



Raimunda do Socorro Raiol Barros

**PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES NO
ESTADO DO PARÁ**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Dissertação Orientada pelo Professor Dênio Ramam Carvalho de
Oliveira.

Belém – Pará – Brasil
2019

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



RAIMUNDA DO SOCORRO RAIOL BARROS

Patologias em Edificações no Estado do Pará

Dissertação de Mestrado

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestra.

Orientador: Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira

Belém

Dezembro de 2019

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Raimunda do Socorro Raiol Barros.

TÍTULO: Patologias em Edificações no Estado do Pará

GRAU: Mestrado Acadêmico (*stricto-senso*) ANO: 2019

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Raimunda do Socorro Raiol Barros.
Avenida José Bonifácio, 160, Ed. José Bonifácio, apto. 305, bairro São Brás.
66.063-075 Belém – PA – Brasil.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

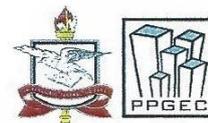
R149p RAIOL BARROS, RAIMUNDA DO SOCORRO
Patologias em edificações no Estado do Pará /
RAIMUNDA DO SOCORRO RAIOL BARROS. —
2019.
134 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de
Oliveira

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal
do Pará, Belém, 2019.

1. Construção Civil. 2. Patologias das construções. 3.
Manutenção estrutural. I. Título.

CDD 690.24



PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES NO ESTADO DO PARÁ

AUTORA:

RAIMUNDA DO SOCORRO RAIOL BARROS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 03/12/2019.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Orientador (UFPA)

Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene
Membro Externo (EP USP)

Prof. Dr. Alcebtades Negrão Macêdo
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Coordenador do PPGEC - ITEC - UFPA

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



RAIMUNDA DO SOCORRO RAIOL BARROS

Patologias em Edificações no Estado do Pará

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestra.

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Orientador
Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macedo
Examinador Interno
Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene
Examinador Externo
Universidade de São Paulo – USP

Belém, 3 de Dezembro de 2019.

Ao DEUS Pai Celestial, que é minha fonte de vida, por que sem o intelecto que ELE me deu, eu jamais poderia desenvolver este trabalho científico, e sempre diante das adversidades e desafios, eu pude sentir sua presença me dizendo que eu poderia superá-los. Obrigada meu DEUS e meu SENHOR!

O mundo é um lugar perigoso de se viver, não por causa daqueles que fazem o mal, mas sim por causa daqueles que observam e deixam o mal acontecer.

Albert Einstein

Dedico este trabalho científico a meu pai Hamilton (in memorian), que com o seu amor, carinho e orientação, deixou de herança que somente se desiste de um objetivo quando conseguimos realizá-lo. E somado a esse grande incentivo, agradeço a minha mãe Raimunda, que com seu amor e dedicação aos filhos, sempre esteve presente nos momentos mais difíceis desta caminhada.

Ao meu filho Thomás, meu precioso amigo, incentivador em todos os momentos, motivando-me sempre, acompanhado de meus irmãos Edmilson e Edson, que sempre me encorajaram e torceram por mim.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira, meu orientador e amigo, por ter acreditado em mim, desde o primeiro momento e pela paciência e incentivo contínuos, durante a realização dessa dissertação.

Aos Professores do PPGEC Alcebíades Macedo, Bernardo de Moraes Neto e Marcelo Picanço, pela atenção e incentivo para a concretização desta pesquisa.

Ao prof. Msc. Helio Elarrat (in memorian), grande amigo que sempre obtive incentivo desde os tempos da graduação, na época, meu orientador da realização do TCC.

Ao Prof. Dr. Paulo Helene, pelo estímulo constante e contribuições de suas obras literárias.

Aos amigos e peritos criminais engenheiros civis, Edilson Teixeira Junior e Marcia de Nazaré Barbosa Sá, profissionais competentes e que sempre me deram apoio e incentivo durante a realização desta pesquisa científica.

A todos os amigos que direta ou indiretamente me apoiaram durante esta jornada, entendendo a minha ausência em algumas reuniões comemorativas.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo sobre as manifestações patológicas, em edificações no Estado do Pará registradas entre os anos de 2011 a 2018, bem como suas origens, agentes causadores, mecanismos de ocorrências e consequências, considerando que, dependendo do tipo e da extensão das manifestações patológicas, podem levar a edificação ao colapso. Medidas preventivas com monitoração periódica para evitar o progresso das anomalias são raramente adotadas, e em muitos casos se encerram com a perda de vidas humanas e prejuízos financeiros. Nesse estudo, entre as origens e agentes causadores analisados, são apresentados casos de edificações que foram objeto de perícias do Centro de Perícias Científicas “Renato Chaves” do Estado do Pará, principalmente estudos daqueles que chegaram ao colapso, bem como o estudo de caso, empregando uma sugestão de procedimento metodológico para aplicação nas perícias nesse Instituto. O resultado deste trabalho após o levantamento de 2879 ocorrências de manifestações patológicas, constatadas pelo Instituto de Perícias, foram filtrados para 1006, com o fito de atender ao tema desta pesquisa, e culminou na demonstração das origens das manifestações patológicas, através de gráficos, inclusive através do método de demonstração e combinação de dados, utilizando o georreferenciamento, para uma análise geral. Neste sentido para uma análise mais pormenorizada, utilizou-se um procedimento metodológico que apresenta todas as etapas de investigação, que se iniciam desde a primeira inspeção, apontando os resultados dos exames na edificação, chegando-se a um diagnóstico, prognóstico até a proposição de uma recomendação terapêutica a ser adotada. Além disso, buscou-se apresentar um enfoque geral sobre os aspectos legais e chamar a atenção para a necessidade urgente de implantação de um programa de medidas preventivas, visando o monitoramento da vida útil e do desempenho satisfatório das edificações no que concerne a segurança, a funcionalidade e durabilidade das edificações.

PALAVRAS-CHAVE: *Construção civil; patologias das construções; manutenção estrutural.*

ABSTRACT

This paper presents a study on the pathological manifestations in buildings in the State of Pará registered between 2011 and 2018, as well as their origins, causative agents, mechanisms of occurrences and consequences, considering that, depending on the type and extent of pathological manifestations can lead to building collapse. Preventive measures with periodic monitoring to prevent the progress of anomalies are rarely adopted, and in many cases end with the loss of human lives and financial losses. In this study, among the origins and causative agents analyzed, we present cases of buildings that were the subject of expertise of the “Renato Chaves” Scientific Expertise Center of the State of Pará, especially studies of those who collapsed, as well as the case study, employing a suggestion of methodological procedure for application in the expertise in this Institute. The result of this work after the survey of 2879 pathological occurrences, found by the institute of expertise, were filtered to 1006, in order to address the theme of this research, and culminated in the demonstration of the origins of pathological manifestations, through graphics, including through demonstration method and data combination using georeferencing for a general analysis. In this sense for a more detailed analysis, a methodological procedure was used that presents all the investigation stages, starting from the first inspection, pointing the results of the examinations in the building, reaching a diagnosis, prognosis until the proposition of a therapeutic recommendation to be adopted. In addition, we sought to present a general focus on the legal aspects and draw attention to the urgent need to implement a program of preventive measures, aiming at monitoring the life and of satisfactory performance of buildings with regard to safety, the functionality and durability of buildings.

KEYWORDS: *Construction; pathologies of buildings; structural maintenance.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Escombros do Edifício Liberdade, Rio de Janeiro/2012.....	24
Figura 2: Edifício Senador, desabamento de lajes interiores (colapso parcial), São Paulo (Quaresma, 2012).	25
Figura 3: Exposições às quais as edificações estão expostas.....	27
Figura 4: Desempenho com e sem manutenção.....	29
Figura 5: Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão de armaduras.....	31
Figura 6: Relações existentes entre os conceitos de durabilidade do concreto e desempenho das estruturas, Model Code (CEB - FIP, 1992).....	35
Figura 7: Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos.	38
Figura 8: Hipóteses para reconversão de estruturas com desempenho insatisfatório	39
Figura 9: Lei de evolução de custos, Lei de Sitter.....	48
Figura 10: a) Vista geral da passarela. b) Vista de ausência e deterioração de peças componentes da passarela. c) Vista da oxidação da ferragem.....	50
Figura 11: Trinca em imóvel limítrofe à obra.	51
Figura 12: Ensaio de Esclerometria.	57
Figura 13: Aparelho de Ultrassom.....	58
Figura 14: Equipamentos utilizados para a verificação da integridade da peça e localização de ferragem (Ultrassom e Pacometria).	59
Figura 15: a) Coletas seletivas de materiais de escombros e da estrutura remanescente. b) Análise em laboratório dos materiais coletados “in loco”.....	60
Figura 16: Exemplo de configuração de equipamento para a medição de vibrações.	61
Figura 17: Área de estrutura submetida a ensaio de carbonatação.	62
Figura 18: Efeitos de 2º Ordem	67
Figura 19: Percentual de falhas por etapa construtiva	68
Figura 20: Gráfico que relaciona as principais causas de Manifestações Patológicas.	69

Figura 21: Fluxograma de metodologia para avaliação de acidentes estruturais..	70
Figura 22: Desabamento do edifício Raimundo Farias ocorrido em 1987, que apresentava 13 andares, fase de execução, 39 operários vieram a óbito. Belém/Pa.....	73
Figura 23: a) Vista da área do desabamento; b) Pilar da fundação P3; c) Pilar da fundação P1 e sapata S1.....	74
Figura 24: a) Visão geral da área da siderúrgica antes do acidente; b) Vista geral das condições existentes; c) Vista da base do anel externo.....	75
Figura 25: a) Vista de uma rampa similar ao que ruiu; b) Falhas das emendas do escoramento; c) Restos do escoramento em madeira; d) Rampa destruída no chão.....	76
Figura 26: a) Vista da área do desabamento do edifício, ao lado o edifício vizinho; b) Vista da área de inspeção pericial do subsolo; c) Pilar P15, compressão na face esquerda e tração na face direita, deslocamento à esquerda e giro no sentido anti-horário; d) Pilar 22 com tombamento para fora do prédio.....	78
Figura 27: a) Vista frontal do local do desabamento; b) Pilares em concreto seccionados – viga com rotação para dentro; c) Capitel do pilar metálico 08, corroído e solda danificada.....	79
Figura 28: a) Acidente em março de 2014(setas). Acidente em novembro de 2014 (balão); b) Detalhe do trecho dos tabuleiros destruídos; c) Estaca acidentada em novembro de 2014. Fonte: Maciel <i>et al.</i> , 2015; d) As duas balsas transportadoras de madeira, que provocaram o acidente na estaca.....	80
Figura 29: a) Silo 01 desabado; b) Vista do telhado cônico do Silo 01; c) Vista da abertura do telhado cônico no Silo 01.....	81
Figura 30: a) Reservatório elevado; b) Pilar central da base; c) Detalhe interno do pilar central; d) Paredes internas colapsadas.....	83
Figura 31: a) Palacete Augusto Corrêa; b) Palacete Augusto Corrêa – ano: 2018 (Fonte: Página A vanguarda Bragantina); c) Aspecto geral do desabamento – 80% da fachada principal.....	84

Figura 32: a) Vista geral da infraestrutura do trapiche; b) Exposição da armadura da base da laje de piso; c) Outra vista de armadura exposta da base da laje de piso do trapiche.....	85
Figura 33: Mapas de Intensidade pontual da mortalidade por acidentes de trânsito, por local de residência, de ocorrência do acidente e de ocorrência do óbito, segundo setor censitário no município do Rio de Janeiro (2003)87	
Figura 34: Formulário de Vistoria - NEA/GPT.....	90
Figura 35: a) Vista de fissura horizontal na parede da janela. b) Vista da parede após a retirada do reboco c) Vista da laje da sala. d) Vista de ângulo mais próximo.....	93
Figura 36: a) Ensaio de esclerometria. b) Escavação para ensaio de penetrometria.....	93
Figura 37: Distribuição da quantidade de perícias com ocorrências patológicas de 2011 a 2018.....	100
Figura 38: Distribuição de total de ocorrências e origens das manifestações patológicas no período de 2011 a 2018.....	102
Figura 39: Amostragem dos municípios analisados do Pará.....	104
Figura 40: Mapeamento de anomalias- Arquitetura pavimento térreo.....	106
Figura 41: a) Detalhe da planta térrea; b) Vista V04; c) Imagem da fissura referente à Vista V04.....	107
Figura 42: Mapeamento de anomalias- Arquitetura pavimento superior.....	108
Figura 43: a) Detalhe da planta pavimento superior; b) Vista V19; c) Imagem das fissuras.....	109
Figura 44: Distribuições de ocorrências com origens de agentes externos (Outros) durante o período de 2011 a 2018.....	111
Figura 45: Distribuições de ocorrências com origem na execução durante o período de 2011 a 2018.....	111
Figura 46: Distribuições de ocorrências com origens na manutenção durante o período de 2011 a 2018.....	112
Figura 47: Distribuição das três origens, com maior número de ocorrências por ano.....	112
Figura 48: Percentual de ocorrências das três origens durante os anos de 2011 a 2018.....	113

Figura 49: Origem das manifestações patológicas no projeto, período de 2011 a 2018 – (a) Estrutural (Americano, Ananindeua, Belém, Marabá) – (b) Não Estrutural (Belém, Ananindeua, Marituba Santarém Novo) – (c) Risco e Desabamento (Belém, Ananindeua).....	115
Figura 50: Origem das manifestações patológicas na etapa de execução, período de 2011 a 2018 – (a) Estrutural (Americano, Ananindeua, Barcarena, Belém, Marabá) – (b) Não Estrutural (Altamira, Ananindeua, Belém, Benevides, Marituba, Santarém Novo e Vigia) – (c) Risco e Desabamento (Barcarena, Belém, Ananindeua).....	116
Figura 51: Origem das manifestações patológicas no uso do material, no período de 2011 a 2018 - (a) Não Estrutural (Belém, Ananindeua, Altamira, Marituba) – (b) Estrutural (Belém) – (c) Risco e Desabamento (Belém).....	117
Figura 52: Origem das manifestações patológicas durante manutenção, no período de 2011 a 2018 – (a) Não Estrutural (Belém, Ananindeua, Santarém Novo, Altamira, Barcarena, Marituba, Itaituba, Marabá, Mocajuba, São Sebastião, Salinópolis, Santarém, Santa Bárbara, Soure, Itaituba); (b) Estrutural (Santarém Novo, Belém, Marituba, Barcarena, Ponta de pedras, Acará, Ananindeua, Baião, Maracanã, Muaná, Paragominas, Salvaterra, Santa Izabel do Pará, Soure, Vitória do Xingu); (c) Risco e Desabamento (Belém).....	118
Figura 53: Origem das manifestações patológicas durante a utilização, no período de 2011 a 2018. (a) Não Estrutural (Belém) – Estrutural (sem ocorrências) – Risco e Desabamento (sem ocorrências).....	119
Figura 54: Origem Fortuita de 2011 a 2018 – (a) Não Estrutural (Belém, Barcarena, Benevides) – (b) Risco e Desabamento (Ananindeua) – Estrutural (sem ocorrências).....	119
Figura 55: Origens outras (agentes externos), no período de 2011 a 2018 – (a) Não Estrutural (Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Limoeiro, Santa Bárbara, Santa Izabel, Tailândia) – (b) Estrutural (Belém, Moju, Ananindeua, Santa Izabel, Santarém) – (c) Risco e Desabamento (Belém, Irituia, Santarém).....	120
Figura 56: Mapa de destaque de ocorrências.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de agressividade ambiental.	26
Tabela 2: Vida útil de projeto recomendada pela norma ISO 2394 (ISO/TC98/SC 2, 1998).....	32
Tabela 3: Vida útil de projeto recomendada pela norma europeia EN 206-1 (CEN/TC 104, 2007)	33
Tabela 4: Problemas patológicos, Revista Techné (1995).	68
Tabela 5: Resultados do ensaio de penetrometria - Empresa L.C.S Engenharia LTDA (2018).	94
Tabela 6: Resultados do ensaio de esclerometria - Empresa L.C.S Engenharia LTDA (2018).	97
Tabela 7: Quantidade de Perícias com ocorrências patológicas realizadas entre os anos de 2011 a 2018.	100
Tabela 8: Origens das manifestações patológicas constatadas no período de 2011 a 2018.....	101

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<i>ABENDI</i>	Associação Brasileira de Ensaios não Destrutivos e Inspeção
<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>ACI</i>	American Concrete Institute
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials
<i>CEB</i>	Commission Euro-Internationale du Béton
<i>EN</i>	European Norm
<i>Fib</i>	Fédération Internationale du béton / International Concrete Federation (created from the merger between CEB and FIP)
<i>FIP</i>	Fédération Internationale de la Précontrainte
<i>ISO</i>	International Organization for Standardization
<i>NBR</i>	Norma Brasileira Registrada
<i>UFPA</i>	Universidade Federal do Pará
<i>SIG</i>	Sistema de Informação Georreferenciada
<i>NEA/GPT</i>	Núcleo de Engenharia Aplicada/Gerência de Perícias Tecnológicas.
<i>ELS</i>	Estado Limite de Serviço
<i>ELU</i>	Estado Limite Último

LISTA DE SÍMBOLOS

f_c	Resistência à compressão axial (MPa)
f_{ct}	Resistência à tração por compressão diametral (MP _a)
f_{c28}	Resistência à compressão axial aos 28 dias de idade segundo a ABNT NBR 5739: 202018
f_{ci}	Unidade de resistência à compressão referente à idade da edificação
MP _a	Mega Pascal
ψ_6	Índice está associado a um controle estatístico, como coeficiente de segurança
CA	Concreto armado

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	20
1.1.	JUSTIFICATIVA	21
1.2.	OBJETIVO	21
1.2.1.	Objetivos Gerais.....	21
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	22
1.3.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	22
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1.	Definições e terminologias	24
2.1.1.	A patologia das construções.....	24
2.1.2.	Vida Útil.....	27
2.1.3.	Durabilidade.....	33
2.1.4.	Desempenho.....	36
2.1.5.	Manifestações patológicas.....	39
2.2.	Origens e causas das manifestações patológicas	40
2.2.1.	Origem das manifestações patológicas no projeto.....	42
2.2.2.	Origem das manifestações patológicas no emprego do material.....	43
2.2.3.	Origem das manifestações patológicas durante a execução.....	44
2.2.4.	Origem das manifestações patológicas durante a utilização e na ausência de manutenção.....	46
2.2.5.	Origem das manifestações patológicas devido a agentes externos ou origem exógena.....	50
2.3.	Inspeção	51
2.4.	Diagnóstico	52
2.5.	Prognóstico	53
2.6.	Terapia das construções	53
2.7.	Equipamentos de ensaio para estudos de manifestações patológicas	54
2.7.1.	Esclerometria.....	56
2.7.2.	Ultrassom.....	57
2.7.3.	Pacométria.....	58

2.7.4.	Extração de testemunho.....	59
2.7.5.	Prova de carga.....	60
2.7.6.	Método de carbonatação.....	61
2.8.	Critérios normativos.....	62
2.9.	Acidentes estruturais.....	64
2.9.1.	Tipos de acidentes estruturais.....	72
2.9.2.	No estado do Pará.....	72
2.10.	Sistema de Informação Georreferenciada.....	85
3.	METODOLOGIA.....	89
3.1.	Método da pesquisa.....	89
3.2.	Estudo de caso.....	89
3.2.1.	Caso em estudo.....	91
a)	Vistoria.....	91
b)	Anamnese.....	97
c)	Diagnóstico.....	97
d)	Conduta recomendada.....	98
3.3.	SIG aplicado na análise espacial de ocorrência de manifestações patológicas de 2011 a 2018.....	98
3.3.1.	Técnica da análise espacial de ocorrências.....	102
4.	RESULTADOS E ANÁLISES.....	105
4.1.	Estudo de caso.....	105
4.2	Análise dos resultados com uso de Sistema de informações georreferenciadas.....	110
5.	CONCLUSÃO.....	122
6.	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	123
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124

1. INTRODUÇÃO

Desde o início dos tempos a engenharia civil está presente na vida do ser humano, para atender todas as suas necessidades no setor terrestre, aéreo e aquático, necessidades estas que para serem satisfeitas são construídas as edificações, as quais propiciam o abrigo, locomoção e transporte das pessoas, animais, assim como o transporte e distribuição de produtos de bens de consumo. As construções de modo geral, seja um imóvel, obras de arte especiais e outros, desde sua concepção até a entrega da edificação, necessitam de cuidados técnicos para poderem atender ao seu objetivo durante sua vida útil, contemplando a durabilidade, desempenho e funcionalidade e atender às necessidades do ser humano como um todo. Entretanto as edificações, com o passar do tempo, vão envelhecendo e, dependendo do ambiente em que estão construídas, vão apresentando adoecimentos, entrando em um estado de degradação, comprometendo a sua funcionalidade e estabilidade Mehta & Monteiro (1994).

Essas doenças denominadas manifestações patológicas podem ocorrer em qualquer fase da vida da edificação, e após a conclusão da edificação essas manifestações patológicas podem ser evitadas através de manutenção preventiva, e quando forem diagnosticadas, seja na sua supra estrutura como na sua infraestrutura, precisarão de uma terapia, uma adoção de medidas para restabelecer a integridade da edificação, visando o bem estar de seus usuários. A partir de então surgiu uma ciência para análise desse problema, chamada patologia das construções, que é uma ciência que estuda os sintomas, os mecanismos, os agentes causadores da ocorrência de determinada manifestação patológica, Souza & Ripper (1998).

As manifestações patológicas possuem origem endógena, ou seja, causadas por fatores inerentes à própria edificação, sendo estes muitas vezes associados ao erro na concepção do projeto, ao emprego de materiais que não atendam às especificações técnicas, mão de obra desqualificada ou mau gerenciamento, e ainda causadas por fatores de

origem exógena, devido agentes externos, que entre vários fatores pode ser o efeito de uma construção vizinha, influenciando nas fundações da edificação propiciando as anomalias.

Diante das considerações abordadas, um dos pontos que chama a atenção é que para a edificação não apresentar problemas patológicos, ao longo de sua vida útil, deverá ser submetida a um programa de manutenção periódica.

1.1. JUSTIFICATIVA

Com o passar dos anos, embora estando crescendo os estudos abordando as manifestações patológicas em edificações, é de grande importância demonstrar a recorrente preocupação sobre o aparecimento dessas anomalias, que se não houver um esforço conjunto entre o projetista, o construtor e o proprietário, no sentido de alcançar uma qualidade de vida para a edificação, sempre vão ocorrer problemas significativos dando consequência a danos na edificação e dando consequência a gastos financeiros maiores para a manutenção corretiva, em relação aos gastos com manutenção periódica e preventiva.

Desta forma, ressalta-se a importância da abordagem do presente tema, considerando que a edificação é um produto utilizado pelo homem para atender as suas necessidades e a mesma terá que atingir uma vida útil de projeto, no tocante ao atendimento dos requisitos de desempenho, para o cumprimento da periodicidade, considerando uma correta execução dos processos de manutenção NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

1.2. OBJETIVO

1.2.1. Objetivos Gerais

Este trabalho objetiva realizar análises de manifestações patológicas presentes em edificações no Estado do Pará, apresentando exemplos através de perícias realizadas pelo Instituto de Criminalística do Pará,

identificando as origens e agentes causadores dessas anomalias, discutindo seus mecanismos de ocorrência, os sistemas de degradação e as consequências, que muitas vezes contribuem para o colapso da edificação, ressaltando a necessidade de medidas preventivas para assegurar a vida útil da edificação, com desempenho satisfatório.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Demonstrar de forma minuciosa, através de estudo de caso, um procedimento metodológico, desenvolvendo etapas para a constatação das origens, agentes causadores, formas de manifestações (sintomas), processos de surgimento (mecanismos de ocorrências), recomendando a terapia adequada, mediante um prognóstico, para restabelecimento do desempenho e durabilidade da edificação.
- b) Analisar de forma geral as origens das manifestações patológicas, constatadas através de perícias realizadas por um instituto de perícias nos anos de 2011 a 2018, identificando as origens nas etapas construtivas das edificações, utilizando o sistema de informações georreferenciadas, localizando e indicando, através de gráficos e mapeamento geográfico, as ocorrências patológicas no decorrer desse período.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido e distribuído em seis capítulos. Neste primeiro capítulo são feitas considerações gerais sobre o tema, enfocando a importância da pesquisa para a construção civil em geral, assim como as justificativas para escolha do tema e os objetivos que se pretende alcançar no presente trabalho.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica, onde são abordadas as definições e terminologias referentes aos assuntos abordados, mostrando a diferença entre manifestação patológica e patologia das construções, bem como informa sobre os ensaios específicos,

utilizados em uma inspeção para a produção de um diagnóstico, destacando-se a importância da implantação de um plano de medidas preventivas. Nesse contexto são apresentadas as definições e exemplos de áreas de atuação, referentes ao sistema de informações georreferenciadas. E são apresentados ainda os critérios normativos e dez acidentes estruturais analisados pelo Instituto de Criminalística do Pará.

No terceiro capítulo está apresentada a metodologia aplicada para a realização desse trabalho, constituída por parte do banco de dados do Instituto de Criminalística e outras fontes de pesquisas, apresentando um caso de edificação com manifestações patológicas analisadas, seguidos de uma análise geral, com visão satelital, com o uso do método do georreferenciamento.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos, após a aplicação da metodologia e são tratadas as discussões geradas, a partir das análises do que foi apresentado.

No capítulo cinco são apresentadas as conclusões sobre a pesquisa apresentada, e finalmente, no sexto capítulo, são colocadas as sugestões de temas para análises futuras. Em seguida são apresentadas as referências bibliográficas que fizeram parte do norteamto desta dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Definições e terminologias

2.1.1. A patologia das construções

Segundo Souza & Ripper (1998), designa-se genericamente por Patologia das Estruturas o campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência de falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Degussa (2003) entende patologia como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis e à terapia cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos, inclusive aqueles devidos ao envelhecimento natural. Um problema que as estruturas em concreto enfrentam é a crença de que são estruturas eternas, minimizando os cuidados que efetivamente deveriam ser dados a estas estruturas.

Helene (1992) complementando diz que, embora se tenha esta crença sobre o concreto, há construções que apresentam manifestações patológicas em intensidade e incidência significativas, acarretando elevados custos para sua correção. Sempre há comprometimento dos aspectos estéticos e, na maioria das vezes, redução da capacidade resistente, podendo chegar, em certas situações, ao colapso parcial ou total da estrutura. Como exemplos dos tipos de colapso, são mostrados nas figuras 1 e 2 os casos de desabamento de três edifícios no Rio de Janeiro, sendo um deles o Edifício Liberdade, e em São Paulo o Edifício Senador.

Figura 1: Escombros do Edifício Liberdade, Rio de Janeiro/2012.



Fonte: Sturn (2012).

Figura 2: Edifício Senador, desabamento de lajes interiores (colapso parcial), São Paulo (Quaresma, 2012).



Fonte: Raiol & Maciel (2013).

Helene (2001) aponta os mecanismos mais importantes de deterioração da estrutura de concreto são:

- a) Mecanismos de deterioração relativos ao concreto: lixiviação (águas puras e ácidas), expansão por sulfatos ou magnésio, expansão por reação álcali-agregado, reações superficiais deletérias;
- b) Mecanismos de deterioração relativos à armadura: corrosão devida à carbonatação e corrosão por elevado teor de íon cloro (cloreto);
- c) Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita: ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas (fadiga), deformação lenta (fluência), relaxação, e outros considerados em qualquer norma ou código regional, nacional ou internacional, mas que não fazem parte de uma análise de vida útil e durabilidade tradicional.

De acordo com NBR 6118 (ABNT, 2014), em seu item 6, os mecanismos de deterioração considerados são:

Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto

- a) Expansão por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado;
- b) Expansão por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos;
- c) Reações deletérias superficiais de certos agregados decorrentes de transformações de produtos ferruginosos presentes na sua constituição mineralógica.

Mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura

- a) Despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera;
- b) Despassivação por elevado teor de íon cloro (cloreto).

Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita

São todos aqueles relacionados às ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação. E a aludida norma diz, ainda, que a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto. E com relação aos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Tabela 1 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 1: Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1,2}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹	Grande
		Industrial ^{1,2}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1,3}	Elevado
		Respingos de maré	

¹ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

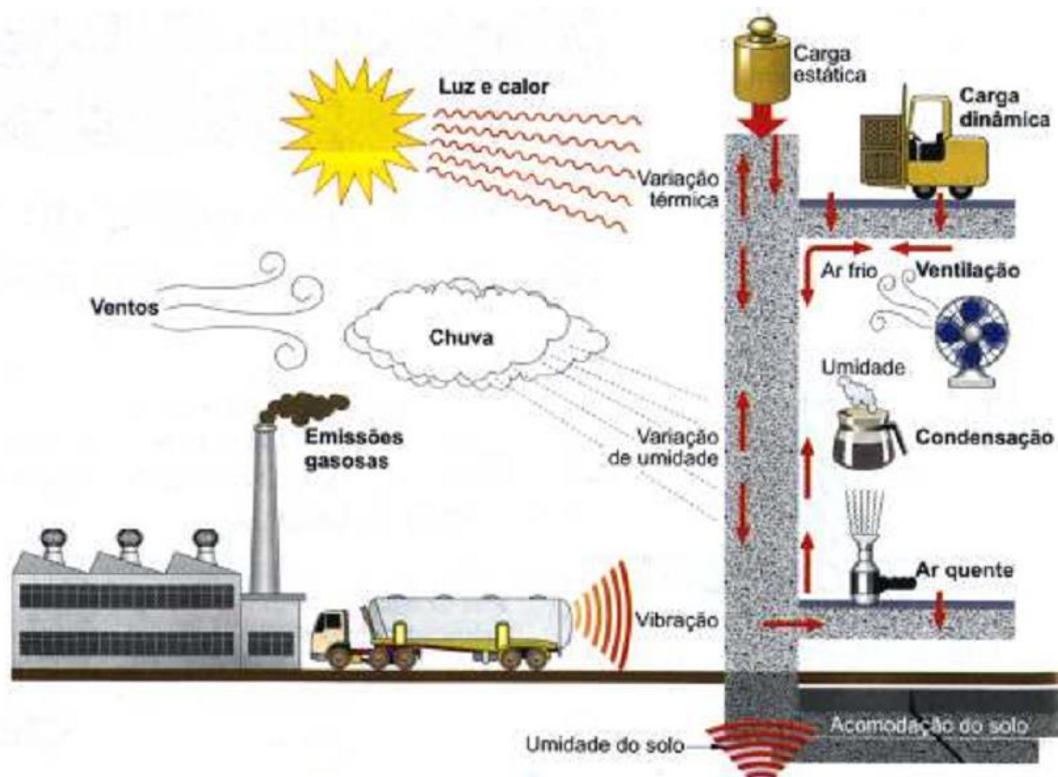
² Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Outra definição afirma que patologia pode ser entendida como a parte da Engenharia 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, Helene *et al.* (2001). Para Vitório (2003), o estudo das falhas construtivas é feito pela ciência experimental denominada Patologia das Construções, que envolve conhecimentos multidisciplinares nas diversas áreas da engenharia. Essas manifestações patológicas podem ocorrer em qualquer fase da vida da edificação, às quais podem ocorrer devido falhas nos projetos, na execução, na qualidade do material empregado na construção, bem como durante a sua utilização. A Figura 3 mostra os agentes externos que a estrutura geralmente está exposta.

Figura 3: Exposições às quais as edificações estão expostas.



Fonte: Bonin *et al.* (1999), *apud* Raiol & Maciel (2013).

2.1.2. Vida Útil

A vida útil de uma edificação é o período de tempo em que o edifício e seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento aos níveis de desempenho previstos de acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013). Deve-se entender que a concepção de uma construção durável implica a adoção de um conjunto de decisões e

procedimentos que garantam à estrutura e aos materiais que a compõem, um desempenho satisfatório ao longo da vida útil da construção, Souza & Ripper (1998).

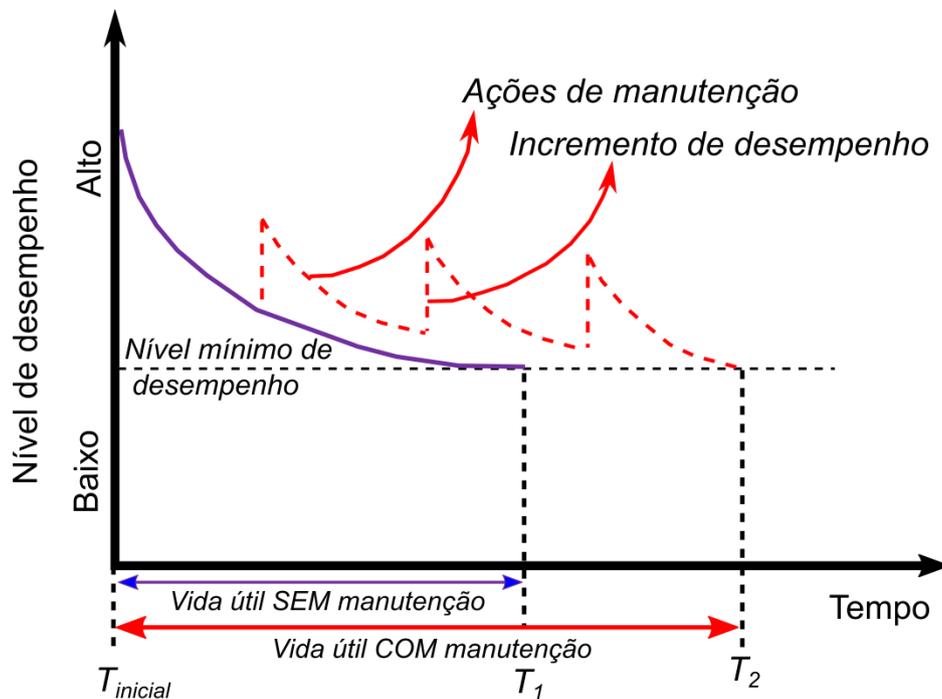
ASTM E 632-82 (ASTM, 1996) define a vida útil de um edifício ou um elemento como o período de tempo, após a instalação, durante o qual todas as suas propriedades excedem os requisitos mínimos aceitáveis, assumindo a manutenção regular, procedimentos de manutenção.

Segundo a ISO 13823 (ISO /TC 98 / SC 2, 2008), a vida útil corresponde o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo. Para a NBR 6118 (ABNT, 2014), item 6.2, vida útil de projeto é o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme itens 7.8 e 25.4, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

Souza & Ripper (1998) também definem vida útil: por vida útil de um material entende-se o período durante o qual as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados. O conhecimento da vida útil e da curva de deterioração de cada material ou estrutura são fatores de fundamental importância para a confecção de orçamentos reais para a obra, assim como de programas de manutenção adequados e realistas (Figura 4).

Conforme o que preconiza a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), a VU pode ser normalmente prolongada através de ações de manutenção e quem define a VUP deve também estabelecer as ações de manutenção que devem ser realizadas para garantir o atendimento à VUP. É necessário salientar a importância da realização integral das ações de manutenção pelo usuário, sem o que se corre o risco de a VUP não ser atingida.

Figura 4: Desempenho com e sem manutenção



Fonte: Possan & Demoliner (2013).

Com isso, destaca-se a importância do manual do usuário no qual devem estar descritas as atividades e a frequência das ações de manutenção necessárias para a garantia da VUP da edificação, conforme Possan & Demoliner (2013). Com relação à vida útil de estruturas de concreto o Model Code (FIB, 2010) entende que elas devem ser projetadas, construídas e operadas de forma tal que, sob as condições ambientais esperadas, elas mantenham sua segurança, funcionalidade e aparência aceitável durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem requerer altos custos imprevistos para manutenção e reparo.

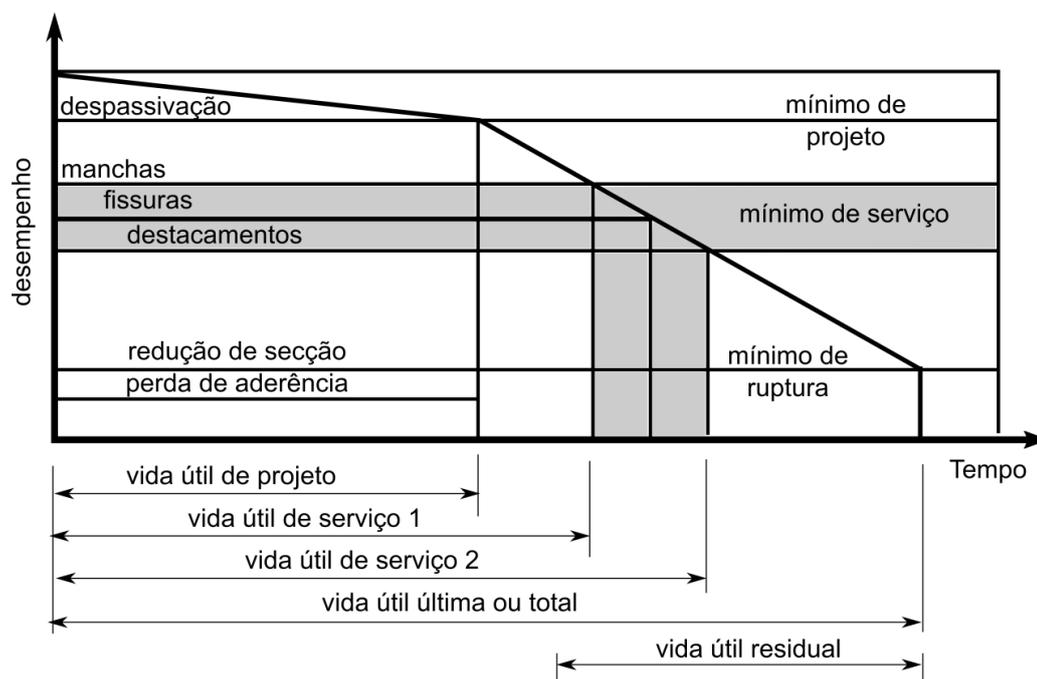
De acordo com a Figura 5, vida útil de projeto é o período de tempo que vai até a despassivação da armadura, normalmente denominado de período de iniciação. Corresponde ao período de tempo necessário para que a frente de carbonatação ou a frente de cloretos atinja a armadura. O fato da região carbonatada ou de certo nível de cloretos atingir a armadura e teoricamente despassivá-la, não significa que necessariamente a partir desse momento haverá corrosão importante, apesar de que em geral ela ocorre. Esse período de tempo, no entanto, é o período que deve ser adotado no projeto da estrutura, a favor da segurança;

Vida útil de serviço: Período de tempo que vai até o momento em que aparecem manchas na superfície do concreto, ou ocorrem fissuras no concreto de cobrimento, ou ainda quando há o destacamento do concreto de cobrimento. É muito variável de um caso para outro, pois depende das exigências associadas ao uso da estrutura 1. Enquanto em certas situações é inadmissível que uma estrutura de concreto apresente manchas de corrosão ou fissuras, em outros casos somente o início da queda de pedaços de concreto, colocando em risco a integridade de pessoas e bens, pode definir o momento a partir do qual se deve considerar terminada a vida útil de serviço;

Vida útil última ou total: Período de tempo que vai até a ruptura ou colapso parcial ou total da estrutura. Corresponde ao período de tempo no qual há uma redução significativa da seção resistente da armadura ou uma perda importante da aderência armadura/concreto, podendo acarretar o colapso parcial ou total da estrutura;

Vida útil residual: Corresponde ao período de tempo em que a estrutura ainda será capaz de desempenhar suas funções, contado nesse caso a partir de uma data qualquer, correspondente a uma vistoria. Essa vistoria e diagnóstico podem ser efetuados a qualquer instante da vida em uso da estrutura. O prazo final, nesse caso, tanto pode ser o limite de projeto, o limite das condições de serviço, quanto o limite de ruptura, dando origem a três possíveis vidas úteis residuais; uma mais curta, contada até a despassivação da armadura, outra até o aparecimento de manchas, fissuras ou destacamento do concreto e outra longa contada até a perda significativa da capacidade resistente do componente estrutural ou seu eventual colapso.

Figura 5: Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão de armaduras



Fonte: Helene (1997) *apud* Helene *et al.* (2011).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) destaca que para se atingir a VUP mínima é necessário atender, simultaneamente, os cinco aspectos abaixo descritos:

- emprego de componentes e materiais de qualidade compatível com a VUP;
- execução com técnicas e métodos que possibilitem a obtenção da VUP;
- cumprimento em sua totalidade dos programas de manutenção corretiva e preventiva;
- atendimento aos cuidados preestabelecidos para se fazer um uso correto do edifício;
- utilização do edifício em concordância ao que foi previsto em projeto.

Alguns códigos internacionais, como por exemplo, o Model Code (CEB-FIP, 1992), estabelece que a vida útil de uma estrutura em concreto seja prevista para um mínimo de 50 anos, entendendo-se esse período como o intervalo de tempo que a construção mantém condições de segurança e utilização, sem exigir altos custos de manutenção ou reparo. Evidentemente, o referido código chega a especificar vida útil de até 100 anos para estruturas especiais, como pontes e viadutos. De acordo com Helene (2004), a estimativa

de vida útil de estruturas de concreto pode ser efetuada através de um dos quatro procedimentos a seguir:

- Experiências anteriores;
- Ensaio acelerados;
- Enfoque determinista;
- Enfoque estocástico ou probabilista.

A estimativa de vida útil das estruturas é objeto de vários estudos, tarefa essa que apresenta uma complexidade para se especificar valores numéricos, principalmente em função da quantidade e variabilidade dos parâmetros intervenientes. Contudo, alguns organismos internacionais apresentam valores de referência para a vida útil, considerando principalmente o tipo de obra. E assim, as tabelas 2 e 3 mostram as recomendações de vida útil de alguns documentos de referência internacional.

Tabela 2: Vida útil de projeto recomendada pela norma ISO 2394 (ISO/TC98/SC 2, 1998).

ISO 2394 (1998), princípios gerais sobre a fiabilidade das estruturas	
Tipo de estrutura	Vida útil nominal
Temporárias	1 a 5 anos
Substituíveis	25 anos
Edifícios e outras estruturas comuns de importância média	50 anos
Estruturas de maior importância, edifícios monumentais, grandes pontes,	>100 anos
Obras de arte e edifícios públicos novos	>120 anos

A Tabela 2 deve ser usada com cuidado. Alguns edifícios, por exemplo, as fábricas geralmente terão uma vida útil econômica correspondente às máquinas instaladas. Por outro lado, partes estruturais de edifícios residenciais, como esperado pela sociedade em geral, normalmente têm uma vida útil muito superior a 50 anos, conforme indicado no quadro. Uma diferenciação entre componentes substituíveis e não substituíveis da estrutura pode ser

considerada ao escolher a vida útil de projeto especificada para a estrutura e seus componentes.

Tabela 3: Vida útil de projeto recomendada pela norma europeia EN 206-1 (CEN/TC 104, 2007)

EN 206-1 (2007) Concreto: especialização, desempenho, produção e conformidade.	
Tipo de estrutura	Vida útil nominal
Temporárias	>10 anos
Partes estruturas substituíveis (Ex.: apoios)	10 a 25 anos
Estruturas para agricultura e semelhantes	15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns	>50 anos
Edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil	>100 anos

2.1.3. Durabilidade

É a capacidade de um produto manter seu desempenho acima dos níveis aceitáveis preestabelecidos, sob condições previstas de uso e com manutenção, durante um período de tempo que é a sua vida útil. A durabilidade está associada a: durabilidade dos materiais e componentes; ao uso; ao entorno e às ações de manutenção. Helene (2001) define durabilidade como sendo o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la.

A nível mundial há cada vez mais a preocupação com a durabilidade das estruturas de concreto, face ao aumento do número de obras precocemente degradadas, sendo que, a maioria delas foi construída nos últimos 25 anos. Prevê-se, em um futuro próximo, que mais da metade do dinheiro envolvido no orçamento das obras públicas será gasto na reabilitação, recuperação e reparação das estruturas de concreto deterioradas, Aguiar

(2006). De forma mais específica. a durabilidade da estrutura de concreto é determinada por quatro fatores, conforme a regra dos 4C (Helene, 2001):

- Composição ou traço do concreto;
- Compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura;
- Cura efetiva do concreto na estrutura;
- Cobrimento ou espessura do concreto de cobrimento das armaduras.

Por exemplo, um adensamento mal executado pode resultar em alto índice de vazios, produzindo, assim, um concreto altamente poroso. Uma cura insuficiente, por sua vez, produz baixo grau de hidratação do cimento, especialmente nas regiões superficiais, resultando em alta permeabilidade do concreto de superfície e baixa durabilidade das peças.

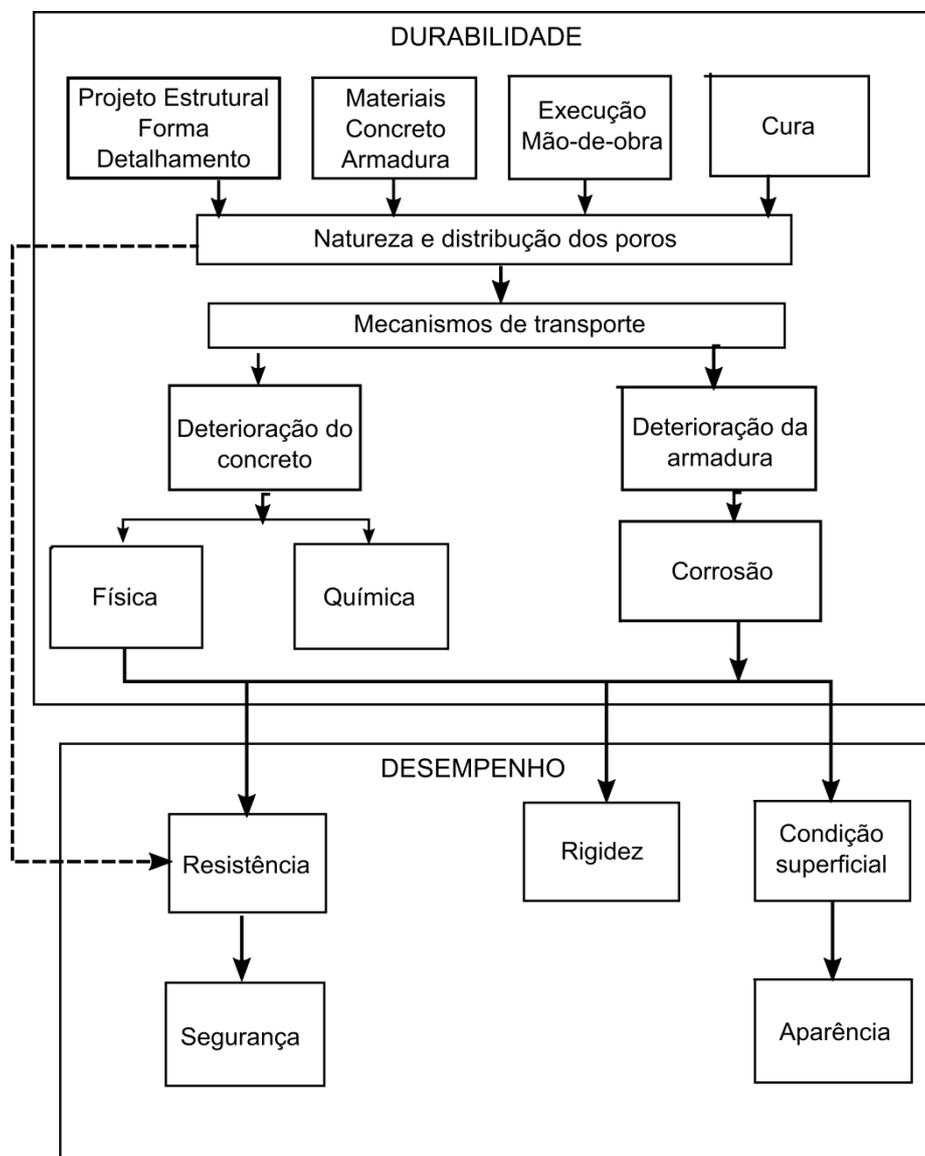
Para a NBR 6118 (ABNT, 2014), durabilidade consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto. No item 6.1 prescreve que “as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil”.

Isaia (2001) ensina que, no sentido estrito do termo, a durabilidade dos materiais está ligada à sua capacidade de se conservar em determinado estado, com a mesma qualidade ao longo de um dado tempo. De outra forma, é a resistência de um material ou elemento da construção à deterioração ou degradação. Este conceito, diz o autor, está intimamente conectado com o de desempenho que é o comportamento de um produto em serviço (em utilização), sob as condições de real funcionamento ou uso, com pleno atendimento às exigências do usuário.

A interdependência existente entre os diferentes fatores que influem na durabilidade e a sua correspondência com o desempenho das estruturas pode ser resumida na Figura 6, extraída do Model Code (CEB - FIP, 1992), que mostra a influência de cada um deles no processo de degradação das

estruturas. Pode ser notado que o processo de substâncias químicas agressivas que se movimentam através da rede de poros de concreto, juntamente com os parâmetros que controlam esse transporte, e o contato permanente que existe entre o meio ambiente e a estrutura através da porosidade do concreto constituem os principais elementos que afetam a durabilidade das estruturas, dando origem ao aparecimento dos diversos tipos de processos de degradação, tanto no concreto quanto na armadura.

Figura 6: Relações existentes entre os conceitos de durabilidade do concreto e desempenho das estruturas, Model Code (CEB - FIP, 1992)



Fonte: Andrade (1997)

Souza & Ripper (1998) ao analisarem o quadro apresentado na da Figura 6, entendem como sendo um quadro definidor do conjunto de inter-relações entre os diversos fatores que influem na durabilidade e no resultante desempenho de uma estrutura. O quadro apresentado resume os vários parâmetros relacionados com os critérios para a obtenção de uma construção durável. Da observação deste quadro infere-se facilmente que a combinação dos agentes ambientais (temperatura, umidade, chuva, vento, salinidade e agressividade química ou biológica) transportados para a massa de concreto, assim como a resposta dessa massa a tal ação, constituem os principais elementos do processo de caracterização da durabilidade, sendo a água (ou a umidade) o elemento principal de toda a questão, considerados adequados os mecanismos de resistência. A essência destes conceitos estará, pois, na execução de uma obra que apresente desempenho satisfatório, por um período suficientemente longo e com custos de manutenção razoáveis.

2.1.4. Desempenho

O desempenho de uma edificação de modo geral corresponde ao atendimento aos requisitos do usuário: segurança estrutural, segurança contra fogo, segurança no uso e operação, estanqueidade, desempenho térmico, acústico, ambiental. De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), desempenho é o comportamento que uma edificação e seus sistemas apresentam durante o seu uso, estando diretamente relacionado com a manutenção realizada na edificação, o que influi diretamente na sua vida útil.

Nesse contexto o Model Code (FIB, 2010) considera critérios de desempenho para manutenção e segurança estrutural através do Estado Limite, baseado no desempenho da estrutura. Os critérios de manutenção e segurança estrutural são especificados por:

- Critérios de estados limites de serviço correspondem aos estados além dos quais as demandas especificadas por uma estrutura ou um componente estrutural relacionado ao seu uso ou função normal não são mais atendidas;
- Critérios dos estados limites últimos, os quais são estados limites associados aos vários modos de colapso estrutural ou estágios próximos

ao colapso estrutural, que para fins práticos também são considerados como estados limites últimos;

- Critério de robustez é importante para manter a capacidade do sistema estrutural de cumprir sua função durante eventos como o carregamento acidental ou devido a consequências de erros humanos.

Segundo Souza & Ripper (1998), por desempenho entende-se o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção. Em uma estrutura, para que um sintoma, seja classificado como patológico, deve comprometer algumas das exigências da construção, seja ela de capacidade funcional, mecânica ou estética. Assim, observa-se que existe uma forte relação entre a manifestação patológica e o desempenho da edificação, na medida em que sua avaliação é relacionada com o comportamento da estrutura em utilização.

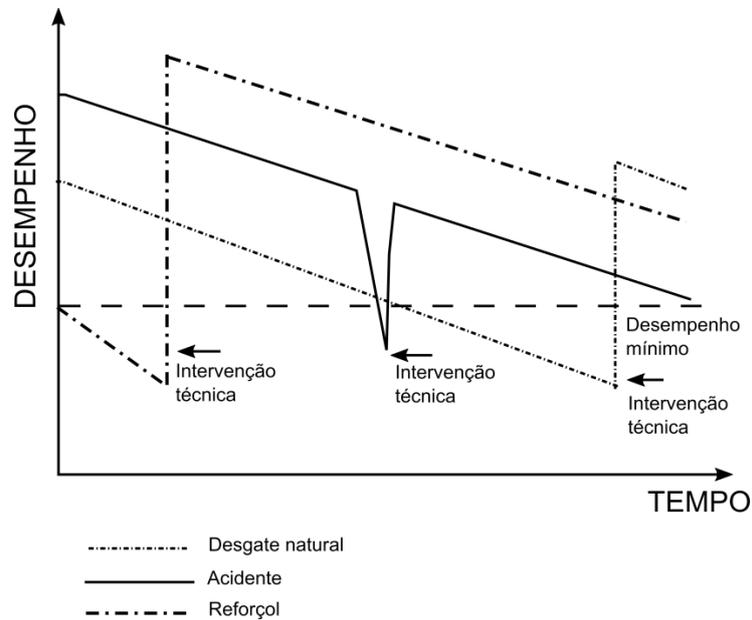
Na Figura 7 são mostrados genericamente três diferentes desempenhos estruturais, ao longo das respectivas vidas úteis, em função da ocorrência dos fenômenos patológicos diversos. No primeiro caso, representado pela curva traço-duplo ponto, está ilustrado o fenômeno natural de desgaste da estrutura. Quando há a intervenção, a estrutura se recupera, voltando a seguir a linha de desempenho acima do mínimo exigido para sua utilização. No segundo caso, representado por uma linha cheia, trata-se de uma estrutura sujeita, a dada altura, a um problema súbito, como um acidente, por exemplo, que necessita então de imediata intervenção corretiva para que volte a comportar-se satisfatoriamente.

No terceiro caso, representado pela linha traço-mono ponto, tem-se uma estrutura com erros originais, de projeto ou da execução, ou ainda uma estrutura que tenha necessitado alterar seus propósitos funcionais, situações em que se caracteriza a necessidade de reforço.

A situação ideal em relação a uma estrutura será a de se desenvolver o projeto de forma que a construção possa ser bem feita e o trabalho de manutenção facilitado, mantendo-se a deterioração em níveis mínimos. Logo, a análise das manifestações patológicas é função também de dois aspectos

fundamentais: tempo e condições de exposição, tornando-a, assim, associada aos conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho Andrade & Silva (2005).

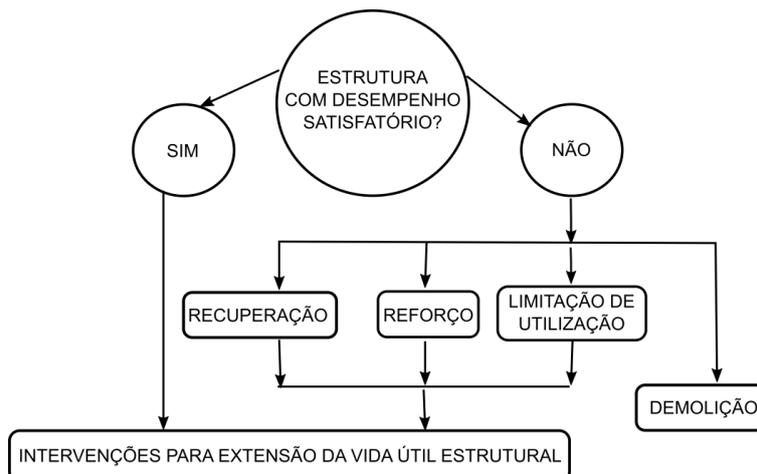
Figura 7: Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos.



Fonte: Souza & Ripper (1998).

Na eventualidade de que algum infortúnio possa ter ocorrido, e de que o desempenho da estrutura venha a se tornar insatisfatório, os responsáveis deverão estar habilitados a tomar a melhor decisão sobre como então proceder, adotando a opção mais conveniente, que respeite pontos de vista técnicos, econômicos e socioambientais, consoante, por exemplo, a observação e interpretação do disposto no quadro mostrado na Figura 8.

Figura 8: Hipóteses para reconversão de estruturas com desempenho insatisfatório



Fonte: Souza & Ripper (1998).

A figura acima expressa duas condutas distintas a serem adotadas diante do desempenho satisfatório ou não satisfatório de uma estrutura, demonstrando que se a estrutura não estiver com o desempenho satisfatório, ocorrerá oneração nas medidas a serem adotadas, inclusive sendo uma das medidas, culminando na perda da edificação com o custo da demolição.

2.1.5. Manifestações patológicas

De acordo com Helene *et al.* (2011), uma manifestação patológica é a expressão resultante de um mecanismo de degradação e a patologia é uma ciência formada por um conjunto de teorias que serve para explicar o mecanismo e a causa da ocorrência de determinada manifestação patológica. Em função disso, fica claro que a patologia é um termo muito mais amplo do que manifestação patológica, uma vez que ela é a ciência que estuda e tenta explicar a ocorrência de tudo o que se relaciona com a degradação de uma edificação.

Manifestações patológicas são segundo Campante (2001), situações nas quais, o sistema de revestimento, deixa de apresentar o desempenho esperado, em determinado momento da sua vida útil, ou seja, não cumpre suas funções, deixando de atender às necessidades dos usuários. Uma manifestação patológica acontece com a queda de desempenho

precocemente, diante de erros no planejamento, especificação, execução e/ou mesmo em uso, que podem ou não ser cumulativos.

2.2. Origens e causas das manifestações patológicas

A ocorrência da gênese das patologias, identificando se foram originadas na fase de projeto, na fase de execução ou na fase de utilização, bem como também se a estrutura sofreu ações mecânicas ou químicas. As ações mecânicas podem ser entendidas como as ações de recalques na fundação e ações imprevistas. Para as ações químicas, entendem-se como as reações internas ao concreto, presença de cloretos, presença de água, entre outros fatores. A fase de utilização diz respeito a alterações estruturais sem o conhecimento técnico, sobrecargas exageradas ou alteração das condições do terreno de fundação, após o fim da construção da edificação. A falha na fase de projeto é caracterizada por erros no dimensionamento ou a especificação de materiais equivocada. A falha na fase de execução é caracterizada pelo não cumprimento do projeto no momento da execução, com a utilização de modificações improvisadas.

