



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

SARA ROCA PIAZZA

**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA PONTE RIO DO
CARMO ATRAVÉS DA FERRAMENTA GUT**

MOSSORÓ

2019

SARA ROCA PIAZZA

**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA PONTE RIO DO
CARMO ATRAVÉS DA FERRAMENTA GUT**

Trabalho final de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal Rural do
Semi-Árido – UFERSA, campus Mossoró
como requisito para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof.^a Esp. Mayara Freitas
Medeiros Araújo

Coorientador: Prof. Me. Francisco Rosendo
Sobrinho

MOSSORÓ

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P584a Piazza, Sara Roca.
Avaliação de manifestações patológicas na ponte
rio do carmo através da ferramenta GUT / Sara
Roca Piazza. - 2019.
55 f. : il.

Orientadora: Mayara Freitas Medeiros Araújo.
Coorientador: Francisco Rosendo Sobrinho.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de --Selecione um
Curso ou Programa--, 2019.

1. Ponte. 2. Vida útil. 3. GUT. 4. Patologia.
I. Freitas Medeiros Araújo, Mayara , orient. II.
Sobrinho, Francisco Rosendo, co-orient. III.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

SARA ROCA PIAZZA

**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA PONTE RIO DO
CARMO ATRAVÉS DA FERRAMENTA GUT**

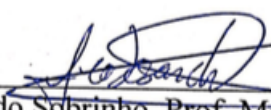
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Defendida em: 13 / 08 / 2019.

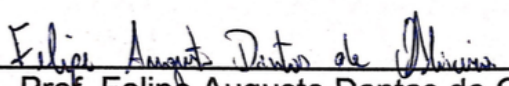
BANCA EXAMINADORA



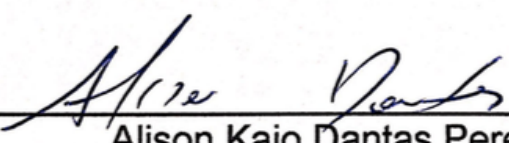
Prof. Mayara de Freitas Medeiros Araújo
Presidente



Francisco Rosendo Sobrinho, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Felipe Augusto Dantas de Oliveira
Membro



Alison Kaio Dantas Pereira
Membro

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por ter iluminado e guiado meus passos durante toda essa caminhada.

À minha família, em especial aos meus pais, que sou e serei sempre grata pelo constante apoio e incentivo ao meu crescimento profissional, sempre lutaram e não mediram esforços na hora de investir nos meus estudos, por todos os ensinamentos, pela educação que foi me dada e por todo amor incondicional.

À minha orientadora, Prof.^a Esp. Mayara Freitas Medeiros Araújo, por ter aceitado o meu convite para me conduzir neste estudo, pela compreensão e paciência demonstrada durante esse período.

Ao meu coorientador, Prof. Me. Francisco Rosendo, por ter acompanhado cada passo da realização desse trabalho, pelo incentivo e pela dedicação do seu tempo em me ajudar.

A Luiz Felipe, meu namorado, por toda paciência, compreensão, apoio e amor.

Às minhas amigas do curso que compartilharam junto comigo todos os desesperos da vida acadêmica, mas acima de tudo que fizeram com que tudo ficasse mais leve, em especial à Lorena e Tamires pela amizade, a qual levarei comigo pra sempre.

Às minhas melhores amigas, Allyne, Marina e Wanessa, pela amizade verdadeira de sempre, pela compreensão nas vezes que eu não pude estar presente fisicamente e por todo apoio ao longo desses anos.

Por fim, a todos que me ajudaram e apoiaram durante a minha formação acadêmica.

Todas as possibilidades de realidade existem simultaneamente e é sua escolha em qual delas você escolhe focalizar sua atenção.

Harry Palmer

RESUMO

As obras de arte necessitam de atividades de inspeção e manutenção para a garantia de uma maior vida útil e de um desempenho estrutural/funcional satisfatório. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o estado de durabilidade da Ponte sob o Rio do Carmo, localizada no km 36 da BR-110, entre o município de Mossoró e Areia Branca, no estado do Rio Grande do Norte, aplicando o Método da Matriz de Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) nas manifestações patológicas identificadas. Para a obtenção de um diagnóstico mais acurado, além de uma inspeção visual, foram realizados ensaios não destrutivos *in loco* em alguns elementos constituintes da ponte, tais como: ensaio de carbonatação; potencial de íons cloreto; ensaio de ultrassom; ensaio de esclerometria. Diante dos resultados obtidos, pôde-se constatar a presença de diversas manifestações patológicas no objeto de estudo. Dessa maneira, foi possível classificar a Ponte em uma estrutura com um alto nível de deterioração, necessitando de um serviço de recuperação.

Palavras-chave: Ponte. Vida útil. GUT. Patologia

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Composição básica dos elementos constituintes de uma ponte.....	13
Figura 02 – Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de construção	17
Figura 03 – Causas físicas da deterioração do concreto	19
Figura 04 – Processo de carbonatação	20
Figura 05 – Corrosão da armadura do concreto	21
Figura 06 – Desagregação do concreto em um pilar	22
Figura 07 – Eflorescência no concreto armado	22
Figura 08 – Ninhos de concretagem em um pilar.....	23
Figura 09 – Fissuras em pilar de concreto do Viaduto Cabral, MG.....	24
Figura 10 – Fluxograma da metodologia GDE/UnB para avaliação do grau de deterioração da estrutura.....	25
Figura 11 – Vista panorâmica da Ponte sobre o Rio do Carmo	29
Figura 12 – Representação dos elementos estruturais ensaiados	30
Figura 13 – Representação ilustrativa onde os ensaios não destrutivos foram realizados	31
Figura 14 – Medição indireta do bloco de coroamento (a); medição semi-direta do bloco de coroamento (b); medição indireta da viga de contraventamento (c) e medição semi-direta da viga de contraventamento (d).....	32
Figura 15 – Medição indireta da laje (a) e medição semi-direta do pilar (b).....	33
Figura 16 – Instrumento ultrassônico e gel condutor	33
Figura 17 – Disco de <i>carborudum</i> e a malha para o ensaio, respectivamente	35
Figura 18 – Esclerômetro sendo aplicado horizontalmente e verticalmente, respectivamente	36
Figura 19 – Curva padrão do fabricante de esclerômetro	37
Figura 20 – Manifestações patológicas presentes no bloco de coroamento	41
Figura 21 – Manifestações patológicas presentes no pilar.....	42
Figura 22 – Viga em um bom estado de conservação	42
Figura 23 – Manifestações patológicas presentes na laje superior.....	43
Figura 24 – Manifestações patológicas presentes na laje inferior.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Critérios adotados para elaboração da Matriz GUT	27
Quadro 02 – Matriz GUT	28
Quadro 03 – Critério utilizado para a avaliação da qualidade do concreto	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Resumo do ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica.....	34
Tabela 02 – Resumo do ensaio de profundidade de carbonatação.....	38
Tabela 03 – Significado da coloração apresentada com o ensaio de íons cloreto.....	39
Tabela 04 – Modelo de Tabela da Matriz Gut	40
Tabela 05 – Resultados obtidos quanto à realização do ensaio de esclerometria	44
Tabela 06 – Resultados obtidos quanto à realização do ensaio de esclerometria	45
Tabela 07 – Resultados obtidos quanto à realização do ensaio de ultrassom	46
Tabela 08 – Resultados obtidos quanto à aplicação do método GUT	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	PONTES.....	13
3.1.1	Elementos estruturais constituintes.....	13
3.2	DURABILIDADE E VIDA ÚTIL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	15
3.2.1	Durabilidade.....	15
3.2.2	Vida útil.....	16
3.3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO .	17
3.3.1	Causas da deterioração das estruturas em concreto armado.....	18
3.3.2	Principais manifestações patológicas.....	19
3.4	METODOLOGIA DE INSPEÇÃO	24
3.4.1	Metodologia GDE/UnB	25
3.4.2	Metodologia da Matriz GUT.....	26
4	METODOLOGIA	29
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	29
4.2	INSPEÇÃO VISUAL DOS ELEMENTOS	30
4.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	30
4.3.1	Ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica.....	32
4.3.2	Ensaio de esclerometria.....	35
4.3.3	Ensaio de profundidade de carbonatação	37
4.3.4	Ensaio de potencial de íons cloreto	39
4.4	METODOLOGIA DA MATRIZ GUT	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
5.1	LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA PONTE.....	41
5.2	ENSAIO DE ESCLEROMETRIA.....	43
5.3	ENSAIO DE PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO	44
5.4	ENSAIO DE POTENCIAL DE ÍONS CLORETO	45
5.5	ENSAIO DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA .	45
5.6	MATRIZ GUT	46

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

Pontes de concreto são consideradas elementos estruturais fundamentais para que rodovias e ferrovias transponham obstáculos naturais ou artificiais, mantendo o fluxo contínuo de cargas e pessoas com menor trajeto (PINHO, 2007).

A maioria das pontes de rodovias federais brasileiras são de concreto armado e têm idade superior a 30 anos, sendo escassas as informações sobre seus materiais constituintes e suas características mecânicas. Muitas delas apresentam sinais perceptíveis de deterioração devido à exposição direta aos agentes agressivos do ambiente e às solicitações estruturais de distintas naturezas e magnitudes (MENDES, MOREIRA & PIMENTA, 2012).

Mesmo com o avanço no estudo das tecnologias utilizadas na construção civil, tem se tornado comum o surgimento de manifestações patológicas em pontes de concreto armado, comprometendo o desempenho, durabilidade e a funcionalidade da estrutura. Para que as manifestações patológicas existentes possam ser eliminadas ou reparadas, é de fundamental importância realizar um estudo detalhado de suas origens (NAZARIO; ZANCAN, 2011).

O recorrente aparecimento de manifestações patológicas em estruturas de pontes tem motivado muitas pesquisas, considerando os prejuízos causados, tanto pela necessidade de interdição como pelos altos custos dos serviços de recuperação (MEDEIROS, 2015).

