

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE
CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE
CONCRETO ARMADO: ESTUDO DOS PILARES DO ICC
NORTE DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

HISA DUTRA ALVES

DEFESA DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM TECNOLOGIA, AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE**

LINHA DE PESQUISA EM ESTRUTURAS E ARQUITETURA

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM TECNOLOGIA, AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE
LINHA DE PESQUISA EM ESTRUTURAS E ARQUITETURA

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE
CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE
CONCRETO ARMADO: ESTUDO DOS PILARES DO ICC
NORTE DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

HISA DUTRA ALVES

ORIENTADOR: Prof. Dr. CARLOS EDUARDO LUNA DE MELO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E
URBANISMO

BRASÍLIA/DF: JUNHO – 2022

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM TECNOLOGIA, AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE
LINHA DE PESQUISA EM ESTRUTURAS E ARQUITETURA**

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO:
ESTUDO DOS PILARES DO ICC NORTE DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA**

HISA DUTRA ALVES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO.

APROVADA POR:

Prof. Carlos Eduardo Luna de Melo, DSc (PPG-FAU/UnB)
(Orientador)

Prof. João da Costa Pantoja, DSc (PPG-FAU/UnB)
(Examinador Interno)

Prof. João Carlos Teatini de Souza Clímaco, PhD(UnB)
(Examinador Externo)

Prof. Márcio Augusto Roma Buzar, DSc (PPG-FAU/UnB)
(Membro Suplente)

BRASÍLIA/DF, 27 DE JUNHO DE 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

ALVES, HISA DUTRA

Método de avaliação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado: estudo de caso dos pilares do ICC Norte da Universidade de Brasília. [Distrito Federal] 2022.

xxv, 171p., 210 x 297 mm (PPG-FAU/FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2022).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Departamento de Tecnologia em Arquitetura e Urbanismo

1.Métodos de avaliação

2.FMECA

3.Manifestações Patológicas

4.Concreto Armado

I. PPG-FAU/FAU/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVES, H. D. (2022). Método de avaliação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado: estudo dos pilares do ICC Norte da Universidade de Brasília. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Departamento de Tecnologia em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 171p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Hisa Dutra Alves

TÍTULO: Método de avaliação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado: estudo dos pilares dos ICC Norte da Universidade de Brasília

GRAU: Mestre ANO: 2022

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

Hisa Dutra Alves

AOS 07 – Bloco E – Apto 304 – Octogonal

70660-075 Brasília - DF- Brasil

e-mail: hisadutra@gmail.com

Ao meu eterno Duba.

AGRADECIMENTOS

À minha inestimável parceria dentro de casa e todo carinho que me foi proporcionado. À minha família pela compreensão pelos almoços e tardes que não pude comparecer ao carreado.

Ao meu orientador, professor Carlos Eduardo Luna de Melo, pela orientação, imensuráveis ensinamentos, pela inspiração e paciência nesse meu percurso de aprendizado.

Aos amigos que me acompanharam e me apoiaram, mesmo à distância, porém sempre perto quando precisei. Ao meu processo psicoterapêutico, que me fortaleceu para caminhar e concluir essa jornada acadêmica.

Aos profissionais terceirizados que trabalharam no *campus* Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília durante a pandemia, os quais possibilitaram que as inspeções fossem realizadas mesmo com o fechamento do Instituto Central de Ciências durante esse período.

À colega do ramo da Arquitetura, Bruna Lima, a qual viabilizou nosso contato e disponibilizou suporte para prosseguimento desta pesquisa tendo como referência a sua dissertação.

Agradecimentos especiais ao Programa de Pós Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília por todo o ensino, além de toda orientação, suporte e preocupação com a segurança da comunidade universitária como um todo durante este momento conturbado de pandemia, incluindo alunos, professores, pesquisadores e servidores.

A todas vítimas da pandemia e do presente desgoverno.

RESUMO

O uso do concreto como produção da arquitetura moderna se consolidou como tendência construtiva no século XX, juntamente com as novas técnicas de construção, estéticas e projetos de produção, entre elas a pré-fabricação. O concreto torna-se tendência mundial em sua forma aparente, ganhando destaque quando surgem as primeiras experiências arquitetônicas em edifícios em altura. Brasília torna-se o centro de tecnologia de pré-fabricação de elementos em concreto armado e protendido na década de 1960. Todavia, a capital do país como outras cidades metropolitanas está cada vez mais relacionada a constantes problemas na construção civil. Falhas em atividades de manutenção, conservação e condições de uso que obras civis estão submetidas encontram-se em ascensão de estudos por profissionais técnicos especializados. A deterioração estrutural aflora neste cenário como um desafio associado à segurança da edificação para seus usuários e transeuntes. Acresce que são ainda insuficientes os estudos com uma abordagem integrada e amplamente disseminada de procedimentos metodológicos de avaliação do estado de degradação de elementos de concreto armado. Nesse sentido, propõe-se um método para avaliação de estruturas de concreto armado, focado na conservação dos sistemas de construção em série. O método proposto tem como referencial metodológico o método FMECA – Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade. Conceitos e critérios técnicos foram sistematizados e os procedimentos metodológicos foram organizados nas etapas: caracterização do sistema; análise do estado de conservação; hierarquização de riscos e discussão de resultados. O Instituto Central de Ciências Norte da Universidade de Brasília foi escolhido para testar o método por ser a edificação no que diz a respeito à pré-fabricação de maior relevância na universidade além de se destacar por sua inovadora atividade funcional no cenário da arquitetura moderna. Os pilares do ICC Norte, elementos do sistema estrutural selecionados como objeto de estudo, são elementos pré-fabricados de concreto armado localizados e agrupados pelas fachadas internas e externas da edificação. Na primeira etapa, levantou-se o histórico de construção do ICC, os aspectos físicos e as condições de exposição dos pilares. Através de inspeções técnicas, registros fotográficos dos danos presentes permitiram a elaboração de documentação técnica além do mapeamento dos danos. Na etapa de análise, foram calculados os indicativos dos graus e níveis de criticidade, os Números de Prioridade de Risco (NPR) e os Números de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) consecutivamente, a partir de nova formulação e critérios para utilização dos índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) em elementos pré-fabricados de concreto armado – contribuições relevantes da pesquisa. Como produtos desta etapa, foram obtidas as matrizes de criticidade, matrizes do estado de conservação e matriz de correlação. Nesta etapa, foram comprovadas diferenças consideráveis entre os níveis de criticidade entre os alinhamentos analisados. As análises estatísticas corroboraram essa informação. As análises do estado de conservação evidenciaram que a orientação solar é um agente determinante para a degradação estrutural, pois o alinhamento da fachada externa Noroeste apresentou maior nível de criticidade entre todos os alinhamentos. A última etapa sucedeu-se através das análises dos pilares com a arquitetura do ICC Norte, identificando-se assim as zonas de tensão, sendo essas áreas mais propensas à deterioração estrutural dos pilares. Em conclusão, os cenários do estado de conservação atuais indicaram que os pilares do ICC Norte se classificam com nível de criticidade moderado. Como cenários futuros ressalta-se a importância da gestão de preservação e de ações integradas e planejadas visando a manutenção não somente dos pilares, mas da edificação como um todo. Conclui-se que o método proposto atende ao objetivo de avaliar o estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado.

Palavras-chave: Métodos de avaliação; FMECA; Concreto armado; Pré-fabricados; Instituto Central de Ciências.

ABSTRACT

The use of concrete as a production of modern architecture was consolidated as a constructive trend in the 20th century, along with new construction techniques, aesthetics and production projects, including prefabrication. Concrete becomes a world trend in its apparent form, gaining prominence when the first architectural experiences in tall buildings appear. Brasília becomes the center of technology for the prefabrication of reinforced and prestressed concrete elements in the 1960s. However, the country's capital, like other metropolitan cities, is increasingly related to constant problems in civil construction. Failures in maintenance activities, conservation and conditions of use to which civil works are subjected are on the rise of studies by specialized technical professionals. Structural deterioration emerges in this scenario as a challenge associated with the safety of the building for its users and passersby. Furthermore, studies with an integrated and widely disseminated approach to methodological procedures for assessing the state of degradation of reinforced concrete elements are still insufficient. In this sense, a method is proposed for the evaluation of prefabricated reinforced concrete structures, focused on the conservation of serial construction systems. The proposed method has as a methodological reference the FMECA method – Analysis of Failure Modes, Effects and Criticality. Concepts and technical criteria were systematized and the methodological procedures were organized in the following steps: system characterization; conservation status analysis; risk ranking and discussion of results. The Central Institute of Sciences North of the University of Brasília was chosen to test the method because it is the most relevant building in terms of prefabrication at the university, in addition to standing out for its innovative functional activity in the scenario of modern architecture. The pillars of the ICC Norte, elements of the structural system selected as an object of study, are prefabricated reinforced concrete elements located and grouped by the internal and external facades of the building. In the first stage, the construction history of the ICC, the physical aspects and the exposure conditions of the pillars were surveyed. Through technical inspections, photographic records of the present damages allowed the elaboration of technical documentation in addition to the mapping of the damages. In the analysis stage, the indicators of the degrees and levels of criticality, the Risk Priority Numbers (NPR) and the Risk Priority Numbers with Detection (NPRD) were calculated consecutively, based on a new formulation and criteria for using the severity indexes (S), occurrence (O) and detection (D) in prefabricated reinforced concrete elements – relevant research contributions. As products of this stage, criticality matrices, conservation state matrices and correlation matrix were obtained. At this stage, considerable differences were found between the levels of criticality between the analyzed alignments. Statistical analyzes corroborated this information. The analysis of the state of conservation showed that the solar orientation is a determining agent for the structural degradation, since the alignment of the Northwest external facade presented the highest level of criticality among all the alignments. The last step took place through the analysis of the pillars with the architecture of the ICC Norte, thus identifying the tension zones, these areas being more prone to the structural deterioration of the pillars. In conclusion, the current conservation status scenarios indicated that the ICC North pillars are classified with a moderate level of criticality. As future scenarios, we emphasize the importance of preservation management and integrated and planned actions aimed at maintaining not only the pillars, but the building as a whole. It is concluded that the proposed method meets the objective of evaluating the state of conservation of prefabricated reinforced concrete structures.

Keywords: Assessment methods; FMECA; Reinforced concrete; prefabricated; Central Institute of Science.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	4
1.3	OBJETIVOS	5
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	5
1.5	CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA E RESULTADOS ESPERADOS	7
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	ARQUITETURA MODERNISTA	9
2.2	CONCRETO APARENTE E SEU ESTADO DE CONSERVAÇÃO	12
2.2.1	DEGRADAÇÃO DO CONCRETO ARMADO	14
2.3	INSPEÇÃO TÉCNICA PREDIAL COMO FERRAMENTA DE MANUTENÇÃO	19
	2.3.1. Inspeção Predial a nível internacional	22
	2.3.2. Inspeção Predial a nível nacional	24
2.4	MÉTODOS DE INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO	26
2.4.1	FMEA/FMECA – Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade	26
2.4.2	Metodologia GDE (2007)	36
2.4.3	Matriz GUT (1994)	43
2.4.4	Norma do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia IBAPE/SP (2012)	46
3	MÉTODO PROPOSTO.....	50
3.1	REFERENCIAL TEÓRICO METODOLÓGICO	50
3.2	APRESENTAÇÃO DAS DIRETRIZES, REQUISITOS E CRITÉRIOS TÉCNICOS	52
3.2.1	Etapa 1: Caracterização do sistema	53
3.2.2	Etapa 2: Análise do estado de conservação	54
3.2.3	Etapa 3: Hierarquização de riscos e discussão de resultados	66
3.3	FLUXOGRAMA DE APLICAÇÃO	68
4	APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE	70
	70	
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS – HISTÓRICO	70
4.1.1	Apresentação do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília	70

4.1.2	Caracterização dos pilares do Instituto Central de Ciências da UnB	72
4.1.3	Inspeções técnicas - levantamento fotográfico	76
4.2	ANÁLISE DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO	96
4.2.1	Índice de severidade (S) e mapeamento dos danos	97
4.2.2	Índice de ocorrência (O) e matrizes de criticidade	107
4.2.3	Índice de detecção (D) e matrizes do estado de conservação	110
4.2.4	Matriz de correlação	116
4.2.5	Análise estatística	118
4.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	133
4.3.1	Zonas de tensão	138
5	CONCLUSÕES.....	141
5.1	ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	143
5.2	MÉTODO PROPOSTO APLICADO A ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO	144
5.3	ESTADO DE CONSERVAÇÃO DOS PILARES	145
5.4	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	147
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
	APÊNDICE I – Exemplo de Ficha de Inspeção Técnica.....	157
	APÊNDICE II – Planilhas de cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR) - construção das matrizes de criticidade	159
	APÊNDICE III – Planilhas de cálculo do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) – construção das matrizes do estado de conservação	164
	APÊNDICE IV – Tabela do Nível de Criticidade - planilha de cálculo para construção da matriz de correlação.....	169

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações básicas para elaboração do Lite	25
Tabela 2 - Classificação do nível de deterioração de um elemento	38
Tabela 3 - Fatores de Relevância Estrutural	38
Tabela 4 - Classificação do nível de deterioração da estrutura	39
Tabela 5 – Classificação do índice de severidade (S).....	56
Tabela 6 – Classificação do índice de ocorrência (O)	57
Tabela 7 - Classificação do índice de detecção (D)	58
Tabela 8 – Classificação e codificação de danos.	62
Tabela 9 – Identificação dos elementos e grupos em edificação.	63
Tabela 10 – Identificação dos pilares e fachadas	75
Tabela 11 – Identificação da classificação de cada dano para o mapeamento de dados.	97
Tabela 12 – Mapeamento dos danos - Alinhamento A.....	98
Tabela 13 - Mapeamento dos danos - Alinhamento B.....	100
Tabela 14 - Mapeamento dos danos - Alinhamento C.....	102
Tabela 15 - Mapeamento dos danos - Alinhamento D.	104
Tabela 16 – Porcentagens de danos identificados nos pilares para cada alinhamento.	106
Tabela 17 – Legenda para tabelas de classificação do Número de Prioridade de Risco ...	108
Tabela 18 - Legenda para tabelas de classificação do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD).....	111
Tabela 19 – Números de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) dos 168 pilares inspecionados.	119
Tabela 20 – Análise estatística do nível de criticidade dos pilares - Alinhamento A.....	121
Tabela 21 – Quantificação de pilares em cada faixa de nível de criticidade – Alinhamento A.....	121
Tabela 22 – Análise estatística do nível de criticidade dos pilares - Alinhamento B.....	122
Tabela 23 - Quantificação de pilares em cada faixa de nível de criticidade – Alinhamento B.	122
Tabela 24 - Análise estatística do nível de criticidade dos pilares - Alinhamento C.....	123
Tabela 25 - Quantificação de pilares em cada faixa de nível de criticidade - Alinhamento C.	123
Tabela 26 - Análise estatística do nível de criticidade dos pilares - Alinhamento D.	124
Tabela 27 - Quantificação de pilares em cada faixa de nível de criticidade - Alinhamento D.	125
Tabela 28 – Nível de criticidade para todos os alinhamentos.	126
Tabela 29 – Nível de criticidade dos alinhamentos do ICC Norte.....	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desabamentos na construção civil	1
Figura 2 – Pilares do ICC Norte localizados próximos à FAU.	6
Figura 3 – Vista frontal do Edifício da Rua Franklin na França.	10
Figura 4 – Fachada frontal e elementos de interior da igreja Notre-Dame du Raincy, França.	10
Figura 5 – Na sequência: Palácio da Alvorada (1957); Catedral Metropolitana de Brasília (1959); Instituto Central de Ciências (ICC) da UnB (1975).	11
Figura 6 – Na sequência: Palácio do Itamaraty (1970); Palácio da Justiça (1972); Museu Nacional Honestino Guimarães (2006).....	12
Figura 7 – Pilares com presença de manchas de umidade e bolor.	15
Figura 8 – Sinais de eflorescência na laje do mezanino do ICC Norte.	16
Figura 9 – Presenta de fissura na laje do mezanino do ICC Norte.	17
Figura 10 – Pilares com ninhos de concretagem.....	18
Figura 11 – Pilares com presença de corrosão em suas armaduras.....	19
Figura 12 – Gráfico Desempenho x Tempo de uso.....	20
Figura 13 – Lei da evolução dos custos.....	21
Figura 14 – Custo de estratégias de manutenção	21
Figura 15 - - Métodos de análise dos modos de falha (FMEA) e sua criticidade (FMECA)	28
Figura 16 – Matriz de criticidade	29
Figura 17 – Matriz de criticidade de umidade.....	29
Figura 18 – Matriz de criticidade resultante da avaliação da umidade.....	31
Figura 19 – Matrizes de Criticidade para a Fachada Noroeste do Congresso Nacional.....	32
Figura 20 - Fluxograma da metodologia GDE.....	37
Figura 21 – Quadro de classificação matriz Gut	44
Figura 22 – Resultados dos valores para os parâmetros GUT.....	45
Figura 23 – Resultados em gráfico da matriz GUT na análise da Igreja Menino de Deus.	46
Figura 24 – Exemplo de matriz de criticidade.	60
Figura 25 – Exemplo de matriz do estado de conservação.....	61
Figura 26 - Exemplo de matriz de correlação.	65
Figura 27 – Fluxograma de aplicação do método proposto.....	69
Figura 28 – Localização da UnB (em vermelho) na cidade de Brasília, DF.....	70
Figura 29 – Vista aérea do ICC e seus principais acessos centrais.	72
Figura 30 – a) Cavidades nas sapatas com o intuito de receberem os pilares pré-fabricados; b) Descida de água pluvial nos pilares externos.....	73
Figura 31 – Armaduras de espera nos pilares (destacado em vermelho).	74
Figura 32 – Croqui – exterior do ICC.....	74
Figura 33 – Planta baixa do ICC, destacando em vermelho os pilares inspecionados do ICC Norte.....	75
Figura 34 – Disposição dos pilares do ICC vistos em planta baixa – extremo norte.....	76
Figura 35 – Número de identificação de um pilar externo - Alinhamento A.....	78
Figura 36 - Número de identificação de um pilar interno - Alinhamento C.	78
Figura 37 – Corte transversal do ICC: pilares das fachadas externas sinalizados em azul e pilares das fachadas internas sinalizados em vermelho.	79
Figura 38 – (a) Pilares de alma oca pré-fabricados construídos em série (alinhamento) na época de sua construção. (b) Pilares de alma oca pré-fabricados atualmente.....	80
Figura 39 – Vista do corte transversal do ICC.	80
Figura 40 – Vista do corte transversal do ICC.	81

Figura 41 – Presença de tubulação de ferro fundido nos pilares.....	82
Figura 42 - Presença de tubulação de ferro fundido nos pilares.	82
Figura 43 - Presença de tubulação de ferro fundido nos pilares.	82
Figura 44 – Brises, suportes e grades de proteção fixados diretamente nos pilares das fachadas externas.....	83
Figura 45 – Desgaste do aparelho de apoio entre o pilar e a viga superior - Alinhamento B.	84
Figura 46 – Desgaste do aparelho de apoio e presença de trinca/fissura em pilar - Alinhamento B.	84
Figura 47 - Ausência do aparelho de apoio entre o pilar e a viga superior - Alinhamento C.	84
Figura 48 – Ausência do aparelho de apoio e presença de trinca/fissura em pilar - Alinhamento B.	85
Figura 49 - Presença de ninhos de concretagem nos pilares - Alinhamento A.	85
Figura 50 - Presença de ninhos de concretagem nos pilares - Alinhamento B.	86
Figura 51 - Presença de ninhos de concretagem nos pilares - Alinhamento C.	86
Figura 52 - Presença de ninhos de concretagem nos pilares - Alinhamento D.	86
Figura 53 – Presença de deslocamento do concreto e corrosão das armaduras tendo como estimulador a presença de ninhos de concretagem – Alinhamento D.	87
Figura 54 – Presença de manchas de umidade e bolor nos pilares – Alinhamento A.	88
Figura 55 – Presença de manchas de umidade e bolor nos pilares – Alinhamento C.....	88
Figura 56 – Presença de manchas de umidade e bolor nos pilares – Alinhamento A.	89
Figura 57 – Presença de manchas de umidade e bolor nos pilares – Alinhamento A.	89
Figura 58 - Presença de vegetação (trepadeiras) nos pilares - Alinhamento A.....	90
Figura 59 - Presença de vegetação (trepadeiras) nos pilares - Alinhamento A.....	90
Figura 60 - Presença de vegetação (trepadeiras) nos pilares - Alinhamento C.....	90
Figura 61 - Presença de vegetação (trepadeiras) nos pilares - Alinhamento C.....	91
Figura 62 - Presença de vegetação (trepadeiras) nos pilares - Alinhamento C.....	91
Figura 63 - Presença de corrosão das armaduras sem perda de seção nos pilares - Alinhamento A.	92
Figura 64 - Presença de corrosão das armaduras sem perda de seção nos pilares - Alinhamento D.	92
Figura 65 - Presença de corrosão das armaduras com perda de seção nos pilares - Alinhamento D.	92
Figura 66 - Presença de corrosão das armaduras com perda de seção nos pilares - Alinhamento D.	93
Figura 67 - Presença de pichações e pinturas nos pilares - Alinhamento D.....	93
Figura 68 - Presença de pichações, pinturas e colagens nos pilares - Alinhamento C.	94
Figura 69 – Identificação de obra em andamento no ICC Norte. Presença de canteiro de obra na entrada principal.	95
Figura 70 – Presença de entulho da construção civil armazenado de forma inapropriada próximo aos pilares - Alinhamento D.....	95
Figura 71 – Presença de caçamba e entulho armazenados de forma imprópria, próximos à pilares - Alinhamento D.....	96
Figura 72 - Presença de caçamba e entulho armazenados de forma imprópria, próximos à pilares - Alinhamento D.....	96
Figura 73 – Área de maior momento fletor do pilar objeto de estudo.....	107
Figura 74 – Matriz de criticidade – Alinhamento A	108
Figura 75 – Matriz de criticidade – Alinhamento B.	109
Figura 76 - Matriz de criticidade – Alinhamento C.	109
Figura 77 - Matriz de criticidade – Alinhamento D.....	110
Figura 78 – Matriz do estado de conservação - Alinhamento A.....	112

Figura 79 - Matriz do estado de conservação - Alinhamento B.....	113
Figura 80 - Matriz do estado de conservação - Alinhamento C.....	114
Figura 81 - Matriz do estado de conservação - Alinhamento D.....	115
Figura 82 – Matriz de correlação entre os níveis de criticidade dos pilares inspecionados - ICC Norte da UnB.....	117
Figura 83 – Desvio padrão da média do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento A.....	121
Figura 84 - Desvio padrão da média do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento B.....	122
Figura 85 - Desvio padrão da média do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento C.....	124
Figura 86 - Desvio padrão da média do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento D.....	125
Figura 87 – Exposição dos 5 primeiros pilares vistoriados – Alinhamento A.....	127
Figura 88 – Gráfico de dispersão do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento A.....	128
Figura 89 - Gráfico de dispersão do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento B.....	129
Figura 90 - Gráfico de dispersão do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento C.....	130
Figura 91 - Gráfico de dispersão do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento D.....	130
Figura 92 - Gráfico comparativo dos Números de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - ICC Norte.....	132

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAU -	Conselho de Arquitetura e Urbanismo
CREA -	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
D -	Detecção
DER -	Departamento de Estradas e Rodagem
DNIT -	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FAU -	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
FMEA -	Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos
FMECA -	Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade
GDE -	Grau de Danos das Estruturas
GUT -	Gravidade, Urgência e Tendência
IBAPE -	Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia
ICC -	Instituto Central de Ciências
ICOMOS -	International Council of Monuments and Sites
LATEC -	Laboratório de Tecnologia
NBR -	Norma Brasileira
NPR -	Número de Prioridade de Risco
NPRD -	Número de Prioridade de Risco com Detecção
Novacap -	Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
O -	Ocorrência
PMOC -	Plano de Manutenção, Operação e Controle
S -	Severidade
UnB -	Universidade de Brasília

1 INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias construtivas e seus monitoramentos de preservação dos elementos de concreto estão cada vez mais presentes nos estudos relacionados ao correto desempenho das edificações, devido a uma maior acessibilidade do uso de ferramentas e metodologias de inspeções que permitem conduzir uma avaliação estrutural.

Nesse contexto, emergem diversos tipos de análises, as quais podem resultar em diferentes conclusões de ações a fim de se guiar manutenções corretivas. Surge a necessidade de estudo das particularidades das principais análises metodológicas de inspeções técnicas utilizadas atualmente, sejam análises qualitativas e/ou quantitativas e suas principais características de resultados com o intuito de se averiguar os pontos convergentes e divergentes de suas conclusões.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Recentemente, somente entre os anos de 2018 à 2021, grandes problemas na área da construção civil ganharam repercussão em diversos locais do mundo afora. O desabamento de um edifício residencial de 12 andares no centro de Miami, nos Estados Unidos (Figura 1 A), deixou sob seus escombros dezenas de pessoas. O desabamento de parte da rodovia DF – 002, Eixo Rodoviário de Brasília (Figura 1 B) e o desabamento da laje do subsolo de uma edificação residencial na região da Asa Norte (Figura 1 C), somente não se encaixam como catástrofes, pois no exato momento de ambos sinistros não havia nenhum transeunte nos locais, deixando assim somente grandes prejuízos econômicos.



Figura 1 – Desabamentos na construção civil

Fonte: a) <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2021/06/25/desabamento-de-predio-na-regiao-de-miami-o-que-se-sabe-e-o-que-falta-saber.ghtml>>, acessado em 20 de julho de 2021;
b) <<https://www.metropoles.com/distrito-federal/asfalto-cede-no-eixo-monumental-no-viaduto-da-galeria-dos-estados?amp>>, acessado em 02 de outubro de 2020;
c) <<https://cbn.globoradio.globo.com/media/audio/157833/laje-de-garagem-de-predio-desaba-em-brasilia-e-des.htm>>, acessado em 02 de outubro de 2020.

Estes sinistros estão cada vez mais alertando para as falhas de projeto, falhas na manutenção, conservação e nas condições de uso as quais as obras civis estão submetidas. Há alguns anos,

agentes fiscalizadores da construção civil, como o CREA (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia) e CAU (Conselho de Arquitetura e Urbanismo), estão instituindo e utilizando normas de realização de inspeções técnicas em construções públicas e privadas com o propósito de certificar as condições de segurança, estabilidade e conservação das construções, além de auxiliarem o poder judiciário como instrumentos orientadores em julgamentos de ações pertinentes (ABNT NBR 16747: 2020; VERVLOET, 2018).

O estado de conservação das estruturas de concreto, característica marcante da arquitetura modernista desde o período pós Segunda Guerra Mundial, necessita atender requisitos mínimos de qualidade para garantir um grau de confiabilidade da resistência e durabilidade, a fim de se obter um correto desempenho. Neste cenário, aflora-se então a interrupta necessidade de avaliações e estudos relacionados à metodologias de inspeções de manifestações patológica e os principais agentes causadores da deterioração estrutural.

Relatórios de análise do desabamento de parte da rodovia em Brasília (Figura 1b) obtiveram como resultados diferentes avaliações dos procedimentos que devem ser adotados. Em um relatório técnico emitido em 2018 pelo Grupo de Trabalho, conforme Decreto 38.841 de 06.2018, realizado pelo DER-DF, NOVACAP, CREA-DF e UnB, apresenta as diferentes conclusões emitidas pelas entidades avaliadoras (SEDUH, 2017).

A Universidade de Brasília apresentou como medida corretiva a demolição total do viaduto. Em contrapartida, o CREA DF sugeriu como solução uma recuperação estrutural do viaduto. Por fim, o DER-DF e a NOVACAP optaram pela solução mista, ou seja, recuperação das lajes do tabuleiro (pista) e substituição das galerias de águas pluviais por drenagem direta.

Esse decreto público (38.841 de 06.2018) como outras iniciativas do governo no âmbito de chamadas públicas enuncia que apesar de existir um relativo avanço na área de avaliações, ainda há uma precariedade nas iniciativas institucionais a fim de se avaliar e monitorar as condições atuais de empreendimentos ou obras públicas e até privadas.

Mais precário ainda é o conhecimento sistematizado de metodologias de inspeção, inexistindo um conhecimento sólido das práticas de avaliação e muito menos conhecidos seus resultados por ausência de divulgação ampla (BLUMENSCHNEIN et al., 2015).

Ainda conforme Blumenschein et al. (2015), é esperado que através de instrumentos de monitoramento e avaliação os quais sejam disseminados e replicados em nível nacional, possam contribuir para o fortalecimento das práticas de avaliação de resultados confiáveis.

Na pesquisa sobre a avaliação da qualidade da habitação de interesse social realizada por Blumenschein et al. (2015) no âmbito da Chamada Pública MCTIMCTI/CNPq/MCIDADES Nº 11/2012, a adaptação e aplicação da metodologia de inspeção FMECA (Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade) tendo sido utilizada para o programa “Minha Casa, Minha vida”, não se restringe somente ao programa e sim pode ser aplicada em outras circunstâncias tendo como principal característica o uso de matrizes de criticidade para avaliação de degradações de elementos pela umidade.

Segundo Blumenschein et al. (2015) o trabalho teve como principal objetivo “oferecer informações necessárias para evitar a repetição de soluções ou procedimentos inadequados que comprometam os recursos econômicos, além dos aspectos ambientais e sociais”.

Braga et al. (2019) utilizaram a aplicação do método GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) em construções históricas no Ceará para análises estruturais resultantes de avaliações das condições de degradação por manifestações patológicas. O trabalho afirma que o método de inspeção utilizado como ferramenta de gestão acarreta em uma contribuição para uma melhoria da elaboração de um planejamento estratégico frente a situações que requerem decisões complexas.

Assim, essa busca pela correta análise de desempenho de elementos construtivos e até mesmo edificações emerge simultaneamente com os desafios de maior acessibilidade, tanto no viés prático como econômico.

Os métodos de inspeções FMECA, GDE, GUT e Norma IBAPE já foram utilizados a fim de se avaliar as condições de conservação dos elementos de concreto, além de terem sido estudadas suas respectivas aplicabilidades. Os autores como Zanoni e Buson (2015), Vervloet (2018), Braga et al. (2019), Medeiros et al. (2019) e Porto (2020) obtiveram êxito em relação ao uso das metodologias.

Todavia, mesmo existindo a possibilidade de utilização das metodologias, Braga et al. (2019) afirma que apesar da matriz GUT obter êxito no objetivo de se classificar como uma ferramenta de gestão, o método apresenta limitações devido às suas análises qualitativas, onde as análises são submetidas às avaliações subjetivas dos profissionais os quais realizam as inspeções técnicas.

Medeiros et al. (2019) cita como conclusão no estudo comparativo sobre a aplicação de duas metodologias de inspeção que apesar de existirem certas quantificações mais específicas para a determinação do grau de criticidade dos danos vistoriados nas inspeções por parte de

uma dessas, ainda assim, as metodologias são condicionadas à qualificação do inspetor responsável.

O problema apresentado por esta pesquisa baseia-se em qual é o grau de confiabilidade dos diferentes resultados entre metodologias e ferramentas de inspeção, além de suas respectivas convergências e divergências devido às análises qualitativas e/ou quantitativas.

O presente trabalho está vinculado ao grupo de pesquisa Sustentabilidade, Desempenho e Reabilitações de Edificações e ao Laboratório de Tecnologia em Estruturas e Construção Civil na Arquitetura (LATEC), dentro da linha de pesquisa Estruturas e Arquitetura. Ademais, essa dissertação dá continuidade à trabalhos realizados pela linha de pesquisa citada e de autores como Fonseca (2007), Moreira (2007), Silva (2008), Soares (2017) e Lima (2019).

1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

A debilidade de conhecimento sistematizado de metodologias de inspeção e a existência de divergentes conclusões de ações corretivas de avaliações de degradação do concreto têm como possível causa os diferentes tipos de análises proporcionadas por cada metodologia utilizada, principalmente em relação aos vários aspectos de procedimentos, como também suas próprias características quantitativas e/ou qualitativas.

Determinar as características de metodologias de inspeções mais apropriadas para um mesmo tipo de elemento objeto de estudo e os pontos convergentes dos processos metodológicos bem sucedidos implicaria em uma engenharia diagnóstica mais eficiente e ágil, além de obter a possibilidade de aprimorar e unificar vertentes de estudos e aplicações.

Ademais, a padronização da hierarquização de manutenções acarretará em ações de medidas corretivas mais eficientes e que irão diminuir os riscos de maior perda da vida útil da edificação, decrescendo assim sua respectiva desvalorização imobiliária.

No trabalho de Fonseca (2007) é possível notar que a metodologia GDE, a qual utiliza-se da FIP (1998) como referência, determina o prazo máximo de inspeção para 10 anos. Os prazos específicos para realização das inspeções dentre os 10 anos máximos estipulados variam de acordo com as classes de estruturas, tipos de condições ambientais e/ou de carregamento.

Assim, a realização destas inspeções em estruturas de concreto implicaria em um estudo das atuais condições do ambiente da estrutura, fornecendo a possibilidade de subsidiar decisões de manutenções e suas periodicidades de acordo com o grau de criticidade das manifestações patológicas encontradas.

Khan et al. (2017) concluíram que a reformulação e aplicação da metodologia FMECA em concretos pré-fabricados através de uma análise qualitativa e quantitativa resultou em uma melhoria do sistema de gestão de riscos para os fornecedores e clientes desse produto estrutural.

Acredita-se então que conhecendo as diferentes metodologias de inspeções haja a possibilidade de propor uma melhoria nas ferramentas diagnósticas existentes, acarretando, conseqüentemente, a oportunidade desse estudo posteriormente viabilizar a formulação de um novo método aplicado à avaliação de estruturas de concreto.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método de avaliação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, baseado no método FMECA-Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar um estudo comparativo das características e limitações de métodos de avaliação do estado de conservação de estruturas de concreto armado: FMEA/FMECA, GDE, GUT e Norma IBAPE/SP, com objetivo de embasar o método proposto;
- Desenvolvimento de fluxo de inspeção para aplicação do método proposto;
- Avaliar a aplicação do método proposto, utilizando como estudo de caso os pilares pré-fabricados de concreto armado do ICC Norte da UnB.

Esta pesquisa visa a analisar metodologias de inspeções tendo como objeto de estudo os pilares do Instituto Central de Ciências (ICC) Norte da Universidade de Brasília. Os métodos a serem abordados e estudados são: FMECA – originalmente desenvolvido na década de 1940 por militares norte-americanos; a metodologia GDE– desenvolvido por Castro (1994) e reformulado por Fonseca (2007); o método GUT – método criado em 1994 pelos norte-americanos Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe; e Norma IBAPE/SP – desenvolvida e aperfeiçoada em 2016 pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE).

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para realização do presente trabalho, a pesquisa foi dividida em quatro etapas. A seguir, apresenta-se uma síntese de cada etapa dos procedimentos metodológicos com o propósito de se atingir o objetivo geral e os objetivos específicos propostos.

- **Revisão bibliográfica da literatura:** esta primeira etapa da pesquisa é instaurada a base teórica-conceitual do trabalho acadêmico, ou seja, na revisão bibliográfica, foram exploradas as seguintes temáticas: conservação do concreto aparente utilizado na arquitetura moderna; metodologias de inspeções técnicas utilizadas para avaliar o estado de degradação de elementos estruturais, buscando apontar as características mais relevantes entre cada metodologia; caracterização e aspectos relacionados à conservação de elementos de concreto armado.

- **Formulação da metodologia de inspeção:** esta segunda etapa consistiu no resultado final dos estudos das revisões bibliográficas realizadas e levantamento do estado da arte a fim de se averiguar os critérios técnicos e parâmetros mais apropriados, com o intuito de se realizar uma melhor avaliação da degradação estrutural do objeto de estudo.

O objeto de estudo foi escolhido devido ao seu possível acesso de inspeção e análise durante o atual período de pandemia do COVID-19, além dos elementos estruturais escolhidos, os pilares, já apresentarem visualmente danos como sinais de corrosão das armaduras e deslocamento do concreto. A Figura 2 a seguir apresenta estes danos.

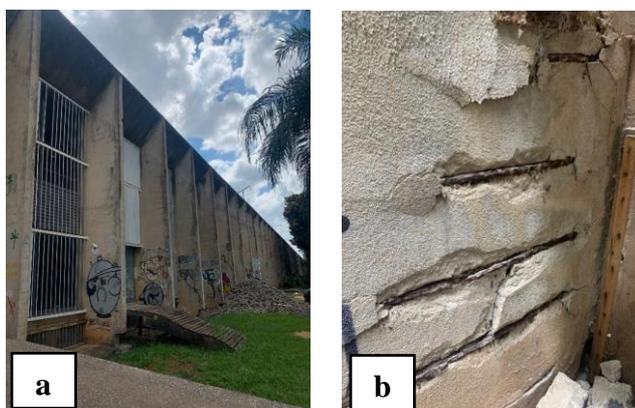


Figura 2 – Pilares do ICC Norte localizados próximos à FAU.
Fonte: Autora (2021).

- **Aplicação do método proposto ao objeto de estudo:** para a realização de inspeções técnicas orientadas pelo método proposto, as inspeções serão contempladas por coletas de dados, de projetos e registros fotográficos das inspeções *in locu* nos pilares do ICC Norte da UnB.

- **Análise dos resultados:** nesta última etapa, proceder-se-á uma análise qualitativa e quantitativa dos resultados da aplicação do método proposto. Os resultados dessa etapa possibilitarão uma avaliação do estado de conservação do objeto de estudo.

1.5 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA E RESULTADOS ESPERADOS

As contribuições da pesquisa esperadas se fundamentam em agregar à discussão sobre metodologias de inspeção outras disciplinas de interface, tais como estudos de durabilidade e do estado de conservação consolidados pelo estudo sobre a conservação do patrimônio e a necessidade da avaliação do estado de degradação de seus sistemas.

Ademais, espera-se contribuir para preencher a lacuna do conhecimento existente a respeito de instrumentos de avaliação, caracterizados como ferramentas replicáveis às estruturas pré-fabricadas em repetição, cooperando com fortalecimento de resultados confiáveis.

O Instituto Central de Ciências é símbolo da história e do patrimônio arquitetônico da Universidade de Brasília e da própria capital brasileira. A colaboração da presente pesquisa baseia-se também em agregar aos estudos sobre a conservação dessa edificação, símbolo da arquitetura moderna no Brasil.

Os resultados esperados ao final do desenvolvimento da pesquisa são:

- Corroboração *in locu* das características positivas e mais relevantes pontuadas no método de avaliação da degradação do concreto armado proposto;
- Aferição dos resultados do nível de criticidade dos danos vistoriados, tanto por análises qualitativas quanto quantitativas, sendo possível assim, a verificação dos resultados das análises pela aplicação do método proposto;
- Prospecções do estado de conservação dos pilares pré-fabricados de concreto armado dando continuidade à avaliação do estado de conservação do ICC Norte da Universidade de Brasília.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho foi estruturado em cinco capítulos, conforme descritos a seguir.

No primeiro capítulo é apresentada a contextualização do tema do trabalho, o problema de pesquisa e sua síntese dos procedimentos metodológicos e objetivos. Nesse capítulo estão presentes além da problematização, a justificativa com possíveis contribuições e os motivos da possível condução da pesquisa.

No Capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica sobre o uso do concreto aparente, conceitos relacionados à conservação dos elementos estruturais e seus mecanismos de degradação. Para além disso, são abordadas as metodologias de inspeções selecionadas para estudos (FMEA/FMECA, GDE, GUT e IBAPE) e suas características mais relevantes.

No Capítulo 3 são expostos os fundamentos e os referenciais metodológicos analisados como melhores ferramentas a serem utilizadas no objeto de estudo. O método proposto será apresentado incluindo seus procedimentos, técnicas e critérios.

No Capítulo 4 será feita a aplicação do método proposto no objeto de estudo. Na discussão dos resultados, serão identificadas as análises resultantes e o nível de criticidade dos danos vistoriados. Serão analisadas também a consistência, validade e replicabilidade dos resultados obtidos através do método aplicado.

Por fim, o Capítulo 5 apresentará as conclusões da pesquisa quanto ao atendimento dos objetivos e a problemática de pesquisa, sendo identificadas as contribuições do estudo e recomendações para trabalhos futuros, tendo como foco a utilização do método de inspeção proposto e o estado de conservação estrutural.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda o levantamento do estado da arte sobre as avaliações de degradações estruturais, apresentando o contexto histórico do crescimento funcional da utilização do concreto no âmbito da construção civil e sua correlação direta com a arquitetura moderna nacional.

Além disto, o capítulo expõe metodologias de inspeção da degradação de estruturas de concreto pontuando discussões as quais permeiam a conservação dos sistemas construtivos com enfoque nos quais utilizam o concreto armado.

Assim, na primeira conjuntura, aborda-se um breve histórico da correlação das soluções técnicas adotadas advindas da arquitetura moderna, sendo ilustrada pelas inovações tecnológicas na construção civil. Em uma segunda conjuntura, os conceitos de durabilidade e manutenção da vida útil da edificação são abordados, focando-se no estado de conservação do sistema estrutural e por conseguinte, seus agentes de degradação e suas respectivas consequências, os danos.

Por último, são abordadas as práticas de inspeções técnicas utilizadas tanto internacionalmente como nacionalmente, voltadas à manutenção e suas diferentes metodologias de inspeção, as quais constituem pilares de instituições acadêmicas e profissionais direcionadas para o âmbito da engenharia diagnóstica.

2.1 ARQUITETURA MODERNISTA

Curtis (2008) exprime como produção da arquitetura moderna, as obras as quais apresentam novas técnicas, estéticas e programas projetadas e/ou construídas no período entre as décadas 1920 a 1980 do século XX.

Não somente no país, mas sim uma tendência mundial, o concreto aparente torna-se objeto de estudos. Tal qual a viabilidade de seu papel estrutural, relacionado à sua resistência e durabilidade, como sua própria estética começam a ser questionados sobre sua aceitabilidade pela sociedade, sendo até caracterizado como antiestético e assim substituído por alvenarias e argamassas (CURTIS, 2008).

Todavia, na França, logo no início do século XX, a evolução na busca de uma nova arquitetura e o uso do concreto em sua forma aparente ganha força quando surgem as primeiras experiências arquitetônicas. O pioneirismo aparece na forma do edifício de oito

andares na Rua Franklin, edificação a qual contempla em sua fachada a ossatura de concreto (Figura 3).



Figura 3 – Vista frontal do Edifício da Rua Franklin na França.

Fonte: <<https://40equatro.com/2011/08/01/bibliografia-os-conjuntos-habitacionais-do-seculo-xx-01/>>, acessado em 18 junho 2020.

A Igreja de Notre-Dame du Raincy (Figura 4), finalizada em 1924, abriga em seu sistema construtivo o concreto. O concreto, sem nenhum revestimento, encontra-se escancarado em todos os seus elementos, particularmente em seu piso, colunas, fachadas e blocos de fechamento que se entrelaçam aos vitrais tradicionais de templos religiosos.

Não obstante, mesmo tendo sido construída com esse material moderno, a edificação não foge ao repertório tradicional que uma igreja simboliza, trazendo consigo o resultado de trabalho que “não se enquadrava até então em nenhuma categoria estilística, este não era nem Gótico nem clássico, mas que utilizava os princípios destes estilos para gerar os seus” (CURTIS, 2008).



Figura 4 – Fachada frontal e elementos de interior da igreja Notre-Dame du Raincy, França.
Fonte: <<https://visuallexicon.wordpress.com/2017/09/14/notre-dame-du-raincy-le-raincy-france/>>, acessado em 23 de junho de 2020.

Após o período de Segunda Guerra Mundial, o concreto foi considerado como protagonista da arquitetura moderna brasileira. Segundo Pinto (2012), o êxito do papel desempenhado pelo concreto na área da arquitetura e construção civil foi devido à exploração da técnica no Brasil e à abertura de diálogo entre os engenheiros e arquitetos.