Consoante Souza & Ripper (1998) as estruturas de concreto não são eternas, pois se deterioram com o passar do tempo e não alcançam sua vida útil se não são bem projetadas, executadas com esmero, utilizadas com critério, finalmente, submetidas a uma manutenção preventiva. Quando o projeto de engenharia for mal detalhado, a construção for realizada com insuficiente planejamento, controle, os técnicos, operários não forem dotados da qualificação adequada e os prazos de execução forem excessivamente curtos, a estrutura de concreto resultante será quase certamente de má qualidade e irá se deteriorar de modo prematuro, absorvendo gastos de recuperação e de reforço exagerados para ser mantida em condições de uso.

Segundo Helene (2002), os fenômenos patológicos geralmente apresentam manifestações externas característica, a partir da qual se pode deduzir a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos. Certas manifestações têm maior incidência devido à necessidade de cuidados que frequentemente são ignorados, seja no projeto, na execução ou até mesmo na utilização. Pode-se dizer que os problemas patológicos de maior gravidade nas estruturas em concreto armado, notadamente pelo seu evidente

risco à integridade da estrutura, são a corrosão da armadura do concreto, as flechas excessivas das peças estruturais e as fissuras patológicas nestas.

Um problema que as estruturas em concreto enfrentam é a crença de que são estruturas eternas, minimizando os cuidados que efetivamente deveriam ser dados a estas estruturas. Porém, esta ideia, segundo Gomes *et al.* (2001), tem sido contrariada pela constatação de muitos casos de envelhecimento das estruturas, e ainda comentam que o conhecimento atual das causas de anomalias, que comprometem o bom desempenho das estruturas, esboça um quadro diverso de fenômenos por vezes complexos e de atuações simultâneas.

Enami (2010) afirma que como na maioria das vezes os engenheiros acompanham várias obras ao mesmo tempo, e, além disto atuam exercendo várias funções como a elaboração de projetos e a realização de orçamentos, pouco tempo é despendido para uma minuciosa execução das obras. Além disso, a mão-de-obra que atua na construção civil no Brasil na maioria das vezes pouco qualificada. Assim, a ausência de um acompanhamento mais efetivo e a atuação de mão de-obra pouco qualificada uma combinação perfeita para a geração de problemas nas edificações.

As origens das manifestações patológicas podem ocorrer em qualquer fase da edificação:

- Projeto executivo: Muitas falhas são possíveis de ocorrer durante a fase de concepção da estrutura, podendo se originar durante o estudo preliminar, na elaboração do anteprojeto, ou no projeto executivo;
- Materiais: É importante que a caracterização dos materiais componentes do concreto esteja em conformidade com o que recomenda a NBR 12654 (ABNT, 1992). As propriedades físicas e químicas dos agregados e das misturas ligantes são essenciais para a vida das estruturas em que são usados. São inúmeros os exemplos de falência de estruturas provocados por causa da seleção e o uso inadequado dos agregados. O agregado é o principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 1994);

- Execução: A NBR 14931 (ABNT, 2004) define como execução da estrutura de concreto todas as atividades desenvolvidas na sua execução, ou seja, sistema fôrmas, armaduras, concretagem, cura e outras, bem como as relativas à inspeção e documentação de como construído, incluindo a análise do controle de resistência do concreto. Para Souza & Ripper (1998), a etapa de execução da estrutura é responsável por boa parte dos problemas patológicos;
- Utilização e Ausência de manutenção: concluída a execução da estrutura, cabe ao seu usuário cuidar de utilizá-la da maneira mais eficiente, com o objetivo de manter as características originais ao longo de toda a vida útil da edificação, promovendo manutenção periódica;
- Agentes Externos: a edificação pode apresentar problemas patológicos, mediante agentes externos, que muitas vezes comprometem a sua estabilidade e segurança.

2.2.1. Origem das manifestações patológicas no projeto

Cunha *et al.* (1996), dizem que as normas brasileiras de projeto de estruturas em concreto, mais especificamente a NBR 6118 (ABNT, 2014), preconizam que todas elas devem ser analisadas em dois níveis: adequação de sua resposta às condições de trabalho (estados limites de serviço) e margem de segurança satisfatória quando à possibilidade de colapso local ou global (estados limites últimos). Ambas as verificações devem ser feitas de maneira exaustiva e hoje são um conceito universalmente aceito de bom funcionamento das estruturas.

Para atender as ações e segurança nas estruturas, a NBR 8681(ABNT, 2004) recomenda no projeto de estruturas, que devem ser considerados os estados limites últimos e estados limites de serviço, assim como as ações permanentes, variáveis e excepcionais, ou por valores representativos das ações, que correspondem às ações, que são quantificadas por seus valores representativos, que podem ser valores característicos, valores característicos nominais, valores reduzidos de combinação, valores convencionais excepcionais, valores reduzidos de serviço e valores raros de serviço.

Segundo Ripper (2007), constata-se que as falhas originadas de um estudo preliminar deficiente, ou de anteprojetos equivocados, são responsáveis, principalmente, pelo encarecimento do processo de construção, ou por transtornos relacionados à utilização da obra, enquanto as falhas geradas durante a realização do projeto final de engenharia geralmente são as responsáveis pela implantação de problemas patológicos sérios e podem ser tão diversas como:

- Elementos de projetos inadequados, ou seja, má definição das ações atuantes ou da combinação mais desfavorável das mesmas, escolha infeliz do modelo analítico, deficiência no cálculo da estrutura ou na avaliação da resistência do solo, etc;
- Falta de compatibilização entre a estrutura e a arquitetura, bem como os demais projetos civis;
- Especificação inadequada de materiais;
- Detalhamento insuficiente ou errado;
- Detalhes construtivos inexecutáveis;
- Falta de padronização das representações (convenções);
- Erros de dimensionamento.

2.2.2. Origem das manifestações patológicas no emprego do material

A resistência mecânica, a estabilidade e a durabilidade estão intimamente relacionadas com a homogeneidade e a compacidade e, estas duas características estreitamente relacionadas, dependem da qualidade da dosagem do concreto e da adequada tecnologia empregada em sua fabricação e manejo, afirmado por Melo (2011). Sabe-se ainda que a falta de qualidade dos materiais componentes do concreto também pode influir sobre suas características gerando anomalias. O concreto é um material formado por cimento, agregados, água e algumas vezes aditivos, portanto, os defeitos desses materiais podem influenciar, sobre as características mais importantes do concreto, que é a resistência mecânica, estabilidade e durabilidade.

2.2.3. Origem das manifestações patológicas durante a execução

Para Souza & Ripper(1998), uma vez iniciada a construção, podem ocorrer falhas das mais diversas naturezas, associadas a causas tão diversas como falta de condições locais de trabalho (cuidados com a motivação), não capacitação profissional da mão-de-obra, inexistência de controle de qualidade de execução, má qualidade de materiais e componentes, irresponsabilidade técnica e até mesmo sabotagem. Dessa forma é primordial a necessidade de acompanhamento técnico, em todas as etapas da construção de uma edificação. Com isso a NBR 12655 (ABNT, 2015) considera as etapas de execução do concreto conforme a sequência:

- Caracterização dos materiais componentes do concreto, de acordo com a NBR 12654 (ABNT, 1992);
- Estudo de dosagem do concreto;
- Ajuste e comprovação do traço do concreto;
- Preparo do concreto.

No tocante à execução do concreto em si, as principais fases relacionadas e aspectos importantes a serem avaliados estão descritos abaixo:

- Mistura: Os componentes do concreto devem ser misturados até formar uma massa homogênea. Essa operação pode ser realizada em betoneiras ou em centrais dosadoras/ misturadoras. É importante observar aspectos como a sequência de colocação dos materiais, o tempo de mistura, a correção da água arrastada pelos agregados e possíveis erros nas quantidades adicionadas dos materiais;
- Transporte: após preparada a massa de concreto, ela deve ser transferida do local da mistura até o local de lançamento. Esse transporte pode ser feito de forma simples, por meio de carros de mão, jericas, entre outros, sendo os principais problemas, a segregação do concreto no transporte, à perda do material e o tempo necessário para fornecê-lo as frentes de trabalho, comprometendo, assim, a qualidade e a produtividade do

serviço. O transporte também pode ser realizado por caminhões betoneira, onde deve-se tomar cuidado com o tempo decorrido desde a saída do caminhão da usina até o descarregamento do concreto na obra, tempo este que deve ser ajustado de acordo com as características do concreto e as condições de temperatura, evitando a perda acentuada de abatimento;

- Lançamento: consiste na colocação do concreto para moldagem da peça, pode ser realizado com pás, carros de mão ou bombas, para alcançar grandes distâncias. No caso do uso de bombas é muito importante verificar o estado de conservação do equipamento utilizado, prevenindo, assim, possíveis problemas durante a concretagem. Outro aspecto importante a ser observado é a altura de lançamento do concreto, a concretagem de peças com altura superior a 2 metros deve ser realizada de forma cuidadosa, a fim de evitar a segregação dos agregados graúdos nas regiões inferiores da peça, originando bicheiras ou vazios;
- Adensamento: Trata-se da atividade de vibrar o concreto, em seu estado fresco, com o objetivo de retirar o ar aprisionado durante as etapas anteriores, proporcionando-lhe a máxima compactação. Falhas ocorridas durante essa etapa, como excesso ou deficiência de vibração, podem gerar problemas de exsudação, segregação ou bicheiras. Logo, a frequência e amplitude dos vibradores, assim como o tempo de utilização e a disposição desses equipamentos são algumas das escolhas essenciais para o sucesso da atividade;
- Cura: É a atividade mediante a qual se mantêm o teor de umidade satisfatório, impedindo a evaporação de água da mistura, garantindo também, uma temperatura favorável ao concreto durante o processo de hidratação dos materiais aglomerantes, de modo que seja possível desenvolver as propriedades desejadas. A atividade de cura se resume no cobrimento da peça concretada com água por um tempo mínimo, que será função da relação a/c e do tipo de cimento utilizado. As características superficiais são as mais afetadas por uma cura mal

executada como a presença de fissuração, a permeabilidade e a carbonatação;

- É importante frisar novamente que falhas de concretagem ignoradas, ou não reparadas devidamente, podem acarretar sérias consequências à estrutura, principalmente em regiões agressivas e ou de difícil acesso à inspeção;
- Cuidados importantes devem ser direcionados à armação dos elementos estruturais, no que diz respeito à correta disposição da ferragem, à conformidade da quantidade e diâmetro nominal das barras com o pedido no projeto estrutural, à correta execução do cobrimento da armadura, que servirá de proteção contra agentes de despassivação (cloretos e CO_2), pois quanto maior o cobrimento e melhor a qualidade do concreto maior será o intervalo de tempo, caso agentes agressores incidam, para que esses cheguem à armadura acarretando o processo corrosivo na mesma. 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.

2.2.4. Origem das manifestações patológicas durante a utilização e na ausência de manutenção

Enami (2010), afirma que dessa maneira, fica clara que a responsabilidade de uma edificação cabe não só aos responsáveis pelo projeto e execução, mas também ao proprietário e sua conduta de utilização. Conforme a NBR 5674 (ABNT, 2012), manutenção significa conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes para atender às necessidades e segurança dos usuários.

Ioshimoto (1988) considera que o estudo sistemático de problemas a partir de suas manifestações características permite um conhecimento aprofundado de suas causas, subsidia com informações os trabalhos de recuperação e manutenção e contribui para o entendimento do processo de produção de habitações, nas suas diferentes etapas, de modo a minimizar a incidência total do problema. O concreto armado é um dos principais materiais

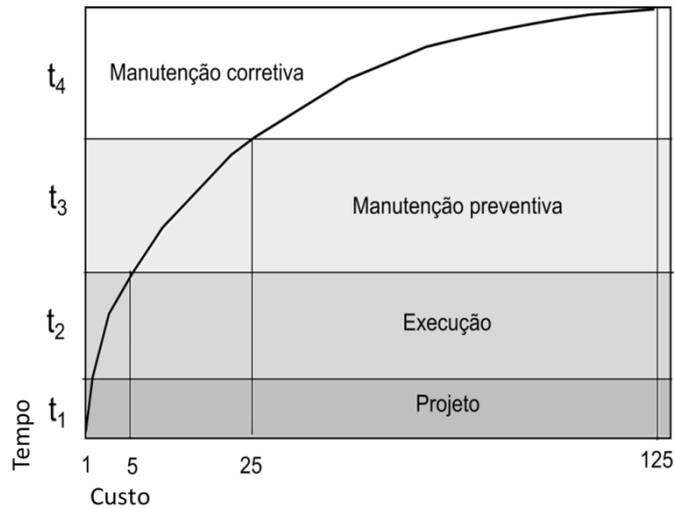
de construção deste século e quando projetado e executado adequadamente tem se mostrado bastante durável. No entanto, é necessário que exista um programa de inspeção e manutenção periódica para inibir o aparecimento e a progressão de problemas. (SOUZA, 2001).

Souza (2001) afirma ainda que, muitos problemas podem ser evitados ou amenizados caso haja um programa contínuo de manutenção, com intervenção compatível com a causa do problema. É necessário que se tenha em mente que é falsa e premissa frequentemente aceita, de que a estrutura de concreto não requer manutenção. É necessário que existam programas de gerenciamento e manutenção preventiva em edifícios e obras de arte para evitar que problemas simples se tornem a causa de grandes acidentes.

Consoante Tutikian & Pacheco (2013), a manutenção pode ser corretiva, para recuperar determinado dano; manutenção preventiva, para manter o desempenho das estruturas; preditiva ou detectiva, que acompanha através de instrumentação o desempenho da estrutura; constituindo então a engenharia de manutenção, que é a forma mais eficiente de garantir o desempenho e vida útil das estruturas, diminuindo a possibilidade de falhas.

O custo envolvido numa recuperação da estrutura posterior ao término da construção é muito maior se comparado à alguma intervenção a nível de projeto ou execução inicial. Diante do total gasto para o erguimento de um empreendimento, os custos de projeto variam de 3% a 10% desse valor (DAL MOLIN, 1988). De acordo com Helene (1997), ao separar as fases da construção conforme a Figura 9 (projeto, execução e manutenções), pode-se definir em cada uma, como que a obra seria afetada no custo caso a intervenção fosse feita nesta determinada fase.

Figura 9: Lei de evolução de custos, Lei de Sitter.



Fonte: Vitório (2005)

- Fase de projeto: toda medida tomada em nível de projeto com o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, como, por exemplo, aumentar o cobrimento da armadura, reduzir a relação água / cimento do concreto ou aumentar o f_{ck} , especificar certas adições, ou tratamentos protetores de superfície, e outras tantas implica um custo que pode ser associado ao número 1 (um);
- Fase de execução: toda medida extra - projeto, tomada durante a fase de execução propriamente dita, implica um custo cinco vezes superior ao custo que acarretaria tomar uma medida equivalente na fase de projeto, para obter-se o mesmo nível final de durabilidade ou vida útil da estrutura. Um exemplo típico é a decisão em obra de reduzir a relação água / cimento para aumentar a durabilidade. A mesma medida tomada na fase de projeto permitiria o redimensionamento automático da estrutura considerando um novo concreto de resistência à compressão mais elevada, de maior módulo de deformação e de menor fluência. Esses predicados permitiriam reduzir as dimensões dos componentes estruturais, reduzir as formas e o volume de concreto, reduzir o peso próprio e reduzir as taxas de armadura. Essas medidas tomadas em nível

de obra, apesar de eficazes e oportunas do ponto de vista da vida útil, não mais podem propiciar economia e otimização da estrutura;

- Fase de manutenção preventiva: as operações isoladas de manutenção do tipo; pinturas frequentes, limpezas de fachada sem beirais e sem proteções, impermeabilizações de coberturas e reservatórios mal projetados, e outras, necessárias a assegurar as boas condições da estrutura durante o período da sua vida útil, podem custar até 25 vezes mais que medidas corretas tomadas na fase de projeto estrutural ou arquitetônico. Por outro lado, podem ser cinco vezes mais econômicas que aguardar a estrutura apresentar problemas patológicos evidentes que requeiram uma manutenção corretiva;
- Fase de manutenção corretiva: corresponde aos trabalhos de diagnóstico, reparo, reforço e proteção das estruturas que já perderam sua vida útil de projeto e apresentam manifestações patológicas evidentes. A estas atividades pode-se associar um custo 125 vezes superior ao custo das medidas que poderiam e deveriam ter sido tomadas na fase de projeto e que implicariam um mesmo nível de durabilidade que se estime dessa obra após essa intervenção corretiva.

É observado a seguir um exemplo de ausência de manutenção periódica em uma passarela para pedestre (Obra de Arte especial) da BR-316, sito o Km 11,5 em frente ao Mercado Municipal de Marituba/Pa, após análises e levantamentos, o perito conclui pelo comprometimento do conjunto estrutural da passarela, em função do acelerado processo de oxidação de sua estrutura metálica, expondo a deterioração grave, com risco iminente de desprendimento e queda de peças, cuja extensão pode provocar o colapso dos tramos (vãos centrais), principalmente aquele no sentido Belém, pondo em risco o pedestre e usuários da via de circulação de veículos. Na Figura 2.10a se tem a vista geral da área urbana em Marituba com a passarela de pedestres periciada, em frente ao Mercado Municipal e Praça Matriz, cujo entorno possui centro de lojas

comerciais e espaço de lazer. Estruturalmente são estes os tramos centrais com vãos de 22,50 m por pista.

Para ser observado o detalhe da manifestação patológica, devido falta de manutenção, na Figura 10 é vista a viga transversal (transversinas), com perda total de seção, constituindo-se em ponto crítico do conjunto estrutural, haja vista que as peças pré-moldadas de concreto estão diretamente apoiadas na viga (seta branca). Corroborando ao fato não existe mais o perfil de travamento do quadro do tabuleiro (seta vermelha). Este é o vão central, sob o qual está a pista da BR-316, sentido Belém. É observado na Figura 10c o estado de oxidação das ferragens na porção superior do pilar de apoio da passarela, com expulsão de concreto e exposição da armação.

Figura 10: a) Vista geral da passarela. b) Vista de ausência e deterioração de peças componentes da passarela. c) Vista da oxidação da ferragem.



Fonte: CPCRC (2015).

2.2.5. Origem das manifestações patológicas devido a agentes externos ou origem exógena.

Com o crescimento da construção das edificações residenciais e/ou comerciais verticais, vieram em muitos casos os problemas com os imóveis

vizinhos, causando transtornos desde principalmente, na fase da execução das fundações, no que diz respeito à propagação de ondas mecânicas no solo, produzindo vibrações nas fundações vizinhas e ocasionando fissuras nos imóveis limítrofes à obra em construção (Figura 11).

Figura 11: Trinca em imóvel limítrofe à obra.



Fonte: CPCRC (2012).

2.3. Inspeção

É uma atividade técnica especializada que abrange a coleta de elementos, de projeto e de construção, o exame minucioso da construção, a elaboração de relatórios, a avaliação do estado da obra e as recomendações, que podem ser de nova vistoria, de obras de manutenção, de recuperação, de reforço ou de reabilitação da estrutura Helene (2007). O estudo dos defeitos estruturais começa pela detecção dos danos visíveis, o que demonstra a importância das inspeções visuais no mapeamento dos aspectos críticos da estrutura e na escolha das frentes de investigação (SANTOS, 2010). Conforme Lichtenstein (1986), a inspeção corresponde a metodologia e os procedimentos práticos para resolução dos problemas patológicos nas edificações, oferecendo como proposta as etapas seguintes:

- **Levantamento de subsídios:**

Levantar subsídios representa acumular e organizar as informações necessárias e suficientes para o entendimento completo dos fenômenos. As informações podem ser obtidas através de três fontes básicas, quais sejam: a vistoria do local, o levantamento da história do problema e do

edifício (anamnese do caso) e o resultado de análises e ensaios complementares;

- **Diagnóstico da situação**

O diagnóstico da situação é o entendimento dos fenômenos em termos da identificada das múltiplas reações de causa e efeito que normalmente caracterizam um problema patológico. Em outras palavras, o objetivo do diagnóstico é entender os porquês e os como a partir de dados conhecidos;

- **Definição de conduta**

O objetivo genérico da definição da conduta é prescrever o trabalho a ser executado para resolver o problema, nisto incluindo-se a definição sobre os meios materiais de obras e de equipamentos e a previsão das consequências em termos do desempenho final. Para definir a conduta, inicialmente é feito o prognóstico da situação, ou seja, são levantadas as hipóteses da tendência de evolução futura do problema e as alternativas de intervenção, acompanhadas dos respectivos prognósticos.

2.4. Diagnóstico

Conforme Aranha (1997) o diagnóstico consiste na análise do estado atual da estrutura, a partir de uma inspeção prévia, com levantamento de dados e estudo dos mesmos. Em geral, inclui o estudo da capacidade residual da estrutura bem como a verificação da necessidade de proceder-se intervenção e a identificação do grau de urgência. A existência de danos implica na necessidade de identificar a natureza, o alcance, a origem e a causa mais provável do mesmo. Para que se tenha êxito nas medidas terapêuticas, e necessário que o estudo precedente, o diagnóstico do problema tenha sido bem conduzido. O diagnóstico completo envolve vários aspectos:

- Sintomas que também são chamados de lesões ou defeitos e podem ocorrer em forma de fissuras, eflorescências, flechas excessivas, manchas, corrosão das armaduras, nichos de concretagem (segregação);
- Mecanismo: os problemas patológicos são decorrentes dos chamados vícios construtivos. O conhecimento do processo do mecanismo de ocorrência é fundamental para a definição da terapia;

- Origem: definição da fase do processo construtivo em que teve origem o fenômeno;
- Causas: Deve ser identificado o agente causador, ou seja, agente desencadeador do problema;
- Consequências: O problema compromete a segurança da estrutura e/ou suas condições de higiene e funcionamento;
- Com isso, considera-se que um diagnóstico preciso representa o sucesso do investimento e, claro, o início da solução do problema (MUÑOZ, 2001).

2.5. Prognóstico

Enquanto o diagnóstico é uma atividade uni temporal de avaliação de uma situação verificada em determinado instante do processo, o prognóstico é multi temporal, devendo o técnico vaticinar, com base em determinado parâmetro, a evolução do caso ao longo do tempo (LICHTENSTEIN, 1986). Conforme Tutikian & Pacheco (2013), para a elaboração do prognóstico, o técnico irá analisar e estudar o problema, baseando-se em determinados parâmetros, ao longo do tempo, para a obtenção de possíveis alternativas de desenvolvimento da falha. Alguns parâmetros a serem considerados são:

- quadro de evolução natural do problema;
- condições de exposição a que a edificação se encontra;
- tipo de terreno em que esta localizada;
- tipologia do problema.

2.6. Terapia das construções

É o ramo da engenharia que trata da correção dos problemas patológicos apresentados pelas construções. Helene (1988) apresenta uma definição mais detalhada e oportuna para **patologia e terapia** das construções. Patologia pode ser entendida como parte da engenharia 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, enquanto que Terapia estuda a correção e a solução desses problemas patológicos.

2.7. Equipamentos de ensaio para estudos de manifestações patológicas

Os ensaios não destrutivos são ensaios realizados em materiais, acabados ou semiacabados, para verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior. Os ensaios não destrutivos constituem uma das principais ferramentas do controle da qualidade de materiais e produtos, contribuindo para garantir a qualidade, reduzir os custos e aumentar a confiabilidade da inspeção. Os ensaios não destrutivos permitem estimar a resistência à compressão do concreto, identificar a localização da armadura no concreto armado, a detecção de corrosão da armadura, a reação álcali-agregado, os defeitos localizados (rachaduras, vazios), e a determinação das propriedades geométricas de peças de concreto, entre outros.

Os casos mais frequentes que requerem esses tipos de ensaios na construção civil são decorrentes da paralisação de obra por tempo indeterminado, de modificações no projeto, de acréscimo de um pavimento tipo, de influência de altas temperaturas (incêndio), ou ainda de utilização extra de peças estruturais não previstas no projeto. De acordo com Ziegler *et al.* (2003), primeiramente é necessário examinar as estruturas e descobrir os problemas que podem afetar o seu desempenho. Depois disso é necessário avaliar as consequências destes problemas no desempenho da estrutura e determinar a curva de degradação provável. A terceira fase envolve a seleção da melhor alternativa de intervenção para resolver o problema, priorizando intervenções se necessário. Finalmente, é necessário preparar um programa de intervenções para resolver os problemas, inclusive projetos, de acordo com as prioridades estabelecidas.

Os ensaios não destrutivos são uma família de métodos de inspeção especializados que provêm a informação sobre a condição de materiais e componentes sem que para isso seja necessário a destruição dos mesmos. Os ensaios “in loco” podem ser classificados em 2 categorias: aqueles que fazem a medida de alguma propriedade do concreto, a partir da qual pode ser obtida uma estimativa de resistência, durabilidade, e de comportamento elástico do material ou aqueles que tentam medir determinadas posições, tamanhos,

condições das armaduras; áreas de fraco adensamento, vazios, fissuras e teor de umidade do concreto na estrutura, Mehta *et al.* (1994).

Estes ensaios são utilizados na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los, sendo executados nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção Abendi (1999). Segundo Evangelista (2002), os métodos disponíveis para utilização na engenharia de estruturas, mais especificamente no concreto, podem ser classificados em:

- Métodos para determinar algumas propriedades do concreto que possibilitam uma estimativa de sua resistência, módulo de elasticidade longitudinal e durabilidade;
- Métodos onde são detectados posição e diâmetro das armaduras, vazios, fissuras, falhas de concretagem, e teor de umidade do concreto in loco.

Para a obtenção de resultados satisfatórios e válidos, segundo a Abendi(1999), os seguintes itens devem ser considerados como elementos fundamentais para os resultados destes ensaios:

- Pessoal treinado, qualificado e certificado;
- Equipamentos calibrados;
- Procedimentos de execução de ensaios qualificados com base em normas e critérios de aceitação previamente definidos e estabelecido.

A utilização de ensaios não destrutivos em edificações novas, antigas e históricas contribui com importantes informações para o engenheiro, que no caso de edificações novas pode monitorar a evolução da resistência estrutural ou esclarecer dúvidas sobre a qualidade do concreto. Em uma análise de edificações já existentes, visam avaliar a sua integridade e capacidade de resistir às solicitações, enquanto que em edificações históricas, esses ensaios específicos podem nortear um diagnóstico para identificação de danos estruturais. Segundo a norma britânica BS1881: Part. 201 (BS, 1986) *apud* Evangelista (2002), os métodos não destrutivos são convenientes para:

- Controle tecnológico em pré-moldados ou construções in situ;
- Aceitação, ou não, de materiais fornecidos;

- Esclarecimento de dúvidas a respeito da mão de obra envolvida em mistura, lançamento, compactação ou cura do concreto, transporte;
- Monitoramento do desenvolvimento da resistência visando remoção de formas, duração da cura, aplicação de protensão ou de cargas, remoção de escoramento;
- Localização e determinação da extensão de fissuras, vazios e falhas de concretagem;
- Determinação da posição, diâmetro ou condições das armaduras;
- Determinação da uniformidade do concreto;
- Aumento do nível de confiança de um pequeno número de ensaios destrutivos;
- Verificar a deterioração do concreto resultante de sobrecarga, fadiga, fogo, ataque do meio ambiente;
- Avaliação do potencial de durabilidade do concreto;
- Monitoramento de mudanças das propriedades do concreto ao longo do tempo;
- Fornecimento de informações para que se verifique se é possível mudar a utilização de uma estrutura.

Analisando os métodos de ensaio, podemos perceber a grande importância na utilização dos mesmos para a descoberta de anomalias nas estruturas de concreto.

2.7.1. Esclerometria

Método de ensaio não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido e sua resistência à compressão, pelo uso de esclerômetro de reflexão, método este que é prescrito pela NBR 7584 (ABNT, 2012). O esclerômetro Schimdt consiste em um martelo controlado por uma mola que desliza por um pistão. Foi idealizado por Ernst Schmidt, em 1948, por isto conhecido como esclerômetro Schmidt, sendo um dos mais antigos métodos não destrutivos, ainda muito usado Neville (1997). O operador exerce um esforço sobre o pistão contra uma estrutura, ele reage contra a força da mola; quando completamente estendida a mola é automaticamente liberada. O

martelo choca no embolo que atua contra a superfície de concreto e a massa controlada pela mola recua, deslizando com um ponteiro de arraste ao longo de uma escala guia que é usada para indicar o valor da reflexão do martelo. Mehta & Monteiro (2008), (Figura 12).

Figura 12: Ensaio de Esclerometria.



Fonte: Modulus Engenharia (xxxx).

2.7.2. Ultrassom

Este ensaio consiste na avaliação da velocidade de propagação de pulsos ultra-sônicos através de dois pontos estabelecidos. O aparelho de ultrassom registra o tempo que o pulso leva de um ponto ao outro. (Figura 13) Com o tempo fornecido pelo aparelho e a distância entre os dois pontos obtém-se a velocidade do pulso. O fator comum é a massa específica: uma variação da massa específica resulta na variação de velocidade dos pulsos e na variação de resistência do concreto. Desta forma, quanto maior a frequência, menor deve ser a distância entre os pontos em estudo, isto permite relacioná-la com as propriedades elásticas do concreto.

Figura 13: Aparelho de Ultrassom.



