

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS SERTÃO
UNIDADE ACADÊMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

SANDERSON CARLOS DOS SANTOS MENDES

**ANÁLISE QUANTITATIVA DA PONTE SOBRE O RIO PEDRA NO MUNICÍPIO DE
DELMIRO GOUVEIA- AL, UTILIZANDO FERRAMENTA GDE/UnB: ESTUDO DE
CASO**

DELMIRO GOUVEIA – AL

2022

SANDERSON CARLOS DOS SANTOS MENDES

**ANÁLISE QUANTITATIVA DA PONTE SOBRE O RIO PEDRA NO MUNICÍPIO DE
DELMIRO GOUVEIA- AL, UTILIZANDO FERRAMENTA GDE/UnB: ESTUDO DE
CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de engenharia civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus Sertão, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Msc. Rogério de Jesus dos Santos.

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza – CRB-4/2209

M538a Mendes, Sanderson Carlos dos Santos

Análise quantitativa da ponte sobre o Rio Pedra no município de Delmiro Gouveia – AL, utilizando ferramenta GDE/UnB: estudo de caso / Sanderson Carlos dos Santos Mendes. - 2022.
119 f. : il.

Orientação: Rogério de Jesus dos Santos.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2022.

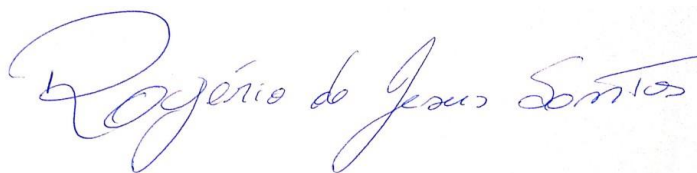
1. Manifestações patológicas. 2. Ponte de concreto armado. 3. Análise quantitativa. 4. Estrutura. 5. Ferramenta GDE/UnB. 6. Pontes. I. Santos, Rogério de Jesus. II. Título.

CDU: 624.012.45

Folha de Aprovação

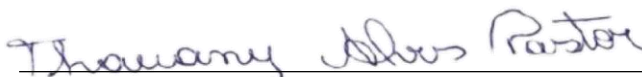
SANDERSON CARLOS DOS SANTOS MENDES

ANÁLISE QUANTITATIVA DA PONTE SOBRE O RIO PEDRA NO MUNICÍPIO DE DELMIRO GOUVEIA- AL, UTILIZANDO FERRAMENTA GDE/UnB: ESTUDO DE CASO



(Orientador) – Prof. Msc. Rogério de Jesus dos Santos, UFAL.

Banca examinadora:



(Examinadora Externa) – Engenheira civil, Thauany Alves Pastor, UFAL.



Documento assinado digitalmente
WENDELL JOSE SOARES DOS SANTOS
Data: 27/12/2022 09:41:13-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

(Examinador Interno) - Prof. Msc, Wendell José Soares dos Santos, UFAL.



Documento assinado digitalmente
ALVERLANDO SILVA RICARDO
Data: 27/12/2022 12:23:00-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

(Examinador Interno) - Prof. Msc, Alverlando Silva Ricardo, UFAL.

AGRADECIMENTOS

Por esta obra finalizada, dou graças à Deus, que esse trabalho seja fruto de importantes conquistas para honra e glória do nosso senhor Jesus Cristo.

Agradeço também a minha família, ancestral, espiritual e carnal, meus pais Sandra Maria e Carlos Alberto, e minha irmã Carla por me ampararem com recursos físicos e imateriais, me preparando ao longo do tempo para esta ocasião.

Agradeço infinitamente as amigas do clube da Luluzinha: Karolline Tranzilo, Thauany, Karlinha, Carinaúba, Letícia, Josilane, e do clube do bolinha: Bruno Santos, Rafael Santana, Rafael Silva, Luís, Ericson, Éliton, Felipe, Guilherme Almeida, Guilherme Teles, Lucas, Mago e Eleilton pelas horas de estudo e pelas melhores comemorações que tivemos.

Aos meus professores do curso, por sua imensa paciência e seu zelo nos conteúdos compartilhados, agradeço a todos, na pessoa do meu querido orientador Prof. Msc. Rogério de Jesus dos Santos, que sempre foi um ponto de luz nas horas de incertezas, disposto a nos instruir com seu valioso repertório e vasta experiência.

A todos que fazem parte da família Santa Luzia por acreditarem no meu trabalho, e por sempre me incentivarem a continuar acreditando na providência divina, o meu obrigado em especial.

“Quê são os homens mais do que a aparência de teatro, a vaidade e a fortuna que governam a farsa desta vida, ninguém escolhe o seu papel, cada um recebe o que lhe dão, aquele que sai sem fausto nem cortejo, e que logo no rosto indica a dor e a miséria que é sujeito, a aflição ao sofrimento, este é que representa o papel de homem à morte que está de sentinela. Numa das mãos guarda o relógio do tempo, na outra a foice fatal e com esta, de um só golpe certo e inevitável fecha a cortina e da fim à tragédia e desaparece.”

Matias Aires

“Só porque alguém tropeça e se perde no caminho, não significa que está perdido para sempre.”

Prof. Charles Xavier

“Em um experimento, não é possível prever a posição de uma partícula, e a quantidade de movimento que essa partícula possui ao mesmo tempo.”

Werner Heisenberg

RESUMO

As estruturas de concreto armado foram amplamente utilizadas para criar novas estruturas de utilização e moradia, possibilitando edifícios cada vez mais extensos com grande capacidade de acomodar instituições familiares e industriais (produtivas) afim de prover a manutenção e sobrevivência da nossa sociedade. A fim de elevar a qualidade, desempenho e a vida útil de suas estruturas, diversas formas de avaliação e de manutenção foram desenvolvidas nesse processo. Dessa forma, para uma gestão eficiente dessas estruturas de base mantenedora da civilização, são necessários observar também as falhas de projeto, de execução e utilização, para após uma verificação do seu estado e realizar possíveis manutenções corretivas e/ou preventivas afim de alcançar o equilíbrio entre sua durabilidade e seu uso. Assim, diante desta problemática, a partir do uso da ferramenta GDE/UnB, avalia e analisa quantitativamente as patologias apresentadas pela Ponte sobre o Rio Pedra em Delmiro Gouveia-AL, a fim de testar sua eficiência como ferramenta de avaliação de estruturas de concreto armado. Nesse sentido, a ferramenta trouxe resultados tangíveis, classificando conclusivamente a ponte apresenta grandes áreas degradadas e quantificada em 83,72 com alta incidência de falhas na concretagem, infiltração, e corrosão das armaduras, classificado em nível sofrível que necessita de intervenções planejadas e executadas no prazo de no máximo 06 meses.

Palavras-chave: Avaliação quantitativa, ferramenta GDE/UnB, inspeção, pontes em concreto armado, deterioração.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures were widely used to create new structures for use and housing, enabling increasingly extensive buildings with a great capacity to accommodate family and industrial (productive) institutions in order to provide the maintenance and survival of our society. In order to increase the quality, performance and useful life of its structures, several forms of evaluation and maintenance were developed in this process. In this way, for an efficient management of these basic structures that maintain civilization, it is also necessary to observe the design, execution and use failures, after checking their state and carrying out possible corrective and/or preventive maintenance in order to achieve balance. between its durability and its use. Thus, in view of this problem, based on the use of the GDE/UnB tool, it quantitatively evaluates and analyzes the pathologies presented by the Ponte sobre o Rio Pedra in Delmiro Gouveia-AL, in order to test its efficiency as a tool for evaluating reinforced concrete structures. . In this sense, the tool brought tangible results, conclusively classifying the bridge as having large degraded areas and quantified at 83.72 with a high incidence of failures in concreting, infiltration, and corrosion of the reinforcements, classified at a tolerable level that needs planned and executed interventions in the maximum period of 6 months.

Keywords: Quantitative evaluation, GDE/UnB tool, inspection, reinforced concrete bridges, deterioration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corte na seção transversal de laje maciça.....	17
Figura 2 – Esquema de ponte em viga apoiada com único vão	18
Figura 3 – Corte longitudinal em ponte estaiada	19
Figura 4 – Representação em ponte de arco intermediário	19
Figura 5 – Eflorescência em ponte de concreto	29
Figura 6 – Concreto carbonatado.....	30
Figura 7 – Concreto desagregado	32
Figura 8 – Solução de fenolfiltaleína	35
Figura 9 – Fissurômetro	36
Figura 10 – Fluxograma de planejamento e avaliação.....	39
Figura 11 – Grau de um dano (D) x Fator de Intensidade (I)	43
Figura 12 – Localização da ponte sobre o rio Pedra.....	50
Figura 13 – Divisão estrutural dos elementos	51
Figura 14 – Detalhamento da pesquisa.....	52
Figura 15 – Divisão estrutural das análises adotada.....	53
Figura 16 – Croqui de sistema estrutural	54
Figura 17 – Pilar hexagonal P1	55
Figura 18 – Pilar carbonatado	55
Figura 19 – Pilar hexagonal P2	56
Figura 20 – Fissura no pilar P1	56
Figura 21 – Guarda-corpo	56
Figura 22 – Sinais de esmagamento no passeio	56
Figura 23 – Fissuras no guarda-corpo	57
Figura 24 – Laje L1 e suas patologias.....	57
Figura 25 – Laje L3 e suas patologias.....	57
Figura 26 – Gráficos das manifestações e sua frequência.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de agressividade ambiental NBR6118/2014.....	23
Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	23
Tabela 3 - Correspondência entre classe de agressividade e o cobrimento nominal.....	24
Tabela 4 - Causas intrínsecas das patologias nas estruturas de concreto	26
Tabela 5 - Causas extrínsecas das patologias nas estruturas de concreto	27
Tabela 6 - Classificação das aberturas	28
Tabela 7 - Fator de relevância estrutural (Fr)	40
Tabela 8 - Modelo de ficha de inspeção de pilares	40
Tabela 9 - Fatores de intensidade do dano (Fi)	42
Tabela 10 - Classificação do nível de deterioração de um determinado elemento	45
Tabela 11 - Classificação do nível de deterioração da estrutura pela metodologia	47
Tabela 12 - Divisão de elementos x fator de relevância (Fr)	47
Tabela 13 - Nível de determinação do elemento e as recomendações de ações em função do valor Gde	48
Tabela 14 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor de Gd	48
Tabela 15 - Grau de deterioração dos elementos pilares.....	58
Tabela 16 - Grau de deterioração dos elementos transversinas.....	59
Tabela 17 - Grau de deterioração dos elementos longarinas.....	59
Tabela 18 - Grau de deterioração dos elementos lajes.....	59
Tabela 19 - Grau de deterioração dos elementos guarda-corpo.....	59
Tabela 20 - Grau de deterioração dos muros de arrimos.....	60
Tabela 21 - Cálculo de Gd da estrutural.....	61
Tabela 22 – Manifestações, incidência, frequência.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
D	Grau do dano
Fi	Fator de intensidade do dano
Fp	Fator de ponderação do dano
Fr	Fator de relevância estrutural do elemento
Gd	Grau de deterioração da estrutura
Gde	Grau de deterioração do elemento
Gdf	Grau de deterioração de uma família de elementos
K	Grau de deterioração da família majorado
k	Número de famílias da estrutura
m	Número de elementos de uma família com $Gde \geq 15$
n	Número de danos encontrado em um elemento
OAE	Obra de arte especial
PECC-UNB	Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	GERAL	13
1.1.2	ESPECÍFICO	14
1.1.3	HIPÓTESE	14
1.1.4	JUSTIFICATIVA	14
2	REFERENCIAL TEORICO	15
2.1	CONCEITO DE PONTE	15
2.2	CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES	16
2.2.1	PONTES EM LAJE	17
2.2.2	PONTES EM VIGA	17
2.2.3	PONTES ESTAIADAS	18
2.2.4	PONTES EM ARCO	19
2.3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO	20
2.3.1	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	21
2.3.2	FATORES DE INFLUÊNCIA DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO	22
2.3.3	PRINCIPAIS CAUSAS DAS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO	26
2.3.4	FISSURAS	28
2.3.5	LIXIVAÇÃO E EFLORESCÊNCIA	28
2.3.6	CARBONATAÇÃO	29
2.3.7	DESAGREGAÇÃO	31
2.4	INSPEÇÃO EM PONTES DE CONCRETO ARMADO	32
2.4.1	INSPEÇÃO CADASTRAL	33
2.4.2	INSPEÇÃO ROTINEIRAS	33
2.4.3	INSPEÇÃO ESPECIAL	33
2.4.4	INSPEÇÃO EXTRAORDINÁRIA	34
2.4.5	INSPEÇÃO INTERMEDIÁRIA	34
2.5	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO	35
2.5.1	FENOLFITALEINA	35
2.5.2	ENSAIO DAS ABERTURAS	36
2.6	METODOLOGIA DA FERRAMENTA DE GRAU DE DETERIORAÇÃO GDE/UNB	37
2.6.1	ORIGEM DA METODOLOGIA	37
2.6.2	FORMULAÇÃO PROPOSTAS POR FONSECA (2007)	38
2.6.3	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UNB POR EUQUERES (2011)	47
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	50
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	50
3.2	ESCOLHA DO OBJETO DE ESTUDO	50
3.3	MÉTODO DE PESQUISA	51
3.4	ETAPAS METODOLÓGICAS	52

4	RESULTADO E DISCUSSÕES	53
4.1	DADOS BÁSICOS DA OBRA EM ESTUDO:	54
4.2	SITUAÇÃO DA OAE	55
4.3	ANÁLISE DOS GRAUS DE DETERIORAÇÃO DOS ELEMENTOS	58
4.4	INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES	61
5	CONCLUSÃO	63
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	64
6	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o homem percebeu a necessidade de se organizar em grupo para se proteger do ambiente hostil e dos predadores em potencial, buscou se abrigar em cavernas afim de proteger sua prole.

No início o homem primitivo utilizava-se de matérias primas presentes no ambiente, utilizando-se da madeira das árvores, folhagem e cipós. Desenvolvendo diferentes técnicas com o uso da argila, de agregados e cal, produzem argamassas que dão sustentabilidade as estruturas. Com o tempo e o uso de aço foi possível proporcionar ao concreto maior resistência a tração, assim dando maior tempo de vida útil. Surge assim a preocupação quanto a durabilidade das estruturas compostas por esses materiais.

Diante disso, esse trabalho apresenta uma das formas de quantificar as condições presentes em estruturas de concreto, de forma singular, especificamente aplicada a Ponte sobre o rio Pedra em Delmiro Gouveia-AL. A metodologia GDE foi discutida primeiramente no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC-UnB) e possibilita avaliação quantitativa para o grau de deterioração de estruturas de concreto, verificando as manifestações dos danos e suas evoluções, permitindo observar o seu estado no tempo, assim, definir prioridades para resolução de situações e manutenções.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

O principal objetivo desta pesquisa é determinar o grau de deterioração da Ponte sobre o Rio Pedra em Delmiro Gouveia-AL, utilizando a Metodologia de Grau de Deterioração das Estruturas GDE/UnB.

1.1.2 Específico

- Apresentar as principais manifestações patológicas encontradas;
- Apontar quais as falhas e os elementos da estrutura que causaram maior impacto para o resultado final do GDE;
- Determinar as prioridades de intervenções necessárias na ponte analisada a partir do grau obtido pelo método GDE/UnB.

1.1.3 Hipótese

Anseia-se que a metodologia GDE/UnB quantifique o nível de deterioração da ponte em questão, e indique possíveis ações de reparos preventivos e/ou corretivos.

1.1.4 Justificativa

A importância da gestão de manutenção das estruturas de concreto armado necessita de acompanhamento e o uso de ferramentas que podem auxiliar na verificação das prioridades de intervenção. A metodologia GDE/UnB deve ser utilizada como ferramenta, afim de propor atividades de manutenção preventiva, indicando possíveis falhas e o estado de utilização dos elementos, identificando danos que possam oferecer maiores riscos aos usuários, sua utilização facilita a tomada de decisão na ordem técnico-financeira das intervenções mais eficientes.

Portanto, essa análise permite determinar as degradações de forma antecipada, com um planejamento prévio reduzindo custos nas intervenções.

2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 Conceito de ponte

O conceito de ponte é apresentado na Norma DNIT 010/2004 (Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento) da seguinte forma:

“Estrutura, inclusive apoios, construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros. Ficam incluídos nesta definição viadutos, passagens superiores e passagens inferiores.”

Assim como a NBR 7188/2013 (Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, e em outras estruturas), apresenta os seguintes termos:

“PONTE: Estrutura sujeita a ação de carga em movimento, com posicionamento variável, aqui chamada de carga móvel, utilizada para transpor um obstáculo natural (rio, córrego, vale etc.).

VIADUTO: Estrutura para transpor um obstáculo artificial (avenida, rodovia etc.).”

Dessa forma, entende-se que a ponte seja um elemento de estrutura física, com a finalidade de viabilizar o caminho sobre obstáculos naturais ou artificiais. MARCHETTI (2008) diz que, qualquer obra de necessidade, afim de permitir a continuidade das vias, superando obstáculos, permitindo o traslado através dessas estruturas, sendo eles molhados ou não, a exemplos de leitos de rio, braços de mar, entre outros.

VITÓRIO (2002) salienta que, vários são os conceitos de ponte, encontrados em instruções normativas nacionais, internacionais, livros e outro manuais de procedimento, e todos eles atendem ao proposto.

Os principais requisitos de uma ponte foram descritos por MARCHETTI em (2008), cita:

- *Funcionalidade: Propõe as exigências ideais para atender os critérios de circulação de móveis e pedestres num determinado período, com também atender a vazões de córregos e águas pluviais.*
- *Segurança: Promover que seus elementos estruturais atendam solicitações e tensões menores que as admissíveis em projeto ou que possa levar ao colapso da estrutura.*
- *Estética: Denotar nos aspectos ambientais e físicos de compatibilização harmoniosa entre estrutura e ambiente.*
- *Economia: Avaliar diante das diversas opções de materiais e projetos, aquele que atende os requisitos previstos com menor custo possível durante a vida útil da estrutura.*

Esses requisitos em conjunto com aspectos ambientais ajudam na caracterização de qual o material mais adequado para executar a obra, a fim de atender de forma coerente as necessidades do empreendimento. Entre os mais utilizados estão: O concreto, o aço, a madeira, polímeros de alta resistência entre outros matérias.

2.2 Classificação das pontes

COSTA (2009), expõe que, os diferentes sistemas estruturais tipificam as Obras de Artes através de fortes fatores que influenciam os modelos construtivos, observando sempre questões convergentes condicionadas aos materiais utilizados, as novas tecnologias desenvolvidas, e o patrimônio histórico conhecido. Ele afirma ainda que a topografia do local do empreendimento e as questões econômicas são relevantes à concepção do projeto.

Uma ponte pode ser classificada por seus inúmeros diferentes de atributos, MARCHETTI (2008) expõe que, pode-se classificar as pontes por sua extensão, pela

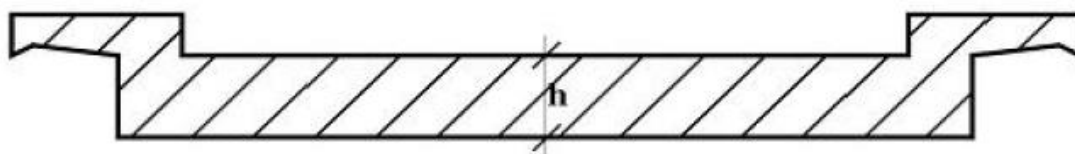
sua durabilidade, segundo a natureza do tráfego, segundo o tipo estático da estrutura, segundo o tipo construtivo e outros. Nos próximos itens são apresentados a classificação segundo o sistema estrutural da superestrutura.

