



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

IANY VANESSA COSTA DA SILVA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES
DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE
ANGICOS/RN**

ANGICOS/RN

2022

IANY VANESSA COSTA DA SILVA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES
DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE
ANGICOS/RN**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Andreza Kelly Costa Nobrega Dos Santos

ANGICOS/RN

2022

© 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 tomar-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.

S586m Silva, Iany Vanessa Costa da.
Manifestações patológicas em pontes de concreto
armado: estudo de caso no município de Angicos/RN
/ Iany Vanessa Costa da Silva. - 2022.
62 f. : il.

Orientador: Andreza Kelly Costa Nobrega Dos
Santos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Obras de arte especiais. 2. Pontes. 3.
Concreto armado. 4. Construção civil. 5.
Manifestações patológicas. I. Santos, Andreza Kelly
Costa Nobrega Dos, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

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.

IANY VANESSA COSTA DA SILVA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES
DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE
ANGICOS/RN**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 25/11/2022.

BANCA EXAMINADORA

Andreza Kelly Costa Nobrega Dos Santos, Prof(a). Dr(a). (UFERSA/Campus Angicos)
Presidente

Marcilio Luis Viana Correia, Prof. Me. (UFERSA/Campus Angicos)
Membro Examinador

Valquiria Melo Souza Correia, Prof(a). Dr(a). (UFERSA/Campus Angicos)
Membro Examinador

A João Luiz da Costa Santos (*In Memoriam*), meu irmão, meu anjo, minha maior perda. Que você esteja sorrindo, correndo e se divertindo onde quer que esteja. Nunca te esquecerei, para sempre te amarei.

A Deus

*A minha mãe:
Veruzia Simone Costa dos Santos*

*Aos meus avós:
Valdice Ivanete da Costa Santos*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me dado forças para continuar quando tudo parecia difícil e inalcançável. Ele sempre me prova que os perseverantes conquistam aquilo que merecem. Agradeço a todos aqueles que se fizeram presente em minha vida, por meses, anos ou longas datas, vocês me ensinaram muito.

Agradeço, em especial, aos meus avós que me deram lar, alimento, aconchego e amor. À minha avó, Valdice Ivonete da Costa Santos, que sempre se preocupa comigo e me incentiva a crescer através dos estudos. Ao meu avô, José Luiz dos Santos, que é minha figura paterna e me acolhe no seu modo de amar.

À minha mãe, Veruzia Simone Costa dos Santos, uma guerreira que batalhou durante anos pela vida de quem nós mais amávamos. Tenho orgulho da mulher que ela é, e sei que Deus prepara o melhor para ela.

À toda minha família que sempre está do meu lado me apoiando a continuar e sempre seguir em frente, apesar dos obstáculos. Sei que sempre estarão ali para me ajudar a levantar e realizar todos os meus objetivos e sonhos.

À minha segunda família, que tive o prazer de conquistar, meus amigos. Tenho muita sorte de dividir as dificuldades acadêmicas com vocês, tudo se torna mais fácil. Meus sinceros agradecimentos ao grupo *friends of knowledge*, vocês são um presente.

Ao meu “Concreto”, meus melhores amigos. Vou levar vocês para toda a vida. Me ensinaram a não desistir e dividiram comigo toda a carga pesada, não só acadêmica, vocês me ajudam a viver. Amo muito vocês, Jalmir de Medeiros e Camila Emanuelly.

Ao meu irmão, uma parte de mim que se foi, não consigo imaginar outra fonte de força como a sua, você foi um verdadeiro campeão. Para sempre em meus pensamentos.

*“Mas você só precisa da luz quando está
escurecendo. Só sente falta do sol quando
começa a nevar.”*

Passenger – Let Her Go

RESUMO

As Obras de Artes Especiais, em particular as pontes, são obras que são destinadas a carregar tráfego de pedestres e veículos sobre obstáculos à continuidade de uma via, como rios, córregos e vales. Apesar de serem consideradas as mais completas obras da construção civil, são estruturas de concreto que são edificadas e expostas a ambientes agressivos que provocam danos em sua estrutura. O concreto armado por mais que seja um material duradouro, não é um material eternamente durável. Pode-se então, surgir manifestações patológicas como consequência de falhas em projetos, falhas na execução, condições de uso, a falta de manutenção e os ambientes agressivos. Sendo assim, torna-se relevante para o presente trabalho fazer um diagnóstico das principais manifestações patológicas em pontes localizadas no município de Angicos/RN e nelas fazer uma análise, mesmo que de forma visual, das principais manifestações patológicas encontradas, identificando os danos, aferindo suas origens e possíveis técnicas de evitá-las ou recuperá-las. O trabalho foi realizado em etapas, a primeira constitui-se de um levantamento bibliográfico para fundamentar teoricamente o assunto em estudo, enquanto na segunda etapa foram realizadas visitas *in loco*, seguidas de registros fotográficos das manifestações patológicas presentes nas pontes. Com os resultados obtidos foi possível verificar a presença de manifestações patológicas nas pontes estudadas, que tendem a comprometer a estrutura da ponte e consequentemente a segurança de seus usuários, bem como a inexistências de medidas preventivas ou corretivas que assegurem a durabilidade das obras.

Palavras-chave: Obras de Arte Especiais. Pontes. Concreto armado. Construção civil. Manifestações patológicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vida útil das estruturas de concreto armado.	25
Figura 2 - Viga de concreto: a) sem armadura; b) com armadura.	30
Figura 3 - Elementos constituintes das Pontes.	31
Figura 4 - Representação esquemática da penetração de CO ₂ por difusão e do processo de carbonatação.	33
Figura 5 - Armadura corroída em guarda-corpo de concreto armado.	34
Figura 6 - Fissura na horizontal na viga da ponte	36
Figura 7 - fissuras de flexão – a) vigas; b) lajes armadas em uma direção.	37
Figura 8 - Presença de eflorescência na viga.....	37
Figura 9 - Medidas de resoluções estruturais.	39
Figura 10 - Mapa do Rio Grande do Norte (Brasil) subdivido em municípios. Em destaque, o município de Angicos.....	42
Figura 11 - Fluxograma da Metodologia.....	44
Figura 12 - Visão aérea da ponte.....	45
Figura 13 - Comprimento e largura da ponte, aproximadamente. Erro! Indicador não definido.	
Figura 14 - Guarda-corpo apresentando fissuras, machas de umidade e degradação do concreto.	46
Figura 15 - Guarda-corpo apresentando nível crítico de corrosão da armadura e degradação do concreto.	46
Figura 16 - Infraestrutura e mesoestrutura com presença de manchas e acúmulo de vegetação.	48
Figura 17 - Pilar apresentando fissuras e manchas brancas.....	49
Figura 18 - Vista aérea e local da ponte dois.....	50
Figura 19 - Corrosão e desagregação do concreto na viga da ponte	52
Figura 20 - Presença de fissura, degradação do concreto e corrosão da armadura no guarda-corpo da ponte.	51
Figura 21 - Presença de brecha entre a viga e o pilar da ponte. Erro! Indicador não definido.	
Figura 22 - Vista aérea da ponte três.	55
Figura 24 - Forte degradação.....	58
Figura 23 - Fissuras horizontais.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Patalogias nas etapas de proceso de construção, adaptada.....	20
Tabela 2 - Incidência de Manifestações Patológicas.	26
Tabela 3 - Dimensões de aberturas de fissuras, trincas, rachaduras, fendas e brechas.	27
Tabela 4 - Tratamentos usuais das estruturas de concreto armado.....	38
Tabela 5 - Classificação (nota) da OAE segundo parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
OAE	Obras de Arte Especial
USP	Universidade de São Paulo
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
Objetivo geral	18
Objetivos específicos	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 PATOLOGIA.....	19
2.1.1 Origem das manifestações patológicas	20
2.1.1.1 Fase de Projeto	21
2.1.1.2 Fase de Execução	21
2.1.1.4 Durabilidade	23
2.1.3 Manifestações Patológicas	25
2.1.4 Classificação das Manifestações Patológicas	26
2.1.4.1 Fissuras.....	26
2.1.4.2 Carbonatação do Concreto.....	27
2.1.4.3 Desagregação do Concreto e Eflorescência.....	28
2.1.4.4 Corrosão	28
2.2 CONCRETO ARMADO.....	29
2.3 PONTES DE CONCRETO ARMADO	30
2.3.4 Classificação das pontes	32
2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO	33
2.4.1 Carbonatação do concreto	33
2.4.2 Corrosão das armaduras	34
2.4.3 Fissuras.....	35
2.2.1 Lixiviação e Eflorescência.....	37
2.5 MANUTENÇÃO	38
2.6 PERÍCIA DA ENGENHARIA CIVIL	39
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	42
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	43
3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 PONTE UM	45
4.1.1 Identificação das manifestações patológicas.....	46

4.1.2	Análise das manifestações.....	47
4.1.3	Possíveis Soluções	50
4.2	PONTE DOIS	50
4.2.1	Identificação das manifestações patológicas	51
4.2.2	Análise das manifestações.....	53
4.2.3	Possíveis soluções.....	54
4.3	PONTE TRÊS.....	55
4.3.1	Identificação das manifestações patológicas	56
4.3.2	Análise das manifestações.....	56
4.3.3	Possíveis soluções.....	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
6	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

É possível, sem exageros, paragonar construções civis a seres humanos. Assim como o ser humano possui esqueleto, os edifícios possuem estruturas, a musculatura humana se compara a alvenaria dos edifícios, a pele com os revestimentos e o sistema circulatório com as instalações hidráulicas e elétricas. Nesse sentido, assim como os indivíduos, os edifícios também “adoecem”, seja por fatores internos, externos ou pela ação da natureza.

Segundo Matos (2009), a palavra patologia vem da medicina onde significa estado doentio ou de anormalidade, dentro da engenharia a área que estuda as “doenças” em construções civis é denominada Patologia, “é responsável pelo estudo das origens, formas de manifestação e consequências, bem como dos mecanismos responsáveis pela ocorrência dos defeitos em construções civis” (WEIMER, 2018).

A Escola Politécnica da USP complementa que as construções com patologias apresentam um desempenho abaixo do mínimo pré-estabelecido. Entende-se como o “mínimo pré-estabelecido” a eficiência e durabilidade dos materiais e técnicas construtivas necessárias para assegurar a vida útil de uma edificação. Segundo Soares (2021), para que seja possível proporcionar uma significativa durabilidade das obras de engenharia, faz-se necessária a pesquisa e desenvolvimento do tema acerca das patologias resultantes nestas obras, principalmente, naquelas relacionadas às estruturas de concreto armado.

Considerando que as infraestruturas são elementos fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico de um país, é de suma importância garantir a durabilidade e qualidade dessas obras. As pontes, por exemplo, segundo El Debs e Takeya (2007) caracterizadas como uma construção destinada a estabelecer a continuidade de uma via de qualquer natureza, classificadas como Obra de Arte Especial (OAE), são responsáveis pela mobilidade de pessoas e insumos necessários.