É nesse contexto, portanto, que este estudo visa contribuir para o conhecimento e informar as condições em que a Ponte sob o Rio do Carmo se encontra atualmente, verificando as manifestações patológicas presentes por meio de inspeção visual, ensaios não destrutivos *in loco*, assim como a aplicação da metodologia GUT.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o estado de durabilidade da Ponte sob o Rio do Carmo aplicando o Método da Matriz de Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) nas manifestações patológicas identificadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as principais manifestações patológicas presentes na ponte em estudo;
- Avaliar o grau de deterioração da ponte realizando ensaios não destrutivos na estrutura;
- Aplicar a metodologia GUT nas manifestações patológicas encontradas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PONTES

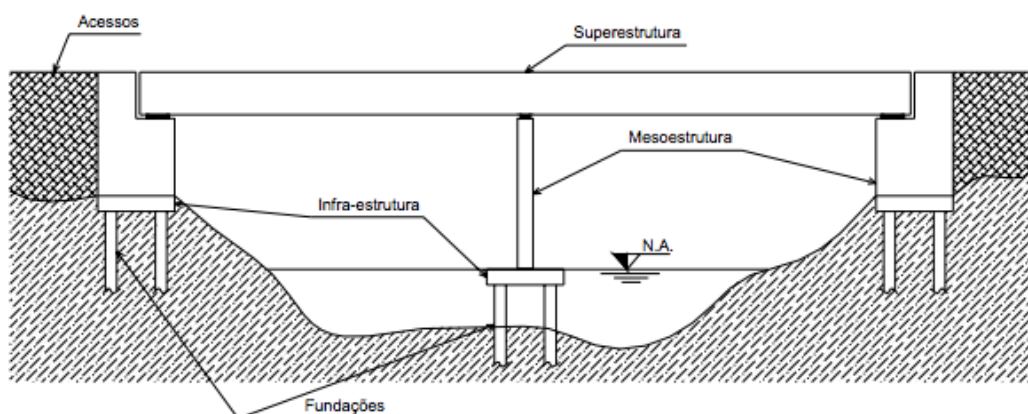
Pode-se definir uma ponte como uma obra destinada a transposição de obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, tais como rios, braços de mar, vales profundos, centros urbanos ou vias expressas (PFEIL, 1979). No caso dessas duas últimas situações, obstáculos que não são constituídos por água, as pontes são denominadas viadutos.

São conhecidas como Obras de Arte Especiais (OAEs) por serem construções de engenharia dotadas de características construtivas, estruturais e funcionais específicas que demandam habilidades técnicas e criativas para seu projeto, execução e manutenção (EL DEBS; TAKEYARA, 2003). Além da importância que representam para o desenvolvimento econômico e social da população.

3.1.1 Elementos estruturais constituintes

Analisando os aspectos estruturais da ponte, a classificação dos elementos constituintes pode variar de acordo com cada autor. Leonhardt (1979) divide a estrutura da ponte em infraestrutura e mesoestrutura. A divisão utilizada neste trabalho é a considerada pelo Manual do DNIT (2016), a qual as pontes em geral encontram-se constituídas por elementos com funções específicas, agrupados em: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, conforme ilustrado na Figura 01.

Figura 01 – Composição básica dos elementos constituintes de uma ponte



Fonte: Mason (1977).

a. Infraestrutura

A infraestrutura também denominada de fundação, é a parte da ponte por meio da qual são transmitidos ao terreno de implantação da obra, rocha ou solo, os esforços recebidos da mesoestrutura (PFEIL, 1979).

A escolha do tipo de fundação (superficial ou profunda) depende de diversos fatores que precisam ser analisados na fase do projeto. Porém, é de fundamental importância o conhecimento do tipo de solo do local onde será executada a obra (VITÓRIO, 2002).

Conforme Vitório (2002), as fundações superficiais ou diretas são utilizadas quando o solo de boa qualidade é encontrado a pequena profundidade, podendo ser do tipo blocos e sapatas.

Blocos: possuem grande altura, dispensando o uso de armadura e deve resistir às tensões de trações nele aplicadas (NBR 6122:1996);

Sapatas: possuem altura menor que o bloco, caracteriza-se pela utilização do concreto armado, sendo as tensões resistidas não mais pelo concreto, mas sim pelo aço nelas contidas (NBR 6122:1996);

Quanto as fundações profundas, são adotadas quando o solo com boa qualidade de suporte está situado a uma profundidade média ou grande. Nas pontes, as estacas e tubulões são as fundações de uso mais correntes. Medeiros (2015) afirma que os tubulões são adotados quando há necessidade de buscar a capacidade de suporte em maiores profundidades.

b. Mesoestrutura

A mesoestrutura corresponde a função de transmitir as cargas da superestrutura para a infraestrutura, e é constituída por aparelhos de apoio, pilares, travessas e vigas de contraventamento (VITÓRIO, 2002).

Os aparelhos de apoio são os elementos colocados entre a infraestrutura e a superestrutura, com a finalidade de transmitir as reações de apoio e a permitir movimentos da superestrutura provocados por variações de temperatura ou outras causas (VITÓRIO, 2002). Na escolha do tipo de aparelho de apoio, é necessário levar em consideração o tipo de material empregado nos próprios aparelhos e no sistema estrutural da ponte (MARCHETTI, 2008).

De acordo com Vitório (2002), os pilares são localizados a cada linha de apoio transversal do tabuleiro. As quantidades de pilares, formas e dimensões dependem de diversos fatores como a altura da obra, a largura da superestrutura e o tipo de fundação.

As travessas são elementos estruturais que junto com os pilares conformam um sistema tipo pórtico. Estes elementos permitem a ligação entre as cabeças dos pilares, transmitindo-lhes as solicitações (cargas), que recebem das vigas de suporte sob o tabuleiro (DNIT, 2016). Alguns pilares podem apresentar vigas de contraventamento, as quais possibilitam menor consumo de material e melhor visibilidade para navegação (MENDES, 2003).

c. Superestrutura

Vitório (2002) afirma que a superestrutura corresponde à parte da obra que vence o vão necessário a ser transporto pela ponte e recebe diretamente as cargas provenientes do tráfego dos veículos, transmitindo-as para a mesoestrutura. Também conhecida como tabuleiro ou estrado, composta de vigamento longitudinal (vigas principais ou longarinas), de vigamento transversal (transversinas) e das lajes superior e inferior.

Os elementos da superestrutura dependem do tipo de seção transversal escolhida. Essa escolha varia de acordo com os tipos de obstáculos, condições de terreno, tipos de tráfego, condições de estética, materiais empregados, tamanho do vão e entre outros (LEONHARD, 1979).

3.2 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

A construção de uma ponte de concreto armado requer rapidez, segurança e durabilidade. Durabilidade a qual pode ser afetada por diversos fatores como, por exemplo: a carência de um detalhe de projeto, falhas nas etapas de construção, falta de fiscalização nos processos de execução e dentre outros que podem originar as manifestações patológicas, afetando em sua vida útil. Nesse contexto, a vida útil e a durabilidade estão associadas e implicam na necessidade do conhecimento das causas dessas deficiências estruturais.

3.2.1 Durabilidade

O conceito de durabilidade do concreto pode ser abordado de diversas formas. A ABNT NBR 6118:2014 define durabilidade como sendo a capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

De acordo com o Comitê Internacional de Estruturas de Concreto Duráveis (CEB-FIB, 1990), as estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e operadas de tal forma que, sob condições ambientais esperadas, elas mantenham sua funcionalidade, segurança e a aparência aceitável durante um período de tempo, seja ele implícito ou explícito, sem necessidade de altos custos para manutenção e reparo.

Esse termo durabilidade pode ser difícil de ser quantificado e usado de maneira correta no dia a dia. Com isto, é de suma importância a introdução do conceito de vida útil como um termo operacional que aborda de forma quantitativa a questão de durabilidade das estruturas (ROSTAM, 1994).

3.2.2 Vida útil

A ABNT NBR 6118:2014, no item 6.2.1, define vida útil de projeto como o período de tempo durante o qual a estrutura de concreto mantém suas características, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais. É importante salientar que cada item de uma estrutura tem o seu específico tempo de vida útil.

Em síntese, a vida útil é o período de tempo compreendido entre o início de operação e uso de uma obra até o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário, sendo diretamente influenciada pelas atividades de manutenção e reparo e pelo ambiente de exposição (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

De forma geral, um material atinge o fim de sua vida útil quando as suas propriedades, sob determinadas condições de uso, tenham sido deterioradas de tal forma que não é recomendável a continuação de sua utilização devido a sua insegurança e por ser antieconômica (METHA; MONTEIRO, 2008).

As estruturas das pontes têm muitas vezes sua vida útil reduzida pelo funcionamento inadequado de componentes específicos como juntas de dilatação, aparelhos de apoio, entre outros. Tais componentes que se transformam em elementos geradores de patologias que aceleram o processo de deterioração estrutural e, como consequência, a diminuição da durabilidade e vida útil da ponte como um todo (VITÓRIO, 2013).

Durante muito tempo, o concreto foi considerado um material extremamente durável, opinião esta baseada em obras muito antigas ainda em bom estado de conservação. Em contrapartida, diagnósticos feitos na maioria das obras de arte da cidade de São Paulo, apontam

para surpreendentes deteriorações precoces. A comparação entre esses diferentes comportamentos das estruturas ao longo dos anos remete aos porquês das patologias do concreto, os quais serão abordados no próximo tópico (BRANDÃO, 1998).