Destarte, na arquitetura modernista, iniciando-se entre as décadas de 1960 e 1970, o agente principal visado, o famoso concreto, começa a ser explorado como a própria forma de expressão dos edifícios, inexistindo qualquer tipo de revestimento (PINTO, 2012).

Na capital do país, a arquitetura moderna surge no contexto do arquiteto Oscar Niemeyer e o engenheiro Joaquim Cardozo, significando o avanço tecnológico estrutural no Brasil. Tanto do ponto de vista arquitetônico, como da engenharia, as obras caracterizadas como patrimônio são sinônimo de audácia e novidade (MOREIRA, 2007).

“Minha obra de arquiteto começou em Pampulha, que cobri de curvas, sensuais e inesperadas. Era o início da liberdade plástica que o concreto armado exigia. Depois veio Brasília, e exaltei as estruturas, nelas inserindo a arquitetura. E, ao terminar as primeiras, arquitetura e estrutura estavam presentes como duas coisas que devem nascer juntas, e juntas se enriquecer” (NIEMEYER, 1961).

Obras de concreto aparente emergem por Brasília (Figura 5 e Figura 6), sendo caracterizadas pelos seus próprios sistemas estruturais, onde as soluções inovadoras do período arquitetônico e da engenharia encontram-se dentro da lógica do sistema estático, unidos ao limite máximo da resistência dos materiais (INOJOZA, 2010).

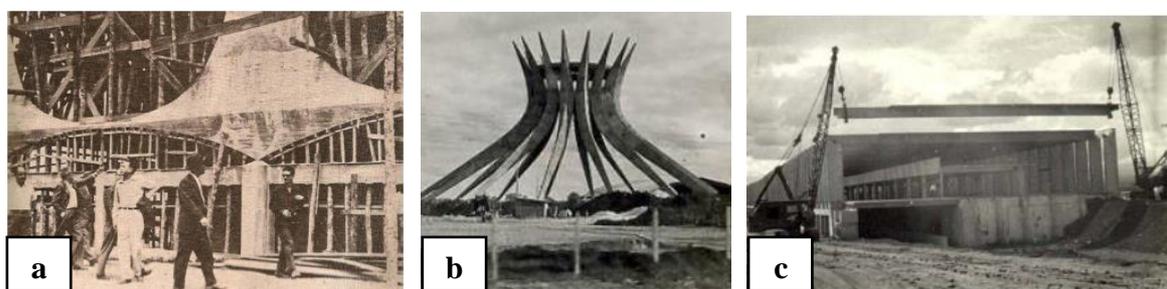


Figura 5 – Na sequência: Palácio da Alvorada (1957); Catedral Metropolitana de Brasília (1959); Instituto Central de Ciências (ICC) da UnB (1975).

Fonte: Inojoza (2010).

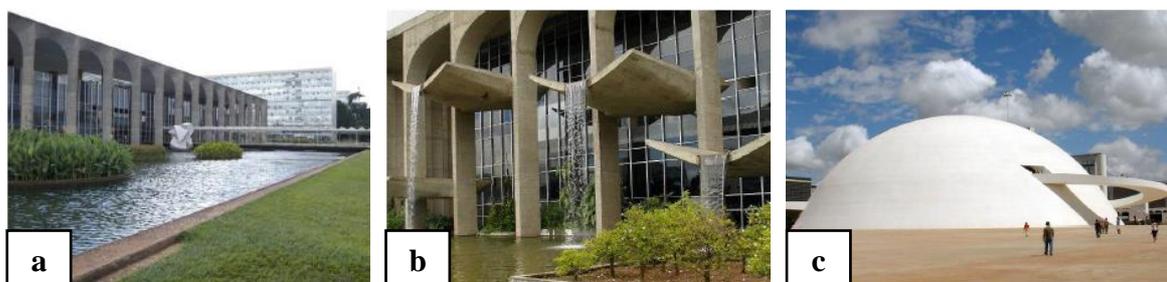


Figura 6 – Na sequência: Palácio do Itamaraty (1970); Palácio da Justiça (1972); Museu Nacional Honestino Guimarães (2006).
Fonte: Inojoza (2010).

A construção civil junto à arquitetura moderna se destaca pelo arrojo das formas e a plasticidade escultural, arquitetura cuja monumentalidade baseia-se na simplificação dos elementos estruturais de forma racional com seu papel funcional (INOJOZA, 2010).

2.2 CONCRETO APARENTE E SEU ESTADO DE CONSERVAÇÃO

Com o crescimento do uso do concreto aparente na construção civil, analogia ao símbolo então da modernidade, surge um pensamento a respeito da conservação desse patrimônio. Segundo Jokilehto (2003), os estudos referentes à conservação alinhado aos avanços tecnológicos são um dos pilares os quais nortearam a arquitetura da sociedade do século XX ao modernismo.

A Declaração de Eindhoven (Eindhoven-Seoul Statement, DOCOMOMO, 1990) ressalta a necessidade da divulgação da arquitetura moderna e de produção de conhecimento por meio da pesquisa, da identificação e do desenvolvimento de técnicas apropriadas à conservação dos objetos modernistas (LIMA, 2019).

O estado de conservação de edifícios é introduzido por diversos autores (Mehta e Monteiro, 2008; Souza e Ripper, 2009; Silva e Monteiro, 2016) como a avaliação do desempenho estrutural, estudando-se a deterioração, durabilidade e vida útil dos elementos envolvidos.

Souza e Ripper (2009) afirmam que o concreto é instável ao longo do tempo, alterando suas propriedades físicas e químicas. As consequências das alterações que venham a comprometer o desempenho de uma estrutura, ou material, costuma-se chamar deterioração. Os elementos agressores são designados agentes de deterioração. Este complexo conjunto de fatores gera o que é chamado de deterioração estrutural.

A ABNT NBR 6118:2014 cita alguns preponderantes mecanismos de envelhecimento e deterioração de estruturas de concreto como: a lixiviação; a expansão por sulfato; a reação álcali-agregado. Em relação a mecanismos de deterioração a armaduras, a norma alude à

despassivação por carbonatação e por ação de cloretos. Existem também “mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita”, como relacionados “às ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação”, e outras ações que atuam diretamente sobre a estrutura em questão.

Os conceitos de durabilidade e vida útil estão conectados no contexto de deterioração estrutural. O conceito de durabilidade é definido por:

[...] expectativa de vida de um material sob determinadas condições ambientais. Geralmente, estruturas de concreto impermeável têm longa durabilidade. [...] Em geral, há uma relação entre resistência e durabilidade quando baixa resistência é associada com alta porosidade e alta permeabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Desempenho de uma edificação é definida como o comportamento em serviço de cada peça e/ou elemento. Ao se avaliar a perda total de desempenho original de projeto, onde suas propriedades foram prejudicadas de tal forma que sua utilização acaba sendo insegura e antieconômica, estabelece-se o fim de sua vida útil (SOUZA & RIPPER, 2009).

Segundo Silva (2016), vida útil é a quantificação da durabilidade que se supõe ser uma qualidade da estrutura, a qual pode também ser entendida como o período de tempo o qual a estrutura é capaz de desempenhar bem as funções para as quais foi projetada e ser possível de atender à novas solicitações.

A norma técnica brasileira a respeito de definições sobre o desempenho para os sistemas estruturais (ABNT NBR 15575-2:2013), apresenta os requisitos para a vida útil de um projeto estrutural nas seguintes condições:

[...] a estrutura principal e os elementos que fazem parte do sistema estrutural, comprometidos com a segurança e a estabilidade global da edificação, devem ser projetados e construídos de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizados conforme preconizado em projeto e submetidos a intervenções periódicas de manutenção e conservação, segundo instruções contidas no manual de uso, operação e manutenção, devem manter sua capacidade funcional durante toda a vida útil de projeto (ABNT NBR 15575-2:2013).

A necessidade de se adaptar a edificação e seus sistemas à novas demandas atuais (acessibilidade, desempenho energético, entre outras), como a preservação da matéria original, aspectos então relacionados à funcionalidade e materialidade, destacados por Allan

(2007), Prudon (2008), Macdonald (2009), e Moreira (2011), diferenciam a arquitetura do passado com a arquitetura moderna (LIMA, 2019).

2.2.1 DEGRADAÇÃO DO CONCRETO ARMADO

A *International Organization for Standardization* (ISSO, 2011) 15686-1 – *General principles and framework*, afirma que o desempenho em uso de uma edificação é baseado no “nível qualitativo crítico de uma propriedade em qualquer tempo, ou seja, correspondente ao comportamento em condições de serviço ou uso”.

A fim de se avaliar o desempenho de uma edificação, ao se investigar e analisar o comportamento em uso de uma edificação e seus sistemas, faz-se necessário estudar os requisitos de desempenho da edificação, ou seja, entender quais são as condições qualitativas das características que a edificação e seus sistemas necessitam possuir para atenderem aos requisitos de seus usuários e transeuntes, sendo assim, a devida segurança, habitabilidade e sustentabilidade (ABNT NBR 15575: 2013).

A degradação do concreto armado refere-se à redução do desempenho da edificação ou seus sistemas em decorrência aos agentes de degradação, os quais são definidos por estarem entrelaçados diretamente a tudo que atua sobre um sistema, seja ele parcial, ou como um todo.

A manifestação patológica em suma é definida como sendo a “expressão resultante da degradação identificada na edificação, podendo ser gerada durante a execução da obra, do projeto ou adquirida ao longo do tempo” (SENA et al., 2020).

Ademais, outro termo que consta na bibliografia sobre o assunto é “não conformidade” e “alteração”. A “não conformidade” que se manifesta em decorrência à um mecanismo de degradação, sendo também chamado como “dano”, é atribuída sempre à percepção humana de perda de valor. E o termo “alteração” para descrever a modificação do estado projetado da conservação (ICOMOS-ICS, 2010).

Não necessariamente a alteração do estado de conservação significa a uma piora das características da conservação, todavia, ao se tratar em elementos estruturais, essa relação seja preponderantemente diretamente interligada.

Assim sendo, as estruturas de concreto armado apresentam sinais de que algo está ocorrendo em seus elementos e que não deveria acontecer. A sintomatologia, “processo de identificação de efeitos produzidos por agentes agressivos”, consegue definir a origem, a causa, o mecanismo de ação e por fim, realizar a caracterização do diagnóstico da manifestação

patológica a fim de se prever as possíveis consequências das inconformidades dos elementos e seus sistemas. Por fim, ressalta-se que a interação da edificação e seus elementos estruturais com o meio ambiente possa ser do tipo físico, químico, biológico ou mecânico (SENA et al., 2020).

A seguir serão apresentadas as manifestações patológicas, ou seja, sintomas da degradação estrutural com maior incidência nas estruturas de concreto armado (SENA et al., 2020).

I. Bolor e manchas de umidade

Definição:

Formado por diversas colônias de fungos, tem como principais fatores de aparecimento a temperatura, o pH e a umidade. Se proliferam com um ambiente de elevada umidade, o qual pode ser dado através de umidade na obra, infiltrações, umidade proveniente do solo, condensação do vapor da água, umidade de vazamentos, pouca ventilação e baixa incidência de radiação.

Característica:

É formada uma camada de material de coloração esverdeada e depois progride para o marrom e preto. Interação com o meio ambiente: biológico e mecânico.

Possíveis consequências estruturais:

A presença de bolor indica elevado grau de umidade e presença de organismos vivos, podendo acarretar então em uma degradação feita por vegetação, a qual cresce através de pequenas fissuras e juntas de dilatação. Essa manifestação patológica também pode acarretar pelo seu ambiente úmido, a corrosão de armaduras.

Exemplo:



Figura 7 – Pilares com presença de manchas de umidade e bolor.
Fonte: Autora (2021).

II. Eflorescências

Definição:

As eflorescências e estalactites são formados na superfície de estruturas de concreto através do processo de lixiviação e dissolução de produtos solúveis, e remoção dos componentes hidratados da pasta de cimento.

Característica:

São caracterizadas como manchas brancas. As eflorescências são encontradas geralmente em estruturas em contato com água (ex: caixas d'água) ou em estruturas que estão sujeitas às infiltrações ou vazamentos (ex: fachada e áreas molhadas). Sua ocorrência é mais frequente em concretos de alta permeabilidade e fissuras. Interação com o meio ambiente: químico.

Possíveis consequências estruturais:

Além da presença de água, as eflorescências revelam a perda da alcalinidade da estrutura de concreto e, conseqüentemente, sua função de proteção às armaduras frente aos mecanismos de corrosão.

Exemplo:



Figura 8 – Sinais de eflorescência na laje do mezanino do ICC Norte.
Fonte: Autora (2021).

III. Fissuras/trincas

Definição:

São os primeiros sintomas que surgem em uma estrutura de concreto, podendo se manifestarem desde na época da obra até após anos de uso. É de suma importância diagnosticar a causa de sua origem. Através da sua configuração, abertura, posição, espaçamento e trajetória, torna-se possível indicar como foi causada. Têm suas origens pela sobrecarga, retração ou pela própria corrosão de armaduras.

Característica:

São aberturas na superfície do concreto que podem ser visualizadas a olho nu. De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, as aberturas nos concretos inseridos nas classes de agressividade¹ II e III (0,3 mm) e IV (0,2mm) são considerados aceitáveis. Interação com o meio ambiente: químico e mecânico.

Possíveis consequências estruturais:

A abertura das fissuras proporciona um maior meio de entrada de agentes agressivos como o dióxido de carbono e os íons de cloreto, proporcionando um aceleração do processo de corrosão de armaduras e degradação da estrutura.

Exemplo:



Figura 9 – Presenta de fissura na laje do mezanino do ICC Norte.
Fonte: Autora (2021).

IV. Ninhos de concretagem

Definição:

Ninhos de concretagem são definidos como segregações no concreto, sendo originados pela descontinuidade na concretagem à época da construção e ocasionados principalmente por lançamento e adensamento incorretos, dosagem inadequada e quantidade excessiva de armaduras.

Característica:

São vistoriados pelas falhas que formam na estrutura, ocasionando um vazio ou uma porosidade na pasta de cimento. Interação com o meio ambiente: físico.

Possíveis consequências estruturais:

¹ Classes de Agressividade Ambiental (CAA) é o parâmetro da exposição da estrutura ao ambiente. É através desta classificação que o projetista encontra na ABNT NBR 6118:2014, tabelas 1 e 2, o cobrimento de uma peça estrutural necessário para uma adequada correspondência entre a sua classe de agressividade ambiental e a sua devida proteção contra manifestações patológicas, como a corrosão.

As falhas ocasionam pontos de entrada para agentes agressivos, proporcionando a ocorrência do processo de degradação da estrutura.

Exemplo:



Figura 10 – Pilares com ninhos de concretagem.
Fonte: Autora (2021).

V. Corrosão de armaduras

Definição:

A corrosão de armaduras classifica-se como sendo um dos processos degradantes com maior incidência nas estruturas de concreto armado. Essa manifestação patológica se dá através de processo eletroquímico. O processo de corrosão de armaduras avança da superfície do concreto até a armadura. Por esta razão, o cobrimento do concreto se torna uma proteção física impedindo os agentes agressivos de entrarem em contato com a armação. O cobrimento de uma peça estrutural é definido através da Tabela 2 da ABNT NBR 6118:2014, em que se avalia a classe de agressividade ambiental com o cobrimento nominal.

Característica:

A corrosão localizada ocorre geralmente em ambientes em contato com íons agressivos e sua formação, torna-se favorável na presença de umidade e oxigênio. A corrosão generalizada ocorre em função da redução do pH do concreto.

Em ambas situações, as manifestações da corrosão se apresentam inicialmente no aparecimento de manchas superficiais amarronzadas, seguidas de expansões ocasionadas pela formação de óxi-hidróxidos, ocupando espaços geralmente maiores que a seção original

da barra de armadura. Seus dois principais agentes agressivos são despassivação por carbonatação² e por cloretos³.

Possíveis consequências estruturais:

A expansão das armaduras ocasionadas pela corrosão causa fissurações paralelas às barras longitudinais, além do deslocamento da camada superficial do concreto, redução da seção da barra, perda de aderência entre a armadura e o concreto, e em casos mais graves, pode ocasionar até o colapso da estrutura.

Exemplo:



Figura 11 – Pilares com presença de corrosão em suas armaduras.
Fonte: Autora (2021).

Neste item 2.2.1 do presente trabalho, foram agrupadas as manifestações patológicas mais relevantes nas referências bibliográficas acerca do tema da degradação do concreto armado, e as quais se relacionam de maneira mais significativa ao enquadramento da presente pesquisa.

2.3 INSPEÇÃO TÉCNICA PREDIAL COMO FERRAMENTA DE MANUTENÇÃO

A vida útil das estruturas de concreto também deve ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo: planejamento; projeto; fabricação de materiais; execução e principalmente durante a etapa de uso da estrutura, na qual são realizadas as operações de inspeções, monitoramento, manutenções e adaptações.

² A despassivação por carbonatação acontece quando a frente de carbonatação penetra todo o cobrimento do concreto (cobrimento nominal) e atinge as armaduras, prejudicando assim, a sua conservação e desempenho. Uma maneira de se avaliar a carbonatação do concreto é aplicar a fenolftaleína, onde regiões não carbonatadas apresentam coloração rosa e regiões carbonatadas não tem alteração de cor.

³ A despassivação por cloretos gera reações onde a liberação de seus íons reage com o ferro do aço das armaduras prejudicando assim, a conservação das armaduras. A presença de íons cloreto e a sua profundidade de penetração pode ser comprovada pela aspersão de nitrato de prata, onde sua presença é confirmada pela formação de uma área esbranquiçada no local.

A ABNT NBR 16747:2020 afirma que “inspeção predial é um processo que visa auxiliar na gestão da edificação e, quando realizada com periodicidade regular, contribui com a mitigação de riscos técnicos e econômicos associados à perda de desempenho”.

A ABNT NBR 5674:2012 configura a manutenção como uma ferramenta para garantia do desempenho mínimo requerido para os sistemas da edificação durante a sua vida útil. Motawa e Almarsha (2013) afirmam ainda que a manutenção está presente em toda a vida útil de qualquer objeto da construção civil.

Enfatiza-se a importância da necessidade de implantação de um programa de manutenção, com rotinas de inspeção e manutenção estabelecidas por profissionais responsáveis, sendo então possível a realização de uma gestão eficaz desse processo.

A Figura 12 demonstra a relação direta entre manutenção e desempenho estrutural (ABNT NBR 15575:2013). Conclui-se do gráfico que a perda que ocorre naturalmente do desempenho da edificação com o tempo de uso pode ser recuperada, não em sua totalidade, porém, parcialmente em intervalos regulares através de intervenções e ações de manutenções preventivas, corretivas e preditivas. Logo, um plano de manutenção adequado torna possível manter o desempenho mínimo solicitado ao edifício e seus elementos até o fim da vida útil de projeto (VUP).

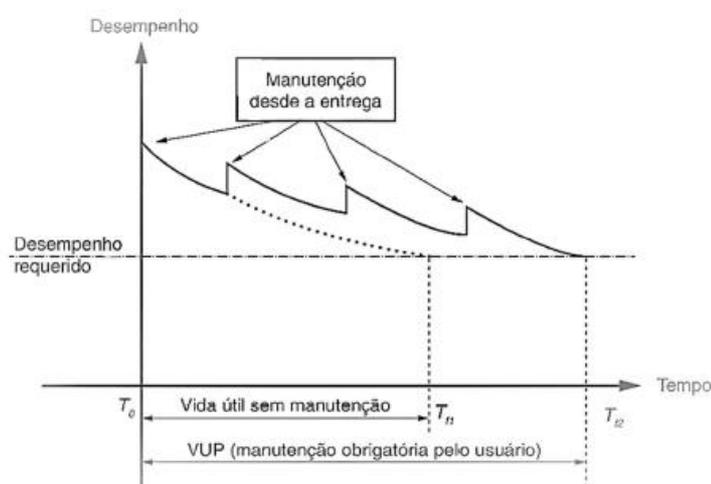


Figura 12 – Gráfico Desempenho x Tempo de uso
Fonte: ABNT NBR 15 575: 2013.

No âmbito de custos aos usuários de uma edificação, a Figura 13 relata a lei de evolução dos custos, onde é demonstrada a relação direta entre o tempo de ações de manutenções com o crescimento de reparos mais onerosos. Essa lei, conhecida também como Lei dos 5, revela

o crescimento dos custos de intervenções em função do tempo conforme uma progressão geométrica de razão cinco (HELENE, 1992).

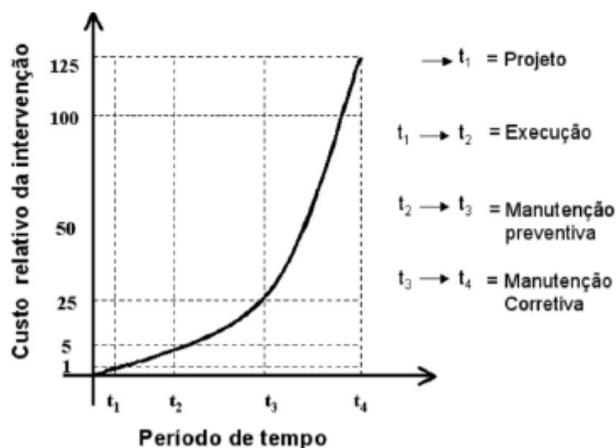
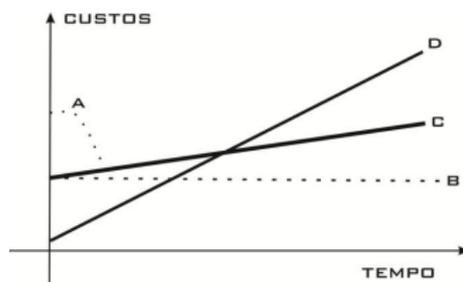


Figura 13 – Lei da evolução dos custos
 Fonte: Sitter (1984); apud Helene (1992).

Tutikian e Pacheco (2013) também reforçam o que a lei de Sitter impõe, ou seja, atribuem o custo para ações corretivas crescente para as etapas de planejamento, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva. Conclui-se que o gasto com a manutenção corretiva é 125 vezes maior que o gasto na etapa de planejamento (Figura 13).

Souza e Ripper (2009) também apresentam a relação dos custos variando de acordo com o tipo de sistema de manutenção, sendo manutenção preventiva caracterizada pela reta C e a manutenção corretiva pela reta A no gráfico representado pela Figura 14. Esses custos estão diretamente interligados e variam de acordo com a localização geográfica das obras, e, em particular, com o meio ambiente em que estas se inserem.



- A – Custo de reparação de defeitos originais de projeto ou construção.
- B – Custo fixo de um sistema de inspeções programadas.
- C – Custo de um sistema de manutenção estratégica, com base no resultado das inspeções programadas.
- D – Custo de manutenção esporádica, sem inspeções.

Figura 14 – Custo de estratégias de manutenção
 Fonte: Souza; Ripper (2016).

Segundo Vervloet (2018), a ausência de informações corretas sobre a edificação e realizações de manutenções sem critérios técnicos ou sua ausência, pode acarretar em anomalias e falhas, as quais tendem a resultar em prejuízos econômicos e até sinistros.

Pujadas (2007) apresenta graves problemas relacionados à falta de confiabilidade nos diagnósticos das avaliações técnicas, pois em muitos empreendimentos vistoriados há uma deficiência de diagnósticos, ou até mesmo a inexistência desses encontrados pelas equipes de manutenção, resultando assim, em ações corretivas ineficientes e retrabalhos contínuos.

Emerge então a necessidade de realização de inspeções regulares por profissionais habilitados, onde as inspeções prediais em conjunto com a manutenção das edificações irão atuar como ferramentas de garantir o desempenho mínimo requerido para a construção durante sua vida útil projetada e almejada pelos usuários (VERVLOET, 2018).

Na prática, a inspeção predial é uma avaliação com o objetivo de identificar o estado geral da edificação e se seus sistemas construtivos, observados os aspectos de desempenho, funcionalidade, vida útil, segurança, estado de conservação, manutenção, utilização e operação.

A ABNT NBR 5674: 2012 determina inspeção predial como sendo a avaliação do estado da edificação e de suas partes constituintes, realizada para orientar as atividades de manutenção.

O principal objetivo de uma atividade de inspeção predial ao final de inspeções, realizações de ensaios técnicos (caso seja necessário) e aferimento da provável causa de origem dos danos presentes é realizar um plano de manutenção com índices de prioridades, visando proporcionar aos donos e/ou representantes legais da edificação a tomada de decisão, a fim de garantir um trabalho mais eficiente e menos oneroso.

2.3.1. Inspeção Predial a nível internacional

O IBC (*International Building Code*), código do *International Code Council* (ICC, 2018) é uma norma regulamentadora utilizada amplamente nos estados norte-americanos atualizada anualmente. Esse código internacional de regulamentações técnicas para edificações baseia-se em prescrever requisitos de desempenho e normatizações técnicas para edificações.

Nos Estados Unidos tal como no Canadá, a inspeção predial classifica-se como pré-requisito em qualquer transação imobiliária, permitindo sempre a avaliação das condições físicas e o estado de conservação destas edificações aos seus usuários (VERVLOET, 2018).

Por conseguinte, as inspeções técnicas norte-americanas são realizadas por agentes governamentais periodicamente e fundamentadas no IBC, com o objetivo de fiscalizar o cumprimento das normas técnicas aos projetos de cada edificação. Após a corroboração do resultado positivo das inspeções periódicas em cada etapa inicial é que se resulta na licença para a execução de etapas subsequentes da obra (ICC, 2018).

Na Califórnia, o código de obras da cidade de São Francisco (San Francisco, 2014) exige a realização de inspeções técnicas periódicas em obras em andamento, tal qual em edificações existentes, sendo essas realizadas em intervalos de cinco anos por profissionais habilitados.

Vervloet (2018) fornece informações sobre diversos países e suas respectivas análises de obrigatoriedades e periodicidades de inspeções técnicas. A seguir é apresentado um resumo das principais vertentes de inspeções técnicas a nível global.

- França, Inglaterra e Japão:

É obrigatório obter seguro das edificações durante um período. A inspeção predial fornece o estado de conservação na contratação e renovação das apólices (HACIBALOGLU, 2003).

- Turquia:

Após desastres naturais em 1996 e 1999, foi implantado um sistema de inspeção predial desde a fase projeto. As inspeções são realizadas por empresas especializadas (HACIBALOGLU, 2003).

- Letônia:

Após sua entrada na União Europeia, em 2004, o país criou um sistema de inspeção predial atribuindo fatores de risco para quatro parâmetros: resistência mecânica e estabilidade; segurança em caso de incêndio; saúde, higiene e qualidade do ar; e acessibilidade e segurança no uso e operação (DRUKIS et al., 2017).

- Portugal:

Com o enfoque no tratamento de edificações com anomalias, o país criou o sistema *Construdoctor*, o qual oferece serviço de pré-diagnóstico online de defeitos em edificações, a fim de se auxiliar os responsáveis pela edificação e explicações básicas sobre as prováveis causas e definição de medidas corretivas (FERRAZ et al., 2016).

- Itália:

No âmbito da manutenção e restauração de edificações, o estudo desenvolvido no Politécnico de Milão pelo BEGroup (2004) gerou e disponibilizou online um catálogo de manifestações patológicas com o objetivo de apoiar o gerenciamento dos sistemas da edificação (FERRAZ et al.,2016).

- Singapura:

A inspeção periódica dos sistemas estruturais das edificações é obrigatória. O Governo é responsável por notificar os responsáveis dos edifícios para indicarem um profissional habilitado a conduzir a inspeção. As inspeções são guiadas por diretrizes disponibilizadas pelo Órgão Público. As inspeções dos sistemas estruturais contam com um aplicativo de celular contendo um checklist para proceder a inspeção (GOCANVAS, 2017).

- Austrália e Nova Zelândia:

Na Austrália (AS 4349.1, 2007; AS 4349.0, 2007) e na Nova Zelândia (NZS 4306,2005), existem normativos técnicos que guiam os procedimentos e escopo das inspeções visuais nas edificações. Possui foco também no auxílio de operações de compra e venda.

- Hong Kong:

A fim de se sanar a falta de comprometimento dos proprietários, os custos de inspeções e das manutenções, foi implantado pelo Governo no ano de 2012 o MBIS (*Mandatory Building Inspection Scheme*). O Governo seleciona edificações com base em critérios de riscos definidos, e as inspeções e os reparos são efetuados por empresas habilitadas em sistemas mais críticos, como estruturas e fachadas (HONG KONG, 2012).

Conclui-se que as atividades de inspeção predial em diferentes países e continentes, mesmo tendo divergências em algumas de suas características e fins diversos, convergem para o mesmo objetivo de se avaliar o estado de conservação dos elementos, baseado em normativas técnicas construídas a partir de estudos realizados *in locu* previamente de edificações e seus danos mais recorrentes em suas diversas variâncias, seja localidade da edificação, seja no tipo de empreendimento público ou privado.

2.3.2. Inspeção Predial a nível nacional

Acerca da construção civil no Brasil, recentemente foi estabelecida a lei nº 14.133/2021, conhecida como o “novo marco legal de licitações e contratos administrativos”. Essa lei brasileira refere-se a seguros de garantias de obras assumidas pela empresa contratada perante à contratante. Essa lei impõe valores maiores de garantias contratuais, de até 30%,

do valor inicial do contrato, quando esses são considerados de grandes custos, ou seja, valor estimado da obra a ultrapassar R\$200 milhões (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2021).

Em relação a inspeções técnicas, no âmbito nacional, a legislação federal encontra-se em fase de projeto, sob o PL nº 6.014 – 2013. Esse projeto de lei “determina a realização periódica de inspeções em edificações e cria o Laudo de Inspeção Técnica de Edificação (Lite)”. O CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, instância superior da verificação, fiscalização e aperfeiçoamento das atividades dos profissionais habilitados, participou de sua elaboração (VERVLOET, 2018).

A Tabela 1 a seguir expõe os registros de dados gerais e necessários para elaboração do Laudo de Inspeção Técnica de Edificação (Lite), a fim de se registrar a inspeção técnica em conformidade com as normas aplicáveis.

Tabela 1 – Informações básicas para elaboração do Lite

I – Nome e assinatura do responsável pelas informações, bem como seu número de registro no conselho profissional;
II – Descrição detalhada da edificação e de seus equipamentos, bem como a sua localização;
III – Ficha de vistoria da edificação, na qual serão registrados: a) aspectos de segurança e de estabilidade estrutural geral; b) existência e o estado de marquises e elementos de revestimento de fachadas; c) condições de impermeabilização, inclusive das coberturas; d) condições das instalações elétricas, hidráulicas e de combate à incêndio, incluindo extintores, elevadores, condicionadores de ar, gases e caldeiras; e) revestimentos internos e externos; f) manutenção de forma geral; e g) identificação dos pontos da edificação sujeitos à manutenção, preventiva ou corretiva, ou a substituição, conforme o caso;
IV – parecer técnico, identificando a situação da edificação como: a) normal; b) sujeita a reparos; ou c) sem condições de uso;
V – indicação das soluções de reparo ou de conservação da edificação, inclusive de seus elementos complementares, quando ocorrer a hipótese b) do item IV.

Fonte: Brasil, PL 6.014, Art 6 (2013).

Segundo Vervloet (2018), o escopo da PL nº 6.014 caracteriza-se como um escopo muito amplo, dificultando então a padronização de um método de inspeção predial consistente a nível nacional. A dificuldade dessa padronização baseia-se nos diferentes tipos necessários de condução de inspeção, equipe técnica e ferramental, além do correto registro no Lite.

Em relação à outras regulamentações na área de infraestrutura da construção civil, no Brasil existe como referências as normas de inspeção de barragens (Manual de Inspeção de

Barragens do Ministério da Integração Nacional, 2010; ABNT NBR 9452: 2016) e a norma sobre inspeção de pontes (Ministério dos Transportes, DNIT 010, 2004).

Em contrapartida a esta precariedade de legislação a nível nacional, o país contém decretos e leis de municípios que já regulamentam a inspeção predial, como: a Lei 5.907, 2001; Lei 9.913, 2012; e a Lei 8.992, 2016 (VERVLOET, 2018).

A Norma de Inspeção Predial Nacional IBAPE (2012) e a ABNT NBR 16747:2020 atuam como referência técnica nas verificações destas atividades de inspeções prediais em municípios e regiões brasileiras. Todavia, vale ressaltar que existe a necessidade de complementação das exigências feitas dessas normas com diretrizes normativas que possam proporcionar a aplicação unificada e em âmbito nacional, amparada então pela PL nº 6.014.

2.4 MÉTODOS DE INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO

Através da formulação da revisão da literatura sobre os assuntos “metodologias de inspeção” e “degradação de estruturas de concreto” em plataformas de busca de produções científicas como SciELO, Orcid, portal da CAPES, BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações) e ScienceResearch, os métodos abordados nos tópicos de 2.4.1 a 2.4.4 a seguir foram constatados como sendo formas de avaliação da degradação de estruturas de concreto amplamente disseminadas no âmbito acadêmico, podendo serem também entrelaçadas no âmbito profissional.

Cada abordagem metodológica será apresentada com suas formulações mais recentes e serão pontuadas suas características positivas, como também suas possíveis falhas.

2.4.1 FMEA/FMECA – Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade

O método FMEA (Análise de Modos de Falha e seus Efeitos) é definido pela norma BS EM 60812:2006 – *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis –FMEA*, sendo uma metodologia aplicada à avaliação do estado de conservação. O FMEA é então considerado um procedimento sistematizado para análises de objetos de estudo, através da identificação dos modos de falha potenciais, suas causas e danos.

Os modos de falhas potenciais referem-se à perda de funcionalidade de um objeto ou sistema, causado por falhas em seus componentes, tendo como resultado final danos os quais são percebidos no modo que se manifestam e que são notados à percepção do usuário. Isto posto,

os modos de falha podem ser representados como as manifestações patológicas em uma edificação (ABNT, 1994; SAKURADA, 2001; ABNT, 2013; ZANONI; BUSON, 2015; LIMA, 2019).

O método FMECA (Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade) foi desenvolvido a partir do FMEA, sendo considerado assim uma extensão desse. O FMECA foi criado pelo Departamento de Defesa Norte Americano no final da década de 1940, constituindo-se como uma metodologia de análise de risco indutivo, utilizado para avaliações do estado de conservação, voltado a inspecionar os danos observados, seus mecanismos de degradação e os agentes envolvidos.

Segundo Silva, Fonseca e Brito (2006), o FMECA foi amplamente utilizado na década de 1960 pelas agências de pesquisas aeroespaciais e em 1970 utilizado pela *Ford Motor Company*, com o objetivo de analisar os riscos de produção a partir de falhas previamente observadas presentes e indiciosas, e assim, minimizar os prejuízos que possam a vir surgir no sistema produtivo.

A metodologia FMECA considera além dos modos das falhas e seus danos, também a frequência de ocorrência, o nível de gravidade ou o grau de risco e a probabilidade de detecção dos modos de falha, sendo possível assim, calcular e definir uma hierarquização do risco do objeto de estudo (ABNT, 1994; SAKURADA, 2001).

Um dos produtos do método FMECA é a elaboração da matriz de criticidade (historicamente formulada pela norma norte-americana Military Standard-1629A em 1980), que consiste em uma ferramenta visual a qual auxilia a identificação e comparação entre ocorrências vistoriadas em inspeções (MILITARY STANDARD, 1980; MACHADO, 2013; ZANONI; BUSON, 2015).

A matriz de criticidade dá-se pelo resultado do Número de Prioridade de Risco (NPR), o qual define a prioridade da falha pela multiplicação entre o índice de ocorrência (O), pelo índice de severidade (S) e índice de detecção (D). O Número de Prioridade de Risco pode ser determinado pela

Equação 1 dada por:

$$\text{NPR} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

NPR - Número de Prioridade de Risco;

S – Índice de severidade: refere-se à gravidade do efeito do modo de falha na funcionalidade do sistema;

O – Índice de ocorrência: refere-se à frequência ou à probabilidade de a falha ocorrer;

D – Índice de detecção: refere-se à facilidade de se detectar uma falha.

Destaca-se assim, que esta avaliação crítica dos efeitos dos modos de falha, tendo como um dos produtos a matriz de criticidade, gera então, a possibilidade de elaboração de hierarquização de riscos, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 15 a seguir.

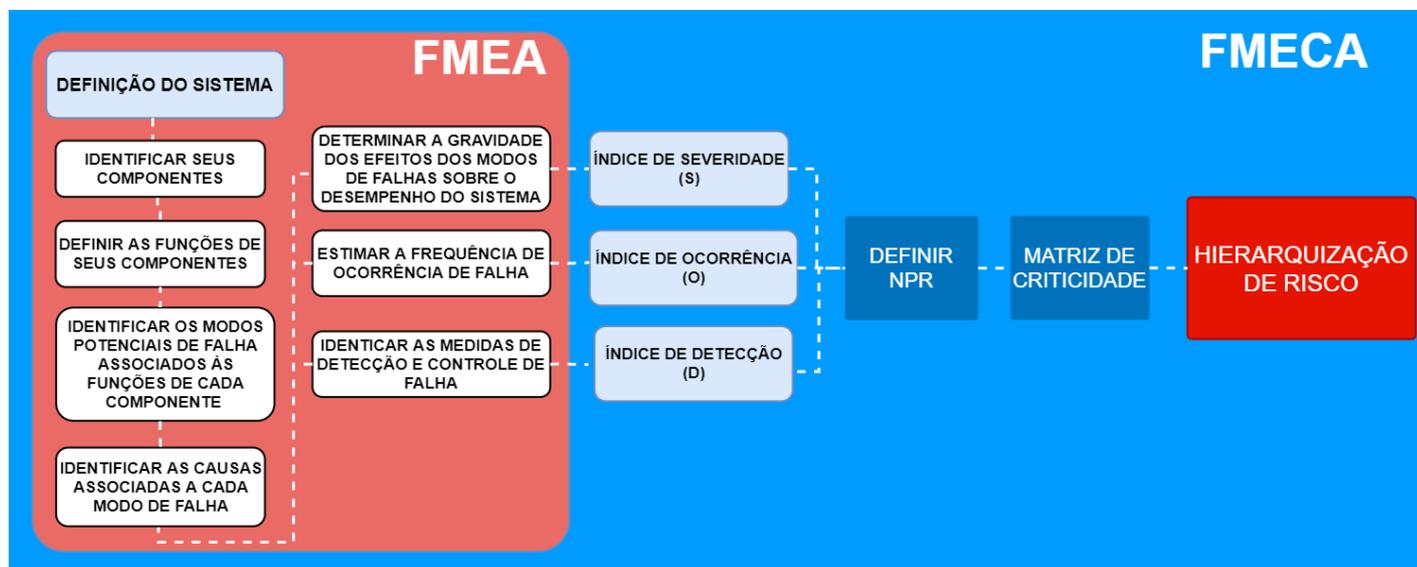


Figura 15 - - Métodos de análise dos modos de falha (FMEA) e sua criticidade (FMECA)

Fonte: adaptado de Lima (2019).

Após o cálculo do NPR e sua análise, é possível hierarquizar as prioridades de ações de manutenção preventiva de cada elemento integrante do sistema, reduzindo-se os efeitos atribuídos aos modos de falha (MACHADO, 2013; ZANONI; BUSON, 2015).

A utilização da matriz de criticidade como ferramenta visual para avaliações da criticidade de danos nos elementos pode ser observada nas pesquisas de Machado (2013), Zanoni e Buson (2015), Blumenshein et al. (2015) e Lima (2019).

A pesquisa de Machado (2013) baseou-se na avaliação do desempenho de sistemas de um edifício hospitalar, tendo como parâmetros de avaliação os riscos que foram classificados em aceitável, tolerável e intolerável segundo a criticidade de cada (Figura 16).

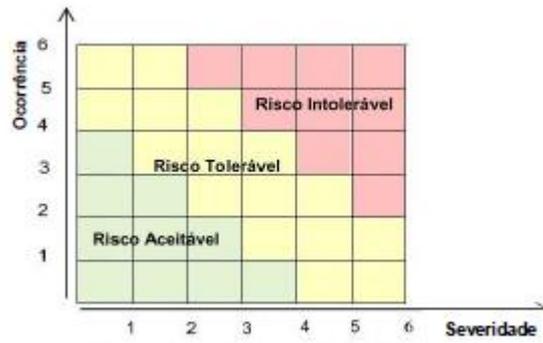


Figura 16 – Matriz de criticidade
 Fonte: Machado (2013).

O trabalho de Machado (2013) apresentou êxito na utilização da matriz de criticidade no objetivo de criação de um plano de manutenção preventiva resultante das análises dos modos de falha no âmbito de uma análise de riscos e suas consequências.

A pesquisa de Zanoni e Buson (2015) utilizou-se da aplicação do método FMECA e seu produto, a matriz de criticidade, para avaliar a qualidade construtiva de edificações de um programa governamental, inspecionando-se a umidade e os danos causados por esse agente de degradação (Figura 17).

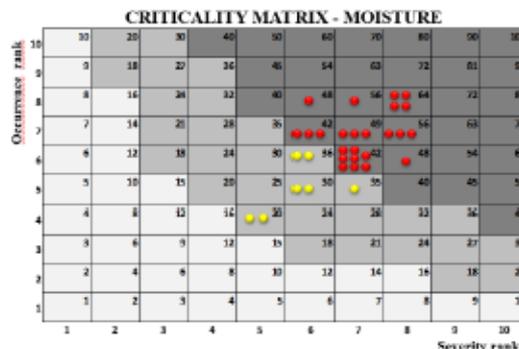


Figura 17 – Matriz de criticidade de umidade
 Fonte: Zanoni; Buson (2015).

O trabalho de Zanoni e Buson (2015) concluiu que a partir da amostra de 31 exemplares de unidades habitacionais escolhidos aleatoriamente de habitações de interesse social, ou seja, a matriz de criticidade permitiu identificar os percentuais de ocorrência de cada classe de risco, além de visualizar a evolução dos efeitos das falhas durante o tempo. Ademais, o NPR permitiu a classificação de risco, ajudando assim, nas decisões de planejamento para ações de intervenção.

O estudo de Zanoni e Buson (2015) conclui também que a matriz de criticidade, além de ser um recurso visual para registro das ocorrências, facilita também a análise quantitativa e

qualitativa dos danos causados pelos agentes de deterioração (no caso, a umidade), tornando-se uma ferramenta viável para avaliar a qualidade construtiva.

Na perspectiva da durabilidade, o método proposto e utilizado permitiu priorizar o nível de importância da situação *in locu*, baseando-se na frequência e na gravidade das falhas vistoriadas, tornando a matriz de criticidade um instrumento capaz de registrar o comportamento das habitações construídas.

Por fim, a pesquisa demonstrou que em caso de empreendimentos subsidiados pelo governo, o método proposto torna-se uma importante ferramenta de controle da qualidade, visando as garantias legais dos usuários e responsabilidades técnicas das construtoras. Ressalta-se que o método pode utilizar outros parâmetros de qualidade construtiva, como trincas, deformações, deslocamentos, dentre outros (ZANONI; BUSON, 2015).

A pesquisa de Blumenshein et al. (2015), através de inspeções também em unidades habitacionais populares, verificou falhas e danos, tipologias, localizações e extensões além de registrarem ocorrências dos danos em registro fotográfico *in locu*. As manifestações patológicas mencionadas como parâmetros para as avaliações da degradação das unidades foram as trincas, deformações e umidade, buscando sempre identificar os danos que comprometeram a integridade estrutural e a estanqueidade das unidades habitacionais.

