificado a 180°.
21. Realizar a mistura do asfalto modificado com o agregado (Faixa Granulométrica PMQ Faixa III DER/SP) pré-aquecido a 180°.
22. Aplicar selante tixotrópico para garantir a estanqueidade do sistema na interface da barreira rígida com a junta elástica.



- 23.** Aplicar selante tixotrópico para garantir a estanqueidade do sistema na interface da barreira rígida com a junta elástica.

APARELHO DE APOIO

Aparelhos de apoio são elementos com funções estruturais importantes e essenciais para o bom funcionamento e durabilidade da estrutura. Eles têm por objetivo transmitir as cargas da superestrutura a mesoestrutura e movimentos oriundos de retração, dilatação ou contração térmica e uso da estrutura e rotações devido ao uso da obra de arte especial.

Antigamente as pontes eram construídas de madeira, consideradas corpos rígidos e precisavam suportar pouca carga, por isso eram ignorados o uso de aparelhos de apoio. Apenas com a evolução da técnica e estudo, as obras passaram a ser consideradas elementos capazes de produzir movimento. Os primeiros aparelhos de apoio eram de ripas de madeira, que possibilitavam uma flexão moderada, distribuíam e amenizavam cargas através de sua elasticidade, para a infraestrutura.

Com o passar do tempo, passou a ser estudado sobre materiais que permitem movimentos em sentido longitudinal e transversal. Dessa forma, surgiram os aparelhos de apoio de Neoprene, que consiste em um aparelho que intercalado neoprene com chapas de aço que possuem função de cintamento evitando a deformação excessiva e aumentando tensão admissível da peça.

O aparelho é formado por neoprene e chapas de aço unidas por vulcanização chamado de aparelhos de apoio de neoprene fretado, cintado ou laminado. Duante a fabricação os cobrimentos laterais e superficiais são garantidos, evitando a exposição das chapas de aço ao ar e minimizando as possibilidades de corrosão.

Figura 1 - Modelos de Juntas de Dilatação



Fonte: Catálogo Junta Jeene (2021).

As patologias mais constantes são decorrentes de problemas encontrados na estanqueidade da estrutura. As juntas podem ser afetadas pelo dimensionamento incorreto, não prevendo as possíveis expansões ou retrações do concreto, pelos impactos de veículos pesados e pelo desgaste ou ausência do material da junta por uso incorreto ou má conservação.

SUBSTITUIÇÃO DE APARELHOS DE APOIO

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO:

LOCALIZAÇÃO: APARELHOS DE APOIO

14

CONCEITO: São elementos formados por uma ou mais camadas primárias de elastômero alternado com chapas metálicas que permitem as movimentações previstas entre os elementos estruturais, movimentos de translação, rotação ou ambas. Um aparelho de apoio bem projetado, produzido, instalados e que atenda todos os limites impostos pela norma técnica nos ensaios laboratoriais devem ter a mesma vida útil da obra. Esses elementos estão funcionando de forma correta quando os elementos estruturais ligados por ele, não apresentam defeitos, mas existem casos que os aparelhos apresentam em seu perímetro fissuras, rompimento de camada de cobertura, fretagem exposta e outros sem causar prejuízos às estruturas adjacentes, sendo necessário a substituição.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



(A)

(B)

(C)

- A)** Aparelho de apoio deslocado, gerando uma concentração de carga em apenas um lado;
B) Aparelho de apoio com interfaces deslocadas pela falta de aderência entre a viga e o neoprene fretado;
C) Aparelho de apoio com excentricidade ocasionada pelo excesso de rotação.

Fonte: Inspeção de Pontes e Viadutos – Ciro José Ribeiro Villela Araujo

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Cargas verticais superiores ao que o aparelho foi projetado;
- Movimentação de rotação e translação superior ao previsto, provocando excentricidade no aparelho de apoio com excesso de concentração de carga somente de um lado;
- Deslocamento ou posicionamento incorreto do aparelho, ocasionando na concentração de carga somente de um lado;
- Contato com a água;
- Exposição a agentes corrosivos;
- Danificação do sistema de proteção do aparelho;
- Falta de aderência entre o aparelho e a viga, gerando o deslizamento entre as interfaces dos materiais.

PROGNÓSTICO: Se não houver a substituição dos aparelhos, ocorrerá a transmissão de grandes solicitações à estrutura suporte e desgastando a mesma, podendo gerar esforços excessivos causando outros tipos de patologias nas demais estruturas.

RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: Realizada a inspeção e verificação da situação da estrutura, é possível optar pela manutenção do aparelho ou sua substituição.