No entanto, é comum o surgimento de manifestações patológicas nessas obras, que sucedem de diversos fatores, dentre eles, as deficiências nas etapas de planejamento, projeto, execução, uso e manutenção das obras. A ocorrência dessas manifestações gera despesas de reparo muito elevadas e podem afetar a inviabilidade da infraestrutura.

Rosa et al (2019) apud Meseguer, Cabré e Portero (2011) destacam que toda estrutura sofre degradação inevitavelmente com o tempo, entretanto, tal fato não resulta na demolição da estrutura, mas sim, na necessidade de implantação de processos de reabilitação.

Devido ao alto custo de construção e recuperação de obras de arte de engenharia (HELENE 1992), a análise de ações preventivas é essencial, tanto para diagnóstico de manifestações patológicas, como para estudo de novas técnicas de manutenção preventiva (LANER, 2001).

Em inspeções de pontes, a maioria dos elementos apresentaram algum tipo de manifestação patológica, sendo a principal a corrosão de armaduras, que é, por consequência, resultado a longo prazo da falta de manutenção preventiva (TEIXEIRA e GONÇALVES, 2003; LANER, 2001; CARNEIRO, 2004; OLIVEIRA et al., 2009).

Há uma falta de cultura de manutenção no Brasil, cita Vitório (2002), principalmente da preventiva, e isso fez com que o setor responsável pelas obras viárias do país se preocupasse apenas com a construção de obras, sem definir políticas e estratégias para conservação das mesmas.

A inspeção visual, segundo Mendes et al. (2010), é um método de análise comum e importante, visto que permite a observação da sintomatologia apresentada pela construção, orientando a realização de testes, ensaios e verificações específicas em partes da estrutura.

Assim, surge a necessidade de verificar e avaliar as principais manifestações patológicas existentes em três pontes situadas no município de Angicos/RN, buscando entender como esses defeitos surgem, medidas de prevenção e técnicas disponíveis para sua recuperação.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral

Realizar um levantamento das principais manifestações patológicas encontradas em pontes de concreto armado na cidade de Angicos/RN e traçar, através de um levantamento visual e estudo da literatura, a forma de identificação, classificação e métodos de recuperação das manifestações observadas.

Objetivos específicos

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre os conceitos que norteiam a patologia em pontes de concreto armado;
- Analisar as principais pontes da cidade de Angicos/RN;
- Identificar os tipos de manifestações patológicas existentes nas pontes estudadas;
- Caracterizar as patologias quanto a sua localização;
- Apresentar possíveis métodos de reparo das patologias identificadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PATOLOGIA

O termo patologia (derivado do grego *phatos*, sofrimento, doença, e *logia*, ciência, estudo) é o estudo das doenças em geral sob aspectos determinados muito utilizado na área médica. É atualmente empregado na engenharia civil fazendo uma associação com a medicina, como sendo a parte da engenharia que estuda as anomalias (doenças) das edificações (MATTOS, 2005).

Segundo Cánovas (1988), patologia é a parte da engenharia que estuda os mecanismos, os sintomas, as causas e origens dos defeitos das obras. Em alguns casos, é possível fazer um diagnóstico simples, através da análise visual das patologias. Em outros casos o problema é mais complexo, Arivabene (2015, p. 05) afirma ser necessário verificar o projeto, investigar as cargas a que foi submetida à estrutura; analisar detalhadamente a forma como foi executada a obra e, inclusive, como esta patologia reage diante de determinados estímulos, naturais ou não.

O termo “patologia”, no contexto da Construção Civil, está alinhado com a definição encontrada na Medicina, na qual estudam-se as origens, os sintomas e a natureza das doenças. Patologias são todas as manifestações cuja ocorrência no ciclo de vida da edificação venha prejudicar o desempenho esperado do edifício e suas partes (subsistemas, elementos e componentes) (GONÇALVES, 2015, p. 18).

De acordo com Souza e Ripper (1998), o crescimento muito acelerado da construção civil, provocou a necessidade de inovações, trazendo também a aceitação implícita de maiores riscos. Contudo, é importante que as construções civis ou suas partes não apresentem desempenho abaixo do mínimo pré-estabelecido, segundo Vitorio (2013), entende-se como o “mínimo pré-estabelecido” a eficiência e durabilidade dos materiais e técnicas construtivas necessárias para assegurar a vida útil da edificação.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) em conjunto com NBR 6118 (ABNT, 2014) definem durabilidade como a capacidade da estrutura de resistir à ação das intempéries definidas pelo projeto estrutural, conservando-se sua forma original, qualidade e capacidade de utilização estando exposto ao meio ambiente.

Helene e Pereira (2007) destacam que os problemas comuns, de maior efeito no concreto, são as eflorescências, as fissuras, as flechas excessivas, a corrosão da armadura, as manchas no concreto aparente, os defeitos de aterro e compactação e problemas devido à segregação dos componentes do concreto.

Para Berti et al (2019) um diagnóstico ideal das manifestações patológicas seria aquele que consegue identificar a origem do problema, a etapa em que se sucedeu, bem como a sua extensão.

2.1.1 Origem das manifestações patológicas

Sabe-se que a finalidade da patologia das estruturas é encontrar explicações técnicas e científicas para as irregularidades encontradas no comportamento das estruturas. Não se deve confundir a origem dos problemas patológicos com suas potenciais causas, sendo a causa o fator, ou fatores, que venham a provocar de forma direta ou indireta um ou mais problemas patológicos. (BERTI et al., 2019).

O processo construtivo pode ser compreendido nas fases de planejamento, projeto, aquisição de materiais, período de execução e uso, ou ocupação, da estrutura, esta última se trata da mais prolongada entre as etapas, envolvendo também processos de manutenção reparo da estrutura (BERTI et al., 2019).

As patologias podem ocorrer em detrimento de falhas, ou imprevistos, em qualquer fase da construção, seja nas fases preliminares como planejamento ou projeto, seja na fase de implementação ou também na fase de ocupação e uso. (BERTI et al., 2019).

Arivabene (2015, p. 06) reitera que estudos mostram um elevado percentual dos problemas patológicos nas edificações originado nas fases de planejamento e projeto, enquanto Valente (et al, 2008, p. 7) descreve que as patologias surgem na maioria das vezes por uma combinação de fatores correlatos, “tendo como origem deficiências nas etapas de planejamento, projeto, execução, uso e manutenção”. A tabela 1 mostra os percentuais das etapas onde a causa das manifestações patológicas em uma edificação são mais recorrentes.

Tabela 1 – Patologias nas etapas de processo de construção, adaptada.

ETAPA	PERCENTUAL
PROJETO	40%
EXECUÇÃO	28%
MATERIAIS	18%
USO	10%
PLANEJAMENTO	4%

Fonte: Helene, 1997.

O estudo e a identificação de patologias existentes na edificação é de extrema importância, seu conhecimento é imprescindível para que o diagnóstico seja feito de maneira correta, buscando entender suas causas, para que em seguida seja possível se iniciar o processo de reparo de forma adequada.

2.1.1.1 Fase de Projeto

A influência que o projeto exerce na qualidade, segurança e desempenho da obra é muito alta e, segundo Fioriti (2016), é na etapa de projeto que é feita a tomada de decisões que irão repercutir em fatores como os custos, a velocidade de execução e a qualidade dos empreendimentos (BERTI et al., 2019).

Para Berti (2019) entre as inúmeras falhas que podem ocorrer devido a problemas nas etapas de projeto, pode-se citar:

- a) Falta de compatibilidade entre os projetos arquitetônico e estrutural;
- b) Falta de detalhamento;
- c) Falta de clareza nas informações apresentadas;
- d) Má qualidade dos materiais especificados;
- e) Erros de dimensionamento ou elementos construtivos de impossível realização.

Nessa etapa, segundo SOUZA et al (1998), as deficiências são em maioria fissuras, sendo um tipo de manifestação patológica decorrente de erros em dimensionamento de elementos estruturais ou, então, por falta de detalhamento destes projetos para a orientação da execução.

São erros que, normalmente, podem resultar na manifestação de fissuras em estruturas do tipo flexão, tração, cortante, torção, perda de aderência, cargas concentradas, flexocompressão e compressão (com ou sem confinamento) (LANER, 2001).

Em relação à gravidade dos problemas patológicos originários nas etapas que compreendem o projeto, Helene (1992) afirma que essas falhas, em geral, são mais graves que as falhas associadas à qualidade dos materiais empregados e à execução.

2.1.1.2 Fase de Execução

A execução de uma obra deve seguir todas as especificações e detalhamentos previstos em projeto, portanto deve ser realizada após a finalização de todas as etapas de projeto, sendo contraindicado a realização de ambas as etapas (BERTI et al., 2019). Nesta fase, as atividades

relacionadas à produção do concreto (mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura) são as que mais influenciam na durabilidade do mesmo (CÁNOVAS, 1988).

Para Berti (2019), a ocorrência de falhas na execução de uma obra pode ser associada a alguns fatores, entre eles:

- a) falta da presença de um profissional adequadamente capacitado para gerenciar as etapas de execução;
- b) A baixa qualificação dos trabalhadores;
- c) leitura do projeto de forma incorreta.

Berti (2019) cita que as falhas comuns presentes na etapa de execução são pisos desnivelados, impermeabilização mal executada ou ausente, alvenaria fora de prumo, má amarração das armaduras em peças de concreto armado, redução da qualidade dos materiais devido a um armazenamento inadequado, entre outros. O autor enfatiza que falhas na concretagem despercebidas, ou ignoradas, podem acarretar danos sérios à estrutura e elevados custos de reparo e, muitas vezes, reestruturação das peças comprometidas.

As fissuras que, normalmente, surgem durante a execução de obras-de-arte são as que ocorrem em consolos e dentes gerber quando os respectivos apoios não funcionam adequadamente. Neste caso, a execução do vínculo de apoio pode ser transformada em vínculo de engastamento, que por sua vez gera um momento cujo braço é muito curto para suportar o grande esforço produzido. Portanto, apresenta-se um caso típico de fissuração do consolo ou da viga que se apoia sobre ele. (LANER, 2001)

Assim, o não atendimento a esses parâmetros conduz à perda da capacidade resistente e, em casos de elementos vitais, como os pilares em uma edificação pode levar a estrutura ao colapso (DA SILVA, 2014).

Definidas as especificações dos materiais na fase de projeto, deve-se controlar bem a aquisição dos insumos para fabricação do concreto, objetivando a garantia das especificações e que o concreto não seja rejeitado (DA SILVA, 2011). É importante que a caracterização dos materiais componentes do concreto esteja em conformidade com o que recomenda a NBR 12654 (ABNT, 1992).

Da Silva (2011) especifica, por exemplo, os cuidados relacionados a aquisição de cimento em que devem ser monitorados seus aspectos físicos, como finura, início e fim de pega, resistência à compressão, expansibilidade, calor de hidratação, assim como, também, seus aspectos químicos, como perda ao fogo e resíduo insolúvel, teores de aluminato tricálcio e de álcalis.