Após a identificação e caracterização da situação objeto de estudo nas inspeções, foram realizadas análises de causa-efeito, onde os dados obtidos para cada verificador permitiram avaliar a situação encontrada. Cada indicador mencionado foi avaliado de acordo com as evidências, a frequência de ocorrência e a severidade dos danos. Em suma, os indicadores de trinca, deformação e umidade foram utilizados como parâmetros a fim de se determinar o Número da Prioridade de Risco. A Figura 18 a seguir ilustra a matriz de criticidade obtida pela avaliação da umidade nas unidades habitacionais populares (BLUMENSHEIN et al, 2015).

grau de risco - umidade

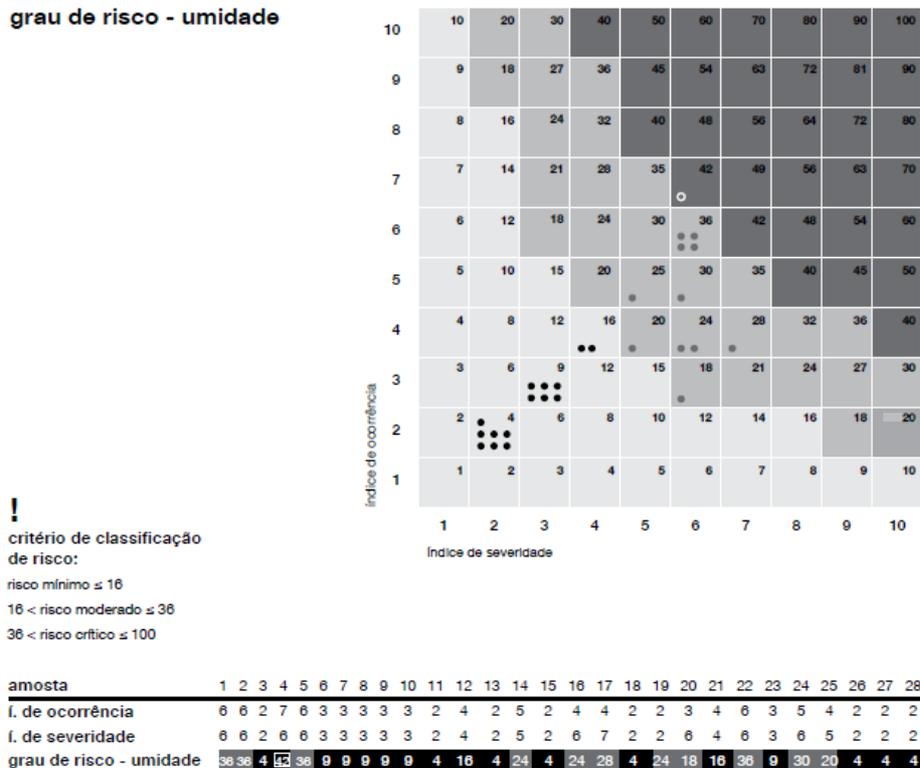


Figura 18 – Matriz de criticidade resultante da avaliação da umidade
 Fonte: Blumenshein et al. (2015).

A partir das análises realizadas sobre matrizes de criticidade resultantes da aplicação da metodologia FMECA citadas anteriormente, Lima (2019) com o intuito de propor um método de investigação e de monitoramento do estado de conservação para sistema de fachadas em mármore, produziu em sua pesquisa matrizes de criticidade para cada dano inspecionado em seu objeto de estudo (fachadas de mármore do Congresso Nacional), relacionando os índices de severidade (S) e de ocorrência (O).

Os parâmetros de manifestações patológicas de Lima (2019) avaliados como mais críticos foram principalmente relacionados à ocorrência de eflorescência, fissura contínua e desgastes na superfície.

A pesquisa de Lima (2019) concluiu que a ferramenta de avaliação utilizada em seu objeto de estudo provou ser um procedimento sistematizado para investigar e monitorar o estado de conservação, tendo assim, êxito nos objetivos propostos do trabalho. Para mais, a pesquisa contribuiu com a agregação à discussão sobre a conservação de um edifício e seus sistema de fachada, interligando outras disciplinas relacionadas ao material mármore, sendo estudos de durabilidade e do estado de conservação do patrimônio e monitoramento sistematizado de bens culturais.

A Figura 19 a seguir ilustra uma análise de criticidade de uma das fachadas analisadas do Congresso Nacional – Fachada Noroeste (LIMA, 2019).

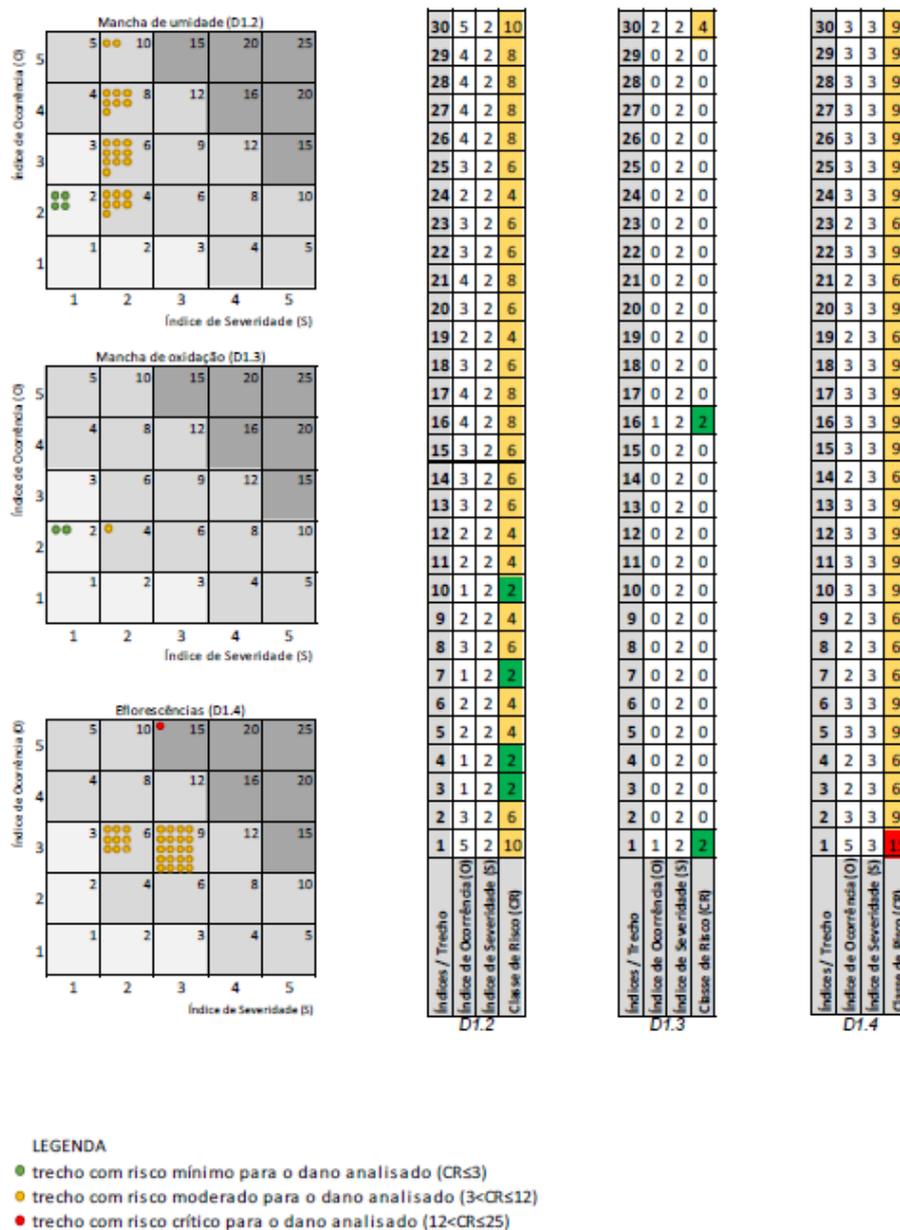


Figura 19 – Matrizes de Criticidade para a Fachada Noroeste do Congresso Nacional

Fonte: Lima (2019).

As matrizes de criticidade de Lima (2019) se mostraram importantes ferramentas de leitura de dados obtidos nas inspeções técnicas, sendo possível o acompanhamento visual da evolução dos danos vistoriados ao longo dos anos de uso da edificação. A conclusão final dada pelas matrizes de criticidade demonstrou que o risco no caso em estudo foi moderado, resultado o qual foi confirmado com análises e estudos estatísticos também realizados sobre o sistema em questão.

Além de ser considerada uma ferramenta de avaliação, a FMEA/FMECA é utilizada como ferramenta de gestão em elementos da construção civil para hierarquização de tomadas de ações.

Entre outras aplicabilidades na construção civil, o método foi utilizado por diversos pesquisadores realizando estudos relacionados às avaliações qualitativas e quantitativas de parâmetros vinculados à degradação de sistemas e também a uma ferramenta de gestão. Entre os pesquisadores encontram-se: Rotondaro (2002); Silva, Fonseca e Brito (2006); Cruz (2013); Cupertino e Brandstetter (2015); Silva e Monteiro (2016); Khan et al. (2017); Oliveira (2018); e Maia (2019).

Rotondaro (2002) com o objetivo de desenvolver um método como forma de prevenção à ocorrência de falhas durante a produção dos serviços a partir da técnica FMEA, elaborou o método SFMEA (Análise do Efeito de Modo de Falha em Serviços). Em seu trabalho, concluiu-se que apesar de dificuldades encontradas em determinar conceitos e valores para as falhas potenciais na prestação de serviços, a aplicação da ferramenta demonstrou ser efetiva na priorização dos pontos críticos urgentes para receberem ações preventivas.

Além disto, Rotondaro (2002) concluiu que a partir da aplicação das ações preventivas, o método baseado na análise do efeito de falhas pode ser utilizado como ferramenta a fim de se dar continuidade a um ciclo de melhorias em uma empresa, característico de sistema de gestão voltado à melhoria de qualidade e satisfação do cliente ou usuário.

Silva, Fonseca e Brito (2006) com o objetivo de apresentar os princípios do método qualitativo FMEA e semiquantitativo FMECA, realizaram uma pesquisa sobre a aplicabilidade do FMEA durante a fase de planejamento da manutenção do edifício. Concluiu-se que a associação das técnicas de fiabilidade integradas no âmbito de investigação da vida útil de componentes de edifícios juntamente com aspectos de ciclo de vida é possível de se aplicar para avaliações no país.

Na pesquisa de Silva, Fonseca e Brito (2006) são expostas as vantagens e limitações do método FMECA. Em relação às vantagens, o método trata-se de uma ferramenta que pode ter aplicação transversal a todas as fases de uma edificação - concepção, projeto, construção e exploração. Além do mais, caracteriza-se como possível vantagem a reflexão fundamentada sobre os meios de detecção, prevenção e mitigação dos efeitos vistoriados (estados de funcionamento, modos de falha e efeitos). Todavia, sua limitação baseia-se na sua principal restrição resumida pela morosidade consequente dos custos de aplicação.

Cruz (2013) analisou dados sobre a severidade, seus possíveis custos e complexidade de intervenções das manifestações patológicas vistoriadas por meio da ferramenta FMEA. Seu trabalho obteve um melhor entendimento sobre a prioridade dos riscos nas assistências técnicas no momento de pós-obra.

O trabalho de Cruz (2013) concluiu que a análise FMEA possibilitou a verificação de que 49% das solicitações possuem grau de prioridade de risco baixo e sua utilização também resultou em uma tabela dinâmica de gerenciamento de registros de solicitações de assistências técnicas, sendo assim, fonte rica de informação e dados que quando registrados de forma correta, agregam na redução dos custos de manutenções e satisfação do cliente, além de melhorias em empreendimentos futuros.

Cuppertino e Brandstetter (2015) realizaram um estudo com o objetivo de apresentar a construção, aplicação e validação da metodologia proposta FMEA como ferramenta de gestão a partir de registros de solicitação de assistência técnica. A pesquisa concluiu que, após a análise de mais de 3.000 dados que permitiram uma análise discriminativa por categorias de serviços, o método possibilitou o estudo das origens de manifestações patológicas, onde validou-se a ferramenta eletronicamente para gestão dos dados de assistência técnica.

A pesquisa de Cuppertino e Brandstetter (2015) concluiu que a utilização do método FMEA permitiu identificar e categorizar solicitações e suas prioridades de risco. Por fim, a pesquisa contribuiu para a minimização da lacuna do conhecimento sobre a validação de ferramentas de avaliação e retroalimentação de dados para as demais etapas do processo construtivo.

Silva e Monteiro (2016) tendo como objetivo utilizar ferramentas de gestão da qualidade para auxiliar na detecção e controle de possíveis manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, combinaram e aplicaram duas ferramentas de análise qualitativa, FMEA e FTA (Análise da Árvore de Falhas), baseadas em falhas e causas.

Silva e Monteiro (2016) utilizaram como parâmetros de avaliações as trincas vistoriadas *in locu*. Concluiu-se que o método proposto teve êxito como ferramenta de gestão, configurando-se como importante instrumento para a análise sistêmica de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. Em consequência, a pesquisa teve como produto final um plano de ação baseado na criticidade das manifestações patológicas vistoriadas em estruturas de concreto armado do Aeroporto Internacional de Recife.

Khan et al. (2017) implementaram o método FMECA como ferramenta de análise de criticidade e simulação de eventos, a fim de se avaliar riscos, vulnerabilidades e medir o impacto das interrupções da cadeia de fornecimento do concreto pré-misturado. Através de entrevistas com fornecedores e clientes, a pesquisa resultou em uma ferramenta de gestão que foi representada pela formulação de um método sistemático, o qual pode ser aplicado pelos próprios fornecedores a fim de se obter uma melhoria no planejamento e entrega do concreto usinado.

Oliveira (2018) avaliou o estado de conservação das residências provenientes do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) qualitativamente e quantitativamente através da aplicação da metodologia FMEA. Foram coletados registros de ordens de serviço de seis residências escolhidas aleatoriamente do PMCMV, localizados nos municípios de Moju, Abaetetuba, Paragominas e Ananindeua do estado do Pará, avaliando-se ao todo 40 manifestações patológicas.

A pesquisa de Oliveira (2018) concluiu que partindo do princípio que a aplicação do FMEA é pouco aplicada na indústria da construção civil, foi necessária a adaptação da metodologia para que se fizesse cumprir o uso da ferramenta como proposta de índices específicos para aferição de risco das manifestações patológicas. O resultado da aplicação do método contribuiu satisfatoriamente para o avanço nas análises dos dados coletados dos processos envolvidos de obra, contribuindo na proposta de uma ferramenta integrada para a gestão da qualidade na entrega do produto final.

Mais recentemente, Maia (2019) com o foco de avaliar as principais manifestações patológicas encontradas na Câmara Municipal de Mossoró, utilizou-se de uma adaptação metodológica da ferramenta FMECA para a análise do estado de conservação dos pilares e das paredes de alvenaria.

O trabalho de Maia (2019) concluiu que, juntamente com inspeções visuais e realizações de ensaios não destrutivos, foi possível a concepção de uma ficha avaliativa identificando o grau de prioridade de risco de cada pavimento da edificação. Ressalta-se que a maioria das manifestações patológicas vistoriadas se relacionavam à umidade. Concluiu-se também que o método permitiu e agregou às tomadas de ações e quais efeitos levaram as causas dos problemas identificados, sendo então recomendadas ações para seus devidos reparos.

A partir do panorama da utilização dos métodos FMEA/FMECA exposto, é possível concluir que a ferramenta de extensão FMECA é composta por análises tanto qualitativas como quantitativas. Essa característica baseia-se tanto na etapa de levantamento de dados como

histórico, físico e fotográfico do objeto de estudo como na existência do cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR) e a classificação do risco (aceitável, tolerável e intolerável), de acordo com o resultado da área calculada pelos eixos de ocorrência e severidade.

O método FMECA tem como principal característica positiva a elaboração das matrizes de criticidade. Analisando-se os resultados de sua aplicação em elementos os quais apresentam algum tipo de dano, a matriz de criticidade pode ir além da caracterização de prioridade de ações preventivas e já apresentar ao avaliador, um plano de ações corretivas hierarquizado de acordo com os respectivos graus de criticidade dos elementos vistoriados.

Uma possível falha da aplicação do método FMECA é sua característica de aplicabilidade árdua e fatigante devido à vagarosidade de sua aplicação e análise, e assim, consequentemente, um provável maior custo de realização.

2.4.2 Metodologia GDE (2007)

A metodologia GDE (Graus de Danos das Estruturas/Universidade de Brasília), ferramenta a qual proporciona a quantificação das manifestações patológicas e suas evoluções, visando a priorizar ações de manutenções, foi criada por Castro (1994) e tem como principal objetivo avaliar o estado físico das estruturas de concreto.

Esta ferramenta de avaliação foi remodelada por Lopes (1998), onde modificou-se a fórmula do grau de danos das estruturas em um sistema de manutenção predial para estoques de edifícios; por Boldo (2002), o qual aplicou o método de investigação em estruturas de concreto armado; e por Fonseca (2007), o qual através de seu estudo de avaliação da situação física do Instituto Central de Ciências (ICC) da UnB, acabou aprimorando o método para elementos de concreto, como ferramenta de inspeção para avaliação quantitativa do respectivo grau de deterioração.

Em relação à adaptação mais usual da metodologia GDE em edificações, modelação de Fonseca (2007), a Figura 20 apresenta o fluxograma usual em sua última atualização não parametrizada sobre análise de estruturas de concreto armado convencional.

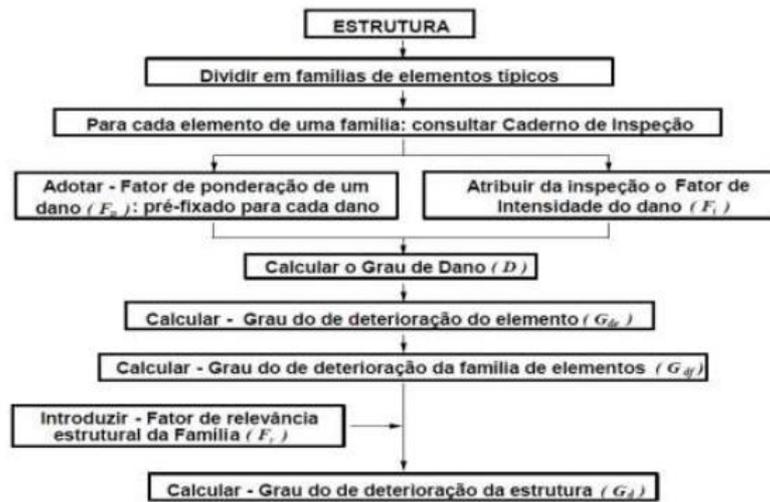


Figura 20 - Fluxograma da metodologia GDE.
 Fonte: Castro (1994).

A primeira etapa desta modelagem é a divisão em família de elementos: pilares, vigas, vigas secundárias, lajes, elementos de composição arquitetônica e escadas/rampas.

A segunda etapa é determinar alguns fatores característicos: o fator de ponderação (Fp), podendo variar de 0 a 5; onde avalia-se consequências patológicas em relação à estética, funcionalidade e estabilidade de determinado elemento utilizando-se as tabelas já estabelecidas pela bibliografia de Fonseca (2007).

A terceira etapa é identificar o fator de intensidade (Fi), o qual varia entre 0 a 4, onde: 0 = sem lesões, 1 = lesões leves, 2 = lesões toleráveis, 3 = lesões graves e 4 = estado crítico.

A quarta etapa baseia-se em calcular as seguintes formulações:

- Grau do Dano (D):

$$D = 0,8 F_i F_p, \text{ para } F_i \text{ menor ou igual a } 2,0 \text{ ou } D = (12F_i - 28)F_p \text{ para } F_i \text{ maior que } 2,0.$$

- Grau de danos das estruturas (Gde):

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

(Equação 2)

Onde:

Gde: Grau de deterioração de um elemento estrutural;

Dmáx: Maior grau de dano no elemento;

m: Número de danos detectados no elemento;

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

Após o cálculo do Gde, é possível determinar o nível de deterioração da peça estrutural e suas respectivas ações a serem adotadas utilizando a Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Classificação do nível de deterioração de um elemento

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

Fonte: Fonseca (2007).

- Grau de Deterioração de uma Família de elementos (Gdf):

São classificados apenas elementos com Gde maior ou igual a 15, ou seja, um nível de deterioração de valor superior ou médio.

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

(Equação 3)

Onde:

Gdf: Grau de deterioração de uma família de elementos;

Gdemax: Grau de deterioração máxima do elemento;

Gde(i): Grau de danos das estruturas de ordem (i).

- Fator de Relevância Estrutural (Fr):

Para as famílias em conjunto, aplica-se o Fr (Tabela 3) com o objetivo de considerar a importância relativa das diversas famílias que subdividem a estrutura, quanto ao comportamento e desempenho da mesma.

Tabela 3 - Fatores de Relevância Estrutural

Famílias em Conjunto	Fatores de Relevância Estrutural (Fr)
Elementos de composição arquitetônica.	1,0
Reservatório superior.	2,0
Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de dilatação.	3,0
Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários.	4,0
Vigas e pilares principais.	5,0

Fonte: Fonseca (2007).

- Grau de Deterioração da Estrutura (Gd):

Considera-se o fator de relevância de cada família, conforme a Tabela 2 anterior, e o grau de deterioração da família, de acordo com a equação a seguir:

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k F_{r(i)} G_{df(i)}}{\sum F_{r(i)}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

Gd: Grau de deterioração global da estrutura;

k: Número de famílias de elementos presentes na edificação;

Fr: Fatores de Relevância Estrutural

Gdf: Grau de deterioração de uma família de elementos.

Por fim, aplica-se o resultado Gd na Tabela 4, determinando então o nível de deterioração da estrutura como um todo e as ações de manutenção a serem adotadas.

Tabela 4 - Classificação do nível de deterioração da estrutura

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

Fonte: Fonseca (2007).

Conforme indicado no início deste tópico, a metodologia GDE foi utilizada por diversos pesquisadores, sendo reformulada através dos anos. Os estudos estão sempre relacionados diretamente às avaliações quantitativas de parâmetros vinculados à degradação do estado de conservação. Entre os principais trabalhos de sua formulação não parametrizada, além de Castro (1994), Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007), encontram-se também: Moreira (2007); Silva (2008); Euqeres (2011); e Verly (2015).

Castro (1994) propôs um método para manutenção predial estabelecendo critérios de quantificação para o grau de deterioração dos elementos isolados e da estrutura como um todo. Foram utilizados parâmetros que consideram as manifestações patológicas mais frequentes de danos, sua evolução e a influência do meio ambiente em que lajes, vigas e

pilares dos objetos de estudo (edificação escolar pública e edificação residencial). Como conclusão, a sua pesquisa obteve êxito em atingir o seu principal objetivo: a criação de um programa eficiente de manutenção periódica.

Lopes (1998) aperfeiçoou o sistema de manutenção predial denominado Siscop, desenvolvido pelo Banco do Brasil (1989), tendo como referencial, a metodologia GDE desenvolvida por Castro (1994). Lopes modificou a fórmula do grau de danos das estruturas. Os testes com a formulação resultante de seu trabalho, aplicado em seis edifícios do Banco do Brasil, apresentaram êxito na eficiência e utilidade para a manutenção de grandes estoques de edifícios.

O trabalho de Boldo (2002) teve como objetivo aplicar a metodologia GDE e quantificar o grau de deterioração das estruturas de edificações de diferentes ocupações no âmbito do Exército Brasileiro. Realizou-se uma análise quantitativa de estruturas de concreto armado nas edificações. Concluiu-se que os resultados das aplicações em 40 estruturas inspecionadas demonstrou o grande potencial do método e constatou que a situação do estoque de edificações do Exército à época, em geral, encontrava-se em boas condições.

Fonseca (2007) avaliou a situação física da estrutura de concreto do Instituto Central de Ciências (ICC), visando, além de caracterizar o sistema por meio de documentos e depoimentos, investigar a sua estrutura física e respectivo grau de deterioração de seus elementos estruturais (os pilares externos e internos, vigas transversais de cobertura e elementos curvos), através da metodologia GDE. Ademais, analisou-se estruturalmente a cobertura do ICC (vigas transversais), utilizando o programa computacional SAP/200, tencionando a verificação da influência das variações de temperatura com o comprimento das vigas e natureza dos apoios.

A pesquisa de Fonseca (2007) traz como principais e mais relevantes objetivos específicos o aperfeiçoamento e reformulações da metodologia GDE, desenvolvido por Castro (1994) e o programa de intervenção da estrutura em concreto aparente do ICC. Em relação aos métodos de avaliação, conclui-se que existem poucas recomendações presentes em normas que permitem quantificar o nível de deterioração de uma estrutura.

Ademais, Fonseca (2007) concluiu que mesmo alguns órgãos públicos desenvolvendo novos métodos de inspeção e manutenção, nota-se a despreocupação em diminuir a subjetividade dos resultados. Em relação às reformulações propostas à metodologia GDE, observou-se que estas novas propostas refletem com maior precisão o estado de deterioração das estruturas.

Diversas pesquisas foram desenvolvidas no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da UnB, tais como Moreira (2007), Silva (2008) e Soares (2017), todos avaliando monumentos arquitetônicos de Brasília (Palácio da Justiça, Monumento a Caxias, Teatro Pedro Calmon e Torre de TV Digital).

Moreira (2007) avaliou as condições da estrutura do Palácio da Justiça focando os aspectos de segurança, funcionalidade, durabilidade e estética. O resultado da avaliação quantitativa estrutural (pilares, brises, vigas, lajes, cortinas, reservatórios superiores) e elementos arquitetônicos utilizando a metodologia GDE, concluiu um estado de deterioração crítico ($G_d > 60$), não sendo compatível com o grau de aceitabilidade para uma edificação pertencente a um patrimônio cultural da humanidade.

O trabalho de Moreira (2007) apresentou como conclusão uma proposta de estratégia para a implantação de um programa de manutenção, visando a restauração de níveis aceitáveis de desempenho e assim, prolongar a vida útil da estrutura do Palácio da Justiça.

Silva (2008) produziu um conjunto de textos para registro da Engenharia de Brasília, analisando as estruturas de concreto do Monumento a Caxias e do Teatro Pedro Calmon (pilares, cortinas, vigas, escadas, casca e lajes). Realizada uma análise do projeto estrutural através do SAP-200, aplicou-se também a metodologia GDE com o objetivo da análise quantitativa da degradação das estruturas de concreto armado convencionais na modulação de Fonseca (2007). O resultado concluiu a eficácia da metodologia, onde foi possível visualizar a preocupante ausência de manutenção rotineira visando a preservação das estruturas específicas.

Soares (2017) avaliou as condições da estrutura de concreto, seja estrutural, ou elementos arquitetônicos (fuste, braços, pilares, junta de dilatação, vigas, lajes, escada, rampas, bloco fundação, lojas e apoio, cortina e reservatórios) da Torre de TV Digital de Brasília. Teve como foco os aspectos de segurança, funcionalidade, durabilidade e estética.

A pesquisa de Soares (2017) utilizou-se do programa SAP2000 para avaliar o desempenho da estrutura realizando uma análise numérica computacional. Foram vistoriadas manifestações patológicas como manchas, falha de concretagem e infiltrações. A pesquisa teve como conclusão que o monumento necessita de manutenções corretivas devido à alguns elementos (lajes) se encontrarem em nível alto de deterioração, além de serem necessárias medidas de ações preventivas de longo prazo.

Já no âmbito de estudos de estruturas não convencionais, a metodologia GDE também vem sendo utilizado, tal como verifica-se no trabalho de Euqueres (2011) e Verly (2015).

Euqueres (2011) adaptou e posteriormente aplicou a metodologia em estruturas não convencionais para inspeção especial das estruturas de pontes de concreto armado por meio de análise quantitativa. Para a validação do método proposto, fez-se um estudo piloto e posteriormente, onze inspeções a fim de validar as adaptações propostas.

A pesquisa de Euqueres (2011) obteve resultados sobre as vigas principais e lajes, que validaram o método e o evidenciaram como possível ferramenta importante para se guiar as decisões quanto ao melhor prazo e escolha do elemento estrutural a ser reabilitado. Ressalta-se uma possível falha do método em que para pontes com extensão maior que 70 metros, a sua utilização fica comprometida, pois os vãos medianos são difíceis de avaliação visual.

Verly (2015) avaliou dois métodos de inspeção de estruturas de obras de arte especiais, sendo o método aplicado pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) e a metodologia GDE. Foram realizadas adaptações no GDE para utilizá-lo em inspeções em viadutos. Foi criado o “Manual de Aplicação da Metodologia GDE” à obras de artes especiais, o qual foi aplicado através de inspeções visuais realizadas em 22 obras de arte especiais e seus elementos (pilares e vigas pré-fabricadas) na cidade de Brasília, DF.

A pesquisa de Verly (2015) concluiu que a metodologia GDE reformulada, apresenta resultados com valores mais escalonados que os do método DNIT, facilitando assim, a priorização das estruturas para as devidas intervenções.

As pesquisas mais recentes de avaliações da degradação de elementos de concreto, como a de Medeiros et al. (2019), o qual inspecionou a ponte sobre o Rio Carmo, avaliando-se uma edificação habitacional de três pavimentos; e Lima et al. (2019), onde houve a aplicação do GDE em viadutos (obras de arte especiais), têm uma semelhança na corroboração de suas análises que se baseia na utilização de ensaios tecnológicos não destrutivos, como aplicações de fenolftaleína para avaliação da frente de carbonatação do concreto, por exemplo.

Por fim, vale ressaltar que Porto (2020) parametrizou a metodologia GDE, utilizando-se de adaptações probabilísticas e ensaios não destrutivos a fim de se acoplar o fator de integridade ao índice de confiabilidade na ferramenta de inspeção.

A análise quantitativa de Porto (2020) diminuiu significativamente a imprecisão ou subjetividade dos resultados. A avaliação mesmo com a possibilidade de obter uma

classificação do fator de ponderação influenciado pela subjetividade da classificação pessoal do profissional avaliador, tem sua escala numérica de 0 a 5 a qual limita suas variâncias.

Nota-se que o método de avaliação GDE se baseia em uma análise quantitativa, utilizando-se de notas para caracterizar fatores como o de ponderação, intensidade, cálculo do grau do dano, grau de danos das estruturas, nível de deterioração de um elemento e sua família e o fator de relevância estrutural, e o resultado do grau de deterioração da estrutura.

Sendo assim, é possível concluir que um aspecto positivo do uso deste método é de que a partir do grau de deterioração, torna-se exequível a decisão de ações a serem adotadas para intervenções necessárias, seja estas preventivas ou corretivas de longo, médio, curto ou imediato prazo.

Medeiros et al. (2019) ressalta que a metodologia GDE permitiu uma quantificação mais acurada em relação à outra metodologia em análise na sua pesquisa. Todavia, apesar desse aspecto positivo, é destacado que ainda assim, a metodologia GDE (não parametrizada) é condicionada à qualificação do responsável pela inspeção técnica.

2.4.3 Matriz GUT (1994)

Desenvolvida pelos norte-americanos Kepner B.e Tregoe em 1994, a ferramenta GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) é um método de identificação, análise e soluções de problemas utilizada em diversas áreas de estudo. Esse método classifica os danos por três aspectos:

- Gravidade (G): indica o grau de risco atual, avaliando tanto a estabilidade estrutural, funcional e a vida útil e durabilidade. Seus valores variam:
 $G < 1$ – durabilidade, função e estabilidade estrutural estão em risco;
 $G = 1$ – durabilidade e função da estrutura estão em risco;
 $G = 2$ – só a durabilidade da estrutura está em risco.
- Urgência (U): indica a necessidade de se adotar medidas corretivas.
 $U = 0$ – urgente, há necessidade imediata de intervenções;
 $U = 1$ – urgência média. Necessita-se de prazo para tomada de ações e intervenções. Esse prazo é indicado pelo responsável da inspeção;
 $U = 2$ – sem urgência, ou seja, não há necessidade de medidas corretivas.
- Tendência (T): é a estimativa da evolução da ocorrência do problema, caso não seja adotada nenhum tipo de ação corretiva.
 $T = 0$ – tendência de evoluir progressivamente rápida;

T = 1 – tendência de evoluir progressivamente lenta;

T = 2 – tendência estável da ocorrência.

O resultado desta matriz dá-se pela multiplicação dos elementos de cada coluna representada pela Gravidade (G), Urgência (U) e Tendência (T). A prioridade de ações baseia-se então pela ordem decrescente dos resultados, os quais variam em níveis de 1 a 5 sob os critérios mencionados. A Figura 21 evidencia essas classificações e pontuações.

Pontos	GRAVIDADE Consequência se nada for feito	URGÊNCIA Prazo para tomada de decisão	TENDÊNCIA Proporção do problema no futuro
5	Prejuízos extremamente graves	É necessária ação imediate	Se nada for feito, agravamento imediate
4	Muito graves	Com alguma urgência	Vai piorar a curto prazo
3	Graves	O mais cedo possível	Vai piorar a médio prazo
2	Pouco graves	Pode esperar um pouco	Vai piorar a longo prazo
1	Sem gravidade	Não tem pressa	Não vai piorar

Figura 21 – Quadro de classificação matriz Gut
Fonte: Vervloet (2018).

Fáveri e Silva (2016) verificaram a possibilidade de uso do método GUT aplicado à gestão de risco de desastres como uma ferramenta de auxílio para hierarquização de riscos. Através de simulações de riscos, o trabalho resultou em um escalonamento das prioridades. Concluiu-se que o método pode ser utilizado como dispositivo em conjunto com a técnica tradicional de hierarquização (como manuais de Defesa Civil, de Administração Pública e Privada), objetivando a melhoria do planejamento e processo decisório na área de desastres.

Martins, Pessoa e Nascimento (CONPAR, 2017) avaliaram a aplicabilidade da matriz GUT para análises de inspeções de manifestações patológicas vistoriadas *in locu* em estruturas de concreto armado (lajes, vigas e pilares) de 18 edificações do Centro de Tecnologia do *Campus I* da Universidade Federal da Paraíba (Figura 22).

Os resultados do trabalho de Martins, Pessoa e Nascimento (CONPAR, 2017) indicaram que as ações de manutenção corretiva devem priorizar elementos estruturais que apresentam corrosão das armaduras. Além do mais, concluiu-se que o método GUT mostrou ser uma ferramenta útil neste ramo da construção civil. Por fim, os resultados da aplicação do método serviram para retroalimentação do sistema, informando as principais causas e origens dos

problemas, possibilitando a melhoria para prevenção da ocorrência de manifestações patológicas (Figura 22).

Manifestação Patológica		Distinção	G	U	T	GUT	Incidência
Grupo	Subgrupo						
Corrosão de Armadura	I	Casos pouco pronunciados em elementos estruturais	3	2	3	18	59
	II	Casos avançados em elementos estruturais muito solicitados	4	3	3	36	6
Fissuras	I	Fissuras	2	1	2	4	55
	II	Trincas	2	2	3	12	29
Eflorescência	-	-	2	2	2	8	19
Segregação	-	-	2	2	1	4	4
Desagregação	I	Pequena perda de massa em elementos estruturais	2	2	3	12	60
	II	Grande perda de massa em elementos estruturais muito solicitados	2	3	3	18	47
Manchas	-	-	2	2	1	4	16

Figura 22 – Resultados dos valores para os parâmetros GUT
Fonte: Martins; Pessoa; Nascimento (2017).

Leite (2019) propôs intervenções nas manifestações patológicas vistoriadas *in locu* em edifícios históricos no município de Governador Dix-Sept Rosado -RN, utilizando a matriz GUT e o método FMEA para avaliações do estado de degradação. As inspeções realizadas na Prefeitura Municipal, Antiga Estação de Trem e no Palácio, possibilitaram a identificação de vários danos, os quais mais usuais foram as manchas nas pinturas e seu descascamento, tendo como causas as infiltrações (principalmente na cobertura) e falhas nos sistemas de impermeabilização.

O resultado do trabalho de Leite (2019) teve a mesma ordem de priorização para a resolução das manifestações patológicas nas três edificações, tanto pelo método GUT quanto pelo FMEA. Concluiu-se que ambos métodos obtiveram êxito em sua funcionalidade como ferramentas de avaliação e diagnóstico das atuais condições das edificações.

Braga et al. (2019) estudou a aplicabilidade do método GUT na análise de manifestações patológicas presentes em três construções históricas (Igreja de Nossa Senhora do Rosário; Igreja Nossa Senhora das Dores; e Igreja Menino de Deus), localizadas no centro histórico de Sobral, Ceará, Brasil.

No trabalho de Braga et al. (2019) foram elaborados mapas dos danos vistoriados conforme explicitado na Figura 23. Os resultados possibilitaram a geração de gráficos de prioridades, os quais representaram a ordem para as ações corretivas de cada dano em cada objeto de estudo. Concluiu-se que o método pode ser uma importante ferramenta de gestão de manutenção, havendo, todavia, limitações devido às suas análises qualitativas.

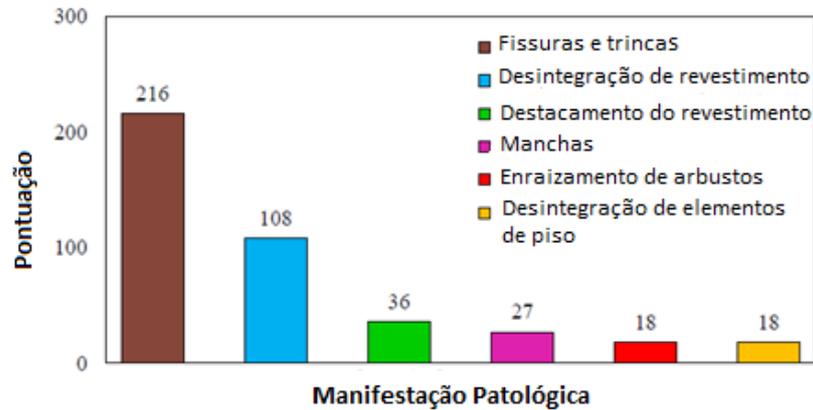


Figura 23 – Resultados em gráfico da matriz GUT na análise da Igreja Menino de Deus.
 Fonte: adaptado de Braga et al. (2019).

A ferramenta de inspeção da matriz GUT tem como característica a realização de uma análise qualitativa, onde classifica-se os danos de gravidade, urgência e tendência a partir de uma subjetividade do avaliador, e uma análise quantitativa a qual é resultada pela mesma classificação através de intervalos de numeração e o resultado da matriz.

A matriz GUT possui a característica positiva consequente da possibilidade de rápida decisão de tomada de ações, baseada na ordem decrescente dos resultados de multiplicação dos elementos da matriz.

Entretanto, algumas características desta ferramenta de avaliação, como o maior esforço do profissional para definir o limiar entre um nível e outro ao proceder a classificação coerente, a descrição subjetiva de cada nível e a priorização da ordem dos serviços de manutenção de suas obras sem a preocupação em definir intervalos de inspeções e prazos máximos para o planejamento das intervenções necessárias, classificam-se como possíveis falhas de seu método.

2.4.4 Norma do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia IBAPE/SP (2012)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), atuante como Fórum Nacional de Normalização, possui a ABNT NBR 16747:2020 – *Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento*, como normatização específica sobre inspeção predial. Essa norma técnica, quanto a ABNT NBR 15575-1:2013 – *Desempenho de edificações habitacionais*, indicam organizar as prioridades de correção das anomalias em patamares de urgência.

Este critério de organização em urgências baseia-se, originalmente, no documento de inspeção predial do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE/SP) em 2007, o qual obteve sua última reformulação em 2012, adquirindo assim, sua versão nacional (IBAPE, 2012).

A proposta de critérios de priorização por grau de criticidade apresentados na Norma de Inspeção Predial Nacional (IBAPE, 2012) são respectivamente:

1. Nível de Criticidade;
2. Método GUT;
3. Método FMEA.

Os dois últimos critérios, o método FMEA e GUT foram abordados nos itens 2.4.1 e 2.4.3 do presente capítulo. Destaca-se que esses dois métodos são interdisciplinares de análise de risco, os quais contêm diferentes características de aplicabilidade e influência exercida por suas particularidades técnicas, resultantes da avaliação de cada profissional (VERVLOET, 2018).

Em relação à realização de análise a partir de níveis de criticidades, o IBAPE/SP (2012) descreve como principais etapas para a realização de uma inspeção em qualquer estado federativo brasileiro em:

- Primeira etapa: levantamento de dados e documentos da edificação, seja documentos administrativo, seja relatos de manutenção e operação;
- Segunda etapa: entrevista com gestor/síndico para averiguação de informações sobre o uso da edificação, histórico de intervenções como reformas e ações de manutenção;
- Terceira etapa: realização de inspeções realizadas com equipe especializada ou não, levando-se em conta a complexidade do sistema da edificação;
- Quarta etapa: classificação das deficiências vistoriadas por sistema construtivo, conforme sua origem;
- Quinta etapa: classificações das anomalias e falhas de acordo com grau de risco (crítico, regular e mínimo);
- Sexta etapa: elaboração de lista de prioridades das ações técnicas conforme a classificação do grau de risco. Essa lista é ordenada do mais crítico ao menos crítico;
- Sétima etapa: elaboração de recomendações ou orientações técnicas, com o objetivo de sanar os problemas encontrados;
- Oitava etapa: avaliação da qualidade das ações de manutenção;

- Nona etapa: avaliação do uso da edificação de acordo com seu projeto inicial. Observam-se as condições originais e normas técnicas vigentes na época da construção da edificação.

Conforme explicitado na Terceira Etapa, a inspeção é classificada quanto a sua complexidade, consideradas as características técnicas da edificação e ações de manutenções. Os níveis podem ser classificados como:

- Nível 1: inspeção realizada em edificações com baixa complexidade técnica. Utilizado em inspeções técnicas sobre edificações com planos de manutenção muito simples ou inexistentes;
- Nível 2: inspeção realizada com média complexidade técnica, onde a edificação possui padrões construtivos médios e sistemas convencionais;
- Nível 3: inspeção realizada com alta complexidade técnica, onde a edificação possui elevados padrões construtivos e sistemas mais sofisticados. Geralmente, esse nível é empregado em edificações com vários pavimentos, ou com sistemas construtivos que contenham automação.

O IBAPE (2012) então define os níveis de criticidade, ou seja, os critérios de classificação do grau de risco para cada item identificado como anomalias construtivas, falhas de manutenção e/ou manifestações patológica, considerando o risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio:

- Crítico (Prioridade 1): risco de provocar danos contra a saúde e segurança dos usuários da edificação e seus transeuntes, além de risco de provocar danos contra o meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade; elevado aumento do custo de manutenção e recuperação; comprometimento na vida útil da edificação, podendo até causar paralisações de uso;
- Médio (Prioridade 2): risco de provocar a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação, não prejudicando a operação direta de sistemas nem causando a deterioração precoce;
- Mínimo (Prioridade 3): risco de causar pequenos prejuízos à estética da edificação, não existindo a interferência direta na ocorrência dos riscos críticos e regulares, além de baixo ou ausência do envolvimento no valor imobiliário.

Vervloet (2018) utiliza a norma de inspeção IBAPE/SP, em sua última reformulação, como ferramenta bibliográfica para criação de um banco de dados com classificação numérica e alimentação dinâmica para organizar e propor diretrizes resolutivas em inspeções técnicas

prediais, utilizando-se como estudo de caso as particularidades das Leis Municipais da Cidade de Vitória, Espírito Santo.

A pesquisa de Vervloet (2018) concluiu que através do método GUT, as recomendações técnicas quanto a organização lógica e detalhamento das etapas de inspeção solucionaram o aspecto técnico de direcionamento aos profissionais habilitados e gestores das edificações e órgãos públicos, a fim de se subsidiar uma implementação eficaz do sistema de inspeção predial no estado.

O método de inspeção IBAPE caracteriza-se como sendo uma análise qualitativa, a qual desde o levantamento de dados do histórico e projetos da edificação, como a classificação dos níveis de inspeção (variância de 1 a 3), quanto a classificação das anomalias e falhas de acordo com o grau de risco (crítico, regular ou mínimo), se permeiam em análises e classificações subjetivas, as quais tendem a aumentar a possibilidade de variância de resultados entre os próprios avaliadores.

Assim sendo, esse método não se baseia em análises quantitativas obtendo como possíveis falhas a possibilidade de proporcionar divergências de diagnósticos de avaliação. Existe uma certa liberdade do avaliador de obter diferentes conclusões advindas de suas análises qualitativas sem um parâmetro numérico ou estatístico.

Apesar destas prováveis falhas para a sua utilização, o método proporciona um rápido direcionamento de nível de inspeção e avaliação dos sistemas da edificação devido justamente à inexistência de cálculos e fórmulas a serem desenvolvidas. O método proporciona a oportunidade ágil de desenvolvimento de uma conclusão da ordem necessária de ações corretivas e posteriormente preventivas de todos os sistemas de uma edificação em sua totalidade.