2.2.1 Pontes em laje

São conhecidas por terem sua superestrutura em laje maciça, frequentemente utilizada como solução para vão de até 15 metros de comprimento, não possui qualquer elemento de viga em seus ligamentos. Apresentam ainda as seguintes vantagens de acordo com VITORIO (2002):

- a) Pequena altura de construção;
- b) Grande resistência a torção;
- c) Grande resistência ao fissuramento;
- d) Rapidez e simplicidade no modo construtivo;
- e) Boa solução para terrenos esconsos.

Figura 1: Corte de seção transversal de laje maciça.



Fonte: VITORIO, 2002.

Contudo, as lajes se apresentam em outras estruturas como: tabuleiros em pontes sobre vigas, sobre pontes metálicas, em tirantes entre outras.

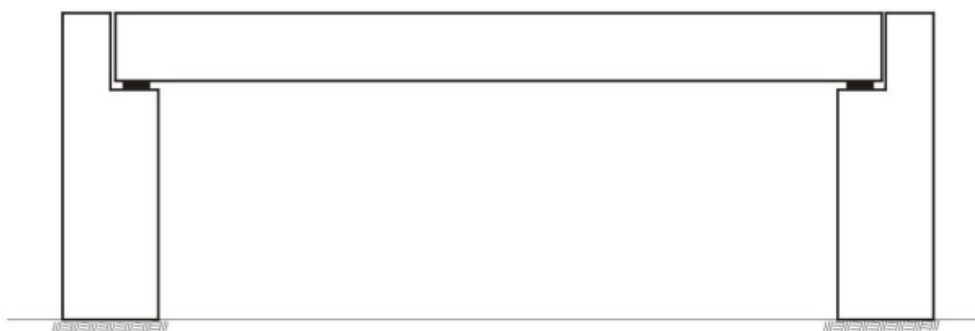
2.2.2 Pontes em viga

Para LOBATO (2016), a superestrutura das pontes sobre vigas é conhecida por apresentarem vigas transversais chamadas de “transversinas” que proporcionam o aumento da rigidez do elemento, e vigas longitudinais chamadas de “longarinas” que

atendem as solicitações de esforços advindas do tabuleiro, este comumente feito laje maciça ou armada.

A viga é um elemento estrutural simples, adequada a uma abrangente variação de vãos, com intervalos entre 10 à 100 metros de comprimentos, acima de 50 metros são utilizadas vigas protendidas de altura variável, de acordo com a norma DNER 698/100. Abaixo o corte longitudinal de uma ponte de viga simplesmente apoiada com único vão na figura 3.

Figura 2: Esquema de ponte em viga apoiada com único vão.



Fonte: VITORIO, 2002.

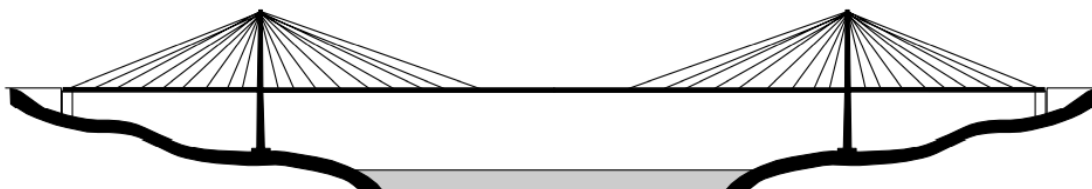
A norma apresenta ainda outras formas estruturais com a utilização de vigas, são elas: Vigas Simplesmente Apoiada em Balanço, Vigas Contínuas, Vigas Gerber.

2.2.3 Pontes estaiadas

As pontes estaiadas apresentam tabuleiro suspensos através de cabos inclinados ligados a torres, seu tabuleiro é frequentemente feito de materiais resistentes a torção, como o aço, e o concreto protendido, findando a minimizar as vibrações derivadas das ações transversais de vento, afirma VITORIO (2002).

Aplicadas frequentemente em grandes vãos, entre 200 até 900 metros, possui vantagens como qualidades técnicas, econômicas e estéticas, tem sido bastante utilizada nos últimos 70 anos, de acordo com a DNER 698/100.

Figura 3: Corte longitudinal em ponte estaiada.



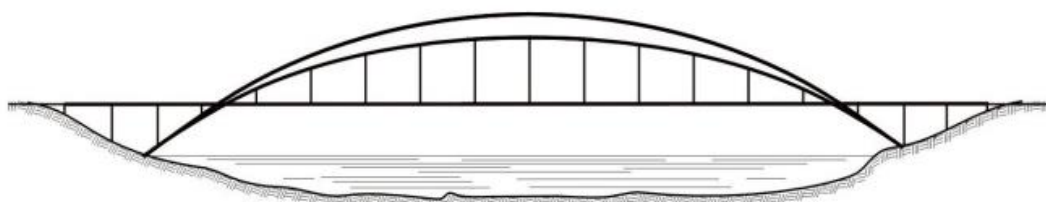
Fonte: DNER 698/100, 1996.

2.2.4 Pontes em arco

As pontes em arco apresentam em sua superestrutura, a formatação de arco, utilizando o concreto de forma a coincidir com a linha de tensões devido a carga permanente, melhorando sua capacidade de resistir a compressão, como apresentamos o Manual do DNER 698/100 (1996).

COSTA (2009), afirma que esse formato, consiste no trabalho de tensão de compressão ao longo de sua estrutura devido ao seu desenho curvilíneo. A seguir podemos identificar na imagem 4.

Figura 4: Representação de ponte em arco intermediário.



Fonte: VITORIO, 2002.

2.3 Manifestações patológicas em pontes de concreto armado

CUNHA (2011), afirma que, pouco se conhecia sobre as características do concreto no princípio de sua utilização na construção civil, acreditava-se que a estrutura era sólida suficientemente que não havia necessidade de manutenção. RIPPER e SOUZA (1998), afirma que essas estruturas estavam sendo isentas de considerações a respeito da sua deterioração, e que seria imprescindível uma verificação de seu desempenho.

SILVA (2010), comenta que a palavra patologia deriva do grego (*Páthos*, doença, e *logos*, estudo) e é comumente utilizada nas diversas áreas da ciência, com denominação do objeto de estudo que varia de acordo com o ramo de atuação. Comenta ainda que no ramo da engenharia esse termo dedica-se ao estudo de anomalias ou manifestação patológica nas estruturas, com o intuito de prover a sua manutenção e/ou reabilitação.

SOUZA e RIPPER (1998), reitera que o termo patologia, considera a observação das origens, suas formas de manifestação, consequências e desenvolvimento de ocorrência das falhas durante o processo produtivo e dos sistemas de degradação das estruturas.

Considerando apenas as manifestações patológicas em obras especiais, HELENE (1992), discorre que se apresentam com alta incidência e intensidade, com alto custo de investimento para sua reparação, além de oferecer riscos à vida humana. Dessa forma, o estudo sobre manifestações patológicas deve promover uma avaliação contínua que intercala as etapas do empreendimento junto com insumos utilizados e mão de obra devidamente capacitada, afim de manter a confiabilidade na utilização das estruturas.

Percebe-se então que a análise de uma patologia está diretamente relacionada a vida útil da estrutura, onde fatores como o tempo e as condições de exposição são influenciados em conjunto com o desempenho e a durabilidade. SARTORTI (2008) afirma que estes novos conceitos estão cada vez mais sendo difundidos no meio técnico, observando, a crescente demanda emergente nas patologias estruturais, gerando grande preocupação dos profissionais para com a qualidade e segurança nas estruturas.

LAPA (2008), versa que, a elaboração de projetos estruturais, são imprescindíveis e necessárias fiscalizações contínuas em suas fases, como por exemplo: Projetos arquitetônicos e estruturais, durante a execução da obra, inspeções periódicas e manutenção.

2.3.1 Manifestações patológicas

Com o conceito de patologia bem definidos, podemos complementar essa definição relacionando a erros casuais durante as cinco etapas principais de uma obra, entre elas, fase de planejamento, fase de execução, mão de obra desqualificada, entre outros. Esses fatores são de fundamental importância e podem gerar onerosos problemas a estrutura, sem o devido tratamento podem levar ao colapso estrutural, de acordo com MOREIRA (2013).

É possível o desenvolvimento de patologias durante quaisquer umas das etapas do processo de construção entre eles, o planejamento, projeto, materiais, execução e uso HELENE, (1992).

O traço remonta um dos principais questionamentos ao falar do concreto, mas para além disso, faz-se necessário empreender convenientes formas para o seu lançamento, adensamento e a cura do mesmo. As ações de manutenção aplicadas as edificações também são de valiosa importância. Definindo um conceito básico, vindo a clarificar o que até então era pouco conhecido e que outros poucos arriscavam, que seria a durabilidade do concreto. Parâmetro este que tem a capacidade do concreto de resistir às intempéries e aos demais processos de deterioração.

HELENE (1992), declara que as manifestações mais comuns em pontes de concreto armado podem ser do tipo simples ou complexa, essa segunda exprime uma análise individualizada e específica, e já de natureza simples, possui um tratamento padronizado, que facilita seu trato de acordo com as soluções empregadas em situações idênticas. Reconhece ainda que as principais manifestações presentes em estruturas de concreto são: As fissuras, a eflorescência, as manchas superficiais e as flechas excessivas.

2.3.2 Fatores de influência de patologias em estruturas de concreto

Segundo PITELLI e MARCO (2019), ressalta que no ramo da construção civil, o termo patologia é utilizado para expor defeitos construtivos que de acordo com sua evolução podem inviabilizar a estrutura. O autor esclarece ainda que as patologias podem ser derivadas de diferentes tipos de falhas, frequentemente surge devido ao erro humano, podendo esse apresentar-se na execução da obra assim como nos projetos. O autor acrescenta ainda que a ausência de manutenção prevista em projeto é também um fator que compromete as estruturas de concreto.

2.3.2.1 Qualidade dos materiais

CURCIO (2008) versa que, o material deverá obrigatoriamente apresentar qualidade definida de acordo com os critérios estabelecidos através das normas técnicas que permitem sua verificação, com dados precisos. Assim, a qualidade das obras de engenharia, deve apresenta-se de forma objetiva e não subjetiva.

De acordo com PITELLI e MARCO (2019), a porção de água utilizada é de fundamental importância e influencia na resistência e na qualidade do concreto, responsável por promover as reações químicas da mistura, assim o concreto não atinge a consistência e umidades necessárias para poder ser utilizado. No entanto caso seja adicionada água em demasia na mistura, o concreto excede a textura de pasta, impedindo que o concreto atinja a resistência recomendada. Os autores afirmam ainda que a dosagem de água perfeita está relacionada à porção de cimento que deverá ser adicionada ao concreto, esse fator é conhecido com o nome técnico fator água/cimento (a/c).

A ABNT através da NBR 6118/2014, estabelece as classes de agressividade ambiental para serem consideradas nos projetos estruturais como mostra na tabela 1, tais classes promovem a redução dos defeitos assim como a melhora da qualidade e empregabilidade do concreto. A mesma norma ainda define que a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuarão sobre as estruturas de concreto durante toda a sua vida, independente das ações mecânicas,

das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

A tabela 1, apresenta as condições de exposição da estrutura com a agressividade ambiental.

Tabela 1: Classes de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingo de maré	

FONTE: ABNT (2014)

Dessa forma, a ABNT (2014) determina uma correlação entre a classe de agressividade ambiental e a qualidade do concreto, limitando as relações entre a quantidade de água máxima utilizada e o composto cimentício. Denominada a partir disso como o fator água/cimento e está abaixo apresentada na tabela 2.

Tabela 2: Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	0,65	,60	0,55	0,45
	CP	0,60	0,55	0,50	0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	C20	C25	C30	C40
	CP	C25	C30	C35	C40

FONTE: NBR 6118:2014.

A questão da durabilidade das estruturas e a busca pelo prolongamento da sua vida útil foram ponto chave para a ABNT (2014) estabelecendo a correlação entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal. Para CUNHA (2011), o cobrimento nominal é a camada de concreto que protege as armaduras contra os agentes agressivos no meio em que estas estão instaladas, evitando o contato direto desses agentes com as barras de aço presentes na estrutura.

A ABNT (2014) comenta que afim de garantir o cobrimento mínimo, tanto na fase de projeto e quanto na execução deverá ser considerado o cobrimento nominal estabelecido, onde este é a soma do cobrimento mínimo mais a tolerância de execução. Devendo as dimensões das armaduras e os espaçadores atender obrigatoriamente as dimensões dos cobrimentos nominais para tolerância de execução igual a 10 mm.

Expostos na tabela 3, da mesma norma, os valores dos cobrimentos nominais como resultado da classe de agressividade ambiental e seus elementos. Ciente que toda a estrutura passa por algum tipo de ação externa degradante, faz-se primordial o correto cobrimento das armaduras a fim de prolongar sua vida útil, evitando o contato com ambiente externo.

Tabela 3: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga / Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido	Todos	30	35	45	55

FONTE: ABNT (2004)

2.3.2.2 Meio ambiente

SARTORTI (2008) afirma que um dos principais agentes responsáveis por danos as estruturas de concreto é o meio ambiente, sabendo que ambientes mais agressivos poderão acelerar, ou mesmo, estimular as manifestações patológicas em função da deterioração da mesma, é comum encontrar agentes que estimulados pela capilaridade, percolam as armaduras reagindo e promovendo sua degradação.

A NBR 6118 (2014) apresenta de forma objetivas os ambientes de consideração no planejamento das estruturas a partir do risco ambiental admitido, classifica-os em riscos insignificantes, pequeno, grande e elevado, como está na tabela 1, e a relação que deve ser atendida nos cobrimentos nominais mínimos para reduzir os efeitos causados pelos agentes agressivos para o interior da estrutura, como mostra na tabela 3.

2.3.2.3 Ações

Em se falando nos projetos de obras de artes especiais, vários carregamentos são considerados, suas reações geram esforços solicitantes internos nas peças, promovendo o aparecimento de fissuras pela própria natureza do material concreto assim como as devidas verificações de cálculo. VITÓRIO, (2002).

Ainda de acordo com ele, os carregamentos a serem considerados são:

- *Carga permanente*: considera o peso próprio dos elementos estruturais;
- *Carga móvel*: constitui o peso dos veículos que transitam sobre a ponte;
- *Cargas devidas aos elementos naturais*: refere-se aos empuxos de terra e água e a ação do vento;
- *Deformações internas*: solicitações produzidas devido às variações de temperatura, retração e fluência do concreto.

THOMAZ (1989), afirma que muitas fissuras podem ser causadas por fatores diferentes, tanto como pela sobrecarga como também por outros fatores adversos. Ele exemplifica admitindo que as fissuras podem ficar mais visíveis quando ao longo de

sua construção foram negligenciados critérios ou pela por exceder seus carregamentos previstos em projeto gerando reações internas.

2.3.3 Principais causas das patologias em estruturas de concreto

RIPPER e SOUZA (1998) assevera que os fundamentos das patologias devem ser distintos em dois grupos. Grupos esses conceituados por suas causas intrínsecas e extrínsecas.

Para ele, causas de danificação ligadas à estrutura em si, ocorrem nos materiais e componentes das estruturas que originam esses defeitos são intrínsecas. Estas causas são ocasionadas por erros humanos na fase de execução, utilização e por agentes naturais externos. Já as causas extrínsecas, são as que não têm relação alguma com a estrutura em si, são esclarecidas como fatores que agem no interior das estruturas.

São apresentadas causas intrínsecas na tabela abaixo, com origem nos materiais durante as fases de execução, utilização das obras e por falhas humanas, ou por questões físicas.

Tabela 4: Causas intrínsecas das patologias nas estruturas de concreto.

Causas intrínsecas		
Falhas humanas durante a construção	Deficiências de concretagem	Transporte
		Lançamento
		Adensamento
		Cura
	Inadequação de escoramentos e fôrmas	
	Deficiência nas armaduras	Má interpretação dos projetos
		Insuficiência de armaduras
		Mau posicionamento das armaduras
		Cobrimentos de concreto insuficiente
	Utilização incorreta de materiais de construção	Fck inferior ao especificado
		Aço diferente do especificado
		Utilização de agregados reativos
		Dosagem inadequada do

		concreto
	Inexistência de controle de qualidade	
Falhas humanas durante a utilização	Ausência de manutenção	
Causas naturais	Causas próprias à estrutura porosa do concreto	
	Causas químicas	Reações internas ao concreto
		Expansibilidade de certos constituintes do cimento
		Presença de cloretos
		Presença de anidrido carbônico
		Presença de água
	Causas físicas	Variação de temperatura
		Insolação
		Vento
		Água
	Causas biológicas	

FONTE: SARTORTI (2008).

Observa-se abaixo, os fatores externos atuantes das estruturas, que podem influenciar de forma negativa, ou seja, promove reações a estrutura de dentro para fora ao longo da sua vida útil.

Tabela 5: Causas extrínsecas das patologias nas estruturas de concreto.

Causas extrínsecas	
FALHAS HUMANAS DURANTE O PROJETO	Modelização inadequada da estrutura
	Má avaliação das cargas
	Detalhamento errado ou insuficiente
	Inadequação ao ambiente
	Incorreção na interação solo-estrutura
	Incorreção na consideração de juntas de dilatação
FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO	Alterações estruturais
	Sobrecargas exageradas
	Alteração das condições do terreno de fundação
AÇÕES MECÂNICAS	Choques de veículos
	Recalque de fundações
	Acidentes (ações imprevisíveis)
AÇÕES NATURAIS	Variação de temperatura
	Insolação
	Atuação da água

FONTE: SARTORTI (2008).

2.3.4 Fissuras

As fissuras acompanham as estruturas em concreto desde o início da construção civil, sendo um fator de segurança quando acompanhado de forma correta a sua identificação. Segundo NÓBREGA (2019, p. 03), “As fissuras são manifestações patológicas que podem servir de alerta sobre danos mais preocupantes na edificação, vindo a modificar o desempenho das estruturas e, em alguns casos, a trazer constrangimento aos usuários.”

As fissuras são classificadas de acordo com a NBR 15.575, em ativas, quando suas aberturas em linha apresentam variação em sua espessura provocadas pela alteração das variáveis que as provocaram; e passivas, quando apresentam valores constantes de abertura.

Definindo-a como: O seccionamento na superfície ou em toda seção transversal de um componente, com abertura capilar, provocada pela ação de tensões normais ou tangenciais, caracterizando por sua espessura inferior a 0,6 mm. A seguir, na tabela 1 estão apresentados, a classificação das aberturas de acordo com RIPPER e SOUZA (1998).

Tabela 6: Classificação 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: Ripper e Souza (1998).

2.3.5 Lixiviação e eflorescência

A lixiviação ocorre com frequência quando não é possível evitar o contato direto da estrutura com a água em ambientes agressivos. declaram SOUZA e RIPPER (2009), esse processo caracteriza-se quando há dissolução e arraste do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 presentes no cimento Portland, percolam até a superfície

acompanhando o movimento hidráulico. Dessa forma, acontece uma reação química de remoção destes compostos hidratados, provocando o decaimento do pH do concreto.

O processo de dissolução, transporte e deposição do hidróxido de cálcio (lixiviação), dá início à manifestação patológica denominada por eflorescência, esta manifestação apresenta coloração esbranquiçada e se concentra na superfície do elemento de concreto afetado.