Tratando-se de concreto armado, é imprescindível controlar a armadura, assegurando o patamar de escoamento, o limite de resistência, o alongamento mínimo, as tolerâncias de desbitolamento e dobramento (DA SILVA, 2011).

2.1.1.4 Durabilidade

Após a finalização da obra e sua entrega aos usuários ainda é possível a geração de problemas patológicos, se o seu uso não for feito de forma consciente ou se ignoradas as atividades de manutenção para manter a integridade do imóvel durante sua vida útil (BERTI et al., 2019).

É especificamente na fase de utilização que os danos provocados pelas manifestações patológicas começam a ser mais evidentes, ocasionando assim uma grande elevação dos custos das obras (MAYS, 1992).

Segundo CEB (1992), antes mesmo da entrega da obra deve-se realizar uma inspeção inicial e se preparar um manual de manutenção, para que as atividades especificadas no mesmo sejam desenvolvidas durante sua vida útil.

Sobre manutenção, a NBR 5674 (ABNT, 2012) define três tipos, sendo eles:

- a) Manutenção rotineira: fluxo constante de serviços, padronizados e cíclicos, como por exemplo a limpeza geral de áreas comuns;
- b) Manutenção corretiva: serviços que demandem intervenção imediata para que se possa dar continuidade no uso dos sistemas, elementos ou componentes do empreendimento, além de evitar riscos e prejuízos graves pessoais e patrimoniais aos usuários;
- c) Manutenção preventiva: serviço com realização programada com antecedência, priorizando as solicitações do usuário, expectativas de durabilidade da edificação, os elementos em uso, gravidade e urgência, e relatórios periódicos das verificações sobre seu estado de degradação.

Os diversos conceitos sobre durabilidade e vida útil estão estreitamente unidos. Enquanto a vida útil é a representação da duração em que uma edificação permanece durável, a durabilidade se refere a resistência da edificação em meio a ocorrências de agentes agressivos (SOUZA; RIPPER, 1998 apud CHAVES, 2018, p. 13).

Uma edificação durável pode ser compreendida como aquela que cumpre as funções que lhe foram atribuídas, ou seja, mantém sua capacidade de uso original, forma e qualidade quando for submetida às condições para qual ela foi projetada.

A durabilidade pode ser facilmente entendida se associada ao desempenho; enquanto a durabilidade de um único material de uma estrutura está comprometida, o desempenho ainda pode estar em níveis aceitáveis. Um exemplo disso é o revestimento de pontes; enquanto a durabilidade do asfalto está comprometida uma vez que apresenta diversas falhas, o desempenho da estrutura muito pouco é comprometido uma vez que a finalidade para o qual a mesma foi construída continua praticamente igual (ligar um ponto a outro) (LANER, 2011 apud. OLIVEIRA, 1999).

Já a vida útil é todo o intervalo de tempo em que um determinado material ou elemento mantém suas propriedades acima dos limites mínimos especificados (SOUZA; RIPPER, 1998 apud CHAVES, 2018, p. 13-14), trata-se do momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário pré-estabelecidas.

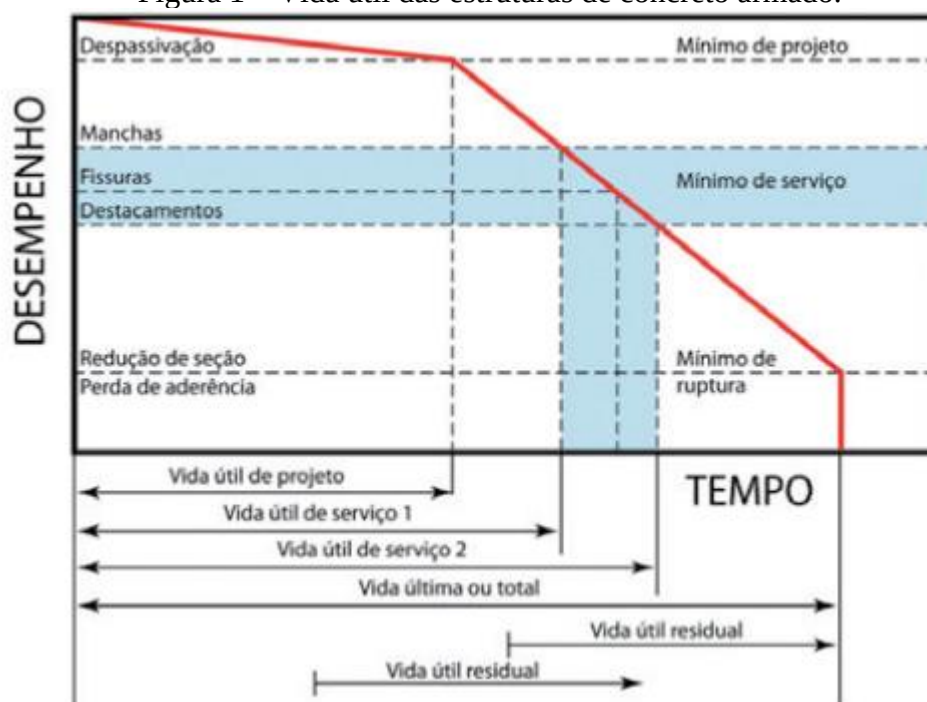
Dizer que um concreto é durável, não significa dizer somente que o mesmo possui elevada resistência, mas sim que o concreto deve possuir uma microestrutura compacta, de tal maneira que a entrada de agentes agressivos externos através do mesmo seja impedida ou retardada até o cumprimento da sua vida útil. (LOTTERMANN, 2013)

De acordo com Helene (1997), pode-se classificar a vida útil de uma estrutura conforme os tópicos abaixo:

- a) *Vida útil de projeto*: Período de tempo até o término do processo de despassivação da armadura, não significando que necessariamente haverá corrosão importante;
- b) *Vida útil de serviço*: Período onde se começam a manifestar os efeitos dos agentes agressivos, desde o aparecimento de manchas na superfície do concreto até o destacamento do cobrimento;
- c) *Vida útil última ou total*: Período de tempo em que a estrutura entra em colapso parcial ou total.
- d) *Vida útil residual*: Período em que, a partir de uma vistoria, a estrutura ainda será capaz de desempenhar as funções para a qual foi projetada.

A qualidade de uma obra depende diretamente dos materiais empregados, dos projetos e de sua manutenção, para garantir uma vida útil que responda sua expectativa de utilização e o investimento empregado (LANER, 2001).

Figura 1 – Vida útil das estruturas de concreto armado.



Fonte: Helene, 1997

Interferem na vida útil, além da vida útil de projeto, das características dos materiais e da qualidade da construção como um todo, o correto uso e operação da edificação e de suas partes, a constância e efetividade das operações de limpeza e manutenção, alterações climáticas e níveis de poluição no local da obra, mudanças no entorno da obra ao longo do tempo (trânsito de veículos, obras de infraestrutura, expansão urbana, etc.) (CBIC, 2013).

Partindo desses pressupostos, considera-se que um material chegou ao fim de sua vida útil quando suas propriedades, sob dadas condições de uso, se deterioraram a tal ponto que sua utilização acaba se tornando insegura ou antieconômica (JÚNIOR, 2022).

2.1.3 Manifestações Patológicas

Felix (2015) conceitua que dentro da Engenharia a patologia é a parte que estuda os danos e defeitos que aparecem nos elementos estruturais e nos subsistemas de uma edificação, e para esses danos e defeitos dá-se o nome de manifestações patológicas.

Ainda segundo o mesmo autor, as manifestações patológicas são os sintomas que se manifestam nos mais diferentes elementos e subsistemas da construção, constituindo indícios de comportamento irregular. Pode-se destacar as seguintes manifestações patológicas: fissuras, manchas, corrosão das armaduras, destacamento de revestimento etc.

As enfermidades podem ser congênitas (nascem com a estrutura) ou adquiridas durante o seu tempo de uso, devido à ação direta de inúmeros agentes externos ou fenômenos físicos (choques, terremotos, incêndios, enchentes, explosões, recalques, variações de temperatura etc.) (Lapa, 2008 apud Felix, 2015, p. 19).

2.1.4 Classificação das Manifestações Patológicas

Quando se tem a análise das patologias, é possível identificar a origem e natureza dos problemas, bem como suas consequências (ARIVABENE, 2015, p. 06). Helene e Pereira (2007) destacam que os problemas comuns, de maior efeito no concreto, são as eflorescências, as fissuras, as flechas excessivas, a corrosão da armadura, as manchas no concreto aparente, os defeitos de aterro e compactação e problemas devido à segregação dos componentes do concreto. Na tabela 2, Machado (2002) relaciona as principais manifestações patológicas, em ordem crescente de ocorrência estatística:

Tabela 2 – Incidência de Manifestações Patológicas.

Manifestações Patológicas	Ocorrência (percentual)
Deterioração e degradação química da construção	7%
Deformações (flechas e rotações) excessivas	10%
Segregação dos materiais componentes do concreto	20%
Corrosão das armaduras do concreto armado	20%
Fissuras e trincas ativas ou passivas nas peças de concreto armado	21%
Manchas na superfície do concreto armado	21%

Fonte: Machado (2002)

2.1.4.1 Fissuras

As fissuras, trincas e rachaduras se diferem através de suas aberturas, que são referentes à ordem de gravidade de cada uma. De acordo com a NBR9575/2003 é considerado como fissura uma abertura ocasionada por ruptura de um material ou componente, inferior ou igual a 0,5mm. Conforme Oliveira (2012), as fissuras fazem parte das manifestações patológicas do concreto e acontecem normalmente como uma válvula de escape para amenizar as solicitações quando os esforços são maiores que aqueles que os materiais resistem.

A fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à grande variabilidade e à baixa resistência do concreto à tração; mesmo sob as ações de serviço (utilização), valores críticos de tensões de tração são atingidos. Visando

obter bom desempenho relacionado à proteção das armaduras quanto à corrosão e à aceitabilidade sensorial dos usuários, busca-se controlar a abertura dessas fissuras. (ABNT NBR 6118, 2014, p. 97).

Segundo Laner (2001), a posição das fissuras nos elementos estruturais, sua abertura, sua trajetória, seu espaçamento, entre outros, podem servir para indicar a causa ou as causas que as motivaram, servindo assim como sintomas de manifestações patológicas. Dentre as diversas fontes de fissuras em uma estrutura, por serem as mais comuns de acordo com Sartorti (2008), vale a pena destacar:

- a) fissuras de tração pelo esforço de flexão;
- b) fissuras de compressão pelo esforço de flexão;
- c) fissuras causadas pelo esforço cortante;
- d) fissuras causadas pela torção;
- e) fissuras causadas pela fluência;
- f) fissuras causadas pela retração;
- g) fissuras causadas por deformações térmicas e higroscópicas.

As aberturas podem apresentar dimensões e denominações diferentes. Pelas magnitudes das aberturas, as mesmas podem ser classificadas conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Dimensões de aberturas de fissuras, trincas, rachaduras, fendas e brechas.