A substituição é uma operação de grande complexidade, alto custo e deve ser realizada com todos os cuidados necessários evitando qualquer dano a estrutura. Para a execução desse serviço devem ser levados vários aspectos em consideração, elaborando um plano executivo contemplando as informações sobre carga e posicionamento do cilindro hidráulico, considerando o peso da estrutura, deslocamentos admissíveis e procedimentos de tratamento do entorno.

Para a substituição dos aparelhos de apoio, é necessário o levantamento em altura que permita a transferência total da carga elevada para os macacos hidráulicos, permitindo o acesso ao aparelho de apoio, os equipamentos utilizados para esse serviço são:

- Bomba hidráulica, com capacidade de carga de acordo com o peso próprio do tabuleiro da ponte.
- Macacos hidráulicos, com capacidade de carga de acordo com o carregamento do tabuleiro.
- Mangueiras hidráulicas e acessórios de conexões para a montagem dos arranjos das bombas e macacos hidráulicos.
- Mini-gerador elétrico a combustão para o funcionamento das bombas hidráulicas.

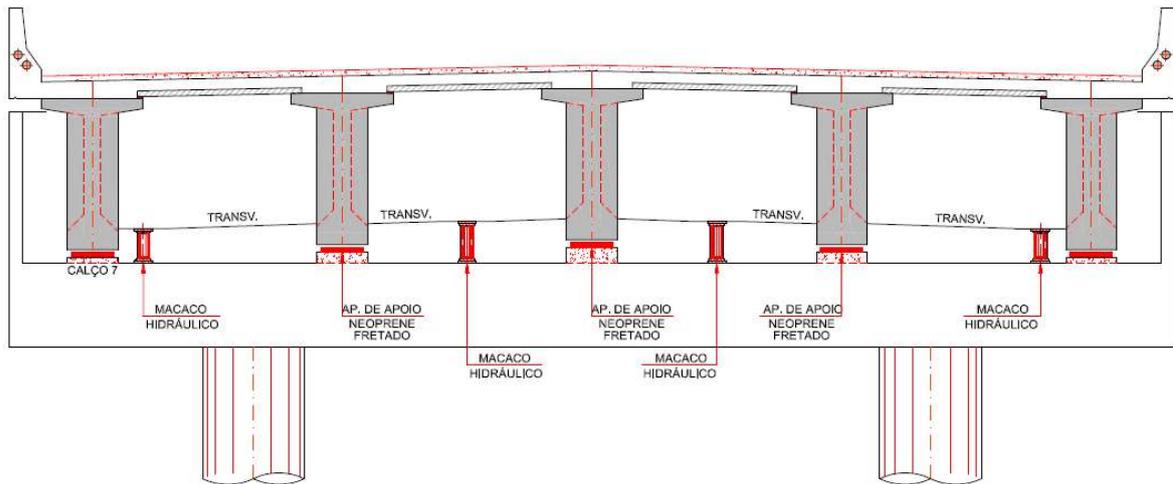
A sequência executiva a ser seguida para a metodologia de substituição de aparelhos de apoio segue as seguintes etapas:

1. Desvio do tráfego antes do serviço ser iniciado.
2. Para a substituição dos aparelhos nos encontros, deve ser feito a remoção de uma parte do aterro deve ser retirada, após o serviço a área deve ser preenchida com solo-cimento e compactação manual.
3. Retirada e demolição da laje de transição (caso houver), a mesma dificulta a substituição pois impede o acesso à interface da estrutura com o aterro. Após o término do serviço as lajes devem ser reconstruídas.

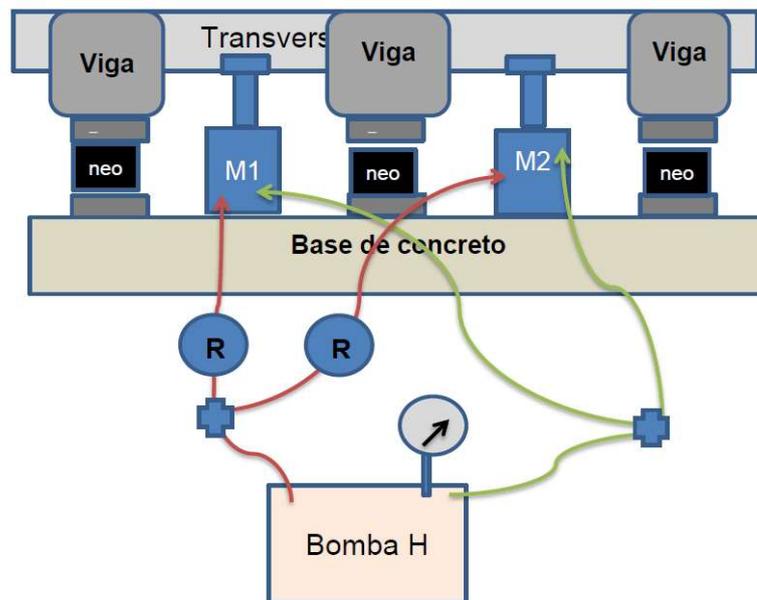
4. Montagem do arranjo:

Cada arranjo é composto por dois macacos hidráulicos e uma bomba hidráulica, conectados em série pelas mangueiras e acessórios de conexões. Para os locais que não dispõe de energia elétrica, é necessário o uso de um mini-gerador elétrico para alimentação da bomba hidráulica.

Realizar a montagem do arranjo em série no ramo de saída e entrada do fluxo de óleo e de entrada.



5. Suspensão da estrutura, realizada em fase de 5cm em 5cm, para garantir a estabilidade e minimizar os efeitos de torção da estrutura. Para cada fase concluída, devem ser colocados calços de apoio de chapas de madeiras rígidas de baixo de cada viga. A altura máxima de suspensão é definida pelo projetista.



6. Após o término das fases de suspensões, devem ser colocados os últimos calços de madeira, e na sequência são aliviadas as cargas dos macacos hidráulicos em 50%, logo, as distribuições de cargas são divididas entre os macacos e os calços, minimizando os efeitos de torções das vigas e transversinas. O sistema permanecerá nesse estado até a conclusão das trocas dos Neoprene.

7. Posicionamento dos macacos hidráulicos abaixo das transversinas e próximos aos apoios. Os equipamentos devem ser posicionados nessa região pois a transversina tem um reforço de armadura cortante (estribo), por ter uma maior reação cortante nesse ponto, e a suspensão dos macacos causam um efeito de cisalhamento nessa região, se os equipamentos forem instalados no meio do vão da transversina, ela terá um efeito de momento negativo nesse ponto e a estrutura não possui armadura negativa para essa reação.
8. Marcação de eixo no Neoprene e no berço para alinhar com o eixo de gravidade do conjunto para garantir a correta distribuição das cargas no aparelho.
9. Retirada dos aparelhos antigos e colocação dos novos com o correto alinhamento.
10. Após a substituição, realizar a retirada gradual dos calços e a diminuição lenta e uniforme das pressões até a estrutura esteja corretamente posicionada sobre os novos apoios.
11. Limpeza ao redor dos aparelhos.

MANCHAS

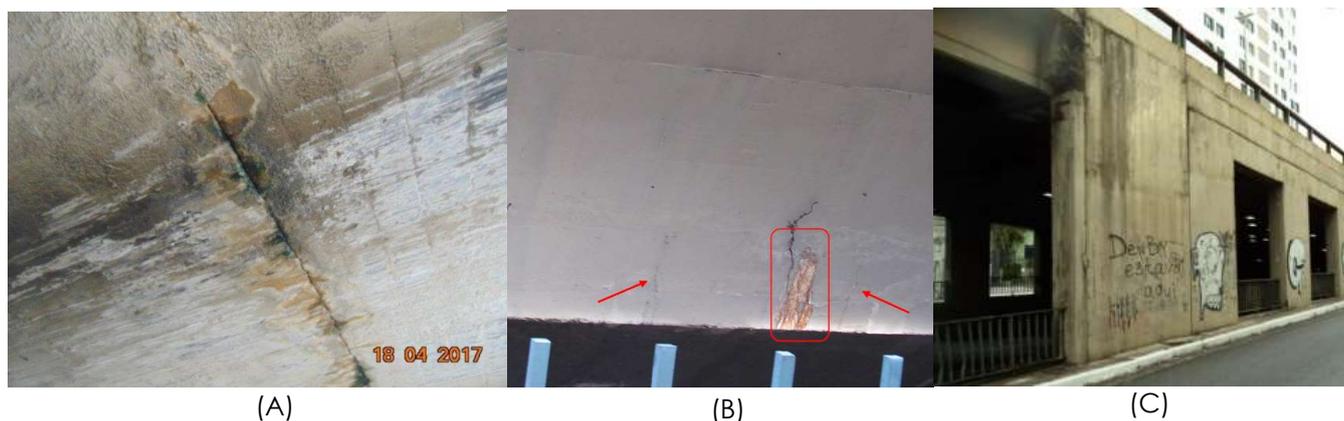
As manchas em estrutura de concreto armado são causadas pela umidade, fungos, íons cloreto, fuligem, lixiviação entre outros. Quando a água infiltra nos poros do concreto, ela dissolve os sais presentes no cimento e no cal, principalmente o hidróxido de cálcio. Esses sais são conduzidos até a superfície durante a evaporação da água através da percolação, com a evaporação da água, esses sais se cristalizam, gerando manchas de cor clara, chamadas de eflorescências. Helene (1986).