ANDRADE (1992), afirma que a lixiviação aumenta a porosidade do concreto facilitando o ingresso de mais agentes agressivos, o que contribui com a deterioração gradativa do concreto armado. Tornando o concreto mais poroso, criando espaços onde os compostos foram mobilizados, promovendo a decomposição de outros hidratos presentes no concreto, a lixiviação acaba enfraquecendo as características do concreto e deixando a armadura suscetível a corrosão.

Figura 5 – Eflorescência sobre estrutura de concreto.



Fonte: ecivilnet.com, (2016).

2.3.6 Carbonatação

De acordo com YAZIGI (2008), a carbonatação é uma manifestação patológica, apresenta-se como redução da alcalinidade do concreto ocasionada pela presença de CO₂ (dióxido de carbono) durante a etapa de hidratação do cimento, o

processo é intensifica-se pelas altas temperaturas como também pelas condições de umidade presentes internamente ou superficialmente no concreto.

HELENE (2008), afirma que o processo é comum em cimentos de baixa qualidade, e em ambientes com umidade relativamente alta, promovendo o seu aparecimento.

SOUZA E RIPPER (2009), acrescenta que o problema da carbonatação é quando ela ultrapassa o cobrimento e atinge a armadura, permite que o filme óxido seja desarranjado e permitindo a corrosão. Ao permanecer limitada ao cobrimento, a carbonatação pode ser benéfica ao concreto, resultando no melhoramento das resistências químicas e mecânicas.

Para ROCHA (2015), o dióxido de carbono acessa os poros através da difusão, reagindo com o hidróxido de cálcio do concreto. O resultado desta reação é a formação de carbonato de cálcio e a redução do pH do concreto a valores menores.

É possível verificar a profundidade da carbonatação de forma parcial, utilizando-se de colorimétricos de pH. Sua praticidade, baixo custo, rapidez e precisão considerável, fazem com que esse método seja bastante difundido, de acordo com VASCONCELOS (2018). O composto químico frequentemente utilizado é a fenolftaleína, resulta com mudança de cor rósea (rosa claro à rosa escura) a um intervalo de pH de 8 à 9,8 e atingindo a cor carmim ou roxa para pH entre 10 e 12. Dessa forma, no teste com fenolftaleína, o concreto sem cor apresenta-se carbonatado.

Figura 6 – Concreto carbonatado (teste com fenolftaleína)



Fonte: cimentoitambe.com.br, 2009

2.3.7 Desagregação

Uma das manifestações mais características de um ataque químico sobre a estrutura, é a desagregação, essa característica acarreta na perda da coesão entre as partículas formadoras do concreto.

Geralmente ocorre quando o cimento perde seu caráter de aglomerante, fazendo com que os agregados se isentem da união que a pasta de cimento proporciona, segundo BAUER (2008). Esse fenômeno se inicia na superfície dos elementos de concreto e alteram sua cor, gerando fissuração e desarranjo das camadas externas do concreto, por causa da variação de volume, movimentando os componentes, dificultando a coesão e, diminuindo sua resistência. De acordo com SOUZA e RIPPER (2009), o fenômeno apresenta-se com a separação física das placas de concreto, promovendo perda da funcionalidade monolítica, prejudicando assim sua capacidade resistiva.

Segundo BAUER (2008), as causas fundamentais são duas:

Reações com o hidróxido de cálcio, advindo da hidratação dos componentes do cimento;

Reações do íon sulfato, entre o sulfato e a aluminato presente no interior do concreto, promovendo reações expansivas que deterioram o concreto.

Os vazios de concretagem, denominados 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 ataques químicos. Esta falha pode ser causada na fase de controle tecnológico do concreto, na etapa de projeto ou pelo adensamento incorreto durante a concretagem.

Figura 7 – Concreto desagregado.



Fonte: cimentoitambe.com.br, 2009

2.4 Inspeção em pontes de concreto armado

A necessidade de acompanhar o desempenho das estruturas trouxe a luz uma nova ferramenta de verificação da qualidade, utilizando-se de documentos normativos as práticas de inspeção estabelecem métodos padronizados, de acordo com SIMÕES, RODRIGUES e PINHEIRO (2021).

A ABNT através da NBR 9452 (2019), apresenta a principal referência em inspeções em Obras de Artes Especiais, em seu escopo encontram-se os procedimentos que objetivam avaliar o estado de conservação das mesmas. A norma apresenta conceitos pertinentes as inspeções e direciona quanto a coleta de dados e o seu devido registro, dessa forma, instruindo inspetores e gestores que a utilizem como base.

A NBR 9452 (2019), apresentam os modelos de inspeções citados abaixo, são eles: Inspeção cadastral; Inspeção extraordinária; Inspeção intermediária; Inspeções rotineiras; e a Inspeção especial.

De acordo com SIMÕES et al (2021), procedimentos investidos na norma DNIT 010/2004 são baseados nos procedimentos apresentados na NBR 9452:1986. A norma DNIT apresenta em anexo, as fichas de inspeção para o seu devido preenchimento, observando sua especificidade de acordo com o tipo de inspeção.

2.4.1 Inspeção cadastral

De acordo com a ABNT (2019), coloca especificamente que a inspeção cadastral é realizada quando não há registro de inspeção anterior, preferencialmente ou obrigatoriamente, após sua construção.

Deverá ainda apresentar farto registro de fiscalização e supervisão, contendo elementos de projeto, assim como avaliação da resistência encontrada a partir dos ensaios de prova do produto final.

A norma DNIT 010/2004, afirma que os resultados encontrados devem ser registrados em fichas específicas, em formato padrão, e sua inclusão no Sistema de Gerenciamento de Obras, exposta no anexo A da norma.

2.4.2 Inspeção rotineiras

De caráter periódico, realizadas comumente a cada dois anos, deve ser verificada através de inspeção visual, o surgimento, desenvolvimento e resolução de falhas, deverá registrar novos avarias, desgastes e quaisquer ocorrências, podendo ser qualquer modificação de projeto, durante o período. São importantes pontos da metodologia, registrar os defeitos visualizados nas estruturas; avaliar alinhamento, prumo e deformações.

A Inspeção Rotineira deverá ainda registrar em fichas específicas, padronizadas, com o devido registro no Sistema de Gerenciamento de Obras; essas fichas constam do Anexo B da mesma norma, assim como aqui neste trabalho.

Assim como, quando observados defeitos que possam afetar o desempenho da obra, defeitos críticos ou graves, deverá ser solicitada uma Inspeção Especial.

2.4.3 Inspeção especial

Apresenta-se como detalhamento da observação visual pormenorizada, com seu intervalo de tempo não superior a cinco anos e deve apresentar um inspetor

sênior, quando necessário utilizar-se de ferramentas adequadas para vistoria, exemplo comum são gondolas, andaimes, lunetas entre outras.

Além das convencionais observações, podem ser necessárias a verificação de deformações e flechas excessivas.

Deverão ser solicitadas quando:

- I) Inspeção cadastral ou rotineira apresentar defeitos graves ou críticos a estrutura da obra.
- II) Em obras de extrema complexidade e por seu vulto, em intervalos regulares menores que cinco anos, ou em substituição as inspeções rotineiras.
- III) Em casos de tráfego de cargas excepcionais.

Ao final do processo, deverá apresentar a descrição detalhada dos motivos os quais determinaram a necessidade da Inspeção Especial, como também as providências dela decorrentes e um registro fotográfico pertinente deverão constar de um relatório específico, não padronizado, observando os parâmetros da Ficha de Inspeção Rotineira.

2.4.4 Inspeção extraordinária

Esta inspeção tem caráter não programado, excepcionalmente solicitada quando há dano a estrutura, independe das suas causas, confirma o DNIT em sua norma. Quando o dano oferecer risco de colapso, deveram ser observadas os limites de tráfego até que seja realizado os devidos reparos.

Deverá o inspetor fazer uma descrição detalhada da ocorrência que foi determinante à Inspeção Extraordinária, assim com as providências investidas e um registro fotográfico pertinente que deverão constar de um relatório específico, não padronizado.

2.4.5 Inspeção intermediária

Inspeção comumente utilizada para monitorar um defeito suspeito ou já detectado, como um recalque de fundação, ou erosão incipiente, um encontro sem

seu devido calço, o estado de um determinado elemento estrutural etc. Ainda sobre a norma DNIT 010/2004.

Carecerá a descrição detalhada da deficiência suspeita ou já detectada e de sua eventual evolução, assim como as providências adotadas deverão constar de um relatório específico, onde se apresentem dados a recomendar a sua continuação ou suspensão das Inspeções.

2.5 Ensaios não destrutivos em pontes de concreto armado

2.5.1 Fenolftaleína

O ensaio da profundidade de carbonatação seguiu a metodologia e as especificações do ensaio E391/2019 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), onde foi usado um borrifador e a solução alcoólica de fenolftaleína, este último mostrado pela imagem 7 e um pincel de hastes macias.

Figura 8 - Solução de fenolftaleína



Fonte: SILVA, 2019.

O ensaio seguiu os procedimentos do LNEC (2019) onde foi analisado pontos divididos em duas categorias.

- I. Gravidade I (críticos): pontos que visualmente apresentavam desgaste, armaduras expostas, desagregação, furos ou aberturas em até 1 centímetro de profundidade.
- II. Gravidade II (graves): pontos que não apresentam visualmente desgaste abrasivo, porém apresentam aberturas em estruturas de alta importância estrutural como pilares, vigas e lajes.

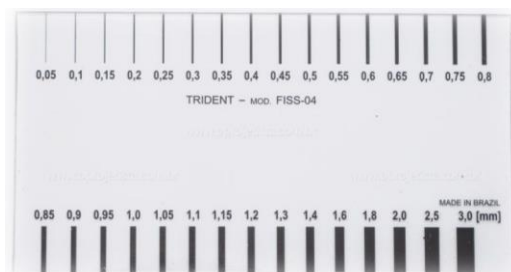
A análise se dá pela observação da reação da solução de fenolftaleína na área de aplicação do concreto, a área correspondente a coloração rosa, equivale a área não afetada pela carbonatação, de outro modo, caso a área não apresente coloração roseada esta é classificada como atingida por ação da carbonatação.

Previamente, faz-se a limpeza das aberturas com o pincel com haste macia para retirar as impurezas existentes, logo após foi feita a aplicação da solução da fenolftaleína e a verificação visual da reação química.

2.5.2 Ensaio das aberturas

Utilizando-se do manual de inspeção de pontes do DNIT 709-IPR (2004), um dos procedimentos de vistoria é o ensaio das aberturas, para a verificação da existência e do grau de aberturas nos elementos estruturais com o instrumento fissurômetro mostrado na imagem 9.

Figura 9 - Fissurômetro



Fonte: SILVA, 2019.

O fissurômetro é utilizado para verificar dados e pressupor as aberturas do concreto, aferindo seu grau de degradação. A caracterização das fissuras seguiu o tabela 6, já mencionada no texto.

O ensaio de aberturas seguiu os procedimentos da norma NBR 15575 /2013, classificação das aberturas com a tabela 6. Foi feita as análises em 6 pilares, no passeio e no tabuleiro da ponte.

A definição dos pontos seguiu o grau de importância, visto no manual de inspeção de pontes do DNIT (2004), de acordo com a seguinte relação:

- Elementos principais: estruturas que resiste aos esforços e transmissão de cargas como pilares e vigas.
- Elementos secundários: estruturas de contraventamento ou estruturas de distribuição de cargas como lajes.
- Estrado: estruturas situadas no prolongamento físico da rodovia como passeio, guarda corpo, juntas de dilatação, sistemas de drenagem, etc.

2.6 Metodologia da ferramenta de grau de deterioração gde/unb

2.6.1 Origem da metodologia

VERLY (2015), discorre que a Prefeitura Municipal de Porto Alegre e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, com participação de KLEIN et al. (1991) realizaram um convênio para inspecionarem onze Obras de Artes Especiais - OAE's situadas na região metropolitana de Porto Alegre no Rio Grande do Sul. Visando evidenciar as manifestações existentes componentes estruturais, cria um procedimento de inspeção afim de classificar as estruturas em função da gravidade das patologias encontradas por meio da definição de um grau de risco.

Para KLEIN et al. (1991), um dos pontos relevantes é a facilidade com que os parâmetros adotados podem ser adaptados a outros tipos de estrutura, considerando ainda suas características particulares, permitindo sua aplicação.

CASTRO (1994) aborda a metodologia apresentada por KLEIN et al. (1991), para avaliações do Grau de Deterioração Estrutural desenvolvido Universidade de Brasília, afim de avaliar quantitativamente estruturas de concreto, ele a aplicou em dois empreendimentos com ocupações diferentes. Os resultados se mostraram consistentes após várias etapas de ajustes da formulação.

CASTRO (1994) assegura sobre a necessidade de se aplicar essa metodologia um número maior para que se faça o melhor ajuste da formulação e dos parâmetros utilizados. Logo depois a metodologia foi ajustada por LOPES (1998), em edificações comerciais do Banco do Brasil, por BOLDO (2002), em quarenta edificações Exército Brasileiro dos mais diversos usos, FONSECA (2007) deu continuidade ao estudo no Instituto Central de Ciências da UnB - ICC, aplicadas a estruturas de concreto. Posteriormente EUQUERES (2011), aplicou essa metodologia em onze pontes de concreto armado no estado de Goiás.

Durante o desenvolvimento do seu trabalho, CASTRO (1994) elaborou um documento de auxílio à inspeção conceituando os danos de maior incidência e critérios para atribuição dos valores de Fatores de intensidade do dano também chamado de Fi. Denominado Caderno de Inspeção, foi utilizado por LOPES (1998) e apreciado por BOLDO (2002), que nominou por Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto. FONSECA (2007) apresenta uma nova versão do roteiro, incluindo a este, alterações na formula da metodologia, especificamente nas fórmulas de cálculo do Grau de deterioração de uma família - Gdf, do Grau do Dano - D, e nos danos mais frequentes.

EUQUERES (2011) se utilizou de um documento de referência para acompanhar às inspeções das pontes. Elaborado com base no roteiro apresentado por FONSECA (2007) e logo após denominado Roteiro de Inspeção para Estruturas e Pontes de Concreto Armado.

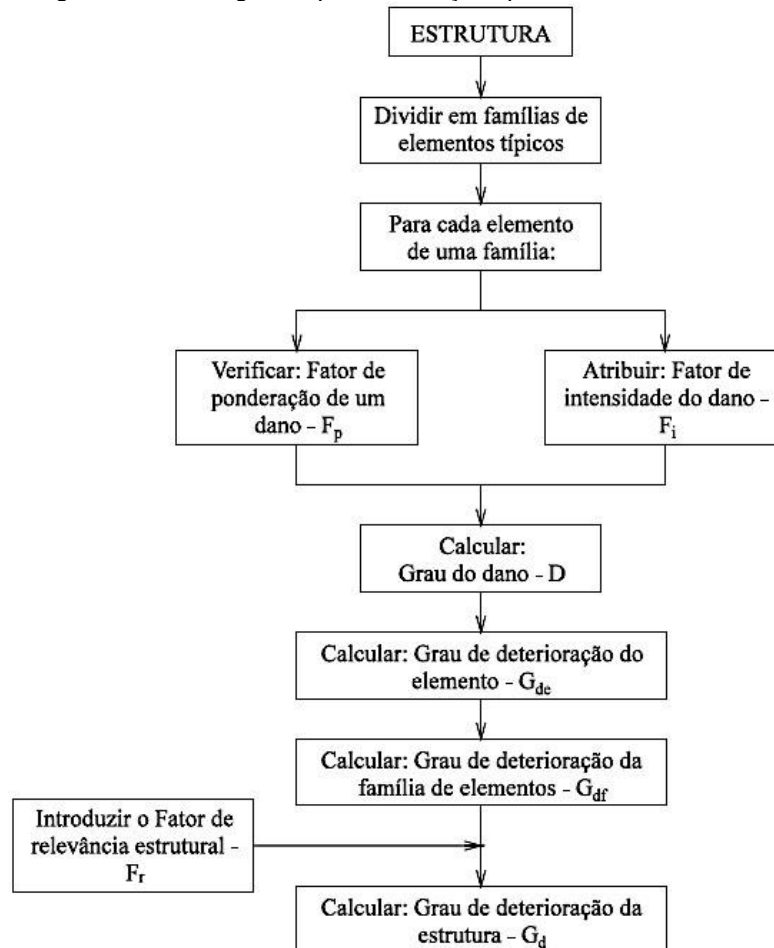
2.6.2 Formulação propostas por fonseca (2007)

Os estudos de FONSECA (2007), sobre a ferramenta GDE/UnB foram utilizados na avaliação das estruturas de edificações, ele propôs alterações na formulação para o cálculo do Grau de deterioração de uma família - Gdf e do Grau do Dano – D.

Composta por etapas distintas entre visita de campo e escritório, as etapas de campo limitam-se à verificação e atribuição dos valores para os Fatores de intensidade do dano - Fi e para os Fatores de ponderação de um dano - Fp apresentados abaixo no fluxograma. Dispondo dos projetos originais, memórias de cálculo e arquivos de

inspeções anteriores, a divisão dos elementos em famílias de elementos estruturais típicos poderá ser feita ainda em uma avaliação no escritório.

Figura 10 - Fluxograma para avaliação quantitativa.



Fonte: VERLY, (2015), adaptado de CASTRO, (1994).

2.6.2.1 Divisão em famílias de elementos típicos

VERLY (2015), afirma que nessa etapa os elementos são agrupados de acordo com suas características estruturais peculiares e com a sua função estrutural no conjunto. Elementos pertencentes a uma família são tratados na presente metodologia de forma igualitária, portanto essa divisão não é fixa e deve ser avaliada sempre que a metodologia for aplicada. Ele explica que isso acontece porque elementos estruturais de mesma denominação terem importância estrutural distintas em diferentes sistemas.

FONSECA (2007) utilizou-se da metodologia com as famílias divididas conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Fator de relevância estrutural (F_r).

Elemento	F_r
Elementos de composição arquitetônica	1,0
Reservatório superior	2,0
Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de dilatação	3,0
Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários	4,0
Vigas e pilares principais	5,0

Fonte: VERLY (2015).

2.6.2.2 Fator de ponderação do dano (F_p)

Para CASTRO (1994), o F_p objetiva quantificar a importância que um determinado dano ao se referir quanto às condições gerais de segurança, estética e funcionalidade dos elementos de uma dada família. Permitindo que uma mesma manifestação patológica tenha fatores de ponderação distintos em famílias diferentes. CASTRO (1994), atribuiu valores de F_p para o deslocamento em reservatórios ($F_p = 5$) e em lajes ($F_p = 3$). Esses valores podem variar de 1 a 5.

Desde a sua primeira versão, proposta por CASTRO (1994), a metodologia GDE/UnB utiliza formulários que devem ser preenchidos durante a inspeção da estrutura, conforme a Tabela 8.

Tabela 8: Modelo de ficha de inspeção de pilares.

Nome do elemento →				
Tipo de elemento →	Pilares			
Local →	G			
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Danos por impacto	5			
Desagregação	3			
Deslocamento	3			
Desvio de geometria	4			

Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade na base	3			

Fonte: VERLY (2015), adaptado de EUQUERES (2011).

Nesse tipo de ficha, os valores de Fp são preenchidos antes da inspeção, sendo que a única exceção se faz ao caso das fissuras, em que o valor de Fp é definido no momento da inspeção de acordo com as Tabelas C.1 e C.2 do Anexo C.

2.6.2.3 Fator de intensidade do dano (Fi)

VERLY (2015), afirma que o fator de intensidade do dano - Fi não considera o elemento estrutural no qual dano se localiza e que ele pode variar de zero a quatro de acordo com a verificação, objetivando quantificar a gravidade e a evolução isolada do dano no elemento observado.