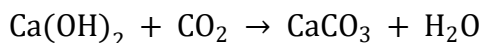
Tipos de Abertura	Tamanho
Fissura Capilar	Menos de 0,2mm
Fissura	De 0,2mm a 0,5mm
Trinca	De 0,5mm a 1,5mm
Rachadura	De 1,5mm a 5mm
Fenda	De 5mm a 10mm
Brecha	Mais de 10mm

Fonte: Thomaz (1998).

2.1.4.2 Carbonatação do Concreto

É caracterizada pela diminuição da alcalinidade do concreto quando o mesmo é atacado pelo Dióxido de Carbono presente no meio, que reage com o Hidróxido de Cálcio presente no concreto formando Carbonato de Cálcio e água (RODRIGUES & ROSA, 2021).

Segundo HELENE (1986), essa redução ocorre, essencialmente, pela ação do CO_2 presente na atmosfera e outros gases ácidos, tais como SO_2 e H_2S . Esse processo, denominado carbonatação do concreto, ocorre lentamente, segundo a reação principal:



A velocidade de carbonatação depende diretamente da permeabilidade e da fissuração da peça (SOUZA; RIPPER, 1998). Segundo Winkel (2019) o agente responsável pela carbonatação é o dióxido de carbono, que reduz o pH do concreto e despassiva o aço.

Após a despassivação do aço, o processo de corrosão será iniciado, causando danos variados como fissuração do concreto, destacamento do cobrimento do aço, redução da seção da armadura e perda da aderência desta com o concreto (WINKEL, 2019).

2.1.4.3 Desagregação do Concreto e Eflorescência

De acordo com Cunha (2011), a desagregação do concreto é o sintoma que mais distingue a ação de ataques químicos, esse fenômeno é caracterizado pela perda da ação aglomerante do cimento, tornando os agregados livremente visíveis.

A eflorescência, por sua vez, pode ser entendida como o fenômeno de depósito de sais na superfície do concreto causado devido a umidade existente no interior da estrutura. (SILVA, 2015). Em concordância, Braga et al. (2009), ressalta que esses depósitos cristalinos na superfície têm cor esbranquiçada, e propiciam o desconforto estético, comprometendo a aparência do revestimento.

2.1.4.4 Corrosão

Lapa (2008) diz que a corrosão pode ser definida como a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. No concreto armado, o estudo e tratamento da corrosão são importantes tanto no aço como no concreto, onde as ações do tipo químico são as que maiores prejuízos causam.

Como um dos principais temas quando se trata de manifestações patológicas, a corrosão da armadura está diretamente ligada aos seguintes fatores: ambientes agressivos, porosidade elevada, alta capilaridade, falta de cobrimento e fissuração acentuada (SARTORTI, 2008).

O resíduo do processo de corrosão, a ferrugem, é um material expansivo que ocupa um volume maior que o da armadura, o que gera tensões de tração no concreto, que fissura. Isto expõe novamente a armadura e intensifica o processo de corrosão, o que gera o deslocamento do concreto, expondo ainda mais a armadura a intempéries (WINKEL, 2019).

Na corrosão é formada uma película de eletrólito sobre a superfície do aço, causada principalmente pela umidade presente no concreto, salvas exceções. Pode ocorrer também antes mesmo de a armadura ser aplicada em peças de concreto armado, ainda na sua armazenagem (Helene, 1986).

Pode-se definir a corrosão das armaduras nas estruturas de concreto armado, como sendo um processo de deterioração da fase metálica existente, que conseqüentemente provoca a perda de seção das barras de aço e concomitante a esta perda de seção formam-se produtos de corrosão de caráter expansivo (DA SILVA, 2011).

A corrosão das armaduras se trata de um processo gradativo, ou seja, ao longo do tempo vai se agravando e a cada redução na seção da armadura a segurança estrutural é comprometida, podendo provocar até colapsos globais na estrutura (BERTI et al., 2019).

2.2 CONCRETO ARMADO

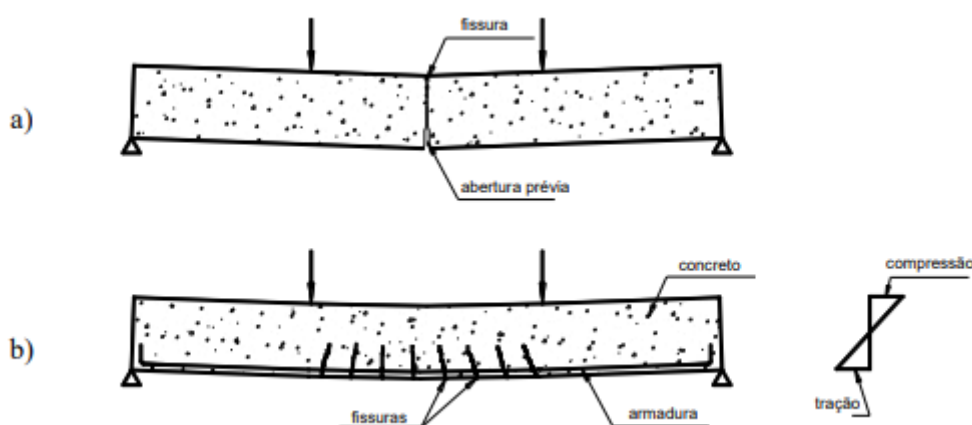
O concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita). O concreto pode também conter adições e aditivos químicos, com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (BASTOS, 2006). Segundo Araújo (2010) podem ser acrescentados aditivos químicos (retardadores ou aceleradores de pega, plastificantes e superplastificantes, etc.) e adições minerais (escórias de alto-forno, pozolanas, fíleres calcários, microssílica, etc.) para otimizar características do concreto fresco ou endurecido.

De acordo com Bastos (2006) o concreto apresenta alta resistência à compressão, o que faz dele um excelente material para ser empregado em elementos estruturais primariamente submetidos à compressão, como por exemplo os pilares, no entanto, apresentam características de fragilidade e baixa resistência à tração restringindo seu uso isolado em elementos submetidos totalmente ou parcialmente à tração, como vigas, lajes e outros elementos fletidos. De acordo com Botelho (2015), o concreto suporta em torno de dez vezes menos à tração do que resiste à compressão, por isso, é necessário que sejam implementados materiais que supram essa deficiência.

Bastos (2006) afirma que para contornar essas limitações, o aço é empregado em conjunto com o concreto, e convenientemente posicionado na peça de modo a resistir às tensões de tração. Um conjunto de barras de aço forma a armadura, que envolvida pelo concreto origina o Concreto Armado, um excelente material para ser aplicado na estrutura de uma obra.

O Concreto Armado alia as qualidades do concreto (baixo custo, durabilidade, boa resistência à compressão, ao fogo e à água) com as do aço (ductilidade e excelente resistência à tração e à compressão) (BASTOS, 2006). A metodologia permite que a parte comprimida seja apenas resistida pelo concreto e o combate à tração seja a finalidade do aço (VASCONCELOS, 2018).

Figura 2 - Viga de concreto: a) sem armadura; b) com armadura.



Fonte: Bastos, 2006.

A viga sem armadura rompe bruscamente tão logo inicia-se a primeira fissura. Já a viga de Concreto Armado tem a capacidade resistente à flexão significativamente aumentada devido à existência da armadura. (BASTOS, 2006).

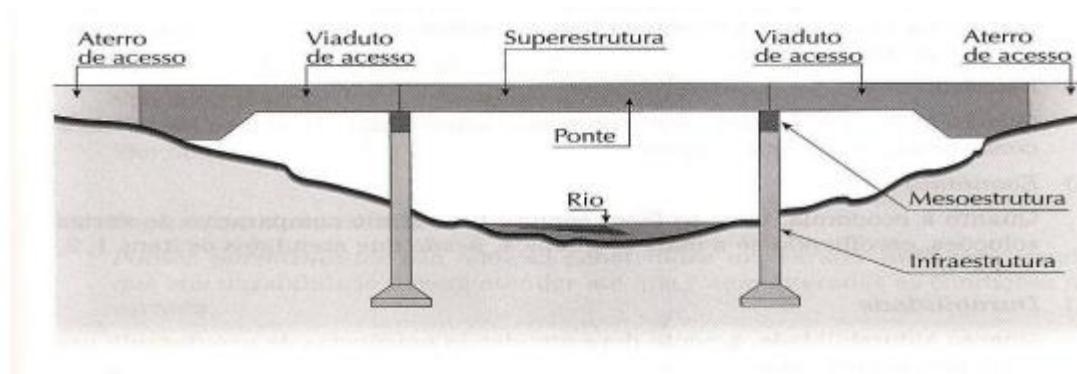
É por isso que a utilização do concreto armado em diferentes tipos de construções torna-se eficiente como, por exemplo, em edifícios, pontes, obras de saneamento, barragens, viadutos, entre outros.

2.3 PONTES DE CONCRETO ARMADO

Segundo MARCHETTI (2008), denomina-se Ponte a obra destinada a permitir a transposição de obstáculos podendo ser rios ou braços de mar. Denomina-se Viaduto quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via. Segundo PFEIL (1979), sob o ponto de vista funcional elas podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

Ainda segundo PFEIL (1979), a superestrutura é composta por lajes e vigas principais e secundárias, é o elemento de suporte imediato do estrado, que constitui a parte útil da obra, sob o ponto de vista de sua finalidade.

Figura 3 - Elementos constituintes das Pontes.



Fonte: Marchetti, 2007.

Para o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, em sua Norma 010/2014 – PRO, as pontes são definidas como:

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.

De acordo com Sartorti (2008), a superestrutura equivale à parte da ponte reservada a resistir de modo direto às cargas oriunda da circulação dos veículos e sob o ponto de vista da função social, é considerada a parte conveniente do elemento estrutural, visto que é onde ocorre toda a movimentação dos veículos e pedestres. Segundo El Debs e Takeya (2007) A superestrutura pode ser subdividida em duas partes:

1. **Estrutura principal** (ou sistema estrutural principal ou simplesmente sistema estrutural) – que tem a função de vencer o vão livre;
2. **Estrutura secundária** (ou tabuleiro ou estrado) – que recebe a ação direta das cargas e a transmite para a estrutura principal.

Segundo Gorges (2015), a mesoestrutura é formada pelos apoios que são elementos estruturais que se prolonga preferencialmente no sentido vertical, podendo ser inclinados também, cujo objetivo é fazer chegar às fundações o reflexo da superestrutura. Esses apoios interpostos fragmentam-se em vãos parciais a extensão total da ponte.

A respeito da infraestrutura, tendo como base diversos autores, por exemplo, Sartorti (2008), é classificada como sendo a estrutura de transferência da superestrutura à fundação, seja direta ou profunda, de forma segura e calculada de acordo com as características do solo. Para El Debs e Takeya (2007) a infraestrutura pode ser subdividida em suportes e fundações. Os suportes podem ser subdivididos em:

1. **Encontro** – elemento situado nas extremidades da ponte, na transição de ponte com o aterro da via, e que tem a dupla função, de suporte, e de arrimo do solo;
2. **Pilar** – elemento de suporte, normalmente situado na região intermediária, e que não tem a finalidade de arrimar o solo.