3 MÉTODO PROPOSTO

Este capítulo apresenta o método proposto, seu referencial teórico, principais fundamentos metodológicos que embasaram a formulação, além dos procedimentos para a realização das inspeções técnicas, identificação e caracterização dos danos. São apresentadas as variáveis analíticas e as etapas de análise da degradação dos elementos e por fim, a análise do estado de conservação.

3.1 REFERENCIAL TEÓRICO METODOLÓGICO

O cenário dos estudos da degradação do concreto aparente evidencia as particularidades das inovações e formulações de diretrizes de inspeções de avaliações do desempenho do sistema. O uso do concreto aparente demandou um aprofundamento das investigações quanto ao seu comportamento e desempenho, após a larga escala de produção.

Apesar dos diferentes métodos aplicados relacionados à degradação de elementos estruturais, observa-se a importância destas ações quanto à conservação e integração da vida útil das edificações. Assim sendo, aflora-se um aperfeiçoamento técnico a respeito de métodos e procedimentos técnicos a embasar a correta análise do estado de conservação e das intervenções a serem adotadas. Configura-se como essencial a atividade de inspeção, avaliações e ações de manutenções.

No Brasil, a normativa técnica sobre a realização periódica de inspeções prediais, laudos técnicos e avaliações da degradação de edificações mais próxima a se tornar referência unificada e nacional, atualmente, é a legislação federal que se encontra em fase de projeto, sob o PL nº 6.014/2013. Em novembro de 2019, ocorreu a aprovação e despacho do deputado Luizão Goulart e em maio de 2022, após o projeto de lei receber o parecer do relator deputado, o projeto situa-se em prazo para emendas. Ao prosseguir este caminho, em alguns anos a lei será posta em vigor.

Seguindo esta prerrogativa, o projeto de lei mencionado tornará obrigatoriedade em todo o país estas avaliações sobre conservação das edificações e seus elementos. À vista disso, faz-se necessário o bom entendimento das normativas da ABNT NBR 16747:2020, e da Norma de Inspeção Predial IBAPE (2012), referências técnicas aos estados e municípios atualmente (VERVLOET, 2018).

Ao se analisar em ordem da hierarquização de ferramentas da Norma de Inspeção Predial IBAPE (sendo: ordem de criticidade; método GUT; método FMEA), tanto a ordem de criticidade quanto o método GUT possuem a característica predominante de serem análises

qualitativas, tornando-se reféns de avaliações subjetivas dos profissionais técnicos em vigor na data das presentes inspeções.

O método FMEA, embora também possuir a característica de análise qualitativa, possui a sua extensão FMECA. O método FMECA tem como característica basilar as análises quantitativas advindas dos resultados das matrizes de criticidades geradas pelas inspeções, tendo como principal produto a priorização dos riscos para guiar as ações aos gestores e responsáveis técnicos (ordem de criticidade).

A revisão bibliográfica expôs a utilização do método FMECA por professores da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB no ano de 2015, em avaliações de residências populares, com o propósito de guiar tomadas de ações (Blumenshein et al., 2015).

Após dois anos de estudos e trabalhos, mesmo com os limites da metodologia de avaliação e monitoramento, concluiu-se que além de ser necessário a maior participação dos estados e municípios nas decisões construtivas e seus acompanhamentos, as ferramentas de avaliação das residências demonstraram em seus testes, o seu potencial para oferecer diagnóstico e subsídios para planejar melhorias no programa de habitação social a nível nacional, obtendo assim, êxito em sua proposta de pesquisa.

Neste cenário, a partir do referencial bibliográfico realizado e do delineamento teórico conceitual, propõe-se um método de avaliação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, com objetivo de se construir um alicerce ao suporte de inspeção de sistemas estruturais em edificações, embasando-se em requisitos, critérios e técnicas apresentadas no próximo tópico.

Este capítulo usou como referencial metodológico o método FMECA (Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade) para o desenvolvimento de um método de avaliação do estado de conservação de elementos pré-fabricados de concreto armado.

As pesquisas de Zanoni e Buson (2015) e Blumenshein et al. (2015) têm como foco a aplicabilidade de seus métodos propostos em residências de habitação populares. O método proposto por Lima (2019) é possível de ser replicado somente em sistemas de fachadas em mármore.

A construção do método de investigação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado em edificações sucedeu-se a partir do referencial metodológico a respeito das matrizes de criticidade resultantes de Zanoni e Buson (2015), Blumenshein et al. (2015) e Lima (2019).

Os parâmetros dos índices de severidade e ocorrência, gerando as matrizes de criticidade, elaboradas pelos autores citados anteriormente, foram considerados os fundamentos justificados pela formulação de novos métodos de inspeção.

A presente pesquisa tem como novos fundamentos a formulação e critérios de novos índices de severidade para danos relacionados à degradação estrutural de sistemas de concreto; a formulação e critérios de novos índices de ocorrência para zonas de maiores momentos fletores em peças estruturais; a utilização do índice de detecção, não aplicado em nenhum dos trabalhos citados como referencial metodológico, além da formulação e critérios técnicos desse índice de acordo com os diferentes níveis de inspeções que possam a vir ocorrer em uma edificação, tendo como foco a segurança do usuário.

Para mais, no método proposto, outros novos fundamentos são formulados, como um novo índice de criticidade, o Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD), novas matrizes relacionadas ao estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, e matrizes correlacionando o nível de criticidade dos danos à planta baixa da edificação em estudo.

3.2 APRESENTAÇÃO DAS DIRETRIZES, REQUISITOS E CRITÉRIOS TÉCNICOS

O método proposto explica os procedimentos necessários para a avaliação de elementos de concreto armado, identificando e analisando os componentes do sistema e seus requisitos de função e desempenho. O método fundamenta-se na realização de inspeções técnicas a fim de se identificar o nível de criticidade de cada elemento *in locu*, identificando os modos de falhas potenciais, suas causas e danos.

O objetivo do método é avaliar os elementos na fase de uso, ou seja, avaliar o estado de conservação do objeto de estudo após certo período de vida útil em serviço. Sugere-se assim, que a avaliação em campo seja realizada após o período mínimo de dois anos por meio de inspeções técnicas atendendo os critérios de prazos mínimos exigidos pela ABNT NBR 15575-1:2013.

De forma sintetizada, são listadas as etapas de aplicação do método e seus respectivos produtos para análise da degradação de elementos pré-fabricados de concreto armado:

- I. Caracterização do sistema (levantamento de dados históricos, físicos e fotográficos da edificação) – investigação de dados como documentação técnica e processos administrativos, registros a respeito da tecnologia construtiva, projetos, intervenções;

arrolamento fotográfico dos danos e condições de exposição do sistema estrutural; e verificações complementares, como realização de ensaios tecnológicos não destrutivos, como a pacometria, esclerometria e ensaio de carbonatação com fenolftaleína, além de ensaios destrutivos como a extração de corpo de prova. O produto dessa etapa será o histórico de intervenções na edificação;

- II. Análise do estado de conservação (análise por elementos e por grupos) – identificação dos modos de falhas, causas e efeitos; determinação dos índices de ocorrência (O), severidade (S) e índices de detecção (D); determinação do Número de Prioridade de Risco (NPR); e determinação do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD). Os produtos dessa etapa será o mapeamento de danos, a obtenção das matrizes de criticidade e matrizes do estado de conservação, além da matriz de correlação, sendo possível assim, a identificação das zonas de tensão;
- III. Hierarquização de riscos - análise do estado de conservação dos elementos, das zonas de tensão existentes e delineamento dos cenários do estado de conservação. Os produtos dessa etapa serão as diretrizes para intervenções e para um plano de manutenção, avaliação dos danos e por fim, o esboço do cenário histórico, presente e prováveis cenários futuros do estado de conservação do objeto de estudo.

Destaca-se que a formulação do método proposto na presente pesquisa tem como fito avaliar qualquer tipo de estruturas de concreto armado, não somente pré-fabricadas.

A seguir, serão descritas as etapas, os procedimentos técnicos e os produtos resultantes das análises a serem obtidos através da aplicação do método proposto de forma minuciosa a fim de se proporcionar a possibilidade de replicabilidade do método.

3.2.1 Etapa 1: Caracterização do sistema

A primeira etapa do método assenta-se no levantamento de dados e informações necessárias para a caracterização do sistema estrutural da edificação, incluindo os seus componentes e funções, adicionado do registro dos danos existentes no sistema (sejam danos com ou sem interação do meio ambiente por reações físicas, químicas e/ou biológicas).

Dessarte, são adotadas as subetapas de pesquisa do histórico da edificação, sondagem das condições físicas com registro fotográfico, e perscrutas complementares como a realização de ensaios técnicos não destrutivos, como a pacometria e aplicação de fenolftaleína, ou ensaios destrutivos.

A pesquisa do histórico da edificação e seus sistemas consiste no estudo de seus projetos e documentos técnicos como seu memorial descritivo. Essa subetapa engloba conjuntamente a realização de entrevistas com os profissionais ou usuários da edificação que fazem parte de seu processo de conservação desde a época de sua construção. Busca-se uma catalogação de dados a fim de se construir sua narrativa histórica.

O levantamento das condições físicas compõe-se da realização de inspeções técnicas visuais e de registros fotográficos. Essa subetapa possibilita a identificação dos aspectos gerais da edificação e condições de exposição dos elementos ao meio ambiente. Configura-se possível também a inspeção e identificação das manifestações patológicas existentes.

O arrolamento fotográfico, consiste no relato documental visual do sistema estrutural que está sendo analisado. Com base no registro fotográfico, serão realizadas identificações de intervenções realizadas no sistema ao longo dos anos.

Por fim, a subetapa de verificações complementares, motivada pela necessidade de se obter mais informações a respeito do sistema estrutural em suas condições atuais à aplicação do método servem para inserir informações do estado de degradação dos elementos não perceptíveis a olho nu.

O produto obtido na primeira etapa do método proposto, a etapa de caracterização do sistema, é a construção do histórico das intervenções do sistema estrutural da edificação.

Portanto, são investigados dados os quais consistem na documentação visual do sistema estrutural, além de dados qualitativos que irão compor o banco de informações do objeto de estudo.

3.2.2 Etapa 2: Análise do estado de conservação

Após a realização da primeira etapa do método, a segunda etapa consiste na avaliação da degradação estrutural dos elementos e a partir destes dados, será realizada a análise do estado de conservação do sistema.

Com o objetivo final de se avaliar o cenário do estado de conservação, a realização desta etapa foi dividida em duas subetapas: a primeira subetapa consiste na avaliação da degradação dos danos por elementos e a segunda subetapa engloba a análise do sistema dos elementos por grupos, ou seja, pelo agrupamento de elementos construídos em série na edificação.

Assim, são realizadas as análises críticas dos modos de falha e seus efeitos, com o objetivo de gerar uma base de dados sobre os danos dos elementos, os grupos convencionados e a escala de prioridade conforme a frequência, gravidade e possibilidade de detecção.

Análise dos danos por elementos pré-fabricados

A primeira subetapa, ou seja, a avaliação da degradação dos elementos, segue os seguintes passos:

- i. Identificação dos modos de falhas, as causas e os efeitos correspondentes de cada dano vistoriado;
- ii. Determinação dos índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) para danos resultantes de modos de falhas – dados registrados em Fichas de Inspeções Técnicas, conforme exemplo no Apêndice I;
- iii. Determinação do Número de Prioridade de Risco (NPR);
- iv. Determinação do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD);
- v. Mapeamento de Danos.

Posto isto, primeiro, visando o aprimoramento do entendimento dos processos de degradação estrutural do sistema pré-fabricado e mirando a uma construção de base de dados de atividades sobre a edificação, as inspeções técnicas são registradas e sistematizadas em Fichas de Inspeções Técnicas (de acordo com exemplo no Apêndice I).

Nestes formulários, devem ser preenchidas informações a respeito da edificação e seus elementos classificados como essenciais pelo Lite - Laudo de Inspeção Técnica de Edificações (PL nº 6.014 – 2013; VERVLOET, 2018), acrescido de registro fotográfico dos danos, seus agentes, causas prováveis, mecanismos e efeitos.

O próximo passo desta fase de preenchimento da Ficha de Inspeção Técnica funda-se na determinação dos índices de severidade (S), ocorrência (O) e de detecção (D) de cada dano identificado nos elementos pré-fabricados. Para isso, foram estabelecidos critérios de classificação para os três índices.

O índice de severidade (S) varia entre 1 (desprezível) a 5 (elevada criticidade) e tem como classificação da gravidade do dano formulado sobre os riscos aos usuários e transeuntes, ao meio ambiente e à própria edificação, além dos critérios dos processos de degradação do concreto armado e da possibilidade de evolução dos danos para consequências mais graves.

Os parâmetros para a formulação dos índices tiveram como fundamentação a existência ou não de interações do meio ambiente e o estado de degradação do elemento. Existindo algum tipo de interação, os parâmetros dos índices basearam-se na classificação destas, sejam sendo classificadas como interações do meio ambiente físico, químico e/ou biológico.

Em relação às interações do meio ambiente de forma física, a degradação ocorre diretamente no concreto, em sua pasta de cimento ou agregados. Já as interações do meio ambiente de forma biológica e/ou química, a armadura é um dos principais fatores de degradação do sistema (SENA et al., 2020). A tabela seguinte apresenta a classificação do índice de severidade (S).

Tabela 5 – Classificação do índice de severidade (S)

Categoria de risco	Índice de severidade (S)	Critério de classificação do índice de severidade
Desprezível	1	Danos: pichações, pinturas, colagens, cartazes. Danos que não possuem nenhum tipo de interação do meio ambiente, ou seja, não provocam nenhum prejuízo ou impactam na segurança aos usuários da edificação, ou ao meio ambiente. São geralmente reversíveis, ocorrendo de maneira pontual.
Mínimo	2	Danos: fissuras/trincas, ninhos de concretagem. Danos que possuem interação do meio ambiente de forma física, ou seja, riscos que podem provocar algum tipo de prejuízo ao usuário visualmente e interferem diretamente na perda parcial de desempenho e funcionalidade do elemento, e conseqüentemente do sistema.
Médio (moderado)	3	Danos: manchas de umidade, bolor, eflorescências. Danos que possuem interação do meio ambiente de forma química e biológica. Riscos que interferem diretamente na perda parcial de desempenho e funcionalidade do sistema. Podem prejudicar em pequeno grau a segurança e saúde do usuário. Podem evoluir e acarretarem pontos de vulnerabilidade no sistema.
Crítico	4	Danos: grau de corrosão sem perda de seção das armaduras. Danos que possuem interação do meio ambiente de forma química. Riscos de provocarem danos à segurança e saúde dos usuários ou ao meio ambiente. São danos que provocam perda de desempenho e funcionalidade, comprometendo diretamente a vida útil do sistema e edificação. Faz-se necessária a intervenção.

Elevada Criticidade	5	Danos: alto grau de corrosão com perda de seção das armaduras, deslocamento, desaprumo, flechas. Danos que possuem interação do meio ambiente de forma química. Danos graves que comprometem a saúde e segurança do usuário e o meio ambiente. São resultantes de processo de degradação avançada. É necessária intervenção imediata.
---------------------	---	---

Fonte: Autora (2022).

Alicerçando-se na pesquisa de Lima (2019), o índice de ocorrência (O) também varia entre 1 (muito baixa) a 5 (muito alta), e analisa-se também o impacto do dano na tomada de decisão quanto a ações de manutenção. Todavia, a classificação desse índice firma-se na percepção do usuário e segurança estrutural do elemento analisado, tendo relação assim com o grau de severidade (S) do dano no elemento.

Uma vez que as estruturas pré-fabricadas de concreto armado avaliadas fazem parte do sistema estrutural da edificação, ou seja, possuem elevada prioridade em quesitos de segurança estrutural, esses elementos já possuem uma alta prioridade sobre as ações de manutenção sobre os diversos outros sistemas da edificação.

Através destas características dos elementos avaliados, convencionaram-se os intervalos de áreas relativas de ocorrências descritos a seguir (Tabela 6).

Tabela 6 – Classificação do índice de ocorrência (O)

Frequência da falha	Índice de ocorrência (O)	Critério de classificação do índice de ocorrência
Muito Baixa	1	A ocorrência do dano é insignificante ou com baixo risco de afetar a integridade estrutural, sendo assim, baseada na percepção do usuário. Gera baixo impacto em ações de manutenções.
Baixa	2	Ocorrência do dano até 1/4 do comprimento do elemento estrutural, com risco de integridade estrutural fora da zona de maior momento fletor do elemento inspecionado. Ações corretivas necessárias eventualmente em um escopo de manutenção preventiva.
Moderada	3	Ocorrência do dano acima de 1/4 do comprimento do elemento estrutural, com risco de integridade estrutural fora da zona de maior momento fletor do elemento inspecionado. Demanda um acompanhamento planejado em manutenções preventivas a fim de se evitar evolução dos danos.

Alta	4	Ocorrência do dano até 1/4 do comprimento do elemento estrutural, com risco de integridade estrutural na zona de maior momento fletor do elemento inspecionado. Demanda intervenção com brevidade, sendo necessárias medidas de ações corretivas.
Muito Alta	5	Ocorrência do dano acima de 1/4 do comprimento do elemento estrutural, com risco de integridade estrutural na zona de maior momento fletor do elemento inspecionado. Demanda ações de manutenção corretivas imediatas.

Fonte: Autora (2021).

Por fim, caracterizando-se como uma contribuição da presente pesquisa, convencionou-se que o índice de detecção (D), o qual varia de 1 (alta) a 5 (baixa), tem como critérios de classificação a complexidade das inspeções técnicas para vistoriar os danos. Em se tratando dos elementos pré-fabricados, convencionou-se a complexidade das inspeções técnicas fundamentando-se na existência ou não de registro fotográfico, realização ou não de ensaios tecnológicos (destrutivos ou não destrutivos) e realização de medições.

Percebe-se assim, que existe uma relação diretamente proporcional à complexidade das inspeções, qualidade da obtenção de dados dos danos e ao grau de confiabilidade das análises resultantes das inspeções.

Ou seja, ao se realizar uma inspeção com a mais baixa complexidade, os dados nela obtidos tendem a não representar uma análise mais segura sobre o verdadeiro estado de degradação do elemento vistoriado, sendo necessária assim, a maior nota do índice de detecção (nota 5).

Esta nota 5 do índice de detecção garantirá uma maior nota final resultante da combinação do cálculo das análises dos outros dois índices, severidade e ocorrência, tendo como produto assim, uma nota final de avaliação do grau de risco do elemento com enfoque à segurança do usuário da edificação.

Através das possibilidades de complexidades de inspeções técnicas, foram estabelecidos os índices e seus critérios a seguir (Tabela 7).

Tabela 7 - Classificação do índice de detecção (D)

Complexidade das inspeções técnicas	Índice de detecção (D)	Critério de classificação do índice de detecção
Alta	1	Inspeção técnica com alta complexidade, visual com registro fotográfico, com ensaios destrutivos e medições.

Moderadamente alta	2	Inspeção técnica com alta complexidade, visual com registro fotográfico, com ensaios não destrutivos e medições.
Pequena	3	Inspeções técnicas com média complexidade, visual com registro fotográfico, sem ensaios técnicos, porém com realização de medições.
Muito pequena	4	Inspeções técnicas com baixa complexidade, visual com registro fotográfico, sem ensaios técnicos e medições.
Improvável	5	Inspeções técnicas com baixa complexidade, visual, sem registro fotográfico e sem realização de ensaios técnicos e medições.

Fonte: Autora (2021).

Salienta-se que as Tabelas 5 a 7 apresentam as classificações dos índices e suas definições. Os elementos analisados devem se encontrar na fase de uso, operação e manutenção da edificação. Esse critério de classificação na fase de pós-ocupação, alicerça-se na recomendação da ABNT NBR15575-1:2013, a qual indica que as inspeções e avaliações de campo devem ser realizadas após o período mínimo de dois anos da construção.

Deste modo, na análise do estado de conservação dos elementos, os danos são relacionados diretamente aos índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D).

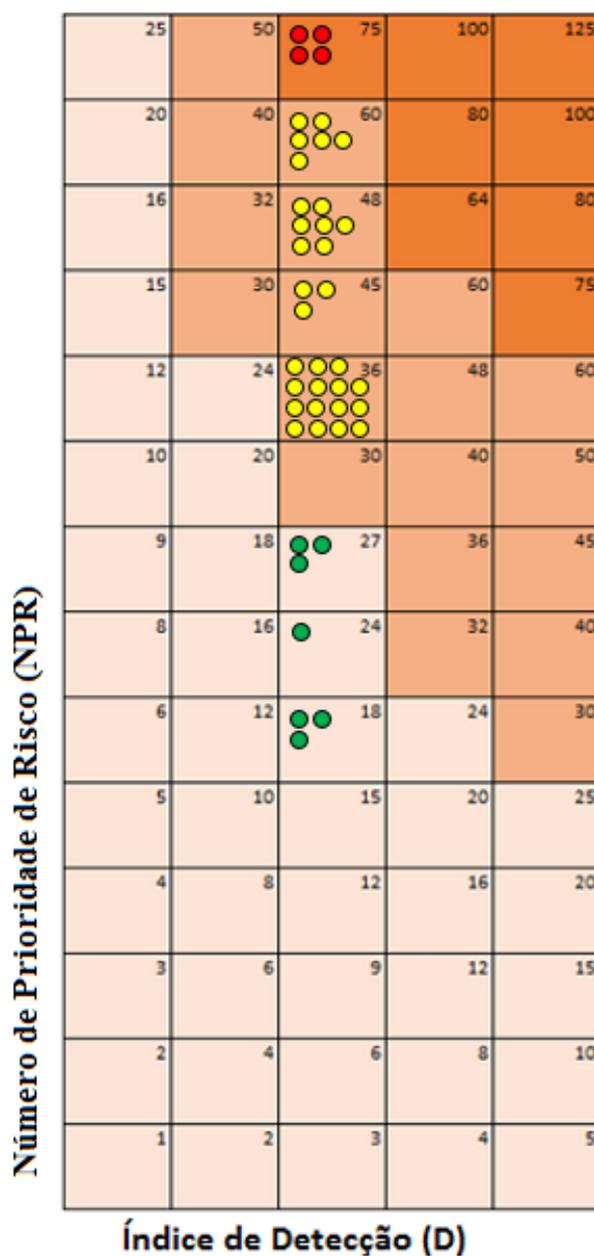
O cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR) possibilita a construção da matriz de criticidade. A matriz se dá pela multiplicação dos índices de severidade (S) e de ocorrência (O). O NPR pode ser classificado como grau de risco mínimo ($NPR \leq 3$), moderado ($3 < NPR \leq 12$) e crítico ($12 < NPR \leq 25$), sendo 25 o máximo valor que o Número de Prioridade de Risco (NPR) pode receber. A convenção de nomenclaturas (mínimo, moderado e crítico) se baseou na classificação do IPABE (2012).

A quantificação do Número de Prioridade de Risco (NPR) permite que além de classificar a criticidade dos indicadores e seus verificadores, permite que a matriz de criticidade, produto dessa quantificação, mostre a avaliação de todos os elementos da inspeção, para cada indicador. A matriz de criticidade possui escala de cores para facilitar o tratamento e leitura dos dados obtidos (Figura 24).

ambiente, o dano estar localizado na zona de maior risco de integridade estrutural do elemento, e a inspeção for caracterizada com baixa complexidade.

Apona-se que a convenção de nomenclaturas (mínimo, médio e crítico) se baseou na classificação do IPABE (2012).

Matriz do Estado de Conservação Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)



Legenda:

- Elemento com Nível de Criticidade Mínima ($1 \leq \text{NPRD} \leq 27$);
- Elemento com Nível de Criticidade Moderada ($27 < \text{NPRD} < 64$);
- Elemento com Nível de Criticidade Crítica ($64 \leq \text{NPRD} \leq 125$).

Figura 25 – Exemplo de matriz do estado de conservação
Fonte: Autora (2021).

Por fim, a concepção completa das Fichas de Inspeções Técnicas através das realizações das inspeções permite também o mapeamento dos danos observados no levantamento das condições físicas. O mapeamento de danos vistoriados durante as inspeções é construído a partir da classificação do índice de severidade dos danos presentes em cada elemento inspecionado.

O método proposto organiza os danos em cinco grupos representados pelos índices de severidade (S). A partir dessa divisão, foram criados os subgrupos para possibilitar assim, um banco de dados mais específico em relação à qual ou quais danos encontram-se presentes em cada elemento vistoriado. A Tabela 8 expõe as subdivisões e suas respectivas codificações.

Tabela 8 – Classificação e codificação de danos.

Índice de severidade (S)	Legenda para identificação	Dano vistoriado
1	D1.1	Pichações/Pinturas
	D1.2	Colagens/Cartazes
2	D.2.1	Fissuras/Trincas
	D.2.2	Ninhos de concretagem
	D.2.3	Desplacamento do concreto
3	D3.1	Manchas de umidade
	D3.2	Sinais de Eflorescência
	D3.3	Vegetação (trepadeiras)
4	D4	Corrosão da armadura sem perda de seção
5	D5	Corrosão da armadura com perda de seção

Fonte: Autora (2021).

Análise dos elementos pré-fabricados por grupo

Para a análise dos elementos pré-fabricados por grupo, inicialmente convencionou-se que cada grupo corresponde ao grupo de elementos de concreto armado alinhados ou agrupados e orientados pelas mesmas fachadas (externas ou internas) e seus pontos cardeais de referência (norte ou sul; leste ou oeste), de modo a facilitar a organização dos dados e a

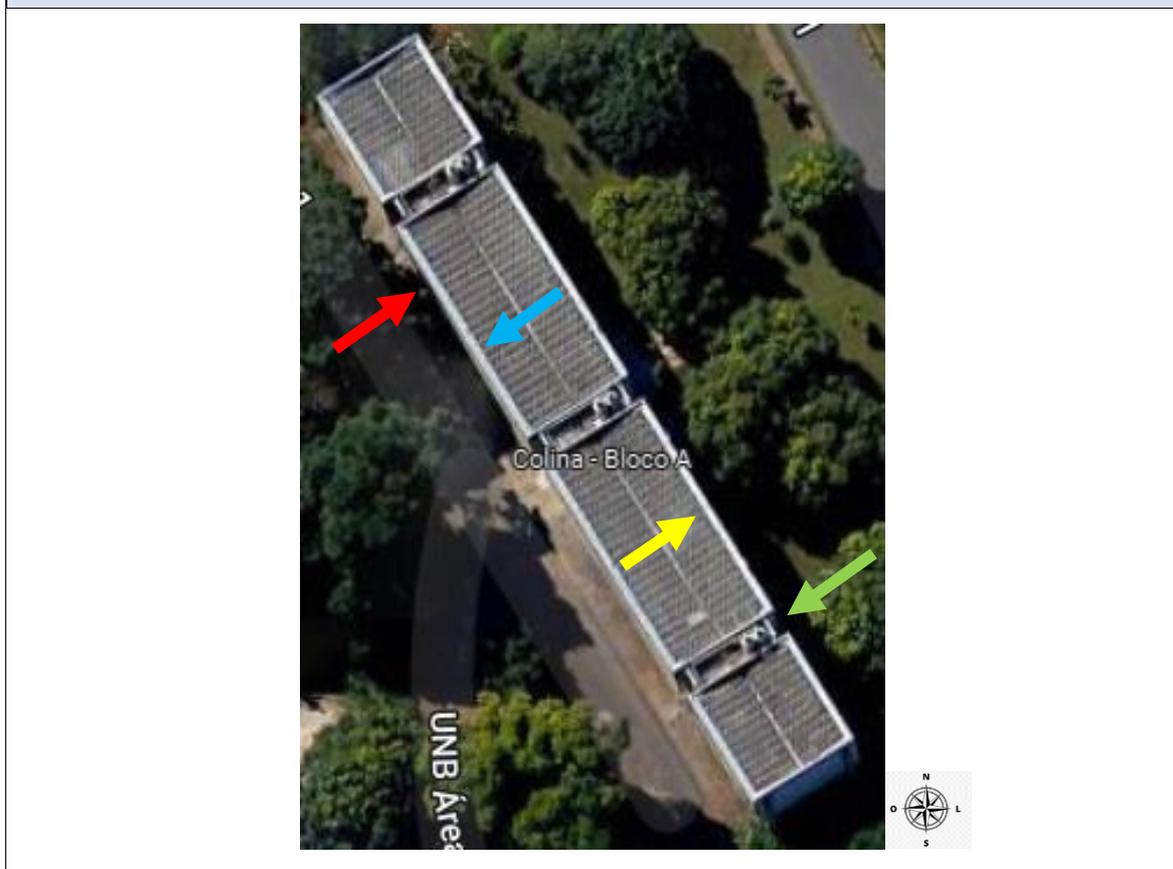
análise, possibilitando assim, a identificação das zonas de tensão dos elementos em estudo na edificação.

A expõe um exemplo de uma codificação e localização de elementos pré-fabricados na edificação Colina – Bloco A, da Universidade de Brasília.

Tabela 9 – Identificação dos elementos e grupos em edificação.

Codificação de Grupos	Localização dos elementos na edificação	Demarcação na edificação
Alinhamento A	Elementos próximos à fachada externa lado oeste da edificação	Seta vermelha
Alinhamento B	Elementos próximos à fachada interna lado oeste da edificação	Seta azul
Alinhamento C	Elementos próximos à fachada interno lado leste da edificação	Seta amarela
Alinhamento D	Elementos próximos à fachada externa lado leste da edificação	Seta verde

Figura com a localização dos alinhamentos em edificação



Fonte: Autora (2021).

Após a análise de cada elemento pré-fabricado, além do seu agrupamento através dos Números de Prioridades de Risco com Detecção (NPRD) e a identificação de cada grupo, é

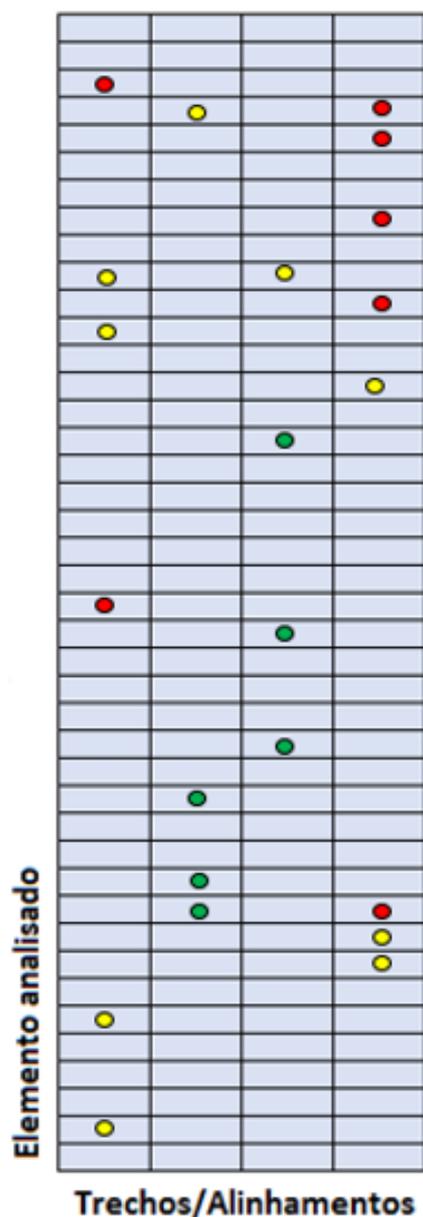
obtida a matriz de correlação (Figura 26). Essa terceira matriz, produto caracterizado como outra contribuição da presente pesquisa, assinala-se como ferramenta para a análise de criticidade, além de representar por grupos no sistema estrutural de produção em série, a matriz de correlação entre os níveis de criticidade dos danos de cada elemento e seus agrupamentos.

Propõe-se uma escala de cores para dar continuidade à ação de facilitar a leitura da criticidade. Também é proposta uma formatação da matriz onde a identificação dos elementos analisados fique disposto verticalmente e os grupos fiquem dispostos horizontalmente, com o intuito de refletir a representação gráfica dos agrupamentos/alinhamentos dos objetos de estudo sobre a edificação no formato mais próximo de sua planta baixa.

O Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD), produto da quantificação do nível de criticidade através dos índices severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), estará disposto no centro de cada célula na matriz, sendo essa célula uma representação gráfica do elemento analisado. A figura a seguir expõe um exemplo da matriz de correlação.

Matriz de Correlação

Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)



Legenda:

- Elemento pré-fabricado com Nível de Criticidade Mínima ($1 \leq \text{NPRD} \leq 27$);
- Elemento pré-fabricado com Nível de Criticidade Moderada ($27 < \text{NPRD} < 64$);
- Elemento pré-fabricado com Nível de Criticidade Crítica ($64 \leq \text{NPRD} \leq 125$).

Figura 26 - Exemplo de matriz de correlação.

Fonte: Autora (2021).

Ao fim desta etapa, são produzidas análises de criticidade mediante a elaboração da matriz de correlação, organizada segundo o grupo (alinhamento e posição) dos elementos pré-fabricados. O gráfico desenvolvido para os elementos vistoriados relaciona as análises de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) aos grupos com sua respectiva classificação quanto aos níveis de criticidade. É produzido assim, um recurso de representação ilustrativa

da criticidade de danos conforme a sua frequência de ocorrência, sua gravidade e sua detecção.

É produzido também nesta fase, a representação ilustrativa das zonas de tensão dos elementos. Portanto é nessa etapa que se tornam possíveis as análises e estudos sobre as degradações dos elementos pré-fabricados de concreto armado e seu estado de conservação para o sistema estrutural estudado.

Tem-se como produtos as fichas de inspeções técnica, o mapeamento de danos, as matrizes de criticidade, as matrizes do estado de conservação e a matriz de correlação das zonas de tensão.

3.2.3 Etapa 3: Hierarquização de riscos e discussão de resultados

Esta última etapa do método, fundamentada na pesquisa de Lima (2019), consiste na hierarquização de riscos e delineamento dos Cenários do Estado de Conservação do sistema estrutural da edificação, por intermédio dos resultados das análises das zonas de tensão no sistema dos elementos pré-fabricados de concreto armado.

Hierarquização de riscos

A hierarquização de risco se dá através dos resultados dos Números de Prioridade de Riscos com Detecção (NPRD). A ordem decrescente dos NPRD irá resultar na ordem prioritária de ações necessárias a serem tomadas pelos gestores ou usuários da edificação com o fito de se recuperar o estado de conservação dos elementos e sistema analisado.

O resultado sintetizado já propicia aos usuários da edificação mais leigos a respeito do tema de construção civil, a possibilidade de identificar os elementos mais danificados analisados, ou seja, aqueles que necessitam de intervenções com maior brevidade possível.

Para os profissionais habilitados e capacitados, a síntese da hierarquização de riscos possibilita já de imediato, as diretrizes para a confecção de ações de manutenções corretivas e preventivas. E em caso de análises para continuidade de programas de manutenções em edifícios, essa hierarquização de riscos traz condutas guiadas para as próximas intervenções e inserção, caso seja necessário, de novos procedimentos e suas periodicidades no Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) vigente.

Cenários do estado de conservação

A análise final dos dados obtidos através da primeira etapa (caracterização do sistema) e segunda etapa (análise do estado de conservação) do método, permitirá a identificação e

visualização das zonas de tensão e assim, o possível delineamento dos cenários do estado de conservação.

As zonas de tensão são as regiões do sistema estrutural dos elementos pré-fabricados analisados indicando os grupos/regiões/alinhamentos de maior vulnerabilidade ou susceptibilidade à degradação dos elementos de concreto armado, apresentando desse modo, elementos com danos de maior criticidade⁴.

Estas zonas de tensão são preliminarmente visualizadas através da matriz de correlação gerada na segunda etapa deste método. Dessa maneira, a partir da visualização da localização dos elementos de maiores danos no sistema, as zonas de tensão permitem uma visão abrangente e integrada do sistema estrutural com a arquitetura do edifício.

Ademais, a identificação das zonas de tensão permitirá a análise dos danos identificados decorrentes dos mecanismos de degradação existentes, possibilitando mais diretrizes à um plano de manutenção e conservação da edificação.

Por fim, o delineamento dos cenários do estado de conservação, produto desta terceira etapa, se funda na investigação de todos os dados e informações coletadas desde o início da aplicação do método, a fim de se delinear o cenário histórico (etapa 1), a situação presente (etapa 2) e até os desdobramentos para os prováveis cenários futuros relacionados à conservação do sistema estrutural da edificação (etapa 3).

Ainda que a utilização do método se enquadre na etapa de uso da edificação, é mandatório a coleta de dados a respeito das condições nas quais o sistema foi concebido, produzido e utilizado. São consideradas as falhas dos danos e seus efeitos, seus agentes de degradação e seus mecanismos e processos de degradação estrutural.

Logo, os produtos obtidos do método proposto manifestam as relações de causa e efeito predominantes no sistema analisado exposto às condições de uso e exposição, relacionados à sua construção, método construtivo, uso e operação, e ambiente onde os elementos pré-fabricados se inserem em repetição na edificação.

Ressalta-se que os cenários do estado de conservação são resultados do delineamento do desempenho dos elementos de concreto armado desde o início da sua fabricação, ou seja, início de sua vida operacional até seu desempenho atual. A análise dos cenários do estado

⁴ Lima (2019) utiliza as zonas de tensão para descrever o estado de conservação dos sistemas de fachadas em mármore do edifício do Congresso Nacional. Lima et al. (2017) utiliza das zonas de tensão para descrever o estado de conservação de sistemas de fachadas em um edifício também moderno, porém fora do Eixo Monumental de Brasília.

de conservação pode indicar os possíveis cenários futuros da conservação desses elementos, a partir da formulação de hipóteses, derivando-se nas diferentes ações de conservação e manutenção do sistema estrutural.

As variáveis que devem ser consideradas para o delineamento destes cenários são:

- I. Qualidade dos materiais e processo construtivo da edificação, ou seja, a qualidade da construção à época da realização da obra e normas técnicas as quais foram referências para projetos e concepção construtiva;
- II. Classe de agressividade ambiental a qual os elementos estão inseridos, juntamente com as condições ambientais, climáticas e ações externas, já que essas características influenciam diretamente na intensidade da progressão de degradações;
- III. Modo de serviço, ou seja, as condições de uso e operação dos elementos, envolvendo a funcionalidade do edifício e seus sistemas;
- IV. Plano de manutenção, em outras palavras, as rotinas de manutenção vigentes e serviços de melhorias nos sistemas da edificação.

Por fim, o delineamento destes cenários do estado de conservação permitirá de forma mais minuciosa a construção das diretrizes para o melhor entendimento sobre o envelhecimento natural da edificação e a construção de ações de um plano de conservação estrutural da edificação.

3.3 FLUXOGRAMA DE APLICAÇÃO

A seguir é apresentado o fluxograma de aplicação das etapas do método proposto, variáveis de análise e os produtos de cada uma delas (Figura 27). A aplicação é feita em três etapas, conforme apresentando no item 3.2 do presente trabalho.

A primeira etapa é a caracterização do sistema através da coleta de informações históricas da edificação, levantamento fotográfico e coleta de dados complementares, como realização de ensaios tecnológicos no objeto de estudo.

A segunda etapa assenta-se na análise do estado de conservação da estrutura, levando em consideração as avaliações a respeito dos modos de falhas, causas e efeitos dos danos existentes. A partir dessa determinação e dos índices de classificações (severidade, ocorrência e detecção), são obtidos os Números de Prioridade de Risco e Número de Prioridade de Risco com Detecção para análises do grau de deterioração dos elementos em estudo.

A terceira etapa consiste na hierarquização dos riscos através das análises dos resultados obtidos da primeira e segunda etapa, sendo possível então a identificação das zonas de tensão (regiões mais vulneráveis e suscetíveis a propagação de danos) e a avaliação dos cenários do estado de conservação do objeto de estudo.

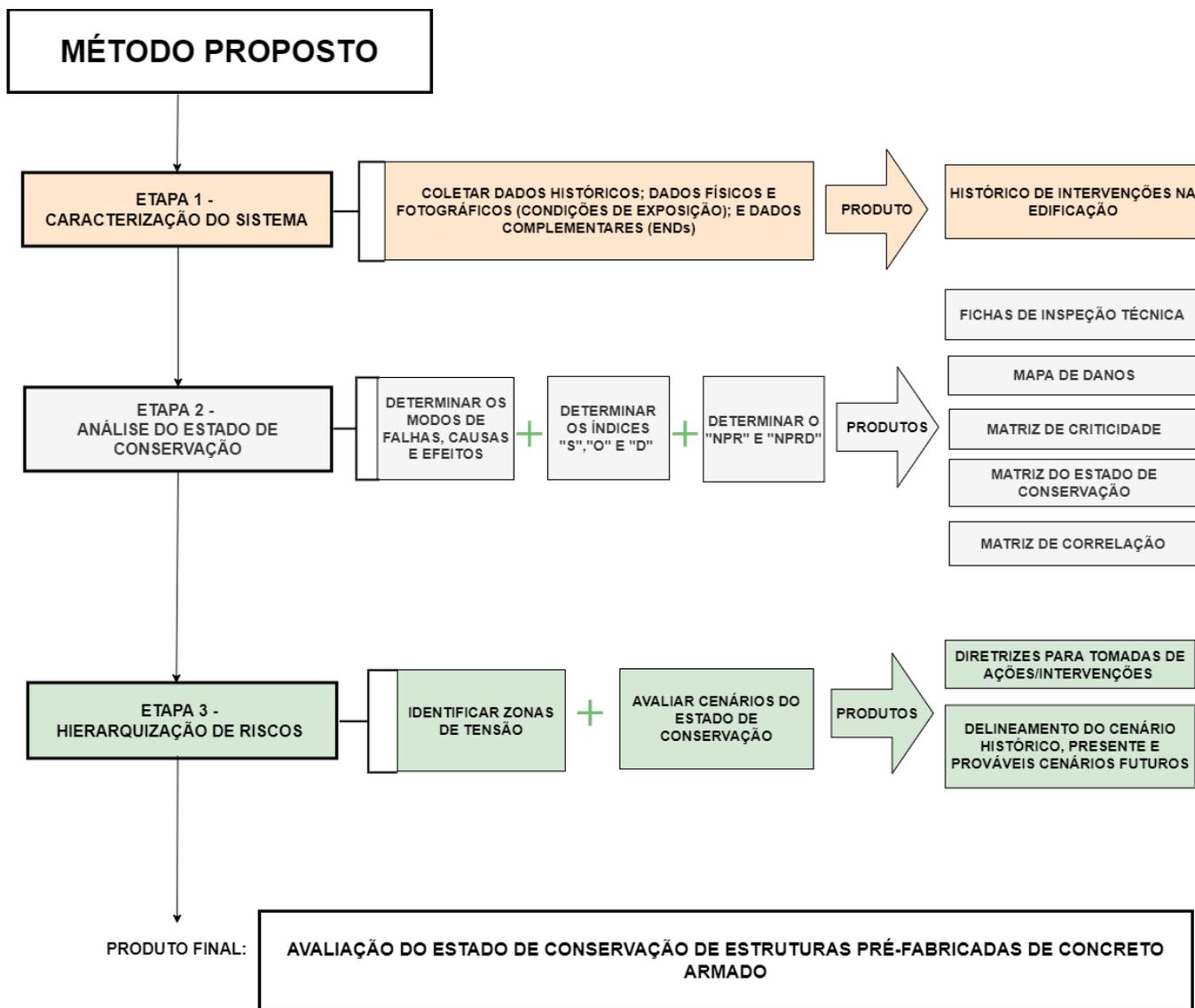


Figura 27 – Fluxograma de aplicação do método proposto.
Fonte: Autora (2022).

Sendo assim, seguindo os critérios e diretrizes técnicas propostas neste capítulo e sintetizadas no fluxograma de aplicação do método proposto (Figura 27), torna-se possível alcançar o objetivo geral do presente trabalho, ou seja, a avaliação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE

Este capítulo contém a aplicação do método para análise do estado de degradação dos pilares pré-fabricados de concreto armado do Instituto Central de Ciências (ICC) Norte da Universidade de Brasília.