CASTRO (1994) expõe que esse tipo de avaliação pode resultar em uma observação muito subjetiva caso dependa exclusivamente do responsável pela inspeção, afirma ainda que faz-se necessária uma classificação mais detalhada para identificar o nível de gravidade e sua evolução.

Dadas as constatações feitas por meio de uma simples observação visual, desde testes simples, ou com a medição da profundidade de carbonatação, até mesmo a análise do ambiente onde o dano se encontra e comparação de valores de deformação medidos com os valores limites recomendados por normas. A Tabela 9 apresenta exemplos de manifestações e recomendações de valores para Fi em função das características observadas, de acordo com VERLY (2015).

Tabela 9: Fatores de intensidade do dano (F_i).

Tipos de danos	F_i recomendado
Corrosão de armaduras	2 – Manifestações leves, pequenas manchas;
	3 – Grandes manchas e/ou fissuras de corrosão;
	4 – Corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção ($> 20\%$ do diâmetro).
Eflorescência	1 – início de manifestações;
	2 – manchas de pequenas dimensões;
	3 – manchas acentuadas, em grandes extensões;
	4 – grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).

Fonte: VERLY (2015), adaptado de EUQUERES (2011)

Ele afirma ainda que, os valores de F_i crescem com a gravidade do estado em que o dano se encontra. A exemplo distintos, as eflorescências são danos comumente encontrados em OAE's, quando formado apenas por manchas de pequenas dimensões, de acordo com a Tabela 9, deverá ser atribuído o valor de F_i igual a 2. No caso avançado de deterioração, composta por grandes formações de carbonato de cálcio, indicando que algum material foi transportado do interior da peça de concreto, assim será atribuído a esse dano o valor de F_i igual a 4.

O Roteiro de inspeção de pontes de concreto armado e protendido apresenta um resumo de imagens exemplificando danos em diferentes estados de deterioração com os respectivos valores de F_i recomendados.

2.6.2.4 Grau do dano (D)

VERLY (2015) discorre, que o modelo de Tuutti foi criado e aplicado para descrever o mecanismo de corrosão em armaduras de reforço do concreto, mas constatou-se que ele pode ser aplicado amplamente, afim de descrever qualquer tipo de deterioração. Fornece ainda uma possível descrição geral de como o processo de deterioração pode se desenvolver no interior de uma estrutura de concreto, e define (TUUTTI, 1982; CEB-FIB, 2002):

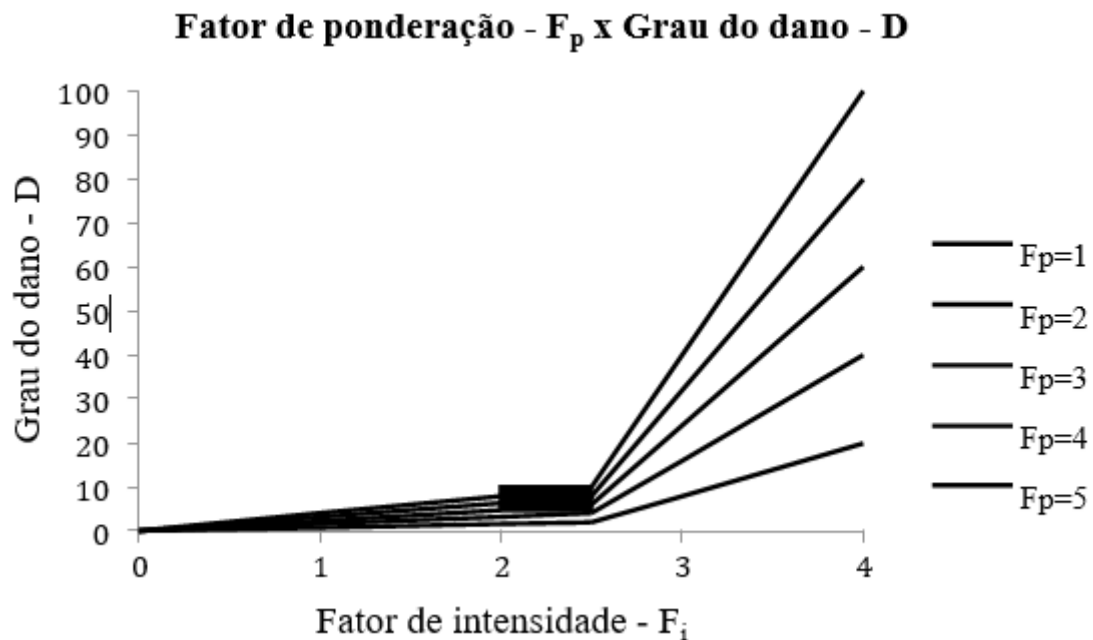
- Período de iniciação: é o período de tempo em que não há nenhum dano aparente, por mais que o processo de deterioração esteja ativo;
- Período de propagação: é o período em que os danos estão presentes e se

propagando no corpo estrutural; e

- Vida útil: é o período no qual a estrutura atende os requisitos técnicos especificados.

CASTRO em (1994), apresenta a formulação do cálculo de D, relacionado com o modelo proposto por TUUTI (1982), levando em consideração que a deterioração ocorreria em duas fases distintas: iniciação e propagação. Contudo, em vez do tempo, CASTRO (1994) utilizou-se do valor do fator de intensidade do dano – F_i como variável para definição do grau do dano da estrutura. Na imagem 11 são mostradas cinco curvas para diferentes fatores de ponderação do dano - F_p , onde o grau do dano - D é uma função do F_p ($1 \leq F_p \leq 5$), inerente a cada dano e pré-estabelecido para a família8, e do F_i , atribuído pelo profissional responsável pela inspeção ($0 \leq F_i \leq 4$). Nessas curvas pode-se observar um ponto de inflexão, que divide os períodos de iniciação e de propagação.

Figura 11: Grau de dano D x Fator de intensidade F_i para FP.



Fonte: VERLY (2015).

O valor de D pode ser calculado pela Equação 1 ou pela Equação 2

$$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p \quad \text{Para } F_i \leq 2,0 \quad \text{Equação 1}$$

$$D = (12 \cdot F_i - 28)F_p \quad \text{Para } F_i \geq 3,0 \quad \text{Equação 2}$$

2.6.2.5 Grau de deterioração do elemento (Gde)

Após aferição dos graus isolados de cada dano (D) deve ser feita uma análise dos efeitos e todos os danos no elemento por meio da Equação 3. Essa equação, proposta por LOPES (1998), preserva a filosofia da metodologia, levando ao cálculo os efeitos do maior dano adicionados aos demais efeitos.

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{(i)} - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D_{(i)}} \right] \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Gde: Grau de deterioração de um elemento estrutural;

Dmáx: Maior grau de dano no elemento;

m: Número de danos detectados no elemento; e

D(i): O grau de dano de ordem (i).

VERLY (2015), acrescenta que além do valor de Gde, são apresentados os cinco níveis de deterioração do elemento e suas respectivas recomendações de ações a serem adotadas. De acordo com o aumento do valor do Gde, as ações recomendadas tornam-se mais rigorosas chegando à inspeção especial emergencial com intervenção imediata.

A tabela 10 apresenta as classificações de acordo com o resulta do cálculo do Grau de Deterioração de um elemento estrutural.

Tabela 10 - Classificação do nível de deterioração de um determinado elemento

Nível de deterioração	G _{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: FONSECA (2007).

2.6.2.6 Grau de deterioração de uma família de elementos (Gdf)

O cálculo do Gdf tem como princípio avaliar o conjunto de elementos que pertence a uma mesma família. Utilizando-se dos valores de cálculo do Gde obtidos para cada elemento pertencente à família em estudo, de acordo com VERLY (2015)

$$G_{df} = G_{demax} \left[\sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{demax}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}}} \right]$$

Equação 4

Onde:

G_{df}: Grau de deterioração de uma família de elementos;

G_{demax}: Grau de deterioração máxima do elemento;

G_{de(i)}: Grau de deterioração do elemento de ordem (i);

São considerados apenas os valores de Gde iguais ou superiores a 15. Ele verificou a necessidade de consideração de um valor mínimo para o Gde no desenvolvimento da metodologia por CASTRO (1994). Com a intenção de caracterizar os danos expressivos, CASTRO (1994) simulou o cálculo sob a ocorrência simultânea de todos os danos possíveis em uma determinada família, atribuindo assim o valor de Fi igual a 2,5 para todos os danos. Esse processo foi repetido para todas as famílias, obtendo-se uma avaliação generalizada chegando a valores de Gde próximos a 15, então a recomendação de utilização apenas de valores iguais ou superiores a 15.

2.6.2.7 Fator de relevância estrutural da família (Fr)

FONSECA (2007) utilizou-se do Fator de Relevância Estrutural (Fr) para as famílias em conjunto, e do mesmo modo o “fator de relevância estrutural da família de elementos”, de acordo com MOREIRA (2007), tem por objetivo, considerar a importância relativa das diversas famílias que subdividem a estrutura, quanto ao comportamento e desempenho da mesma”, alguns exemplos foram citados na tabela 7.

2.6.2.8 Grau de deterioração da estrutura (Gd)

O cálculo do Grau de deterioração da estrutura é definido em função dos valores de Gdf obtidos para cada família da estrutura, ponderados pelos respectivos fatores de relevância estrutural (Fr), conforme apresenta VERLY (2015).

$$Gd = \frac{K_{máx}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^n K_i) - K_{máx}}{\sum_{i=1}^n K}}$$

Equação 5

Onde:

Gd: Grau de deterioração global da estrutura;

K: Número de famílias de elementos presentes na edificação;

Fr: Fatores de Relevância Estrutural; e

Gdf: Grau de deterioração de uma família de elementos.

A equação apresentada. se trata de uma média ponderada dos valores de Gdf em função dos respectivos valores de Fr.

Com o valor de Gd definido, assim como feitos os cálculos para cada elemento (Tabela 10), a estrutura poderá ser classificada numa escala com a indicação do nível de deterioração e a recomendação de ações a serem adotadas, conforme a Tabela 11, de acordo com FONSECA (2007).

Tabela 11 - Classificação do nível de deterioração da estrutura pela metodologia.

Nível de deterioração	<u>G_d</u>	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: FONSECA (2007)

2.6.3 Aplicação da metodologia GDE/UnB por euqueres (2011)

VERLY (2015), afirma ainda que essa ferramenta foi aplicada em edifícios por CASTRO (1994), logo depois usada por LOPES (1998), BOLDO (2002) e FONSECA (2007), posteriormente a metodologia GDE/UnB foi utilizada por EUQUERES (2011), que se utilizou da mesma formulação proposta por FONSECA (2007), mas realizou as adequações necessárias quanto a divisão dos elementos das OAE's em famílias.

EUQUERES (2011) propôs uma divisão dos elementos estruturais de OAE's em famílias, com o objetivo de aplicar a metodologia em OAE's, conforme a Tabela 12 apresentada abaixo.

Tabela 12 – Divisão de elementos x fator de relevância (Fr).

Elemento	Fr
Barreira de defensas e/ou Guarda-rodas	1,0
Pista de rolagem	2,0
Cortinas, juntas de dilatação	3,0
Lajes, fundações, aparelhos de apoio, vigas secundárias	4,0
Vigas principais e pilares	5,0

Fonte: EUQUERES (2011)

A metodologia apresentada por FONSECA em (2007), sofreu uma revisão, onde foram adicionadas fotos para auxílio nas inspeções, com essas alterações passou a se chamar *Roteiro de inspeção para estruturas de pontes de concreto armado*.

VERLY (2015), afirma que uma alteração relevante dentro da metodologia foi feita nos prazos sugeridos para intervenções em função do nível de deterioração do elemento e da estrutura (Tabela 10 e Tabela 11), adotando como o “longo prazo” definido como 2 anos, o “médio prazo” como 18 meses e o “curto prazo” como 1 ano (Tabela 13 e da Tabela 14).

Tabela 13 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor G_{de}.

Nível de deterioração	G _{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	16 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	51 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 18 meses).
Sofrível	81 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 1 ano).
Crítico	> 101	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: EUQUERES (2011).

Tabela 14 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor G_d.

Nível de deterioração	G _d	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	16 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	51 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 18 meses).
Sofrível	81 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 1 ano).
Crítico	> 101	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: EUQUERES (2011).

EUQUERES (2011) utilizou a metodologia a 11 OAE's no estado de Goiás, como estudo inicial, que avaliou as alterações feitas na metodologia. No estudo realizado por ele, apenas um dos elementos apresentou valor de Gde superior a 15, de forma que o grau de deterioração da estrutura fosse comandado apenas por um dos elementos da OAE.

EUQUERES (2011) considerou todos os valores de Gde maiores que zero, fazendo com que todos os elementos da estrutura contribuíssem na avaliação global da OAE.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Caracterização do estudo de caso

O trabalho apresentado, é uma pesquisa direcionada a avaliação estrutural, observando as condições de preservação e uso apresentados pelo objeto, observando os procedimentos técnicos. Através da apreciação das manifestações patológicas utilizando-se da pesquisa descritiva-exploratória. Essa linha de pesquisa objetiva apresentar a problemática, suas possíveis causas e fatores de influência, justificando a pesquisa bibliográfica realizada com a ajuda de fontes diretas e indiretas, de trabalhos acadêmicos, entre eles artigos, monografias e teses.

3.2 Escolha do objeto de estudo

De acordo com as obras presentes no acervo próprio do Campus Sertão, a ponte sobre o Rio Pedra fora escolhida por outros autores para avaliação como podemos constatar em CARNAÚBA (2017), RAMALHO (2017), SILVA (2019), tendo em vista que a ponte possui o trajeto digno ao município de Delmiro Gouveia e região, foi tomada como objeto principal deste estudo.

O objeto de estudo escolhido localiza-se na Avenida Caxangá conectando os bairros Pedra Velha e Centro, compondo também a parte da AL 220 conforme a imagem 12. Trajeto importante para o município de Delmiro Gouveia, considerando que essa rota dá acesso a estados e cidades vizinhas como Pernambuco, Sergipe e Bahia.

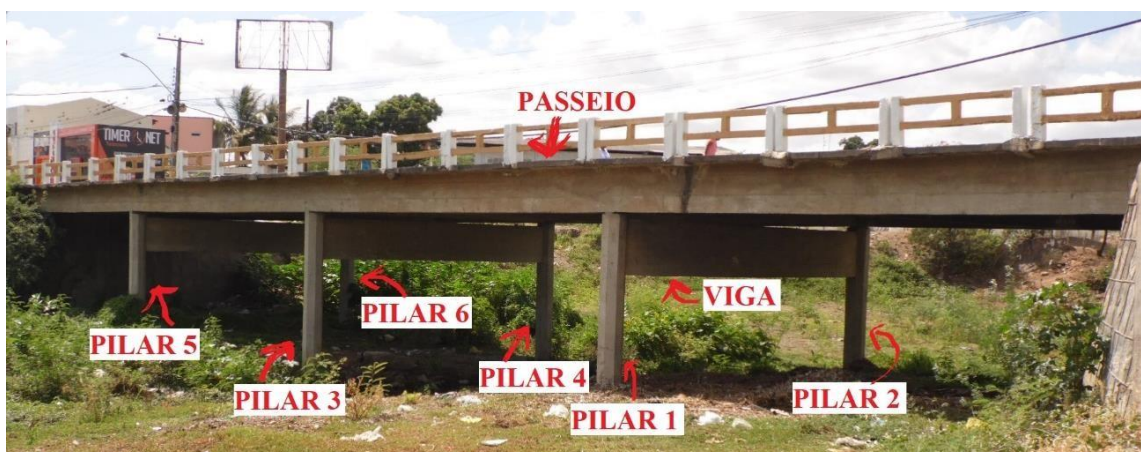
Figura 12 - Localização da ponte sobre o rio Pedra.



Fonte: Google, 2019.

Dados da prefeitura local mostra que a ponte em estudada tem 4,20 metros de altura a partir da superfície mais profunda do nível do rio, possui cerca de 16,5 metros de comprimento e 9,00 metros de largura. No estudo da ponte foi analisado cada elemento estrutural de forma individual, sendo definidos de acordo com a Imagem 13.

Figura 13 - Divisão estrutural das análises.



Fonte: SILVA, 2019.

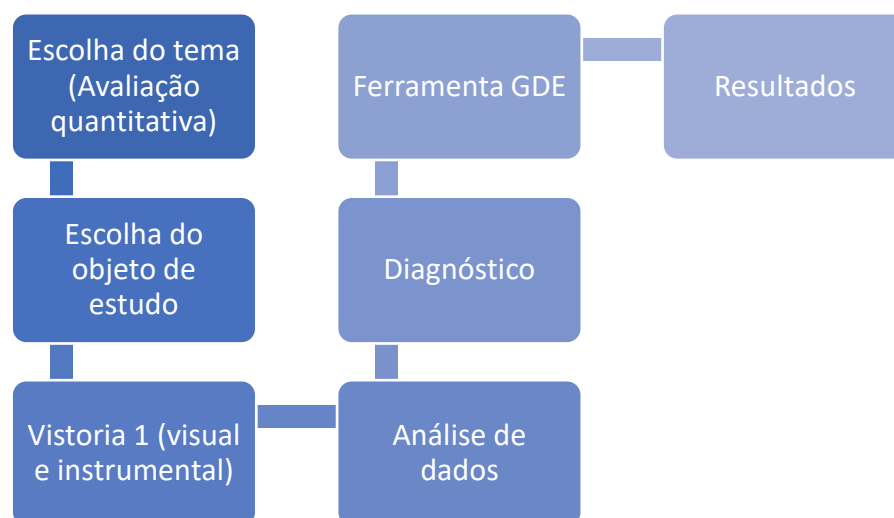
3.3 Método de pesquisa

O método utilizado para a pesquisa é o estudo de caso, visto que o foco do estudo é verificar quais são as manifestações patológicas encontradas por meio inspeção visual detalhada, o uso de equipamentos de acesso especiais do tipo Esclerometria de Reflexão, Ensaio de Carbonatação e Fissurômetro, e uso de ferramenta GDE, a fim de contribuir para uma melhor avaliação.

A caracterização e avaliação das manifestações patológicas nas pontes foi fundamentado no Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB à OAE's, a fim de observar ocorrências patológicas em vistorias, podendo ser visual e instrumental como apresentado.

Para a realização deste trabalho, são apresentadas abaixo:

Figura 14 – Detalhamento da pesquisa.



Fonte: AUTOR, 2022.

3.4 Etapas metodológicas

A pesquisa apresentada neste trabalho tem finalidade básica aplicada a avaliação estrutural da Ponte sobre o rio Pedra com uma abordagem quali-quantitativa para ponte em concreto armado.

No capítulo 1, são apresentados os objetivos gerais e específicos, que são descrever e explorar as condições atuais da estrutura objeto de estudo.

No capítulo 2, apresentam-se uma breve revisão bibliográfica, afim de documentar e levantar qualitativamente os processos a serem desenvolvidos.

No capítulo 3, apresentam-se a finalidade, abordagem e os procedimentos realizados durante a pesquisa.

No capítulo 4, apresentam-se os dados obtidos durante a aplicação das ferramentas, apresentados de forma quantitativa.

No capítulo 5, apresentam-se através do método dedutivo, serão expostas as principais considerações a cerca da pesquisa e do objeto.