2.3.1 Classificação das pontes

As pontes podem ser classificadas segundo vários critérios. Os mais importantes segundo Marchetti (2017) são os seguintes:

- a) Segundo a extensão do vão;
 - Bueiros – Vão até 2 metros
 - Pontilhões – Vão de 2m a 10m
 - Pontes – Vão maior que 10m
- b) Segundo a durabilidade;
 - Pontes permanentes
 - Pontes provisórias
 - Pontes desmontáveis
- c) Segundo a natureza do tráfego;
 - Pontes rodoviárias
 - Pontes para pedestres
 - Pontes aqueduto
 - Pontes mistas
 - Pontes ferroviárias
 - Pontes Canal
 - Pontes aeroviárias
- d) Segundo o desenvolvimento planimétrico;
 - Retas
 - Curvas

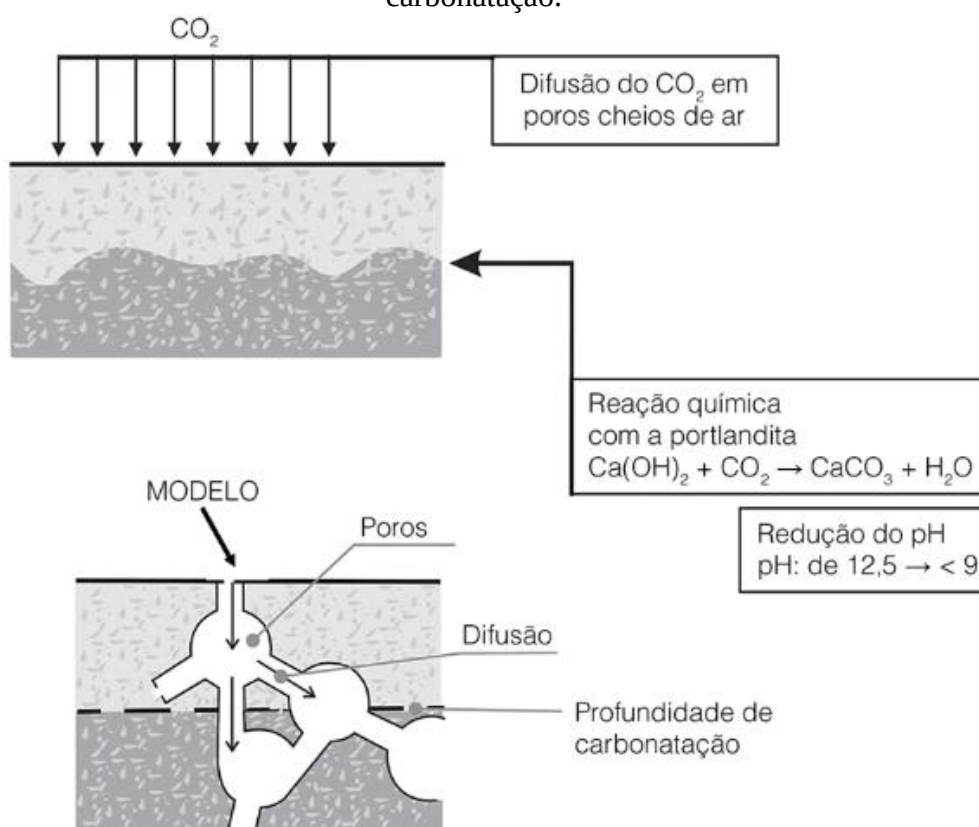
2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO

As patologias estruturais em pontes se apresentam em todos os seus elementos, seja na superestrutura, mesoestrutura ou na infraestrutura. As manifestações patológicas que são mais comuns na obra de arte especial abordada neste trabalho são: carbonatação do concreto, corrosão das armaduras, fissuração, lixiviação e eflorescência.

2.4.1 Carbonatação do concreto

Segundo Bauer (2019), a carbonatação é o processo de diminuição da alcalinidade do cimento, em que transforma o hidróxido de cálcio, de alto pH, em carbonato de cálcio, que possui pH mais neutro. Para Mendes et al. (2010), por ser um material poroso, o concreto permite a entrada do dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera, que por sua vez reage com elementos do cimento hidratado, reduzindo seu pH que geralmente é de 12,5 para 9,5, condição esta fundamental para corrosão das armaduras.

Figura 4 – Representação esquemática da penetração de CO_2 por difusão e do processo de carbonatação.



Fonte: Ribeiro, 2018.

De acordo com Ribeiro (2018), apesar de a carbonatação não ser responsável diretamente pelo processo corrosivo, contribui decisivamente para a degradação do concreto

em muitas estruturas. Segundo o autor, existem alguns fatores que influenciam na carbonatação, entre eles pode-se citar:

- Condições de cura: Quanto maior o tempo de cura e mais eficiente for o método de cura empregado, maior será a hidratação do cimento, menor será a porosidade e permeabilidade e, conseqüentemente, menor será a taxa de carbonatação.
- Presença de fissuras: A presença de fissuras permite que o gás carbônico penetre mais rapidamente para o interior do concreto, aumentando a taxa de carbonatação.
- Concentração de CO₂: Quanto maior a concentração de CO₂, maior será a velocidade de carbonatação, principalmente em concretos com alta relação água/aglomerante.
- Umidade relativa do ar e grau saturação dos poros: A umidade relativa do ar está associada ao grau de saturação dos poros que, por sua vez, condiciona a taxa de difusão do CO₂ através dos poros do concreto.
- Temperatura: Em temperaturas muito altas, a velocidade de carbonatação aumenta, a menos que o efeito de secagem exceda o efeito da temperatura.

2.4.2 Corrosão das armaduras

Segundo Da Silva (2021) a corrosão de armaduras nas estruturas de concreto armado, representa uma das anomalias de maior incidência quando se fala em patologia das construções. A porosidade do concreto, a existência de trincas e a deficiência no cobrimento fazem com que a armação seja atingida por elementos agressivos, acarretando, desta maneira, a sua oxidação (VITÓRIO, 2003). Apresenta-se na Figura 5 um exemplo de corrosão nas armaduras presente em um guarda-corpo.

Figura 5 – Armadura corroída em guarda-corpo de concreto armado.



Fonte: A autora (2022)

Como explica Melo e Pinheiro (2022), o design da obra-de-arte e os materiais empregados em sua construção estão diretamente relacionados com a capacidade de resistência à corrosão. O concreto armado exerce duas importantes funções sobre o aço, que são o cobrimento que age como barreira física e o ambiente alcalino ideal para proteção do aço (ANDRADE, C., 1992). A corrosão das armaduras acontece após a sua despassivação.

A perda da passividade natural da armadura do concreto pode ser ocasionada pela presença de cloretos em quantidades suficientes para destruir de forma localizada a camada passivadora ou pela redução do pH do concreto devido ao efeito da carbonatação (RIBEIRO, 2018).

Segundo Ribeiro (2018), a velocidade de degradação está diretamente ligada à concentração de gás carbônico na atmosfera na qual o concreto está inserido por ser, junto com o hidróxido de cálcio, fundamentais na ocorrência da carbonatação. Esse processo provoca, com o decorrer do tempo, a despassivação da armadura, onde se inicia a corrosão da armadura. A corrosão tem como consequência uma diminuição da seção de armadura e fissuração do concreto em direção paralela a esta.

Há duas formas de ocorrência da corrosão segundo sua natureza: a oxidação (ou corrosão “seca”) e a corrosão eletroquímica (ou corrosão aquosa). Ambas podem acometer as barras de aço do concreto armado, sendo a corrosão eletroquímica mais comum e foco da maior parte dos estudos (RIBEIRO, 2018).

2.4.3 Fissuras

São as patologias mais recorrentes nas estruturas de concreto, devido à baixa resistência à tração do concreto, cerca de 10% da resistência à compressão. São caracterizadas por pequenas fendas que aparecem por diversos fatores, como: assentamento plástico, retração térmica, sobrecargas, cura deficiente, ataques químicos, falhas de execução, recalque diferencial etc. (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Figura 6 - Fissura horizontal na viga da ponte.



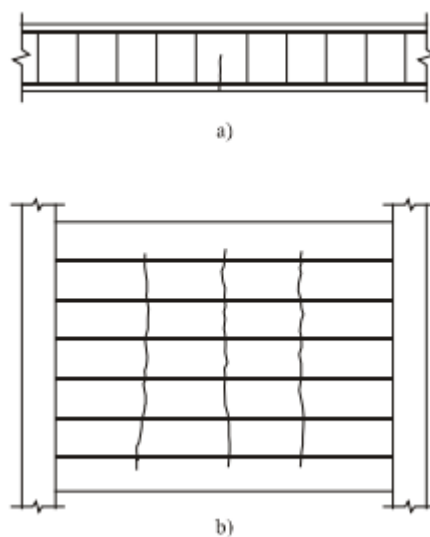
Fonte: Autora (2022)

De acordo com Souza e Ripper (1998) as fissuras são ativas quando a causa de seu aparecimento ainda atua sobre a estrutura e elas tendem a aumentar de tamanho. Já as fissuras passivas são as que não apresentam modificações no decorrer do tempo, já que sua causa já não tenha efeito sobre a estrutura.

De acordo com Mascarenhas et al. (2019), as fissuras em uma estrutura de concreto podem possuir diferentes formas de origem que se manifestam em pontos distintos na estrutura, fazendo com que possa classificá-las de acordo com sua causa, destacando-se: fissuras de tração pelo esforço de flexão, fissuras de compressão pelo esforço de flexão, fissuras de esforço cortante, fissuras por torção, fissuras causadas pela fluência, fissuras causadas pela retração e fissuras causadas por deformações térmicas e higroscópicas.

Vitório (2003) evidencia que as fissuras de flexão são as mais conhecidas e fáceis de identificar e são sempre perpendiculares às armaduras (Figura 7).

Figura 7 - fissuras de flexão – a) vigas; b) lajes armadas em uma direção.



Fonte: adaptada de Vitório, 2003.

2.4.4 Lixiviação e Eflorescência

A lixiviação é uma manifestação patológica de origem química que consiste na presença de água sob gravidade no elemento estrutural. Mehta e Monteiro (2008) relatam que a água corrente ou de infiltração sob pressão promove o arraste do hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento para a sua superfície. Isso reduz o pH do concreto e, quando entram em contato com o gás carbônico (CO_2), surgem as manchas esbranquiçadas denominadas eflorescências.

Figura 8 - Presença de eflorescência na viga



Fonte: Autora (2022)

Devido a interação entre os produtos lixiviados e o dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera, são formados carbonatos que aparecem na forma de manchas brancas e estalactites na superfície da estrutura, que provocam a perda da resistência e agressões estéticas (SOARES, 2021 apud SENA et al., 2020).

2.5 MANUTENÇÃO

De acordo com Ripper e Souza (1998), entende-se por manutenção de uma estrutura o conjunto de atividades capazes de garantir o seu desempenho aceitável ao longo do tempo, ou seja, o resultado de todas as rotinas preventivas que tiveram por fim a extensão da vida útil da obra, a um custo compensador.

