



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

MARYANE HOLANDA DE MELO

**USO DO *SOFTWARE* MATLAB PARA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE
DETERIORAÇÃO DE EDIFICAÇÕES PELO MÉTODO GDE/U_nB**

MOSSORÓ

2019

MARYANE HOLANDA DE MELO

**USO DO *SOFTWARE* MATLAB PARA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE
DETERIORAÇÃO DE EDIFICAÇÕES PELO MÉTODO GDE/UnB**

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

Orientadora: Mayara de Freitas Medeiros Araújo, Profa.

Co-orientador: Alisson Gadelha de Medeiros, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2019

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

H722u Holanda de Melo, Maryane.
USO DO SOFTWARE MATLAB PARA DETERMINAÇÃO DO
GRAU DE DETERIORAÇÃO DE EDIFICAÇÕES PELO MÉTODO
GDE/UnB / Maryane Holanda de Melo. - 2019.
57 f. : il.

Orientadora: Mayara de Freitas Medeiros Araújo.
Coorientador: Alisson Gadelha de Medeiros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Manifestações patológicas. 2. Inspeções
visuais. 3. Estruturas. I. Freitas Medeiros
Araújo, Mayara de, orient. II. Gadelha de
Medeiros, Alisson, co-orient. III. Título.

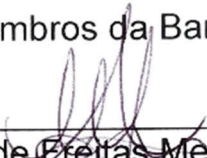
MARYANE HOLANDA DE MELO

**USO DO *SOFTWARE* MATLAB PARA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE
DETERIORAÇÃO DE EDIFICAÇÕES PELO MÉTODO GDE/UnB**

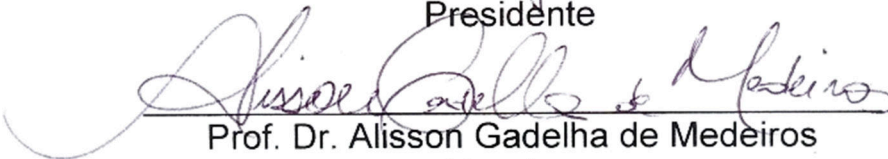
Trabalho final de graduação apresentado ao conselho de curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito para obtenção do título de Engenheira Civil.

Defendida em: 05 / 08 / 2019.

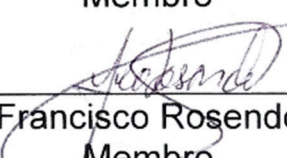
Assinatura dos membros da Banca Examinadora.



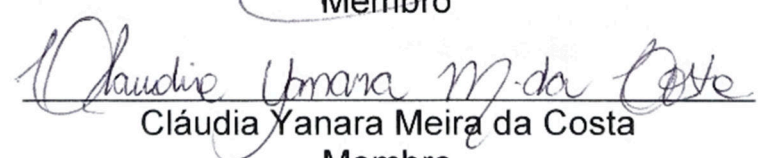
Prof. Mayara de Freitas Medeiros Araújo
Presidente



Prof. Dr. Alisson Gadelha de Medeiros
Membro



Prof. Me. Francisco Rosendo Sobrinho
Membro



Cláudia Yanara Meira da Costa
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter colocado tantas pessoas tão maravilhosas no meu caminho.

Aos meus pais, José Eudes e Maria Consuelo, por todo suporte, ensinamentos e sacrifícios para que meus sonhos se realizem. Para vocês toda minha gratidão e amor. Tudo o que eu conquisto é mérito de vocês.

À minha irmã, Marina, pela companhia no dia-a-dia.

À Totoca, minha eterna amiga de quatro patas que me acompanhou durante minha adolescência e ao longo da minha vida adulta durante quase toda minha graduação. Não é possível mensurar todo o amor que você nos ensinou.

À Tales Renan, por todo apoio e carinho ao longo dessa caminhada. Esteve comigo em todos os momentos, de comemoração e de inseguranças. Sua presença foi essencial para a conclusão dessa etapa.

Aos meus amigos que conquistei na vida acadêmica, mas que meus sentimentos ultrapassam as barreiras da universidade: Claudia, Juliana, Boniex, Gabriel, Antônio e Amanda Cristine. Ao meu amigo também Elison, que está comigo desde o ensino médio e nessa fase também não fez diferente.

À minha orientadora, Mayara, pelos ensinamentos, confiança e orientações que tanto me ajudaram na elaboração desse trabalho.

Ao meu coorientador, Alisson, por toda a orientação, disponibilidade e por ter aceitado fazer parte desse trabalho, especialmente pelos ensinamentos sobre o MATLAB.