No capítulo 6, apresentamos as referências utilizadas como procedimento bibliográfico que fundamentou esta pesquisa.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

O trabalho seguiu inicialmente com a visita ao objeto afim de visualizar e obter informações mais precisas sobre a estrutura, tendo em vista que as instituições municipais não disponibilizam dos projetos originais de execução.

Foram realizadas duas inspeções, no dia 21/04 e 06/05 de 2022, apoiado com o Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OAE's, fissurômetro, solução de fenolfiltaleína à 1%, trena de trinta metros, escova de cerdas plásticas, câmera digital de 12 Mp, prancheta de A4 entre outros, lápis grafite.

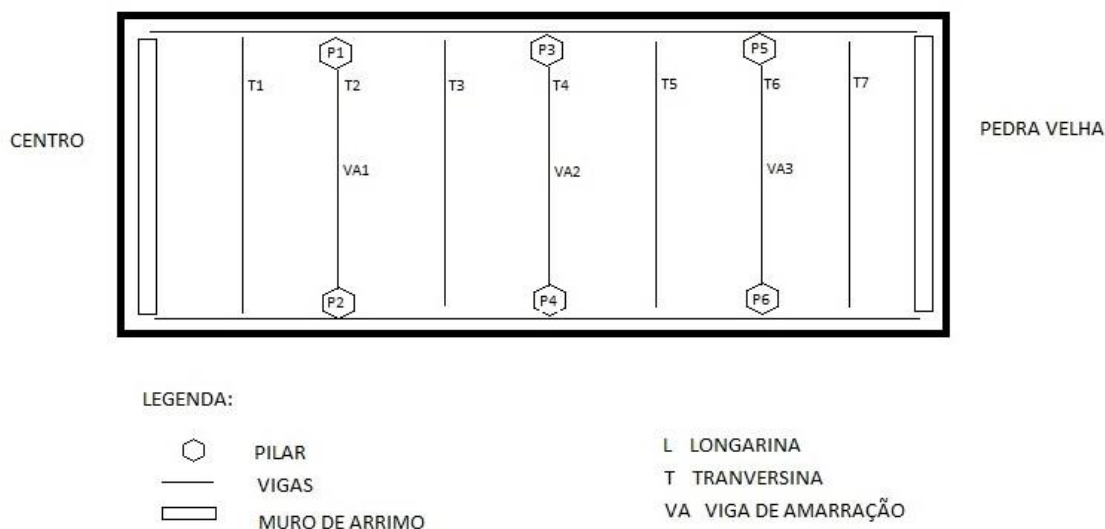
Figura 15 – Divisão do sistema estrutural.



Fonte: AUTOR, 2022.

Observou-se a estrutura composta por laje, duas longarinas, duas transversinas a cada vão entre pilares, cintas de travamento (travessa) e muro de arrimo que compreendem a contenção e estrutura de apoio no encontro com o terreno.

Figura 16 – Croqui do sistema estrutural.



Fonte: AUTOR, 2022.

4.1 Dados básicos da obra em estudo:

Ponte sobre o rio Pedra;

Código Tipo de Estrutura: 1 Viga de Concreto Armado;

Código Natureza Transposição: 1 Ponte;

Código Sistema Construtivo: 1 Moldado no local;

Administração: Departamento de Estradas e Rodagem;

Residência: Delmiro Gouveia-AL;

Rodovia: AL – 220;

Região: Plana;

Traçado: Tangente;

Travessia: Ortogonal;

Largura total da pista: 7 metros;

Número de faixas: 2 vias;

Acostamento: Não possui;

Aparelhos de apoio inacessíveis;

Número de vãos: 4 vãos;

Histórico de manutenção: ruim;

Características da estrutura em concreto armado:

Laje, duas vigas principais em T, duas colunas com travessas, fundação inacessível.

Meio ambiente: agressivo;

Pavimento asfáltico com passeio e guarda rodas.

4.2 Situação da OAE

Apresentam-se abaixo algumas imagens afim de ilustrar os principais danos encontrados durante as inspeções realizadas na ponte em estudo, dividindo sua análise em infra, meso e superestrutura, não sendo possível a inspeção em sua fundação, assim como também não se obteve resposta com o projeto estrutural original, seguimos para observação através do relatório fotográfico. Observa-se então sua mesoestrutura, através das imagens 17, 18, 19, e 20, armações expostas nos pilares, carbonatadas, e fissuras em quase todos os pilares.

Figura 17 – Pilar c/ deslocamento.



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 18 – Pilar carbonatado.



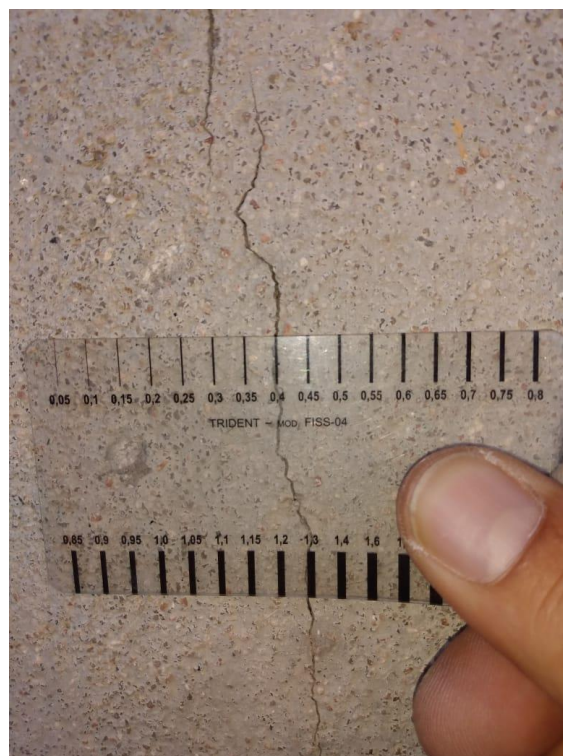
Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 19 – Pilar hexagonal (fenolfeiltaleína)



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 20 – Verificação a fissura.



Fonte: AUTOR, 2022.

Já em sua superestrutura, verificam-se patologias com maior intensidade nas figuras 21, 22, 23 e 24, são elas manchas devido a umidade, manchas de lixiviação, carregamento de matérias por toda estrutura, além de manchas de tons claros aparentemente causadas por eflorescência, fissuração por todo guarda corpo, sinais de esmagamento do concreto no passeio, entre outras.

Figura 21 – Guarda-corpo c/ armadura exposta.



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 22 – Passeio esmagado.



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 23 – Guarda-corpo fissurado.



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 24 –Laje L1, armadura exposta.



Fonte: AUTOR, 2022.

Observa-se também fissuras nas cintas de travamento, ou travessas entre os pilares. Contudo, não foi possível mensurar seu tamanho, por localizar-se em área não acessível para inspeção, aparelhos de apoio apresentam-se cobertos por concreto e sem acesso para observação, o muro de arrimo em concreto ciclópico é utilizado como apoio da superestrutura não somente, mas também é a contenção do terreno, esse sistema foi amplamente utilizada no passado, por sua fácil execução, apresentam patologias simples como manchas de eflorescência e umidade.

Figura 25 – Laje L1, cobrimento deficiente, eflorescência, manchas.



Fonte: AUTOR, 2022.

4.3 Análise dos graus de deterioração dos elementos

Conforme descrito no item 2.6, para avaliação do grau de deterioração de cada elemento, utilizando-se da abordagem e metodologia GDE/UnB de acordo com a adaptação de EUQUERES (2011), e para o cálculo do grau de deterioração da estrutura assim como VERLY (2015) se utilizou, a qual classifica os elementos e sua estrutura, determinando sua deterioração e sua intervenção recomendada de acordo com a literatura.

Foram avaliados os elementos como as lajes, os pilares, as transversinas, longarinas, muro de arrimo e o guarda-corpo, deu-se o cálculo do Grau de um Dano (D), que é uma função que depende do fator de ponderação e do fator de intensidade. Os valores de Fp são apresentados nas fichas de inspeção, já os valores atribuídos e Fi (fator de intensidade) atribuídos a cada elemento, assim, com os valores de D (Grau do Dano), foram calculados e as imagens registradas em campo se encontram anexado ao Apêndice A.

Os dados apresentados abaixo, especifica o grau de deterioração dos elementos na ponte supracitada, e a partir desses valores também é possível verificar seus danos mais expressivos e os elementos que mais contribuíram para a avaliação global.

Tabela 15 – Grau de Deterioração dos Elementos pilares.

PILARES		
Elementos	Gde	Nível de deterioração
P1	69,01	Alto
P2	37,41	Médio
P3	36,39	Médio
P4	23,20	Médio
P5	33,00	Médio
P6	32,68	Médio

Fonte: AUTOR, 2022.

Tabela 16 – Grau de Deterioração dos Elementos transversinas.

TRANSVERSINAS		
Elementos	Gde	Nível de deterioração
T1	63,61	Alto
T2	8,45	Baixo
T3	55,00	Alto
T4	7,80	Baixo
T5	8,23	Baixo
T6	7,80	Baixo
T7	8,16	Baixo

Fonte: AUTOR, 2022.

Tabela 17 – Grau de Deterioração dos Elementos longarinas.

LONGARINAS		
Elementos	Gde	Nível de deterioração
Lg1	33,88	Médio
Lg2	32,00	Médio

Fonte: AUTOR, 2022.

Tabela 18 – Grau de Deterioração dos Elementos lajes.

LAJES		
Elementos	Gde	Nível de deterioração
L1	131,69	Crítico
L2	13,65	Baixo
L3	139,61	Crítico
L4	32,00	Médio

Fonte: AUTOR, 2022.

Tabela 19 – Grau de Deterioração dos Elementos guarda-corpo.

GUARDA-CORPO		
Elementos	Gde	Nível de deterioração
Gcd	51,69	Alto
Gce	47,38	Médio

Fonte: AUTOR, 2022.

Tabela 20 – Grau de Deterioração dos Elementos muro de arrimo.

MURO DE ARRIMO		
Elementos	Gde	Nível de deterioração
MuD	7,80	Baixo
MuE	7,80	Baixo

Fonte: AUTOR, 2022.

Percebe-se que entre os pilares, o elemento mais deteriorado é o pilar P1, que apresenta falhas na concretagem, exposição das armaduras e apresenta-se carbonatado, classificado com ALTO nível de deterioração pela tecnologia aplicada. Em se tratando das transversinas, T1 e T3 apresentam-se também com ALTO grau de deterioração, com indicação de intervenção à médio prazo (máximo 12 meses).

Considerando apenas as vigas ao longo do comprimento como Lg1 do lado esquerdo e Lg2 a longarina direita, com pequenos focos de deslocamento e manchas de infiltração, e eflorescência, são classificadas com MÉDIO nível de deterioração, com indicação de intervenção em longo prazo (máximo 24 meses).

Foram observadas as manifestações mais frequentes nas lajes L1 e L3, apresentando desagregação, corrosão e acentuada perda de aço, classificadas em estado CRÍTICO, em seu grau de deterioração respectivamente, pela ferramenta a indicação é de inspeção especializada imediata e medidas emergenciais.

O guarda-corpo da estrutura foi dividido em direito e esquerdo, apresentando os mesmos danos, chegaram a valores ALTO e MÉDIO, de deterioração, com indicação de intervenção à médio e longo prazo. Por fim, os muros de arrimo onde a estrutura é apoiada, assim como elemento de contenção do terreno, apresentam BAIXO nível de deterioração, indicando manutenção preventiva.

De acordo com o cálculo dos Graus das famílias, como EUQUERES (2011), propôs, todas as famílias são consideradas no cálculo da análise global da estrutura. Assim, encontrados valor Gd igual a:

Tabela 20 –GDE da estrutura de acordo c/ EUQUERES (2011) e VERLY (2015).

Famílias	Gdf	Fr	K
Pilares	90,04	5,00	450,18
Transversinas	79,91	3,00	239,74
Longarinas	41,30	5,00	206,50
Lajes	165,77	4,00	663,09
Guarda Corpo	62,85	1,00	62,85
Muro de arrimo	9,55	4,00	38,21
SOMA	449,42	22,00	1660,56
Grau de deterioração da estrutura	83,72		
(Gd)	Alto		

Fonte: AUTOR, 2022.

Dessa forma encontrou-se valores entre 80 – 100, classificando a estrutura com grau de deterioração SOFRÍVEL, com ações de recomendação, planejar intervenção em curto prazo (máximo 06 meses).

4.4 Incidência das manifestações

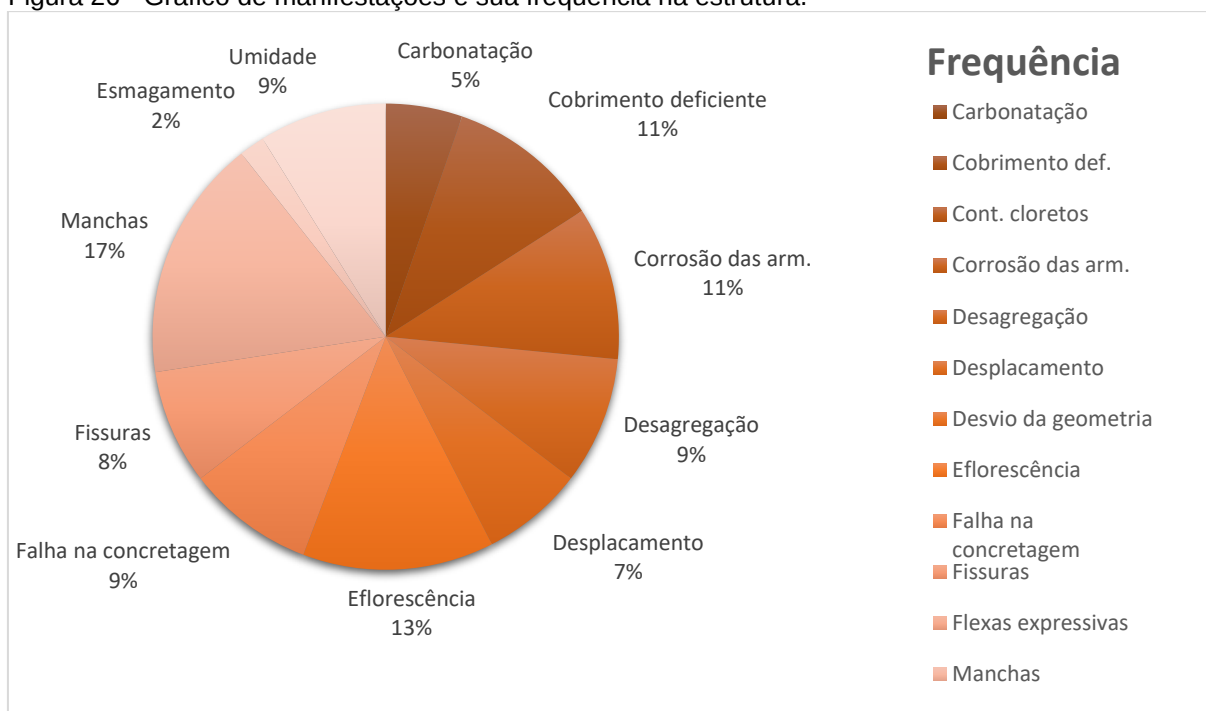
Verificou-se nas duas inspeções os danos mais frequentes na Ponte sobre o Rio Pedra, foram numeradas 113 manifestações patológicas, apresentadas na tabela 21. O gráfico da imagem 26 ilustra a incidência de cada tipo de manifestação patológica verificada.

Tabela 21 - Quadro de manifestações, incidência e frequência.

Manifestações	Incidência	Frequência
Carbonatação	6	5%
Cobrimento def.	12	11%
Cont. cloretos	0	0%
Corrosão das arm.	12	11%
Desagregação	10	9%
Desplacamento	8	7%
Desvio da geometria	0	0%
Eflorescência	15	13%
Falha na concretagem	10	9%
Fissuras	9	8%
Flexas expressivas	0	0%
Manchas	19	17%
Recalques	0	0%
Esmagamento	2	2%
Umidade	10	9%
TOTAL	113	100%

Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 26 - Gráfico de manifestações e sua frequência na estrutura.



Fonte: AUTOR, 2022.

Assim fica expressivamente conhecido que, apesar da alta frequência de patologias, a ponte sobre o Rio Pedra não sofre com desvio de geometria, nem flechas excessivas. Porém apresenta, eflorescência em 15% de toda a estrutura, corrosão em

9% dos seus elementos, umidade e manchas em 14% de sua estrutura, apenas 2% de sinais de esmagamento do concreto.

5 CONCLUSÃO

Diante da pesquisa realizada, dos dados coletados, o uso das ferramentas já descritas, conclui-se que:

- A proposta feita por Euqueres (2011), leva em consideração todos os danos no cálculo do grau de deterioração de uma família de elementos, resultando em mensuráveis resultados e recomendações de intervenção. Para a observação feita por Verly (2015) de que a consideração de todos os danos não diminui o grau de deterioração da estrutura, pelo contrário, amplia o valor final considerando as alterações na formulação.
- A ponte sobre o rio Pedra, encontra-se em estado ALTO de degradação, segundo a classificação determinada pela metodologia GDE/UnB, necessitando de inspeção especializada rigorosa e intervenção em 12 meses.
- A família das lajes se destacou, dentre todas as outras, como a de maior impacto no resultado final da metodologia. Esse resultado se deu pelo alto valor de deterioração obtido pelas lajes L1 e L3.
- Os danos mais incidentes na ponte sobre o rio Pedra foram as manifestações de manchas com 17%, 13% de eflorescência e com 11% cobrimento deficiente em toda estrutura.

Conclui-se dessa forma, que a metodologia GDE/UnB, para os fins dessa pesquisa, mostrou-se eficiente estudo dos graus de deterioração, obtendo resultados similares ao esperado pelo estado da ponte, assim pode ser considerada adequada para avaliação de pontes e outras estruturas de concreto armado. Relembramos assim como Castro (1994), a importância e a necessidade de ampla utilização para o melhor aperfeiçoamento da mesma.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Introduzir ensaio de esclerometria na avaliação da estrutura;
- Aplicação da metodologia GDE/UnB em todas as pontes na região de do município, criação de sistema de gestão de manutenção;
- Aplicação da metodologia GDE/UnB nas Instituições Público Municipais;
- Ampliar de acordo com a necessidade, os fatores de intensidade, ponderação do dano e de relevância estrutural, utilizados pela metodologia GDE/UnB, para os diversos sistemas estruturais;
- Aplicação da metodologia GDE/UnB em obras tombadas na região;
- Proposta de intervenções com dados sistematizados e cronologia de execução.

6 REFERÊNCIAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho. Procedimento. 2013, 32 p.
2. FONSECA, R. P. A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.
3. EUQUERES, P. Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2011. 168 p.
4. BOLDO, P. Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.
5. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: Carga móvel rodoviária e pedestres em pontes viadutos e em outras estruturas – Rio de Janeiro, 2013.
6. CASTRO, E. K. Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185 p.
7. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7584: Concreto Endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. 2ª ed. Procedimento. 2012, 14 p.
8. VERLY, R. C. Avaliação De Metodologias De Inspeção Como Instrumento De Priorização De Intervenções Em Obras De Arte Especiais, Dissertação Mestrado em Estruturas, Faculdade de Tecnologia Universidade de Brasília, 2015.
9. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto estrutural de Concreto- Procedimento NBR-6118 Rio de Janeiro, 2014.
10. ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: Abnt, 2014.
11. ANDRADE, A. K. B. Análise de manifestações patológicas em residências de um conjunto habitacional, MINHA CASA MINHA VIDA na cidade de Paulo Afonso-BA: Estudo de caso; Trabalho de Conclusão de Curso em engenharia civil Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia. p. 26. 2019.
12. BAUER, Falcão. Materiais de Construção. Rio de Janeiro: Ltc, 2008.
13. VASCONCELOS, Flávio de Oliveira. Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado – estudo de caso, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, Delmiro Gouveia 2018.