O estudo das patologias estruturais engloba a análise detalhada do problema descrevendo as causas, as formas de manifestação, os mecanismos de ocorrência, a profilaxia e a manutenção estrutural (SARTORTI, 2008). Segundo Helene (1992), cabe às terapias estudar a correção e a solução desses problemas patológicos.

Ainda segundo Ripper e Souza (1998), são propostas quatro medidas preventivas, sendo: recuperação, reforço, limitação de utilização e demolição. Na Tabela 4, são apresentadas as terapias, que devem ser adotadas conforme o caso.

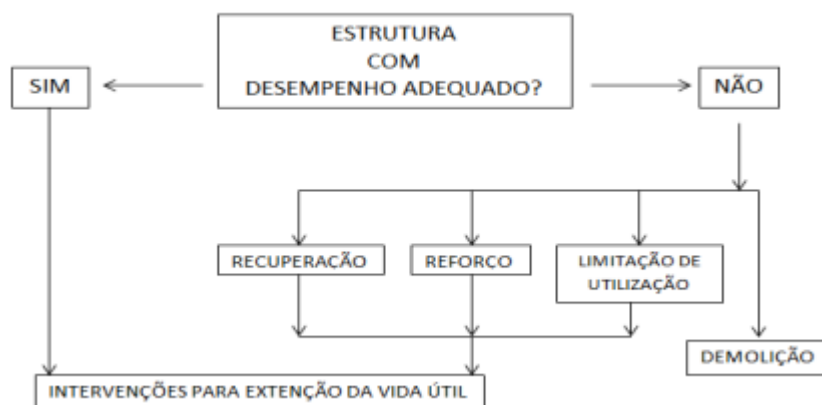
Tabela 4 - Tratamentos usuais das estruturas de concreto armado.

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

Fonte: Adaptada de Sartorti, 2008.

A Figura 9 apresenta um exemplo de esquema de medidas de resoluções estruturais.

Figura 9 - Medidas de resoluções estruturais.



Fonte: Ramalho, 2017 apud Ripper e Souza, 1998.

Araujo (2017) cita que as manutenções em obras de arte especiais são trabalhos destinados à preservação do patrimônio, visando manter e prolongar os aspectos estruturais, funcionais e de durabilidade das obras, retardando as anomalias que venham a surgir e tratando as que se desenvolvem ao longo da vida útil das estruturas.

2.6 PERÍCIA DA ENGENHARIA CIVIL

A norma NBR 9452 (ABNT, 2019), Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento, foi criada para definir critérios para inspeções de OAE's, com intuito de identificar aspectos falhos que possam comprometer a sua estrutura. A referida norma define quatro tipos de inspeções: a cadastral, rotineira, especial e extraordinária.

- a) Inspeção Cadastral: esse tipo de inspeção tem uma periodicidade de cinco anos, trata-se de uma vistoria de referência, realizada logo após a construção da ponte, caracteriza-se por ser bastante documentada, sendo levantada dados do projeto e execução com fotos e identificação. Nessa vistoria são anotados os principais elementos relacionados à segurança e durabilidade da estrutura (SOARES, 2021 apud SOUZA, 2019).
- b) Inspeção Rotineira: a vistoria é realizada de forma periódica, no intervalo de um a dois anos, podendo haver avaliações visuais com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais. É destinada a observar problemas no comportamento da estrutura e manter o cadastro da obra atualizado (SOARES, 2021 apud VITÓRIO, 2015).
- c) Inspeção Especial: esse tipo de inspeção possui periodicidade de cinco anos, realizada em pontes de grande porte e com histórico elevado de problemas, é uma vistoria mais profunda e detalhada, executada por um engenheiro especialista, com o maior número

de informações, documentos, possíveis, objetivando formular o diagnóstico e prognóstico da estrutura (SOARES, 2021 apud CURCIO, 2008).

- d) Inspeção Extraordinária: é a vistoria gerada por uma demanda não programada, sendo realizada quando se há danos repentinos na estrutura, devido a interferências humanas ou ambientais (SOARES, 2021 apud SOUZA, 2019).

A NBR 9462 (ABNT, 2019), indica que após as inspeções realizadas seja feita uma avaliação da condição das pontes, referentes aos parâmetros estruturais, funcionais e durabilidade, para uma intervenção mais rápida, segura e eficiente.

- a) Critérios Estruturais: são analisados aqueles relacionados à segurança.
- b) Critérios Funcionais: estão associados aos fins que as pontes se destinam, devem assegurar o conforto e segurança dos seus usuários, apresentando, guarda corpo, sinalização, pista de rolamento etc.
- c) Critérios de Durabilidade: estão diretamente ligados à sua vida útil.

A classificação da OAE consiste na atribuição de avaliação de sua condição, a saber excelente, boa, regular, ruim e crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. As notas de avaliação, devem variar de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

Tabela 5 - Classificação (nota) da OAE segundo parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Classificação	Condições	Caracterização Estrutural	Caracterização Funcional	Caracterização Durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em pequenas áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas manifestações patológicas, que comprometam sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que dispensem intervenções imediatas, mas requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas manifestações patológicas, que comprometam sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental. A OAE apresenta moderadas a muitas manifestações patológicas, que

				comprometam sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos comprometendo a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	A OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta moderadas a muitas manifestações patológicas, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório, instrumentação, associadas ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e ou funcional.

Fonte: Adaptado da NBR 9452/16.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

O referido capítulo apresentará a metodologia necessária para atender os objetivos da pesquisa, apresentando todo o caminho percorrido desde o início até a conclusão do trabalho.

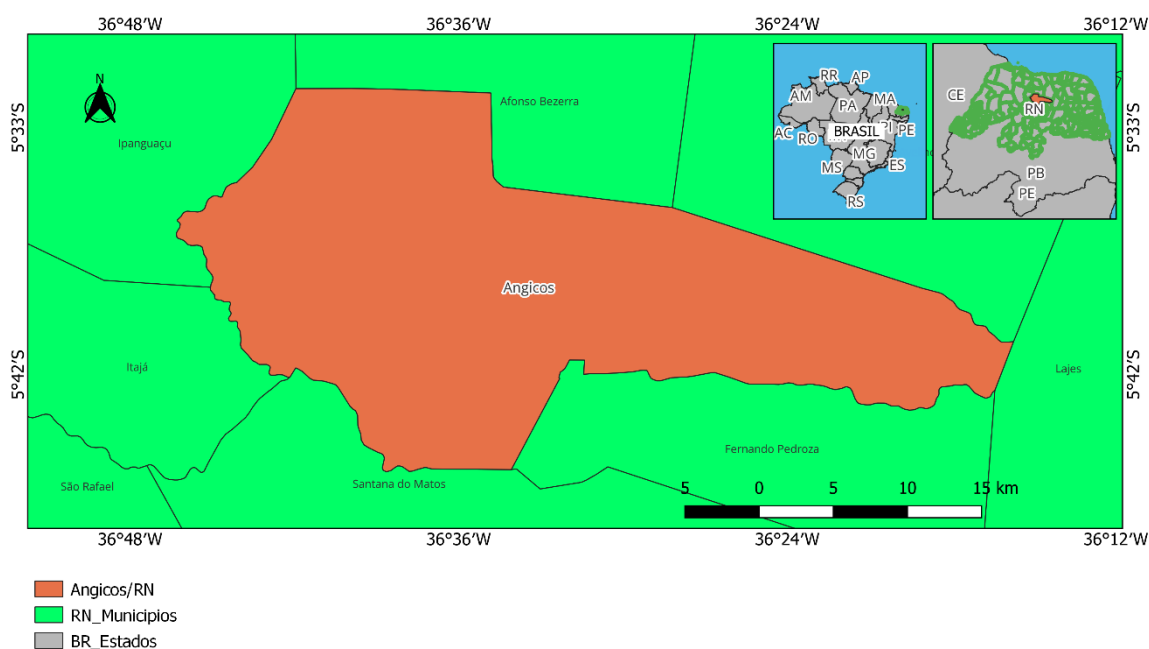
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Município de Angicos/RN está localizado na mesorregião Central Potiguar, à margem esquerda do rio Pataxó ou Angicos. A cidade se distancia em 180 km da capital estadual Natal/RN, tendo como principais acessos a BR-304, a RN-263 e a RN-042. De acordo com os dados do Censo Demográfico do IBGE (2021), a área da unidade territorial mede 741,582 quilômetros. Angicos apresenta características de clima semiárido, com índice pluviométrico anual de 530 mm (1911-2020).

As pontes estudadas possuem em média 50 anos de existência, considerando informações levantadas por meio de moradores locais. Todas estão localizadas na zona urbana do município. São classificadas como pontes rodoviárias, permanentes e com vãos maiores que 10 metros. Em termos de sistema estrutural, as pontes analisadas apresentam pilares, vigas e laje.

Figura 10 - Mapa do município de Angicos/RN.

Localização do município de Angicos, RN, Brasil



Fonte: IBGE, 2021.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O estudo usou diferentes tipos de pesquisa: a explicativa, uma vez que busca identificar fatores e relacioná-los com seus fenômenos, e qualitativa, pois o pesquisador vai em campo procurando entender o fenômeno em seu contexto natural.

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

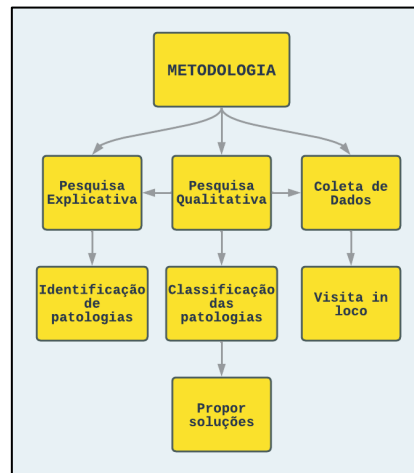
Se tratando de um levantamento bibliográfico, foram consultados livros, pesquisas, teses, dissertações e trabalhos semelhantes contendo o tema de manifestações patológicas em pontes de concreto armado e outros temas que possuem fatores que se enquadram no campo de manifestações patológicas, evidenciando sua origem e principais características, além de como evitá-las, como também as corrigir.

Foi realizado um levantamento de três pontes localizadas na zona urbana do município de Angicos/RN. A vistoria ao local objetivou a coleta de dados através do levantamento fotográfico das manifestações patológicas, se existentes. Através de um aplicativo, foram realizadas medidas de comprimento e largura das pontes, as medições não são consideradas precisas e servem como uma base das dimensões analisadas.

Através dos dados obtidos será possível identificar características da manifestação patológica quanto a sua localização e sua possível origem, além de uma provável recuperação. O critério utilizado para a avaliação patológica foi o de análise visual, verificando seus devidos problemas, de acordo com as análises bibliográficas realizadas.

O levantamento de dados através de memoriais, projetos e materiais adotados na época da execução das pontes não foram considerados devido a impossibilidade de acesso as informações.

Figura 11 - Fluxograma da Metodologia.