As manchas marrons avermelhadas ou esverdeadas na superfície do elemento estrutural podem ser causadas por agentes agressivos do ambiente impregnados na estrutura ou agentes agressivos incorporados involuntariamente ao concreto durante seu amassamento.

Em geral, as manchas em obras de arte especiais ocorrem pela falta de estanqueidade de elementos como juntas de dilatação ou de problemas no sistema de drenagem como falta de pingadeiras, drenos entupidos, buzínates quebrados. As consequências dessa manifestação variam desde alterações estéticas até comprometimento de elementos estruturais, como, por exemplo, favorecimento da corrosão da armadura.

CONCEITO: As manchas na superfície das estruturas de concreto armado são manifestações patológicas causadas por diversos fenômenos, como por exemplo umidade, as mesmas são conhecidas por afetarem a estética da estrutura, para sanar com esse problema e preciso compreender os mecanismos de degradação que as originaram.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



Fonte: SINAENCO SP (2017).

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Infiltração por falha no sistema de drenagem, entupimento dos drenos, ausência de pingadeiras, escoamento de água pelas juntas;
- Fuligem devido a fogo próximos aos elementos estruturais;
- Lixiviação pelo contato da estrutura com a água;
- Ferrugem na superfície do concreto, devido a corrosão interna da armadura;
- Proliferação de vegetação.

PROGNÓSTICO: O principal efeito indesejado das manchas é que elas afetam a estética da OAE, devido as manchas escuras pela superfície do concreto passando a sensação de uma estrutura

RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: Antes de qualquer mudança na estrutura, deve-se contratar um profissional habilitado, para realizar os estudos de cargas para verificação das consequências das intervenções.

A sequência executiva a ser seguida para a metodologia de terapia ou tratamento de Manchas na superfície do concreto segue as seguintes etapas:

1. Localizar e delimitar os locais afetados na estrutura que apresentam a manifestação patológica. Essa identificação é realizada de forma visual, pois no local afetado se forma umas manchas na superfície do concreto.

2. Antes de iniciar a etapa de tratamento deve-se identificar a causa do problema, a fim de sanar com a mesma, para então começar o processo de tratar a área afetada da estrutura, para orientação dessa etapa pode ser utilizado as **FICHAS 04” Corrosão Localizada”, 09” Lixiviação e Eflorescência do Concreto “e 11 “Fuligem no Concreto”**. Após a execução da sequência executiva de tratamento deve-se aguardar o tempo mínimos necessários para ganho de resistência e cura dos materiais aplicados.

TALUDE

Taludes são estruturas de segurança necessária com o objetivo de conter deslizamentos de solo e segurar a terra de cortes e encosta proporcionando estabilidade ao terreno. O tipo de contenção é escolhido de acordo com o tipo de solo, inclinação altura do talude, carga a ser suportada, pluviosidade, materiais a serem utilizados e entre outros fatores.

As principais manifestações patológicas encontradas são devido a falha na identificação do solo, erros de projeto e de execução, não levando em consideração as cargas atuantes como peso próprio, peso de terra e empuxo de terra, solo mal compactado e más condições de drenagem. O tamanho do empuxo depende de fatores como a magnitude do desnível entre o talude, tipo de solo, inclinação do terreno e a movimentação sofrida pelo talude. As manifestações patológicas devido a má compactação do solo ocorrem pois o solo produz nas paredes do talude, esforço de cima para baixo, tal esforço é equivalente ao atrito negativo das estacas. Esse esforço somado às cargas que atuariam nas estacas, ultrapassa sua capacidade de carga gerando recalques indesejáveis no talude ou muro. Outro fator que deve ser levado em consideração são às más condições de drenagem, que geram um acúmulo de água da chuva, saturando o solo e fazendo com que ocorra empuxo hidrostático.