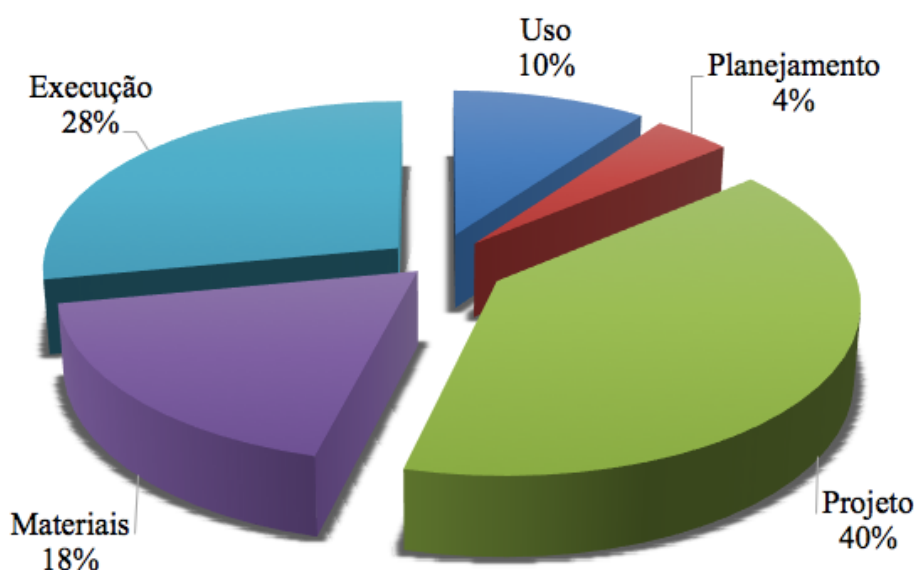
3.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO

O termo Patologia, de origem grega (*páthos*, doença, e *lógos*, estudo), amplamente utilizado nas diversas áreas da ciência, com denominações do objeto de estudo que variam de acordo com o ramo de atividade (SILVA, 2011).

De acordo com Helene (1992), na engenharia a patologia pode ser entendida como a área que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema. Além do diagnóstico, é também conveniente o conhecimento sobre as consequências que o problema causa no comportamento da estrutura, denominado de prognóstico.

Lourenço (2007) afirma que as manifestações patológicas verificadas em pontes de concreto armado têm natureza variada e, quando não tratadas adequadamente comprometem a funcionalidade da estrutura. O desenvolvimento dos problemas patológicos ocorre devido as falhas e incorreções em uma das etapas básicas de construção (concepção/projeto, execução e utilização). A Figura 02 apresenta resultados relacionados com incidências e origens das manifestações patológicas.

Figura 02 – Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de construção



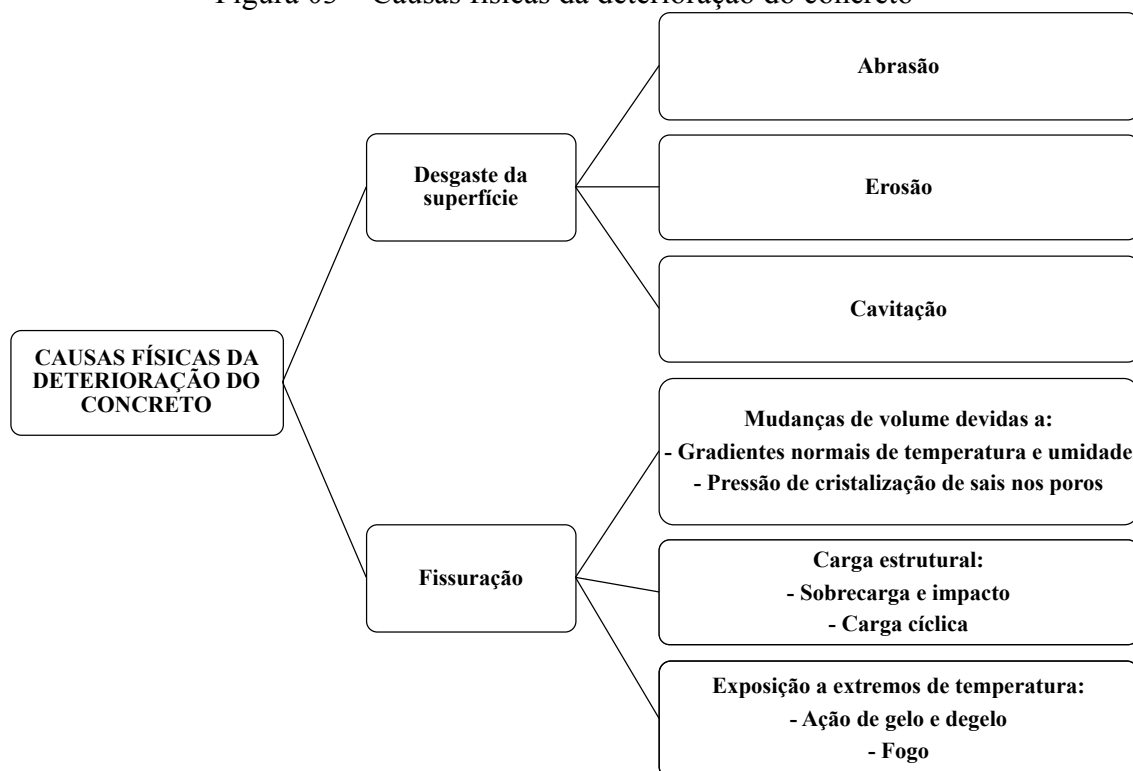
Fonte: Adaptado de Helene (1992).

3.3.1 Causas da deterioração das estruturas em concreto armado

Segundo Andrade e Silva (2005), existe uma diversidade de agentes naturais atuando sob o concreto armado provocando o seu envelhecimento, ou seja, diminuindo o seu desempenho estético, funcional e estrutural. Souza e Ripper (1998), afirma que as causas da deterioração do concreto podem ser: mecânicas, físicas, químicas e biológicas.

As causas mecânicas são relacionadas a manifestações patológicas provocadas por sobrecargas, acidentes e impactos os quais normalmente no dimensionamento da estrutura não haviam sido previstos ou ações superiores àquelas que a estrutura pode suportar, que geralmente resultam em esmagamento e deformações (PADRÃO, 2004). As causas físicas são resultantes da ação da variação da temperatura, da insolação, presença de ventos e água (na forma de chuva, gelo e umidade) ocasionando em desgaste superficial e um quadro de fissuras (SOUZA; RIPPER, 1998). As causas físicas são apresentadas de forma sucinta na Figura 03.

Figura 03 – Causas físicas da deterioração do concreto



Fonte: Adaptado de Metha; Monteiro (1994).

As principais causas responsáveis pela degradação de estruturas de concreto são as de natureza química provocando manifestações patológicas refletidas em carbonatação, eflorescências, corrosão das armaduras, deslocamento e desagregação (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Já as causas biológicas, mais presentes em pontes, são aquelas originadas pelo crescimento de vegetação nas estruturas, cujas raízes penetram principalmente através de pequenas falhas de concretagem, ou pelas fissuras e juntas de dilatação, e o desenvolvimento de organismos (como conchas) e micro-organismos em certas partes da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

3.3.2 Principais manifestações patológicas

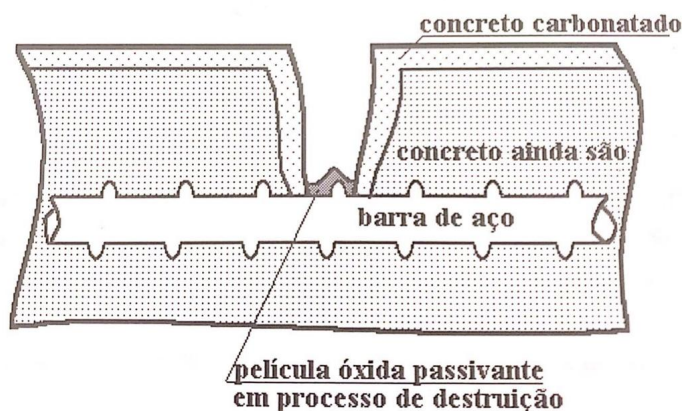
3.3.2.1 Carbonatação

De acordo com Gentil (1987), a carbonatação é uma reação química do anidrido carbônico (CO_2) com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) existente no cimento hidratado. Esta reação converte o Ca(OH)_2 em carbonato de cálcio (CaCO_3), reduzindo o pH do concreto para valores inferiores a 9, como mostra a equação:



O processo de carbonatação é caracterizado pela presença de uma “frente de carbonatação”, a qual define o limite entre duas zonas com pH distintos, uma com pH menos que 9 (zona carbonatada) e outra com pH maior que 12 (zona que não foi carbonatada). Este limite avança da região externa da seção de concreto em direção ao seu interior, de acordo com o aumento de zona carbonatada (CASCUDO, 1997). Na Figura 04 é possível visualizar como ocorre a despassivação da armadura imersa no concreto devido à penetração da frente de carbonatação.

Figura 04 – Processo de carbonatação



Fonte: Souza e Ripper (1998).

Se a carbonatação ficasse restrita a uma espessura inferior à da camada de cobrimento das armaduras, ela poderia ser até benéfica para o concreto, pois aumentaria as suas resistências químicas e mecânicas. Porém, em função da concentração de CO_2 na atmosfera e da porosidade e nível de fissuração do concreto, a carbonatação pode atingir a armadura, quebrando o filme óxido que a protege, corroendo-a (SOUZA; RIPPER, 1998).

3.3.2.2 Corrosão da armadura e do concreto

De maneira geral, a corrosão poderá ser entendida como a deterioração de um material, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 1987).

A corrosão do concreto é puramente química e ocorre devido a reação da pasta de cimento com determinados elementos químicos (sulfatos, cloro, nitratos e entre outros), causando em alguns casos a dissolução do ligante ou a formação de compostos expansivos, que

são fatores deteriorantes do concreto (SOUZA; RIPPER, 1998). Um fato interessante é que água (totalmente pura), como é o caso das águas de chuvas nas pontes, pode atacar o concreto através da infiltração e do acúmulo ao longo do tempo, devido à ausência de pingadeiras e da deficiência das juntas e da drenagem no tabuleiro (VITÓRIO, 2002).

Em oposição ao processo de corrosão do concreto, que é puramente químico, a da armadura é predominantemente eletroquímico. Cascudo (2005) define a corrosão das armaduras, Figura 05, como sendo um processo de deterioração do componente metálico existente no interior da estrutura de concreto, que conseqüentemente alteram as condições no entorno da barra de aço despassivando a armadura e danificando a mesma.