Fonte: A autora (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No capítulo a seguir pode-se verificar a descrição visual de pilares, vigas e lajes que serviram como base para as definições do grau de deterioração da estrutura das pontes analisadas. Aborda-se ainda, as manifestações encontradas, prováveis causas para o surgimento de tais anomalias e soluções que podem ser adotadas para a recuperação.

4.1 PONTE UM

A primeira ponte estudada está localizada no bairro Dom Tavares conhecido como Outro Lado do Rio. Inserida na RN-263, é caminho para a saída da cidade em direção ao município de Afonso Bezerra. Consultando moradores locais, estima-se que a ponte tenha sido construída por volta do ano de 1976. A Figura 12 mostrar uma visão aérea da ponte.

A ponte um é reta, classificada segundo a sua extensão de vão como sendo maior que 10 metros, quanto a sua durabilidade é classificada como ponte permanente e quanto a natureza do tráfego classifica-se como sendo uma ponte rodoviária.

Figura 12 - Visão aérea da ponte.



Fonte: Google Maps (2022)

Realizou-se visita em campo para fazer uma inspeção de cunho visual dessa ponte, onde observou-se através da análise visual e levantamento fotográfico as manifestações patológicas presentes. A OAE possui, aproximadamente, 83 metros de comprimento e 6 metros de largura (Figura 13).

4.1.1 Identificação das manifestações patológicas

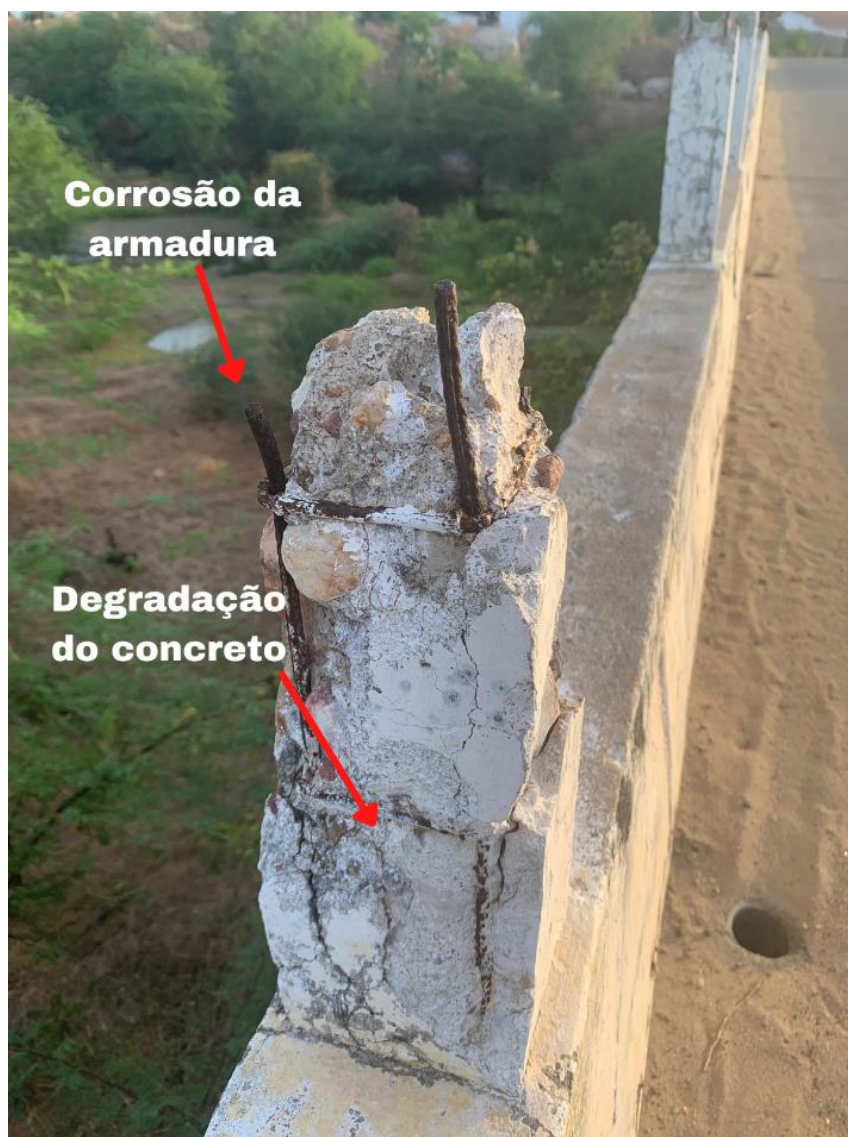
A figura 14 e 15 referem-se a superestrutura, precisamente ao guarda-corpo da ponte em análise, no qual pode ser visto o surgimento de manifestações patológicas com alta intensidade, comuns na estrutura da ponte em questão.

Figura 13 - Guarda-corpo apresentando fissuras, manchas de umidade e degradação do concreto.



Fonte: A autora (2022).

Figura 14 - Guarda-corpo apresentando nível crítico de corrosão da armadura e degradação do concreto.



Fonte: A autora (2022).

4.1.2 Análise das manifestações

A ausência de cobrimento mínimo estipulado pela NBR 6118/2014, presença de fissuras, concentração de CO_2 , relação água/cimento muito elevada e tempo de cura do concreto são fatores que influenciam diretamente o processo de carbonatação do concreto e, consequentemente, na corrosão das armaduras. À medida que a corrosão das armaduras se expande, dentro do concreto, geram fissuras com aberturas cada vez maiores até o desprendimento da massa de concreto.

Além disso, foi verificado que o avançado estado de degradação estrutural de uma grande parte da ponte, provavelmente, é causado pela falta de manutenção preventiva e corretiva ao longo do tempo.

Analisando a infraestrutura da ponte foi possível notar a grande presença de vegetação e manchas de umidade (Figura 16), além da presença de fissuras localizadas no pilar de sustentação e manchas brancas na mesoestrutura (Figura 17).

Figura 15 - Infraestrutura e mesoestrutura com presença de manchas e acúmulo de vegetação.



Fonte: Autora (2022)

Figura 16 - Pilar apresentando fissuras e manchas brancas.



Fonte: Autora (2022)

Quanto a sua classificação em relação a caracterização funcional (NBR 9452), o guarda-corpo da ponte apresenta uma nota 2 (ruim), pois apresenta funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.

Em relação as condições estruturais e de durabilidade, a ponte apresenta condições boas com danos pequenos e em pequenas áreas, sem comprometer a segurança estrutural e sua vida útil.

4.1.3 Possíveis Soluções

Para remediação do processo de carbontação e degradação do guarda-corpo, segundo a norma do DNIT 088/2006, entre recuperação e substituição a preferência é pela substituição quando há peças em estoque.

2.5 PONTE DOIS

A segunda ponte estudada localiza-se na Rua Vicente Germano, bairro Alto da Esperança. Possui, aproximadamente, 20 metros de comprimento e 7,8 metros de largura. A ponte é assentada sobre a parede de um dos açudes da cidade, conhecido como Açude Velho.

A ponte dois é reta, classificada, segundo a sua extensão de vão, uma ponte maior que 10 metros. Quanto a sua durabilidade e natureza do tráfego classifica-se como sendo uma ponte permanente e rodoviária.

Figura 17 – Vista aérea.

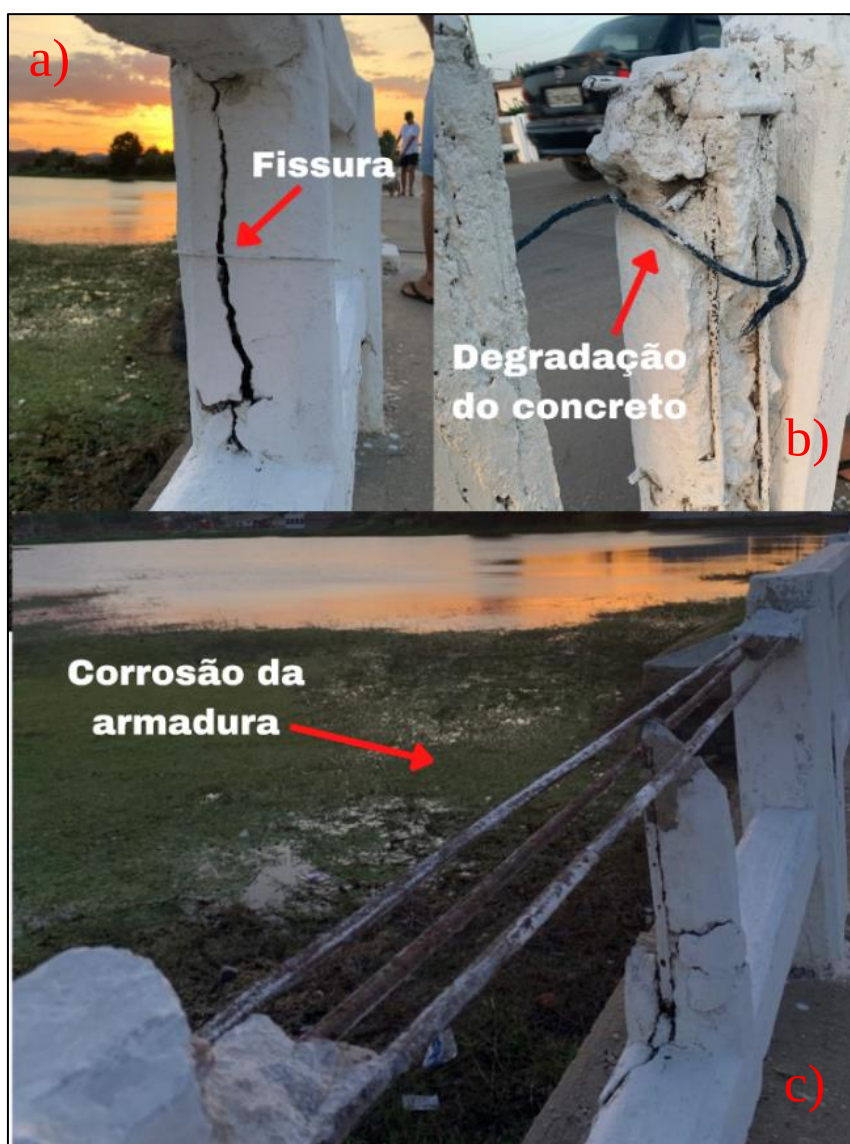


Fonte Google Maps e Autora (2022)

4.2.1 Identificação das manifestações patológicas

A ponte dois apresentou anomalias semelhantes às encontradas na ponte um. A superestrutura possui um maior desgaste comparando-se com as outras partes constituintes da OAE (Figura 19). Ainda assim, é possível identificar manifestações patológicas presentes na mesoestrutura (Figura 20 e 21).

Figura 19 – a) Presença de fissura; b) Degradação do concreto; c) Corrosão da armadura no guarda-corpo da ponte.



Fonte: Autora (2022)

Figura 20 - Corrosão e desagregação do concreto na viga da ponte



Fonte: Autora (2022)

Figura 18 - Presença de brecha entre a viga e o pilar da ponte.