Fonte: Silva *et. al.* (2016)

2.7.3. Pacometria

Consiste em determinar a localização das armaduras. Equipamentos mais sofisticados também determinam diâmetro e cobertura. O princípio da medição do recobrimento por pacometria consiste em medir as perturbações provocadas pela presença de um objeto metálico colocado num campo eletromagnético emitido por um sistema de bobinas. O aparelho analisa os sinais induzidos por este campo e calcula o recobrimento e/ou o diâmetro dos aços situados no aprumo do sensor (Figura 14).

Figura14: Equipamentos utilizados para a verificação da integridade da peça e localização de ferragem (Ultrasson e Pacometria).



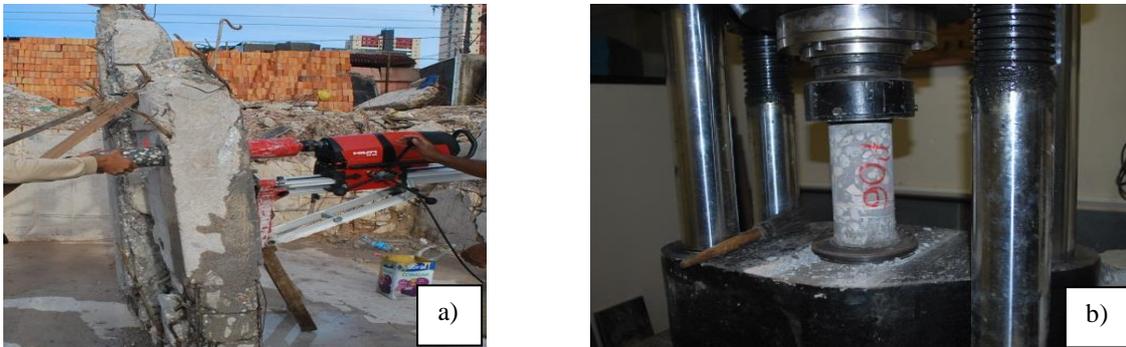
Fonte: CPCRC (2011).

2.7.4. Extração de testemunho

A extração (Figura 15a) e o ensaio (Figura 15b) à compressão de testemunhos constituem a técnica mais aceita para estimar a resistência *in loco* do concreto como material estrutural. Outras informações importantes podem ser coletadas através da inspeção dos mesmos, tais como: compactidade do concreto, homogeneidade, aderência em juntas de construção, espessura de lajes ou placas de pavimento, deterioração do concreto e a verificação de aderência de armaduras, em obras. Também tem importante aplicação na investigação de estruturas com reações expansivas álcali agregado.

Esse tipo de ensaio está previsto na NBR 7680-1 (ABNT, 2015), que trata especificamente das operações relativas à resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos de concreto. Os resultados obtidos pelo procedimento estabelecido nesta parte 1 da citada norma, podem ser utilizados, entre outros critérios: para aceitação definitiva do concreto, em casos de não conformidade da resistência à compressão do concreto e para avaliação da segurança estrutural de obras em andamento, nos casos de não conformidade da resistência à compressão do concreto, conforme os critérios da NBR 12655 (ABNT, 2015).

Figura 15: a) Coletas seletivas de materiais de escombros e da estrutura remanescente. b) Análise em laboratório dos materiais coletados “in loco”.



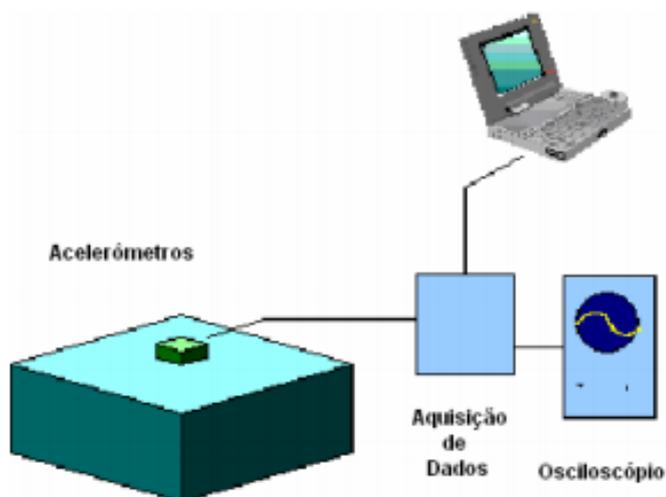
Fonte: Raiol & Maciel (2013).

2.7.5. Prova de carga

Um dos testes mais convincentes de segurança de uma estrutura já terminada é a prova de carga. Na verdade, ao colocarmos a estrutura nas condições para a qual foi calculada, construída ou reforçada, estamos em condição de observar o seu comportamento. A prova de carga é uma ferramenta muito útil para verificar o estado em que se encontram antigas estruturas, quando uma análise teórica não seja suficiente ou quando haja suspeita de que pelo tempo de uso ou outras causas, sua capacidade de suportar esteja abaixo dos níveis especificados.

Uma prova de carga envolve a análise da resposta da estrutura sob a influência das cargas e interpretação dos resultados. A resposta da estrutura é via de regra, por intermédio de deformações e deslocamentos, e com isso Cánovas (1988) reitera que uma prova de carga se aplica a elementos que se deformam mediante a aplicação de carga, tais como vigas, lajes e outros elementos fletidos, não sendo recomendada a pilares que trabalham à compressão ou vigas curtas submetidas ao esforço cortante, pelo fato de possível ruptura sem aviso para estes elementos, quando carregados. A Figura 16 ilustra a configuração de sistema da prova de carga.

Figura 16: Exemplo de configuração de equipamento para a medição de vibrações.



Fonte: NBR 15307 (ABNT, 2005).

2.7.6. Método de carbonatação

A corrosão das armaduras é a principal causa de deterioração precoce do concreto armado, onde a causa mais importante está associada à carbonatação do concreto. O efeito da carbonatação gera mudanças químicas nos compósitos de cimento hidratado que por consequência reduz o pH da pasta cimentícia, provocando a despassivação das armaduras, que reduz a resistência à corrosão.

Após a despassivação, o aço carbono embutido no concreto fica suscetível à corrosão desde que haja um eletrólito, oxigênio e uma diferença de potencial atuando Helene (1993). Segundo Cascudo(1997), em situações em que a frente de carbonatação ainda não chegou nas armaduras, a corrosão não é totalmente nula chegando a 0,001mm/ano, no entanto esse número é considerado desprezível perto da vida útil de projeto de uma estrutura. Esta situação será válida se somente se o concreto não estiver em contato com algum agente agressivo assim como os íons cloreto.

O ensaio para medição da profundidade de carbonatação do concreto consiste em submeter uma superfície, recentemente exposta (fraturada) do concreto, com indicador químico à base de fenolftaleína ou timolftaleína, e verificar a cor com que fica a superfície. Em função da cor é possível estimar o pH do concreto e obter uma clara evidência do avanço da frente de

Carbonatação para o interior do cobrimento de concreto, cor violeta mostra um concreto com pH superior a 13 e superfícies sem cor mostram concreto carbonatado com pH inferior a 9. (Figura 17)

Figura 17: Área de estrutura submetida a ensaio de carbonatação.



Fonte: Sahuinco (2011)

2.8. Critérios normativos

As leis são elaboradas com o propósito de disciplinar as relações dos cidadãos no tocante aos direitos e deveres recíprocos. O Brasil ainda não possui uma lei federal que determine a inspeção e manutenção periódicas obrigatórias em edificações antigas e edificações recentes. Porém, em 18/07/2013 foi remetida à Câmara dos Deputados o PL 491/2011, o qual determina a realização periódica de inspeções em edificações e cria o Laudo de Inspeção Técnica de Edificação (LITE), com o objetivo de verificar as condições de estabilidade, segurança construtiva e manutenção da edificação.

Para disciplinar as relações de entendimento na comunidade técnico científico, no que diz respeito às regras de procedimentos à boa prática na construção civil, são utilizados os preceitos das Normas Técnicas, que não são atos oficiais ou leis, são prescrições científicas, expedidas por associação privada, desvinculada da administração pública e tratam de meras recomendações, mas tem força obrigatória e o seu descumprimento trazem consequências, sanções, e criam um vetor de qualidade a ser seguido (padronização), de acordo com Del Mar (2010).

As normas técnicas são corroboradas pela Lei 8.078/90 (Código de Defesa do Consumidor), principalmente no seu art. 39º- VIII: colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro).

Nesse sentido a Lei 8.078/90 (Código de Defesa do Consumidor), estabelece o prazo de garantia do serviço executado, assim como o prazo decadente, referente ao aparecimento de vício ou defeito em seu artigo 618I: nos contratos de empreitada de edifícios ou outras construções consideráveis, o empreiteiro de materiais e execução responderá, durante o prazo irredutível de cinco anos, pela solidez e segurança do trabalho, assim em razão dos materiais, como do solo. E acrescentando no seu parágrafo único decairá do direito assegurado neste artigo o dono da obra que não propuser a ação contra o empreiteiro, nos cento e oitenta dias seguintes ao aparecimento do vício ou defeito.

De acordo com NBR 13752 (ABNT, 1996) sobre perícias de engenharia determina conceitos relacionados a atividade cujo objetivo é definir a finalidade a que se destina a perícia, de sorte a estabelecer o grau de detalhamento das atividades a serem desenvolvidas e do laudo, ou segundo informação de quem o tenha solicitado.

Como é de grande relevância que todos precisam zelar pela edificação, a NBR 5674 (ABNT, 2014) afirma que o proprietário de uma edificação, responsável pela sua manutenção, deve observar o estabelecido nas normas técnicas e no manual de operação, uso e manutenção de sua edificação. Após o desabamento do Edifício Liberdade e de mais dois prédios, em janeiro de 2012, no Rio de Janeiro foi criada a em abril de 2014 a NBR 16280 (ABNT, 2014), que trata das reformas de prédios novos e antigos, comerciais e residenciais, abrangendo, inclusive, aquelas feitas no interior dos imóveis.

Com a sua vigência da nova norma da ABNT de 2014, os moradores que decidirem por executar alguma modificação no imóvel, deverão encaminhar ao síndico um planejamento do que será feito, informando a empresa a

ser contratada e a duração da obra. Como toda reforma, exigirá um responsável técnico e o condomínio necessitará de laudo, deverá ser assinado por engenheiro ou arquiteto, inclusive nas pequenas obras.

A norma NBR 16280 (ABNT, 2014) faz parte de um movimento de modernização das normas técnicas do setor construtivo, mantendo muita pertinência com as normas de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), com a norma que prevê os requisitos para o sistema de gestão de manutenção, sendo a NBR 5674 (ABNT, 2012) e com a NBR 14037 (ABNT, 2014), que trata das diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações - Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. A aludida norma no item 6.1 se refere ao (s). Responsável (is) legal (is) pela edificação, no que diz respeito a: antes do início das obras de reforma, durante as obras de reforma e após as obras de reforma, estabelecendo as devidas responsabilidades referentes a cada etapa da reforma.

A norma NBR 15575 (ABNT, 2014) aplica-se a edificações habitacionais com qualquer número de pavimentos, geminadas ou isoladas, construídas com qualquer tipo de tecnologia, trazendo em suas respectivas partes as ressalvas necessárias no caso de exigências aplicáveis somente para edificações de até cinco pavimentos. Conforme prevê NBR 15575 (ABNT, 2014) explora conceitos que muitas vezes não são considerados em Normas prescritivas específicas como, por exemplo, a durabilidade dos sistemas, a manutenibilidade da edificação e o conforto tátil e antropodinâmico dos usuários. Normas tradicionais - orientação objetual ou prescritiva, estabelecem requisitos com base no uso consagrado de produtos ou procedimentos, buscando atender aos requisitos dos usuários de forma indireta.

2.9. Acidentes estruturais

De acordo com Peraza (2005), a configuração do colapso pode fornecer informações significativas dos mecanismos e da origem da ruína, bem como, pode auxiliar na eliminação de algumas hipóteses iniciais. Tendo-se em vista que normalmente haverá algumas pressões em curso para que ocorra a limpeza imediata dos escombros, é necessário que a cena do acidente seja imediatamente documentada, tão rápido quanto possível.

De acordo com Cunha *et al.* (1996), as normas brasileiras de projeto de estruturas em concreto, mais especificamente a NBR6118 (ABNT, 2014), preconizam que todas essas normas devem ser analisadas nos níveis dos estados limites de serviço e estados limites últimos. Portanto, para a análise do colapso de uma estrutura de concreto armado, é indispensável a verificação da estabilidade global da estrutura, referente aos esforços solicitantes através dos carregamentos impostos na estrutura, bem como os deslocamentos e as deformações decorrentes dos efeitos de 2ª ordem, sofridos pela estrutura, afim de determinar se a estrutura executada, atende ao Estado Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite Último (ELU), conforme o que prevê as recomendações do item 10 (Segurança e estados limites) da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Dessa forma, conforme prescreve a NBR 6118 (ABNT, 2014) que o Estado Limite de Serviço (ELS) são aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários, ou seja em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas. E com relação ao Estado Limite Último (ELU) a citada norma técnica considera, que a segurança das estruturas de concreto deve sempre ser verificada em relação aos seguintes estados - limite último:

- Estado-limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- Estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, admitindo-se a redistribuição de esforços internos, desde que seja respeitada a capacidade de adaptação plástica definida na Seção 14, e admitindo-se, em geral, as verificações separadas das solicitações normais e tangenciais, todavia, quando a interação entre elas for importante, ela estará explicitamente indicada nesta Norma;
- Estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- Estado-limite último provocado por solicitações dinâmicas (ver Seção 23);
- Estado-limite último de colapso progressivo;

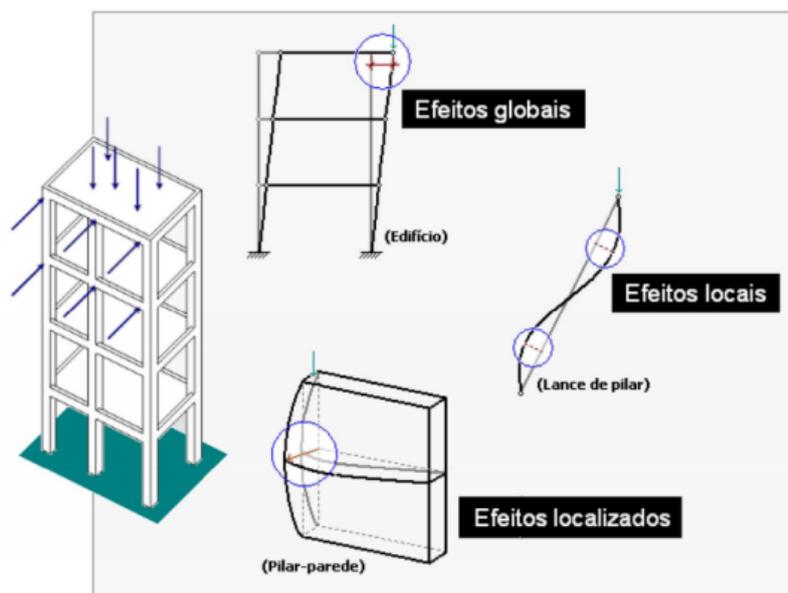
- Estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a NBR 15200 (ABNT, 2004).

Uma estrutura de nós móveis, segundo o que conceitua a NBR 6118 (ABNT, 2014) em seu item 15.4.2, as estruturas de nós móveis são aquelas onde os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são importantes (superiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas devem ser considerados tanto os esforços de 2ª ordem globais como os locais e localizados.

Para elucidar o efeito de 2ª ordem a norma define: efeitos de 2ª ordem são aqueles que se somam aos obtidos numa análise de primeira ordem (em que o equilíbrio da estrutura é estudado na configuração geométrica inicial), quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada. A referida norma diz ainda que, sob a ação das cargas verticais e horizontais, os nós da estrutura deslocam-se horizontalmente. Os esforços de 2ª ordem decorrentes desses deslocamentos são chamados efeitos globais de 2ª ordem. Nas barras da estrutura, como um lance de pilar, os respectivos eixos não se mantêm retilíneos, surgindo aí efeitos locais de 2ª ordem--- que, em princípio, afetam principalmente os esforços solicitantes ao longo delas.

Em pilares-parede (simples ou compostos) pode-se ter uma região que apresenta não retilineidade maior do que a do eixo do pilar como um todo. Nessas regiões surgem efeitos de 2ª ordem maiores, chamados de efeitos de 2ª ordem localizados. O efeito de 2ª ordem localizado, além de aumentar nessa região a flexão longitudinal, aumenta também a flexão transversal, havendo a necessidade de aumentar a armadura transversal nessas regiões (Figura 18).

Figura 18: Efeitos de 2º Ordem



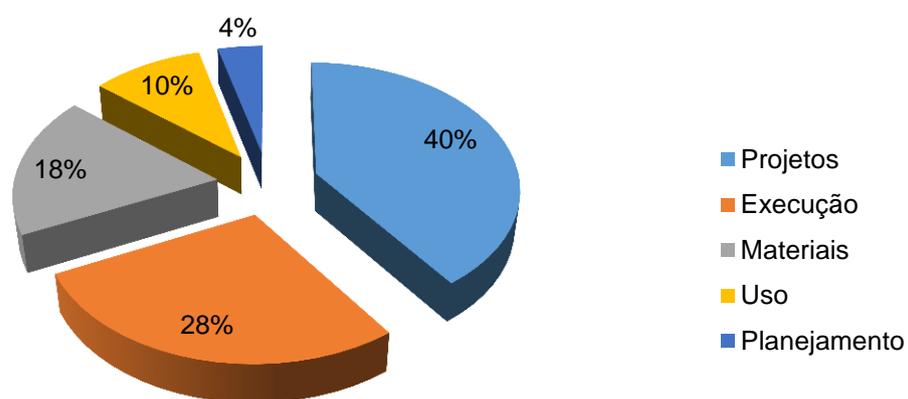
Fonte: Universidade Estadual Paulista- UNESP/Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira- FEIS/Departamento de Engenharia Civil/Notas de Aula (2019)

Sobre a preocupação com esse tipo de estrutura, diz também a referida norma: nas estruturas de concreto armado, o estado limite último de instabilidade (ruptura) é atingido sempre que, ao crescer a intensidade do carregamento (das forças) e, portanto, das deformações, há elementos submetidos à flexão-compressão em que o aumento da capacidade resistente passa a ser inferior ao aumento da sollicitação. De acordo com Cunha *et al.* (1996), os acidentes estruturais podem ter suas origens em qualquer uma das atividades inerentes ao processo chamado “construção civil”, sendo que as patologias podem ter início na concepção, na execução ou utilização da obra. Complementam Souza *et al.* (2009): os erros mais frequentes observados em acidentes estruturais concentram-se basicamente na má avaliação dos carregamentos (Tabela 4 e figuras 19 e 20), na modelização inadequada da estrutura, em detalhamentos errados ou ineficientes, na deficiência e falta de controle de qualidade durante a execução, em sobrecargas excessivas não previstas.

Tabela 4: Problemas patológicos, Revista Techné (1995).

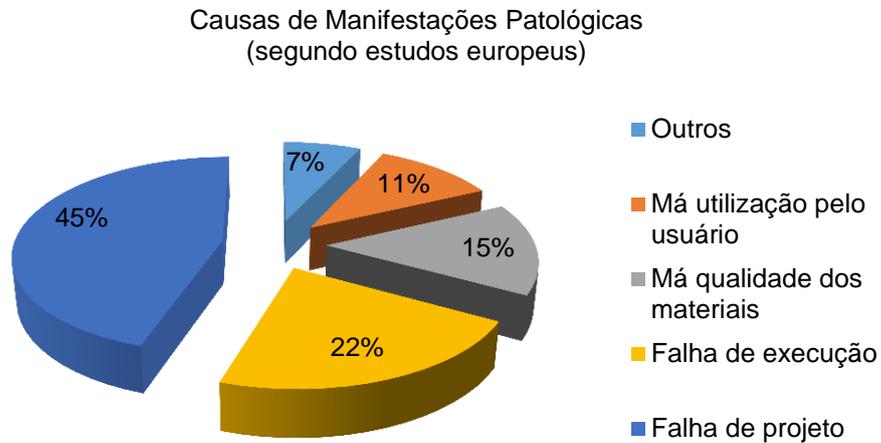
Origens dos erros	%
Projetos	60
Construção	20,4
Equipamentos	2,1
Outros	11,5

Figura 19: Percentual de falhas por etapa construtiva



Fonte: Helene (1992).

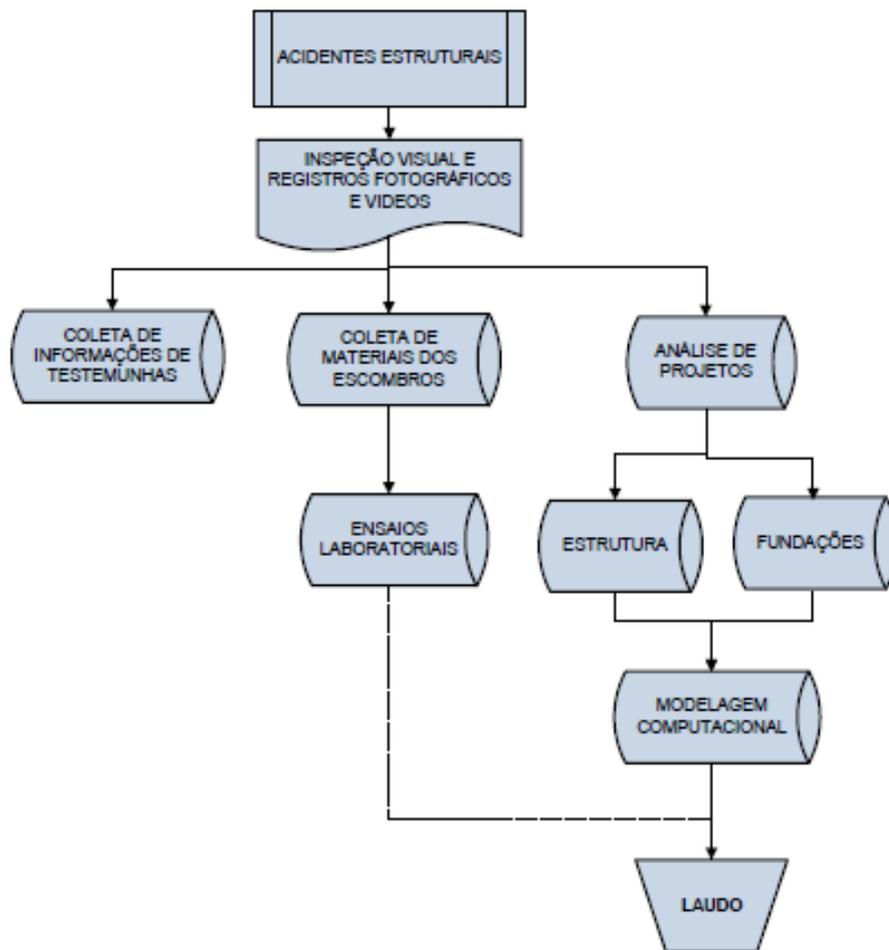
Figura 20: Gráfico que relaciona as principais causas de Manifestações Patológicas.



Fonte: Couto (2007) *apud* Gonçalves (2015).

Os gráficos acima retratam o fato de que, mesmo passados 23 anos as causas das manifestações patológicas são identificadas como origens na fase de projeto. Considerando a complexidade para se identificar de imediato as origens e os agentes causadores, que levam uma edificação ao colapso, Raiol & Maciel (2013) propuseram um roteiro com métodos utilizados para elucidação das causas de um acidente estrutural em edificações de concreto armado, o qual é submetido ao que preconiza as normas técnicas específicas, referentes a todos os fatores peculiares ao sinistro, e contemplam várias etapas exibidas conforme proposto no fluxograma da Figura 21.

Figura 21: Fluxograma de metodologia para avaliação de acidentes estruturais



Fonte: Raiol & Maciel (2013).

a) Inspeção visual

Após o sinistro ocorrido em uma estrutura é importante fazer o levantamento com registros fotográficos e de vídeos para se obter uma dimensão ampla e dinâmica do evento e poder iniciar a compilação de dados para a orientação dos trabalhos. Em seguida inicia-se todo um processo logístico de etapas interativas como: coleta de informações de testemunhas, coleta de materiais dos escombros para ensaios e análises laboratoriais, bem como a análise de projetos até a emissão do laudo técnico.

b) Coleta de informações de testemunhas

Fazer o levantamento da coleta de informações de testemunhas corresponde a outra etapa muito importante. As testemunhas fornecerão dados

iniciais para a composição da diretriz da tomada de decisões, no que diz respeito às que estavam presentes no momento do sinistro, os empregados e engenheiros envolvidos no processo de construção da edificação, informações colhidas junto a órgãos como INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e considerando ainda, os informes transmitidos pelos meios de comunicação.

c) Coleta de materiais dos escombros e ensaios laboratoriais

Outra etapa importante é a coleta seletiva de materiais dos escombros e da estrutura remanescente, submetidos a ensaios específicos que serão analisados em laboratório. Esses ensaios são utilizados para verificar as propriedades do concreto que possibilitam uma estimativa de sua resistência, módulo de elasticidade longitudinal e durabilidade; ou ainda detectam a posição e diâmetro das armaduras, vazios, fissuras, falhas de concretagem e teor de umidade do concreto *in loco*.

d) Análise de projetos

Para entender a extensão do problema faz-se necessário as devidas análises de todos os projetos referentes à estrutura, como os relatórios, planilhas e projetos pertinentes ao estudo e assentamento da edificação no solo, análise do documento informativo do controle de resistência do concreto, assim como a análise minuciosa realizada no projeto estrutural. Tais análises deverão ser submetidas à luz dos critérios de dimensionamento das normas brasileiras vigentes e se for o caso consultar normas internacionais. Com isso, a análise dos projetos é importante para a perícia, visando confrontar informações de projeto com a edificação sinistrada. Durante a análise se pode realizar modelagens computacionais, através de programas comerciais específicos de análise estrutural, dando suporte para a comparação dos resultados obtidos com o projeto.

e) Laudo

A conclusão da perícia realizada no acidente estrutural culmina na junção de todas as informações pertinentes à situação para elucidar as causas que contribuíram para a ocorrência do sinistro. O laudo sobre o acidente

estrutural poderá até indicar soluções de recuperação quando se tratar de colapso parcial.

2.9.1. Tipos de acidentes estruturais

Após o estudo de acidentes ocorridos na esfera nacional e internacional, observou-se que havia uma repetição de características relacionadas com fatos decisivos para a manutenção da vida útil da edificação, sendo que as causas de acidentes podem estar relacionadas à:

- Um ou mais erros em etapas construtivas: planejamento, projeto, execução, utilização;
- Ocorrência de carregamento por impacto externo excepcional;
- Ocorrência de fatores ligados com o comportamento ambiental;
- Ocorrência de erros de equipamentos e eletrodomésticos.

2.9.2. No estado do Pará

No estado do Pará, assim como em outros estados do Brasil, ou partes do mundo, a engenharia civil vem coexistindo entre falhas, erros e escolhas equivocadas, servindo de exemplo e mais um número dentre tantos desabamentos já ocorridos nas últimas décadas, sendo suas origens similares a de outros estudos, mostrando que os mesmos erros se repetem.

Consoante Batista & Lopes (1987), o Edifício de 13 andares (Figura 22), que desabou em Belém/Pará, em 1987, obteve-se após as análises realizadas, a indicação do mecanismo do colapso, apontando um processo relativamente lento de flambagem reológica do conjunto pilar- estacas, sob acréscimos sucessivos de carga permanente, devido a cada novo pavimento construído, levando o pilar P 12 à ruptura por flexo compressão, durante estado avançado de processo de flambagem. A ocorrência desse mecanismo de colapso se deveu fundamentalmente à concepção estrutural não convencional, adotada tanto para as fundações quanto para os pavimentos, ambos sem travamento longitudinal, a qual exigia uma verificação rigorosa de estabilidade e um dimensionamento dos elementos estruturais (estacas metálicas e pilares) com adoção de coeficientes de segurança majorados.

Figura 22: Desabamento do edifício Raimundo Farias ocorrido em 1987, que apresentava 13 andares, fase de execução, 39 operários vieram a óbito. Belém/Pa.