RECUPERAÇÃO DE TALUDES REVESTIDOS

GRUPO DE MANIFESTAÇÃO: DETERIORAÇÃO DE CONCRETO

16

LOCALIZAÇÃO: TALUDES

CONCEITO: São estruturas que garantem a estabilidade do solo, evitando que ocorra possíveis deslocamentos, dando estabilidade a terra arrimada e promovendo segurança. Por ter formação em terreno inclinado em ângulo com o plano vertical mediante corte ou aterro, o talude deve ter manutenções constantes devido sua característica geotécnica, pois sua ruptura pode colapsar toda a estrutura da OAE em contato direto com o mesmo, assim como, implicar em danos de extrema magnitude e risco de segurança aos usuários. Em obras antigas não eram realizados os dispositivos de proteção e contenção nas cabeceiras, tornando os aterros de acesso vulneráveis à interpéries como chuvas e erosão.

IMAGENS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:



(A)

(B)

Fonte: SINAENCO SP (2017).

A) Defeito no sistema de proteção do talude;

B) Deterioração do concreto projetado no talude e presença de vegetação na face inferior da estrutura.

CAUSAS PROVÁVEIS:

- Falha na identificação do solo, podendo causar maiores tensões sob a proteção;
- Fissuras causadas por tensões no solo, falha de projeto e falta de manutenção;
- Erro de projeto, não considerando as corretas cargas atuantes sobre o talude como o peso próprio da estrutura, peso de terra e empuxo de terra (pressões laterais e/ou água);
- Solo mal compactado;
- Movimentação do solo;
- Deficiência do sistema de drenagem junto às cabeceiras;
- Drenos obstruídos devido a falta de manutenção;
- Fissuras por retração que permitindo a entrada de água no corpo do talude gerando instabilidade do solo.

PROGNÓSTICO: Devido as cargas atuantes como peso próprio, peso da terra e o empuxo da terra (pressões laterais), ocorrem manifestações patológicas que geram a deterioração do talude ou muro de contenção, com isso, a estrutura fica impossibilitada de realizar sua principal função que é de conter o solo.

Essas manifestações comprometem a segurança e estabilidade da própria OAE e de seus usuários, podendo vir a colapso pela falta de estabilidade gerada pelo solo. A fim de encontrar soluções técnicas o reforço e estabilização de taludes são considerados os elementos mais importantes para garantir a segurança. Os métodos de recuperação são variados assim como os custos e processos construtivos envolvidos.

RECOMENDAÇÕES DE TERAPIA: Antes da escolha da metodologia de terapia, é necessário avaliar o sistema de drenagem das cabeceiras. Se tiver comprometido, deve realizar a recuperação de todo esse sistema, podendo ser necessária remoção das lajes de transição, se houver e entre outros.

Os métodos convencionais de proteção de taludes podem ser divididos em proteções diretas ou contínuas e indiretas e descontínuas. Para as sequências executivas descritas abaixo, foram consideradas o método de proteção direta ou contínua, as quais ficam diretamente em contato com a superfície do talude podendo ser flexíveis ou rígidas.

Sequência executiva a ser seguida para a metodologia de recuperação de taludes revestidos com placas que apresentam erosão, deslocamento ou ruptura das placas de proteção.

Esta metodologia é recomendada para taludes pouco íngremes, confere à mesma resistência a abrasão e impermeabilização.

1. Remoção das placas em regiões que apresentam recalque do substrato, deslocamento ou ruptura das mesmas. Para essa etapa, pode-se utilizar um marteleto elétrico ou pneumático para auxiliar.
2. Recomposição do solo de base, realizando a recomposição do talude com o solo local/original, utilizando um compactador de solo.
3. Recolocação das placas de concreto armado, considerando as mesmas característica e dimensões das existentes, conforme especificado em projeto.
4. Remoção da vegetação existente que obstruem as juntas entre as placas pela raiz de forma manual.
5. Remoção de argamassa de rejuntamento com a utilização de um ponteiro de ferro ou talhadeira e com auxílio de marreta.
6. Umedecer as superfícies das placas com água.
7. Recomposição da calafetação com argamassa no traço 1:3 e relação de água cimento <0,50.
8. Realizar a cura úmida.

Sequência executiva a ser seguida para a metodologia de recuperação de taludes revestidos com concreto projetado.

1. Limpeza da área, removendo substâncias que possam contaminar o concreto com o auxílio de jato de água ou jato de ar.
2. Perfurar o solo para a instalação de barras de aço (chumbadores). Essa etapa deve ser realizada com a ancoragem dos chumbadores no solo por meio da injeção de calda de cimento através de mangueiras especiais.
3. Execução de chapisco para garantir melhor aderência na interface do talude com o concreto.
4. Posicionamento de armadura através dos chumbadores. A armação absorve as retrações da massa de concreto e as tensões devidas à dilatação, evitando o surgimento de fissuras.
5. Colocação de drenos para dar correta destinação às águas que infiltram no solo.
6. Revestimento com concreto projetado.