Fonte: Autora (2022)

4.2.2 Análise das manifestações

O guarda-corpo está comprometido ao longo de toda a ponte, visto que está ocorrendo um processo de fissuração (Figura 18) e degradação do concreto, consequentemente havendo exposição das armaduras, que estão sofrendo corrosão e, portanto, comprometendo a segurança dos usuários. Possivelmente devido à infiltração de água ou cobrimento insuficiente ou até mesmo materiais inadequados.

A oxidação da armadura (Figura 19) pode ser provocado pelo déficit de cobrimento, a alta permeabilidade e a porosidade do concreto utilizado. O fenômeno da corrosão, é consequência da penetração da carbonatação à superfície da armadura, que por sua vez destrói

sua camada passivadora. O guarda-corpo da ponte apresentou uma inclinação, provavelmente devido a degradação e corrosão.

4.2.3 Possíveis soluções

Com relação a área carbonatada, é sugerido por Soares (2021), como tratamento a limpeza da armadura ou possível troca ou reforço do concreto comprometido, aplicando-se um fundo preparador de forma a proteger a armadura e preencher com material de reparo.

Um ensaio bem simples de ser realizado para verificação da existência da carbonatação, é um teste colorimétrico que consiste na aspersão de uma solução alcoólica de fenolftaleína, que em caso afirmativo, deve-se ser medida a sua profundidade perante o concreto.

2.6 PONTE TRÊS

A terceira ponte analisada localiza-se na Rua Vereador José Nircio da Costa. Possui, através de medição aproximada, 12 metros de comprimento e 12 metros de largura. Durante a gestão do prefeito Deusdete Gomes (2016 a 2020) a referida ponte sofreu uma reforma, na qual foi feito uma nova concretagem na laje, com adição de novas telas de aço e concreto, além do acréscimo de guarda-corpo.

A obra de arte apresentada é reta maior que 10 metros, quanto a sua durabilidade é classifica como ponte permanente e relacionando quanto a caracterização por natureza do tráfego classifica-se como sendo uma ponte rodoviária.

Figura 19 - Vista aérea da ponte três.



Fonte: Google Maps (2022)

4.3.1 Identificação das manifestações patológicas

Na Figura 23 pode-se ver com detalhes a presença de fissuras horizontais na laje e nas vigas de sustentação. Identifica-se também uma forte degradação do concreto no ponto de ligação entre pilar, viga e laje (Figura 24).

4.3.2 Análise das manifestações

Souza e Ripper (1998) alegam que as fissuras são os problemas patológicos mais complexos para diagnosticar, pois elas podem se instalar na estrutura como consequência da interação de diversas causas, e isso requer um nível de análise muito mais aprofundado.

De acordo com Solano (2019), a corrosão das armaduras pode ser considerada como um causador de fissuras, devido à sua expansão de volume que exerce pressão dentro do concreto. Com isso, o concreto fissura paralelamente à armadura corroída e favorece a entrada de outros agentes agressivos que causam mais problemas patológicos na estrutura.

Da Silva (2020) descreve que as principais causas das fissuras podem ser listadas como erro de projeto ou execução, variação de temperatura, retração, expansão e cura deficiente do concreto, recalques diferenciais e ataques químicos.

A ponte três, apesar de ter sido reformada recentemente, apresenta uma classificação regular (3), pois apresenta danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, no entanto, não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.

4.3.3 Possíveis soluções

Para apresentar um dos possíveis reparos, serão consideradas apenas se as fissuras são ativas ou passivas, independente da causa real de cada uma delas. Lapa (2008) sugere o seguinte tratamento

- Fissuras ativas
 - a) monitorar a fissura a fim de saber qual a amplitude da sua movimentação;
 - b) definir se é necessário tratar essa fissura como uma junta móvel;
 - c) selecionar um selante plástico e calcular o comprimento da junta móvel necessária para absorver as movimentações da fissura;
 - d) com um cinzel, alargar a fissura até o comprimento calculado. Em seguida limpá-la e secá-la;

e) preencher a fissura alargada com o material elástico.

- Fissuras Passivas

a) Limpar e secar a fissura com jato de ar;

b) Realizar furos ao longo das anomalias, espaçados de dez a trinta centímetros e ligeiramente mais profundos que a trinca;

c) Introduzir tubos plásticos nos furor, com pontas salientes de 10 cm;

d) Injetar uma resina epóxi nos tubos, cortar as pontas salientes e lixar o material excedente, limpando a superfície tratada.

Figura 20 - Fissuras horizontais.



Fonte: Autora (2022)

Figura 21 - Forte degradação.



Fonte: Autora (2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso desenvolvido nesta monografia teve como objetivo analisar, mediante inspeção visual, as manifestações patológicas existentes em três pontes localizadas no município de Angicos/RN. Com auxílio de registros fotográficos e pesquisas na literatura, foi possível identificar as anomalias mais evidentes, caracterizá-las e indicar métodos de reparo.

Dentre as patologias levantadas, as de maior incidência foram: degradação do concreto, exposição da armadura e fissuras, por se repetirem em diversos elementos estruturais da ponte. Foi possível, ainda, verificar a presença de manchas brancas e de umidade características de ações naturais.

Essas manifestações podem ter sido provocadas pelo uso de materiais inadequados às condições da estrutura, falta de conhecimento do meio técnico durante a execução do projeto e da construção e, falhas construtivas. Evidencia-se precárias manutenções nas estruturas ao longo dos anos, seja elas preventivas ou corretivas.

As pontes estudadas apresentam alto risco de segurança aos usuários quanto a sua funcionalidade, pois apresentam elevada deterioração do guarda-corpo, esse sendo um dos principais itens de segurança em pontes, pois protege pessoas de quedas e evita acidentes. A ponte um, por estar inserida em uma rodovia estadual, é a que necessita de mais atenção e reparos em um curto prazo.

Para Soares (2021), a melhor alternativa para evitar o surgimento das patologias nas estruturas de concreto, sejam elas em pontes ou qualquer outro elemento construtivo é a prevenção, que deve ser feita desde a etapa de projeto até a execução. No entanto, torna-se importante ter uma ação corretiva e um monitoramento para cada manifestação patológica observada nesse estudo, a fim de garantir desempenho e durabilidade para as obras de artes especiais aqui analisadas.

Portanto, o objetivo do trabalho foi atingido uma vez que, a análise visual das manifestações patológicas, permitiram identificar e analisar as anomalias da ponte estudada, apontando suas causas, características e classificações, além de sugerir tratamentos para a manutenção de tais.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, Ciro Jose Ribeiro Villela. **Principais aspectos abordados na ABNT NBR 9452: 2016 e a importância das condições de acesso às inspeções e das atividades de manutenção em pontes e viadutos**. Revista IPT: Tecnologia e Inovação, v. 1, n. 5, 2017.
- ARIVABENE, Antonio Cesar. **Patologias em estruturas de concreto armado: Estudo de caso**. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, v. 3, n. 10, p. 1-22, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452: **Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Unesp, 2006.
- BAUER, F. **Materiais de construção**. V. 1, 6. ed. LTC. Rio de Janeiro, 2019.
- BERTI, João Vitor Meneguetti; DA SILVA JÚNIOR, Gean Pereira; AKASAKI, Jorge Luís. **Estudo Da Origem, Sintomas E Incidências De Manifestações Patológicas Do Concreto**. Revista Científica Anap Brasil, V. 12, N. 26, P. 33-47, 2019.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Blucher, 2015.
- DA SILVA, Luiz Alberto et al. **Estudo Sobre Patologia Estrutural Em Um Reservatório De Água De Concreto Armado**. Revista Augustus, v. 25, n. 50, p. 66-80, 2020.
- DE SOUZA, Vicente Custodio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Pini, 1998.
- EL DEBS, Mounir Khalil; TAKEYA, Toshiaki. **Introdução às pontes de concreto**. Texto provisório de apoio à disciplina de pontes. SET, v. 412, 2007.
- FERNÁNDES CÁNOVAS, M. Patologia e terapia do concreto armado. Tradução de M. Celeste Marcondes, Carlos Wagner Fernandes dos Santos, Beatriz Cannabrava. São Paulo: Pini, 1988.
- GONÇALVES, Daniel Fonseca Nunes E. Ricardo. **ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE PATOLOGIAS E DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÃO DE CONCRETO ARMADO**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade Católica de Brasília.
- HELENE, P. R. L. Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo, Pini, 1986.
- HELENE, P. R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. São Paulo, Pini, 1992.
- JÚNIOR, Francisco Anchieta Diógenes; CIPRIANO, Luiz Florival; DE LIMA, Williams da Silva Guimarães. **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTUTAS DE CONCRETO ARMADO: Estudo de caso no Centro Histórico de João Pessoa Capital da Paraíba**. Acta Scientia, v. 3, n. 2, 2022.

LAPA, José Silva. Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto. **Monografia, Especialização em Construção Civil–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte**, 2008.

LOTTERMANN, André Fonseca. **Patologias em estruturas de concreto: estudo de caso**. 2013.

MACHADO, Ari de Paula. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. São Paulo: Pini, 2002.

MARCHETTI, Osvaldemar, 2008. PONTES DE CONCRETO ARMADO. 1 Reimpressão 2009. Editora BLUCHER

MASCARENHAS, Fernando Júnior Resende et al. **Patologias e inspeção de pontes em concreto armado: Estudo de caso da ponte Governador Magalhães Pinto**. Engevista, v. 21, n. 2, p. 288-302, 2019.

MELO, Telmo Mêne; PINHEIRO, Erika Cristina Nogueira Marques. **Patologias em ponte de concreto armado, estudo de caso: Pathologies in reinforced concrete bridge, case study**. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 10, p. 69182-69197, 2022.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.

RAMALHO, Felipe Carlos et al. **Identificação das patologias na ponte de concreto armado situado no bairro da Pedra Velha no município de Delmiro Gouveia-AL**. 2017.

RIBEIRO, D. **Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto**. Grupo GEN, 2018. 9788595152359. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595152359/>. Acesso em: 17 Nov 2022

RODRIGUES, Adsara Lima; ROSA, Alessandra Leal. **Estudo das manifestações patológicas em pontes e viadutos-Região Metropolitana de Goiânia**. 2021.

ROSA, Guilherme Antonio et al. **Estudo De Manifestações Patológicas Em Pontes E Viadutos De Concreto Armado Na Cidade De Cuiabá-MT..**

SARTORTI, A. L. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. Campinas, 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, Luiza Kilvia da; CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. **Levantamento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no estado do Ceará**. 2014.

SOARES, Vinnícius Klively da Silva. **Análise patológica na ponte sobre o Rio Santo Antônio Localizada na BR–230 no quilômetro 500 próxima à Cidade de Cajazeiras-PB**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso.

SOLANO, Joyce Rodrigues. **Mapeamento de manifestações patológicas em ponte de concreto armado: estudo de caso no município de Palmas-TO**. 2019. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2019.

VASCONCELOS, Flávio de Oliveira et al. **Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado: estudo de caso**. 2018.

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia.**
Recife: Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícia de Engenharia, 2003.