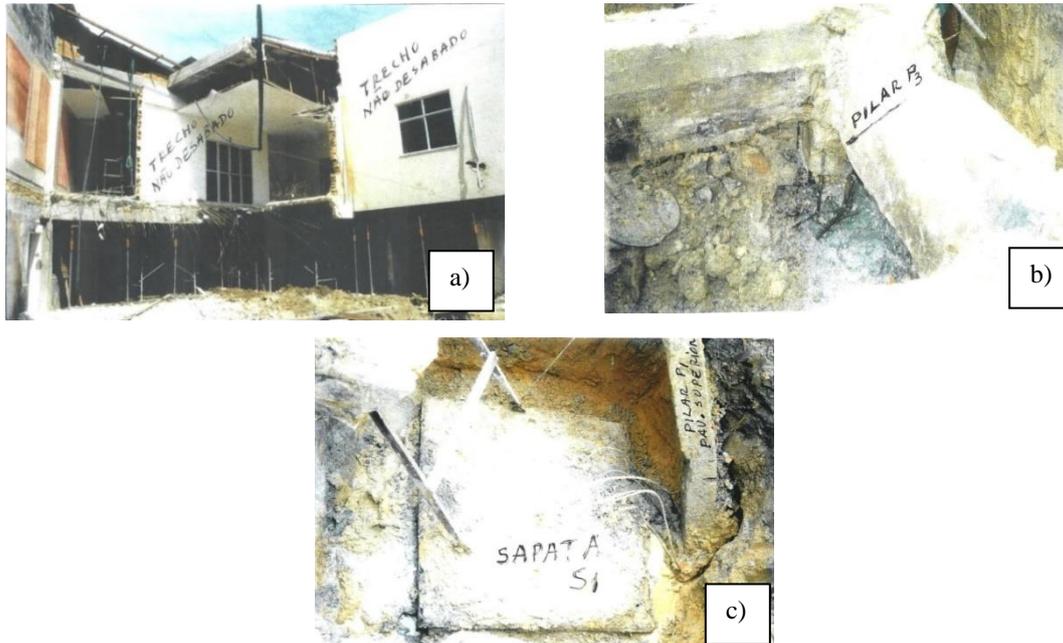
Fonte: Raiol & Maciel (2013)

O Centro de Perícias Científicas “Renato Chaves” começou a realizar perícias em edificações em 1990, através do Instituto de Criminalística, setor de Engenharia Legal. A seguir são elencados os casos de acidentes estruturais com maior repercussão, objetos de perícias nos últimos anos, realizadas do Pará:

1) Pavilhão do Centro de Esterilização e Centro Cirúrgico de um hospital público no município de Belém (Figuras 23a, 23b e 23c). O desabamento ocorreu em 2001, devido ao colapso dos pilares de fundação P1 e P3, em virtude da combinação dos seguintes fatores:

- Não retirada das formas de madeira dos pilares de fundação;
- Falta de controle de qualidade do concreto;
- Aceleração do processo de desagregação do concreto, provocada pela presença de água pútrida proveniente do vazamento de tubulações de origens diversas.

Figura 23: a) Vista da área do desabamento; b) Pilar da fundação P3; c) Pilar da fundação P1 e sapata S1.



Fonte: CPCRC (2001).

2) Reservatório elevado situado no município de Marabá.

Desabamento do reservatório elevado (Figuras 24^a, 24^b e 24^c) ocorrido em 2008, com capacidade para 2.000.000 litros, em concreto armado, vitimando fatalmente dois operários. O formato era circular, composto de anel externo de 8,25 m de diâmetro e 0,25 m de espessura e anel interno de 1,45 m de diâmetro e espessura de 0,25 m e altura total de 57,1 m, dividida em seis células. O desabamento ocorreu em virtude do rompimento das lajes intermediárias, no trecho do apoio do pilar central, e do esmagamento da base do pilar externo (anel) no trecho de apoio nas cintas radiais, devido às deficiências existentes no projeto estrutural:

a) Referente à ausência de armadura de punção nas lajes intermediárias com o pilar central:

- Ausência da laje de fundo da armadura de punção obrigatória, devido à estabilidade global da estrutura depender da resistência das lajes de punção, de acordo com a NBR6118, item 19. 5. 3. 5 (ABNT, 2014);

- Ausência na laje de fundo das células de armadura de flexão inferior, para a proteção contra o colapso progressivo por punção, de acordo com a NBR 6118, item 19. 5. 4 (ABNT, 2014);
- Ausência de ferro na laje de fundo das células, para atender à capacidade de ligação à punção, de acordo com a NBR 6118, item 19. 5. 3. 2 (ABNT, 2014);

b) Referente à ausência de armadura para resistir aos esforços de tração, oriundos da pressão da parede externa, em contato com a área reduzida das cintas radiais de apoio.

Figura 24: a) Visão geral da área da siderúrgica antes do acidente; b) Vista geral das condições existentes; c) Vista da base do anel externo.



Fonte: CPCRC (2008).

3) Indústria de cimento no município de Itaituba

Em 2010 ocorreu o desmoronamento da rampa transportadora de pozolana (Figuras 25a, 25b, 25c e 25d), que estava sendo construída em concreto armado, devida ao sub dimensionamento do escoramento em madeira (ausência de projeto de escoramento) da fôrma da rampa

transportadora de concreto, que não suportou a carga do concreto que estava sendo lançado nesta fôrma. A rampa apresentava um comprimento de 38,50 m em projeção horizontal e uma altura de 31,89 m em projeção vertical, 7 operários vieram a óbito e 14 ficaram lesionados.

Figura 25: a) Vista de uma rampa similar ao que ruiu; b) Falhas das emendas do escoramento; c) Restos do escoramento em madeira; d) Rampa destruída no chão.



Fonte: CPCRC (2010).

4) Edifício de 34 andares no município de Belém.

As figuras 26a, 26b, 26c e 26d mostram o edifício que desabou em Belém em 2011, vitimando três pessoas, sendo dois operários e a moradora da casa adjacente. Entre as causas destaca-se de forma preponderante o erro na concepção do sistema estrutural, onde foi constatado através da análise do projeto estrutural, frente à norma NBR 6118 (ABNT, 2003), hoje estando na versão 2014 e da análise “in loco” da configuração dos elementos estruturais remanescentes do desabamento, não sendo realizada uma simulação computacional. Ressalta-se ainda que o sistema estrutural proposto no projeto

estrutural, incompatível com o modelo físico existente, não considerou a ação do vento e não satisfazia a condição necessária de um modelo capaz de garantir a estabilidade global do edifício de trinta e quatro pavimentos. Após as análises foram constatados:

- Flexão transversal e longitudinal (esforços na direção horizontal e vertical) sofridos pelos pilares P15 e P16, situados na área central do prédio, correspondente ao fosso dos elevadores, provocando a desestabilização da viga longitudinal V11 e conseqüentemente das vigas transversais V22, V27, V29 e V32, que chegam até ela e formam o sistema de travamento transversal dos pilares P21, P22, P23, P24 e P25 localizados na lateral esquerda (elementos contraventados e faziam parte do corpo principal do espigão, estando posicionados na direção mais desfavorável em relação à inércia), pilares estes que não estavam convenientemente travados aos pilares centrais (subestrutura de contraventamento) pelas vigas transversais V18, V22, V27, V29, V32 e V36. E com isso os referidos pilares situados na lateral esquerda, sofreram tombamento de dentro para fora do prédio, após a liberação das vigas de travamento, devido ao peso dos balanços das sacadas existentes (lado esquerdo) ao longo de trinta e um pavimentos, culminando no desabamento global da estrutura.

Esse caso também foi analisado pelo laboratório GAEMA/UFPA, que entre várias análises, apresentou uma simulação computacional em seu Laudo Técnico.

Figura 26: a) Vista da área do desabamento do edifício, ao lado o edifício vizinho; b) Vista da área de inspeção pericial do subsolo; c) Pilar P15, compressão na face esquerda e tração na face direita, deslocamento à esquerda e giro no sentido anti-horário; d) Pilar 22 com tombamento para fora do prédio.



Fonte: CPCRC (2011).

5) Galpão situado no município de Traquateua.

Em 2013 ocorreu o desabamento do galpão construído em estrutura mista de concreto e metal (Figuras 27a, 27b e 27c), decorrente de falhas de projeto estrutural, falhas construtivas e manutenção precária ou inexistente. Devido ao estado de oxidação avançada, a maior parte das ligações viga-pilar da lateral esquerda se encontrava com as soldas corridas em risco de desconexão. Os elementos estruturais em concreto armado (pilares e vigas frontais e de fundos; vigas da lateral esquerda) sofreram colapso e apresentavam:

- concreto com vestígios de desagregação com falha de adensamento, deficiência de cobrimento e exposição da armadura;

- vestígios de infiltração de umidade e despassivação da armadura;
- corrosão e conseqüente expansão da armadura;
- deformação, ruptura e arrancamento das barras da armadura;
- armadura com emendas de traspasse mal executadas e/ou inexistentes;
- ausência de engastamento entre a estrutura de concreto armado (vigas) e os pórticos da estrutura metálica (pilares).

Figura 27: a) Vista frontal do local do desabamento; b) Pilares em concreto seccionados – viga com rotação para dentro; c) Capitel do pilar metálico 08, corroído e solda danificada.



Fonte: CPCRC (2013).

- 6) Ponte em estrutura de concreto armado sobre o Rio Moju, com 900 metros de extensão, ligando a capital Belém aos municípios do Baixo Tocantins e Sul do Pará.

Em março de 2014 ocorreu o sinistro, provocado pela colisão da balsa que transportava óleo de dendê, que provocou o colapso do pilar 14 e o desabamento dos vãos adjacentes (tabuleiros) da ponte rodoviária sobre o Rio Moju. Em novembro de 2014 ocorreu nova colisão com a mesma ponte, dessa vez, o sinistro foi produzido por uma balsa que transportava toras de madeira, danificando a extremidade de uma das estacas. Em ambos os casos foi

constatado a ausência de *dolfins* (defensas) no entorno dos pilares, o que atenuaria ou evitaria os danos ora constatados. Ver Figura 28.

Figura 28: a) Acidente em março de 2014(setas). Acidente em novembro de 2014 (balão); b) Detalhe do trecho dos tabuleiros destruídos; c) Estaca acidentada em novembro de 2014.

Fonte: Maciel *et al.*, 2015; d) As duas balsas transportadoras de madeira, que provocaram o acidente na estaca.



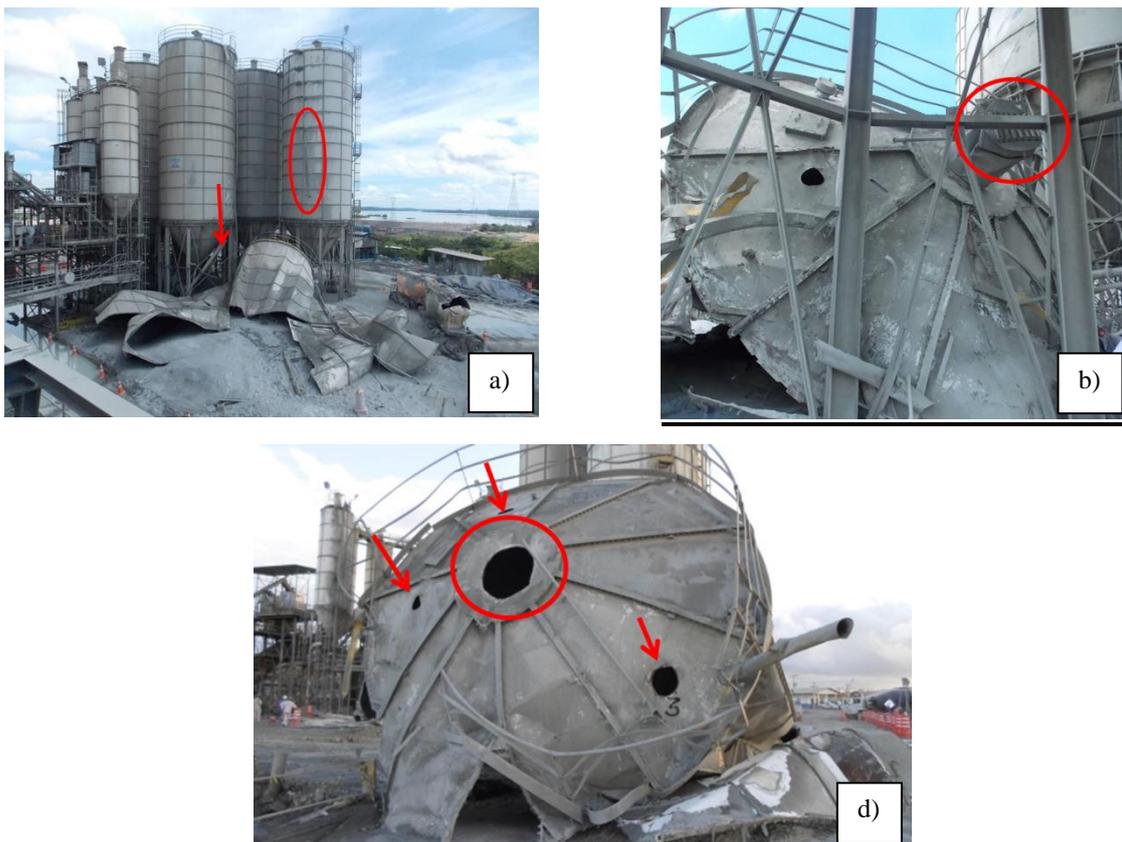
Fonte: CPCRC (2014).

7) Silo em estrutura metálica, utilizado para armazenamento de cimento, instalado em parque industrial, situado no município de Vitória do Xingu.

Acidente Estrutural ocorrido em Silo de armazenamento de cimento em estrutura metálica, devido à expansão abrupta (explosão) no seu tempo superior, a qual foi provocada por elevada pressão interna, provocada pela deficiência no funcionamento dos componentes de segurança, responsáveis pela liberação interna do ar do Silo 01 (válvulas, filtro e tubo suspiro), os quais se encontravam com pó de cimento petrificado, impedindo dessa forma o normal funcionamento do referido equipamento, em decorrência de dois fatores preponderantes: a não eficácia de manutenção preventiva e ausência de

controle eletrônico, caracterizado pela não ativação do sistema de hastes internas do silo, conforme é observado na Figura 29: a - Silo 01 desabado ao solo em forma de leque; à esquerda, em primeiro plano Silo 03, que teve sua estrutura comprometida com o arrancamento de um de seus pilares (seta), e, à direita Silo 02 avariado por ranhuras (balão) em sua parede, em função do desabamento; b - Vista do telhado cônico do Silo 01, sendo observado filtro do silo que apresentava elemento petrificado, levado posteriormente para exame; c - Vista da abertura do telhado cônico no Silo 01, ocorrida por pressão interna, produzindo a desparafusagem na chapa metálica que seguiu em direção vertical ao corpo cilíndrico até a parte baixa. Locais de instalação do filtro (círculo) e das três válvulas de alívio de pressão retiradas para exame (setas). E diante disso culminou em três vítimas fatais e uma lesionada, no ano de 2016.

Figura 29: a)Silo 01 desabado; b)Vista do telhado cônico do Silo 01;c)Vista da abertura do telhado cônico no Silo 01.



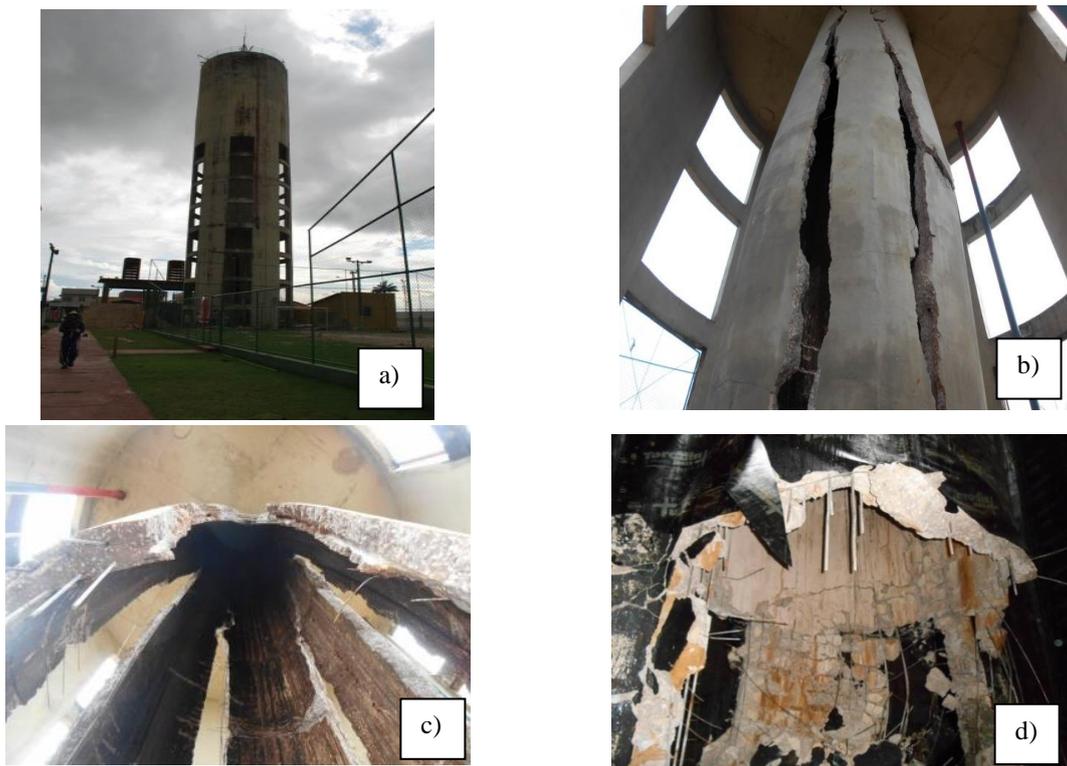
Fonte: CPCRC (2016).

8) Caixa d'água no condomínio residencial no município de Belém.

Desabamento parcial estrutural ocorrido em 2016, caracterizado por rompimento interno do reservatório e colapso parcial do conjunto, devido ineficiência da execução para recuperação e inexistência de projeto de recuperação estrutural ou de reforço, conforme Figura 30: a - Reservatório elevado; b - Pilar central da base; c - Detalhe interno do pilar central; d - Paredes internas colapsadas, tendo como causa:

- Problema estrutural relacionado à presença de manifestações patológicas desenvolvidas em paredes internas do reservatório, a partir do aparecimento de fissuras, que propiciaram infiltrações de água pela parede, evoluindo para trincas, rachaduras e orifícios, principalmente no pilar central, em razão da pressão de água (aumento da coluna d'água), vindo a superar a capacidade de resistência do concreto armado no interior do reservatório;
- Processo de recuperação aplicado, ou seja, a execução de serviços internos mostrou-se ineficiente, em razão da prevalência de recuperação do processo de impermeabilização em detrimento ao processo estrutural, que antecede a impermeabilização em estruturas de concreto armado, claramente evidenciado pela inexistência de projeto de recuperação estrutural ou de reforço estrutural, ante o porte da edificação e presença visível de manifestações patológicas altamente nocivas ao concreto armado.

Figura 30: a) Reservatório elevado; b) Pilar central da base; c) Detalhe interno do pilar central; d) Paredes internas colapsadas.



Fonte: CPCRC (2018).

9) Antigo prédio da Prefeitura no município de Bragança:

Conforme o Laudo de Exame emitido pelo Instituto de Criminalística do Pará, o desabamento ocorreu (Figuras 31a, 31b e 31c) pela combinação de fatores elencados abaixo:

- Os fatores climáticos relativos à grande incidência de chuvas na região;
- O posicionamento da fachada principal, voltada para os ventos predominantes, bem como sua configuração, na forma de retângulo sem áreas de sombreamento, que a tornam exposta à incidência de chuvas;
- A ausência de manutenção ao longo do tempo, no mínimo 03 (três) anos contados a partir da sua interdição;
- A grande quantidade de material (argamassas, tijolos e pintura) apresentando vestígios de infiltração.
 - Considerando o grande volume de entulhos do desabamento (70,0 m³), evidencia-se que a estrutura da fachada, já com material deteriorado pela

profusão de infiltrações, não suportou seu peso próprio acrescido de água, vindo a entrar em colapso.

Figura 31: a) Palacete Augusto Corrêa; b) Palacete Augusto Corrêa – ano: 2018 (Fonte: Página A vanguarda Bragantina); c) Aspecto geral do desabamento – 80% da fachada principal.



Fonte: CPCRC (2018).

10) Trapiche de concreto armado do mercado municipal de Maracanã.

Trapiche em concreto armado, o qual apresentava áreas expostas ao processo físico-químico de carbonatação (patologia em edificações que ocorre devido às mesmas estarem expostas à umidade, chegando a atingir a ferrugem, deixando esse material suscetível à corrosão), áreas expostas essas, que são elementos estruturais do trapiche, como a laje, vigas e pilares, conforme é observado nas figuras 32a, 32b e 32c.

Figura 32: a) Vista geral da infraestrutura do trapiche; b) Exposição da armadura da base da laje de piso; c) Outra vista de armadura exposta da base da laje de piso do trapiche.



Fonte: CPCRC (2018).

2.10. Sistema de Informação Georreferenciada

Um SIG, Sistema de informações geográficas, ou GIS (Geographic Information System) é um sistema composto por software, usuário, hardware, dados e metodologia (ou técnicas) de análise, que permite o uso integrado de dados georreferenciados com uma finalidade específica. O primeiro SIG foi criado na década de 60 no Canadá com o intuito de possibilitar a criação de um inventário de recursos naturais.

Atualmente o sistema de informação georreferenciada vem se fazendo presente em vários setores, seja no setor elétrico, saneamento, telefonia, em áreas como na saúde, no controle epidemiológico; no meio ambiente, abordando o controle de queimadas, na agricultura; no trânsito e transportes, entre as análises visando o planejamento urbano; na área comercial, sendo uma das pesquisas o mercado imobiliário.

Como o SIG é um tipo de geotecnologia que engloba metodologias, recursos humanos (captando dados), a utilização das geotecnologias na construção civil ocorre no cadastro predial realizado por órgão público,

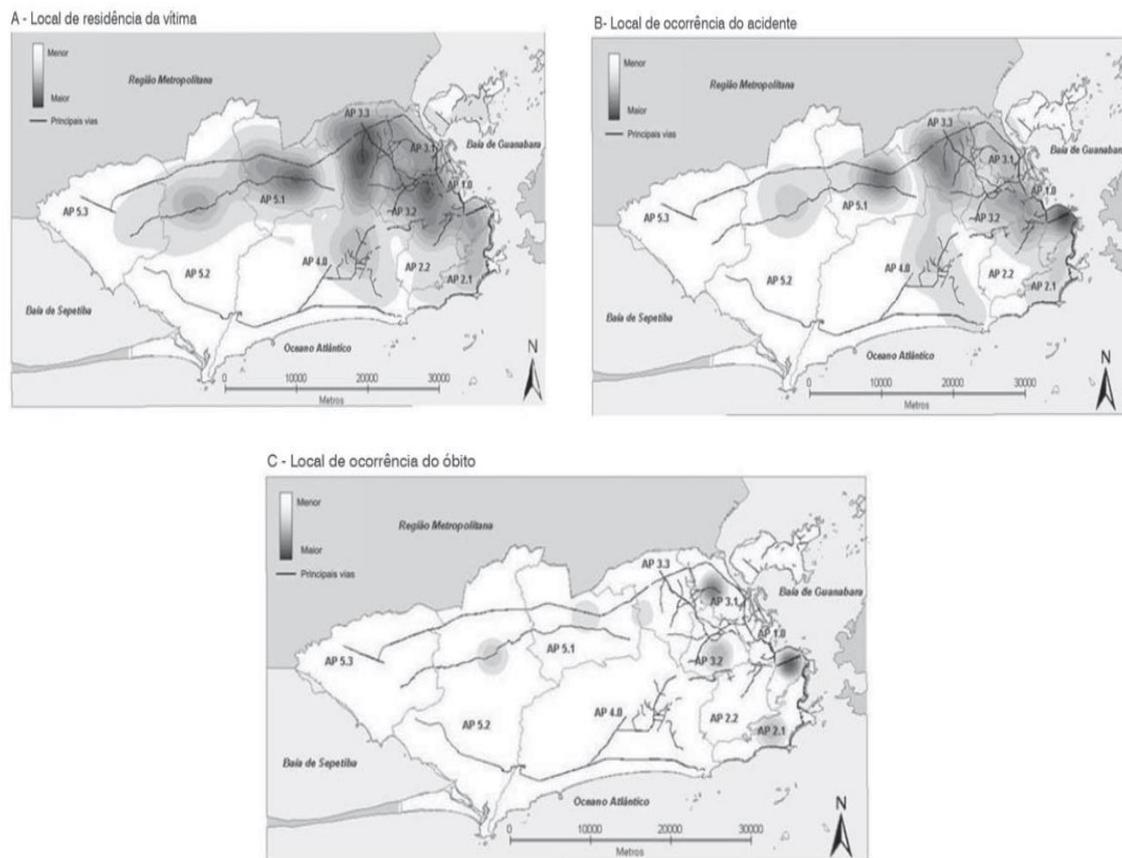
cadastro de infraestrutura referente à rede de água e esgoto sobre determinada região, no planejamento urbano, entre outros.

Esse método de demonstração dos dados e combinação dos mesmos, indicando a localização dos objetos, vem apresentando resultados satisfatórios, haja vista que o Georreferenciamento significa que o sistema de coordenadas internas de um mapa ou imagem de foto aérea, pode ser relacionado a um sistema de coordenadas geográficas no solo. O efeito mais visível do georreferenciamento é que o software de exibição pode mostrar as coordenadas de solo (como coordenadas de latitude / longitude ou UTM) e também medir distâncias e áreas de solo.

Em outras palavras, georreferenciamento significa associar algo a localizações no espaço físico e pode ser aplicado a qualquer tipo de objeto ou estrutura que possa estar relacionado a uma localização geográfica, como pontos de interesse, estradas, lugares, pontes ou edifícios (Hackeloeer, A.; Klasing, K.; Krisp, J.M.; Meng, L, 2014). No SIG ocorre a inserção dos dados e o cruzamento para realizar as análises sobre determinada região. Georreferenciamento, de forma simplificada, é uma atividade que consiste em referenciar dados ou objetos com base em sua localização geográfica.

Um exemplo de aplicação do SIG na área de trânsito foi no sentido de comparar as áreas de risco, por meio do georreferenciamento dos endereços por local de residência da vítima, local do óbito e local de ocorrência dos acidentes em nível de setor censitário, mostrando a importância da informação do local de ocorrência do acidente para uma melhor identificação das áreas de risco e da população mais exposta, partindo-se da premissa de que conhecer o local de ocorrência dos acidentes, permite ações preventivas que visem diminuir o número de acidentes de trânsito com vítimas fatais, conforme mostrado na Figura 33 (Souza *et al.* 2008).

Figura 33: Mapas de Intensidade pontual da mortalidade por acidentes de trânsito, por local de residência, de ocorrência do acidente e de ocorrência do óbito, segundo setor censitário no município do Rio de Janeiro (2003).



Fonte: Souza *et al.* (2008)

A área ambiental está tendo grandes avanços com o uso de sistemas georreferenciados, o qual tem sido amplamente utilizado para obter dados sobre a qualidade do ambiente, visando quantificar como as áreas estão sendo ocupadas e como as reservas naturais estão sendo afetadas como resultado da ação humana. Dessa forma quantificando as áreas de Reserva Legal (RL) e Área de Preservação Permanente (APP) na microbacia Sanga Mineira, utilizando o Sistema de Informação Georreferenciada (SIG), além de detectar as principais alterações que ocorreu como resultado da mudança no Código Florestal, para avaliar se as novas leis ajudaram a melhorar a sustentabilidade do meio ambiente, conforme Souza *et al.* (2019).

Feltman *et al.* (2012) utilizaram uma abordagem de análise geoespacial (ou sistema de informações geográficas) para identificar variáveis socioeconômicas que contribuem para a ocorrência de incêndios florestais na

Carolina do Sul/ EUA e obtiveram como principais variáveis consideradas as mudanças populacionais, densidade populacional, taxa de pobreza, nível educacional, mobilidade e densidade de estradas (rede de transporte).

O SIG entre várias áreas de estudo é também utilizado para previsão de deslizamento de terra, e esse método foi desenvolvido como parte do projeto europeu ALARM (Avaliação do Risco de Deslizamento e Mitigação em Áreas de Montanha, 2001-2004), e foi testado na Bacia de Barcelonnette (Alpes-de-Haute-Provence, França), (Maquaire *et al.* 2008).

3. METODOLOGIA

3.1. Método da pesquisa

Trata-se de uma pesquisa exploratória, empírica, onde se abordou um tema em que se desenvolveu uma análise sobre as origens, os agentes causadores, mecanismos de degradação, formas e consequências das manifestações patológicas, apresentando os métodos de ensaios para ser obtido o diagnóstico e realizada posterior análise dos dados, sendo apresentados ainda, casos de acidentes estruturais ocorridos no Estado do Pará. O levantamento de dados e informações foi realizado através do banco de dados do Instituto de Criminalística do Pará, livros dos autores de notório conhecimento sobre o assunto no ramo da Engenharia Civil, assim como por meio de pesquisa eletrônica via internet, em dissertações, publicações de revistas da área e boletins técnicos.

Para melhor entendimento e aprofundamento deste conhecimento, houve a necessidade de duas análises distintas, sendo uma das análises denominada análise micro, desenvolvida de forma detalhada, onde foi realizado um estudo de caso pericial, demonstrando todas as etapas metodológicas, desde a primeira inspeção até a conclusão das análises, e dessa forma apontando a recomendação técnica, para fazer a devida correção na edificação, e assim contribuindo para a continuação do desempenho e durabilidade da edificação. A segunda análise, considerada macro, trata de uma visão pericial, através de análise espacial, com a distribuição geográfica das perícias realizadas, onde foi utilizado o método de georreferenciamento de dados, com o objetivo de mapear a quantidade de ocorrências periciais, realizadas pelo Instituto de Criminalística no período de 2011 a 2018, indicando a localização das ocorrências, assim como apontando as origens das manifestações patológicas.

3.2. Estudo de caso

Nesta pesquisa é apresentado um caso que foi objeto de perícia, no qual foram constatados problemas patológicos, cujo processo de análise foi

realizado com o objetivo de identificar as origens das manifestações patológicas, realizar diagnósticos e prognósticos, e que após essas etapas metodológicas foi proposta a adoção de terapia adequada. Para tanto a quantificação e a identificação da origem dos danos, bem como a caracterização da edificação são registrados em um formulário de vistoria, mostrado na Figura 34.