Figura 05 – Corrosão da armadura do concreto



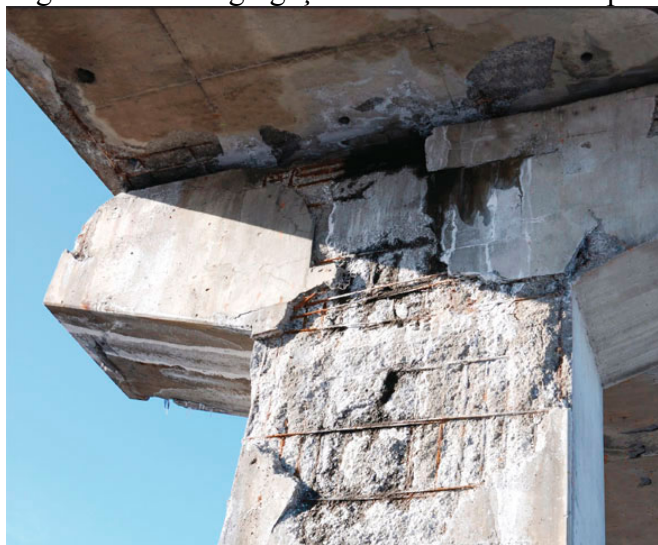
Fonte: Sachs (2015).

3.3.2.3 Desagregação

Vitório (2002) define desagregação como sendo a deterioração, por separação de partes do concreto, provocada pela expansão devido à oxidação ou dilatação das armaduras, e também pelo aumento de volume do concreto quando este absorve água.

Como consequência, tem-se que um elemento estrutural com seções de concreto desagregado perderá, localizada ou globalmente, a capacidade de resistir aos esforços que a solicitam (SOUZA; RIPPER, 1998). A Figura 06 ilustra esse processo de desagregação do concreto em um pilar.

Figura 06 – Desagregação do concreto em um pilar



Fonte: ICZ (2013).

3.3.2.4 Eflorescência

A eflorescência, mostrada na Figura 07, é a formação de depósitos salinos na superfície do concreto, resultante da água de infiltrações ou intempéries (GONÇALVES, 2015). Em relação a eflorescência, Souza (2008) comenta que, ela pode trazer modificações de caráter estético ou agressivo. No primeiro comportamento, ela altera a aparência do elemento em que está depositada e, no segundo, devido aos sais constituintes, pode até causar degradação profunda.

Figura 07 – Eflorescência no concreto armado



Fonte: Tresuno (2010).

3.3.2.5 Ninhos de concretagem

De acordo com Santos (2014), os ninhos de concretagem são vazios deixados na massa de concreto, devido à dificuldade de penetração do mesmo nas formas durante o processo de lançamento e adensamento (FIGURA 08).

Estruturas que apresentam ninhos de concretagem podem sofrer deformações ou até mesmo entrar em colapso, além de estar mais vulnerável a ação de agentes agressivos (BRAUWERS; BANDEIRA; RODRIGUES, 2017).

Figura 08 – Ninhos de concretagem em um pilar



Fonte: Medeiros (2008).

3.3.2.6 Fissuras

As fissuras são manifestações patológicas comuns nas estruturas de concreto e são resultantes da fragilidade do concreto (material não resistente à tração) e que colapsa repentinamente e explosivamente. Alguns fatores são decisivos para a degradação da estrutura como por exemplo: seu número, localização e abertura (CÁNOVAS, 1988).

As pontes de concreto armado, em todo o mundo, comumente apresentam muitas fissuras. Sua origem está relacionada a uma distribuição irregular de tensões no interior da estrutura, embora também possa ser originada a partir da decomposição ou desagregação do concreto (LOURENÇO *et al.*, 2009).

Vitório (2002) complementa afirmando que os efeitos da fissuração nas pontes, na maioria dos casos, apresentam consequências bastante danosas devido à própria natureza das obras, sempre expostas às intempéries e submetidas a carregamentos variáveis (até excessivos) e geralmente carentes de qualquer tipo de manutenção. Na Figura 09, pode-se observar a presença de fissuras em um pilar de concreto armado.

Figura 09 – Fissuras em pilar de concreto do Viaduto Cabral, MG



Fonte: Lourenço (2009).

3.4 METODOLOGIA DE INSPEÇÃO

A avaliação de estruturas de concreto pode ser realizada através de diferentes técnicas para identificar e acompanhar as manifestações patológicas. De acordo com Silva e Monteiro (2016), as metodologias empregadas são de vital importância para a realização desta atividade, a fim de proporcionar mecanismos que permitam a caracterização das anomalias e a proposição de atividades preventivas.

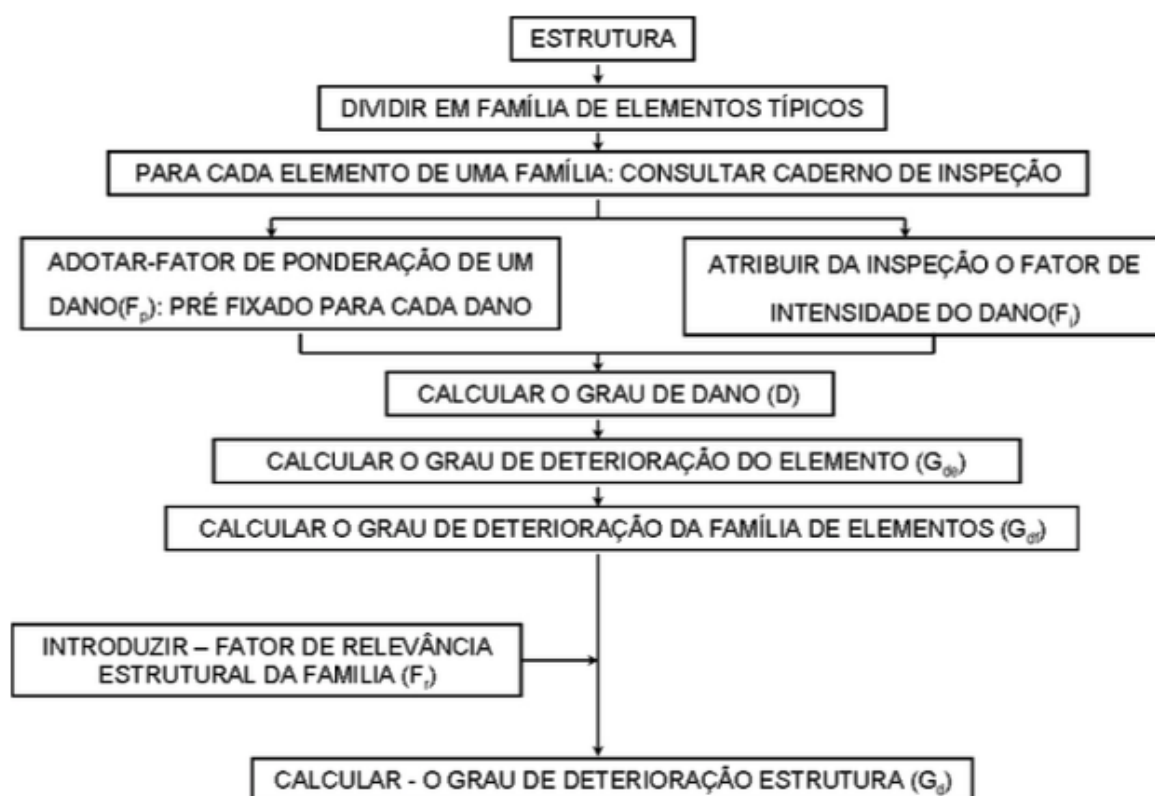
É importante ressaltar as diversas metodologias existentes, como por exemplo: a norma DNIT 010:2004, o ciclo PDCA, a análise FMEA, metodologia GDE/UnB, Matriz GUT e entre outros. Serão descritas em detalhe as duas metodologias de avaliação de estruturas que serão abordadas neste trabalho.

3.4.1 Metodologia GDE/UnB

A metodologia GDE/UnB, desenvolvida por Castro (1994), tem como objetivo avaliar quantitativamente as estruturas de concreto armado convencionais. Desse modo, introduziu conceitos e parâmetros que permitissem quantificar o grau de deterioração de uma estrutura usual e de seus componentes (FONSECA, 2007).

De acordo com Verly (2015), a metodologia é composta por etapas que abrangem atividades de escritório e de campo, sendo que as etapas de campo servem para atribuir valores para os Fatores de intensidade do dano (Fi) e para os Fatores de ponderação de um dano (Fp). A Figura 10 ilustra o fluxograma com os procedimentos a serem seguidos para o cálculo do grau de deterioração da estrutura.

Figura 10 – Fluxograma da metodologia GDE/UnB para avaliação do grau de deterioração da estrutura



Fonte: Boldo (2002).

3.4.2 Metodologia da Matriz GUT

Uma das possíveis ferramentas que pode ser utilizada é a Matriz GUT (Gravidade x Urgência x Tendência) também conhecida como Matriz de Prioridades, a qual auxilia na priorização de resolução de problemas. Essa Matriz foi desenvolvida por dois especialistas em resoluções de questões organizacionais, Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe na década de 1980. O método surgiu a partir da necessidade de resoluções de problemas complexos nas indústrias americanas e japonesas (KEPNER; TREGOE, 1981).

Segundo Meireles (2001), essa ferramenta é aplicável sempre que precisarmos priorizar ações com o objetivo de ordenar a importância das ações a tomar, pela sua gravidade, pela sua urgência e pela sua tendência de forma a, racionalmente, definir a sequência da realização de ações.

A principal vantagem de utilizar o método GUT para fins de gerenciamento de acordo com Periard (2011) é que o auxílio oferecido ao gestor possibilita uma avaliação quantitativa dos problemas que estão sendo avaliados, tornando possível a priorização das ações corretivas e preventivas para extermínio total ou parcial do problema.

Trata-se de uma ferramenta de montagem simples e fácil aplicação, permitindo a alocação de recursos nos tópicos considerados mais importantes, contribuindo para a elaboração de um bom planejamento podendo se adequar em diversas áreas de estudo (SOTILLE, 2014).

Santos (2018) elaborou a Matriz GUT, com a qual se pretende reduzir ao máximo a subjetividade na análise de dados, a qual tem por base as definições que seguem e estão descritas no Quadro 01.