14. CÁNOVAS, Manuel Fernández. Patologia e Terapia do Concreto Armado. Pini - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulos. 1988.
15. CARNAUBA, K. S. Manifestações patológicas em pontes sobre a rodovia al-220, no trecho entre Delmiro Gouveia e Olho D'água do Casado-al, Estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas-Campus Sertão, Delmiro Goiuevia. 2017.
16. COSTA, V. M. Desempenho e Reabilitação de Pontes Rodovárias : Aplicação a Casos de Estudo. Dissertação (Mestrado), Universidade de Minho, Braga, 2009.
17. CUNHA, A. A. Estudo das patologias em obras de arte especiais do tipo pontes e viadutos estruturados em concreto. Trabalho de Conclusão de Curso pela Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 2011.
18. CURCIO, L. C. R. PONTES RODOVIÁRIAS: Levantamento das principais patologias estruturais.Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco – USF,Itatiba. 2008.
19. DNIT- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES 010 – PRO Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004.
20. HELENE, P. R. do L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2ª ed. São Paulo: Pini. 1992, 218 p.
21. HELENE, Paulo. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto. São Paulo: Red Reabilitar, 2008
22. LAPA, J. S. Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto. Dissertação (Especialização) da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2008.
23. LOBATO, Raul. Sistemas estruturais: Pontes em viga, treliça e em laje. Aula Sistemas Estruturais – Universidades do Estado Mato Grosso: Slide, 2016.
24. MARCHETTI, O. Pontes de concreto armado. São Paulo: Editora Blucher, 2008.
25. MOREIRA, C. Realcalinização de estruturas de concreto carbonatado com utilização de gel saturado de solução alcalina. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás- UFG ,Goiânia, 2013.
26. NOBREGA, N. P.; DELGADO, R. C. O. B. Patologias na construção civil – Análise das principais manifestações patológicas em residências do município de Paraú – RN. Dissertação (Bacharelado em Ciência e Tecnologia). UFERSA, Mossoró, 2019.
27. PFEIL, W. Pontes: curso prático. Rio de Janeiro: Campus, 1983.
28. RICHTER, C. Qualidade da Alvenaria Estrutural em Habitações de Baixa Renda : uma

- análise de confiabilidade e da conformidade. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
29. RIPPER, T.; SOUZA, V. C. M. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1ª Ed. São Paulo: Pini, 1998.
 30. ROCHA, Bruno dos Santos. Manifestações patológicas e avaliação de estruturas de concreto armado. 2015. 76 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
 31. SAMPAIO, M. B. Fissuras em edifícios residenciais em alvenaria estrutural. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 2010.
 32. SANTIAGO, L. R.; PORCINO, V. M. S.; FILHO, N. R. S. Patologias na alvenaria estrutural de blocos de concreto. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 09, Vol. 02, Setembro de 2018. ISSN:2448-0959.
 33. SIMÕES, L. F., RODRIGUES, P. F., PINHEIRO, D. C. C. Análise crítica do métodos de inspeção da ABNT NBR9452:2019. XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. PUC Minas Gerais, 2021.
 34. SARTORTI, A. L. Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP. Dissertação (mestrado) da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.
 35. SILVA, F. B. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. Revista Techne, 2010.
 36. SILVA, Rafael Alves. Análise das manifestações patológicas da ponte sobre o rio pedra no município de Delmiro Gouveia- AL: estudo de caso, Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, UFAL, 2019.
 37. SILVA, L. B. Patologias em alvenaria estrutural: Causas e diagnósticos. (Dissertação em engenharia civil) UFJF- Juiz de Fora. 2013.
 38. SOUZA, E. S. Nova metodologia para inspeções rotineiras expeditas em pontes. Trabalho de Conclusão de Curso pela Universidade Paulista, São Paulo, 2014.
 39. SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. São Paulo: Pini, 2009.
 40. THOMAZ, E. Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção, tese de doutorado defendida na Pini, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - 1999 SÃO PAULO – 2001.
 41. THOMAZ, E. Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação, 1989. Editora: Pini, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: IPT.
 42. VITÓRIO, J. A. P. Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão. Recife, CREA-PE, 2002.

43. VITÓRIO, J. A. P. Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão. Recife, CREA-PE, 2002.
44. YAZIGI, Ricardo. Avaliação de carbonatação em viadutos de concreto armado. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Infraestrutura e Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2008.
45. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes - DNIT. Manual de inspeção de pontes rodoviárias. In: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR 709. 2º ed. Rio de Janeiro – RJ, 2004. 253 p.
46. PITELLI, G. P.; MARCO, G. Patologias em estruturas de concreto armado 2019, Universidade de Araraquara – UNIARA.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

APÊNDICE A - Relatório de aplicação da Metodologia GDE/UnB

DELMIRO GOUVEIA-AL
2022

1. Ficha descritiva

A Tabela A.1 apresenta a ficha descritiva com os dados gerais da inspeção na ponte situada sobre o rio Pedra, localizada na cidade de Delmiro Gouveia-AL.

Tabela A. 1 - Ficha descritiva da obra de arte especial

Dados básicos			
Nome da OAE: Ponte sobre o rio Pedra			Data da inspeção: <u>21/04/2022</u>
Cidade mais próxima: Delmiro Gouveia			UF: <u>ALAGOAS</u>
Coordenadas GPS:	Altitude (m): 0,19 km acima do mar.	Latitude (S) (°) 9°23'12.2"S	Longitude (W) (°) 37°59'29.2
Localização (km): AL-220 (Eixo Rodoviário)			
Natureza da transposição: <u>Ponte</u> / Viaduto sobre rodovia/ Viaduto sobre ferrovia/ Passagem Inferior			
Sistema construtivo: Moldado no local / Pré-moldado/ Balanços sucessivos/ Outro _____			
Comprimento (m): 16,5 metros		Largura (m): 9,00 metros	
Classe de Agressividade Ambiental (NBR 6118:2014): I <u>II</u> III IV			
Projetista: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.			
Construtor: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.			
Ano da construção: SEM INFORMAÇÃO			
Características da região: Plana Ondulada Montanhosa			
Traçado: Tangente Curvo			
Características dos vãos:			
Número de vãos: 4	Descrição dos vãos: 4 vãos de 4 metros nas lajes, duas passarelas laterais de 1 metro cada.		
Responsável pela inspeção:			
Nome: Sanderson Carlos dos Santos Mendes			
Formação: Estudante - Graduando em Engenharia Civil			
Empresa: UFAL CAMPUS SERTÃO			

2. Valores atribuídos para os Fatores de Ponderação(Fp) e os Fatores de Intensidade (Fi)

As tabelas A.2 e A.6 apresentam a listagem dos valores de Fp e Fi para cada dano. O Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OAEs (Anexo A) traz já definidos os valores de Fp, exceto para às fissuras, que deveram ser mensuradas in loco. Os valores Fi deverão ser observados no momento da inspeção.

Tabela A. 2 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família dos pilares

	P1		P2		P3		P4		P5		P6	
	Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi
Carbonatação	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	1
Cobrimento deficiente	3	2	3	2	3	0	3	2	3	0	3	3
Contaminação por cloretos	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0
Corrosão das armaduras	5	3	5	2	5	2	5	2	5	0	5	0
Desagregação	5	2	5	0	5	2	5	2	5	2	5	2
Desplacamento	3	3	3	2	3	0	3	0	3	0	3	0
Desvio de geometria	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0
Eflorescência	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0
Falha na concretagem	4	3	4	0	4	0	4	2	4	0	4	0
Fissura	2	1	2	1	2	2	2	0	2	0	2	0
Manchas	3	2	3	2	3	0	3	0	3	0	3	0
Esmagamento	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
Umidade excessiva	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	0

Fonte: AUTOR, (2022).

Tabela A. 2 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família das transversinas.

	Transversinas																				
	GRAU DE UM DANO																				
	T1			T2			T3			T4			T5			T6			T7		
	Fp	Fi	D	Fp	Fi	D	Fp	Fi	D	Fp	Fi	D	Fp	Fi	D	Fp	Fi	D	Fp	Fi	D
Carbonatação	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0
Cobrimento deficiente	3	2	4,8	3	0	0	3	2	4,8	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0
Contaminação por cloretos	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0
Desagregação	5	2	8	5	0	0	5	2	8	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0
Desplacamento	3	2	4,8	3	0	0	3	2	4,8	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0
Eflorescência	3	1	2,4	3	2	4,8	3	1	2,4	3	2	4,8	3	2	4,8	3	2	4,8	3	2	4,8
Fissuras	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0
Falha na concretagem	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
Manchas	2	2	3,2	2	2	3,2	2	2	3,2	2	2	3,2	2	2	3,2	2	2	3,2	2	2	3,2
Esmagamento	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0
Infiltração	3	1	2,4	3	1	2,4	3	1	2,4	3	1	2,4	3	1	2,4	3	1	2,4	3	1	2,4
Flechas	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0

Fonte: AUTOR, (2022).

Tabela A. 2 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família das lajes.

	L1		L2	
	Fp	Fi	Fp	Fi
Carbonatação	3	0	3	0
Cobrimento deficiente	3	0	3	0
Contaminação por cloretos	4	0	4	0
Desagregação	3	0	3	0
Desplacamento	3	2	3	0
Corrosão	5	2	5	2
Eflorescência	2	2	2	2
Falha na concretagem	2	1	2	1
Fissura	3	0	3	0
Manchas	3	2	3	2
Esmagamento	5	0	5	0
Infiltração	3	1	3	1

Fonte: AUTOR, (2022).

Tabela A. 2 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família das longarinas

	L1		L2	
	Fp	Fi	Fp	Fi
Carbonatação	3	0	3	0
Cobrimento deficiente	3	0	3	0
Contaminação por cloretos	4	0	4	0
Desagregação	3	0	3	0
Desplacamento	3	2	3	0
Corrosão	5	2	5	2
Eflorescência	2	2	2	2
Falha na concretagem	2	1	2	1
Fissura	3	0	3	0
Manchas	3	2	3	2
Esmagamento	5	0	5	0
Infiltração	3	1	3	1

Fonte: AUTOR, (2022).

Tabela A. 2 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família guarda-corpo e muro de arrimo.

	Guarda Corpo					Muro de arrimo			
	GRAU DE UM DANO					GRAU DE UM DANO			
	DIREITO		ESQUERDO			DIREITO		ESQUERDO	
	Fp	Fi	Fp	Fi		Fp	Fi	Fp	Fi
Carbonatação	3	0	3	0		3	0	3	0
Cobrimento deficiente	3	2	3	2		3	0	3	0
Contaminação por cloretos	4	0	4	0		4	0	4	0
Corrosão das armaduras	5	2	5	2		5	0	5	0
Desagregação	3	2	3	2		3	0	3	0
Desplacamento	3	2	3	2		3	0	3	0
Eflorescência	2	2	2	2		2	2	2	2
Falha na concretagem	2	1	2	1		2	0	2	0
Fissura	2	3	2	3		2	0	2	0
Manchas	3	2	3	2		3	2	3	2
Esmagamento	4	0	4	0		4	0	4	0
Umidade excessiva	3	2	3	2		3	2	3	2

Fonte: AUTOR, (2022).

3. Valores do Grau do Dano das famílias.

De acordo com a metodologia aplicada, os valores encontrados do Grau de um Dano (D), apresentam-se através das tabelas A-7, A-8, A-9, respectivamente

Tabela A. 7 - Grau de cada dano para a família dos pilares.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
GRAU DE UM DANO	D	D	D	D	D	D
Carbonatação	24	24	24	2,4	24	2,4
Cobrimento deficiente	4,8	4,8	0	4,8	0	24
Contaminação por cloretos	0	0	0	0	0	0
Corrosão das armaduras	40	8	8	8	0	0
Desagregação	8	0	8	8	8	8
Desplacamento	24	4,8	0	0	0	0
Desvio de geometria	0	0	0	0	0	0
Eflorescência	0	0	0	0	0	0
Falha na concretagem	32	0	0	6,4	0	0
Fissura	1,6	1,6	3,2	0	0	0
Manchas	4,8	4,8	0	0	0	0
Esmagamento	0	0	0	0	0	0
Umidade excessiva	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	0

Fonte: AUTOR, (2022).

Tabela A. 8 - Grau de cada dano para as famílias das lajes.

	L1	L2	L3	L4
LAJES	D	D	D	D
Carbonatação	0	0	0	0
Cobrimento deficiente	2,4	4,8	2,4	0
Contaminação por cloretos	0	0	0	0
Corrosão nas armaduras	100	8	40	0
Desagregação	4,8	0	4,8	0
Desplacamento	24	4,8	24	4,8
Eflorescência	4,8	2,4	4,8	2,4
Falha na concretagem	3,2	0	3,2	0
Fissura	6,4	0	0	0
Manchas	4,8	2,4	4,8	2,4
Flechas	0	0	0	0
Infiltração	2,4	4,8	2,4	2,4

Fonte: AUTOR, (2022).

Tabela A. 9 - Grau do dano para a família de longarinas, guarda-corpo e muro de arrimo.

LONGARINAS	D		Dir		Esq	Dir		Esq
	D	D	D	D	D	D	D	D
Carbonatação	0	0	0	0	0	0	0	0
Cobrimento deficiente	0	0	4,8	4,8	4,8	0	0	0
Contaminação por cloretos	0	0	0	0	0	0	0	0
Desagregação	0	0	8	8	8	0	0	0
Desplacamento	4,8	0	4,8	4,8	4,8	0	0	0
Corrosão	8	8	4,8	4,8	4,8	0	0	0
Eflorescência	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Falha na concretagem	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	0	0	0
Fissura	0	0	16	16	16	0	0	0
Manchas	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Esmagamento	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltração	2,4	2,4	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

Fonte: AUTOR, (2022).

4. Demais valores calculados

O cálculo e os valores para os graus de deterioração de cada unidade de elemento estrutural (Gde), graus de deterioração de cada família (Gdf) e da estrutura (Gd), foram apresentadas no corpo do trabalho, através das tabelas 15, 16, 17, 18, 19 e 20.

5. Registro Fotográfico

Figura A. 1 – Laje com alta perda de aço, eflorescência, cobrimento deficiente.



Figura A. 2 - Cobrimento deficiente, corrosão, eflorescência.



Figura A. 3 - Corrosão da armadura e deslocamento



Figura A. 4 – Corrosão e carbonatação das armaduras com cobrimento deficiente.



Figura A. 5 – Desplacamento, armadura exposta, eflorescência.



Figura A. 6 – Desagregação, corrosão das armaduras



Figura A. 7 – Desagregação, deslocamento.



Figura A. 8 – Desplacamento, armadura exposta, eflorescência.



Figura A. 9 -Armadura exposta, eflorescência, corrosão das armaduras.



Figura A. 10 -Armadura exposta, eflorescência, corrosão das armaduras.





Metodologia GDE/UnB

Classificação de Danos e Avaliação da Deterioração de Estruturas de Concreto

Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Colaboradores:

João Carlos Teatini S. Clímaco
Antônio Alberto Nepomuceno
Eliane Kraus de Castro
Benedito Arruda Lopes
Plínio Boldo
Regis Pamplonet Fonseca
Priscilla Euqueres
João Henrique da Silva Rêgo
Rogério Calazans Verly

BRASÍLIA, JUNHO DE 2015

1 INTRODUÇÃO

A vida útil de uma estrutura de concreto depende fundamentalmente de manutenção, adequada, tendo em vista, em especial, que os eventuais problemas estruturais detectados no início têm seus efeitos minorados, o que pode reduzir substancialmente os custos de reparo. Entretanto, embora crescente o reconhecimento da importância da manutenção estrutural, são ainda insuficientes, mesmo em países desenvolvidos, as disposições normativas específicas para manutenção de estruturas.

Em geral, as normas recentes são prescritivas e se dedicam às disposições de projeto e execução, tendo como requisito a durabilidade, mas sem estabelecer critérios objetivos para a manutenção das estruturas. A recente norma NBR 15.575:2013¹ define requisitos a serem atendidos pelas edificações quanto ao desempenho acústico e térmico, à segurança contra incêndio, à estanqueidade, à segurança estrutural, à durabilidade e manutenibilidade, dentre outros. Especificamente quanto à manutenibilidade, a referida norma recomenda que a manutenção seja feita com base no *manual de operação, uso e manutenção*, que deve ser fornecido pelo incorporador ou construtor. Essa norma é uma iniciativa que facilitará demasiadamente a manutenção e a garantia do cumprimento da vida útil prevista para uma estrutura.

As demais estruturas, como as Obras de Arte Especiais - OAEs, barragens, galerias e outras não contempladas pela NBR 12.575:2013 devem seguir as diretrizes para a durabilidade definidos pela NBR 6118:2014 e os requisitos para o concreto definidos na NBR 12.655:2006. Neste trabalho, são tomadas como base nas prescrições da NBR 6118:2014, a primeira norma brasileira a estabelecer critérios explícitos sobre durabilidade na etapa de projeto, e nas prescrições aplicáveis da NBR 12.655:2006.

Com o objetivo de avaliar estruturas de concreto, foi desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB) uma metodologia para classificação de danos e avaliação da deterioração de estruturas de concreto armado de edificações usuais, que estabelece critérios para a classificação de danos que permitem calcular o grau de deterioração dos elementos estruturais isolados e da estrutura como um todo, indicando as ações necessárias ao desenvolvimento da vida útil prevista (BOLDO, 2002).

A metodologia, denominada GDE/UnB, prevê a realização de inspeções periódicas por engenheiros e técnicos com experiência na área, objetivando avaliar os elementos estruturais nos mais variados aspectos - segurança, funcionalidade e estética, e já foi testada com bons resultados em edifícios com diversas concepções estruturais e destinações de uso. Mostrou-se também eficiente em um estudo que visava sua integração ao sistema de manutenção utilizado pelo Banco do Brasil às suas edificações em todo o território nacional (LOPES, 1998). Isto conduziu, ainda, a uma extensão da pesquisa objetivando a avaliação estrutural de edificações gerenciadas pela Diretoria de Obras Militares do Exército Brasileiro, em todo país (BOLDO, 2002). Ainda no âmbito do PECC, Fonseca (2007) aplicou a metodologia no Instituto Central de Ciências - ICC, localizado no campus da Universidade de Brasília - UnB.

Além das aplicações na avaliação de estruturas de edificações, a metodologia se mostrou aplicável a estruturas de Obras de Arte Especiais - OAEs. Euqueres (2011) aplicou a metodologia em onze pontes com comprimentos variando de 20m a 150m, todas localizadas no

¹ NBR 15.575:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho

estado de Goiás.

Além das famílias e fatores propostos por Euqúeres (2011), este manual inclui a alteração feita na equação de cálculo do *grau de deterioração da estrutura*, estudada nesta pesquisa.

A avaliação das estruturas é feita mediante um programa de inspeções, com o uso deste manual, e tem por objetivo contribuir para a definição das ações necessárias para a garantia da durabilidade das edificações e OAEs, nos aspectos de segurança, funcionalidade e estética, auxiliando a tomada de decisões de engenheiros e técnicos da área de manutenção e recuperação de estruturas.