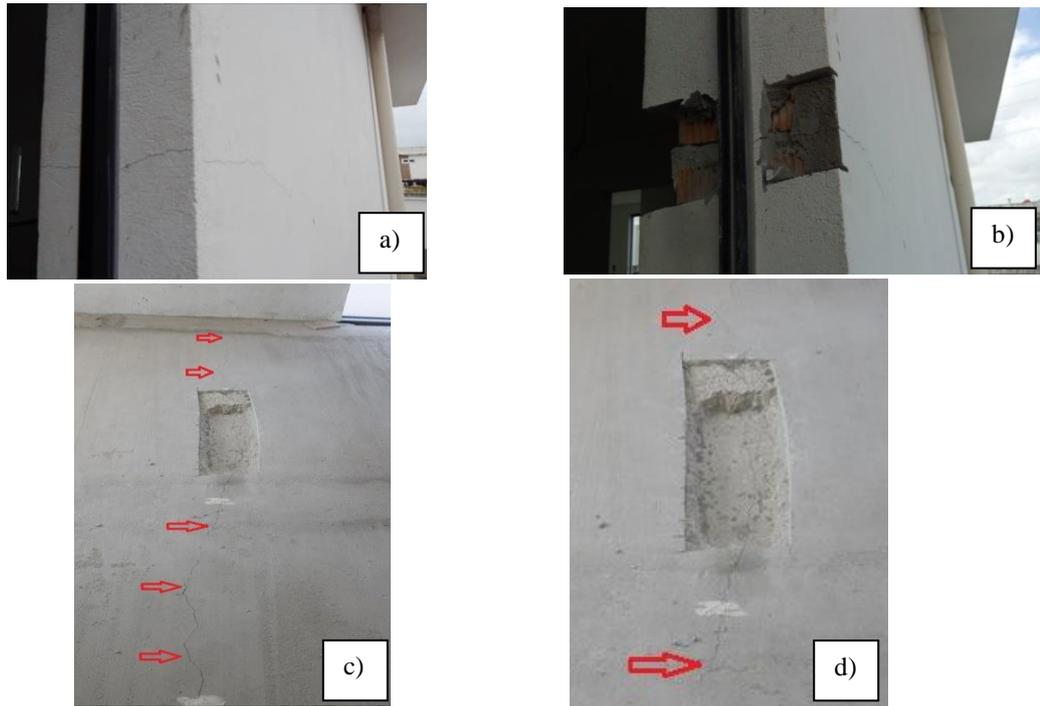
Figura 34: Formulário de Vistoria - NEA/GPT.

INFORMAÇÕES GERAIS	
Protocolo:	Perícia:
Data:	Hora:
Acompanhante:	
RG ou CPF:	Expedição:
DESCRIÇÃO DO IMÓVEL	
Uso:	Tipo:
Dimensões:	Cômodos:
Nº de Pavimentos:	
Tipo de Estrutura:	
Tipo de Cobertura:	
Tipo de Parede:	
Tipo de Piso:	
Tipo de Forro:	
Demais Características:	
DESCRIÇÃO E ORIGEM DOS DANOS	
Local do Imóvel que sofreu o dano:	
Elemento construtivo danificado:	
Descrição e origem dos danos constatados:	
Registrar fotografia da fachada ()	Registrar fotografia dos danos ()
COMPLEMENTO	

- Documentário fotográfico com a finalidade de melhor registrar as ocorrências;
- Investigação em fundações com penetrometria do solo;
- As fundações executadas, além de esbeltas, repousam a aproximadamente 1,0 m (um metro) de profundidade, sobre solo com capacidade de suporte vulnerável com a presença de umidade;
- Ensaio de Pacometria visa o recobrimento de bitola, espaçamento e recobrimento das armaduras;
- Ensaio de Esclerometria realizado com utilização de esclerômetro de reflexão, visando avaliar a resistência à compressão do concreto.
- Levantamento da seção de concreto e armaduras da capa e vigota da laje pré-moldada;
- Levantamento das seções das vigas do 1º teto;
- Existência de fissuras aleatórias em alvenarias;
- Fissuras na face superior do teto da garagem;
- Fissuras no extremo frontal da parede lateral esquerda;
- Fissuras e trincas diversas na face superior, constatadas no piso superior;

Entre as inúmeras fissuras observadas no imóvel, destacam-se as fissuras presentes na parede da janela do closet da suíte máster, assim como a fissura constatada no contra piso e laje da suíte máster, conforme demonstrado nas figuras 35a, 35b, 35c e 35d, respectivamente. Durante as análises realizadas no imóvel, objetivando identificar as origens e causas das fissuras constatadas, foram realizados o ensaio de esclerometria e a aplicação do penetrômetro, sendo visualizados nas figuras 36a e 36b.

Figura 35: a) Vista de fissura horizontal na parede da janela. b) Vista da parede após a retirada do reboco c) Vista da laje da sala. d) Vista de ângulo mais próximo.



Fonte: CPCRC (2017).

Figura 36: a) Ensaio de esclerometria. b) Escavação para ensaio de penetrometria.



Fonte: Empresa L.C.S Engenharia LTDA (2018).

Com o objetivo de avaliar a capacidade admissível de suporte do solo, foi realizado o ensaio de penetrometria, onde foi utilizado o equipamento pocket penetrometer CL -700 A, sendo aplicados impactos (golpes), que corresponderam ao índice Ψ_6 de valor 0,97. O valor do índice Ψ_6 está relacionado ao número de golpes, que na sequência foi multiplicado pela média do número desses golpes. Esse índice está associado a um controle estatístico, como coeficiente de segurança, relacionado à quantidade de golpes

aplicados no solo. Após o levantamento dos dados, os mesmos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados do ensaio de penetrometria - Empresa L.C.S Engenharia LTDA (2018).

Peça Estrutural	Bloco
Fundações	-
Posição de Aparelho	0°
Dimensão da Peça (m)	1,20 x 1,20
	P - 01
	4,00
	4,25
	4,00
	4,00
Pontos	4,00
	4,25
	4,25
	4,00
	4,00
	4,00
Soma	40,75
Média	4,52
Resistência – f_c (kg/cm ²)	4,38

Observações: $\Psi 6 = 0,97$
 $\Psi 6 \times \text{média}: 0,97 \times 4,524,$
 $4,38 \text{ kg/cm}^2$
 $0,438 \text{ MP}_a$

Com o intuito de ser identificado o valor da resistência mecânica do concreto, procedeu-se ao exame da esclerometria, em que foi utilizado o esclerômetro mecânico de reflexão analógico ou Martelo de Schmidt tipo N, na superfície de cima da laje superior em um ponto do closet, e em dois pontos da sala de televisão.

O ensaio foi realizado atendendo a ABNT NBR 7584:2012, considerando-se o fator 1,02, referente à calibração do esclerômetro, para posterior ensaio, Os dados sobre a calibração do esclerômetro são apresentados conforme as informações contidas na ficha Controle de aferição do esclerômetro.

Controle de Aferição do Esclerômetro

Nº do Esclerômetro:17

Data da aferição na bigorna: 18/02/2018

Responsável pela aferição: João Matos

Responsável Supervisor: Cecília Arruda

Leituras do esclerômetro 10 x:

78	77	79	78	76	79	79	78	81	80					

Obs: As leituras na bigorna de aferição devem ser de 76 a 82.

Coeficiente de correção de índice esclerométrico K:

$$K = \frac{n \cdot 80}{v}$$

Onde:

n= nº de impactos aplicado na bigorna de aço;

v= soma dos valores lidos na escala do esclerômetro;

80= constante fornecida pelo fabricante.

Então,

$$K = \frac{n \cdot 80}{V}$$

$$K = \frac{10 \times 80}{785}$$

$$K = 1,02$$

Após a calibração do esclerômetro, foram adequadamente preparadas as superfícies de concreto a serem submetidas ao ensaio, e aplicados dezesseis impactos (golpes) em cada área de ensaio. Foi calculada a média aritmética dos dezesseis valores individuais (impactos) e posteriormente multiplicada pelo

fator 1,02. Para se chegar à dureza superficial do concreto foram consideradas as variáveis:

- resistência - f_c , que são dados extraídos da resistência do concreto, correspondentes ao índice esclerométrico mediante a leitura, de acordo com a posição de aferição do equipamento, visualizado em tabelas.
- coeficiente de idade (f), o qual está relacionado à espessura carbonatada do concreto, aumentando com a idade do concreto e chegou-se ao valor de 0,693, referente a idade de três anos da edificação. Foi verificada a
- f_{ci} , que corresponde à resistência do concreto referente à idade que está sendo realizado o ensaio, conforme cada ponto de ensaio, sendo esse dado adotado pela empresa que realizou o ensaio.

De posse de todos os dados obtidos no ensaio, os mesmos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados do ensaio de esclerometria - Empresa L.C.S Engenharia LTDA (2018).

Peça Estrutural	Laje	Laje	Laje
Pavimento	Pav. Sup.	Pav. Sup.	Pav. Sup.
Posição de Aparelho	- 90°	- 90°	- 90°
Dimensão da Peça (m)	-	-	-
	EC - 01	EC - 02	EC - 03
	24	22	29
	24	24	28
	22	23	28
	24	24	27
	23	24	28
	23	23	28
	23	24	29
Pontos	23	25	29
	24	23	29
	24	24	27
	23	23	29
	24	22	29
	25	22	30
	25	24	29
	24	24	29
	24	24	28
Soma	379	375	456
Média X 1,02	24,1	23,9	29,0
Resistência – fc (Mpa)	17,1	17,0	24,0
Idade (anos)	3 anos	3 anos	3 anos
Coefficiente de idade (f)	0,693	0,693	0,693
Fci (Mpa)	11,85	11,78	16,63

b) Anamnese

Edificação construída sem o devido atendimento às normas técnicas, cujas fundações foram concebidas sem a prévia análise de um estudo geotécnico do solo, assim como sem o devido controle tecnológico do concreto.

c) Diagnóstico

- As fissuras em alvenarias não apresentam características indicativas de recalques ou qualquer esforço externo aplicado.
- As fissuras existentes na face superior da laje teto da garagem não atingem a estrutura, conforme constatado em 02 trechos, onde foi retirada a manta impermeabilizadora.
- A fissura no extremo frontal da parede da lateral esquerda é causada pela deficiência da viga (cinta) que a apoia, devido à falta de capacidade da viga para suportar a carga de alvenaria sobre a mesma.
- As fissuras nos pisos do nível superior são devidas à fragilidade das lajes pré-moldadas, tanto em relação à capa quanto às vigotas, em função da má qualidade do concreto, associado à deficiência de armadura, apontada pelos exames específicos.
- Além da presença de umidade, a esbeltez das fundações não amortecerá vibrações possíveis, as quais a edificação estará exposta, devido a flexibilidades não amortecidas que produzem fissuras na edificação.

d) Conduta recomendada

Após o levantamento do diagnóstico reunindo todos os dados, foi realizado um estudo para ser apresentada a melhor conduta a adotar para a terapia das manifestações patológicas constatadas na edificação, sendo um projeto de recuperação/reforço.

3.3. SIG aplicado na análise espacial de ocorrências de manifestações patológicas de 2011 a 2018

Segundo Freitas & Vieira (2007), por meio do uso de um Sistema de Informação Georreferenciada pode-se analisar e confeccionar diferentes mapas a partir de grandes volumes de dados complexos, de forma automática, permitindo aos usuários de segurança pública aplicar técnicas de análise espacial com atributos geográficos, com possibilidades de desenvolver as análises de áreas com maior probabilidade de ocorrências. Freitas & Vieira (2007), ainda afirmam que, o uso do geoprocessamento na segurança pública, permite o tratamento da informação pericial relacionada ao espaço geográfico,

seja através de coordenadas ou endereço, com uso de recursos computacionais.

Com a finalidade de atingir o objetivo proposto na metodologia, identificaram-se os dados obtidos em planilhas Excel de todas as ocorrências periciais para posterior análise, do Instituto de Criminalística do Pará de 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018, e de posse dos dados, foram definidas as seguintes variáveis:

- **Danos não estruturais** são danos caracterizados por manifestações patológicas, presentes nas edificações de uso residencial, comercial, industrial e imóvel público, podendo também ocorrer em imóveis tombados ou de interesse ao patrimônio histórico, os quais não atingem o sistema estrutural da edificação;
- **Danos estruturais** são danos caracterizados por manifestações patológicas constatadas nas edificações do tipo imóveis residenciais, comerciais, industriais e públicos, obras de arte especiais, danos estes que dão como consequência a corrosão nas ferragens, seja em estruturas metálicas ou de concreto armado, danos em estruturas de madeiras pertencentes a pontes, ou que produzem o deslocamento do concreto e muitas vezes causando recalque nas fundações, entre outros, ou seja, comprometendo os elementos estruturais de uma edificação;
- **Risco de desabamento e desabamento** é quando ocorre o desabamento da edificação ou quando as manifestações patológicas conduzem na interdição de tráfego, ou na desocupação do local periciado, ou seja, quando às manifestações patológicas vierem a comprometer à estabilidade das edificações de modo geral.

Nesse universo de ocorrências foram solicitadas perícias em toda e qualquer natureza de edificação, para constatação de incêndio; instalação elétrica, hidráulica, esgoto, automação; condições de instalações de ilhas de abastecimento de postos de gasolina; serviços de pavimentação e drenagem; erosão e etc, perícias estas que correspondem a objeto de perícias para vários objetivos distintos e que fogem do foco da pesquisa do presente trabalho.

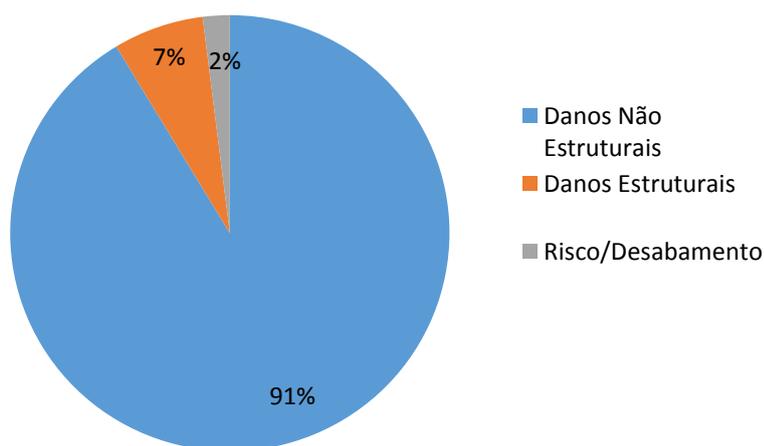
Com os dados de perícias encontrados nas planilhas, foram registradas 2879 ocorrências e dessa totalidade, 2630 ocorreram com os danos não estruturais, 192 com estrutural e 57 com o risco de desabamento ou desabamento. E dessa forma, percebe-se uma representação de 91% de ocorrências patológicas com danos não estruturais, conforme demonstrado na Tabela 7 e Figura 37.

Tabela 7: Quantidade de Perícias com ocorrências patológicas realizadas entre os anos de 2011 a 2018.

FASE DE ORIGEM	ANOS								TOTAL	%
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Danos Não Estruturais	388	358	404	365	281	316	264	254	2630	91
Danos Estruturais	25	46	25	34	19	08	26	09	192	7
Risco/Desabamento	09	07	21	10	06	00	03	01	57	2
TOTAL/ANO	422	411	450	409	306	324	293	264	2879	100

Fonte: Adaptado de Instituto de Criminalística do Estado do Pará (2019)

Figura 37: Distribuição da quantidade de perícias com ocorrências patológicas de 2011 a 2018



Após o levantamento da quantidade das ocorrências patológicas, das perícias realizadas nos anos de 2011 a 2018, que totalizou em 2879 ocorrências, foram filtradas 1006 ocorrências, as quais atendem ao objetivo de análise das manifestações patológicas, em que foram consideradas as perícias realizadas em edificações residenciais, comerciais, públicas, industriais, imóveis tombados por órgãos de preservação do patrimônio histórico e arquitetônico, assim como em obras de arte especiais do Estado do Pará.

Durante a análise foram utilizadas perícias e constatadas as manifestações patológicas, presentes nas regiões constitutivas não estruturais e estruturais das edificações, assim como as que levaram a edificação ao risco

ou desabamento. E com isso foram apuradas as origens das manifestações patológicas, envolvendo perícias de cunho criminal e cível, sendo identificados sete tipos de origens das manifestações patológicas, localizadas no projeto, execução, materiais, utilização, manutenção, fortuitas e agentes externos (outros).

A origem dos danos diagnosticada em agentes externos (outros) é decorrente de danos produzidos por influência de obras vizinhas, através da influência do bulbo de pressão, ou a propagação de ondas mecânicas devido ao uso de máquinas de terraplenagem, assim como infiltrações oriundas de furos de tubulações hidro sanitárias, pertencentes a apartamentos de andares superiores ou do condomínio, colisão de veículos automotores, entre outros, enquanto que origem fortuita está diretamente associada às obras da natureza, como exemplo aponta-se a queda de raios em árvores, que muitas vezes caem sobre imóveis ou inundações provocadas por fortes chuvas, etc.

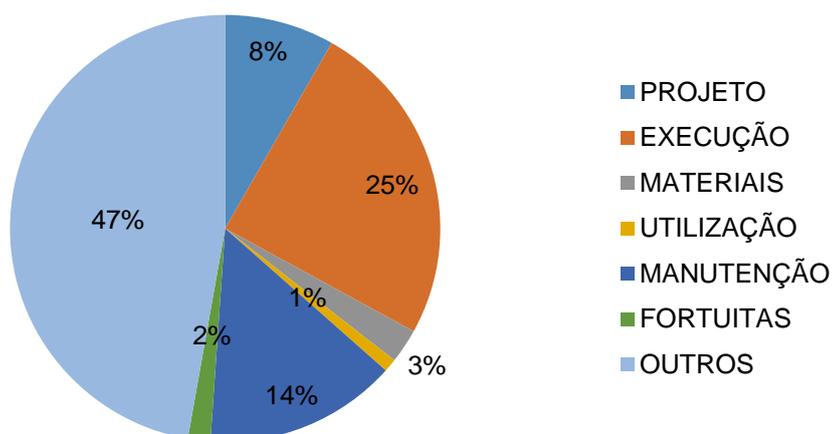
Após o levantamento dos dados, obteve-se como resultado a Tabela 8, os agentes externos (outros) representando 47% das ocorrências, seguindo de Execução 25% e Manutenção 14%, Figura 37.

Tabela 8: Origens das manifestações patológicas constatadas no período de 2011 a 2018

FASE DE ORIGEM	ANOS								TOTAL	%
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
PROJETO	05	09	07	14	20	01	23	04	83	8
EXECUÇÃO	25	39	48	35	22	28	27	25	249	25
MATERIAL	01	03	02	04	10	01	03	02	26	3
UTILIZAÇÃO	01	02	01	01	00	04	00	01	10	1
MANUTENÇÃO	18	15	14	13	26	20	24	16	146	14
FORTUITAS	03	00	04	03	00	05	00	02	17	2
OUTROS	63	56	55	60	70	55	64	52	475	47
TOTAL/ANO	116	124	131	130	148	114	141	102	1006	100

Fonte: Adaptado de Instituto de Criminalística do Estado do Pará (2019)

Figura 38: Distribuição de total de ocorrências e origens das manifestações patológicas no período de 2011 a 2018.



Considerando as dimensões geográficas do estado do Pará e a disponibilidade de recursos para a realização dessa pesquisa, foi considerada a possibilidade de se propor como ferramenta de análise do objeto, a utilização do geoprocessamento, para observação da distribuição espacial das ocorrências no Estado do Pará. Nesse contexto foram adotados três critérios de seleção de amostragem.

- Espacialização da ocorrência – As ocorrências registradas apresentam como informação espacial, o endereço da obra quando para a utilização de sistema de informação geográfica seria necessária a obtenção de coordenadas, situação contornada pela amostragem por município;
- Número de ocorrência por município – Foram selecionados os municípios que apresentaram um maior número de ocorrências no período analisado;
- Especificidade da ocorrência – Peculiaridade ou complexidade da ocorrência.

3.3.1. Técnica da análise espacial de ocorrências

Houve a necessidade de uma nova análise, utilizando um método com obtenções estatísticas possibilitando a incorporação do georeferenciamento de dados, onde técnicas de geoprocessamento auxiliam no monitoramento, o uso da cartografia e da geoinformação, a fim de identificar a localização exata das ocorrências de manifestações patológicas.

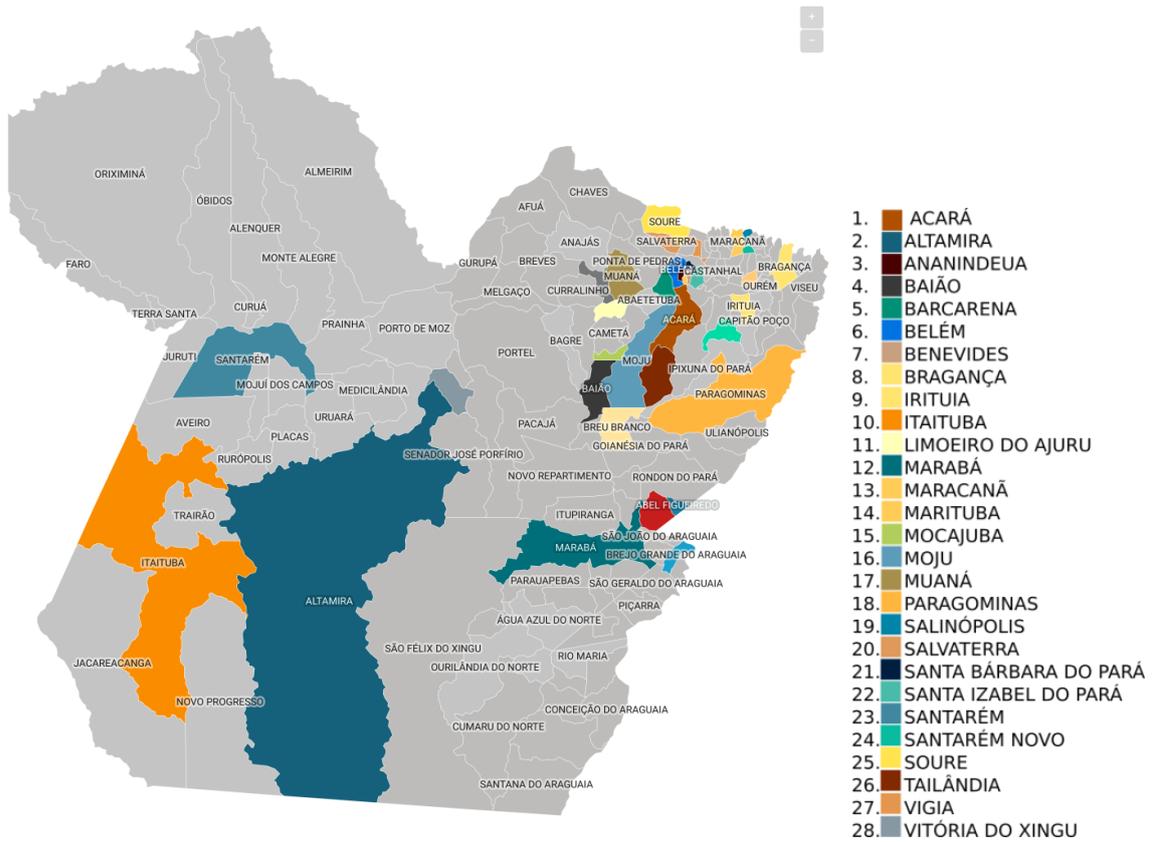
A base cartográfica empregada corresponde aos arquivos vetoriais, no formato shapefile, disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados das ocorrências das manifestações patológicas foram georreferenciados através do software de visualização de dados Qgis e Excel. Os mapas quantitativos e regionalizados geraram diagnósticos e análises que poderiam servir de base para o planejamento e monitoramento de ações diversas voltadas à construção civil.

Existem principalmente três técnicas de análise espacial através dos mapas, denominadas Mapas de pontos; Mapas de superfícies; Mapas de densidades. Para análise inicial de pontos que representariam as ocorrências foi utilizado a técnica de análise de mapas de pontos, quando, segundo Longley et al. (2013) dentre a natureza dos dados geográficos, um ponto não possui extensão, largura ou profundidade, portanto diz-se ter dimensão 0. Também é considerado como um objeto geométrico para representar ocorrências em uma localização absoluta, que pode ser usado para indicar ocorrências e representar seus padrões espaciais em mapas de pontos.

Segundo Beato (2008), uma das técnicas mais simples e efetivadas de análise espacial de crimes é a visualização de pontos. Mapas de pontos de ocorrências policiais utilizam pontos para representar ocorrências individuais em ferramentas SIG. Os mapas de pontos são utilizados pela polícia para mostrar a localização precisa de ocorrências, utilizando a técnica de geocodificação com dados relacionados aos endereços.

Entretanto, quando os pontos são muito numerosos, torna-se difícil visualizar as ocorrências claramente e quando os pontos ficam sobrepostos, torna-se impossível a diferenciação da densidade de ocorrências entre locais onde a densidade não é desprezível. O mapa de ponto é útil, principalmente se o número de pontos for relativamente pequeno para que seja possível apreciá-los de forma individual no mapa. Na presente pesquisa adotou-se uma amostragem de 28 municípios do estado do Pará representados pela superfície administrativa dos mesmos. (Figura 39).

Figura 39: Amostragem dos municípios analisados do Pará



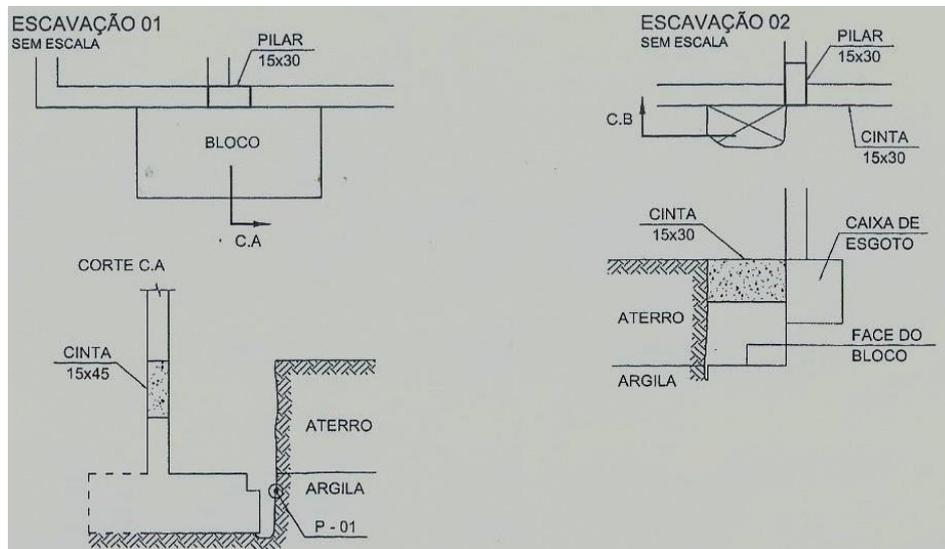
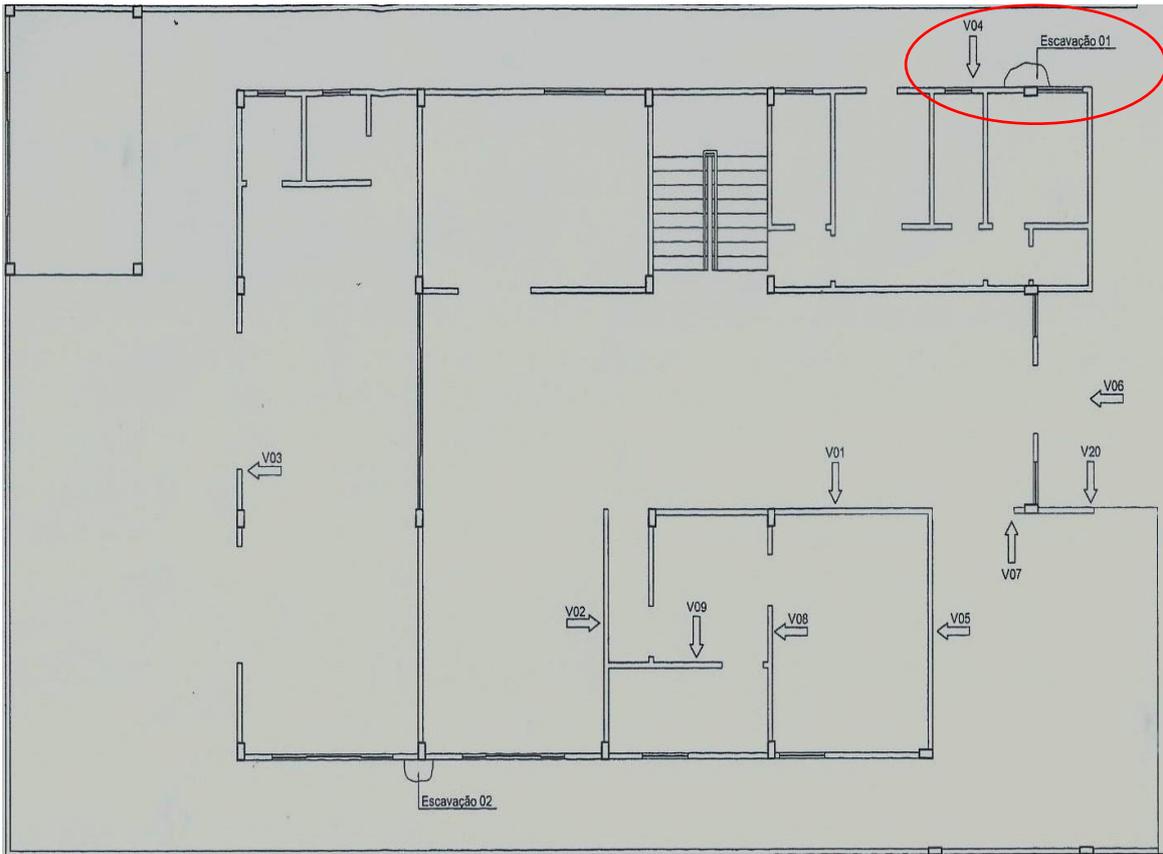
Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e CPCRC (2019)

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. Estudo de caso

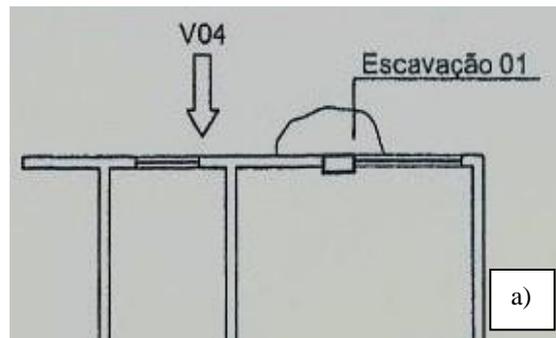
Após os estudos desenvolvidos no caso apresentado, em que foi aplicado o processo metodológico com o objetivo de se apontar as origens e agentes causadores das manifestações patológicas, faz-se necessária uma análise nos resultados produzidos. Cabe ressaltar que o limite para aberturas de fissuras, prescrito na NBR 6118 (ABNT, 2014) é de 0,3 mm, entretanto foram constatadas fissuras em elementos estruturais, com aberturas acima desse valor. Para a verificação das condições do solo e fundações foi utilizado o penetrômetro, o qual avaliou a capacidade admissível de suporte do solo, dando como resultado 0,43 MPa, indicando que o solo tem capacidade de suporte para as fundações, entretanto a esbeltez da fundação, não permite o amortecimento para vibrações, em decorrência de que existem flexibilidades não amortecidas que produzem fissuras na edificação, por esse motivo, foi sugerido o aumento de massa na fundação para amortecimento de vibrações decorrentes de qualquer tráfego no entorno. Em seguida foi realizado outro ensaio, utilizando-se o esclerômetro analógico de reflexão, que indicou que a resistência mecânica do concreto estava muito abaixo do limite do que a norma brasileira considera, para o recebimento da carga aplicada, tendo como resultado f_{c28} estimado para a laje superior, o valor igual a 11,8 MPa. A Figura 40 mostra a planta do pavimento térreo, apresentando o mapeamento das anomalias, indicando as vistas e escavações e na sequência à figura 41 respectivamente, é observado o detalhe do indicado (balão) na planta térrea, vista da V04, assim como a imagem da fissura, constatada na parede frontal e lateral esquerda do imóvel inspecionado.