Quadro 01 – Critérios adotados para elaboração da Matriz GUT

GRAVIDADE		
Relacionado à possíveis riscos ou prejuízos aos usuários, ao patrimônio ou meio.		
Extremamente grave	Risco de morte, risco de desabamento/colapso pontual ou generalizado, impacto irrecuperável com perda excessiva do desempenho e funcionalidade, comprometimento irrecuperável da vida útil do sistema causando dano grave à saúde dos usuários ou ao meio ambiente. Prejuízo financeiro muito alto.	5
Muito grave	Risco de ferimento aos usuários, danos reversíveis ao meio ambiente ou à ponte. Impacto recuperável com o comprometimento parcial do desempenho e funcionalidade (vida útil) do sistema que afeta parcialmente a saúde dos usuários ou ao meio ambiente. Prejuízo financeiro alto.	4
Grave	Risco à saúde dos usuários, desconfortos na utilização dos sistemas, deterioração passível de restauração/reparo, podendo provocar perda de funcionalidade. Prejuízo financeiro médio.	3
Pouco grave	Sem risco à integridade física dos usuários, sem risco ao meio ambiente, pequenos incômodos estéticos ou de utilização, pequenas substituições de componentes ou sistemas, reparos de manutenção planejada para recuperação ou prolongamento de vida útil. Prejuízo financeiro pequeno.	2
Sem gravidade	Nenhum risco à saúde, à integridade física dos usuários, ao meio ambiente ou à ponte. Mínima depreciação do patrimônio.	1
URGÊNCIA		
Prazo para intervenção/Tempo máximo para resolver uma situação.		
Emergência	Incidente em ocorrência, intervenção imediata passível de interdição da ponte. Prazo para intervenção: nenhum.	5
Grande urgência	Incidente prestes a ocorrer, intervenção urgente. Prazo para intervenção: urgente.	4
Média	Incidente previsto para breve, intervenção em curto prazo. Prazo para intervenção: o mais cedo possível.	3
Baixa	Indício de incidente futuro, intervenção programada. Prazo para intervenção: pode esperar um pouco.	2
Nenhuma	Incidente imprevisto, indicação de acompanhamento e manutenção programada. Prazo para intervenção: não tem pressa.	1
TENDÊNCIA		
Rumo.		
Extremamente grave	Progressão imediata. Vai piorar rapidamente, pode piorar inesperadamente.	5
Muito grave	Progressão em curto prazo. Vai piorar em pouco tempo.	4
Grave	Progressão em médio prazo. Vai piorar em médio prazo.	3
Pouco grave	Provável progressão em longo prazo. Vai piorar ao longo prazo.	2
Sem gravidade	Não vai progredir. Não vai piorar.	1

Fonte: Adaptado de Santos (2018).

De acordo com Ferreira *et al* (2008) após a atribuição dos valores entre 1 e 5, a cada dimensão da GUT sendo 5 a maior intensidade e o 1 a menor, se monta a matriz GUT. A partir disso, através da multiplicação dos valores obtidos para a matriz, obtém-se os valores para cada problema ou fator de risco (Fator de Risco = $G \times U \times T$) analisado. Quanto maior for esse resultado, mais prioritária será a busca para a solução de risco mostrada no Quadro 02.

Quadro 02 – Matriz GUT

PROBLEMA	G	U	T	TOTAL	PRIORIZAÇÃO
Corrosão da armadura	5	5	4	$(5 \times 5 \times 4) = 100$	1º
Desagregação	4	5	3	$(4 \times 5 \times 3) = 60$	2º
Mancha	3	3	3	$(3 \times 3 \times 3) = 27$	3º

Fonte: Adaptado de Gomes (2006).

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram realizados estudos das manifestações patológicas existentes na Ponte sobre o Rio do Carmo em Mossoró, realizando uma inspeção visual, ensaios não destrutivos *in loco* sem comprometer a segurança da estrutura e aplicar a matriz GUT como método de avaliação.

É importante destacar que se trata de uma pesquisa qualitativa. A seguir apresenta-se a descrição da área de estudo, materiais utilizados e as atividades desenvolvidas para o estudo.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na Ponte sobre o Rio do Carmo (FIGURA 11) com 90 metros de extensão, localizada no km 36 da BR-110, entre o município de Mossoró e Areia Branca, no estado do Rio Grande do Norte. A mesma foi construída no fim da década de 70, em região de elevada classe de agressividade ambiental.

Figura 11 – Vista panorâmica da Ponte sobre o Rio do Carmo



Fonte: Autoria própria (2019).

4.2 INSPEÇÃO VISUAL DOS ELEMENTOS

De início, foi executada uma inspeção visual de caráter prévio com o intuito de identificar as manifestações patológicas presentes na estrutura da ponte através de registros fotográficos.

A partir disto foi possível determinar os elementos estruturais que seriam estudados, de maneira mais detalhada, com a realização de ensaios não destrutivos visando à obtenção de um maior respaldo das condições atuais da ponte, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Representação dos elementos estruturais ensaiados



Fonte: Autoria própria (2019).

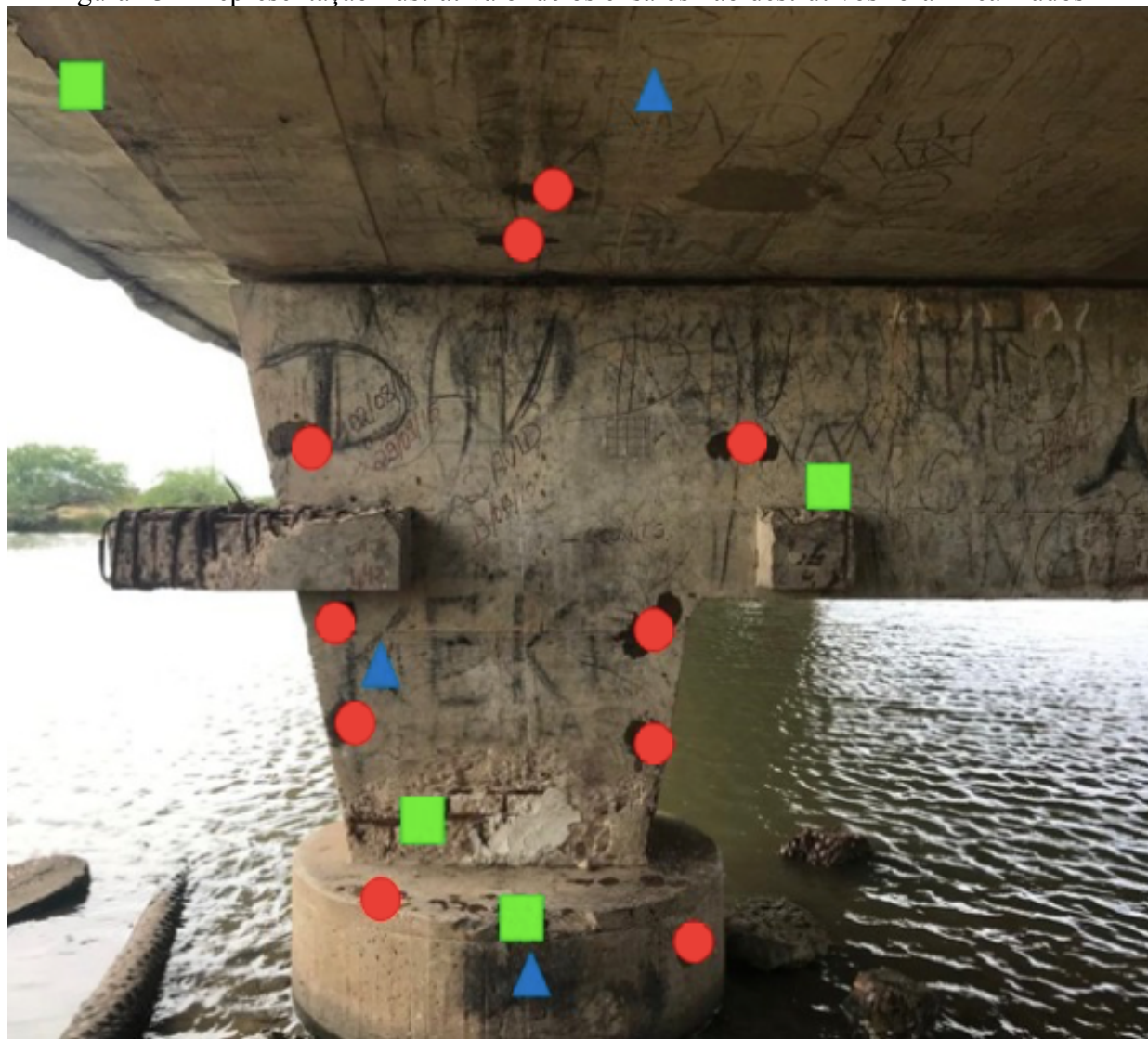
4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesta etapa, foram realizados ensaios experimentais *in loco* de natureza não destrutiva os quais foram selecionados em função da disponibilidade de aparelhos e das características a serem estudados, como: carbonatação, potencial de íons cloreto, ultrassom e esclerometria.

A escolha dos elementos estruturais a serem avaliados experimentalmente se deu basicamente pelo quesito acesso, uma vez que os outros elementos estavam localizados em uma

área onde se fazia presente o fluxo do Rio do Carmo. A Figura 13 destaca a localização onde cada ensaio foi realizado.

Figura 13 – Representação ilustrativa onde os ensaios não destrutivos foram realizados



▲ Ensaio de esclerometria

■ Ensaio de profundidade de carbonatação e potencial de íons cloreto

● Ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica

Fonte: Autoria própria (2019).

4.3.1 Ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica

O ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica é normatizado pela NBR 8802:2019, a qual afirma que este ensaio consiste na avaliação de velocidade de propagação de ondas, obtidas por pulsos ultrassônicos, através de dois pontos estabelecidos. O aparelho de ultrassom é responsável por fornecer o tempo em que o pulso leva de um ponto ao outro, a distância entre os dois pontos e a partir disso a velocidade da onda é obtida.