2 PARÂMETROS DE INSPEÇÃO

2.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

2.1.1 Agressividade do ambiente

A NBR 6118:2014 apresenta prescrições genéricas sobre a durabilidade de estruturas de concreto, em função da agressividade do meio ambiente, relacionada às ações físicas e químicas previstas, independentemente da atuação de ações mecânicas, variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento. A Tabela 2.1, a seguir, apresenta uma classificação da agressividade do ambiente, extraída da Tabela 6.1, NBR 6118:2014, a ser considerada nos projetos de estruturas correntes:

Tabela 2.1 - Classes de agressividade ambiental (Adaptado de NBR 6118:2014)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Média	Urbana ^{a, b} Marinha ^a	Pequeno
III	Forte	Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

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

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

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.



A avaliação da agressividade que um ambiente impõe a uma determinada estrutura depende não só de sua localização geográfica e destinação principal, como são os casos de ambientes rurais ou urbanos, mas também do tipo de agentes agressivos que atuam sobre a estrutura. A Tabela **2.1**

ressalta diferenças importantes entre os ambientes industriais das Classe III e IV, levando em consideração que há diferentes tipos de indústrias e por isso diferentes intensidades de agressividade. Edificações onde funcionam indústrias de laticínios, refrigerantes ou de fertilizantes, mesmo podendo estar localizadas em uma área rural, são ambientes quimicamente agressivos e por isso o projetista responsável pelo seu projeto deve avaliar a possibilidade de considerar a Classe IV.

Para complementar o entendimento das diversas possibilidades de deterioração a que as estruturas de concreto armado e protendido estão sujeitas, a NBR 6118:2014 reserva um tópico aos mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto. Esses mecanismos podem ser divididos em três grupos, conforme a Figura 1.

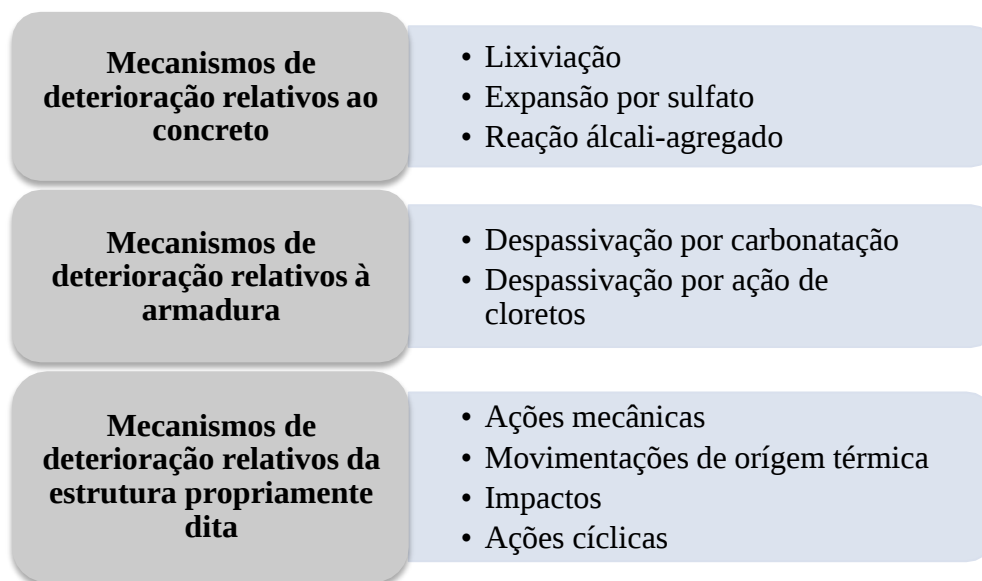


Figura 1 - Mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto
(Adaptado de NBR 6118:2014)

O primeiro grupo trata dos ataques diretos ao concreto, causando o carreamento de materiais solúveis, como o hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, deixando a estrutura do concreto mais porosa e acessível a agentes agressivos. Além do carreamento de seus materiais constituintes, o concreto está sujeito a reações que dão origem a produtos expansivos, que geram tensões internas que podem comprometer a integridade do concreto.

Da mesma forma que o concreto, o aço também está sujeito a deterioração, e o principal mecanismo é a sua corrosão. O aço em meio alcalino (pH em torno de 12,5) não apresenta as condições necessárias para o início do processo corrosivo, e nesse caso pode-se dizer que a armadura está passivada. A carbonatação do concreto e a ação de cloretos faz com que a armadura se despassive, permitindo então que o processo corrosivo se instale. Além dos fenômenos citados até agora, a estrutura ainda está sujeita a ações mecânicas, impactos, dentre outras, que causam danos que podem comprometer a vida útil da estrutura.

Um importante complemento normativo nacional às prescrições da NBR 6118:2014, é a NBR 12.655:2006, que ratifica as classes de agressividade ambiental apresentadas naquela norma, e traz requisitos específicos para os concretos em condições especiais de exposição, como a necessidade de baixa impermeabilidade a água, exposição a processos de congelamento e descongelamento ou a agentes químicos de degelo. Dependendo da condição de exposição são

prescritos valores máximos para a relação água/cimento e valores mínimos para a resistência característica do concreto (f_{ck}).

No que se refere ao ataque do concreto por sulfatos, a NBR 12.655:2006 classifica a condição de exposição de acordo com a quantidade de sulfato solúvel (SO_4) em água no solo ou presente na água, conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Requisitos para concreto exposto a solução com sulfatos (Adaptado de NBR 12.655:2014)

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO_4) presente no solo (% em massa)	Sulfato solúvel (SO_4) presente a água (ppm)	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal*	Mínimo f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	--	--
Moderada**	0,10 a 0,20	150 a 1.500	0,50	35
Severa***	Acima de 0,20	Acima de 1.500	0,45	40

* Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

** Água do mar.

*** Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

Os sulfatos não oferecem riscos diretos à armadura, uma vez que atuam no concreto reagindo com os aluminatos presentes. Por outro lado, os cloretos atuam diretamente sobre as armaduras de reforço do concreto. Nesse sentido, a NBR 12.655:2014 define o valor máximo da concentração de cloretos no concreto endurecido, considerando a contribuição de todos os componentes do concreto no aporte de cloretos, conforme a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl^-) no concreto (% sobre a massa de cimento)
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40
Outros tipos de construção em concreto armado	0,30

Apesar de serem requisitos específicos para o concreto e para o aço, as ações do ambiente sobre uma estrutura sempre apresentam efeitos colaterais. Um exemplo é a ação dos íons cloreto, que apesar de não afetar diretamente a microestrutura do concreto, pode criar as condições para o



início do processo corrosivo. Os produtos de corrosão possuem volume muito maior que o do aço, provocando tensões internas. Se o concreto não resistir a esses esforços, fissuras serão

abertas abrindo ainda mais caminhos para o acesso de agentes agressivos. Por outro lado, os sulfatos não atuam diretamente sobre as armaduras, mas se houver condições propícias, provocará reações expansivas fazendo com que o concreto se fissure, abrindo caminho para o CO_2 ou íons cloreto que despassivação as armaduras dando início ao processo corrosivo.

2.1.2 Identificação dos elementos estruturais

A aplicação da Metodologia GDE/UnB exige uma representação gráfica consistente da estrutura (plantas de fôrmas, cortes, croquis, etc.), que permita localizar e identificar, de maneira precisa, os elementos vistoriados, quanto à natureza, localização na estrutura, dimensões, tipos de ambiente, etc. É, também, essencial uma documentação fotográfica adequada da estrutura e das etapas da inspeção, que pode contribuir substancialmente para o processo de avaliação de danos e para a elaboração de diagnósticos e laudos técnicos.

Além do levantamento de toda a documentação disponível sobre a estrutura, na etapa de planejamento devem ser avaliadas as condições de acesso aos elementos estruturais. A depender da localização da estrutura, equipamentos especiais podem ser necessários. No caso de pontes extensas sobre rios muito largos, são necessários barcos para o acesso a toda a extensão da face inferior do tabuleiro. Em inspeções mais detalhadas de viadutos ou pontes muito altas, pode ser necessário o uso de cordas e técnicas de alpinismo para o acesso pormenorizado a toda a estrutura.

2.2 Conceituação dos tipos frequentes de danos em estruturas de concreto

Apresenta-se, a seguir, uma listagem dos danos mais frequentes em estruturas de concreto, em ordem alfabética, com uma conceituação concisa e sem se pretender esgotar os temas abordados. O objetivo é buscar maior uniformidade nas inspeções e padronizar a terminologia utilizada, de modo a permitir, posteriormente, a obtenção de resultados mais consistentes e menor subjetividade na quantificação dos danos com o uso da formulação da Metodologia GDE/UnB. É indispensável destacar a importância da consulta a bibliografias complementares, algumas referenciadas neste texto.

a) Carbonatação:

Fenômeno decorrente da penetração na rede de poros do concreto do dióxido de carbono, CO_2 , presente no ar, e de sua reação com os constituintes alcalinos da pasta de cimento, principalmente o hidróxido de cálcio. A carbonatação da cal reduz o pH do concreto e provoca a despassivação das armaduras, ou seja, a redução da sua capacidade de proteção do aço contra a corrosão. A carbonatação pode ser detectada por meio de um ensaio simples, com a aplicação na superfície do concreto de uma solução de fenolftaleína com indicador. A parte carbonatada do concreto deve ficar incolor ($\text{pH} < 8,5$) e a não carbonatada adquire a cor vermelho-carmim.

b) Cobrimento deficiente:

A NBR 6118:2014 recomenda que o projeto e a execução dos elementos constitutivos das estruturas de concreto devem respeitar os valores prescritos para o cobrimento nominal (C_{nom}) da camada de concreto sobre as armaduras de aço, definido como o cobrimento mínimo acrescido de uma tolerância de execução (Δc). Quando houver um controle de qualidade rigoroso, pode ser adotado um valor $\Delta c = 5\text{mm}$. Em caso contrário, nas obras correntes, deve ser, no mínimo, $\Delta c = 10\text{mm}$, resultando nos cobrimentos nominais indicados na Tabela 2.4.

Segundo a norma, os cobrimentos nominais e mínimos são sempre referidos à superfície da armadura mais externa, em geral os estribos. O cobrimento nominal de uma determinada barra deve sempre ser:

$$c_{nom} \geq \Phi_{barra} \quad (\text{Expressão 1.1})$$

$$c_{nom} \geq \Phi_{feixe} = \Phi_n = \Phi \sqrt{n}$$

$$c_{nom} \geq 0,5 \Phi_{bainha}$$

Tabela 2.4 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$ (Adaptado de NBR 6118:2014)

c_{nom} (mm)	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ³⁾
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	55
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos, e outros tantos, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelo exposto abaixo da tabela, respeitado um cobrimento nominal $\geq 15\text{mm}$.

³⁾ As faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos devem ter cobrimento nominal $\geq 45\text{mm}$.

c) **Contaminação por cloretos:**

Contaminação do concreto causada pelo emprego na execução do concreto de aditivos à base de cloretos, com teor excessivo, ou pela penetração de cloretos presentes no meio ambiente, como no caso de regiões à beira-mar. É um dano comum em peças pré-moldadas, quando se pretende acelerar a cura com aditivos à base de cloretos. As manifestações mais comuns são as fissuras, locais ou generalizadas, sobre as armaduras e a presença de manchas no concreto pela retenção de umidade, frequentemente com a criação de fungos. Os cloretos podem ser também incorporados ao concreto pelo uso de água da rede pública no amassamento ou introduzidos nas operações de limpeza de pisos e fachadas, com a utilização de soluções de *HCl* em baixas concentrações (ácido muriático) (Nepomuceno, 1999).

d) **Corrosão de armaduras:**

A corrosão é um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos que ocupam um volume significativamente superior (em até 6 vezes) ao volume original das armaduras, sujeitando o concreto a elevadas tensões de tração (da ordem de até 15 MPa). Essas tensões ocasionam a fissuração do concreto e o posterior lascamento da camada de cobrimento do concreto (Cánovas, 1988). No seu início, a corrosão se manifesta na superfície do elemento estrutural com o aparecimento de manchas marrom-avermelhadas ou

esverdeadas, em razão da lixiviação do concreto (dissolução e arraste do hidróxido de cálcio da massa endurecida) dos produtos de corrosão, evoluindo com o tempo e podendo chegar até à perda total da seção da armadura.

e) Desagregação do concreto:

Fenômeno característico de ataques químicos do concreto, em formas diversas - lixiviação, reação álcali-agregado, reações expansivas com sulfatos, com a separação física de placas ou fatias de concreto, comprometendo o monolitismo do elemento. Na maioria das vezes, causa a perda da resistência de engrenamento entre os agregados (*aggregate interlock*) e da capacidade aglomerante da pasta (Sousa, 1999). Pode ocorrer, também, por ações biológicas (raízes e micro-organismos) ou, ainda, por dosagem incorreta e execução deficiente do concreto, perante as ações dos agentes agressivos (abrasão, vento, chuva, etc.).

f) Deslocamento por empuxo:

Deslocamento proveniente da pressão ativa exercida por um maciço não-coesivo sobre um anteparo vertical. Nos muros, cortinas ou paredes de contenção de concreto é causado pelo empuxo de terra ou água. Esses elementos devem ser providos de drenos, para evitar o acúmulo de água no terrapleno que suporta e que resultaria em acréscimo do empuxo hidrostático. Os deslocamentos causados pela saturação do maciço podem, ainda, ser agravados pela passagem de veículos.

g) Desvios de geometria:

Perda da verticalidade e do alinhamento de elementos estruturais em relação ao seu eixo, produzindo excentricidade adicional das forças atuantes. Pode ter como causas: deficiências na execução por movimentação ou incorreção de fôrmas e escoamentos ou por movimentação da estrutura, pela ação de esforços imprevistos ou não considerados corretamente no projeto.

h) Eflorescência em superfícies de concreto:

Precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto, quando os produtos da lixiviação interagem com o CO_2 presente no ar. Essa precipitação resulta da ação de águas puras e brandas no concreto, causando a hidrólise da pasta de cimento e dissolução dos produtos de cálcio. Teoricamente, a hidrólise da pasta continua até que a maior parte do hidróxido de cálcio tenha sido retirada por lixiviação, expondo os outros constituintes cimentícios à decomposição química. O processo produz géis de sílica e alumina, com pouca ou nenhuma resistência, e consequente perda significativa da resistência da pasta de cimento pela lixiviação da cal (Mehta, 1994). O fenômeno causa aumento da porosidade do concreto, sendo considerado similar à osteoporose do osso humano e podendo levar, em um espaço de tempo relativamente curto, à ruína do elemento estrutural (Souza, 1999). O pesquisador russo Skrylnikov (1933) chamava, figuradamente, esta forma de deterioração de “a morte branca do concreto” (apud Moskvín, 1980).

i) Falhas de concretagem (nichos ou ninhos de concreto):

Deficiência na concretagem da peça, com a ocorrência de vazios e exposição de agregados, por um ou mais dos fatores: dosagem inadequada do concreto, diâmetro máximo do agregado gráudo não condizente com as dimensões da peça, lançamento e/ou adensamento inadequados, taxas excessivas e espaçamento inadequado de armaduras e perda de nata de cimento por aberturas nas formas. Pode haver situações em que não somente os agregados

ficam expostos, mas haja exposição de barras das armaduras dos elementos estruturais, propiciando o início de processo corrosivo.

j) Fissuração inaceitável:

A fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à variabilidade do concreto e à sua baixa resistência aos esforços de tração. No entanto a abertura das fissuras deve ser controlada de modo a se garantir a proteção das armaduras à corrosão e também promover a aceitabilidade sensorial dos usuários.

A NBR 6118: 2014 prescreve que a fissuração em elementos de concreto é nociva quando a abertura das fissuras na superfície ultrapassa os seguintes valores:

- Armaduras passivas: desde que a abertura característica das fissuras (w_k) fique entre 0,2mm e 0,4mm para as combinações frequentes, não representam apresentam importância significativa para a corrosão das armaduras;
- Armaduras ativas: há a possibilidade de corrosão sob tensão, portanto esses limites devem ser avaliados com base na Classe de Agressividade Ambiental - CAA (Tabela 2.1). Em resumo, pode-se dizer que não são aceitas fissuras para a protensão limitada e completa. No caso da protensão parcial, são aceitas fissuras menores que 0,2mm apenas para a CAA I;
- Aceitabilidade sensorial: mesmo que as fissuras estejam abaixo dos limites indicados na NBR 6118:2014, elas não devem causar desconforto psicológico aos usuários, o que geralmente ocorre com fissuras ativas.

k) Flechas excessivas:

A NBR 6118: 2014 prescreve limites para os deslocamentos das peças de estruturas de concreto, fazendo distinção entre a “aceitabilidade sensorial”, para prevenir a ocorrência sensações desagradáveis aos usuários, efeitos específicos referentes à utilização da estrutura, efeitos nos elementos não estruturais e efeitos nos elementos estruturais (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Limites para deslocamentos em estruturas de concreto armado e protendido (NBR 6118:2014)

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplos	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	L/200
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	L/350
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	L/250
	Efeitos em elementos	estruturais		



Afastamento
em relação à
hipóteses de
cálculo
adotadas

Se os
desloca
mentos
forem
relevant
es para
o
element
o
conside
rado,
seus
efeitos
sobre
as
tensões
ou
sobre a
estabili
dade da
estrutur
a
devem
ser
conside
rados,
incorpo
rando-
os ao
modelo
estrutur
al
adotad
o.

Foram transcritos na Tabela 2.5 apenas alguns valores aplicáveis às estruturas de Obras de Arte Especiais - AOE's, sendo deixados fora aqueles referentes aos efeitos em elementos não estruturais, como paredes, forros e pontes rolantes.

l) Manchas:

Ocorrência de manchas escuras em superfícies de concreto, causadas pela contaminação por fungos, mofo, etc., principalmente nas partes expostas da estrutura. Nessa categoria de danos, não devem ser consideradas outras manchas como as relacionadas à corrosão e eflorescências.

m) Obstrução de juntas de dilatação:

A junta de dilatação é uma separação física entre partes de uma estrutura, para que possam ocorrer movimentos sem a transmissão de forças e deslocamentos entre os elementos separados pela junta. A presença de material rígido ou o material de preenchimento da junta que tenha perdido a sua elasticidade produz tensões indesejáveis na estrutura, podendo ocasionar fissuras em elementos estruturais adjacentes à junta. Os sistemas de vedação e enchimento das juntas devem acomodar a amplitude dos seus movimentos.

n) Recalque de fundações:

O recalque provoca movimentação na estrutura que, conforme o seu tipo, pode ser afetada pelo assentamento total máximo (recalque uniforme), pela inclinação uniforme (desaprumo) ou por assentamentos diferenciais (recalques diferenciais e distorções angulares).

Os recalques distorcionais das fundações não são admissíveis estruturalmente, ocorrendo por deformações excessivas, e podem ser causados por um ou mais dos seguintes fatores: estimativa incorreta de cargas no cálculo estrutural; avaliação errônea dos esforços provenientes da estrutura sobre as fundações; modelos inconvenientes de cálculo das fundações; ausência, insuficiência ou má qualidade das investigações geotécnicas; má interpretação dos resultados da investigação geotécnica; adoção inadequada da tensão admissível do solo ou da cota de apoio das fundações; influências externas (escavações ou deslizamentos não previsíveis, agressividade ambiental, enchentes, construções vizinhas, descalçamento das fundações por escavações vizinhas); colapso do solo (por exemplo, devido à ruptura de tubulações subterrâneas ou vazamentos em reservatórios subterrâneos); alteração do nível do lençol freático; modificação no carregamento devido a mudança de utilização da estrutura (alargamentos das OAE's), efeito piscina (entupimento de drenos), sobrecargas não previstas; cargas dinâmicas (vibrações, tremores de terra, etc.) e, por fim, falhas de manutenção em obras críticas.

o) Sinais de esmagamento do concreto:

Processo de desintegração do concreto, podendo ser causado por erros de cálculo, sobrecargas excessivas, redistribuição de esforços ou movimentação da estrutura. No caso de pilares, caracteriza-se pelo aparecimento de fissuras diagonais e/ou verticais, podendo evoluir para um intenso lascamento do concreto, com perda de seção e flambagem das armaduras. Há também o caso de falhas nos aparelhos de apoio, que deveriam transmitir os esforços entre dois elementos estruturais, liberando alguns movimentos e suas respectivas reações. Nesse último caso ocorre o contato direto entre os dois elementos, causando concentração de tensões e posterior esmagamento do concreto.

p) Umidade excessiva na infra-estrutura:

A umidade excessiva na base de pilares e/ou em blocos de fundação, pela seu potencial agravamento com o favorecimento de recalques, é considerada um dano específico. Pode ser proveniente de deficiência no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações da própria edificação ou adjacentes, vazamento em reservatórios enterrados, etc.