Figura 40: Mapeamento de anomalias- Arquitetura pavimento térreo.

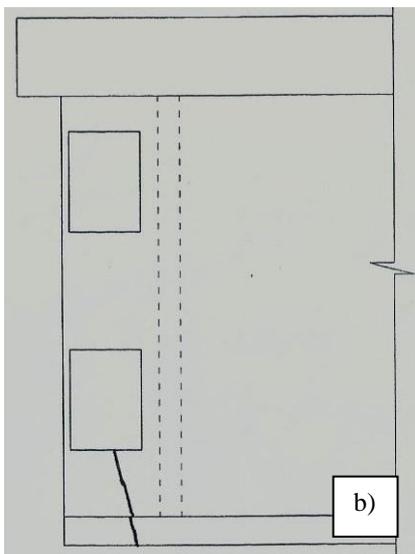


Fonte: LSC Engenharia LTDA (2018).

Figura 41: a) Detalhe da planta térrea; b) Vista V04; c) Imagem da fissura referente à Vista V04.



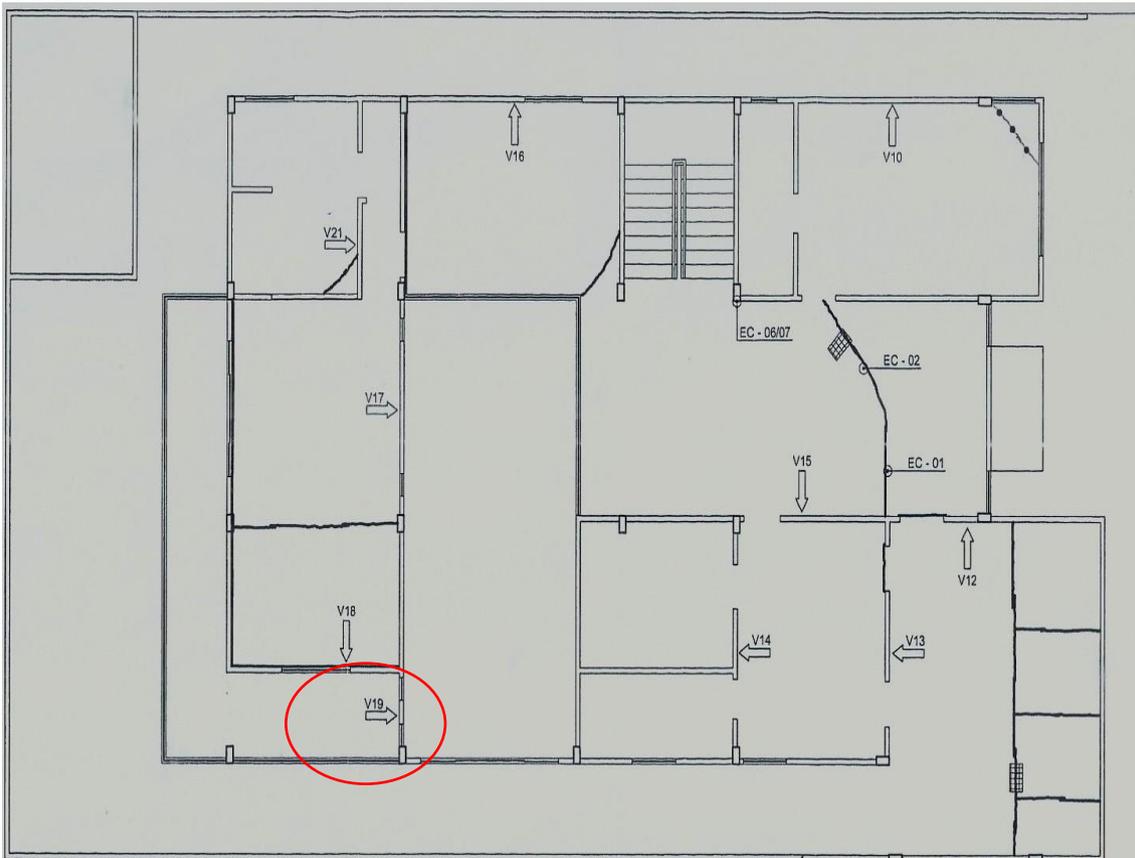
VISTA V04



Fonte: CPCRC (2017).

Devido à necessidade de demonstrar com mais detalhes os trabalhos realizados com a vistoria, anamnese, tendo o objetivo de fazer o levantamento de dados, para se chegar a um diagnóstico e sugerir uma terapia, concluindo um prognóstico, a exemplo do pavimento térreo, foram realizados os trabalhos investigativos também no pavimento superior, conforme é mostrado nas figuras 42 e 43.

Figura 42: Mapeamento de anomalias- Arquitetura pavimento superior.



CONVENÇÕES

 FISSURA COM ABERTURA SUPERIOR OU IGUAL À 0,3mm

 FISSURA DE CANTO

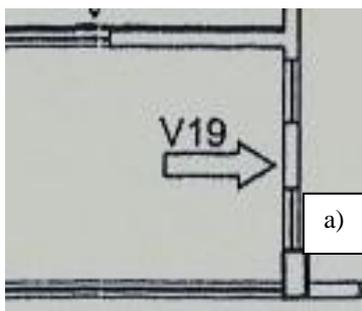
 AMOSTRA DE ARMADURA

ENSAIO

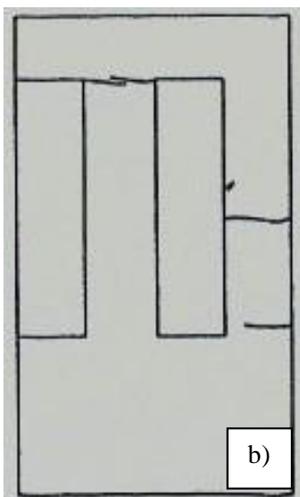
EC - ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Fonte: LSC Engenharia LTDA (2018).

Figura 43:a) Detalhe da planta pavimento superior; b)Vista V19; c) Imagem das fissuras.



VISTA V19



Fonte: CPCRC (2017).

Diante das análises neste estudo de caso foi concluído, que a origem das manifestações patológicas, através da constatação de fissuras nas paredes e pisos, ocorreu na fase do projeto e execução. E para tanto foi recomendado um sistema de recuperação e/ou reforço, onde necessário, na estrutura da edificação, para sanar a progressão dessas fissuras, haja vista que não ocorrendo à aplicação da terapia necessária, ocorrerá com o decorrer do tempo o falecimento gradativo do sistema estrutural do imóvel, conforme levantamento das hipóteses da evolução do problema, ou seja, o prognóstico. Portanto, esse sistema terapêutico tem o intuito de promover o aumento do nível de desempenho e durabilidade da estrutura de concreto armado, contendo especificações de materiais e metodologia de execução dos serviços a serem recomendados, assim propostos:

- Tratar as fissuras das alvenarias, de forma localizada, com instalação de tela para dissipação das mesmas;
- Rever a drenagem da laje teto da garagem, afim de que não haja risco de infiltrações pela face inferior da mesma;
- Retirada do contrapiso e da capa da laje pré moldada existente para execução de lajes convencionais;
- A ampliação das fundações recomendadas solucionará a fragilidade da viga, que apoia o extremo da parede lateral;
 - Com vista a solucionar a fragilidade das fundações e aliviar as solicitações nas vigas do 1º teto, foi recomendada a execução de alicerce corrido sob todas as paredes do térreo.

4.2. Análise dos resultados com uso de Sistema de informações georreferenciadas

Com a análise dos dados das planilhas no período de 2011 a 2018, pode-se fazer o levantamento das quantidades, que totalizou em 2879 ocorrências, reunindo perícias de vários objetivos entre as mesmas, perícias de constatação de incêndio; danos em instalação elétrica, hidráulica, esgoto, automação; bem como constatar as condições de instalações de ilhas de abastecimento de postos de gasolina; serviços de pavimentação e drenagem; extensão de erosão, etc. Nesse universo de quase três mil perícias criminais e cíveis, foram filtradas 1006 ocorrências, as quais contemplam ao objetivo desta pesquisa, que corresponde à análise das manifestações patológicas em edificações.

Com a análise foram apuradas as origens das manifestações patológicas (projeto, execução, material, utilização, manutenção, fortuitas e outros), mediante a constatação dos danos nas áreas da edificação não estruturais, estruturais, risco/desabamento. Diante do resultado das análises das origens das manifestações patológicas, referente ao total de danos constatados, percebeu-se que os Agentes Externos (Outros) representam 47%, seguido da Execução 25% e Manutenção 14% das de ocorrências.

As figuras 44, 45 e 46 mostram as distribuições das ocorrências por ano, durante este período de oito anos, e registrou-se para a origem em Agentes

Externos (Outros) uma média de 60 ocorrências patológicas, com o recorde no intervalo do tempo da pesquisa, de ocorrências de 70 em 2015, uma media de 31 ocorrências com origem na fase Execução, com recorde de 48 em 2013 e uma media de 18 ocorrências na fase de Manutenção, com recordes de 26 e 24 nos anos de 2015 e 2017 respectivamente.

Figura 44: Distribuições de ocorrências com origens de agentes externos (Outros) durante o período de 2011 a 2018.

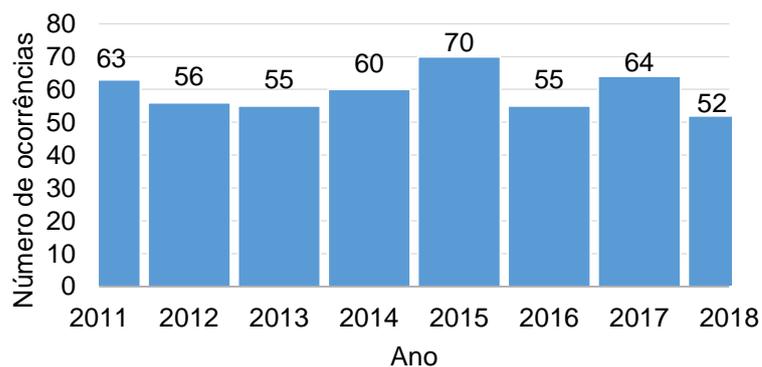


Figura 45: Distribuições de ocorrências com origem na execução durante o período de 2011 a 2018

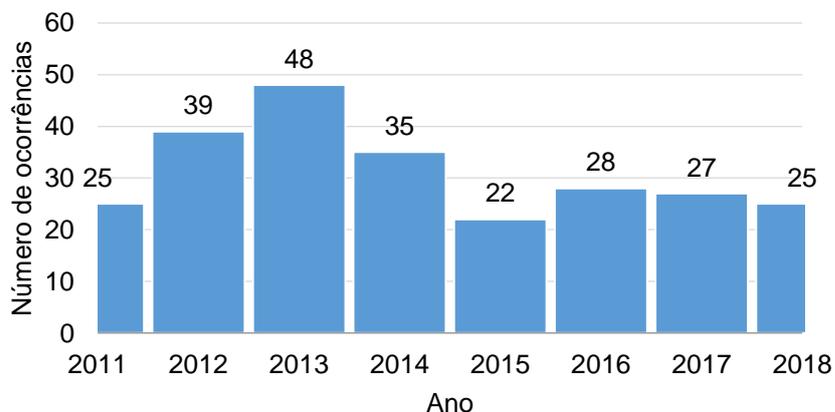
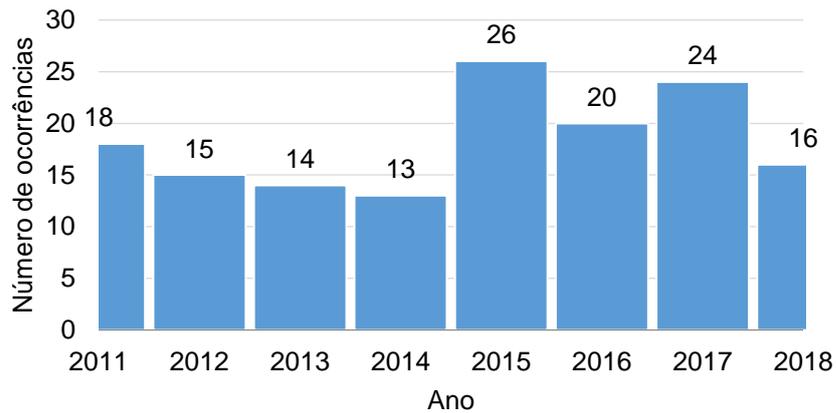
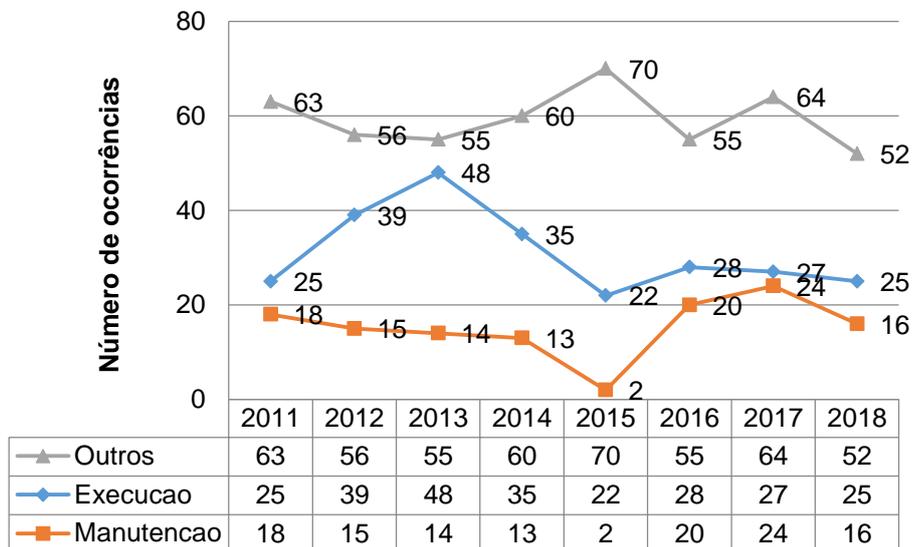


Figura 46: Distribuições de ocorrências com origens na manutenção durante o período de 2011 a 2018.



Para melhor compreensão e melhor visualização das análises das origens das manifestações patológicas, referente ao total de danos constatados, na Figura 47 é mostrada, através do gráfico de linhas, a incidência das manifestações patológicas, durante o período de 2011 a 2018, em que são apontadas, de forma conjunta, as origens de maior número de ocorrências (outros, execução e manutenção), nas fases em que a edificação sofreu determinado dano.

Figura 47: Distribuição das três origens, com maior número de ocorrências por ano.

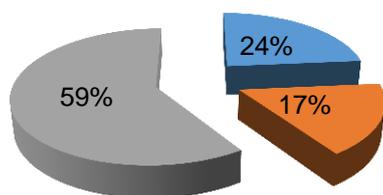


Fonte: Adaptado de CPC Renato Chaves (2019)

São mostradas nas figuras 48a, 48b, 48c, 48d, 48e, 48f, 48g e 48h, o percentual referente à quantidade de ocorrências, que levaram à identificação das três origens durante os anos de 2011 a 2018 (Execução, Manutenção,

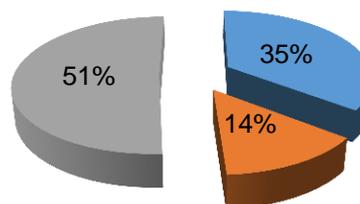
Outros (agentes externos).

Figura 48: Percentual de ocorrências das três origens durante os anos de 2011 a 2018.



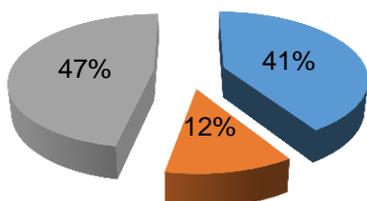
■ Execucao
■ Manutencao
■ Outros (agentes externos)

a) Origens das manifestações patológicas – 2011



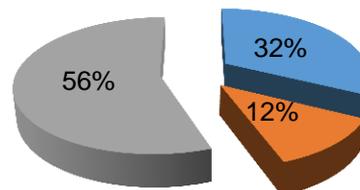
■ Execucao
■ Manutencao
■ Outros (agentes externos)

b) Origens das manifestações patológicas – 2012



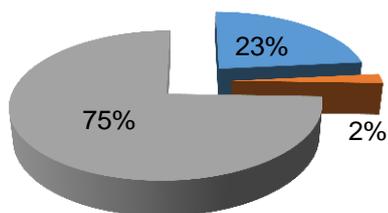
■ Execucao
■ Manutencao
■ Outros (agentes externos)

c) Origens das manifestações patológicas - 2013



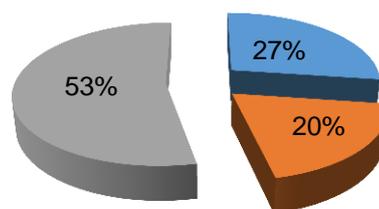
■ Execucao
■ Manutencao
■ Outros (agentes externos)

d) Origens das manifestações patológicas – 2014



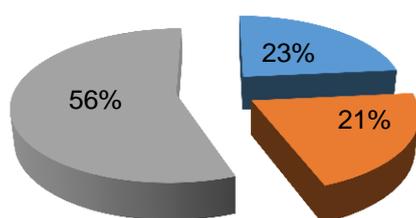
- Execução
- Manutenção
- Outros (agentes externos)

e) Origens das manifestações patológicas - 2015



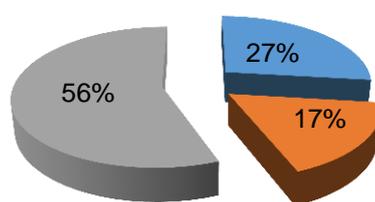
- Execução
- Manutenção
- Outros (agentes externos)

f) Origens das manifestações patológicas - 2016



- Execução
- Manutenção
- Outros (agentes externos)

g) Origens das manifestações patológicas - 2017



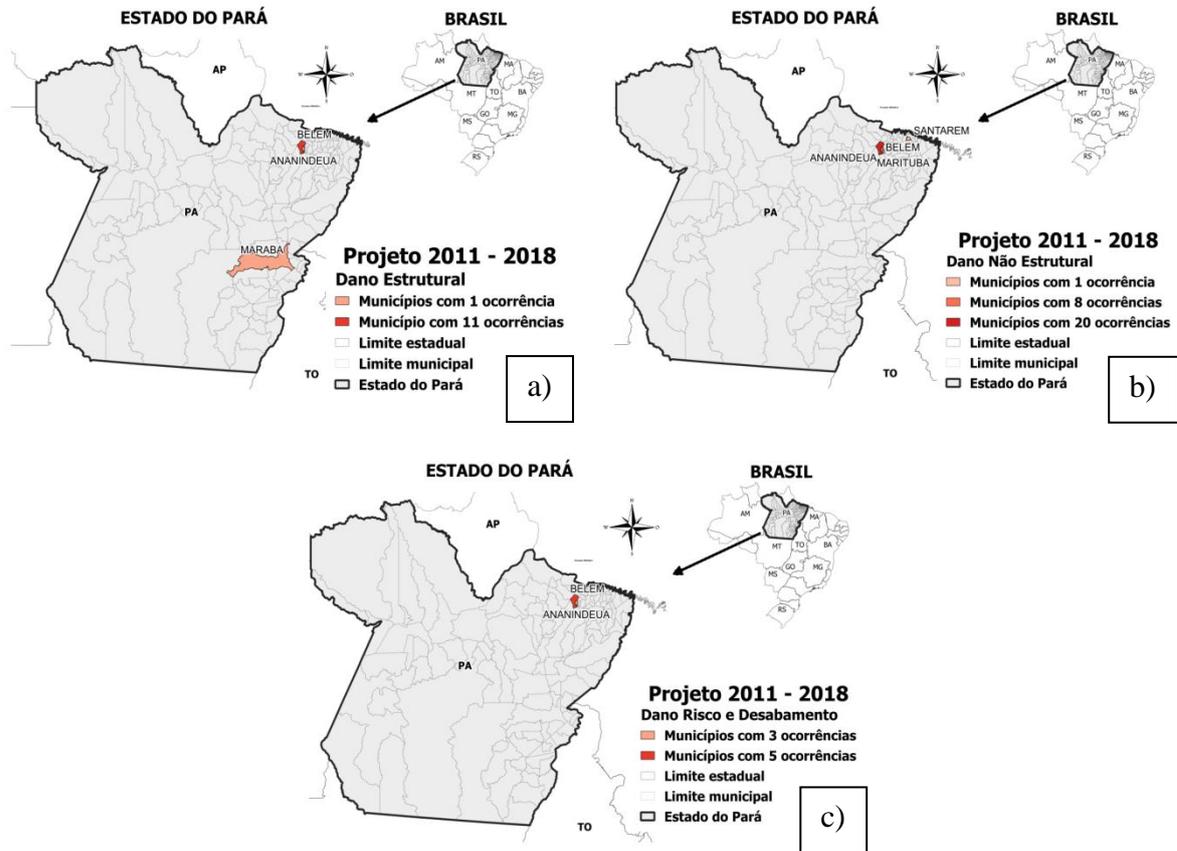
- Execução
- Manutenção
- Outros (agentes externos)

h) Origens das manifestações patológicas - 2018

Fonte: Adaptado de CPCRC (2019).

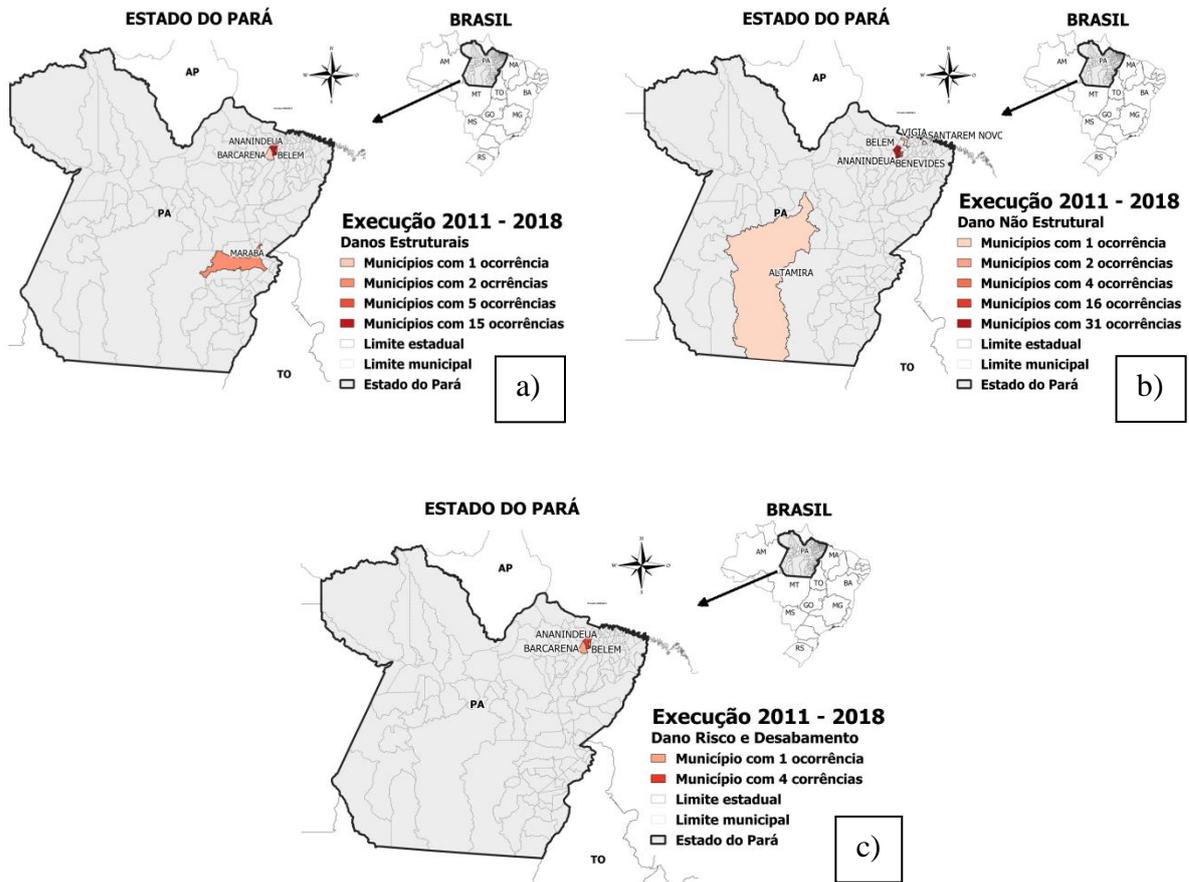
As figuras 49, 50, 51, 52, 53, 54 e 55 apresentam as repartições municipais das ocorrências durante o período de análise, extraídas do mapa (Figura 39), demonstrada no item 3.3.1 (Técnicas de Análise Espacial de Ocorrências), onde são apontados os municípios e as respectivas ocorrências, indicando o dano estrutural, não estrutural ou risco/desabamento, em que foi identificada a origem que deu causa ao dano.