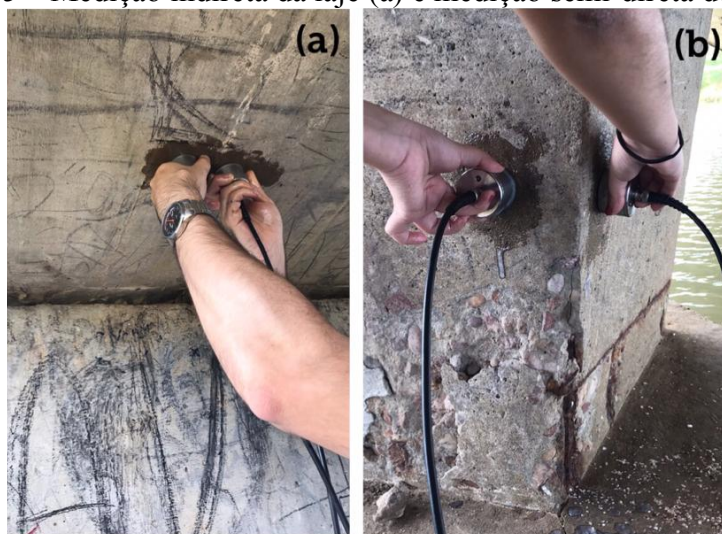
Antes de iniciar a leitura do ultrassom deve-se decidir a distância entre os transdutores e a sua posição, essa última podendo ser de forma direta, semi-direta ou indireta. No caso desse trabalho as medições foram feitas da seguinte maneira: bloco de coroamento e viga de contraventamento foram por medição indireta e semi-direta (FIGURA 14); a laje foi por medição indireta (FIGURA 15a); enquanto que o pilar foi apenas por medição semi-direta (FIGURA 15b).

Figura 14 – Medição indireta do bloco de coroamento (a); medição semi-direta do bloco de coroamento (b); medição indireta da viga de contraventamento (c) e medição semi-direta da viga de contraventamento (d)



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 15 – Medição indireta da laje (a) e medição semi-direta do pilar (b)



Fonte: Autoria própria (2019).

Para a realização do ensaio foram utilizados: instrumento ultrassônico Pundit Lab da marca Proceq e gel condutor da Mercur, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Instrumento ultrassônico e gel condutor



Fonte: Autoria própria (2019).

Na hora da execução do ensaio foi realizado os seguintes passos:

- Aplicar uma fina camada do gel de acoplamento nos transdutores e na superfície em teste;
- Posicionar os transdutores de forma direta, semi-direta ou indireta;
- Efetuar a medição do aparelho;

- Registro dos resultados.

Vale ressaltar que antes de tudo é necessário fazer uma regularização da superfície e calibrar o equipamento, essa calibragem é feita utilizando a barra de referência conforme a indicação do fabricante.

Para todas as medições, foram utilizados valores fixos da frequência de transmissão/recepção (f) e da tensão de excitação (V). Um resumo deste ensaio é apresentado na Tabela 01.

Tabela 01 – Resumo do ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica

Valores fixos:	Frequência (f): Tensão de excitação (V):	f = 54kHz V= 350 V
Elemento estrutural	Tipo de medição	Quantidade de ensaios
Bloco de coroamento	Indireta	1
	Semi-direta	1
Laje	Indireta	2
Pilar	Semi-direta	4
Viga	Indireta	1
	Semi-direta	1
Total		10

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir das velocidades de propagação da onda ultrassônica pôde-se avaliar a qualidade e homogeneidade do concreto, utilizando o critério exposto no Quadro 03.

Quadro 03 – Critério utilizado para a avaliação da qualidade do concreto

Velocidade de propagação linear (m/s)	Qualidade do concreto
$V > 4500$	Excelente
$3500 < V < 4500$	Ótimo
$3000 < V < 3500$	Bom
$2000 < V < 3000$	Regular
$V < 2000$	Ruim

Fonte: Adaptado de Cánovas (1988).

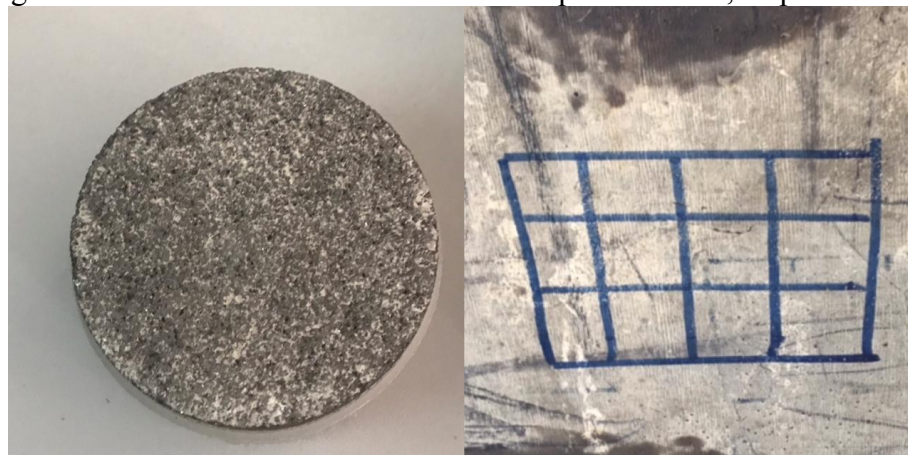
4.3.2 Ensaio de esclerometria

De acordo com a ABNT NBR 7584:2012 o ensaio de esclerometria mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido. O instrumento utilizado neste ensaio é chamado de esclerômetro de reflexão, o qual consiste em uma massa-martelo que, impulsionada por uma mola, choca-se com a área a ser ensaiada e registra um valor numérico, chamado de índice de reflexão. De acordo com Sahuinco (2011) é possível correlacionar o índice de reflexão com a resistência a compressão do concreto por meio de tabelas e curvas fornecidas pelos fabricantes, para a obtenção da resistência do concreto.

Existem vários tipos de esclerômetros, para este estudo foi utilizado o da empresa Controls, modelo 58 – CO181/N com energia de percussão igual a 2,25 N.m.

Antes de iniciar o ensaio deve-se preparar as áreas dos elementos estruturais a serem ensaiados com um disco de carborundum, limpar a poeira com o auxílio de um pincel e delimitar a área onde será desenhada a malha que o esclerômetro vai ser aplicado. A Figura 17 apresenta o disco de *carborudum* e a malha realizada em um dos elementos estruturais ensaiados.

Figura 17 – Disco de *carborudum* e a malha para o ensaio, respectivamente



Fonte: Autoria própria (2019).

Cada malha tinha uma área de 300cm², sendo demarcados 12 pontos de aplicação com uma distância de 5 cm entre os eixos de cada ponto. Com relação a aplicação do equipamento, o esclerômetro de reflexão foi aplicado horizontalmente nos pilares e verticalmente nas lajes (FIGURA 18).

Figura 18 – Esclerômetro sendo aplicado horizontalmente e verticalmente, respectivamente



Fonte: Autoria própria (2019).

Após realizar as leituras do esclerômetro em cada malha, foi calculada a média aritmética destes valores e desprezados, caso necessário, os valores afastados em mais de 10% da média obtida. Caso fosse feito o descarte de um ou mais valores, uma nova média era calculada com os valores restantes e repetia-se o processo até que só restassem valores válidos. Deve-se ressaltar que o ensaio na malha era considerado válido se houvesse pelo menos 5 valores individuais. Uma vez obtido o valor do índice esclerométrico médio (I_E) o qual refere-se ao valor da última média obtida, calculava-se o valor do índice esclerométrico médio efetivo pela equação:

$$I_{E\alpha} = k * I_E \quad (2)$$

em que:

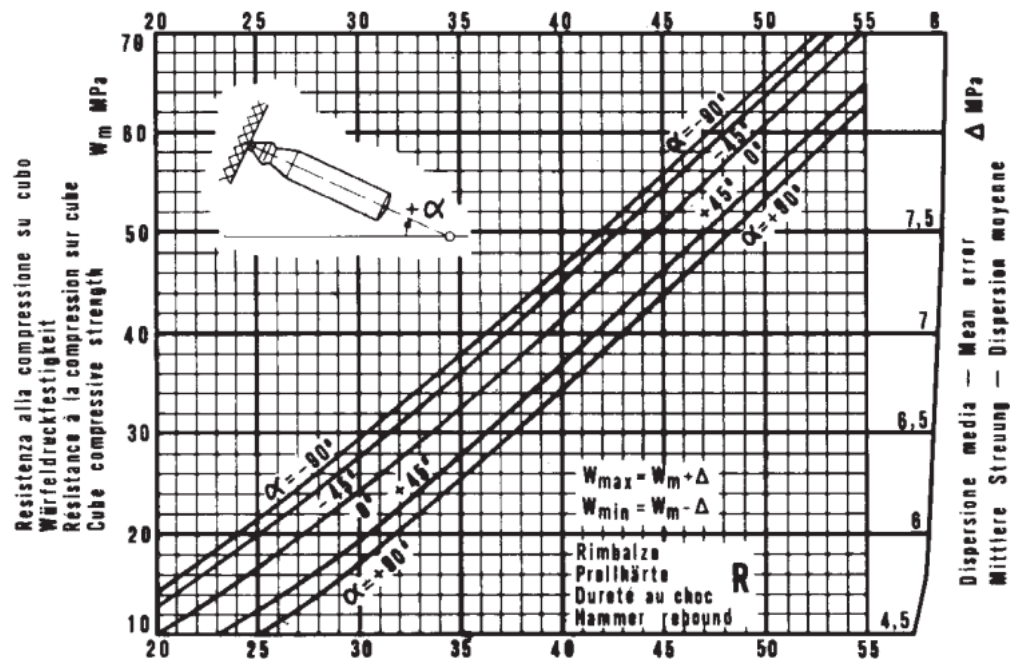
$I_{E\alpha}$ é o índice esclerométrico médio efetivo;

k é o coeficiente de correção do índice esclerométrico fornecido no aparelho;

I_E é o índice esclerométrico médio.

Com o valor do índice esclerométrico médio efetivo, determina-se a resistência característica a compressão do concreto (f_{ck}) com o auxílio da curva padrão do fabricante, existente no manual de instrução do aparelho, representada na Figura 19.

Figura 19 – Curva padrão do fabricante de esclerômetro



Fonte: Adaptado do manual Controls (2019).