Estes elementos estruturais pré-fabricados em série são caracterizados por meio da apresentação, localização e caracterização da edificação do Instituto Central de Ciências (ICC) acerca de sua história, projetos (arquitetônicos e estruturais), além da caracterização dos pilares e sua tecnologia construtiva.

Os resultados do estado de conservação são apresentados por alinhamentos referentes às quatro fachadas do edifício (duas fachadas externas e duas fachadas internas), por trechos de pilares seguindo sua numeração/identificação, e englobando o todo. Por último, a aplicação do método proposto permitiu identificar, através das análises dos resultados, os cenários do estado de conservação.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS – HISTÓRICO

4.1.1 Apresentação do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília

A Universidade de Brasília se localiza geograficamente na Asa Norte do Plano Piloto de Brasília (Figura 28). O *campus* universitário, inaugurado oficialmente no dia 21 de abril de 1962 teve o caráter inovador e dinâmico da nova universidade brasileira na nova capital do país (FONSECA, 2007).



Figura 28 – Localização da UnB (em vermelho) na cidade de Brasília, DF.

Fonte: <<https://www.google.com/maps/search/campus+darcy+ribeiro+/@-15.7851757,-47.9267038,15018m/data=!3m1!1e3>>, acessado em 02 de abril de 2022.

Oscar Niemeyer, arquiteto modernista, na época da inauguração da universidade era chefe do Centro de Planejamento (CEPLAN) da UnB. Niemeyer foi responsável pelo projeto de unificação de oito unidades acadêmicas em uma única edificação, essa a qual seria o Instituto Central de Ciências (ICC). Outra modificação ao plano original foi relacionada ao espaço frontal do edifício (Praça Maior), local o qual seriam construídos os edifícios da Biblioteca, Reitoria, Museu da Civilização Brasileira e do Auditório de Aulas Magnas.

O agrupamento em quatro conjuntos de faculdades profissionalizantes também foi realizado através de mudanças de Niemeyer no plano de urbanização da UnB, onde se instalara as Ciências Médicas, as Ciências Artísticas e Arquitetônicas, as Ciências Humanas e as Ciências Tecnológicas, concentradas nas extremidades norte e sul do ICC (FONSECA, 2007). A Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), local de estudo, se localizaria então no agrupamento das Ciências Arquitetônicas na extremidade norte do ICC.

Após o planejamento da universidade e seus complexos, efetuou-se início do período das obras. O ICC teve sua construção iniciada no ano de 1962 pela construtora Rabello S.A., tendo o seu término somente no ano de 1975. Os responsáveis técnicos foram o engenheiro Murilo S. Andrade, e o projeto estrutural do escritório Sérgio Marques de Souza, tendo o engenheiro Bruno Contarini como assistente desse projeto.

A edificação caracteriza-se como sendo o principal prédio da UnB, comportando desse modo a maioria dos departamentos, faculdades, laboratórios, anfiteatros. O ICC representa a interdisciplinaridade entre os cursos, a idealização de projeto almejada por Niemeyer, pois reuniu as diversas unidades acadêmicas em um imenso prédio, planejando as infraestruturas de cada curso, além do encontro dos estudantes de diversas formações e professores ao longo do caminhar sobre a mesma edificação (ALBERTO, 2009).

Em seu plano original, o ICC iria contar com um bloco de 600 metros de extensão e duas alas paralelas, tendo como cobertura as praças do mezanino, formadas por casacas de concreto. Realizou-se a ocupação da área do subsolo e a criação de uma rua interna a qual percorre o bloco em toda a sua extensão. A forma de ocupação do edifício foi executada de forma longitudinal, onde as unidades acadêmicas foram divididas frontalmente pelas alas paralelas afastadas entre si (FONSECA, 2007).

Em relação ao sistema construtivo, o ICC é considerado um símbolo da inovação e aplicabilidade da técnica da pré-fabricação, principalmente de elementos estruturais e arquitetônicos no Brasil (FONSECA, 2007; ALBERTO, 2009).

O ICC, conhecido popularmente também como o “Minhocão” teve o início de sua construção a partir da extremidade sul.

A edificação é composta por dois blocos separados entre si por aproximadamente 16,50 metros. Nessa faixa de separação, foi implantado diretamente sobre a estrutura um jardim da extremidade sul à extremidade norte.

Os dois blocos do ICC possuem subsolo, térreo e sobreloja, sendo simétricos em relação ao seu eixo central. Existem dois acessos principais, denominados de acesso Norte (seta azul) e acesso Sul (seta vermelha). A Figura 29 expõe a edificação e suas principais entradas centrais.

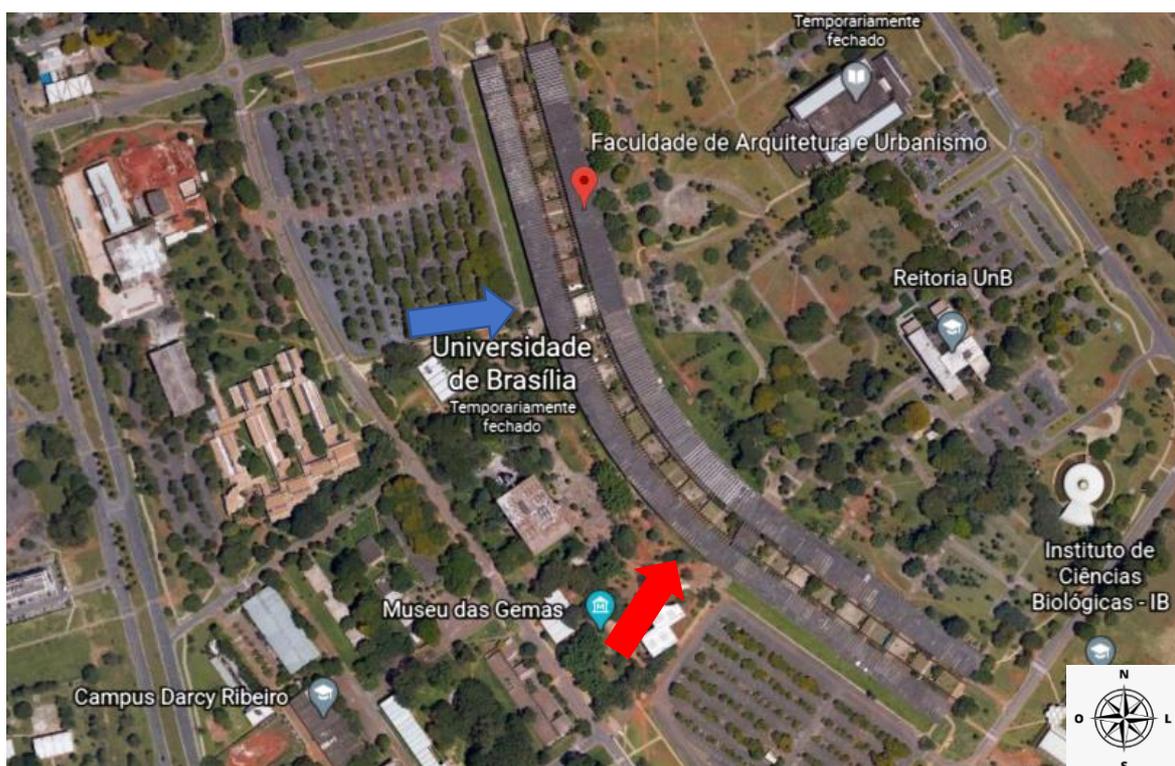


Figura 29 – Vista aérea do ICC e seus principais acessos centrais.
Fonte: Google Earth (2021).

4.1.2 Caracterização dos pilares do Instituto Central de Ciências da UnB

O sistema estrutural da edificação é composto por elementos de concreto aparentes pré-fabricados como: pilares internos e externos de concreto armado; vigas de cobertura, longitudinais e transversais de concreto protendido; vigas dos pisos do térreo e sobreloja protendidas; mezaninos de concreto protendido; e escadas também em concreto protendido.

Em relação aos pilares, a estrutura possui 4 grupos alinhados de pilares pré-fabricados de concreto armado retangulares e com dimensões de projeto de 0,20 x 1,50 metros cada, com altura de 10 metros. O espaçamento entre cada pilar é de aproximadamente 3 metros. Esses

pilares foram fabricados com encaixes para receber as vigas, sejam elas da sobreloja, sejam do pavimento térreo. Em relação à fundação, esses pilares foram encaixados em cavidades pré-estabelecidas nas sapatas, onde assim, ficaram apoiados diretamente nessa fundação (Figura 30 a).

Os pilares externos da edificação (fachadas leste e oeste) possuem tubos de ferro fundido desde o vão da cobertura até o térreo em seu interior, onde cada peça possui 100 mm de diâmetro, com o objetivo de proporcionar a descida das águas pluviais da cobertura (Figura 30 b).

Frisa-se que esta prática de instalações de ferro fundido no interior dos pilares é proibida por normativas pela ABNT NBR 6118:2003, devido à problemas nos elementos relacionados à corrosão.

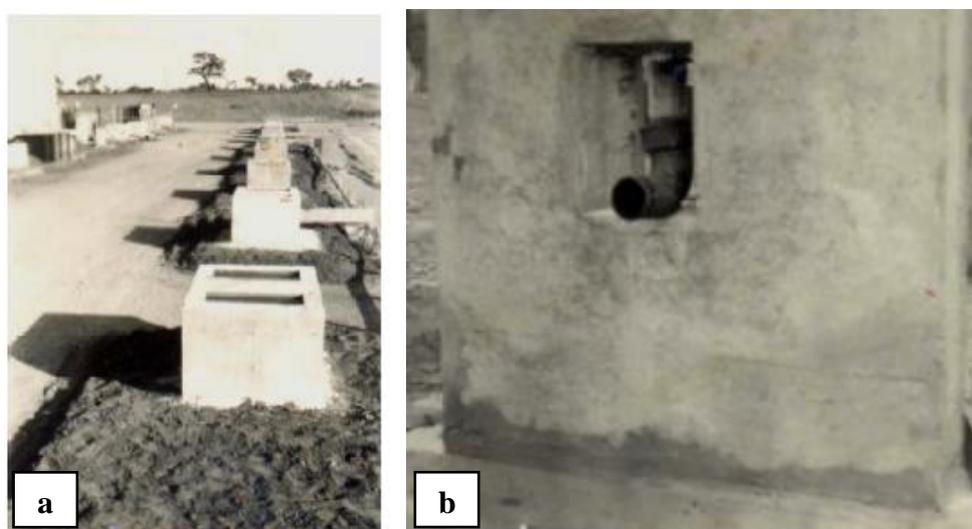


Figura 30 – a) Cavidades nas sapatas com o intuito de receberem os pilares pré-fabricados;
b) Descida de água pluvial nos pilares externos
Fonte: Fonseca (2007).

Após os pilares pré-fabricados, foram construídas as vigas pré-fabricadas, caracterizadas como vigas isostáticas em concreto protendido, tendo suas montagens realizadas com o auxílio de guindastes. As vigas da edificação são apoiadas tanto nos pilares como em vigas longitudinais, as quais possuem aparelhos de apoio do tipo de dente Gerber e foram apoiadas sobre placas de neoprene.

Uma particularidade ainda permanente sobre estes pilares é de que ainda possuem armaduras de espera que foram deixadas a fim de se realizar a fixação das coberturas de cascas de concreto - existentes no projeto original, porém não construídas (Figura 31).



Figura 31 – Armaduras de espera nos pilares (destacado em vermelho).
 Fonte: Autora (2021).

A Figura 32 relata um croqui desenhado pelo arquiteto professor Oscar Kneipp (2006) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB. Sublinha-se a disposição dos pilares externos da edificação.

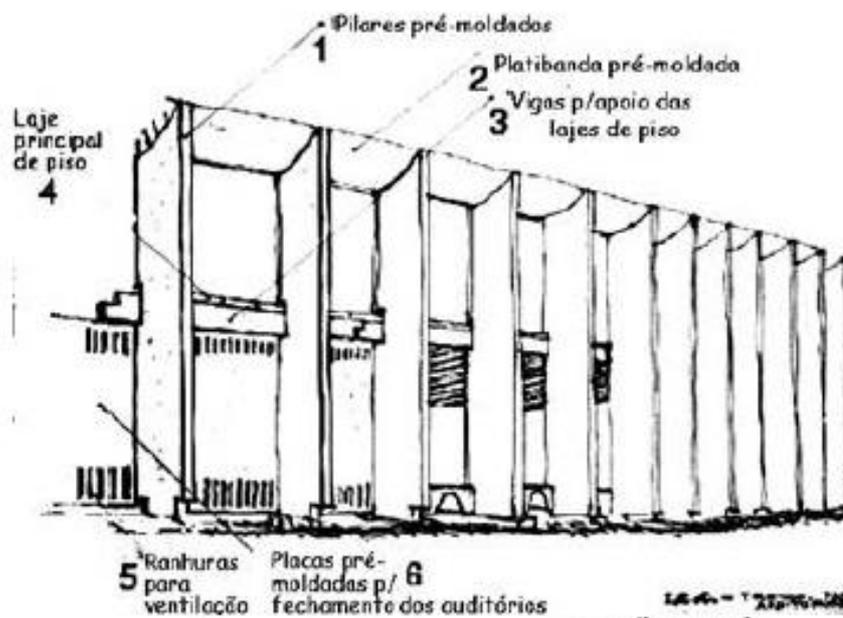


Figura 32 – Croqui – exterior do ICC
 Fonte: Fonseca (2007).

A Figura 33 exhibe a planta baixa da edificação com enfoque da localização do ICC Norte (destacado em vermelho), ala norte a qual localiza-se os pilares objetos de estudo.

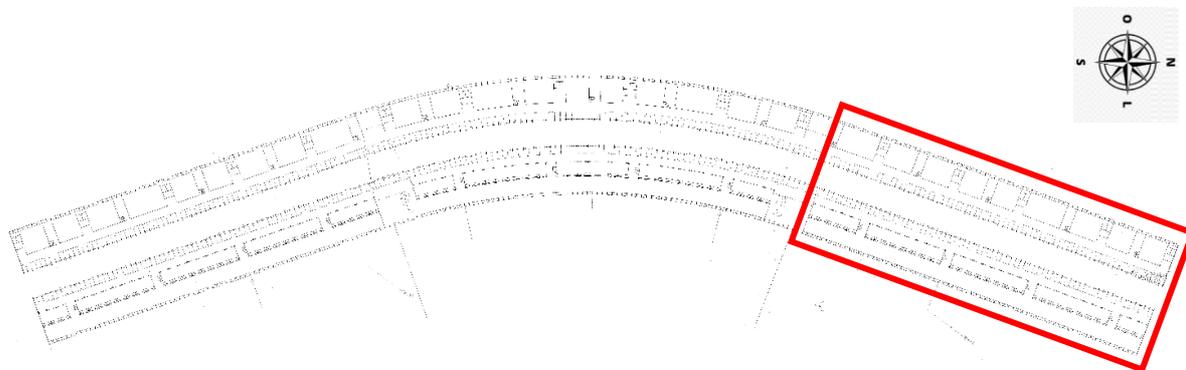


Figura 33 – Planta baixa do ICC, destacando em vermelho os pilares inspecionados do ICC Norte.
 Fonte: <https://ceplan.unb.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=3&Itemid=684&limitstart=0>, acessado em 01 de abril de 2021.

Em relação ao agrupamento dos pilares no sistema estrutural do prédio (análise por grupos), a Tabela 10 expõe a codificação e localização dos pilares em grupos, tomando como base o parâmetro de comparação entre eles em relação às suas diferentes condições de exposição no ICC Norte (fachadas internas e fachadas externas).

Tabela 10 – Identificação dos pilares e fachadas

Codificação de Alinhamentos	Localização dos pilares no ICC Norte
A	Pilares externos do bloco B ala oeste (Pilares BO)
B	Pilares internos do bloco B ala leste (Pilares BL)
C	Pilares internos do bloco A ala oeste (Pilares AO)
D	Pilares externos do bloco A ala leste (Pilares AL)

Fonte: Autora (2021).

A Figura 34 expõe a disposição dos pilares vistos em planta baixa a partir do extremo norte do ICC Norte. Destacam-se os exemplos visuais dos agrupamentos de cada alinhamento de pilares codificados na Tabela 10.

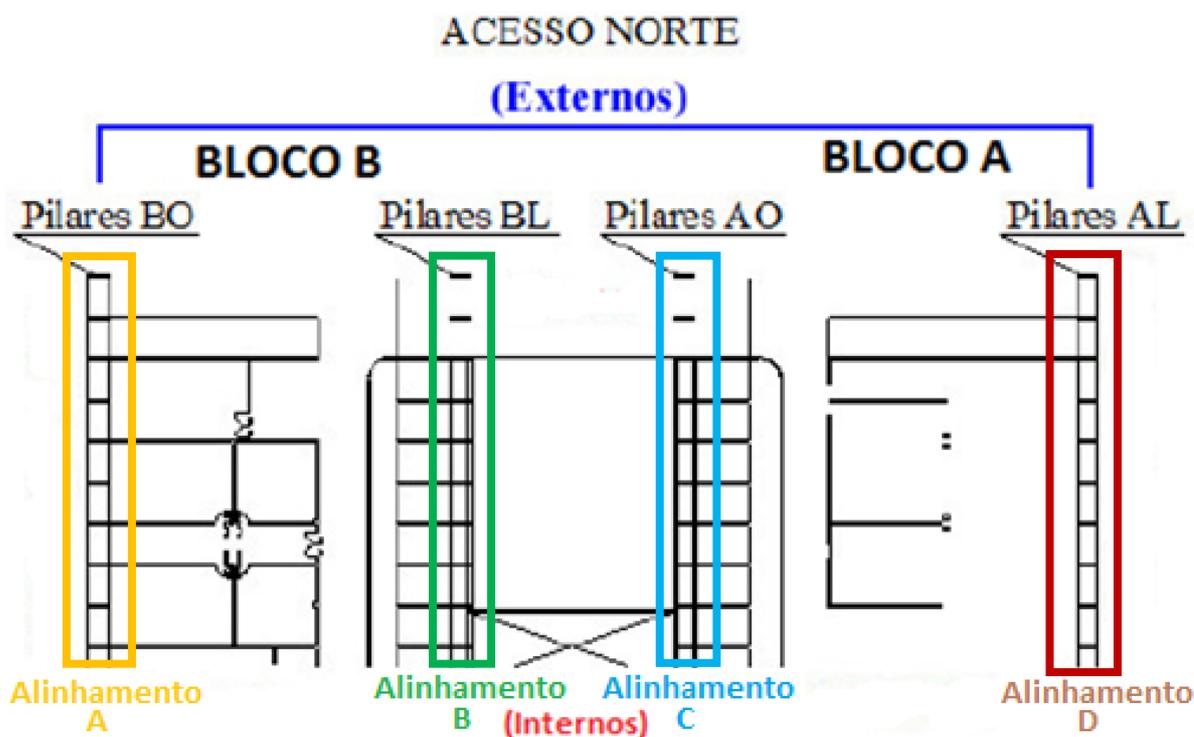


Figura 34 – Disposição dos pilares do ICC vistos em planta baixa – extremo norte.
Fonte: adaptado de Fonseca (2007).

4.1.3 Inspeções técnicas - levantamento fotográfico

Esta etapa constituiu-se dos procedimentos de inspeção das condições gerais do edifício e do sistema estrutural como um todo, além do registro das condições de exposição ambiental, sendo possível assim, obter uma conjectura aos elementos estruturais objetos de estudo quanto aos danos detectáveis visualmente e seus agentes de deterioração estrutural.

As inspeções visuais tiveram como orientação os alinhamentos de construção dos pilares pré-fabricados e construídos no sistema estrutural em série. No ICC, conforme representado na Figura 34, o sistema estrutural da edificação contém quatro alinhamentos de pilares dispostos arquitetonicamente conforme a planta baixa do próprio plano piloto da cidade de Brasília. Cada alinhamento desses pilares em série harmoniza-se com as fachadas da própria edificação, resultando em dois alinhamentos de pilares pré-fabricados em série representando as fachadas externas e dois alinhamentos representando as fachadas internas.

No que tange à totalidade dos pilares pré-fabricados de concreto armado no ICC Norte, local o qual situa-se a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB, existem 300 pilares. O presente trabalho utilizou a Equação 5 a seguir para a realização da análise estatística desse universo de 300 pilares pré-fabricados de concreto armado.

$$N = (1/E^2) * U / [(1/E^2) + U] \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

N: Número de amostras;

E: Erro amostral;

U: Universo estatístico.

A partir da Equação 5, calculou-se um total de 171 pilares, obtendo-se um erro amostral de 5%. Dividiu-se então o número total de amostras (N) por 4, número do total de fachadas presentes no ICC Norte nas quais localizam-se em séries os pilares pré-fabricados de concreto armado. Determinou-se então, o número de 42 pilares por cada uma das 4 fachadas (2 externas e 2 internas) do ICC Norte a serem inspecionados.

À vista disso, foram agrupados os quantitativos de pilares de acordo com suas disposições nas fachadas do ICC Norte a seguir:

- Alinhamento A – Fachada Externa: 42 pilares externos do bloco B ala oeste;
- Alinhamento B – Fachada Interna: 42 pilares internos do bloco B ala leste;
- Alinhamento C – Fachada Interna: 42 pilares internos do bloco A ala oeste;
- Alinhamento D – Fachada Externa: 42 pilares externos do bloco A ala leste.

Como produto do levantamento de campo, foram elaboradas Fichas de Inspeções Técnicas (exemplo no Apêndice I), cujos dados mais relevantes são apresentados a seguir.

O levantamento fotográfico, o qual embasou todos os dados dos danos apresentados e ilustrados pelas Figuras 35 a 72, deu-se através de inspeções técnicas visuais com início no mês de abril de 2021, com intuito de verificar a replicabilidade do método proposto. Posterior à revisão do método e ajustes finais, durante os meses de outubro a dezembro de 2021, foram vistoriados os 42 pilares de cada fachada e coletados os registros fotográficos das inspeções técnicas visuais.

Salienta-se que a identificação dos pilares externos se dá pelo seu número de identificação alocado no próprio elemento *in locu* (no caso dos pilares dos alinhamentos A e D, conforme é exemplificado na Figura 35), e dos pilares internos se dá pelo número de identificação em sua viga superior (no caso dos pilares dos alinhamentos B e C, conforme é exemplificado na Figura 36).



Figura 35 – Número de identificação de um pilar externo - Alinhamento A.
Fonte: Autora (2021).



Figura 36 - Número de identificação de um pilar interno - Alinhamento C.
Fonte: Autora (2021).

Não foram observadas placas de numeração em todos os pilares, contudo, a numeração de identificação segue a sequência de números múltiplos de 3. Ou seja, é possível deduzir que os pilares próximos ao pilar 630 (exemplificado na Figura 35) são os pilares de número 627 e 633. Desse jeito, foi possível executar o exato rastreamento e mapeamento de todos os pilares pré-fabricados e consecutivamente os danos presentes em cada fachada inspecionada.

Com a finalidade de se obter um mapeamento mais representativo e abrangente possível de todas as fachadas do ICC Norte, seguiu-se o padrão de iniciar a inspeção de cada alinhamento pelo seu pilar de localização mais extrema, ou seja, o pilar de número de identificação 696, posteriormente, o pilar de número de identificação 690, em sequência o pilar de número 684 e assim por seguinte, até o término do quantitativo total de 42 pilares inspecionados.

Resumidamente, inspecionou-se intercalando um pilar sim e outro não, iniciando-se as inspeções pela entrada do extremo norte do ICC (pilares de número de identificação 696) e finalizando-as pelos pilares de número de identificação 450, localizados nas entradas principais de acesso central do ICC Norte.

Os meses de outubro a dezembro de 2021 foram os principais meses de fase de coleta dos registros fotográficos. Após o estabelecimento dos exatos pilares e seus números de identificação, o primeiro alinhamento inspecionado foi o alinhamento A. Logo após, inspecionaram-se os pilares do alinhamento B, por seguinte os pilares do alinhamento C e por fim, os pilares do alinhamento D. Assim sendo, as inspeções técnicas contemplaram inspeções dos pilares pré-fabricados de concreto armado do sistema estrutural do ICC Norte como um todo.

No que se refere ao sistema estrutural do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília, verifica-se que este é constituído por elementos de concreto aparente, não existindo nenhum tipo de revestimento em seus elementos estruturais, como vigas, lajes e os próprios pilares.

A Figura 37 apresenta as faixas do sentido Leste (B) e Oeste (A) no sentido de corte transversal. Detecta-se no corte a disposição de cada trecho de pilares agrupando um pilar de cada alinhamento, ou seja, o trecho de pilares disposto no corte a seguir apresenta um pilar do alinhamento A, um pilar do alinhamento B, um pilar do alinhamento C e um pilar do alinhamento D, sendo então, dois pilares de fachadas externas (demarcados em azul) e dois pilares de fachadas internas (demarcados em vermelho). Por conseguinte, foram inspecionados o total de 42 trechos de pilares do ICC Norte.

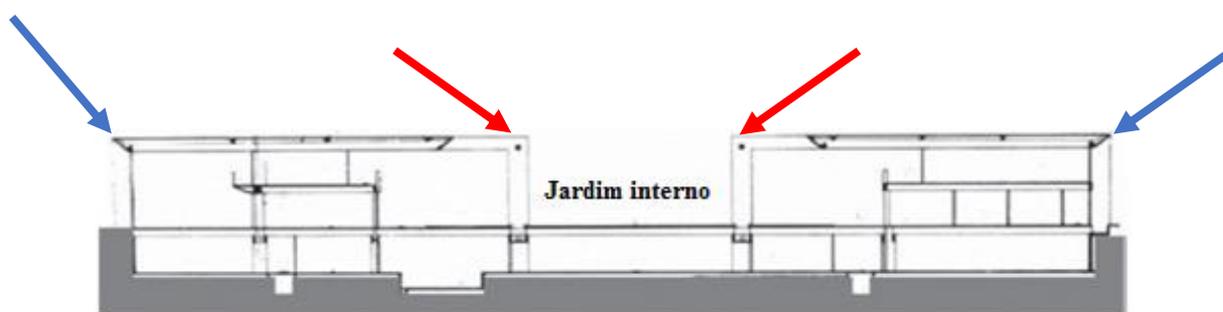


Figura 37 – Corte transversal do ICC: pilares das fachadas externas sinalizados em azul e pilares das fachadas internas sinalizados em vermelho.

Fonte: CEPLAN. Acessada em 22 de fevereiro de 2022:

http://www.ceplan.unb.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=3&Itemid=684&limitstart=20#

Enquanto as faixas do sentido Leste e Oeste constituem as salas de aula, auditórios e laboratórios, a faixa central constitui as passagens de circulações e os jardins internos da edificação.

Os pilares pré-fabricados possuem alma oca para passagem de instalações hidrossanitárias e elétricas (Figura 38). A execução e pré-fabricação desses elementos teve como responsável o arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé).

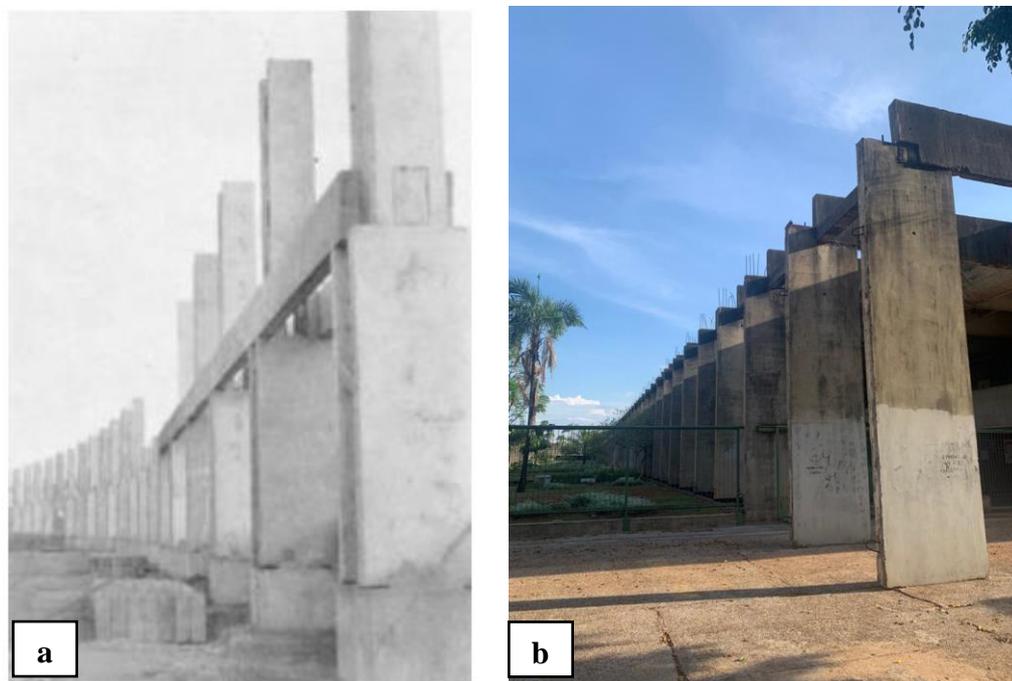


Figura 38 – (a) Pilares de alma oca pré-fabricados construídos em série (alinhamento) na época de sua construção. (b) Pilares de alma oca pré-fabricados atualmente.
Fontes: Acrópole (1970); Autora (2021).



Figura 39 – Vista do corte transversal do ICC.
Fonte: Acrópole (1970).



Figura 40 – Vista do corte transversal do ICC.

Fonte: Autora (2021).

A peculiaridade da alma oca nos pilares baseia-se na existência de tubos de ferro fundidos, procedimento o qual após a popularização do uso de tubulações de policloreto de vinila (PVC) não é mais usualmente utilizado na construção civil. Esse fato deve-se às reações eletroquímicas do ferro em contato com agentes agressivos e o material poroso do concreto. A porosidade mencionada possibilita a passagem de ar e umidade, e a penetração específica de oxigênio e água pode ocasionar a oxidação do ferro presente na mistura interna do concreto armado.

Ademais, enfatiza-se que esta prática de instalações de ferro fundido no interior de elementos conforme vistoriados nos pilares é proibida por normativas desde o ano de 2003, pela ABNT NBR 6118:2003, devido justamente aos problemas de corrosão citados.

Esta reação eletroquímica é reputadamente conhecida pela manifestação patológica denominada corrosão das armaduras, caracterizada pela oxidação do ferro contido nas barras de aço, elemento primordial do concreto armado.

A presença do material de ferro fundido nas instalações hidrossanitárias nos pilares do ICC Norte pode assim agravar o grau de ferrugem no ambiente interno desses elementos estruturais, possibilitando um maior enfraquecimento do aço presente pelas barras de resistência à tração, além de poder provocar também a maior quebra do concreto.

As reações eletroquímicas entre os agentes agressivos e a presença de ferro provocam então um menor tempo de vida útil para os pilares. Identificou-se no levantamento de campo de que as tubulações hidrossanitárias de todos os pilares vistoriados são constituídas de ferro fundido. As Figuras 41 a 43 a seguir expõe a presença desses ferros fundidos nas almas ocas dos pilares.



Figura 41 – Presença de tubulação de ferro fundido nos pilares.
Fonte: Autora (2021).



Figura 42 - Presença de tubulação de ferro fundido nos pilares.
Fonte: Autora (2021).



Figura 43 - Presença de tubulação de ferro fundido nos pilares.
Fonte: Autora (2021).

As Figura 41 e 43 também evidenciam a existência de suportes metálicos e grades de proteção de condensadoras de sistemas de ar condicionado tipo *split*, fixações diretas nos pilares verificadas durante as inspeções. Os suportes foram identificados nos pilares das duas fachadas externas do ICC Norte. Em relação ainda a estruturas fixadas diretamente nos pilares, vistoriou-se os brises metálicos das janelas de ambas as fachadas mencionadas (Figura 44).



Figura 44 – Brises, suportes e grades de proteção fixados diretamente nos pilares das fachadas externas.

Fonte: Autora (2021).

Para além disso, foi vistoriado também a existência de trincas/fissuras diagonais no topo dos pilares, todas tendo características de posição semelhantes entre si. Acredita-se que a causa dessas trincas/fissuras é resultado da movimentação da viga superior ocasionada pela variação de temperatura juntamente com a perda de funcionalidade do aparelho de apoio de neoprene originalmente existente, contudo, já provavelmente desgastado pelo tempo de uso e exposição à agente agressivos e intempéries (Figuras 45 a 48).



Figura 45 – Desgaste do aparelho de apoio entre o pilar e a viga superior - Alinhamento B.
Fonte: Autora (2021).



Figura 46 – Desgaste do aparelho de apoio e presença de trinca/fissura em pilar - Alinhamento B.
Fonte: Autora (2021).



Figura 47 - Ausência do aparelho de apoio entre o pilar e a viga superior - Alinhamento C.
Fonte: Autora (2021).



Figura 48 – Ausência do aparelho de apoio e presença de trinca/fissura em pilar - Alinhamento B.
Fonte: Autora (2021).

Foram vistoriados ninhos de concretagem majoritariamente no sistema analisado (Figura 49 a 52). A provável causa para esses danos nos pilares inspecionados pode ter sido uma falha no controle tecnológico desses elementos pré-fabricados, especialmente nas etapas de lançamento e adensamento do concreto. A forma de vibração do concreto para garantir a correta trabalhabilidade, característica do concreto, assegura o preenchimento de todos os espaços do elemento a ser concretado, ocupando todos os vazios da pasta.



Figura 49 - Presença de ninhos de concretagem nos pilares - Alinhamento A.
Fonte: Autora (2021).



Figura 50 - Presença de ninhos de concretagem nos pilares - Alinhamento B.
Fonte: Autora (2021).



Figura 51 - Presença de ninhos de concretagem nos pilares - Alinhamento C.
Fonte: Autora (2021).



Figura 52 - Presença de ninhos de concretagem nos pilares - Alinhamento D.
Fonte: Autora (2021).

Durante as inspeções foi possível a visualização de agregados graúdos nos pilares, principalmente nas áreas de presença dos ninhos de concretagem. O excesso de agregados graúdos juntamente com existência de um concreto pouco coeso pode acarretar no surgimento desse dano.

O processo construtivo de um quantitativo relevante de estruturas pré-fabricadas emerge ainda mais a necessidade de um alto controle de execução e de qualidade do adensamento e vibração do concreto. Somente o ICC Norte possui 300 pilares pré-fabricados de concreto armado, o que torna possível assim a provável causa dos ninhos de concretagem em todos os pilares vistoriados foi o uso de concreto pouco coeso com excesso de agregados graúdos.

Estes vazios de concretagem acarretam não somente em problemas estéticos aos usuários da edificação, como também podem comprometer a capacidade de suporte e durabilidade da estrutura. Os ninhos de concretagem podem ocasionar a segregação do concreto e expor, por consequência, as armaduras do elemento à agentes agressivos, como a água, ampliando então a possibilidade do processo de corrosão (Figura 53).



Figura 53 – Presença de deslocamento do concreto e corrosão das armaduras tendo como estimulador a presença de ninhos de concretagem – Alinhamento D.
Fonte: Autora (2021).

Manchas de umidade e sinais de bolor também foram vistoriados durante as inspeções em todos os alinhamentos do sistema. Esses danos estão localizados principalmente nas extremidades das bordas dos pilares ao longo de sua extensão, como também em seus topos e bases (Figuras 54 e 55).



Figura 54 – Presença de manchas de umidade e bolor nos pilares – Alinhamento A.
Fonte: Autora (2021).



Figura 55 – Presença de manchas de umidade e bolor nos pilares – Alinhamento C.
Fonte: Autora (2021).

Constatou-se que a existência de manchas de umidade e bolor nas bases dos pilares dos alinhamentos A e D (fachadas externas) estão associadas grande parte às tubulações de ferro fundido no interior dos pilares. As Figuras 56 e 57 a seguir expõem a presença destas tubulações (demarcadas em azul) e as manchas de umidade e bolor nos pilares.



Figura 56 – Presença de manchas de umidade e bolor nos pilares – Alinhamento A.

Fonte: Autora (2021).



Figura 57 – Presença de manchas de umidade e bolor nos pilares – Alinhamento A.

Fonte: Autora (2021).

Vistoriou-se que apesar da existência de vegetação (trepadeiras) em pilares dos alinhamentos A e D (fachadas externas), foi verificado que esse dano está presente majoritariamente no alinhamento C (fachada interna da edificação), percorrendo o topo e extensão dos pilares. Nota-se, pelas Figuras 58 e 59, a presença nos alinhamentos das fachadas externas e pelas Figuras 60 a 62, a seguir, que ambos alinhamentos B e C possuem jardins internos cerce aos pilares.



Figura 58 - Presença de vegetação (trepadeiras) nos pilares - Alinhamento A.
Fonte: Autora (2021).



Figura 59 - Presença de vegetação (trepadeiras) nos pilares - Alinhamento A.
Fonte: Autora (2021).



Figura 60 - Presença de vegetação (trepadeiras) nos pilares - Alinhamento C.
Fonte: Autora (2021).

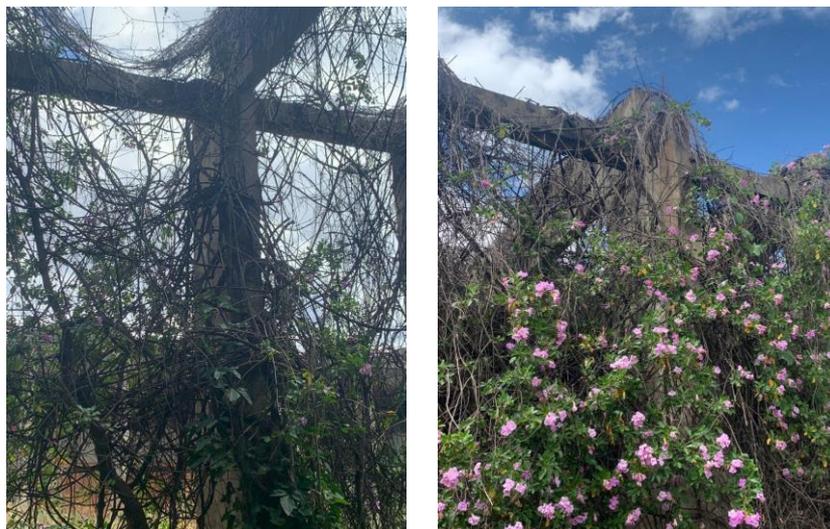


Figura 61 - Presença de vegetação (trepadeiras) nos pilares - Alinhamento C.
Fonte: Autora (2021).



Figura 62 - Presença de vegetação (trepadeiras) nos pilares - Alinhamento C.
Fonte: Autora (2021).

O levantamento de campo também identificou a existência de corrosão de armaduras nos pilares. De modo geral, a maior parte da manifestação desse dano não apresentou perda de seção das armaduras (Figuras 63 e 64), todavia, foram vistoriados pilares em que houve a perda de seção de armaduras (Figuras 65 e 66).



Figura 63 - Presença de corrosão das armaduras sem perda de seção nos pilares - Alinhamento A.
Fonte: Autora (2021).



Figura 64 - Presença de corrosão das armaduras sem perda de seção nos pilares - Alinhamento D.
Fonte: Autora (2021).



Figura 65 - Presença de corrosão das armaduras com perda de seção nos pilares - Alinhamento D.
Fonte: Autora (2021).



Figura 66 - Presença de corrosão das armaduras com perda de seção nos pilares - Alinhamento D.
Fonte: Autora (2021).

Existem danos que não são classificados como manifestações de interações (seja por relação tipo físico, químico ou biológico) da estrutura com o meio ambiente o qual a mesma está exposta. Ou seja, danos os quais não podem comprometer a estabilidade e funcionalidade estrutural do elemento.

No tocante a estes danos que não possuem alguma relação entre a estrutura e o meio ambiente, vistoriou-se em todos os quatro alinhamentos: pichações, pinturas, colagens e cartazes (Figuras 67 e 68). Notou-se que a incidência desse tipo de dano (inerente às interações com o meio ambiente) se concentrou no alinhamento D, fachada externa da edificação, a qual apenas 2 de seus 42 pilares inspecionados não apresentaram nenhum sinal desses danos.



Figura 67 - Presença de pichações e pinturas nos pilares - Alinhamento D.
Fonte: Autora (2021).



Figura 68 - Presença de pichações, pinturas e colagens nos pilares - Alinhamento C.
Fonte: Autora (2021).

Alguns desafios impostos à obtenção de dados e coleta dos registros fotográficos foram o período intenso de chuva e dias nublados, além da dificuldade de acesso à edificação devido ao seu acesso restrito causado pela COVID-19.

Acredita-se que o menor uso da edificação pelos alunos, professores e transeuntes pelo período da pandemia também causou consequências como uma menor rotina periódica de manutenção, limpeza e até poda das vegetações existentes tanto nos jardins externos, como principalmente os jardins internos. A densa vegetação e acúmulo de sujeiras nos jardins acarretou uma dificuldade de inspeção em alguns pilares selecionados, principalmente pilares dos alinhamentos B e C.

Outro desafio identificado para a realização das inspeções deveu-se à existência de caçamba e entulho de obras, além da presença de pilhas de materiais de construção, como brita e areia (Figura 70 a 72) no alinhamento D. Como se observou a existência de obras em fase de execução no mezanino da entrada principal do ICC Norte (Figura 69), pensa-se que as pilhas de materiais de construção e até possivelmente o entulho próximos da fachada externa possam ser provenientes dessas obras que se encontravam em andamento quando foram realizadas as inspeções dos pilares.



Figura 69 – Identificação de obra em andamento no ICC Norte. Presença de canteiro de obra na entrada principal.
Fonte: Autora, 2021.



Figura 70 – Presença de entulho da construção civil armazenado de forma inapropriada próximo aos pilares - Alinhamento D.
Fonte: Autora, 2021.



Figura 71 – Presença de caçamba e entulho armazenados de forma imprópria, próximos à pilares - Alinhamento D.

Fonte: Autora, 2021.

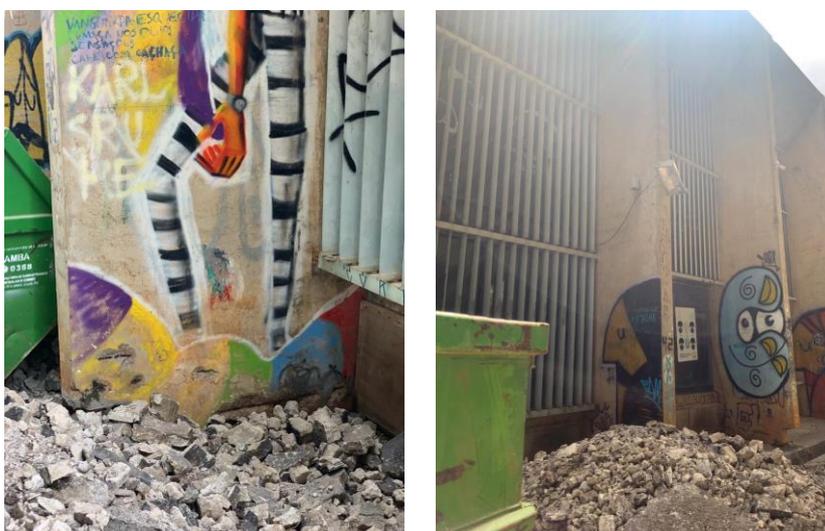


Figura 72 - Presença de caçamba e entulho armazenados de forma imprópria, próximos à pilares - Alinhamento D.

Fonte: Autora, 2021.

Apesar dos desafios encontrados durante as inspeções técnicas, a realização das mesmas durante a pandemia da COVID-19 e obtenção dos dados *in locu* das inspeções foi possível, em grande parte, devido à autorização de acesso ao ICC Norte pela Direção da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Essa autorização viabilizou o acesso e registro dos pilares das fachadas internas da edificação (alinhamentos B e C).

4.2 ANÁLISE DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO

A etapa de coleta de informações a respeito da caracterização da edificação quanto sua tipologia construtiva e a caracterização dos pilares através do histórico e inspeções técnicas

visuais com ênfase na inspeção de danos, possibilitou reunir informações para o mapeamento de danos nos pilares que afetam o sistema estrutural da edificação em estudo.