3 CÁLCULO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DOS ELEMENTOS E DA ESTRUTURA

3.1 Preliminares

São apresentados, a seguir, os parâmetros para aplicação da metodologia que visa quantificar os graus de deterioração dos elementos e da estrutura. Partindo dos fatores de ponderação e de intensidade dos danos nos elementos, faz-se a determinação sequencial dos graus dos danos existentes em cada elemento estrutural, dos graus de deterioração dos elementos e das famílias de elementos de mesma natureza, e, por fim, do grau de deterioração da estrutura, conforme proposto por Castro, Clímaco e Nepomuceno (1995).

O Anexo 2 deste roteiro apresenta as tabelas A.2, a serem preenchidas mediante inspeções da estrutura por técnicos treinados. Como complemento da inspeção da estrutura, e com o objetivo de confrontar os resultados da aplicação da metodologia com a situação física real da edificação, é altamente recomendável que seja feita uma ampla documentação fotográfica, que deverá constar do Relatório de Avaliação.

3.2 Fator de ponderação do dano (F_p)

Fator que visa quantificar a importância relativa de um determinado dano, no que se refere às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos de uma família, tendo em vista as manifestações patológicas passíveis de serem neles detectadas. Para sua definição são estabelecidos os problemas mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural. Assim, para cada manifestação patológica, e em função da família de elementos que apresentam o problema, foi estabelecido um grau numa escala de 1 a 5. Uma determinada manifestação patológica pode ter fatores de ponderação diferentes de acordo com as características da família onde o elemento se insere, dependendo das consequências que o dano possa acarretar.

3.3 Fator de intensidade do dano (F_i)

Fator que classifica a gravidade e evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4, como segue:

- elemento sem lesões	$F_i = 0$
- elemento com lesões leves	$F_i = 1$
- elemento com lesões toleráveis	$F_i = 2$
- elemento com lesões graves	$F_i = 3$
- elemento em estado crítico	$F_i = 4$

A Tabela A.1 do Anexo 2 deste texto apresenta uma classificação dos danos mais frequentes em edificações usuais com estrutura de concreto armado, com uma identificação do nível de

gravidade das lesões e descrição sucinta das intensidades das manifestações, conforme características específicas, para fins de aplicação desta metodologia.

O Anexo 3 deste roteiro, com fotos ilustrativas, foi inserido com a finalidade de facilitar a identificação dos danos e a atribuição dos fatores de intensidade.

3.4 Grau do dano (D), Grau de deterioração de um elemento (G_{de}), Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) e Grau de deterioração da estrutura (G_d)

O grau de cada dano no elemento estrutural é calculado em função do fator de ponderação (F_p) e respectivo fator de intensidade (F_i), atribuídos conforme este Roteiro de Inspeção. A formulação original e os procedimentos para o cálculo dos graus de deterioração dos elementos, das famílias de elementos e da estrutura (global) são apresentados no artigo de Castro, Clímaco e Nepomuceno (1995). Essa formulação foi posteriormente aperfeiçoada nos trabalhos de Lopes (1998) e Boldo (2002), com base em dezenas de aplicações da metodologia.

No Anexo 1, são apresentadas as fórmulas para o cálculo do Grau do Dano (D), Grau de deterioração do elemento (G_{de}), Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) e Grau de deterioração da estrutura (G_d).

4 PLANILHAS DE DANOS PARA FAMÍLIAS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A Tabela A.2 apresenta as planilhas específicas para as famílias de elementos mais comuns em estruturas de concreto de edificações usuais, com os danos possíveis e os respectivos fatores de ponderação, para uso na presente metodologia. Os fatores sugeridos na tabela foram definidos a partir de uma gama extensa de testes de aplicação (Castro, 1994; Lopes, 1998; Boldo, 2002). Os valores numéricos atribuídos aos fatores não devem, no entanto, ser encarados de forma determinística, podendo ser modificados, segundo as indicações de cada análise específica.

REFERÊNCIAS DO APÊNDICE

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, Rio de Janeiro, 2014, 238p.
- BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.
- BOLDO, P., CLÍMACO, J. C. T. S. Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro, In: XXX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, Brasília, DF, 2002.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**, v. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, 1981.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185 p.
- CASTRO, E. K., CLÍMACO, J. C. T. S., NEPOMUCENO, A. A. (1995) - Desenvolvimento de uma metodologia de manutenção de estruturas de concreto armado", 37º. Congresso Brasileiro do Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, **Anais**, v.1, pp. 293-307, Goiânia.
- CASTRO, E. K., CLÍMACO, J. C. T. S. - Avaliação da estrutura de uma edificação residencial após o reparo de elementos danificados. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, **Anais**, Salvador, 1999.
- CLÍMACO, J. C. T. S, NEPOMUCENO, A. A. **Patologia, recuperação e manutenção de estruturas**, Notas de Aula, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 1999.
- FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 213 p.
- LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente "Estrutura de Concreto"**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308 p.
- LOPES, B. A. R.; CLÍMACO; J. C. T. S., NEPOMUCENO; A. A., CASTRO; E. K. Sistema de manutenção para grandes estoques de edifícios. In: CONPAT 99, **Anais**, v. 3, p. 1897-1905, Montevideu, Uruguai, 1999.



MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MOSKVIN, V.; IVANOV, F.; ALEKSEYEV, S.; GUZEYEV, E. *Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection*, Mir Publishers, Moscow, Russia, 1983.

SOUZA, V. C. RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1999. 257 p.

VARGAS, M. Introdução à Mecânica dos Solos”, Editora McGraw-Hill, São Paulo, 1981.



ANEXO 1

Formulação para avaliação quantitativa da deterioração de estruturas de concreto e ações recomendadas segundo os níveis de deterioração

Grau de um Dano (D)

$$D = 0,8 F_i F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0$$

$$D = (12 F_i - 28)F_p \quad \text{para } F_i > 2,0$$

Grau de deterioração de um elemento (G_{de})

$$G_{de} = D_{máx} \left[1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^n D_i \right) - D_{máx}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right]$$

Tabela 1 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento e ações recomendadas

Nível de deterioração	G _{de}	Ações recomendadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata.

Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df})

$$G_{df} = G_{de,máx} \left[1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^m G_{de,i} \right) - G_{de,máx}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}} \right]$$

Fatores de relevância estrutural das famílias de elementos (F_r)

Família	F_r
Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento	1
Juntas de dilatação	2
Transversinas, cortinas, alas	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4
Vigas e pilares principais	5

Grau de Deterioração da Estrutura (G_d)

$$G_d = \frac{K_{máx}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^k K_i \right) - K_{máx}}{\sum_{i=1}^k K_i}}$$

Tabela 2 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e ações recomendadas

Nível de deterioração	G_{de}	Ações recomendadas
Baixo	$0 > 15$	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	$15 - 50$	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	$50 - 80$	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	$80 > 100$	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata.



ANEXO 2

Tabelas de classificação dos fatores de intensidade e de ponderação dos danos

Tabela A.1: Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i)

Tipos de danos	Valores de F_i
Carbonatação	1 → localizada, com regiões com $\text{pH} < 9$, sem afetar as armaduras. 2 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco. 3 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido. 4 → generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
Cobrimento deficiente	1 → menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura. 2 → menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões. 3 → deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas.
Contaminação por cloretos	2 → elementos abrigados sem umidade 3 → elementos no exterior sem umidade 4 → ambientes úmidos.
Corrosão de armaduras	2 → manifestações leves, pequenas manchas. 3 → grandes manchas e/ou fissuras de corrosão. 4 → corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção ($> 20\%$ do diâmetro).
Desagregação	2 → início de manifestação. 3 → manifestações leves, início de estofamento do concreto. 4 → por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto.
Deslocamento por empuxo	3 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável. 4 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável.
Desplacamento	2 → pequenas escamações do concreto. 3 → lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura. 4 → lascamento acentuado com perda relevante de seção.
Desvios de Geometria	2 → pilares e cortinas com excentricidade $e \leq h/100$ ($h = \text{altura}$). 3 → pilares e cortinas com excentricidade $h/100 \leq e < h/50$. 4 → pilares e cortinas com excentricidade $e \geq h/50$.
Eflorescência	1 → início de manifestações. 2 → manchas de pequenas dimensões. 3 → manchas acentuadas, em grandes extensões. 4 → grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).
Falha de concretagem	1 → superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça. 2 → significativa em relação às dimensões da peça. 3 → significativa em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura. 4 → perda relevante da seção transversal da peça ($> 20\%$ da área).
Fissuras	1 → abertura menores do que as máximas previstas em norma. 2 → estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma. 3 → aberturas excessivas; estabilizadas. 4 → aberturas excessivas; não estabilizadas.

Tabela A.2: Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i)

Tipos de danos	Valores do Fator de Intensidade do Dano
Flechas	1 → não perceptíveis a olho nu. 2 → perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma. 3 → superiores em até 40% às previstas na norma. 4 → excessivas.
Impermeabilização deficiente	2 → danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização. 3 → descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração). 4 → degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.
Infiltração de água	1 → indícios de umidade. 2 → pequenas manchas. 3 → grandes manchas. 4 → generalizada.
Manchas	2 → manchas escuras de pouca extensão, mas significativas (< 50% da área visível do elemento estrutural). 3 → manchas escuras de grande extensão (>50%). 4 → manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).
Obstrução de juntas de dilatação	2 → perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes. 3 → presença de material não compressível na junta; incidência significativa de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes. 4 → fissuras em lajes e paredes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.
Recalques	2 → indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria; 3 → recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais. 4 → recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
Sinais de esmagamento do concreto	3 → desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas. 4 → fissuras bi-diagonais, com lascamento e/ou esmagamento do concreto por cisalhamento-compressão, com perda substancial de material; exposição e início de flambagem de armaduras.

Tabela B.1: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)

PILARES

Nome do Elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Desvio de geometria	4			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade excessiva na infraestrutura	4			

* Consultar Tabelas C

VIGAS E TRANSVERSINAS

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Fissuras	2 a 5*			
Falhas de concretagem	2			
Flechas	5			
Infiltração de água	3			
Manchas	3			
Sinais de esmagamento	5			

* Consultar Tabelas C

**Tabela B.2: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)****LAJES**

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	3			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falhas de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Flechas	5			
Infiltração de água	3			
Manchas	3			

* Consultar Tabelas C

GUARDA-CORPOS, BARREIRAS, GUARDA-RODAS

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Sinais de esmagamento	4			

* Consultar Tabelas C

Tabela B.3: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)

CORTINAS, ALAS

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Deslocamento por empuxo	5			
Desplacamento	3			
Desvio de geometria	3			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Infiltração de água	3			
Manchas	3			
Sinais de esmagamento	5			

* Consultar Tabelas C

BLOCOS DE FUNDAÇÃO

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade excessiva na infraestrutura	3			

* Consultar Tabelas C



Tabela B.4: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)

JUNTAS DE DILATAÇÃO

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Obstrução de junta	5			
Desgaste do material de preenchimento da junta	5			
Umidade	5			

PISTA DE ROLAMENTO

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Descontinuidade	5			
Desgaste superficial	5			
Desgaste da sinalização	5			

Tabela C.1: Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados (F_p)

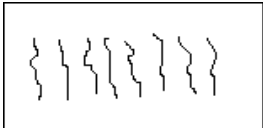
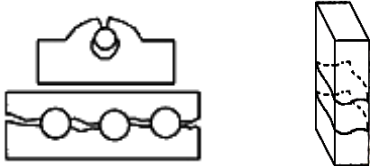
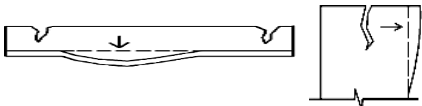
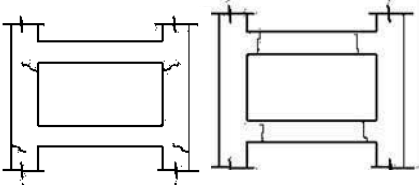
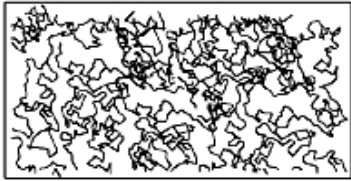
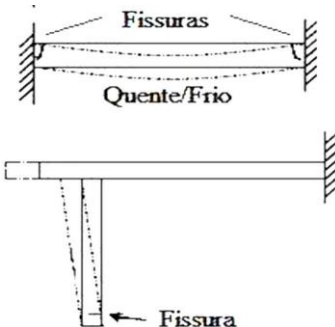
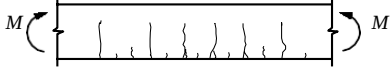
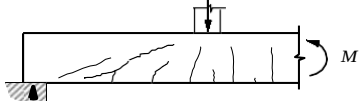
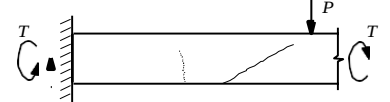
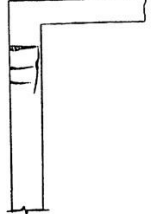
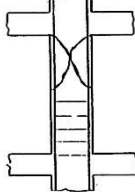
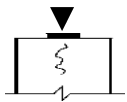
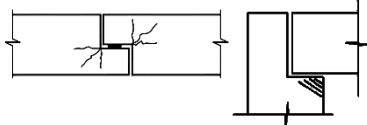
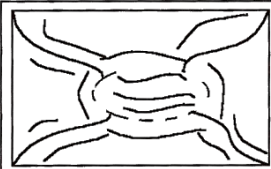
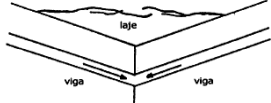
	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
ESTADO PLÁSTICO	De retração plástica do concreto	- comuns em lajes e paredes. - aproximadamente paralelas, superficiais e afastadas entre si de 0,3 a 1 m.		2
	De assentamento do concreto	- sobre as armaduras. - em pilares, ficam abaixo dos estribos. - interação com armaduras vizinhas.		3
	De movimentação de fôrmas	- indicam posicionamento e/ou fixação incorretos ou resistência insuficiente de fôrmas/escoramentos		3
ESTADO ENDURECIDO	De retração do concreto por secagem	- fissuras em pilares e/ou vigas, por diferença grande de rigidezes (a). - aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b). - indicam restrição de movimentos. - profundidade reduzida. - aberturas < 0,1 a 0,2 mm.	 (a)  (b)	3
	Mapeadas	- mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes. - abertura e extensão reduzidas. - superfícies de concreto com desempenho excessivo. - danos só estéticos, em geral		2
	De variações de temperatura	- em geral, normais ao eixo de elementos lineares, - indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação ou sua ausência.	 Fissuras Quente/Frio Fissura	3

Tabela C.2: Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados (F_p)

	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
ERROS DE PROJETO/ EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS	De flexão	- normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto.		4
	De força cortante e flexão	- mesma inclinação nas duas faces. - podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios.		4
	De flexão, cortante e torção	- inclinações diferentes nas faces laterais, com menor abertura da fissura em uma das faces.		4
	De flexo-tração em pilares	- normais ao eixo do pilar na face tracionada e paralelas na face comprimida; podem indicar esmagamento do concreto. - mais próximas de extremidades com maior momento.		5
	De compressão	- paralelas ao eixo ou bi-digonais no centro iminência de ruptura. - indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos.		5
	De carga concentrada em área reduzida	- em apoios de pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos - indicam armadura deficiente de fretagem e mau detalhamento		3
	Em apoios do tipo Gerber (vigas e pilares)	- comuns em pontes e estruturas pré-moldadas. - indicam deficiência ao movimento em aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado.		3
	De flexão em lajes	- na face inferior, saindo dos cantos e paralelas a bordos com continuidade ou vãos maiores. - na face superior, paralelas a bordos com continuidade.		4
	De momentos volventes	- em cantos de lajes extremas, podendo surgir nas duas faces. - influenciadas por variações de temperatura e retração.		3



	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
	De punção	- traçado circunferencial e/ou radial em torno do pilar.		5



ANEXO 3

Fotos ilustrativas de danos em estruturas de concreto e fatores de intensidade sugeridos

FATORES DE INTENSIDADE (F_i) SUGERIDOS



Figura 1: corrosão de armadura ($F_i = 2$)



Figura 2: corrosão de armadura ($F_i = 3$)



Figura 3: corrosão de armadura ($F_i = 4$)



Figura 4: desagregação ($F_i = 2$)



Figura 5: deslocamento ($F_i = 2$)



Figura 6: deslocamento ($F_i = 3$)



Figura 7: deslocamento ($F_i = 4$)



Figura 8: eflorescência ($F_i = 2$)



Figura 9: eflorescência ($F_i = 3$)



Figura 10: eflorescência ($F_i = 4$)



Figura 11: falha de concretagem ($F_i = 1$)



Figura 12: falha de concretagem ($F_i = 2$)



Figura 13: falha de concretagem ($F_i = 3$)



Figura 14: falha de concretagem ($F_i = 3$)



Figura 15: falha de concretagem ($F_i = 4$)



Figura 16: manchas ($F_i = 2$)



Figura 17: manchas ($F_i = 3$)



Figura 18: manchas ($F_i = 4$)



Figura 19: sinais de esmagamento do concreto ($F_i = 3$)



Figura 20: sinais de esmagamento do concreto ($F_i = 4$)



Figura 21: flecha ($F_i = 4$)



Figura 22: recalque ($F_i = 4$)



ANEXO 4

Sugestão para ficha descritiva da Obra de Arte Especial



FICHA DESCRITIVA DA OBRA DE ARTE ESPECIAL

Dados básicos			
Nome da OAE:			Data da inspeção: ____/____/____
Cidade mais próxima:			UF: _____
Coordenadas GPS:	Altitude (m):	Latitude (S) (°)	Longitude (W) (°)
Localização (km):			
Natureza da transposição: ☐ Ponte ☐ Viaduto sobre rodovia ☐ Viaduto sobre ferrovia ☐ Passagem Inferior			
Sistema construtivo: ☐ Moldado no local ☐ Pré-moldado ☐ Balanços sucessivos ☐ Outro _____			
Comprimento (m):		Largura (m):	
Classe de Agressividade Ambiental (NBR 6118:2014): ☐ I ☐ II ☐ III ☐ IV			
Projetista:			
Construtor:			
Ano da construção:			
Características da região: ☐ Plana ☐ Ondulada ☐ Montanhosa			
Traçado: ☐ Tangente ☐ Curvo			
Características dos vãos:			
Número de vãos: _____	Descrição dos vãos:		
Responsável pela inspeção:			
Nome:			
Formação:			
Empresa:			