4.3.3 Ensaio de profundidade de carbonatação

Para o ensaio de profundidade de carbonatação foram seguidas as recomendações da RILEM CPC-18 (1988). Este ensaio consiste basicamente em utilizar um borrifador para molhar a superfície do concreto com uma solução química de fenolftaleína, diluída em 1% de álcool etílico.

As áreas de ensaio dos elementos avaliados foram as que estavam mais expostas ao meio ambiente e cujo grau de exposição era o mais elevado. A Tabela 02 descreve as áreas selecionadas para a realização do presente ensaio.

Tabela 02 – Resumo do ensaio de profundidade de carbonatação

Elemento estrutural	Condição de exposição	Local de aspersão da fenolftaleína	Tamanho da malha (cm)
Bloco de coroamento	Variável entre seca e úmida	Superfície do concreto	10x10
Laje	Seca	Concreto deteriorado com armadura exposta	30x15
Pilar	Seca	Concreto deteriorado com armadura exposta	30x15

Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com Andrade (1992), a carbonatação é verificada pela coloração do concreto: incolor em região com pH inferior a 8,3; vermelho-carmim em região com pH superior a 9,5; rosa a vermelho-carmim em região com pH entre 8,0 e 9,5. Em síntese, uma região incolor significa que é uma região carbonatada.

As medições da frente de carbonatação (região incolor) foram realizadas com o auxílio de um paquímetro digital graduado em milímetro após 10 minutos da aspersão da fenolftaleína nos elementos estruturais a serem avaliados.

Em seguida, com todas as medições realizadas, foi calculada a estimativa do coeficiente de carbonatação conforme o modelo de Tuutti, apresentado em 1982. De acordo com Carmona (2005), este modelo parte da interpretação da lei de Fick e estabelece uma relação entre o nível de degradação devido à corrosão das armaduras e o tempo, expressa na equação:

$$E_{CO_2} = K_{CO_2} \sqrt{T} \quad (3)$$

em que:

E_{CO_2} é a espessura da camada de concreto carbonatado (mm);

K_{CO_2} é o coeficiente de carbonatação (mm/ano^{1/2});

T é o tempo (anos).

4.3.4 Ensaio de potencial de íons cloreto

Este ensaio é responsável pela determinação da profundidade da frente de penetração de íons cloreto presentes no concreto. A superfície do concreto é molhada com uma solução de nitrato de prata, ocorrendo uma reação fotoquímica.

Neste ensaio de potencial de íons de cloreto, após aspergir o nitrato de prata na superfície do elemento estrutural a ser ensaiado, identifica-se uma coloração diferente. Coloração essa que de acordo com a norma italiana UNI 7928:1978 serve como um critério adotado para avaliação de cloretos livres e combinados, conforme mostra a Tabela 03.

Tabela 03 – Significado da coloração apresentada com o ensaio de íons cloreto

Coloração da superfície de ensaio	Designação
Branca	Presença de cloretos livres
Marrom	Ausência de cloretos livres

Fonte: Adaptado de França (2011).

Em seguida, as medições foram realizadas com o auxílio de um paquímetro digital graduado em milímetro após 10 minutos da aspersão do nitrato de prata nos elementos estruturais a serem avaliados.

4.4 METODOLOGIA DA MATRIZ GUT

Uma vez conhecidas as manifestações patológicas, fez-se um levantamento das anomalias presentes e em seguida foi aplicada a ferramenta GUT, explicada detalhadamente no item 3.4.1.

Anteriormente à aplicação do método GUT, as manifestações patológicas foram divididas em grupo: corrosão de armaduras, desagregação do concreto, manchas, eflorescência e fissuras. Cada grupo representa o tipo de manifestação patológica observada durante a inspeção visual *in loco*. Uma vez que são as mesmas manifestações apresentadas nos diversos elementos estruturais, procedeu-se uma divisão em subgrupos, de acordo com a localização da anomalia. Esses dados foram preenchidos na Tabela 04, na qual foi possível uma melhor visualização das informações obtidas.

Tabela 04 – Modelo de Tabela da Matriz Gut

Manifestação Patológica			G	U	T	GUT	Grau de priorização
Grupo	Subgrupo						
Corrosão de armadura	Infraestrutura	Bloco de coroamento	X	X	X	X	X
	Mesoestrutura	Pilar	X	X	X	X	X
		Viga	X	X	X	X	X
	Superestrutura	Laje	X	X	X	X	X

Fonte: Autoria própria (2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA PONTE

Nesta etapa são apresentadas e discutidas algumas manifestações patológicas encontradas na infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, durante a inspeção visual realizada *in loco*.

No bloco de coroamento, localizado na infraestrutura, notou-se a presença de fissuras e possíveis falhas de concretagem, ilustradas na Figura 20. Assim como, eflorescências e uma significativa desagregação de concreto. Também manchas escuras, sendo consideradas manchas de umidade ocasionadas pela ascensão da água.

Figura 20 – Manifestações patológicas presentes no bloco de coroamento



Fonte: Autoria própria (2019).

No caso da mesoestrutura, os aparelhos de apoio, pilares e as vigas de contraventamento foram analisados. A Figura 21 mostra que os pilares apresentaram um estado de conservação crítico, com as armaduras expostas e corroídas, desagregação de concreto e fissuras. Porém, observou-se que apesar do alto grau de deterioração dos pilares, isso só ocorria na parte inferior e mais externa da seção, no restante, o concreto se apresentava em boas condições, sem indícios de manifestações patológicas.

Figura 21 – Manifestações patológicas presentes no pilar



Fonte: Autoria própria (2019).

De forma geral, as vigas de contraventamento (FIGURA 22), apresentaram aparentemente um bom estado de conservação. Constatou-se apenas algumas manifestações patológicas como falhas de concretagem, baixa incidência de manchas e pequenas fissuras.

Figura 22 – Viga em um bom estado de conservação



Fonte: Autoria própria (2019).

Quanto as lajes, parte da superestrutura, verificaram-se as manifestações patológicas supracitadas. Na Figura 23 é possível visualizar a laje superior apresentando manchas de umidade, eflorescências com formação de estalactites, deslocamento e desagregação de concreto.

Figura 23 – Manifestações patológicas presentes na laje superior



Fonte: Autoria própria (2019).

Na laje inferior foram encontradas anomalias semelhantes às encontradas na laje superior, como manchas, eflorescências, deslocamento e desagregação do concreto, porém em condições mais precárias, como pode ser observado na Figura 24.

Figura 24 – Manifestações patológicas presentes na laje inferior



Fonte: Autoria própria (2019).

5.2 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

A Tabela 05 apresenta os resultados obtidos após a realização do ensaio de esclerometria, descrito no item 4.3.2, em termos de índice esclerométrico médio, índice

esclerométrico médio efetivo e a partir disso os valores foram analisados estatisticamente através de desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 05 – Resultados obtidos quanto à realização do ensaio de esclerometria

Elemento estrutural	Índice esclerométrico médio (MPa)	Índice esclerométrico médio efetivo (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
Bloco de coroamento	29,25	29,83	1,17	4,01
Laje	45,73	46,64	3,71	8,11

Fonte: Autoria própria (2019).

Como pode-se verificar na Tabela 05, o índice esclerométrico médio efetivo do bloco de coroamento e da laje foi de 29,83 MPa e 46,64 MPa resultando em uma resistência característica a compressão do concreto (f_{ck}) de 26 MPa e 46 MPa, respectivamente.

Em relação ao pilar não foi possível obter os resultados da resistência pois os índices esclerométricos foram muito diferentes ao longo da seção e de acordo com a norma NBR 7584:2012, se faz necessário ter no mínimo cinco valores dentro da média real.

Em termos da resistência a compressão do concreto, verificou-se que os valores foram superiores ao determinado no projeto estrutural da obra, o qual exigia um f_{ck} do concreto de no mínimo 25 MPa, indicando uma boa resistência do concreto em questão.

No âmbito do coeficiente de variação, de acordo com a norma britânica BS 1881: *Part 202* (1986), os concretos apresentam geralmente coeficiente de variação de 10%. Os valores obtidos com o ensaio foram de 4,01% e 8,11%, vale ressaltar que a norma comenta que o coeficiente de variação diminui com o aumento da resistência do concreto, ou seja, o concreto pode ser considerado homogêneo e de boa qualidade.

5.3 ENSAIO DE PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

Um ponto importante a ser considerado neste ensaio, diz respeito ao fato de não ter sido permitido extrair uma pequena camada de cobrimento da superfície do elemento. Em consequência disso, o ensaio foi realizado em locais cuja armadura estava exposta há muito tempo, não sendo possível a medição da frente de carbonatação.

Assim sendo, permite-se considerar que os elementos estruturais estão carbonatados uma vez que não apresentaram mudanças de cor no concreto após borrifar a fenolftaleína.

5.4 ENSAIO DE POTENCIAL DE ÍONS CLORETO

A Tabela 06 apresenta os resultados obtidos após a realização deste ensaio, abordando os elementos estudados, a coloração apresentada e as verificações das três profundidades de íons cloreto em cada uma das peças estruturais.

Tabela 06 – Resultados obtidos quanto à realização do ensaio de esclerometria

Elemento estrutural	Coloração da superfície de ensaio	Tamanho da malha (mm)	Profundidade de íons cloreto (mm)
Bloco de coroamento	Branca	50x100	14,11
			18,53
			27,21
Laje	Branca	100x100	2,44
			6,73
			8,07
Pilar	Branca	100x100	4,89
			8,32
			13,42

Fonte: Autoria própria (2019).

Como mostrado na Tabela 06, na Ponte em estudo verificou-se um precipitado branco em todas as peças ensaiadas, indicando a presença de cloretos livres no concreto.

Nota-se ainda que os maiores valores de profundidade de íons cloreto foram observados no bloco de coroamento: 14,11, 18,53 e 27,21 milímetros. Diante do exposto, é importante destacar o fato de ser um elemento estrutural localizado em um ambiente com alta taxa de salinidade e contato direto com o Rio do Carmo, justificando os valores mais acentuados de teor de cloretos na superfície da estrutura.