Através do mapeamento de danos, os quais foram sistematizados em fichas de identificação, conforme no exemplo do Apêndice I, tornou-se possível então o início da etapa de análise do estado de conservação dos pilares pré-fabricados de concreto armado do ICC Norte.

A aplicação dos procedimentos para análise do estado de conservação para os pilares, agrupados em fases de mapeamento dos danos e fases de análise por alinhamento e análise do todo, se apresenta a seguir.

4.2.1 Índice de severidade (S) e mapeamento dos danos

Para iniciar a etapa de análise do estado de conservação, os danos identificados nas inspeções foram sistematizados em Fichas de Inspeções Técnicas, de acordo com o exemplo do Apêndice I. A partir da coleta de informações *in locu*, organizou-se um banco de informações para cada um dos 4 alinhamentos do ICC Norte, orientados conforme a fachada de cada, de tal modo que os danos registrados estão relacionados à classificação do índice de severidade (S), expostos na Tabela 5.

Com o intuito de se obter o mapeamento dos danos como produto da classificação da severidade, foram organizadas legendas de identificação de cada dano, conforme exposto na Tabela 11 a seguir. A escala de cores selecionadas contém uma relação proporcional e sensorial ao grau de criticidade dos danos e prontamente aos seus índices de severidade (S).

Tabela 11 – Identificação da classificação de cada dano para o mapeamento de dados.

Índice de severidade (S)	Legenda para identificação	Dano vistoriado
1	D1.1	Pichações/Pinturas
	D1.2	Colagens/Cartazes
2	D.2.1	Fissuras/Trincas
	D.2.2	Ninhos de concretagem
	D.2.3	Desplacamento do concreto
3	D3.1	Manchas de umidade
	D3.2	Sinais de Eflorescência
	D3.3	Vegetação (trepadeiras)
4	D4	Corrosão da armadura sem perda de seção
5	D5	Corrosão da armadura com perda de seção

Fonte: Autora (2022).

A seguir, as Tabelas 12 a 15 apresentam o mapeamento dos danos vistoriados dos 4 alinhamentos da edificação em estudo. As tabelas apresentam a representação gráfica do mapa de danos com a numeração da classificação do índice de severidade (S), além da identificação dos 42 trechos relacionados à identificação da numeração local de cada pilar. Observa-se ainda que, cada tabela apresenta a identificação da localização do alinhamento em análise a partir da planta baixa do ICC Norte.

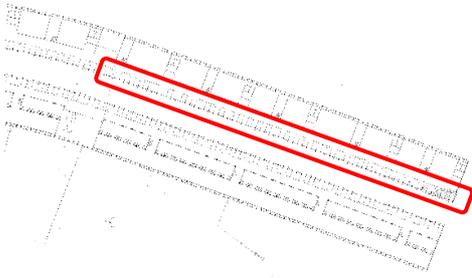
Tabela 12 – Mapeamento dos danos - Alinhamento A.

Mapeamento de Danos											
Alinhamento A											
Trecho	Numeração Local	Severidade do Dano									
		D1.1	D1.2	D2.1	D2.2	D2.3	D3.1	D3.2	D3.3	D4	D5
1	696	1	1	2	2		3		3		
2	690			2	2	2	3		3		5
3	684	1		2	2		3				
4	678			2	2	2	3			4	5
5	672			2	2	2	3				5
6	666	1		2	2		3				
7	660			2	2	2	3			4	
8	654			2	2	2	3			4	
9	648			2	2	2	3				

10	642			2	2		3				
11	636			2	2		3				
12	630			2	2		3				
13	624			2	2	2	3				
14	618			2	2		3				
15	612			2	2		3				
16	606			2	2		3				
17	600			2	2		3				
18	594			2	2	2	3				
19	588			2	2		3			4	
20	582			2	2		3				
21	576			2	2		3	3		4	
22	570	1		2	2	2	3			4	5
23	564			2	2	2	3			4	
24	558			2	2		3				
25	552				2		3			4	
26	546			2	2	2	3			4	
27	540				2		3			4	
28	534			2	2	2	3				5
29	528			2	2	2	3				
30	522				2	2	3			4	
31	516				2		3				
32	510	1		2	2	2	3				5
33	504			2	2	2	3				
34	498	1		2	2	2	3			4	
35	492				2	2	3				
36	486			2	2		3				
37	480			2	2	2	3			4	
38	474	1			2	2	3			4	5
39	468	1		2	2		3			4	
40	462	1					3	3			
41	456	1			2		3				
42	450	1	1		2		3				

Fonte: Autora (2022).

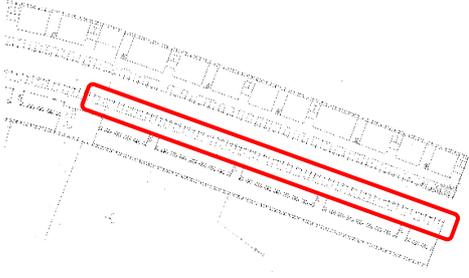
Tabela 13 - Mapeamento dos danos - Alinhamento B.

Mapeamento de Danos											
Alinhamento B											
											
Trecho	Numeração Local	Severidade do Dano									
		D1.1	D1.2	D2.1	D2.2	D2.3	D3.1	D3.2	D.3.3	D4	D5
1	696	1			2		3			4	
2	690	1		2	2		3				
3	684	1		2	2		3				
4	678			2	2		3				
5	672			2	2		3				
6	666	1		2	2		3				
7	660			2	2		3				
8	654	1		2	2		3			4	
9	648			2	2		3				
10	642			2	2		3				
11	636	1		2	2	2	3				
12	630	1		2	2		3				
13	624	1	1	2	2		3				
14	618			2	2		3				
15	612			2	2		3				
16	606			2	2		3			4	

17	600	1		2	2		3				
18	594			2	2		3			4	
19	588			2	2		3				
20	582			2	2		3				
21	576			2	2		3			4	
22	570	1		2	2		3			4	
23	564			2	2		3			4	
24	558			2	2		3			4	
25	552			2	2		3				
26	546	1		2	2		3				
27	540			2	2		3			4	
28	534			2	2		3				
29	528			2	2		3				
30	522	1		2	2		3			4	
31	516			2	2		3				
32	510	1		2	2		3				
33	504			2	2		3				
34	498			2	2	2	3			4	
35	492			2	2		3				
36	486			2	2		3				
37	480				2		3				
38	474			2			3				
39	468	1	1	2	2		3			4	
40	462	1		2	2		3			4	
41	456	1		2	2		3				
42	450				2		3				

Fonte: Autora (2022).

Tabela 14 - Mapeamento dos danos - Alinhamento C.

Mapeamento de Danos											
Alinhamento C											
											
Trecho	Numeração Local	SEVERIDADE DO DANO									
		D1.1	D1.2	D2.1	D2.2	D2.3	D3.1	D3.2	D3.3	D4	D5
1	696				2		3		3		
2	690			2	2		3				
3	684			2	2		3				
4	678			2	2		3		3	4	
5	672			2	2		3		3		
6	666			2	2		3		3	4	
7	660			2	2		3		3		
8	654	1		2	2		3			4	
9	648			2	2		3				
10	642			2	2		3			4	
11	636			2	2		3			4	
12	630	1		2	2		3				
13	624	1		2	2	2	3	3		4	
14	618			2	2	2	3			4	
15	612			2	2	2	3			4	
16	606			2	2		3				

17	600			2	2		3				
18	594			2	2		3			4	
19	588			2	2		3				
20	582			2	2	2	3				
21	576	1		2	2		3				
22	570	1		2	2		3				
23	564			2	2		3				
24	558			2	2		3			4	
25	552			2	2	2	3			4	
26	546	1	1	2	2		3				
27	540			2	2		3				
28	534	1		2	2		3				
29	528			2	2		3			4	
30	522	1		2	2		3				
31	516	1	1	2	2		3				
32	510				2		3				
33	504	1		2	2		3				
34	498	1		2	2		3			4	
35	492			2	2		3		3		
36	486			2	2		3		3		
37	480			2	2		3		3		
38	474			2	2		3				
39	468	1	1	2	2		3				
40	462	1		2	2		3				
41	456	1		2	2		3				
42	450			2	2		3				

Fonte: Autora (2022).

Tabela 15 - Mapeamento dos danos - Alinhamento D.

Mapeamento de Danos											
Alinhamento D											
Trecho	Numeração Local	SEVERIDADE DO DANO									
		D1.1	D1.2	D2.1	D2.2	D2.3	D3.1	D3.2	D3.3	D4	D5
1	696	1		2	2		3			4	
2	690	1		2	2	2	3	3		4	5
3	684	1		2	2	2	3				
4	678			2	2		3				
5	672	1		2	2	2	3			4	5
6	666	1		2	2		3			4	
7	660	1		2	2	2	3			4	5
8	654	1		2	2		3			4	
9	648	1		2	2		3			4	
10	642			2	2		3	3		4	
11	636	1		2	2		3			4	
12	630	1		2	2	2	3			4	
13	624	1		2	2	2	3	3	3	4	5
14	618	1		2	2	2	3		3	4	

15	612	1		2	2		3			4	
16	606	1		2	2		3			4	5
17	600	1		2	2		3			4	
18	594	1		2	2	2	3			4	5
19	588	1		2	2	2	3	3		4	5
20	582	1		2	2	2	3			4	5
21	576	1		2	2	2	3			4	
22	570	1	1	2	2	2	3			4	
23	564	1	1	2	2	2	3			4	5
24	558	1		2	2	2	3			4	5
25	552	1	1	2	2	2	3			4	
26	546	1		2	2	2	3				
27	540	1	1	2	2		3				
28	534	1	1	2	2		3				
29	528	1	1	2	2	2	3			4	
30	522	1		2	2	2	3	3		4	5
31	516	1		2	2	2	3			4	
32	510	1		2	2		3				
33	504	1		2	2		3				
34	498	1		2	2	2	3			4	
35	492	1		2	2		3				
36	486	1		2	2	2	3				5
37	480	1		2	2	2	3			4	5
38	474	1	1	2	2		3			4	
39	468	1		2	2		3				
40	462	1		2	2		3	3			
41	456	1		2	2		3	3			
42	450	1		2	2	2	3			4	

Fonte: Autora (2022).

A partir do mapeamento dos danos dos 168 pilares inspecionados, tornou-se factível a produção de um quadro resumo (Tabela 16) sobre a percentagem de pilares que possuem os danos em avaliação em relação à totalidade dos 42 pilares de cada trecho. Ou seja, foi possível inferir que 98% dos pilares do alinhamento A possuem ninhos de concretagem, por exemplo.

Tabela 16 – Porcentagens de danos identificados nos pilares para cada alinhamento.

Dano	Alinhamento			
	A	B	C	D
Pichações/pinturas	26%	38%	33%	95%
Colagens/cartazes	5%	2%	7%	17%
Fissuras/trincas	79%	93%	95%	100%
Ninhos de concretagem	98%	98%	100%	100%
Desplacamento do concreto	48%	5%	12%	45%
Manchas de umidade	100%	100%	100%	100%
Sinais de eflorescências	5%	-	2%	17%
Vegetação (trepadeiras)	5%	-	19%	5%
Corrosão da armadura sem perda de seção	36%	31%	31%	71%
Corrosão da armadura com perda de seção	17%	-	-	31%

Fonte: Autora (2022).

Acentua-se que a soma dos valores das porcentagens dos danos em cada coluna dos alinhamentos da tabela ultrapassa o valor de 100% devido a existência de mais de um tipo de dano simultaneamente em um mesmo pilar.

Em referência aos danos mais vistoriados nos pilares e em todos os 4 alinhamentos, salientam-se as fissuras/trincas, os ninhos de concretagem e manchas de umidade.

No que toca à danos com maior grau de criticidade, vale destacar que sinais de corrosão da armadura sem perda de seção foram vistoriados em todos os 4 alinhamentos, todavia, o alinhamento D obteve a maior porcentagem de pilares apresentando esse tipo de dano. Para mais, os alinhamentos A e D, os quais representam as fachadas externas da edificação, foram os alinhamentos que apresentaram porcentagem de pilares contendo sinais de corrosão da armadura com perda de seção.

O mapeamento e o quadro-resumo permitiram a apreensão dos danos presentes nos pilares pré-fabricados de concreto armado do ICC Norte de forma completa, por conterem a identificação e respectiva localização dos pilares que possuem danos e a descrição desses em todas as fachadas da edificação, além de permitir uma análise dos danos por agrupamentos (alinhamentos) em relação ao sistema como um todo.

4.2.2 Índice de ocorrência (O) e matrizes de criticidade

Para a progressão da análise do estado de conservação dos pilares, obteve-se os índices de ocorrência (O), conforme os critérios de classificação da Tabela 6, exposta na metodologia proposta da presente pesquisa.

De acordo com os critérios pré-estabelecidos para classificação deste índice, é necessário avaliar o risco de integridade estrutural relacionado à zona de maior momento fletor do pilar em análise. No objeto de estudo, os pilares pré-fabricados de concreto armado de todas as fachadas do ICC Norte apresentam maior momento fletor em suas bases, área em contato com o piso térreo. A Figura 73, a seguir, apresenta a área de maior momento fletor dos pilares do ICC Norte demarcada em vermelho.



Figura 73 – Área de maior momento fletor do pilar objeto de estudo.
Fonte: Autora (2022).

Assim, a partir da classificação dos índices de severidade (S) e expostos na etapa anterior e a classificação dos índices de ocorrência (O) na presente etapa, foram calculados os Números de Prioridade de Risco (NPR) para cada pilar de todos os 4 alinhamentos existentes. O Apêndice II apresenta as tabelas de classificação com a numeração dos pilares e seus respectivos valores dos índices de ocorrência e os NPR calculados e agrupados para cada alinhamento.

Frisa-se que foram atribuídas legendas com cores para o valor resultante do Número de Prioridade de Risco (Tabela 17) com o intuito de facilitar a leitura das tabelas e o panorama das classificações dos índices em cada alinhamento.

Tabela 17 – Legenda para tabelas de classificação do Número de Prioridade de Risco

Critério de classificação do Número de Prioridade de Risco (NPR)	
	Grau de risco mínimo: $NPR \leq 3$
	Grau de risco moderado: $3 < NPR \leq 12$
	Grau de risco crítico: $12 < NPR \leq 25$

Fonte: Autora (2022).

A partir das tabelas do cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR) dos pilares, foram elaboradas as matrizes de criticidade, organizadas por alinhamentos, de modo a relacionar os índices de severidade e de ocorrência. Para cada alinhamento, produziu-se uma matriz de criticidade representante. Cada matriz foi elaborada com uso das réguas auxiliares das tabelas dos Números de Prioridade de Riscos do Apêndice II, as quais trazem os índices “S” e “O” e o NPR resultante.

As matrizes de criticidade, produtos desta etapa da análise do estado de conservação, são apresentadas na sequência, seguindo a ordem dos alinhamentos e tendo como referências as fachadas da edificação (Figuras 74 a 77). A legenda da Tabela 17 também foi adotada para a leitura das matrizes.

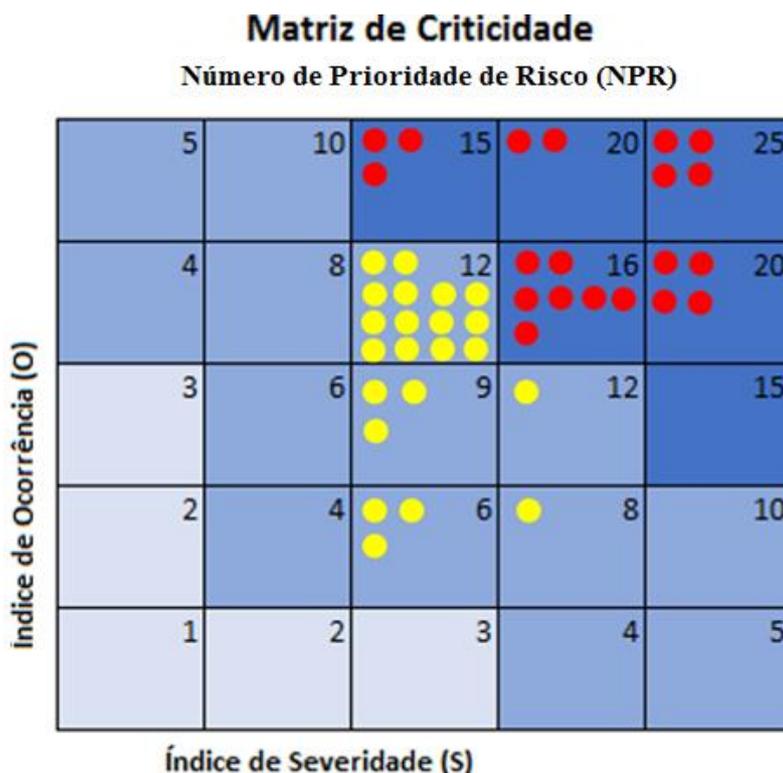


Figura 74 – Matriz de criticidade – Alinhamento A
Fonte: Autora (2022).

classificação dos índices de ocorrência), no entanto, as inspeções foram ausentes de ensaios tecnológicos, sejam esses destrutivos ou não destrutivos. As inspeções técnicas desse estudo então foram classificadas com média complexidade ($D = 3$) para todos os pilares dos 4 alinhamentos existentes no ICC Norte.

Deste modo, alicerçado com os Números de Prioridade de Risco (NPR) já apresentados, juntamente com os valores dos índices de detecção determinados nesta etapa, foram obtidos os níveis de criticidade de cada pilar, representados pelos Números de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD).

O Apêndice III apresenta as tabelas de classificação com a numeração dos pilares e seus respectivos valores de NPR, índices de detecção e os NPRD obtidos e agrupados para cada alinhamento.

Distingue-se que foram atribuídas legendas com cores para o valor resultante do Número de Prioridade de Risco com Detecção (Tabela 18) com o intuito de auxiliar a leitura das tabelas e o panorama das classificações dos índices em cada alinhamento.

Tabela 18 - Legenda para tabelas de classificação do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD).

Critério de classificação do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)	
	Nível de criticidade mínima: $\text{NPRD} \leq 27$
	Nível de criticidade moderada: $27 < \text{NPRD} < 64$
	Nível de criticidade crítica: $64 \leq \text{NPRD} \leq 125$

Fonte: Autora (2022).

A partir das tabelas do cálculo do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) dos pilares, foram elaboradas as matrizes do estado de conservação de cada alinhamento, de forma a relacionar os Números de Prioridade de Risco e os índices de detecção. Cada matriz foi elaborada com uso das réguas auxiliares das tabelas dos Números de Prioridade de Risco com Detecção do Apêndice III, as quais trazem os índices “NPR” e “D” e o NPRD resultante.

As matrizes do estado de conservação (Figuras 78 a 81), produtos desta etapa da análise, são apresentadas na sequência, seguindo a ordem dos alinhamentos e tendo como referências as fachadas da edificação, assim como as matrizes de criticidades. A legenda da Tabela 18 também foi adotada para suas leituras.

Matriz do Estado de Conservação Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)

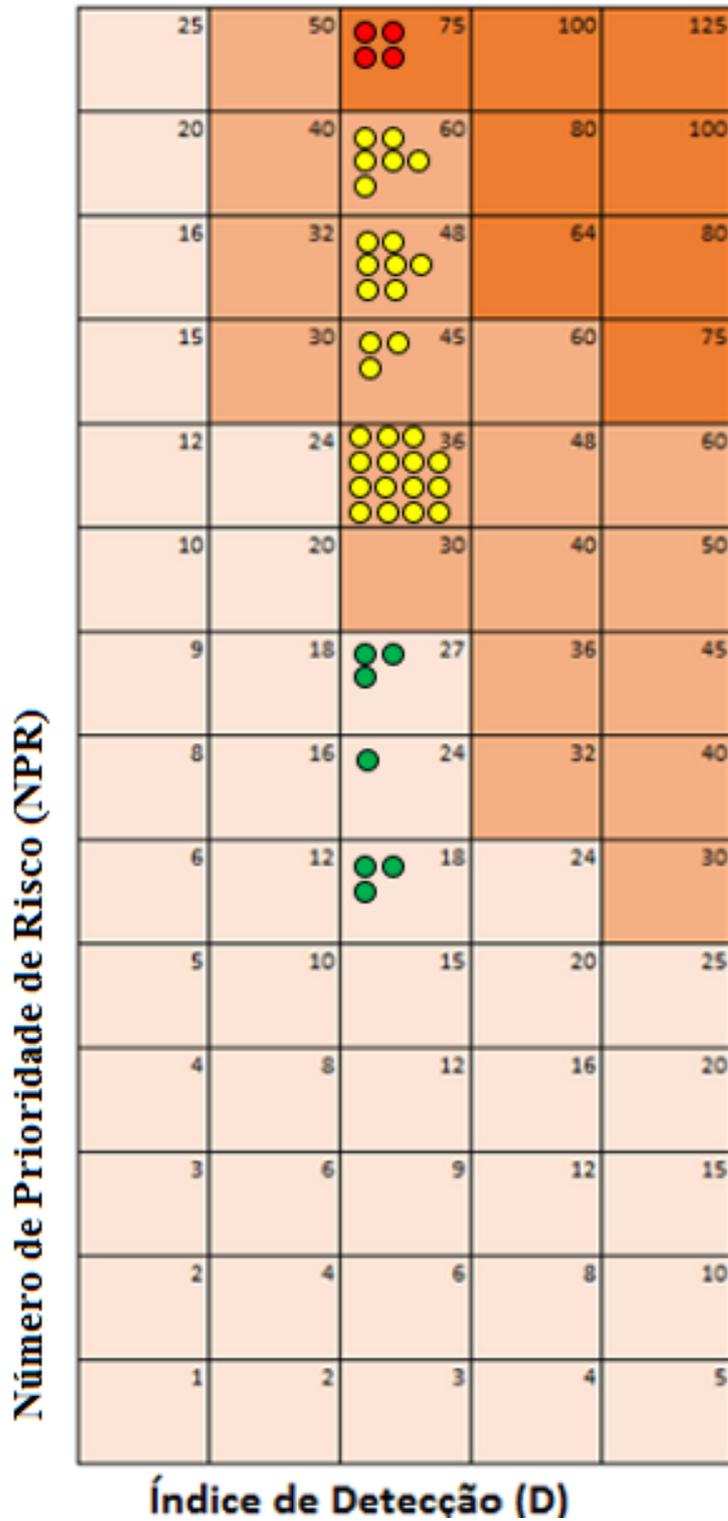


Figura 78 – Matriz do estado de conservação - Alinhamento A.
Fonte: Autora (2022).

Matriz do Estado de Conservação Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)

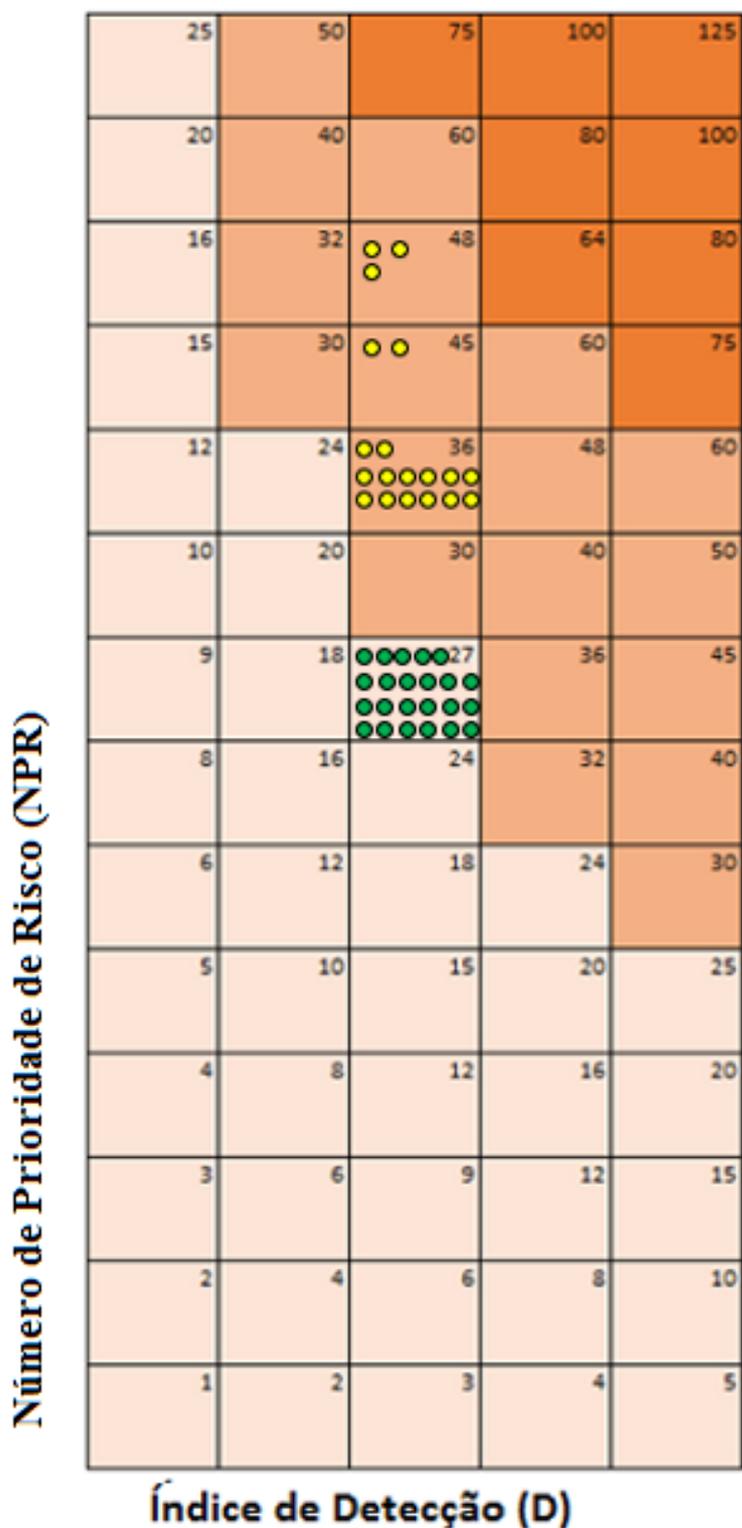


Figura 80 - Matriz do estado de conservação - Alinhamento C.
Fonte: Autora (2022).

Matriz do Estado de Conservação Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)

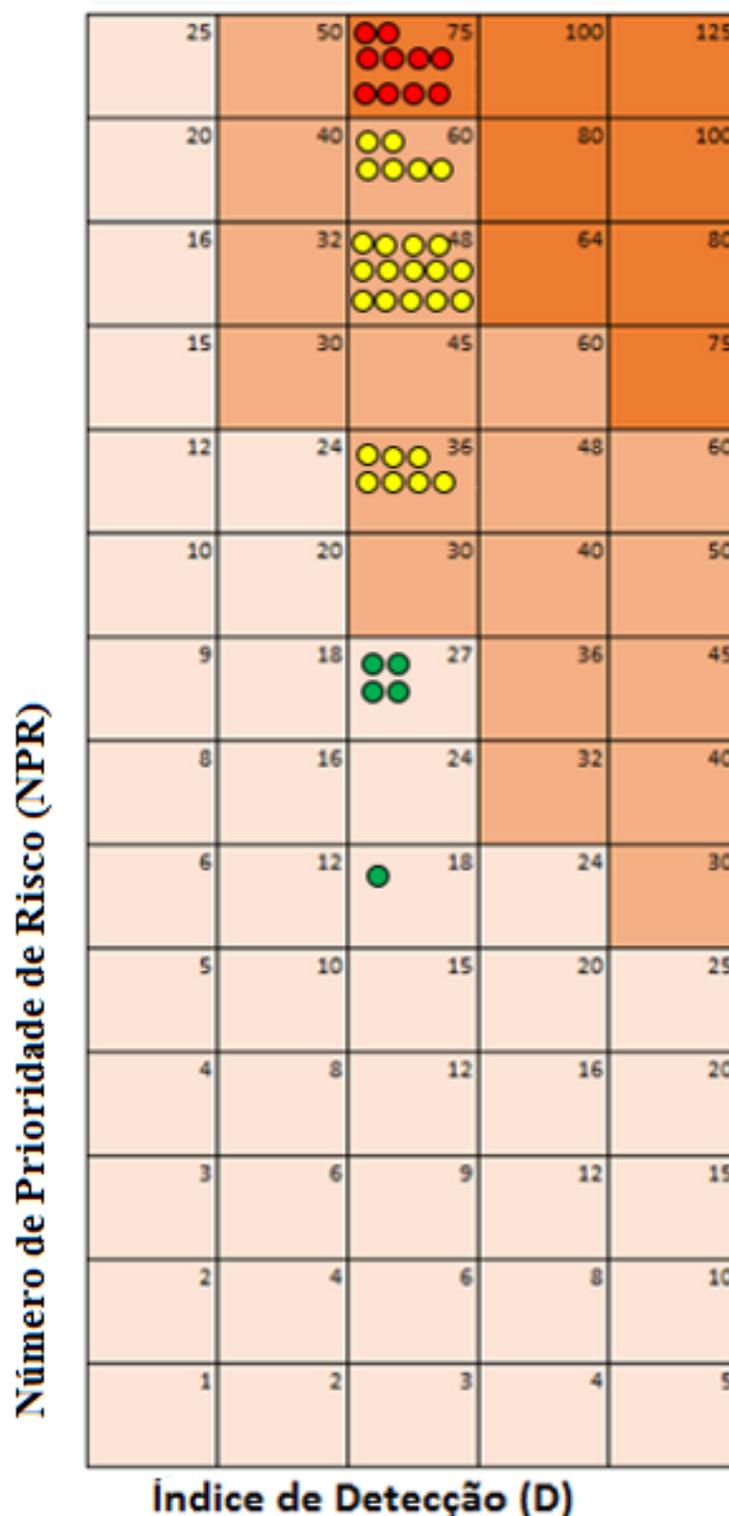


Figura 81 - Matriz do estado de conservação - Alinhamento D.
Fonte: Autora (2022).

Fundamentando-se nas leituras e análises das tabelas do Apêndice III e das matrizes acima, percebe-se que no alinhamento A, fachada externa do bloco B do ICC Norte, existem somente 4 pilares com nível de criticidade crítica, os quais dois deles encontram-se na

extremidade do alinhamento, próximo ao acesso extremo da ala norte da edificação. Além do mais, apesar de possuir pilares com índices de nível de criticidade mínima, a predominância de classificação da criticidade de seus pilares é na classificação de nível moderada.

Os alinhamentos B e C, fachada internas do ICC Norte, não possuem nenhum pilar com classificação de nível de criticidade crítica. No entanto, entre esses dois alinhamentos, o B apresentou maior quantidade de pilares classificados com nível de criticidade moderada.

Por fim, o alinhamento D, fachada externa do bloco A do ICC Norte (localização da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da universidade), apresentou maior índice de pilares classificados com nível de criticidade crítica em todas as avaliações. Apesar de sua predominância de índices classificar-se em pilares de nível de criticidade moderada, esse alinhamento mostrou possuir o maior quantitativo de pilares pré-fabricados de concreto armado com maior e mais alarmante estado de degradação no recorte de fachadas do presente estudo.

4.2.4 Matriz de correlação

Na sequência da análise do estado de conservação dos elementos em estudo, procedeu-se à análise do sistema como um todo, com vistas à compreensão do estado de conservação do sistema dos pilares pré-fabricados de concreto armado no contexto mais amplo do edifício e seus sistemas.

Nesta etapa de análise, desenvolveu-se uma matriz de correlação (Figura 82) entre os Números de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD), os 42 trechos de pilares vistoriados e as 4 fachadas da edificação, representados pelos alinhamentos. A matriz de correlação foi fundamentada na tabela dos NPRD exposta Apêndice IV. Destaca-se que a matriz evidencia o número de identificação local de cada pilar com sua respectiva fachada e nível de criticidade, permitindo assim, a localização e conhecimento exato do estado de conservação de qualquer um dos 168 pilares inspecionados e analisados.

Evidencia-se que os 42 trechos de pilares na matriz de correlação foram dispostos entre os alinhamentos (fachadas) de modo que a visão dos quadrantes com os NPRD, simbolizando os pilares e seus respectivos níveis de criticidade, possa corresponder próximo à leitura da planta baixa da edificação, pretendendo-se dessa forma refletir uma visão de vista superior ao ICC Norte. Atribuiu-se a mesma legenda com cores para o valor resultante do NPRD da Tabela 18 com o intuito de auxiliar a leitura dos dados como um todo no sistema.

Matriz de Correlação

Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)

		Alinhamentos			
		A	B	C	D
Número de identificação local	696	27	36	27	60
	690	75	27	27	75
	684	36	27	27	36
	678	75	36	48	36
	672	60	36	36	60
	666	36	36	36	48
	660	60	27	27	75
	654	60	36	36	48
	648	45	36	27	48
	642	36	36	48	48
	636	36	27	36	48
	630	36	27	27	48
	624	36	27	36	75
	618	36	27	36	60
	612	36	27	48	48
	606	36	60	27	60
	600	36	27	27	48
	594	45	48	36	75
	588	48	36	27	75
	582	36	27	36	60
	576	60	36	27	48
	570	75	36	27	48
	564	48	36	27	75
	558	36	48	36	75
	552	48	45	36	48
	546	48	45	27	36
	540	48	36	27	36
	534	75	36	27	27
	528	27	36	36	48
	522	36	36	36	75
	516	45	27	27	48
	510	60	27	27	27
504	36	27	27	27	
498	48	36	36	60	
492	36	27	27	27	
486	27	27	36	75	
480	48	27	45	75	
474	60	27	45	36	
468	24	36	27	18	
462	18	36	27	36	
456	18	18	27	36	
450	18	27	27	48	

Legenda:

	Nível de criticidade mínima: $\text{NPRD} \leq 27$
	Nível de criticidade moderada: $27 < \text{NPRD} < 64$
	Nível de criticidade crítica: $64 \leq \text{NPRD} \leq 125$

Figura 82 – Matriz de correlação entre os níveis de criticidade dos pilares inspecionados - ICC Norte da UnB.

Fonte: Autora (2022).

Realizando-se uma análise descritiva do sistema como um todo, a matriz de correlação mostra uma distribuição homogênea de danos nos 4 alinhamentos, ou seja, nas 4 fachadas da edificação. Apesar disso, existem indícios de concentração dos danos de maior criticidade nas fachadas externas, principalmente na fachada do Bloco A do ICC Norte (alinhamento D).

A partir da análise desta matriz, é possível notar que não existe nenhum dos 42 trechos (dispostos verticalmente e representados pelos números de identificação local) que apresentem todos os 4 pilares de nível de criticidade mínima. Em toda a análise, em cada trecho, existe no mínimo 1 pilar avaliado com nível de criticidade moderado e/ou crítico.

Em relação ao grau de deterioração dos pilares no alinhamento como um todo, logrou-se como resultado a seguinte ordem decrescente do estado de deterioração, ou seja, ordem decrescente do pior estado de conservação dos elementos avaliados: alinhamento D (fachada externa), alinhamento A (fachada externa), alinhamento B (fachada interna) e por fim, o alinhamento C (fachada interna).

Em suma, tanto as matrizes de criticidade, como as matrizes de conservação e a matriz de correlação facilitaram a visualização das informações e dados coletados, além das análises realizadas. Enfatiza-se também, que assim como na pesquisa de Lima (2019), matrizes relacionadas à avaliações de criticidades tornam-se ferramentas visuais que contribuem para uma melhor organização do banco de informações a respeito do estado de degradação dos elementos e sistema objeto de estudo.

4.2.5 Análise estatística

Alicerçado na coleta e exibição dos dados obtidos a partir das etapas de caracterização do sistema e análise do estado de conservação, foram realizadas análises estatísticas para subsidiar a análise. O principal objetivo foi identificar diferenças entre alinhamentos (fachadas) e nível de criticidade dos danos em comparação uma com a outra, além de identificar, caso possível, uma correlação entre os dados obtidos.

A base de dados é composta pelo nível de criticidade, representado pelo Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD), dos 168 pilares inspecionados, agrupados em 42 trechos dispostos em série em 4 alinhamentos (fachadas) do ICC Norte (Tabela 19). Esses dados são representados pela matriz de correlação, produto da análise do estado de conservação (Figura 82).

Tabela 19 – Números de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) dos 168 pilares inspecionados.

Trecho	Numeração local	Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)			
		Alinhamentos			
		A	B	C	D
1	696	27	36	27	60
2	690	75	27	27	75
3	684	36	27	27	36
4	678	75	36	48	36
5	672	60	36	36	60
6	666	36	36	36	48
7	660	60	27	27	75
8	654	60	36	36	48
9	648	45	36	27	48
10	642	36	36	48	48
11	636	36	27	36	48
12	630	36	27	27	48
13	624	36	27	36	75
14	618	36	27	36	60
15	612	36	27	48	48
16	606	36	60	27	60
17	600	36	27	27	48
18	594	45	48	36	75
19	588	48	36	27	75
20	582	36	27	36	60
21	576	60	36	27	48
22	570	75	36	27	48
23	564	48	36	27	75
24	558	36	48	36	75
25	552	48	45	36	48
26	546	48	45	27	36
27	540	48	36	27	36
28	534	75	36	27	27
29	528	27	36	36	48
30	522	36	36	36	75
31	516	45	27	27	48
32	510	60	27	27	27
33	504	36	27	27	27
34	498	48	36	36	60

35	492	36	27	27	27
36	486	27	27	36	75
37	480	48	27	45	75
38	474	60	27	45	36
39	468	24	36	27	18
40	462	18	36	27	36
41	456	18	18	27	36
42	450	18	27	27	48

Fonte: Autora (2022).

Partindo-se deste banco de dados, para as análises estatísticas, foram realizadas as três análises dispostas a seguir, que possibilitaram verificar diferenças e similaridades entre os alinhamentos e o sistema como um todo:

- Análise do desvio padrão e coeficiente de variação de cada alinhamento;
- Análise da correlação entre o nível de criticidade e os trechos de cada alinhamento;
- Análise do nível de criticidade entre os alinhamentos do sistema como um todo.

Assim, estão relacionados a seguir, as análises e os resultados que representam o estado de conservação do caso em estudo, favorecendo as discussões e o atendimento aos objetivos da presente pesquisa.

a) Análise do desvio padrão e coeficiente de variação de cada alinhamento

Para esta análise, foram calculadas as medidas de dispersão, ou seja, as medidas da variabilidade dos graus de criticidade de todos os alinhamentos.

A partir do cálculo da média, obteve-se o desvio padrão e o coeficiente de variação para cada alinhamento, representando cada fachada analisada.

Assim sendo, são expostas a seguir, as tabelas e os gráficos gerados para cada alinhamento. Observa-se que a média do NPRD calculada para cada alinhamento está demarcada em vermelho nos gráficos para melhor visualização dos desvios padrões plotados.

Alinhamento A – fachada externa

Tabela 20 – Análise estatística do nível de criticidade dos pilares - Alinhamento A.

Nível de Criticidade - Alinhamento A	
Medidas de Dispersão (variabilidade)	
Média do NPRD	44
Nível de criticidade média	Moderada
Desvio padrão	15,41
Coefficiente de variação	35,38%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 21 – Quantificação de pilares em cada faixa de nível de criticidade – Alinhamento A.

Nível de Criticidade	Quantidade de Pilares	% do total
Mínima	7	16,67%
Moderada	31	73,81%
Crítica	4	9,52%
Total	42	

Fonte: Autora (2022).

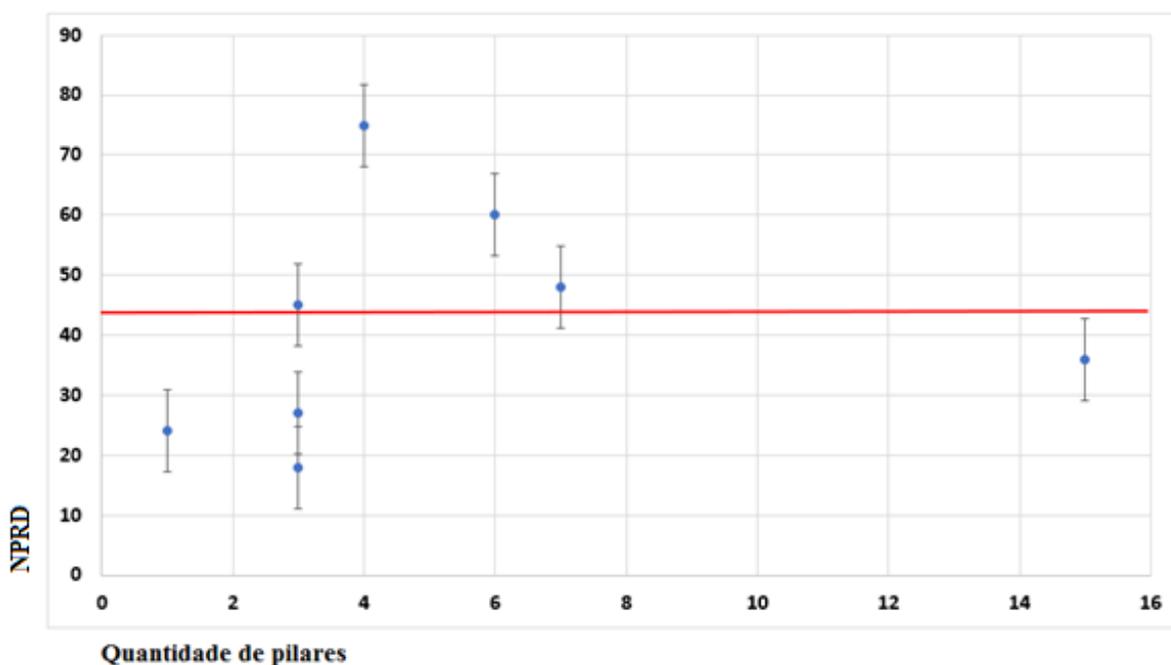


Figura 83 – Desvio padrão da média do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento A.

Fonte: Autora (2022).

Em relação aos índices de nível de criticidade dos pilares inspecionados e localizados no alinhamento A, obteve-se a média de 44, o desvio padrão de 15,41 e o coeficiente de

variação de 35,38% (Tabela 20). No gráfico, ressalta-se que a linha horizontal em vermelho representa a média do NPRD do alinhamento A calculada (Figura 83).

Alinhamento B – fachada interna

Tabela 22 – Análise estatística do nível de criticidade dos pilares - Alinhamento B.

Nível de Criticidade - Alinhamento B	
Medidas de Dispersão (variabilidade)	
Média do NPRD	33
Nível de criticidade média	Moderada
Desvio-padrão amostral	7,81
Coeficiente de variação	23,45%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 23 - Quantificação de pilares em cada faixa de nível de criticidade – Alinhamento B.

Nível de Criticidade	Quantidade de Pilares	% do total
Mínima	19	45,24%
Moderada	23	54,76%
Total	42	

Fonte: Autora (2022).