Figura 49: Origem das manifestações patológicas no projeto, período de 2011 a 2018 – (a) Estrutural (Americano, Ananindeua, Belém, Marabá) – (b) Não Estrutural (Belém, Ananindeua, Marituba Santarém Novo) – (c) Risco e Desabamento (Belém, Ananindeua)



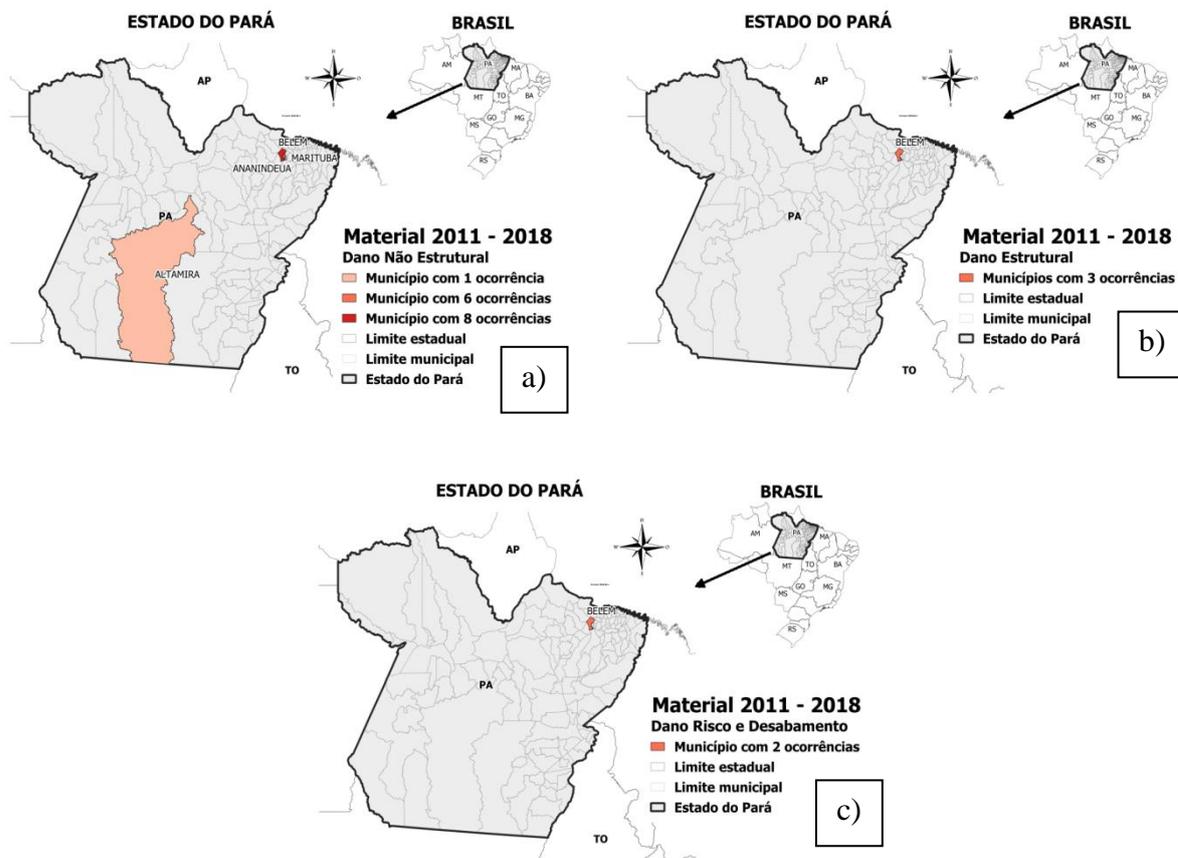
Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e CPCRC (2019).

Figura 50: Origem das manifestações patológicas na etapa de execução, período de 2011 a 2018 – (a) Estrutural (Americano, Ananindeua, Barcarena, Belém, Marabá) – (b) Não Estrutural (Altamira, Ananindeua, Belém, Benevides, Marituba, Santarém Novo e Vigia) – (c) Risco e Desabamento (Barcarena, Belém, Ananindeua)



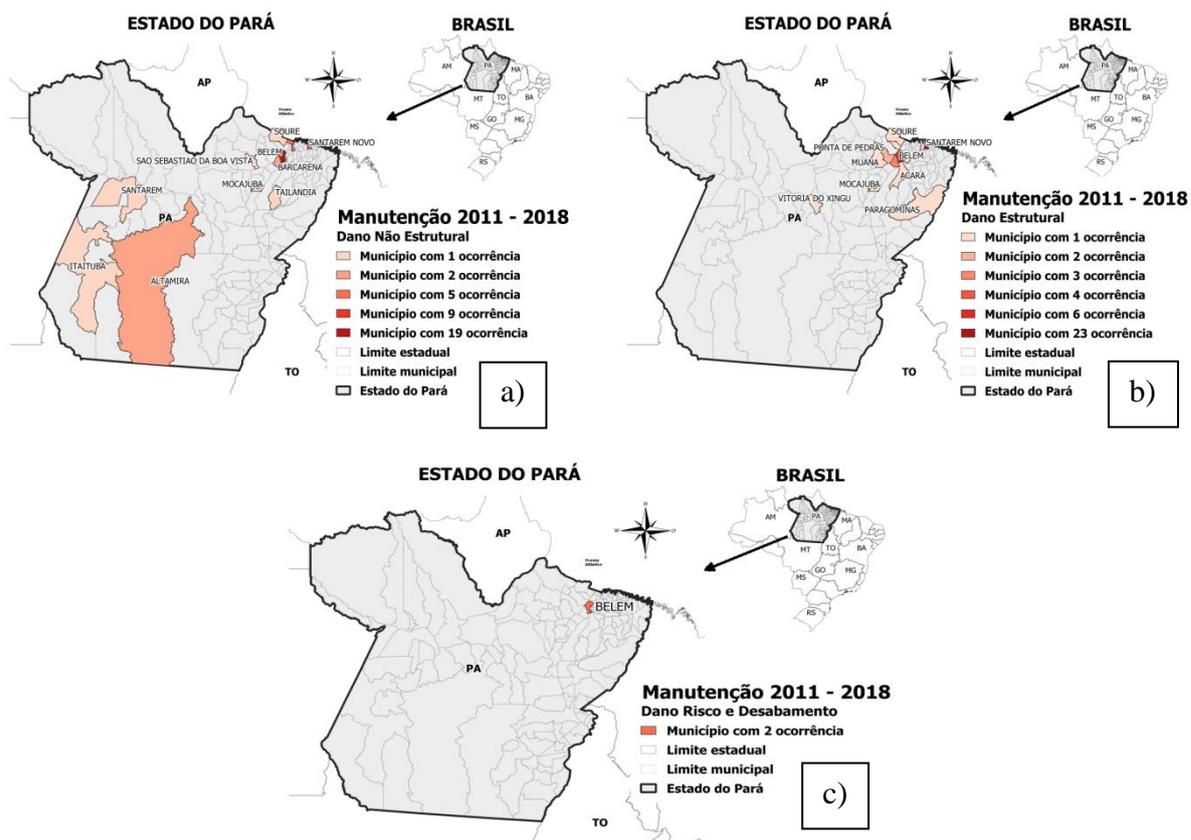
Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e CPCRC (2019).

Figura 51: Origem das manifestações patológicas no uso do material, no período de 2011 a 2018 - (a) Não Estrutural (Belém, Ananindeua, Altamira, Marituba) – (b) Estrutural (Belém) – (c) Risco e Desabamento (Belém).



Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e CPCRC (2019).

Figura 52: Origem das manifestações patológicas durante manutenção, no período de 2011 a 2018 –
 (a) Não Estrutural (Belém, Ananindeua, Santarém Novo, Altamira, Barcarena, Marituba, Itaituba, Marabá, Mocajuba, São Sebastião, Salinópolis, Santarém, Santa Bárbara, Soure, Itaituba); (b) Estrutural (Santarém Novo, Belém, Marituba, Barcarena, Ponta de pedras, Acará, Ananindeua, Baião, Maracanã, Muaná, Paragominas, Salvaterra, Santa Izabel do Pará, Soure, Vitória do Xingu); (c) Risco e Desabamento (Belém)



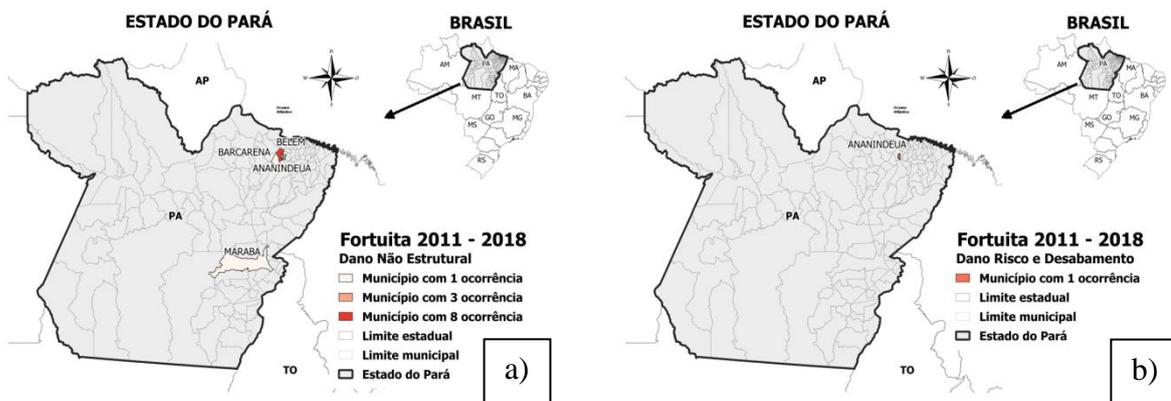
Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e CPCRC (2019).

Figura 53: Origem das manifestações patológicas durante a utilização, no período de 2011 a 2018. (a) Não Estrutural (Belém) – Estrutural (sem ocorrências) – Risco e Desabamento (sem ocorrências)



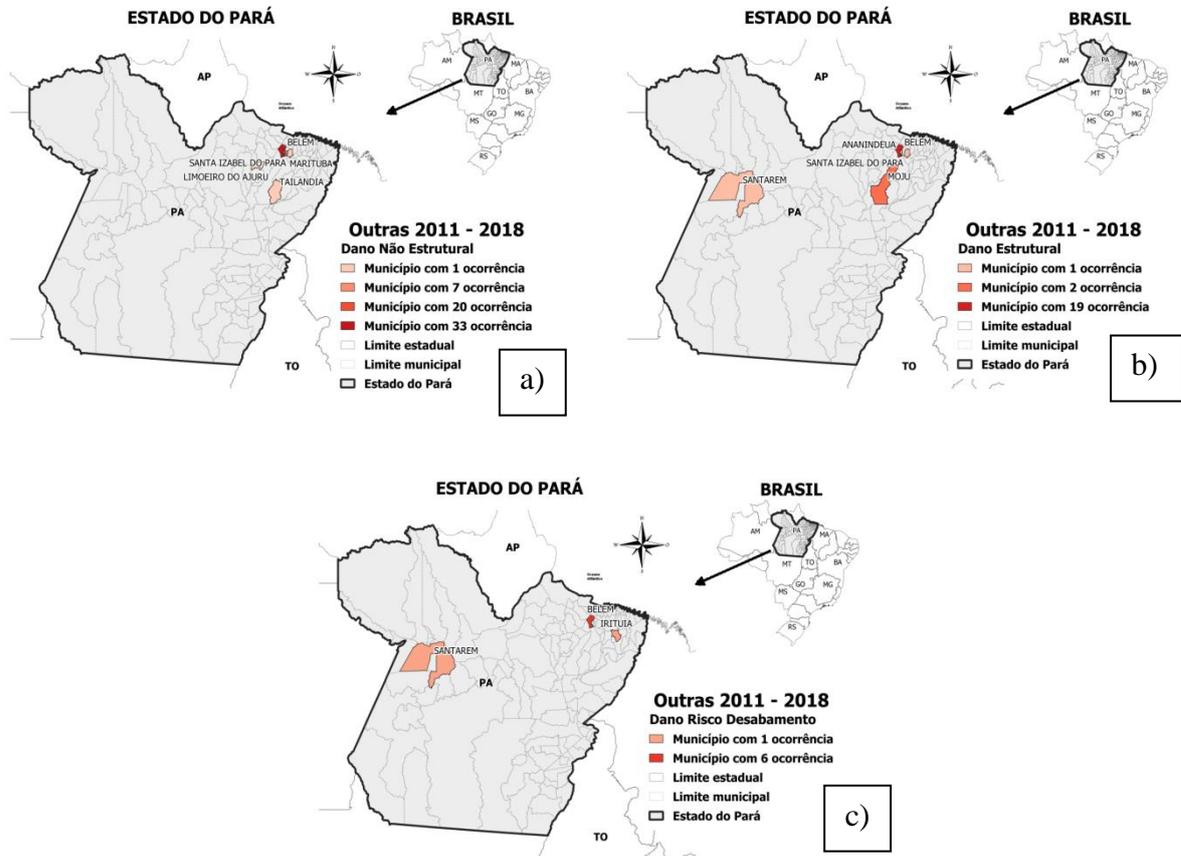
Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e CPCRC (2019).

Figura 54: Origem Fortuita de 2011 a 2018 – (a) Não Estrutural (Belém, Barcarena, Benevides) – (b) Risco e Desabamento (Ananindeua) – Estrutural (sem ocorrências)



Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e CPCRC (2019).

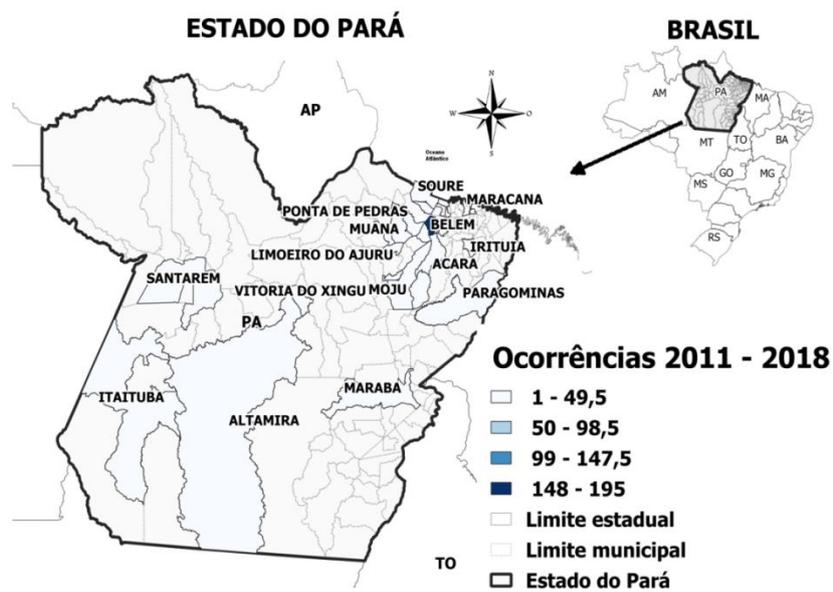
Figura 55: Origens outras (agentes externos), no período de 2011 a 2018 – (a) Não Estrutural (Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Limoeiro, Santa Bárbara, Santa Izabel, Tailândia) – (b) Estrutural (Belém, Moju, Ananindeua, Santa Izabel, Santarém) – (c) Risco e Desabamento (Belém, Irituia, Santarém)



Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e CPCRC (2019).

Após a utilização dos critérios de amostragem, ocorreu um filtro na quantidade de 1006 ocorrências, e com isso é demonstrado na Figura 56, que a capital Belém destacou-se em número de frequências de ocorrências, no intervalo de 147 a 195 de ocorrências amostrais entre o período de 2011 a 2018, seguido do município de Ananindeua e Marituba, ou seja, as áreas urbanas que mais solicitaram vistoria técnica.

Figura 56: Mapa de destaque de ocorrências



Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e CPCRC (2019).

5. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa em que foram atendidas as solicitações de perícias criminais e cíveis, dentro do período de 2011 a 2018, resultando em uma amostragem de 1006 casos periciais, foi constatado na análise micro, após o diagnóstico levantado, utilizando equipamentos de ensaios em um estudo de caso, que a origem das manifestações patológicas ocorreu na fase do projeto e execução.

Na análise macro em que se utilizou o sistema de informações georreferenciadas, pode-se observar a quantidade de ocorrências patológicas, no que diz respeito aos danos não estruturais, estruturais e risco/desabamento, e demonstrou a origem das manifestações patológicas, através de gráficos e mapas, destacando os agentes externos como a origem dos danos constatados, correspondendo ao maior índice de ocorrências no período aludido.

Na sequência, após outro filtro, dentro de uma distribuição espacial das ocorrências, considerando-se os critérios de espacialização da ocorrência, número de ocorrência por município e especificidade da ocorrência, percebeu-se que os centros urbanos como Belém, Ananindeua e Marituba apresentaram maior frequência de ocorrências, e observou-se que a capital Belém se destacou em número de frequências de ocorrências, no intervalo de 148 a 195 ocorrências amostrais no período de pesquisa.

Diante dos resultados obtidos nessa pesquisa, observa-se que as manifestações patológicas constatadas são decorrentes da falta de um maior compromisso, de todos os envolvidos em uma edificação, seja o projetista, o construtor, o proprietário e até quem a utiliza, mesmo que temporariamente, não prezando pela manutenção periódica da mesma.

6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

a) Após o levantamento das análises desenvolvido no estudo de caso em questão, onde se observou uma das origens das manifestações patológicas foi constatada na ausência de projeto e deficiência nas fundações, sugere-se para trabalhos futuros desenvolver uma pesquisa de análise nas origens das manifestações patológicas encontradas nas fundações, sendo observado o mecanismo de interação entre estrutura e fundações, considerando-se que a região de infraestrutura de uma edificação possui uma parcela importante na estabilidade da edificação, devido às mesmas precisarem interagir com o solo, no qual estão assentadas e ainda absorvem a carga que a supra estrutura transfere para as mesmas.

b) O sistema de informação de georreferenciamento utilizado nesta pesquisa deixa como proposta para futuros trabalhos, desenvolver um sistema inteligente para estimativa de previsão de demandas periciais, considerando a busca do motivo para solicitação das mesmas, com base nos dados georreferenciados, destacando fatores social, econômico e de infraestrutura, pertinentes às áreas analisadas. Essa técnica de análise pode ainda favorecer outra pesquisa, abordando o estudo das diferentes condições climáticas das mesos regiões no Estado, informando os níveis de agressividades distintas que as edificações são submetidas e dessa forma apontando os municípios e as respectivas ocorrências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANHA, P. M. S. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região amazônica**. Dissertação de mestrado em engenharia. Curso de Pós-graduação em engenharia civil da UFRGS. Porto Alegre, 1994.

ASTM E632-82. **Standard practice for developing accelerated tests to aid prediction of the service life of building components and materials**, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO ABENDI. **Ensaios não destrutivos e inspeção**. Disponível em :<
<https://www.abendi.org.br/abendi/default.aspx?mn=630&c=&s=11&friendly>> Acesso em: 11 de setembro de 2018 .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 15.575**: Desempenho de Edifícios Habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 5674**: Manutenção de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 14037**: Manual de operação, uso e manutenção das edificações - Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 16.280**: Reforma em edificações - Sistema de gestão de reforma - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7680**: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 15307**: Ensaaios não destrutivos – Provas de cargas dinâmicas em grandes estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 12654**: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 14931**: Execução de Estrutura de Concreto. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 7584**: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13.752**: item 4.3 da Norma Brasileira para Perícias de Engenharia na Construção Civil – ABNT: Discriminação de serviços para construção de edifícios. Rio de Janeiro, 1997.

AGUIAR, J. E. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir das estruturas duráveis**. Dissertação de mestrado em construção civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

AMERICAN SOCIETY for TESTING and MATERIALS. **Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials**. ASTM E-632. In:—. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1996.

ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: Análise de manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 1997.

ANDRADE, T.; SILVA, A.J.C. **Patologia das Estruturas.** In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) **Concreto: In.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** Editor: Geraldo Cechellalsaia. São Paulo: IBRACON, 2005, V.1, Cap. 32.

BATISTA, R. C.; LOPES, F. R. **Investigação das Causas do Colapso do Edifício Raimundo de Farias.** Relatório Técnico COPPETEC ET 15334-1987. Belém, 1987.

BRITISH STANDARD INSTITUTION (BSI). **Guide to the use of nondestructive methods of test for hardened concrete.** BS 1881: Part. 201. London, 1986.

CÁNOVAS, M.F. **Patologia e terapia do concreto armado.** São Paulo, 1988.

COMITE EURO - INTERNATIONAL DU BETON (CEB); **Durable Concrete Structures.** Bulletin d' Information nº 183. Suíça, 1992.

COMITE EURO - INTERNATIONAL DU BETON (CEB) e FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAÎNTE (FIP). **Model Code 1990.** Design Code, p. 437. Lausanne, 1993.

CUNHA, A. J. P.; LIMA, N. A.; SOUZA V. C. M. **Acidentes Estruturais na Construção Civil,** Vol. 1, Editora PINI. 1996.

CUNHA, A. J. P.; LIMA, N. A.; SOUZA V. C. M. **Acidentes Estruturais na Construção Civil,** Vol. II, Editora PINI. 1998.

CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES. Instituto de Criminalística. **Laudo de Exame nº 148/2001**, Livro 525, F. 423 a 427. Perícia Técnica em Imóvel. Impresso. Belém, 2001.

_____. **Laudo de Exame nº 103/2008**, Livro 1216, F. 204 a 220. Perícia Técnica em Estrutura. Impresso. Marabá, 2008.

_____. **Laudo de Exame nº 198/2010**, Livro 006/ENG. Perícia Técnica em Estrutura. Itaituba, 2010.

_____. **Laudo de Exame nº 124/2011**, Livro 010/ENG. Perícia Técnica em Estrutura. Belém, 2011.

_____. **Laudo de Exame nº 19/2012**, Livro 015/ENG. Perícia Técnica em Estrutura. Impresso. Belém, 2012.

_____. **Laudo de Exame nº 37501/2013**, Livro 010/ENG. Perícia Técnica em Imóvel. Impresso. Traquateua, 2013.

_____. **Laudo de Exame nº 134/2014**, Livro 025/ENG. Perícia Técnica em Imóvel. Impresso. Moju, 2014.

_____. **Laudo de Exame nº 2015.01.000415-ENG**. Perícia Técnica em Imóvel. Belém, 2015.

_____. **Laudo de Exame nº 2016.06.000002/ENG**. Perícia Técnica em Imóvel. Impresso. Vitória do Xingu, 2016.

_____. **Laudo de Exame nº 2017.01.000345 – ENG.** Perícia Técnica em Imóvel. Belém, 2017.

_____. **Laudo de Exame nº 2016.01.000236-ENG**. Perícia Técnica em Imóvel. Impresso. Belém, 2016.

_____. **Laudo de Exame nº 2018.07.000054-ENG.** Perícia Técnica em Imóvel. Bragança, 2018.

_____. **Laudo de Exame nº 2018.02.000097-ENG.** Perícia Técnica em Imóvel. Maracanã, 2018.

CAMPANTE, E. F. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas.** São Paulo, 2001. 407p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

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

DEGUSSA. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto.** 2003, Ed. Red. Reabilitar. São Paulo 2003.

DEL MAR, C. P. **Falhas, Responsabilidades, Garantias na Construção Civil.** São Paulo, PINI, 2007, 366p.

DAL MOLIN, D.C.C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado.** Curso de pós-graduação em engenharia civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988.

ENAMI, R. M. **Engenharia forense aplicada a obras urbanas.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Federal de Maringá. Maringá, 2010.

EUROPEAN COMITE FOR STANDARDZATION (CEN); **Betão: Parte 1 – Especificação, desempenho, produção e conformidade.** EN 206-1. Portugal, 2007.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

FÉDERATION INTERNATIONALE DU BÉTON(fib), Model Code 2010, **final draft, vol. 1. fib**, Bulletin 65, Lausanne, Switzerland, 2012, Vol. 2, 350 pp.

FELTMAN, J. A.; STRAKA, T. J.; POST C. J.; SPERRY, S. L. **Geospatial Analysis Application to Forecast Wildfire Occurrences in South Carolina-Forests**2012, 3, 265-282; doi:10.3390/f3020265.

FREITAS, C. E. R.; VIEIRA, V. C. B.. **Uso do Geoprocessamento para auxiliar a Segurança Pública no Mapeamento da Criminalidade em Teresina-PI**, 2007.

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

GOMES, J.P.C.; OLIVEIRA, L.A.P. ; LANZINHA, J.C. G.; ALMEIDA, M.D.**Técnicas de Inspeção e Avaliação de Estruturas de Betão** [Livro]. - Covilhã : Universidade da Beira Interior, 2001. - Engenharias.

HACKELOEER, A.; KLASING, K.; KRISP, J.M.; MENG, L. (2014). **Georeferencing: a review of methods and applications**. Annals of GIS.20(1): 61–69. doi: 10.1080/19475683.2013.868826.

Disponível em: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Georeferencing#cite_ref-1

HELENE, P. R. L. **Manual prático para reforço de estruturas de corrosão**. PINI. P. 213. São Paulo, 1988.

_____.; **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. PINI. Edição 2. p. 213. São Paulo, 1992.

_____. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. São Paulo, 1993. 231p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

_____. **Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. Anais... Porto Alegre, RS, 1997.

_____. **Manual para reforço, recuperação e proteção de estruturas de concreto armado** [Livro]. - São Paulo : Pini, 2002.

_____. **A Nova NBR 6118 (ABNT, 2014) e a Vida Útil das Estruturas de Concreto**. Seminário de Patologia das Construções. UFRGS. Vol. 1, p. 1-30. Porto Alegre, 2004.

HELENE, P. R. L.; PEREIRA, F.; **Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto**. ISBN 85-60457-00-3. p.600. Bogotá, 2007.

HELENE, P. R. L.; MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. IBRACON. 2011.

IOSHIMOTO, E. **Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais**. In: Tecnologia de edificações, 1988, São Paulo: Pini. p. 545-554

ISAIA, G. C. **Durabilidade do concreto ou das estruturas de concreto**. Reflexões sobre o tema. Workshop sobre durabilidade das construções. São José dos Campos, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **General principles on reliability for structures**. ISO 2394. 1998.

_____. **General principles on the design of structures for durability.** ISO 13823. 2008

LICHTENSTEIN, B. N. **Patologia das construções: Procedimentos para diagnóstico e recuperação.** Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/06. São Paulo, 1986.

MACIEL, R. S.; RAIOL, R. S. B.; JUNIOR, W. C. **Diagnóstico sobre os acidentes estruturais provocados por cargas excepcionais em pontes rodoviárias no Estado do Pará pertencente à região amazônica brasileira.** XIII Congresso Latino - Americano De Patologia Da Construção. XV Congresso De Controle De Qualidade Na Construção. Congresso Luso-Africano Da Construção. Vol. VII, p. 9-16. Portugal, 2015.

MAQUAIRE, O.; THIERY, Y.; MALET, J. P.; PUISSANT, A. **Evaluation et cartographie par SIG du risque "glissements de terrain". Application aux Alpes du Sud.** Interactions Nature-Société—Analyse et Modèles. UMR CNRS 6554 LETG, La Baule, 2006.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais,** São Paulo, Pini, 1994.

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

MELO, A. C. A. **Estudo das manifestações patológicas nas marquises de concreto armado do Recife.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco. Recife, 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** Editora Pini. Edição 2. p.828. São Paulo, 1997.

PERAZA, D. B. **First Steps After a Failure.** In: SEI Structures Congress, American Society of Civil Engineers, New York, NY, April, 2005.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. **Desempenho, durabilidade e vida úteis das edificações: abordagem geral,** 2013.

RAIOL, R. S. B.; MACIEL, R. S. **Metodología utilizada en la evaluación de accidentes estructurales.** XII Congreso latinoamericano de patología de la construcción. Y xiv congreso de control de calidad en la construcción. Cartagena de Indias/Colômbia. Vol. VII, p. 9 - 16. 2013.

SAHUINCO, M.H.C. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto.** Dissertação de Mestrado. USP, São Paulo, 2011.

SANTOS, R. R. F. **Segurança Estrutural de uma ponte ferroviária em concreto armado sobre o Rio Mãe Maria.** Dissertação de Mestrado em Estruturas. - Bellém : Universidade Federal do Pará, 2010.

SILVA, M. T. A.; SILVA, A. C.; SANTOS, C. F.; ROCHA, J. H. A.; COSTA, C. F. B.; MONTEIRO, E. C. B. **Análise do estado de conservação de uma marquise de edificação residencial por meio de ensaios de ultrassom: um estudo de caso.** I Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural; UPE, Recife, 2016

SOUZA, F. L. B.; FEIDEN, A.; ROCHA, M. E. L.; ABADE, M. T. R.; MILOMES Junior, K. C.; COUTINHO, P. W. R.; ALBUQUERQUE, D. P.; ÁVILA, M. T.; GALDINO, I. L. C.; VORPAGEL, J. S.; LEITE, F. S. **Georeferenced Information System as a Tool in the Quantification of Protection Areas.** Journal of Agricultural Science; Vol. 11, No. 6, 2019

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

SOUZA, V. R.; CAVENAGHI, S.; ALVES, J. E. D.; MAGALHÃES, M. A. F. M. **Análise espacial dos acidentes de trânsito com vítimas fatais: Comparação entre o local de residência e de ocorrência do acidente no Rio de Janeiro.** R. bras. Est. Pop., São Paulo, v. 25, n. 2, p. 353-364, jul./dez. 2008.

STURN, H. A. **Laudo aponta possíveis causas de desabamento no Rio** [Online] // Rede Tv. - Rede Tv, 19 de 03 de 2012. - 30 de 03 de 2012. - <http://www.redetv.com.br/jornalismo/portajornalismo/Noticia.aspx?118,4,337014,126,Laudo-aponta-possiveis-causas-de-desabamento-no-Rio>.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. **Inspección, diagnóstico y pronóstico en la construcción civil.** Boletim Técnico 01. México, 2013.

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

VITÓRIO, A. **Manutenção e gestão de obras de artes especiais.** VII Encontro Nacional de Arquitetura e Engenharia Consultiva. ENAENCO. Recife, 2005.

ZIEGLER G. L.F. ; CARMO, P. I. O. **Inspeção e manutenção de estruturas de concreto armado: Uso de ensaios não destrutivos** [Artigo] // XVIII Congresso Regional De Iniciação Científica e Tecnológica . - Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 2003.