5.5 ENSAIO DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA

O ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica foi realizado no bloco de coroamento, laje, pilar e viga. Na Tabela 07 encontram-se os resultados obtidos.

Tabela 07 – Resultados obtidos quanto à realização do ensaio de ultrassom

Elemento estrutural	Tipo de medição	Tempo (μs)	Velocidade (m/s)	Velocidade média (m/s)
Bloco de coroamento	Indireta	57,0	3508	3971
	Semi-direta	26,9	4434	
Laje	Indireta	44,5	3906	3700
		51,2	3494	
Pilar	Semi-direta	39,5	4733	3919,25
		96,5	2072	
		22,9	5063	
		52,5	3809	
Viga	Indireta	62,6	3210	3494,5
	Semi-direta	29,5	3779	

Fonte: Autoria própria (2019).

Diante dos resultados expostos e analisando a qualidade do concreto de acordo com o critério de avaliação, mostrado no Quadro 03, constata-se que de um modo geral o concreto da Ponte pode ser considerado de ótima qualidade.

Este resultado pode ser considerado questionável, devido à maneira em que foram realizadas as leituras (forma indireta e semi-direta). Visto que, o manual do aparelho assegura a transmissão máxima do sinal entre os transdutores e uma maior acurácia no caso de medição direta.

5.6 MATRIZ GUT

A Tabela 08 apresenta a divisão das manifestações patológicas encontradas na Ponte e suas respectivas localidades, além dos valores dos parâmetros GUT adotados de acordo com o que foi descrito no Quadro 01 do item 3.4.2, bem como a pontuação final e o grau de priorização. Nas situações em que algumas manifestações patológicas obtiveram o mesmo número GUT, o critério adotado para indicar a priorização foi em relação ao grau de acentuação da manifestação patológica presente, bem como sua influência no risco de segurança da Ponte.

Tabela 08 – Resultados obtidos quanto à aplicação do método GUT

Manifestação Patológica			G	U	T	GUT	Grau de priorização
Grupo	Subgrupo						
Corrosão de armadura	Infraestrutura	Bloco de coroamento	1	1	2	2	16°
	Mesoestrutura	Pilar	3	3	3	27	2°
		Viga	2	3	3	18	5°
	Superestrutura	Laje	4	4	4	64	1°
Desagregação do concreto	Infraestrutura	Bloco de coroamento	2	2	3	12	9°
	Mesoestrutura	Pilar	2	2	3	12	8°
		Viga	1	2	3	6	14°
	Superestrutura	Laje	3	3	3	27	3°
Eflorescência	Infraestrutura	Bloco de coroamento	3	2	2	12	12°
	Mesoestrutura	Pilar	1	1	2	2	17°
		Viga	1	1	2	2	19°
	Superestrutura	Laje	4	2	2	16	7°
Manchas	Infraestrutura	Bloco de coroamento	2	2	3	12	11°
	Mesoestrutura	Pilar	1	1	2	2	18°
		Viga	1	1	2	2	20°
	Superestrutura	Laje	3	2	3	18	6°
Trincas e fissuras	Infraestrutura	Bloco de coroamento	2	2	2	8	13°
	Mesoestrutura	Pilar	3	3	3	27	4°
		Viga	1	2	2	4	15°
	Superestrutura	Laje	2	3	2	12	10°

Fonte: Autoria Própria (2019).

Da análise da Tabela 08, dos elementos estruturais constituintes da Ponte, o que apresenta a maior pontuação GUT é a laje com pontuação 64, a qual indica uma maior necessidade de reparo neste elemento. O resultado é coerente com o que foi visto durante a

inspeção visual *in loco*, uma vez que as lajes apresentaram corrosões acentuadas nas armaduras, bem como a perda relevante de seção, causando um comprometimento parcial da vida útil da mesma e um prejuízo financeiro elevado.

Enquanto que, a mesoestrutura (pilar e viga) obteve um baixo número GUT, revelando que o reparo destas peças pode ser postergado em relação aos outros elementos. Isto se deve as pequenas manifestações patológicas presentes e com baixa relevância quando comparadas as outras.

Em virtude disto, é importante ressaltar a pesquisa realizada por Medeiros (2015), a qual avaliou o mesmo objeto de estudo, porém utilizando uma metodologia diferente: GDE/UnB, conforme foi descrita no item 3.4.1. Dentre os elementos analisados pôde-se constatar que a laje era a mais agravada e, por conseguinte apresentou uma classificação de deterioração em nível crítico. Em contrapartida, verificou-se que a mesoestrutura se encontrava em bom estado de conservação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o estudo realizado na Ponte sobre o Rio do Carmo a fim de avaliar as manifestações patológicas existentes, observou-se que:

- Foi possível identificar diversas manifestações patológicas em todos os elementos constituintes, entre elas vale salientar a incidência de: corrosão de armadura; desagregação do concreto; eflorescência; manchas; fissuras. Em alguns casos, as manifestações foram mais protuberantes, como na superestrutura.
- Os ensaios não destrutivos realizados contribuíram para a obtenção de um diagnóstico mais acurado, possibilitando classificar a Ponte em uma estrutura com um alto nível de deterioração, necessitando de um serviço de recuperação. No entanto, vale destacar que aparentemente não há indícios de instabilidade da estrutura.
- Em relação a metodologia GUT, pôde-se constatar a sua aplicabilidade, sendo possível atribuir uma ordem de prioridade de resolução das manifestações patológicas presentes. Ressalva-se que a aplicação deste método revelou ser de grande utilidade para a otimização do processo de manutenção da estrutura, permitindo o direcionamento de recursos para aspectos importantes, evitando custos com reparos irrisórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: PINI, 1992.

ANDRADE, T.; SILVA, A.J.C. **Patologia das Estruturas**. In: ISAÍÁ, G.C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações – São Paulo: IBRACON, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7584**: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8802**: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2019.

BRITISH STANDARD. **BS 1881**: Part 202. Testing concrete: Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer. British Standards Institution. London, 1986.

BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do exército brasileiro**. 2002. 312 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2002.

BRANDÃO, A.M.S. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado**: aspectos relativos ao projeto. 1998. 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Paulo da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1998.

BRAUWERS, R.W.; BANDEIRA, F.I.; RODRIGUES, P.C. **Patologias e a relação com a durabilidade das estruturas de concreto armado**. In: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 25., 2017, Ijuí.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988.

CARMONA, T. G. **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação**. 2005. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2005.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: inspeção e técnicas eletroquímicas. Goiânia: UFG, 1997.

CASCUDO, O. **Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto com problemas de corrosão da armadura**. In: ISAÍÁ, G.C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações – São Paulo: IBRACON, 2005.

CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado**. 1994. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 1994.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON (CEB). **CEB-FIP Model Code 1990 Design Code**. CEB Bulletin D'Information, 1993.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Manutenção de Obras de Arte Especiais – OAEs**. Brasília D.F, 2016.

FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção**. 2007. 231 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1987.

GOMES, L.G.S. Reavaliação e melhoria dos processos de beneficiamento de não tecidos com base em reclamações de clientes. **Revista da FAE**, Curitiba, v.9, n.1, p. 35-50, jan./jun. 2006.

GONÇALVES, E. A.B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. 174 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

KEPNER, C.H.; TREGOE, B.B. **O administrador racional**. São Paulo: Atlas, 1981.

LEONHARDT, F. **Construções de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

LOURENÇO, L.C. **Análise de corrosão em estruturas de pontes metálicas e de concreto armado**. 2007. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico – UFF, Niterói, 2007.

LOURENÇO, L.C. *et al.* **Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais**. 2009. 14 p. Artigo (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, 2009.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Blucher, 2008.

MASON, J. **Pontes em concreto armado e protendido**. Rio de Janeiro: LTC, 1977.

MEDEIROS, A.G. **Análise de durabilidade da Ponte do Rio do Carmo utilizando ensaios não destrutivos, norma DNIT e a metodologia GDE/UNB**. 2015. 165 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2015.

MEIRELES, M. **Ferramentas Administrativas para Identificar, Observar e Analisar Problemas**. São Paulo: Art & Ciência, 2001.

MENDES, L.C. **Pontes**. Rio de Janeiro: EDUFF, 2003.

MENDES, P.T.C., MOREIRA, M. L. T., & PIMENTA, P.M. **Pontes de concreto armado: efeitos da corrosão e da variação do módulo de elasticidade do concreto**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, vol.5, n.3. São Paulo, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

NAZARIO, Daniel; ZANCAN, Evelise C. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde**. Santa Catarina, 2011.

PERIARD, G. **Matriz GUT - Guia completo**. 2011. Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>>. Acesso em: 08 jun. 2019.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**. Rio de Janeiro: LTC, 1979.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C.A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, v.1, n.1, p. 93-111, out. 2013.

RILEM CPC-18. **Measurement of hardened concrete carbonation depth**. Rilem Technical Committees, 1988.

ROSTAM, S. **Design concepts for durability and performance**. In: ADVANCED STUDIES ON STRUCTURAL CONCRETE. Lisboa: CEB Bulletin D'Information, 1994.

SANTOS, G.V. **Patologias devido ao recalque diferencial em fundações**. 2014. 111p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do UniCEUB – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014.

SANTOS, L.R.R. **Inspeção predial de um residencial multifamiliar**. Caraúbas, 2018.

SILVA, F.A.S. **Avaliação do teor de íons cloreto no ar atmosférico da praia do futuro em Fortaleza/CE**. 2011. 71p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza 2011.

SOTILLE, M. A. **A ferramenta GUT – Gravidade, Urgência e Tendência**. PM Tech Capacitação e Projetos. 2014. Disponível em: < <https://www.pmtech.com.br/PMP/Dicas%20PMP%20-%20Matriz%20GUT.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2019.

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

SOUZA, M.F. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações**. 2008. 64p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Construção Civil) – Escola de Engenharia da UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

UNI 7928. **Determination of chloride ion penetration.** Italian Standard 7928. Roma, 1978.

VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais.** 2015. 198 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2015.

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

VITÓRIO, J. A. P.; BARROS, R.M.M.C. **Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no Brasil.** Anais do 3º Congresso Nacional Sobre Segurança e Conservação de Pontes, Porto, Portugal. 2013.