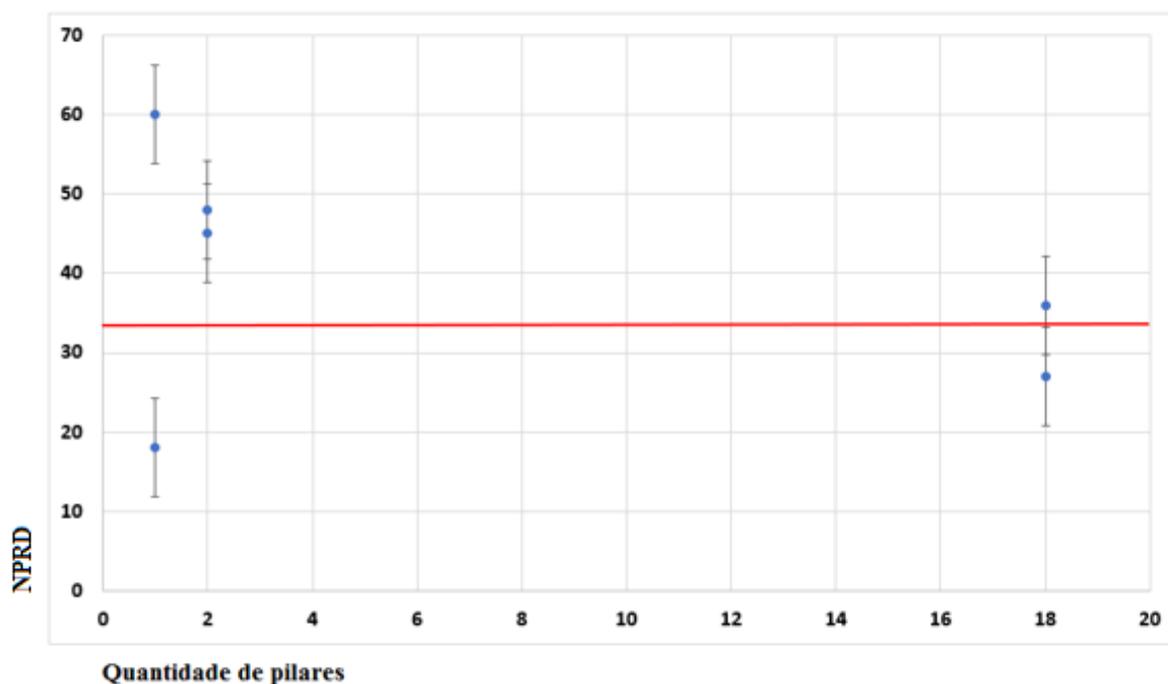


Figura 84 - Desvio padrão da média do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento B.

Fonte: Autora (2022).

Já em relação aos índices de nível de criticidade dos pilares inspecionados e localizados no alinhamento B, obteve-se a média de 33, o desvio padrão de 7,81 e o coeficiente de variação de 23,45% (

Tabela 22). Sublinha-se que a linha horizontal em vermelho representa a média NPRD calculada do alinhamento em questão (Figura 84).

Alinhamento C – fachada interna

Tabela 24 - Análise estatística do nível de criticidade dos pilares - Alinhamento C.

Nível de Criticidade - Alinhamento C	
Medidas de Dispersão (variabilidade)	
Média do NPRD	32
Nível de criticidade média	Moderada
Desvio-padrão amostral	6,81
Coeficiente de variação	21,04%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 25 - Quantificação de pilares em cada faixa de nível de criticidade - Alinhamento C.

Nível de Criticidade	Quantidade de Pilares	% do total
Mínima	23	54,76%
Moderada	19	45,24%
Total	42	

Fonte: Autora (2022).

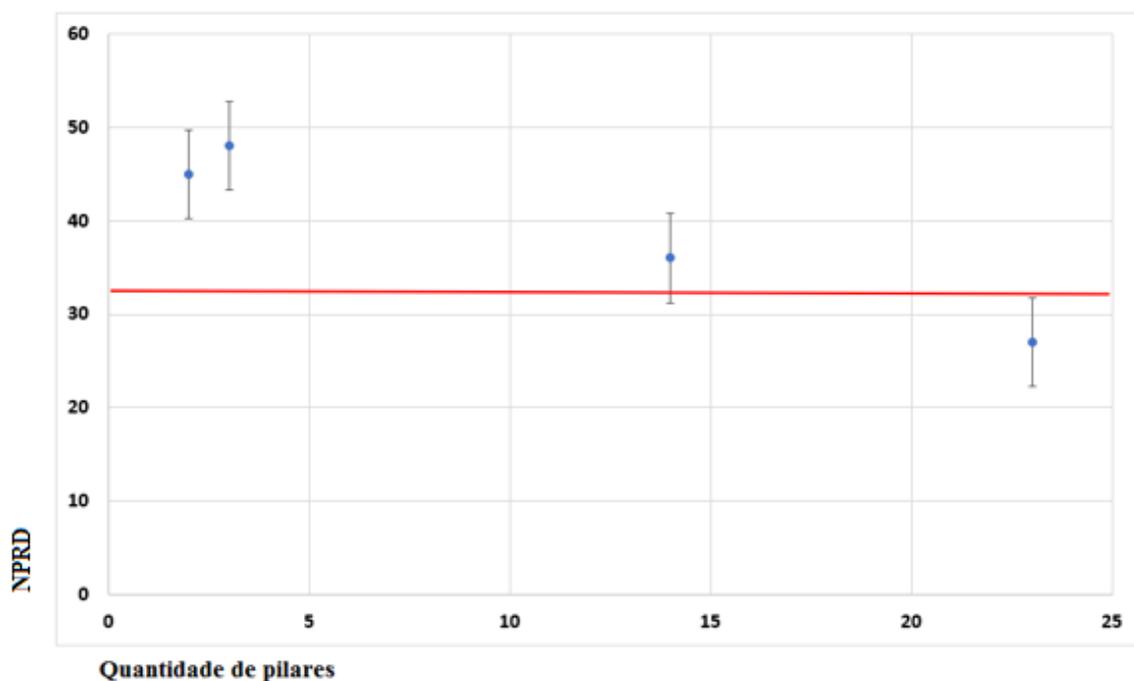


Figura 85 - Desvio padrão da média do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento C.
Fonte: Autora (2022).

Em relação aos índices de nível de criticidade dos pilares inspecionados e localizados no alinhamento C, obteve-se a média de 32, o desvio padrão de 6,81 e o coeficiente de variação de 21,04% (Tabela 24). Destaca-se que no gráfico, a linha horizontal em vermelho representa a média do NPRD calculada desse alinhamento (Figura 85).

Alinhamento D – fachada externa

Tabela 26 - Análise estatística do nível de criticidade dos pilares - Alinhamento D.

Nível de Criticidade - Alinhamento D	
Medidas de Dispersão (variabilidade)	
Média do NPRD	51
Nível de criticidade média	Moderada
Desvio-padrão amostral	16,63
Coeficiente de variação	32,33%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 27 - Quantificação de pilares em cada faixa de nível de criticidade - Alinhamento D.

Nível de Criticidade	Quantidade de Pilares	% do total
Mínima	5	11,90%
Moderada	27	64,29%
Crítica	10	23,81%
Total	42	

Fonte: Autora (2022).

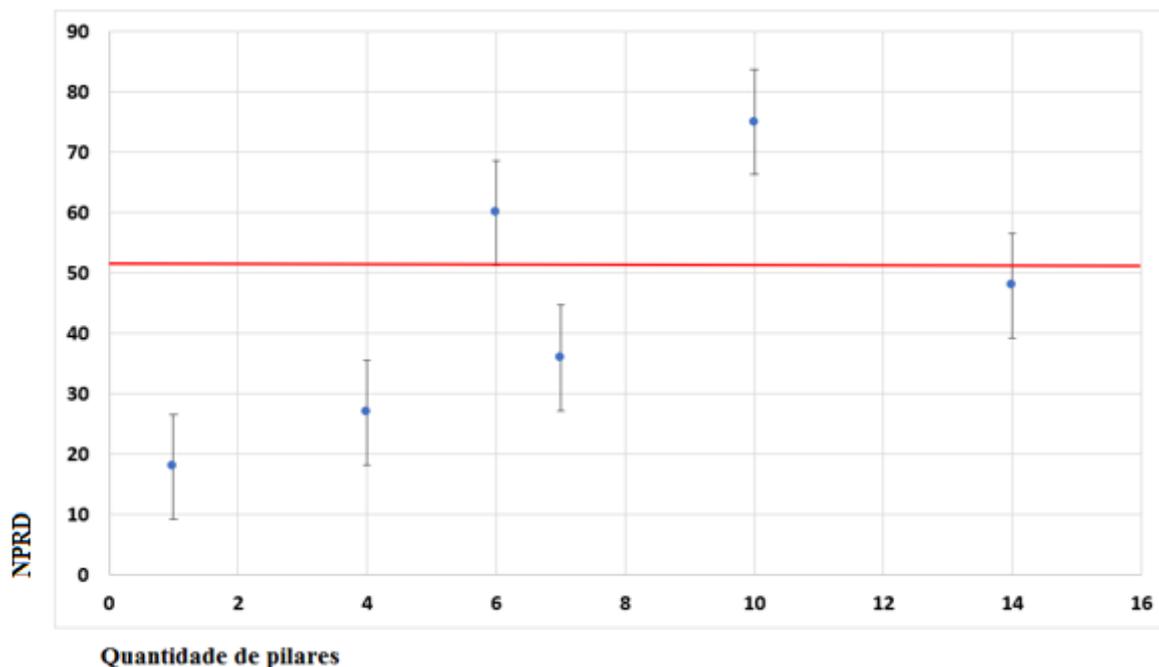


Figura 86 - Desvio padrão da média do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento D.

Fonte: Autora (2022).

Por fim, em relação aos índices de nível de criticidade dos pilares inspecionados e localizados no alinhamento D, obteve-se a média de 51, o desvio padrão de 16,63 e o coeficiente de variação de 32,33% (Tabela 26). No gráfico, marca-se que a linha horizontal em vermelho representa a média do NPRD calculada desse alinhamento (Figura 86).

A seguir, é disposto um quadro resumo, Tabela 28, a qual contém as informações da análise estatística realizada a partir da avaliação dos 4 alinhamentos analisados no sistema de pilares pré-fabricados de concreto armado do ICC Norte.

Tabela 28 – Nível de criticidade para todos os alinhamentos.

Alinhamento	Média do NPRD	Nível de criticidade média	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	44	Moderada	15,41	35%
B	33	Moderada	7,81	24%
C	32	Moderada	6,81	21%
D	51	Moderada	16,63	32%

Fonte: Autora (2022).

Através dos dados obtidos nas análises estatísticas realizadas neste tópico e da breve disposição dos dados na Tabela 28, torna-se possível observar que as fachadas externas da edificação, representadas pelos alinhamentos A e D possuem a maior média do NPRD, ou seja, do nível de criticidade. Essa análise estatística corrobora com o dado vistoriado no item 4.2.4, o qual é possível também identificar um maior nível de deterioração nos pilares destas fachadas externas em relação às fachadas internas (alinhamentos B e C) da edificação.

Em relação ao alto desvio padrão existente em todos as análises dos 4 alinhamentos do ICC Norte, esses índices elevados são proporcionados devido à existência de no mesmo alinhamento existirem Números de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) mínimos e também existir NPRD de nível de criticidade crítica. Por exemplo, em um único alinhamento, o alinhamento A, existem pilares classificados com NPRD igual a 18 (mínimo) e também pilares classificados com NPRD igual a 75 (crítico).

Nota-se assim, que os maiores valores de desvio padrão são dos alinhamentos A e D (fachadas externas) devido justamente à existência de graus de criticidade mínima, moderada e crítica em ambos, em detrimento aos alinhamentos B e C (fachadas internas), os quais não possuem graus de criticidade crítica, somente mínima e moderada.

b) Análise da correlação entre o nível de criticidade e os trechos de cada alinhamento

Conforme pôde ser observado na Tabela 19, relacionada à base de dados utilizadas para as análises estatísticas, e explicado anteriormente no início do item 4.1.3 do presente capítulo, cada trecho inspecionado é composto por 1 pilar de cada alinhamento/fachada, ou seja, cada um dos trechos vistoriados possui 2 pilares de fachadas externas e 2 pilares de fachadas internas.

Para além, existe também uma distância entre trecho a trecho vistoriado, em todos os alinhamentos. Em cada alinhamento, essa distância baseia-se nos pilares inspecionados, ou seja, têm-se o alinhamento A como exemplo: o primeiro trecho é representado pelo primeiro

pilar localizado na extremidade desse alinhamento. O segundo trecho do alinhamento A é representado pelo terceiro pilar na planta estrutural, tendo como direção a extremidade do ICC Norte ao seu centro.

A Figura 87 a seguir expõe os 5 primeiros pilares inspecionados do alinhamento A, como modelo ilustrativo para melhor percepção da localização dos elementos em planta baixa. Constata-se que o primeiro pilar inspecionado está demarcado em vermelho, o segundo em azul, o terceiro em verde, o quarto em laranja e o quinto em cinza.

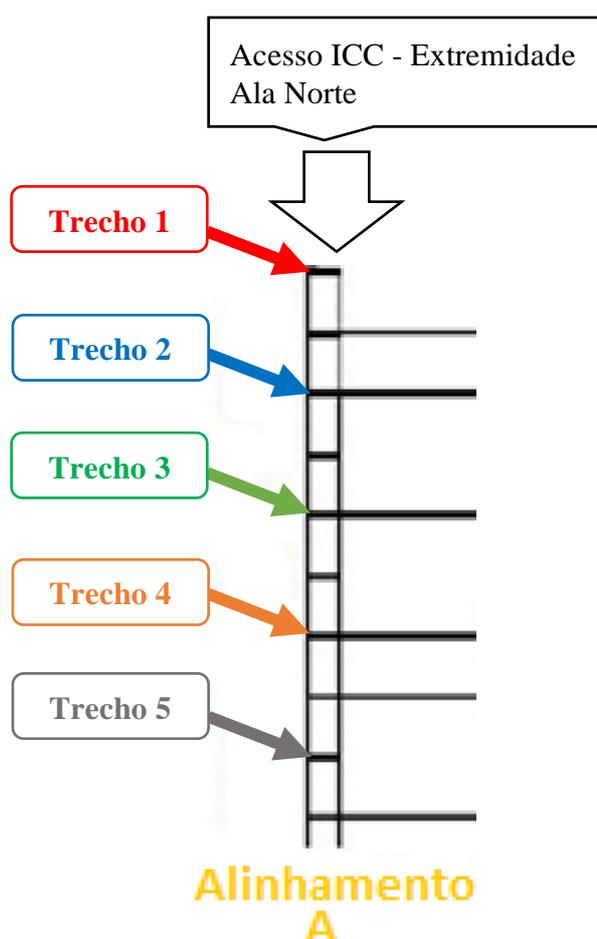


Figura 87 – Exposição dos 5 primeiros pilares vistoriados – Alinhamento A.
Fonte: Autora (2022).

Através da visualização da planta baixa na Figura 87 acima, é possível inferir que o trecho significa a localização do pilar inspecionado nos alinhamentos.

Assim, a segunda análise estatística realizada, a qual será exposta no presente item deste capítulo, englobou uma análise de correlação de Pearson, aplicando-a sobre os dados dos

níveis de criticidade de cada pilar e a localização desse pilar em seu alinhamento. Em outros termos, avaliou-se a existência ou não de alguma relação entre os níveis de criticidade e os trechos dos pilares em cada alinhamento.

Plotou-se a base de dados e foram gerados gráficos de dispersão para cada alinhamento do edifício em estudo. Os 42 trechos inspecionados são representados pelos eixos horizontais de cada gráfico (eixo x) e os níveis de criticidade (NPRD) de cada pilar são representados pelos eixos verticais (eixo y). Para a análise de existência ou não de correlação entre os graus de criticidade e os trechos, foram obtidos os coeficientes de correlação de Pearson para cada alinhamento. As Figuras 88 a 91 a seguir dispõem os gráficos para os 4 alinhamentos do ICC Norte.

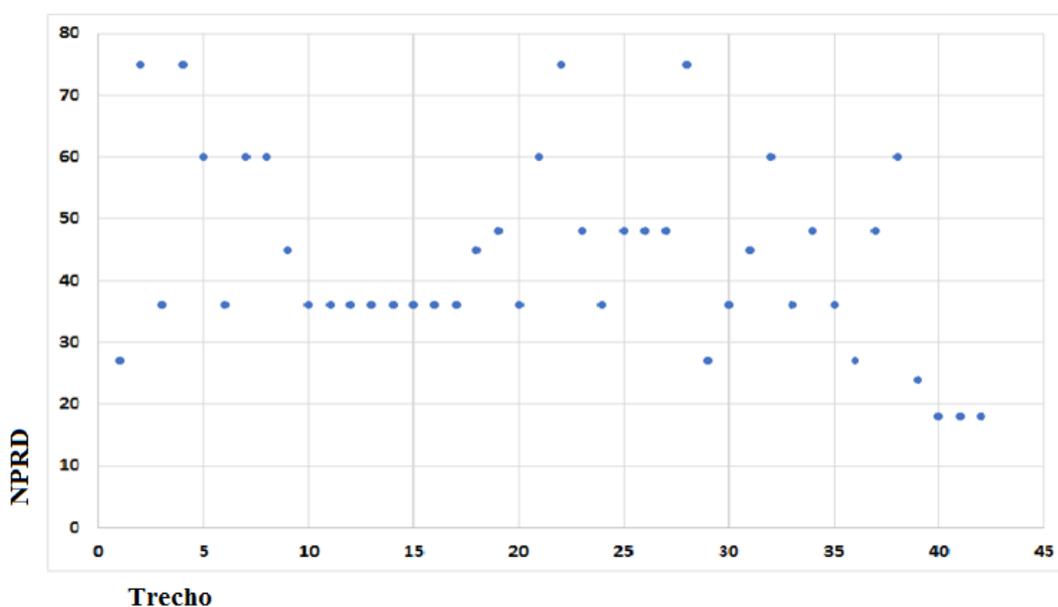


Figura 88 – Gráfico de dispersão do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento A.

Fonte: Autora (2022).

No alinhamento A (Figura 88), o coeficiente de Pearson obtido foi de -0,32. Esse valor indica que pode existir uma correlação entre a posição dos pilares representados pelos trechos e seus graus de criticidade dentro do alinhamento. Ou seja, que existe uma possibilidade inversamente proporcional de quanto mais distante o pilar encontra-se no alinhamento (maior o valor de seu trecho) menor será seu nível de criticidade.

Não obstante, o valor do coeficiente é considerado de baixa relação inversamente proporcional, logo, não se considerou esta análise estatística do alinhamento A para o presente trabalho.

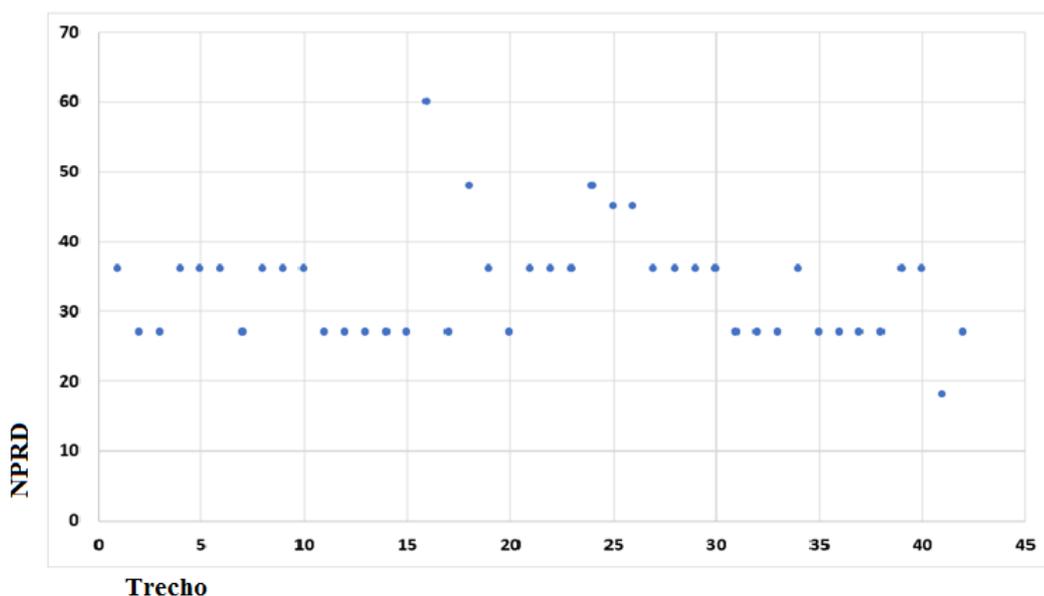


Figura 89 - Gráfico de dispersão do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento B.
 Fonte: Autora (2022).

Em relação ao alinhamento B (Figura 89), o coeficiente de Pearson obtido foi de 0,13. Esse valor indica que em oposição ao alinhamento A, pode existir uma correlação diretamente proporcional entre a posição dos pilares representados pelos trechos e seus graus de criticidade dentro do alinhamento. Ou seja, esse coeficiente afirma que possa existir uma possibilidade de quanto mais distante o pilar encontra-se no alinhamento (maior o valor de seu trecho), maior será seu nível de criticidade.

Entretanto, o valor do coeficiente é considerado de baixa relação diretamente proporcional, sendo assim, não se considerou esta análise estatística do alinhamento B para o presente trabalho.

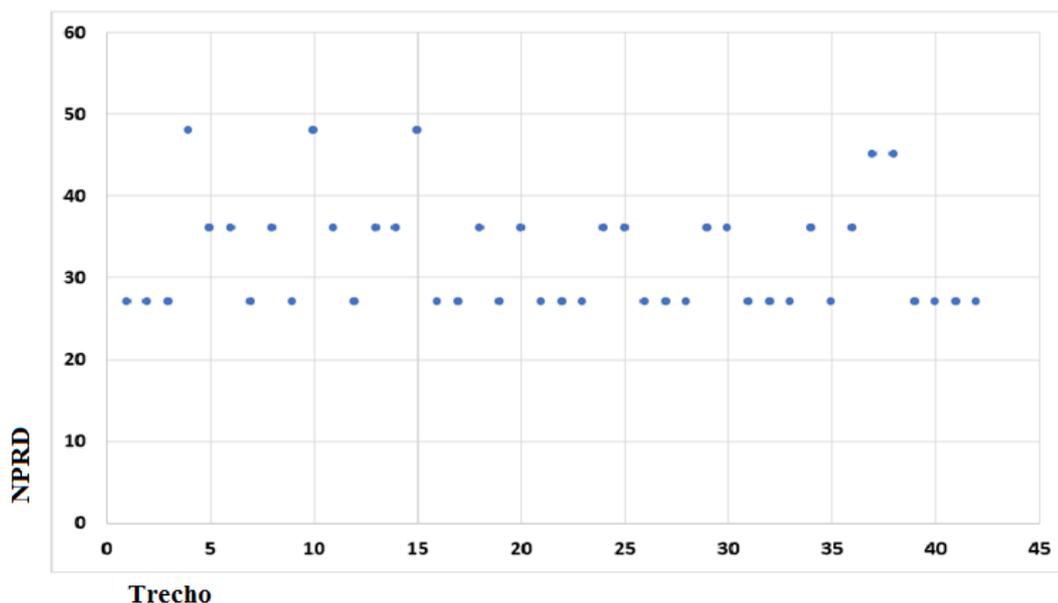


Figura 90 - Gráfico de dispersão do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento C.

Fonte: Autora (2022).

O gráfico do alinhamento C (Figura 90) apresentou um coeficiente de Pearson de -0,12. Semelhante ao alinhamento A, esse valor indica que pode existir uma correlação inversamente proporcional entre a posição dos pilares representados pelos trechos e seus graus de criticidade dentro do alinhamento. Entretanto, o valor do coeficiente também é considerado de baixa relação inversamente proporcional, portanto, não se considerou esta análise estatística do alinhamento C para o presente trabalho.

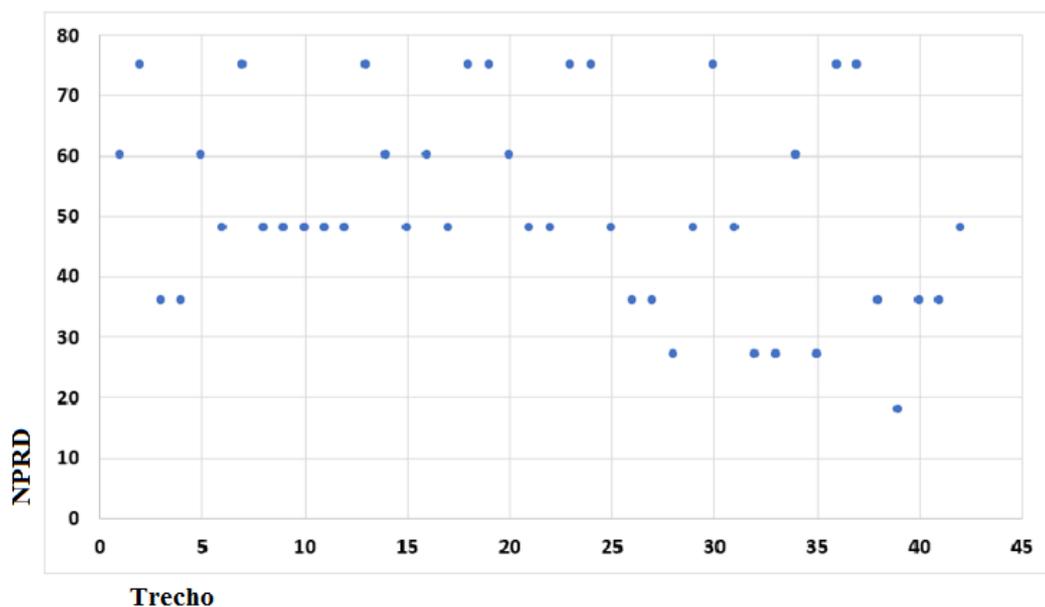


Figura 91 - Gráfico de dispersão do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - Alinhamento D.

Fonte: Autora (2022).

No alinhamento D (Figura 91), o coeficiente de Pearson obtido foi de -0,28. Esse valor indica que semelhante aos alinhamentos A e C, e em oposição ao alinhamento B, pode existir uma correlação inversamente proporcional entre a posição dos pilares representados pelos trechos e seus graus de criticidade dentro do alinhamento. Todavia, esse valor do coeficiente ainda é considerado de baixa relação inversamente proporcional, sendo assim, não se considerou essa relação do coeficiente de Pearson do alinhamento D para o presente trabalho.

Assim sendo, a partir das análises, observou-se que os 4 coeficientes de correlação de Pearson dos alinhamentos resultaram numerais negativos e 1 positivo. Apesar do resultado de 3 dos 4 alinhamentos apresentarem possibilidade de existir uma relação inversamente proporcional entre os trechos dos pilares e seus respectivos graus de criticidade, devido aos seus valores não é possível inferir que existe tal relação no edifício do ICC Norte.

C) Análise do nível de criticidade entre os alinhamentos do sistema de pilares como um todo

A terceira análise estatística realizada foi a análise dos níveis de criticidade das 4 fachadas (alinhamentos) da edificação entre si.

A Figura 92 mostra a plotagem de todos os níveis de criticidade setorizados por cada alinhamento, representando graficamente assim, o estado de conservação dos pilares pré-fabricados de concreto armado de todas as fachadas do ICC Norte, representadas pelos alinhamentos A, B, C e D.

Para uma melhor leitura e análise do gráfico comparativo das fachadas (Figura 92), ressalta-se os seguintes critérios de classificação dos níveis de criticidade, representado pelo Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) dos pilares avaliados:

- Nível de criticidade mínima: $NPRD \leq 27$;
- Nível de criticidade moderada: $27 < NPRD < 64$;
- Nível de criticidade crítica: $64 \leq NPRD \leq 125$.

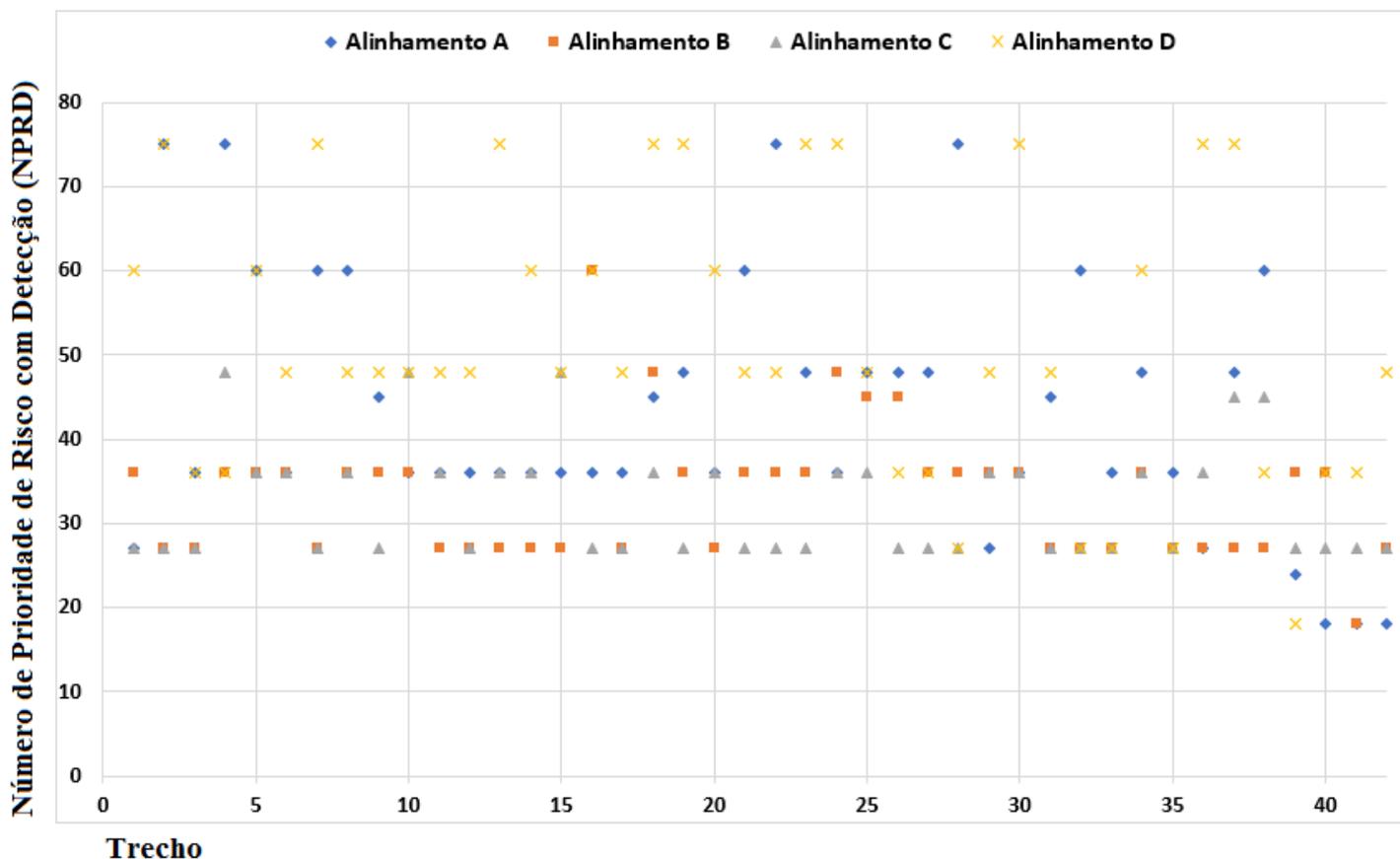


Figura 92 - Gráfico comparativo dos Números de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) - ICC Norte.
 Fonte: Autora (2022).

Ao comparar os quatros alinhamentos no gráfico, torna-se plausível inferir que os alinhamentos A e D, representando os pilares localizados nas fachadas externas da edificação, possuem uma maior tendência aos níveis de criticidade mais elevados, sendo o alinhamento D caracterizado com o maior quantitativo de elementos avaliados com níveis de criticidade média e crítica.

Já os alinhamentos B e C, representando os pilares localizados nas fachadas internas, possuem a maior tendência aos níveis de criticidade mínimos, sendo o alinhamento C caracterizado com o maior quantitativo de elementos avaliados com níveis de criticidade mínima.

É factível também visualizar no gráfico que todos os alinhamentos, ou seja, todas as fachadas do ICC Norte possuem pilares classificados com níveis de criticidade mínima e moderada, todavia, somente os alinhamentos das fachadas externas (A e D) possuem pilares avaliados com níveis de criticidade crítica.

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados e análises apresentadas constataam uma precariedade na gestão de manutenção não somente dos pilares pré-fabricados de concreto armado, objetos de estudo, mas de todo Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília.

Mesmo ações de manutenções em sua infraestrutura, como a inspeção da ação de recuperação do mezanino, a ausência do planejamento estratégico correto para o descarte de resíduos da construção civil, a precariedade de manutenção dos jardins externos e internos (ações de podas e limpezas de acúmulo de sujeiras, como fezes de gatos e pombos), a ausência de manutenções nos apoios de neoprene entre as vigas e os pilares, tornam-se dados que corroboram com a precariedade da gestão de conservação da edificação.

A importância de se zelar o ICC como um conjunto, deve ser feita não somente pela sua importância histórica e arquitetônica, tanto pela universidade como pela cidade de Brasília, mas também pela relação direta dos elementos da estrutura como um todo.

Os resíduos de construção civil foram identificados nas bases de alguns pilares do alinhamento D (fachada externa do bloco A), os quais podem ter ocasionado algum tipo de impacto direto no concreto, fato que pode acarretar em danos como pequenas rupturas no concreto.

A ausência de poda de vegetação, representada pela presença de trepadeiras que se encontra nos corpos dos pilares dos alinhamentos A (fachada externa do bloco B) e C (fachada interna do bloco B), faz com que cresça a umidade nesses elementos, aumentando assim a probabilidade de ocorrer novos ou intensificar danos já existentes.

Existe a extrema necessidade de manutenção (completa substituição) dos apoios de neoprene nos topos dos pilares em seus encontros com as vigas superiores, pois esses apoios estão condenados. A ausência do trabalho correto desses apoios acaba restringindo movimentações do sistema, originando tensões e, conseqüentemente, danos, como trincas e fissuras.

Assim, constata-se a importância de se tratar da conservação da edificação como um conjunto, zelando não somente seus elementos estruturais, mas todos os serviços de apoio à preservação do ambiente.

Em relação às técnicas e processos construtivos dos pilares, o levantamento histórico do ICC e caracterização desses elementos foram uma etapa essencial no levantamento de dados para situar padrões e particularidades à época da construção que afetam o sistema estrutural

atualmente. Os pilares, além de possuírem cobrimento nominal inferior ao estipulado pela norma técnica brasileira vigente (ABNT NBR 6118:2014), possuem em seus interiores tubulações constituídas de ferro fundido. Esse tipo de material não está sendo mais usualmente utilizado para instalações em interiores de elementos de concreto armado, devido ao fato de o ferro proporcionar reações eletroquímicas ao entrar em contato com agentes agressivos e ao material poroso do concreto.

A porosidade, característica do concreto, proporciona passagem de agentes agressivos externos, possibilitando a penetração de oxigênio e água ao interior do elemento. Essa penetração específica pode acarretar então a oxidação do ferro contido nas barras de aço do pilar, resultando em danos como corrosões das armaduras.

Assim sendo, a etapa de levantamento de dados *in locu* quanto aos processos construtivos e sua adequabilidade entre o momento da construção do ICC aos dias atuais, tiveram importância na identificação e registro de ações já realizadas ou requisitadas em relação à conservação, tanto dos pilares, como do sistema de infraestruturas do ICC Norte.

Em relação às intervenções dos últimos anos que foram possíveis serem vistoriadas, registrou-se a existência de ações de manutenções no sistema de impermeabilização na base dos pilares dos alinhamentos B e C (fachadas internas), onde aplicou-se nova manta asfáltica para a provável recuperação da estanqueidade local. Vale destacar que essa manutenção foi vistoriada de forma pontual em ambos os alinhamentos, não sendo presente em todos, ou majoritariamente, nos pilares inspecionados.

Nos alinhamentos A e D (fachadas externas), vistoriou-se a existência de unidades de condensadoras pertencentes à sistemas de ar-condicionado tipo *split*, fixadas através de suportes metálicos diretamente nos pilares. Não foi identificado algum tipo de padronização ou sistematização da fixação desses elementos nos pilares.

Todavia, verificou-se a padronização de fixação dos brises metálicos das janelas em ambas as fachadas externas. Estes tipos de perfurações no corpo dos pilares, quando instaladas de forma padronizada, infere-se que provavelmente uma mínima análise prévia às instalações foi realizada. Quando não, existe uma grande probabilidade de não ter existido alguma avaliação prévia às instalações desses objetos, onde nessas ocasiões, as perfurações diretas em elementos estruturais podem causar danos aos elementos.

No caso do ICC Norte, as perfurações para os suportes e gaiolas de proteção de segurança antifurto das condensadoras nos pilares podem ter ocasionados danos às armaduras e/ou às

instalações de ferro fundido embutidas nos pilares. Uma boa prática de ação prévia para a instalação de qualquer elemento nas fachadas é a utilização de um pacômetro para verificação de existência de armaduras, ou instalação que seja empecilho para a perfuração do concreto, ou uma leitura dos projetos estruturais e hidrossanitários dos pilares.

Em um contexto social, destaca-se que a presente pesquisa foi toda realizada durante a pandemia da COVID-19. Assim, verificou-se que as ações de conservação e manutenção da infraestrutura do ICC Norte enfrentam, ainda mais, a dificuldade de manutenção de seus jardins e limpeza de seus ambientes e estrutura.

Os relatos colhidos com os membros da vigilância da edificação consistiram em que todas as equipes estavam reduzidas, além de que o acesso ao ICC estava estritamente restrito aos alunos ou professores, caso tivessem possuindo alguma autorização de entrada concebida por diretorias de departamentos. Detectou-se que a redução drástica de funcionários e atividades de limpeza geral e ações nos jardins prejudicou a manutenção não só dos pilares, porém de toda a edificação. Assim, o retorno das atividades e quantitativo de funcionários voltados à conservação do ICC é um meio de se contribuir para uma maior durabilidade dos pilares.

Os resultados da avaliação do grau de deterioração dos pilares a partir da aplicação do método proposto demonstrou que a seleção do quantitativo total das amostras, através do cálculo estatístico com um erro amostral de 5%, além do agrupamento dos pilares por alinhamentos orientados pelas 4 fachadas da edificação, consistiu em uma importante ferramenta para inspeções técnicas, avaliação dos danos, e também para a análise do estado de conservação dos pilares pré-fabricados de concreto armado.

A adoção da padronização de inspeção dos pilares juntamente com os registros fotográficos feitos através das inspeções visuais, viabilizou a formação de um banco de informações não somente dos elementos de concreto armado em série, objetos de estudo, mas também em relação às fachadas do sistema estrutural como um todo.

Todavia, acentua-se que em relação às inspeções visuais, ainda existem desafios a serem vencidos, tais como a realização da inspeção em trechos de elementos com difícil acesso e/ou visualização, conforme ocorreu na inspeção de alguns pilares cobertos por vegetação tanto em suas bases como em seus topos (principalmente sobre os pilares localizados no alinhamento C).

Outro exemplo, é a dificuldade de inspeção de trechos dos pilares quando esses estão cobertos por algum tipo de material/objeto, o qual não deveria estar ali presente, conforme ocorreu nas inspeções de algumas bases de pilares no alinhamento D, as quais possuíam entulho aos seus redores, impossibilitando a completa inspeção das condições dessas áreas nos elementos.

A criação do banco de imagens para o ICC Norte da Universidade de Brasília, resultante da presente pesquisa, com enfoque nos pilares pré-fabricados de concreto armado e instalados em séries de alinhamentos, possibilita então a avaliação do nível de criticidade dos danos mediante a comparação dos Números de Prioridade de Risco (NPRD) dos pilares.

No entanto, somente o registro fotográfico dos pilares sem nenhum planejamento e definição do propósito das inspeções, não se torna suficiente para obter uma base sólida de parâmetros de precisão e qualidade para análises dos níveis de criticidade dos elementos em série, uma vez que se torna necessário parâmetros de inspeções de danos, suas causas e efeitos nos elementos e conseqüentemente na estrutura.

O estudo de caso também demonstrou que o método proposto também contribuiu para a avaliação do estado de degradação de elementos pré-fabricados de concreto armado, além de contribuir para a sistematização das informações relativas ao sistema estrutural da edificação em estudo. A construção da base de dados relacionados aos níveis de criticidade foi validada também por análises estatísticas, tendo como validação os dados analisados através do método proposto e os registros fotográficos apresentados, condizentes com a realidade vistoriada *in locu*.

O mapeamento de danos a partir da classificação dos índices de severidade (S), tendo como foco os danos em elementos de concreto armado, juntamente com a sobreposição da localização dos pilares em cada fachada, confirmou a relação entre os danos verificados nos pilares e suas interações com o meio ambiente em que o objeto de estudo está inserido. Os parâmetros utilizados no mapeamento de danos apresentaram importância por serem relacionados ao tipo de material dos pilares, ou seja, no concreto armado.

As matrizes de criticidade geradas a partir dos índices de severidade (S) e ocorrência (O) manifestaram-se como ferramentas de grande relevância para leitura dos danos, a partir dos registros fotográficos, pois possibilitam uma leitura prévia do grau de criticidade dos elementos. Todavia, as matrizes de criticidade não conseguem ponderar ainda o tipo de inspeção técnica realizada.

Assim, um dos principais motivos da importância das matrizes de conservação, geradas a partir dos três índices do método proposto (severidade, ocorrência e detecção) é a relação entre as bases de dados dos danos presentes nos elementos pré-fabricados de concreto armado e a complexidade das inspeções técnicas realizadas nesses.

As matrizes de conservação viabilizaram a análise do estado de degradação dos pilares, preponderando a segurança do usuário da edificação. Esse fato se deve pelos parâmetros dos índices de detecção (D) terem sido estabelecidos com o objetivo de garantir uma classificação do nível de criticidade dos pilares maior quando não fosse possível a obtenção mais exata e específica de dados sobre a severidade dos danos observados.

Inspeções com ensaios de extração de corpo e registros fotográficos, por exemplo, resultam em diagnósticos mais acurados sobre os danos do que inspeções somente visuais, sem algum tipo de registro, seja fotográfico ou realização de medições da criticidade dos danos presentes.

A matriz de correlação, produto final da análise dos pilares pré-fabricados de concreto armado, mostrou-se sendo uma importante ferramenta de leitura do estado de degradação desses elementos. Essa matriz possibilita o acompanhamento visual da evolução dos danos durante ações de manutenções dos pilares ao longo do envelhecimento do ICC Norte, uma vez que apresenta, em seu corpo, o nível de criticidade presente de cada pilar inspecionado e a identificação da localização precisa desses no sistema estrutural analisado.

A abordagem de alinhamentos de modo a englobar não apenas uma fachada, mas sim todas as quatro existentes (tanto externas como internas), contribuiu para consolidação dos dados, uma vez que permitiu visualizar de modo sistêmico esses elementos na edificação como um todo, tornando possível identificar a relação, não somente entre o sistema estrutural, mas entre a presença de infraestruturas dos ambientes existentes.

Nesta pesquisa, os resultados obtidos representam a situação presente dos pilares na edificação do ICC Norte à época das inspeções. Através da matriz de correlação, os pilares pré-fabricados de concreto armado obtiveram como classificação geral um nível de criticidade moderado, resultado que posteriormente também foi confirmado pelas análises estatísticas.

Tanto a matriz de correlação, quanto as análises estatísticas favoreceram o entendimento que as fachadas externas (alinhamentos A e D) estão mais sujeitas aos fenômenos de degradação, provavelmente, pelos agentes climáticos se comparadas às fachadas internas (alinhamentos

B e C). Isto se deve ao fato de estarem voltadas para os jardins externos do ICC Norte, onde os pilares sofrem mais contato direto a agentes agressivos, além de maiores movimentações higrotérmicas.

Por fim, entre os alinhamentos das fachadas externas, o alinhamento D, fachada externa do bloco pertencente à FAU na UnB, foi o alinhamento classificado com maior nível de criticidade. Essa fachada externa específica tem como coordenação nas rosas do vento como sendo uma fachada de orientação Noroeste na cidade de Brasília.

Esse resultado obtido vai ao encontro com os resultados obtidos por Lima (2019) e apurações de Zanoni (2015), quanto à fachada de orientação Noroeste em Brasília ter relação diretamente proporcional à degradação de elementos por agentes climáticos, devido à maiores condições de exposição, onde estão relacionados fenômenos de umidade e temperatura.

4.3.1 Zonas de tensão

Conforme exposto no método proposto, a partir da análise do estado de conservação, a fim de se hierarquizar os riscos e obter como produto melhores diretrizes para tomadas de ações/intervenções, planos de manutenção e auxiliar também a avaliação do nível de criticidade dos danos, foram identificadas as zonas de tensão relacionadas aos pilares do ICC Norte.

As zonas de tensão são áreas que tiveram elevação de valores dos níveis de criticidade como resultado das inspeções. Em relação a cada alinhamento, notou-se pela matriz de correlação (Figura 82) que os trechos que se encontram mais próximos ao acesso extremo norte de cada alinhamento, apresentam-se como sendo regiões com maior nível de criticidade.

Em relação a estrutura como um todo, analisando os 4 alinhamentos entre si, a Tabela 29 a seguir expõe o resultado sintetizado da análise do nível de criticidade de cada.

Tabela 29 – Nível de criticidade dos alinhamentos do ICC Norte.

Faixa do Nível de criticidade	Alinhamento A	Alinhamento B	Alinhamento C	Alinhamento D
Baixa	16,67%	45,24%	54,76%	11,90%
Moderada	73,81%	54,76%	45,24%	64,29%
Crítica	9,52%	0,00%	0,00%	23,81%

Fonte: Autora (2022).

Assim sendo, analisando as faixas dos níveis de criticidade moderada e crítica, verificou-se que as fachadas externas (alinhamentos A e D) são consideradas regiões mais propensas ao surgimento de danos e também mais propensas a uma maior elevação de criticidade do que as fachadas internas (alinhamentos B e C). Nos locais onde existem vegetações de grande porte próximas aos pilares, como no alinhamento D, também se identificou uma elevação média de valores dos graus de criticidade, configurando-se como zona de tensão.

Em relação ao alinhamento D, ou seja, fachada externa do bloco da FAU da UnB, mesmo tendo sido observado que o sistema de pilares vem envelhecendo como um todo no ICC Norte, em relação à análise realizada por fachadas, esse alinhamento específico apresentou os maiores valores de nível de criticidade crítica e menor valor de nível de criticidade baixa em comparação ao alinhamento A.

O alinhamento D é caracterizado por ser a fachada externa Noroeste da edificação, e seus resultados e análise das zonas de tensão corroboraram com os resultados de Lima (2019) e afirmações de Zanoni (2015) de que a orientação solar é determinante para o estado de conservação da edificação, especialmente em relação à fenômenos relacionados com temperatura e umidade. A matriz de correlação (Figura 82) demonstra esse destaque desse alinhamento como zona de tensão em relação às outras fachadas.

Esta maior exposição à degradação pelos agentes climáticos no alinhamento D (fachada externa Noroeste da edificação) deve-se ao fato de que as ações externas de origem climática são caracterizadas como sendo um dos principais agentes de degradação sobre um edifício, acelerando os mecanismos de envelhecimento natural que agem sobre as fachadas, reduzindo assim, o desempenho da edificação ao longo do tempo de sua vida útil. As fachadas externas são mais suscetíveis à degradação por estarem mais expostas a ações como variações térmicas, higroscópicas, umidade e chuvas dirigidas.

Uma constatação importante da pesquisa é que as análises do estado de conservação identificaram que os elementos pré-fabricados de concreto armado estão suscetíveis a outros fatores para uma maior degradação, como sua localização no sistema estrutural, elementos da arquitetura presente e do edifício como um todo.

As condições ambientais e climáticas apresentaram-se como sendo fatores de extrema importância a serem avaliados em um estudo sobre o estado de degradação de elementos de concreto armado, uma vez que os 4 alinhamentos do ICC Norte possuem a mesma técnica construtiva (pré-fabricados e construídos em série) e possuem semelhanças em suas intervenções e uso.

Assim sendo, torna-se possível afirmar que o principal motivo para a diferença do nível de criticidade entre os alinhamentos que compõem o ICC Norte deve-se pelas diferentes condições de exposição aos agentes climáticos de degradação os quais os pilares estão expostos.

5 CONCLUSÕES

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um método de inspeção de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, com base no método FMECA – Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade, e sua principal ferramenta, a matriz de criticidade.

As conclusões ora apresentadas restringem-se a amostra de 168 pilares do Instituto Central de Ciências Norte – ICC Norte, que foram inspecionados ao longo de 4 alinhamentos pré-definidos, e que correspondem às fachadas internas e externas dos blocos A e B.

Foram realizadas inspeções e através dos dados obtidos dos danos vistoriados, sucederam-se análises dos níveis de criticidade do estado de conservação dos pilares, utilizando-se como principais ferramentas as matrizes de criticidade, do estado de conservação e matriz de correlação.

Os resultados da análise do estado de conservação do objeto de estudo indicam que o cenário atual dos 168 pilares inspecionados do ICC Norte reflete moderado estado de conservação, apontado pelo resultado de 60% da totalidade dos pilares apresentarem nível de criticidade moderada ($27 < NPRD < 64$). Em relação às remanescentes faixas de classificação do estado de conservação, 32% dos pilares apresentam nível de criticidade baixa ($NPRD \leq 27$) e 8% nível de criticidade crítica ($64 \leq NPRD \leq 125$).

Em comparação à utilização de somente 2 índices de avaliação (severidade e ocorrência), os pilares do ICC Norte seriam classificados em 64,29% em nível de criticidade moderado e 35,71% em nível de criticidade crítico. Ou seja, em comparação aos resultados obtidos na presente pesquisa, os resultados proporcionados por avaliação de somente 2 dos 3 índices de classificação apresentariam valores excedidos do grau de deterioração às atuais condições dos pilares.

Exemplificando-se, o pilar 690 do alinhamento B, por exemplo, ao ser avaliado com apenas 2 índices, recebe uma classificação de nível de criticidade moderado. Todavia, ao utilizar-se 3 índices de classificação, o mesmo pilar recebe a classificação de nível de criticidade mínimo. Em relação aos danos vistoriados nesse pilar (pichações/pinturas, fissuras/trincas, ninhos de concretagem e manchas de umidade), vitoriou-se que todos os danos se localizam fora da zona de maior risco de integridade estrutural do pilar. Assim sendo, ter-se como avaliação final do grau de deterioração desse pilar como moderado resulta em uma análise supervalorizada em relação às atuais condições dos danos presentes.

Os pilares do ICC também foram analisados através da metodologia GDE por Fonseca (2007). Fonseca (2007) teve como universo 940 pilares, sendo inspecionados não somente os pilares do ICC Norte mas de todo o ICC. Seus resultados evidenciaram 42% dos pilares em nível baixo de deterioração, 54% em nível médio de deterioração e apenas 4% em nível crítico de deterioração. Apesar da diferença total do universo, é possível perceber um aumento do nível de deterioração dos pilares ao longo dos anos quando se comparam os resultados gerais das duas análises realizadas, pois houve um aumento de números de pilares nas faixas de criticidade moderada (54% para 60%) e crítica (4% para 8%) em relação da análise feita em 2007 ao presente trabalho, ano 2022.

O Instituto Central de Ciências é considerado um elemento da história e do patrimônio arquitetônico tanto da Universidade de Brasília quanto em relação à própria capital brasileira. A contribuição da presente pesquisa, a despeito de ter seu foco somente nos pilares do ICC Norte, um dos elementos integrantes de todo o sistema da edificação, baseia-se em agregar aos estudos sobre o estado de conservação de elementos de concreto armado, além da discussão sobre a conservação desse edifício e outras disciplinas de interface, tais como estudos de inspeções técnicas e de durabilidade, fortificados por reflexões sobre a conservação do concreto armado e a necessidade de avaliação sistematizado de seus danos.

A conservação do ICC como um todo é de extrema importância, visando a preservação da memória da universidade. Cabe ao setor responsável pelas manutenções, além das ações corretivas, aperfeiçoar a cultura de manutenções preventivas e rotineiras, aplicando periodicamente análises através do método proposto no presente trabalho ou outras metodologias cabíveis aos processos internos e ao objeto de estudo, visando assim, não somente a durabilidade da edificação, mas de todas que constituem a UnB.

O estudo de caso retratado contribui para o repertório de pesquisas relacionadas à conservação de edificações e seus sistemas, sendo justificada pelo seu embasamento teórico-conceitual técnico e metodológico e pela precariedade e pouca exploração por bibliografias sobre inspeções técnicas sistematizadas brasileiras.

Como contribuições originais desta pesquisa, sobressaem-se os índices de detecção para categorias de inspeções técnicas, as matrizes de conservação e correlação alinhadas à reformulação e critérios dos Números de Prioridade de Risco (NPR) e nova formulação dos Números de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) em pilares pré-fabricados de concreto armado. Destaca-se que uma das principais contribuições originais do presente trabalho foi a formulação de um novo índice de criticidade (NPRD) para assim, ser possível

a construção de uma nova matriz do estado de conservação que abrange os três índices de classificação (severidade, ocorrência e detecção).

O método proposto é composto por formulações embasadas e notas de ponderação aplicados aos danos presentes, área do objeto de estudo relacionada à segurança do usuário da edificação e nível de acuracidade da inspeção técnica realizada, determinando assim o nível do estado de conservação da estrutura em análise. Tais formulações, pelo seu caráter qualitativo e quantitativo, favorecem em diminuir a subjetividade do método de inspeção proposto, condicionando menos os seus resultados à qualificação do profissional responsável.

5.1 ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Ferramentas de inspeção e avaliação da degradação de edificações e seus sistemas foram o alicerce dos conceitos e percepções tratadas na presente pesquisa. O estudo comparativo das características e limitações de 4 importantes metodologias de inspeção técnica no desenvolvimento da revisão bibliográfica teve como finalidade o embasamento teórico para a formulação do método proposto.

Foram realizados levantamentos de bibliografias sobre aplicações dos métodos de inspeção (FMEA/FMECA, GDE, GUT e Norma IBAPE) em estruturas de concreto armado tanto no âmbito nacional quanto internacional.

Os resultados das análises comparativas concluíram que a Norma de Inspeção Predial IBAPE e o método GUT apresentam características predominantes de análises qualitativas, existindo assim uma maior tendência às avaliações subjetivas dos profissionais os quais realizam as inspeções técnicas.

A metodologia GDE apresentou-se como um método de análise quantitativa, sobressaindo-se em relação à Norma de Inspeção Predial IBAPE e o método GUT em relação à menor tendência de avaliações subjetivas durante as inspeções. Todavia, identificou-se dificuldade de inspeção em sistemas estruturais de portes significativos em períodos de tempo razoável.

O método FMEA, assim como a Norma de Inspeção Predial IBAPE e o método GUT, também apresenta características de avaliação com análises qualitativas, porém, a sua extensão, o método FMECA, apresenta como principal característica análises quantitativas, proporcionadas pelas matrizes de criticidades e conseqüentemente, a priorização de riscos determinada através da ordem de criticidade dos danos existentes e vistoriados nas inspeções.

Assim sendo, os resultados do estudo comparativo dos métodos de avaliação de estruturas de concreto armado embasaram a definição do FMECA como referencial metodológico para o processo construtivo e a formulação do método proposto no presente trabalho.

5.2 MÉTODO PROPOSTO APLICADO A ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO

Os pilares do Instituto Central de Ciências Norte da Universidade de Brasília foram selecionados como objetos de estudo para aplicação do método de inspeção e avaliação do estado de conservação proposto na presente pesquisa.

A aplicabilidade do método proposto nos pilares do ICC Norte provou ser uma ferramenta para avaliação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, atingindo, assim, o objetivo geral desta pesquisa. Ressalta-se ainda que o método provou também ser uma ferramenta para avaliação, não somente de estruturas pré-fabricadas, mas de estruturas de concreto armado de forma abrangente, não restringindo-se apenas a estruturas pré-fabricadas.

Em relação ao estudo de caso, a metodologia do banco de informações foi possível frente à sistematização de cada etapa de aplicação do método, gerando em cada uma delas produtos a respeito não exclusivamente aos pilares, mas sim à edificação e seus sistemas.

As inspeções técnicas viabilizaram a coleta dos registros fotográficos e informações sobre o estado de degradação dos pilares e aos sistemas que estão relacionados a esses elementos estruturais. As inspeções permitiram obter informações originais sobre o edifício, além de apresentarem dados a respeito da manutenção durante um período de baixo uso do ICC por seus usuários devido à pandemia da COVID-19.

As matrizes de criticidade, conservação e correlação trouxeram como produto a hierarquização dos riscos através das análises dos níveis de criticidade existentes. As matrizes proporcionaram uma análise quantitativa dos danos nas estruturas através dos Números de Prioridade de Risco (NPR) e Números de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD). Ademais, a formulação visual das matrizes com sua escala de cores, permitiu uma melhor visualização da evolução dos danos com o uso da edificação.

As matrizes de criticidade, conservação e correlação tornam-se então ferramentas viáveis para análise do estado de conservação e também para o planejamento de manutenções e intervenções.

A análise estatística do presente trabalho caracterizou-se como uma ferramenta útil de validação dos dados coletados pela aplicação do método proposto, além de corroborarem com o comportamento do edifício e suas zonas de tensão (regiões mais vulneráveis e degradadas).

As limitações do método proposto identificadas baseiam-se na restrição do objeto de estudo ser de concreto armado devido à formulação e critérios dos índices de Severidade (S) e de uma análise menos precisa do dano existente devido à certa dificuldade de visualização e identificação do mesmo, caso exista um sistema de revestimento na estrutura a ser inspecionada.

A questão de pesquisa que se apurou responder, “Qual é o grau de confiabilidade dos diferentes resultados entre metodologias e ferramentas de inspeção e suas respectivas convergências e divergências?” possibilitou explorar a fundamentação teórica-conceitual técnica e metodológica para o embasamento da formulação do método proposto presente nessa pesquisa.

Respalhando-se nas referências bibliográficas, projetou-se analisar o edifício como um todo, conectando os pilares pré-fabricados de concreto armado à arquitetura do ICC Norte, além dos conceitos de durabilidade, do estado de conservação e suas ferramentas de investigação.

5.3 ESTADO DE CONSERVAÇÃO DOS PILARES

Em relação ao cenário histórico à época da construção, as práticas construtivas e soluções arquitetônicas em que o ICC foi planejado e construído favoreceram a sua concepção e a durabilidade do sistema. A utilização do método de pré-fabricação e construção de elementos estruturais, como os pilares, além da adoção do concreto aparente, são exemplos dessa qualidade de projeto e construtiva as quais remetem ao passado da edificação e da Universidade de Brasília.

A técnica da utilização de preenchimento de neoprene entre os pilares e as vigas superiores, a utilização de tubulações de ferro fundido como instalações no interior dos elementos e a ausência de sistema de revestimento nas peças estruturais são soluções características daquele momento histórico.

O cenário atual do moderado estado de conservação dos pilares é resultante, além das análises de criticidade de danos presentes, como também do envelhecimento natural do edifício. O sistema de pré-fabricação e instalação em série dos pilares apresentou condição de risco moderado, principalmente pela decorrência preponderante de ninhos de

concretagem nos pilares inspecionados em todas as fachadas do ICC Norte. Os danos de maiores criticidades (moderada e crítica) foram vistoriados com prevalência nas fachadas externas da edificação. Intervenções visuais foram vistoriadas pontualmente em relação ao conjunto do sistema.

Em relação a cenários futuros, existe a necessidade de se discutir sobre a adequação dos pilares e suas instalações aos atuais parâmetros normativos construtivos. Essa adequação tem como objetivo reduzir os eventos críticos à infraestrutura e aos usuários da edificação, como o agravamento das corrosões das armaduras dos pilares.

Definida na presente pesquisa, a recuperação dos danos hierarquizados através da priorização compreende: a substituição dos neoprenes com preenchimento de material flexível às movimentações das vigas superiores e os pilares; a substituição e adequabilidade das tubulações de ferro fundido no interior dos pilares de concreto armado (ação que requer uma investigação e análise mais aprofundada respaldando-se nas atualizações das técnicas construtivas como a substituição da mesma por outro tipo de material menos tendencioso à agravar o processo de corrosão no interior dos pilares); e o tratamento do deslocamento do concreto e das corrosões de armaduras vistoriadas, principalmente, nas zonas de maior momento fletor dos pilares.

Ressalta-se que a seleção das intervenções de medidas corretivas adotadas deve-se alinhar à continuidade de ações preventivas do sistema, através de rotinas de inspeções em companhia com um plano de manutenção para o ICC e sua infraestrutura.

Com o decorrer dos anos de uso e operação da edificação, as condições de exposição de elementos de concreto aparente começaram a despertar preocupações relacionadas à manutenção. A existência de jardins e vegetação densa influenciou diretamente o estado de conservação dos pilares, uma vez que os elementos em contato com um ambiente com maior umidade e bolor sofreram danos mais intensos, refletindo na maior demanda de ações de manutenção.

Ações de manutenções corretivas em elementos estruturais do ICC Norte durante a pandemia da COVID-19 influenciaram no estado de conservação da edificação como um todo, uma vez que a recuperação do mezanino norte tem relação direta ao sistema estrutural e todos seus componentes, como os pilares.

O cenário atual indica ações não integradas, inexistindo uma aproximação entre ações de conservação do sistema estrutural com sua infraestrutura e instalações, dado corroborado

pela ausência de conservação dos jardins e limpezas dos ambientes. Assim sendo, faz-se mais de que necessário a presença de ações de manutenções corretivas, preventivas e rotineiras sobre o ICC, sendo possível o acompanhamento da evolução dos danos observados e sua amenização através de um plano de manutenção.

Em relação às zonas de tensão, regiões mais vulneráveis e degradadas por danos no sistema de pilares inspecionados, a partir da visão integrada dos pilares com a localização de outras infraestruturas do ICC, como seus jardins e acessos à edificação, identificou-se que as bordas próximas ao acesso extremo Norte dos alinhamentos são áreas mais propensas à degradação dos pilares.

Ademais, entre todos os quatro alinhamentos de pilares da edificação, a fachada externa Noroeste (alinhamento D) foi classificada com maior estado de degradação entre seus pilares. Verificou-se que existe uma relação direta desse alinhamento com as condições de exposição aos agentes ambientais climáticos. Assim sendo, os agentes ambientais e climáticos demonstraram ser uma das principais causas de degradação dos pilares ao longo dos anos de uso e ocupação do edifício.

As condições de exposição em que a fachada externa Noroeste (pertencente ao bloco da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB) tendem a provocar uma maior degradação nos elementos de sua estrutura. Considerando o fato de que os agentes ambientais e climáticos não tendem a minimizar seus efeitos com o passar do tempo, estas condições de exposição revelam um efeito acumulativo de que quanto mais tempo se passar, maior será a tendência de agravamento da criticidade dos danos, caso não haja ações de manutenções. O planejamento e a execução de um plano de conservação do ICC é um meio de recuperação de seus elementos além de ampliar a sua vida útil.

Por fim, conclui-se que após a aplicação do método proposto, o levantamento e análise do histórico, da situação presente e a futura projeção contribuem significativamente para a percepção do edifício e o necessário planejamento de sua conservação.

5.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Embasando-se nas lacunas e delimitação do trabalho, a seguir são apontadas sugestões para trabalhos futuros:

- Realização aplicação do método proposto em vigas na aplicação em outros elementos estruturais pré-fabricados de concreto armado no Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília;
- Realizar estudo da aplicabilidade do método proposto para vigas pré-fabricadas de concreto armado e protendido;
- Realizar um estudo com um universo maior de estruturas pré-fabricadas de concreto armado;
- Aplicação do método proposto em outras edificações que possuem elementos pré-fabricados de concreto armado;
- Realizar um estudo de caracterização dos danos estruturais, utilizando dados de ensaios técnicos destrutivos e não destrutivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRÓPOLE, R. **A estrutura da Universidade de Brasília**. Revista Acrópole, São Paulo, p. 13-45, Janeiro, 1970.

ALBERTO, K. C. **A pré-fabricação e outros temas projetuais para campi universitários na década de 1960: o caso da UnB**. **Risco**: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, v. 10, p. 80-90, jan. 2009. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/risco/article/view/44781>. Acesso em: 02 fev. 2021.

ALLAN, J. **Points of Balance – Patterns of Practice in the Conservation of Modern Architecture**. In: Macdonald, Normandin, Kindred, eds. *Conservation of Modern Architecture*. Shaftesbury: Donhead, pp.13-46, 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **PROJETO 02:140.02-001**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-2: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais**. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro, 2020.

BLUMENSCHNEIN, R. N.; AMORIM, C. N. D.; IKEDA, D. F. R.; ANDRADE, L.; BUSON, M.; LEMOS, N.; ZANONI, V. A. G. **Avaliação da qualidade da Habitação de interesse social – projetos urbanístico e arquitetônico e qualidade construtiva**. 1ª edição. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília: [s.n.], 2015.

BOLDO, Plinio. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do exército brasileiro.** 2002. 312 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002.

BRAGA, I. C., BRANDÃO, F. S., RIBEIRO, F. R. C., DIÓGENES, A. G. (2019), **Application of GUT Matrix in the assessment of pathological manifestations in heritage constructions**, Revista ALCONPAT, 9(3), pp. 320 – 335, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.400>.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Atividade Legislativa. **Projetos de Lei e outras proposições. PL 6014/2013.** Informações de Tramitação. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=585637>. Acesso em 29 maio 2022. Brasília, DF, 2022.

BRASIL. Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania. **Projeto de Lei Nº 6.014, de 2013.** Brasília, DF, 2019.

CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado.** 1994. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994.

CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 60., 2018, [S. L.]. **Aplicação de metodologia GDE/UnB em uma edificação habitacional: estudo de caso em Águas Lindas de Goiás - GO.** [S. L.]: IBRACON, 2018. 25 p.

CONFERÊNCIA NACIONAL DE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS, 2017, [S. L.]. **Priorização na resolução de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: método GUT.** [S. L.]: CONPAR, 2017. 10 p.

CRUZ, D. C. **Análise de solicitações de assistência técnica em empreendimentos residenciais como ferramenta de gestão.** 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

CUPERTINO, D.; BRANDSTETTER, M. C. G. de O. **Proposição de ferramenta de gestão pós-obra a partir dos registros de solicitação de assistência técnica.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 243-265, out./dez. 2015.

CURTIS, William J. R. **Arquitetura Moderna desde 1900**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

DEPARTMENT OF BUILDING INSPECTION. **RESIDENTIAL HABITABILITY INFORMATION: San Francisco Housing Code Requirements**. S.N. ed. Califórnia, São Francisco: SFDBI, 2014. 8 p.

DRUKIS, P., GAILEA L., PAKRASTINS, L. **Inspection of public buildings based on risk assessment**. In: Procedia Engineering, 172, p. 247 – 255, 2017.

EUQUERES, P. **Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado**. 2011. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

FÁVERI, R. de; SILVA, A. da. **Método GUT aplicado à gestão de risco de desastres: uma ferramenta de auxílio para hierarquização de riscos**. Arcos, [S. L.], v. 9, n. 1, p. 93-107, jun. 2016.

FERRAZ, G. T., DE BRITO, J., DE FREITAS, V. P., SILVESTRE, J. D. **State-of the-Art Review of Building Inspection Systems**. In: J. Perform. Constr. Facilities, 2016.

FIP (FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE PROTENSÃO). **“Guide to good practice: Inspection and Maintenance of reinforced concrete structure”**. Thomas Telford Publications, Londres, 1998.

FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB. Brasília, 2007.

GOCANVAS. **Checklist for Periodic Structural Inspection of Existing Building Mobile App**. Virginia, USA. Singapura, 2017.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Diário Oficial do Distrito Federal**. ANO XLVII EDIÇÃO N 27. 2018. Disponível em: https://www.dodf.df.gov.br/index/visualizar-arquivo/?pasta=2018%7C02_Fevereiro%7CDODF%20027%2007-02-2018%7C&arquivo=DODF%20027%2007-02-2018%20INTEGRA.pdf. Acesso em: 10 jul. 2020.

GRUPO DE TRABALHO CONFORME DECRETO 38.841 DE 06/02/2018. **RELATÓRIO TÉCNICO – Viaduto do Eixo Rodoviário Sul (DF 002) sobre a galeria dos estados.** Grupo de trabalho conforme decreto 38.841. Brasília, DF. 2018.

HACIBALOGLU, D. **Building Inspection in Turkey.** M.S. Department of Civil Engineering, 162p., Thesis to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University. Turkey, 2003

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** 2ª edição, Editora PINI, São Paulo, SP, 1992.

HONG KONG. **Code of Practice for the Mandatory Building Inspection Scheme and Mandatory Window Inspection Scheme.** Building Department, Hong Kong, 2012.

INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES – INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR STONE. ICOMOS-ISCS. **Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns.** Paris, 2010.

INOJOSA, L. S. P. **O sistema estrutural na obra de Oscar Niemeyer.** 2010. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010. INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. Ibape. Norma de Inspeção Predial Nacional. Assembleia nacional. São Paulo - SP, 2012, 18 p.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL. **About ICC.** Disponível em:<<https://www.iccsafe.org/about-icc/overview/about-international-codecouncil/2018>>. Acesso em 05 de Agosto de 2020.

INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES. Icomos. **Documento de Madri – Critérios para a Conservação do Patrimônio Arquitetônico do Século XX.** Madri, 2011.

JOKILEHTO, J. **Continuity and change in recent heritage.** In: OERS, R.V.; HARAGUCHI, S. (Ed.). World Heritage papers, 5 Identification and documentation of modern heritage. Paris: UNESCO/WHC, pp.102- 109, 2003.

KHAN, M. A; DEEP S; ASSIM M; KHAN Z. R. **Quantization of risks involved in supply of ready mix concrete in construction industry in indian scenario.** International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume 8, Issue 3, March 2017, pp. 175–184 Article ID: IJCIET_08_03_018. Available online At

LEITE, J. H. C. **Análise de manifestações patológicas em edifícios históricos no município de Governador DIX-SEPT Rosado - RN.** 2019. 69 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019.

LIMA, B. B. **Sistema de Revestimento em Mármore nas Fachadas do Congresso Nacional – Cenários do Estado de Conservação.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UnB. Brasília, 2019.

LOPES, B. A. R. **Sistema de Manutenção Predial para Grandes Estoques de Edifícios: Estudo para inclusão do componente "Estrutura de Concreto".** 1998. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998.

MACDONALD, S. **Materiality, monumentality and modernism: continuing challenges in conserving twentieth-century places.** In: (Un) Loved Modern: Conservation of 20th Century Heritage Conference, Sydney, jul. de 2009.

MACHADO, M. P. N. M. **Manutenção Preventiva de um Edifício Hospitalar.** Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2013.

MAIA, É. B. M. **Avaliação de manifestações patológicas com aplicação do método FMECA - estudo de caso.** 75 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

MEDEIROS, A. G. de; SÁ, M. das V. V. A. de; SILVA FILHO, J. N. da; ANJOS, M. A. S. dos. **Aplicação de metodologias de inspeção em ponte de concreto armado. Ambiente Construído,** Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 687-702, jul./set. 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais.** IBRACON, 3 ed., São Paulo, 2008.

MILITARY STANDARD. MIL-1629. **Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.** US Department Defense. Washington, DC, 1980.

MOREIRA, A. L. A. **A estrutura do Palácio da Justiça em Brasília: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de estratégias**

para manutenção. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

MOREIRA, F. D. **Os desafios postos pela conservação da arquitetura moderna.** In: Revista CPC, São Paulo, n. 11, nov. 2010/abr, pp. 152-187, 2011.

NIEMEYER, O. **Minha experiência em Brasília.** Gráfica Editora Itambé S. A. Rio de Janeiro, 1961.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA SECRETARIA-GERAL SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS. Lei nº 14.133, de 29 de maio de 2022. **Lei de Licitações e Contratos Administrativos.**, [S. l.], 1 abr. 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm. Acesso em: 29 maio 2022.

OLIVEIRA, Y. P. C. **Análise de manifestações patológicas em residências do programa minha casa minha vida no estado do Pará e aplicação do método FMEA.** 2018. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

PINTO, F. L. H. **O concreto aparente como atributo na conservação da arquitetura moderna.** 2012. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento Urbano, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

PORTO, N. G. O. **Avaliação dos efeitos da deterioração de estruturas de betão armado - Aplicação a um reservatório elevado.** 2020. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil/Ambiente, Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020.

PRUDON, Theodore. **Preservation of modern architecture.** New York: John Wiley, 2008.

PUJADAS, F. Z. A. **Inspeção Predial – Ferramenta de Avaliação da Manutenção.** In: XIV Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliação e Perícias. Salvador, BA, 2007.

ROTONDARO, R. G. **SFMEA: Análise do Efeito e Modo da Falha em serviços – aplicando técnicas de prevenção na melhoria de serviços.** [S. L.]: Revista Produção, v. 12, n. 2, 2002.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos.** Dissertação (Mestrado). Engenharia Mecânica da UFSC. Florianópolis, 2001.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E HABITAÇÃO. **SEDUH DF GOV.** Disponível em: [http://www.seduh.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/10/Apresentacao_recupera% c3% a7ao-estrutural_galeria-estados.pdf](http://www.seduh.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/10/Apresentacao_recupera%c3%a7ao-estrutural_galeria-estados.pdf). Acesso em: 05 maio. 2020.

SENA, G. O. de; NASCIMENTO, M. L. M.; NETO, A. C. N.; LIMA, N. M. **Patologia das Construções**. Salvador: 2B, 2020. 256 p.

SILVA, L. S. P. **Estruturas do monumento a Caxias e do Teatro Pedro Calmon em Brasília: Histórico de projeto, execução e intervenções e estratégias para manutenção**. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

SILVA, M. **Equilíbrio estrutural e a industrialização da construção: primeira experiência em pré-moldado na UnB**. 2020. 182 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2020.

SILVA, S. R. C.; FONSECA, M.; BRITO, J. **Metodologia FMEA e sua aplicação à construção de edifícios**. LNEC, 2006.

SILVA, S. V.; MONTEIRO, E. C. B. **Aplicação das ferramentas da qualidade FMEA e FTA para detecção e controle de patologias em estruturas de concreto armado do Aeroporto Internacional do Recife**. [S. L.]: Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 1, 2016.

SOARES, F. S. **A estrutura da torre de TV digital de Brasília: aspectos históricos e tecnológicos de projeto, intervenções e proposta de manutenção**. 2017. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo - SP: Pini, 2009. 262 p.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. **Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil**. Mérida - México: Alconpat, 2013. 17 p.

VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. 2015. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

VERVLOET, S. **Análise de indicadores para execução de inspeção predial regular obrigatória e diretrizes para o corpo técnico.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2018.

ZANONI, V.A.G; BUSON, M. **Matriz de criticidade na avaliação da qualidade construtiva do Programa Minha Casa Minha Vida.** In: XIII Congresso Latino–Americano de Patologia da Construção, XV Congresso de Controlo da Qualidade na Construção, Congresso Luso–Africano da Construção, 2015, Lisboa. Anais Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2015.

APÊNDICE I – Exemplo de Ficha de Inspeção Técnica

FICHA DE INSPEÇÃO TÉCNICA

RESPONSÁVEL TÉCNICO: HISA DUTRA ALVES	
Nº DE REGISTRO: 28196 D/DF	DATA DA INSPEÇÃO: 02 / 10 / 2021
ASSINATURA E CARIMBO: 	LOCALIZAÇÃO: ICC Norte, UnB, Brasília – DF.

CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL: II – Moderada: Urbana com pequeno risco de deterioração da estrutura.
ELEMENTO(S) ANALISADO(S): Pilar pré-fabricado de concreto armado.
LOCALIZAÇÃO DO(S) ELEMENTO(S): Pilar 690 - Alinhamento D.
DANO(S) VISTORIADO(S)
Sintomas (Modo de falha potencial) - Classificação do(s) Dano(s): Pichações; ninhos de concretagem; deslocamento do concreto; manchas de umidade; corrosões da armadura sem e com perda de seção.
Identificação do(s) Dano(s): D1.1; D2.2; D2.3; D3.1; D4; D5.
Registro Fotográfico: 

<p>Causas prováveis do(s) dano(s): Dano mais crítico é corrosão das armaduras com perda de seção. Causa provável da corrosão é a carbonatação. Observação: a presença de cloretos pode ser comprovada por meio de ensaio com aspersão de solução contendo nitrato de prata.</p>
<p>Mecanismos de degradação do(s) dano(s): Reação expansiva do processo de corrosão.</p>
<p>Possíveis efeitos (Efeito potencial da falha): A reação expansiva do processo de corrosão pode continuar acelerando a corrosão das armaduras, enfraquecendo a estrutura do elemento como um todo devido à diminuição da resistência do elemento à tração. A expansão das armaduras pode causar fissurações, deslocamento do concreto, perda de aderência entre a armadura e o concreto e em casos extremos, pode ocasionar colapso da estrutura.</p>
<p>Classificação de Severidade (S): 5</p>
<p>Classificação de Ocorrência (O): 5</p>
<p>Classificação de Detecção (D): 3</p>
<p>NPR (S x O x D) = 75</p>
<p>Ações recomendadas: Limpeza e tratamento da corrosão nas armaduras com material adequado. Recuperação da seção deslocada parcialmente do concreto. Manutenções preventivas e inspeções para acompanhamento do elemento ao longo do seu tempo de uso.</p>

APÊNDICE II – Planilhas de cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR) - construção das matrizes de criticidade

Legenda:

Critério de classificação do Número de Prioridade de Risco (NPR)	
	Grau de risco mínimo: $NPR \leq 3$
	Grau de risco moderado: $3 < NPR \leq 12$
	Grau de risco crítico: $12 < NPR \leq 25$

ALINHAMENTO A				
Trecho	Numeração local	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Número de Prioridade de Risco (NPR)
1	696	3	3	9
2	690	5	5	25
3	684	3	4	12
4	678	5	5	25
5	672	5	4	20
6	666	3	4	12
7	660	4	5	20
8	654	5	4	20
9	648	3	5	15
10	642	3	4	12
11	636	3	4	12
12	630	3	4	12
13	624	3	4	12
14	618	3	4	12
15	612	3	4	12
16	606	3	4	12
17	600	3	4	12
18	594	3	5	15
19	588	4	4	16
20	582	3	4	12
21	576	4	5	20
22	570	5	5	25
23	564	4	4	16
24	558	3	4	12
25	552	4	4	16
26	546	4	4	16
27	540	4	4	16

28	534	5	5	25
29	528	3	3	9
30	522	4	3	12
31	516	3	5	15
32	510	5	4	20
33	504	3	4	12
34	498	4	4	16
35	492	3	4	12
36	486	3	3	9
37	480	4	4	16
38	474	5	4	20
39	468	4	2	8
40	462	3	2	6
41	456	3	2	6
42	450	3	2	6

ALINHAMENTO B

Trecho	Numeração local	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Número de Prioridade de Risco (NPR)
1	696	4	3	12
2	690	3	3	9
3	684	3	3	9
4	678	3	4	12
5	672	3	4	12
6	666	3	4	12
7	660	3	3	9
8	654	4	3	12
9	648	3	4	12
10	642	3	4	12
11	636	3	3	9
12	630	3	3	9
13	624	3	3	9
14	618	3	3	9
15	612	3	3	9
16	606	4	5	20
17	600	3	3	9
18	594	4	4	16
19	588	3	4	12
20	582	3	3	9
21	576	4	3	12
22	570	4	3	12
23	564	4	3	12

24	558	4	4	16
25	552	3	5	15
26	546	3	5	15
27	540	4	3	12
28	534	3	4	12
29	528	3	4	12
30	522	4	3	12
31	516	3	3	9
32	510	3	3	9
33	504	3	3	9
34	498	4	3	12
35	492	3	3	9
36	486	3	3	9
37	480	3	3	9
38	474	4	3	12
39	468	4	3	12
40	462	4	3	12
41	456	3	2	6
42	450	3	3	9

ALINHAMENTO C

Trecho	Numeração local	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Número de Prioridade de Risco (NPR)
1	696	3	3	9
2	690	3	3	9
3	684	3	3	9
4	678	4	4	16
5	672	3	4	12
6	666	4	3	12
7	660	3	3	9
8	654	4	3	12
9	648	3	3	9
10	642	4	4	16
11	636	4	3	12
12	630	3	3	9
13	624	4	3	12
14	618	4	3	12
15	612	4	4	16
16	606	3	3	9
17	600	3	3	9
18	594	4	3	12
19	588	3	3	9

20	582	3	4	12
21	576	3	3	9
22	570	3	3	9
23	564	3	3	9
24	558	4	3	12
25	552	4	3	12
26	546	3	3	9
27	540	3	3	9
28	534	3	3	9
29	528	4	3	12
30	522	3	4	12
31	516	3	3	9
32	510	3	3	9
33	504	3	3	9
34	498	4	3	12
35	492	3	3	9
36	486	3	4	12
37	480	3	5	15
38	474	3	5	15
39	468	3	3	9
40	462	3	3	9
41	456	3	3	9
42	450	3	3	9

ALINHAMENTO D

Trecho	Numeração local	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Número de Prioridade de Risco (NPR)
1	696	4	5	20
2	690	5	5	25
3	684	3	4	12
4	678	3	4	12
5	672	5	4	20
6	666	4	4	16
7	660	5	5	25
8	654	4	4	16
9	648	4	4	16
10	642	4	4	16
11	636	4	4	16
12	630	4	4	16
13	624	5	5	25
14	618	4	5	20
15	612	4	4	16

16	606	5	4	20
17	600	4	4	16
18	594	5	5	25
19	588	5	5	25
20	582	5	4	20
21	576	4	4	16
22	570	4	4	16
23	564	5	5	25
24	558	5	5	25
25	552	4	4	16
26	546	3	4	12
27	540	3	4	12
28	534	3	3	9
29	528	4	4	16
30	522	5	5	25
31	516	4	4	16
32	510	3	3	9
33	504	3	3	9
34	498	4	5	20
35	492	3	3	9
36	486	5	5	25
37	480	5	5	25
38	474	4	3	12
39	468	3	2	6
40	462	3	4	12
41	456	3	4	12
42	450	4	4	16

APÊNDICE III – Planilhas de cálculo do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD) – construção das matrizes do estado de conservação

Legenda:

Critério de classificação do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)	
	Nível de criticidade mínima: $NPRD \leq 27$
	Nível de criticidade moderada: $27 < NPRD < 64$
	Nível de criticidade crítica: $64 \leq NPRD \leq 125$

ALINHAMENTO A				
Trecho	Numeração local	Número de Prioridade de Risco (NPR)	Detecção (D)	Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)
1	696	9	3	27
2	690	25	3	75
3	684	12	3	36
4	678	25	3	75
5	672	20	3	60
6	666	12	3	36
7	660	20	3	60
8	654	20	3	60
9	648	15	3	45
10	642	12	3	36
11	636	12	3	36
12	630	12	3	36
13	624	12	3	36
14	618	12	3	36
15	612	12	3	36
16	606	12	3	36
17	600	12	3	36
18	594	15	3	45
19	588	16	3	48
20	582	12	3	36
21	576	20	3	60
22	570	25	3	75
23	564	16	3	48
24	558	12	3	36
25	552	16	3	48

26	546	16	3	48
27	540	16	3	48
28	534	25	3	75
29	528	9	3	27
30	522	12	3	36
31	516	15	3	45
32	510	20	3	60
33	504	12	3	36
34	498	16	3	48
35	492	12	3	36
36	486	9	3	27
37	480	16	3	48
38	474	20	3	60
39	468	8	3	24
40	462	6	3	18
41	456	6	3	18
42	450	6	3	18

ALINHAMENTO B

Trecho	Numeração local	Número de Prioridade de Risco (NPR)	Deteccção (D)	Número de Prioridade de Risco com Deteccção (NPRD)
1	696	12	3	36
2	690	9	3	27
3	684	9	3	27
4	678	12	3	36
5	672	12	3	36
6	666	12	3	36
7	660	9	3	27
8	654	12	3	36
9	648	12	3	36
10	642	12	3	36
11	636	9	3	27
12	630	9	3	27
13	624	9	3	27
14	618	9	3	27
15	612	9	3	27
16	606	20	3	60
17	600	9	3	27
18	594	16	3	48
19	588	12	3	36
20	582	9	3	27
21	576	12	3	36

22	570	12	3	36
23	564	12	3	36
24	558	16	3	48
25	552	15	3	45
26	546	15	3	45
27	540	12	3	36
28	534	12	3	36
29	528	12	3	36
30	522	12	3	36
31	516	9	3	27
32	510	9	3	27
33	504	9	3	27
34	498	12	3	36
35	492	9	3	27
36	486	9	3	27
37	480	9	3	27
38	474	9	3	27
39	468	12	3	36
40	462	12	3	36
41	456	6	3	18
42	450	9	3	27

ALINHAMENTO C

Trecho	Numeração local	Número de Prioridade de Risco (NPR)	Detecção (D)	Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)
1	696	9	3	27
2	690	9	3	27
3	684	9	3	27
4	678	16	3	48
5	672	12	3	36
6	666	12	3	36
7	660	9	3	27
8	654	12	3	36
9	648	9	3	27
10	642	16	3	48
11	636	12	3	36
12	630	9	3	27
13	624	12	3	36
14	618	12	3	36
15	612	16	3	48
16	606	9	3	27
17	600	9	3	27

18	594	12	3	36
19	588	9	3	27
20	582	12	3	36
21	576	9	3	27
22	570	9	3	27
23	564	9	3	27
24	558	12	3	36
25	552	12	3	36
26	546	9	3	27
27	540	9	3	27
28	534	9	3	27
29	528	12	3	36
30	522	12	3	36
31	516	9	3	27
32	510	9	3	27
33	504	9	3	27
34	498	12	3	36
35	492	9	3	27
36	486	12	3	36
37	480	15	3	45
38	474	15	3	45
39	468	9	3	27
40	462	9	3	27
41	456	9	3	27
42	450	9	3	27

ALINHAMENTO D

Trecho	Numeração local	Número de Prioridade de Risco (NPR)	Detecção (D)	Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)
1	696	20	3	60
2	690	25	3	75
3	684	12	3	36
4	678	12	3	36
5	672	20	3	60
6	666	16	3	48
7	660	25	3	75
8	654	16	3	48
9	648	16	3	48
10	642	16	3	48
11	636	16	3	48
12	630	16	3	48
13	624	25	3	75

14	618	20	3	60
15	612	16	3	48
16	606	20	3	60
17	600	16	3	48
18	594	25	3	75
19	588	25	3	75
20	582	20	3	60
21	576	16	3	48
22	570	16	3	48
23	564	25	3	75
24	558	25	3	75
25	552	16	3	48
26	546	12	3	36
27	540	12	3	36
28	534	9	3	27
29	528	16	3	48
30	522	25	3	75
31	516	16	3	48
32	510	9	3	27
33	504	9	3	27
34	498	20	3	60
35	492	9	3	27
36	486	25	3	75
37	480	25	3	75
38	474	12	3	36
39	468	6	3	18
40	462	12	3	36
41	456	12	3	36
42	450	16	3	48

APÊNDICE IV – Tabela do Nível de Criticidade - planilha de cálculo para construção da matriz de correlação

Legenda:

Critério de classificação do Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)	
	Nível de criticidade mínima: $\text{NPRD} \leq 27$
	Nível de criticidade moderada: $27 < \text{NPRD} < 64$
	Nível de criticidade crítica: $64 \leq \text{NPRD} \leq 125$

Trecho	Numeração Local	Número de Prioridade de Risco com Detecção (NPRD)			
		Alinhamentos			
		A	B	C	D
1	696	27	36	27	60
2	690	75	27	27	75
3	684	36	27	27	36
4	678	75	36	48	36
5	672	60	36	36	60
6	666	36	36	36	48
7	660	60	27	27	75
8	654	60	36	36	48
9	648	45	36	27	48
10	642	36	36	48	48
11	636	36	27	36	48
12	630	36	27	27	48
13	624	36	27	36	75
14	618	36	27	36	60
15	612	36	27	48	48
16	606	36	60	27	60
17	600	36	27	27	48
18	594	45	48	36	75
19	588	48	36	27	75
20	582	36	27	36	60
21	576	60	36	27	48
22	570	75	36	27	48
23	564	48	36	27	75
24	558	36	48	36	75

25	552	48	45	36	48
26	546	48	45	27	36
27	540	48	36	27	36
28	534	75	36	27	27
29	528	27	36	36	48
30	522	36	36	36	75
31	516	45	27	27	48
32	510	60	27	27	27
33	504	36	27	27	27
34	498	48	36	36	60
35	492	36	27	27	27
36	486	27	27	36	75
37	480	48	27	45	75
38	474	60	27	45	36
39	468	24	36	27	18
40	462	18	36	27	36
41	456	18	18	27	36
42	450	18	27	27	48