Ao professor Francisco Rosendo, membro da banca, uma das melhores pessoas que conheci na engenharia civil. Agradeço todos os ensinamentos e pela disponibilidade de tempo para avaliação e contribuição deste trabalho.

Aos professores André Backes e Marcelo Guerra pelo suporte no MATLAB que, sem dúvidas, contribuíram bastante. Ao, também professor, Eric Mateus pela ajuda, algumas orientações em relação a este trabalho e por todo conhecimento passado em aulas.

A todos que não foram aqui citados, mas fizeram parte da minha história na UFERSA.

RESUMO

Tendo em vista o crescente desenvolvimento da engenharia civil e sua influência na sociedade, novas pesquisas são realizadas com o intuito de aumentar a durabilidade das edificações. Assim como seres humanos, construções apresentam manifestações patológicas com o avanço de sua idade, sendo decorrentes de falhas de projeto, de execução ou da interação da estrutura com o ambiente. A utilização de recursos computacionais para solucionar problemas ou otimizar os processos vem sendo também bastante recorrente, principalmente para problemas de engenharia. O MATLAB é um *software* que carrega inúmeras funções capazes de resolver diversos problemas matemáticos, assim como um ambiente para construção de interface gráfica. Nessa perspectiva, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma interface no ambiente MATLAB para o cálculo do grau de deterioração de estruturas utilizando a metodologia GDE/UnB, que por sua vez baseia-se em inspeções visuais de manifestações patológicas existentes na edificação. Como estudo de caso para aplicação da interface desenvolvida, analisou-se o prédio das Engenharias, localizado na UFERSA, na cidade de Mossoró/RN. Como conclusão, constatou-se que a aplicação da ferramenta computacional desenvolvida foi possível e satisfatória para aplicação da metodologia, proporcionando resultados coerentes. Os danos mais expressivos foram os relativos ao deslocamento de concreto, infiltrações de água, causando umidades e eflorescências. Desse modo, a estrutura encontra-se no nível de deterioração médio, dadas reformas corretivas e intervenções realizadas ao longo da história da estrutura, porém não suficientes para mantê-la em um nível baixo de deterioração.

Palavras-chave: Manifestações patológicas. Inspeções visuais. Estruturas.

ABSTRACT

Bearing in mind the growing development of civil engineering and its influence in society, new research carried out into the increasing the durability of buildings. Like human beings, constructions present pathological manifestations with the advancement of their age, resulting from failures of design, execution or interaction between the and the environment. The use of computational resources to solve problems or optimize processes has also been very recurrent, especially for engineering problems. MATLAB is software that carries numerous functions that are capable of solving several mathematical problems, as well as it can be used for the construction of graphic interface. In this perspective, the present work aims to develop a graphic interface using MATLAB for calculating the degree of structure deterioration using the GDE/UnB methodology, which is based on visual inspections of existing pathological manifestations in a building. As a case study for the application of the developed interface, this paper analyzed the building called *prédio das Engenharias*, located in UFERSA, in the city of Mossoró/RN. As conclusion, it was verified that the application of the developed computational tool was possible and satisfactory for application of the methodology, providing coherent results. The most significant damages were those related to the displacement of concrete, infiltrations of water, causing humidity and efflorescence. Thus, the structure is at an average degree of deterioration, given corrective reforms and interventions throughout the history of the structure, but not enough to keep it at a low degree.

Keywords: Pathological manifestations. Visual inspection. Structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de concreto da metodologia GDE/UnB Castro (1994)	17
Figura 2 – Sequência de atividades seguida na realização deste trabalho.....	27
Figura 3 – Tela inicial do MATLAB.....	28
Figura 4 – Janela de seleção da função <i>guide</i>	29
Figura 5 – Janela de criação da figura da interface	29
Figura 6 – Fluxograma de funcionamento da interface gráfica.....	30
Figura 7 – Prédio das Engenharias, na UFERSA – Campus Mossoró.....	31
Figura 8 – Planta baixa do prédio das Engenharias.....	32
Figura 9 – Mapeamento em planta baixa dos pilares principais do prédio das Engenharias ...	34
Figura 10 – Pilar, identificado como P1, apresentando deslocamento de concreto.....	35
Figura 11 – Pilar P2 com armadura exposta sofrendo corrosão, como também ocorrência de deslocamento de concreto	35
Figura 12 – Pilar P5 deslocando rente ao revestimento cerâmico	36
Figura 13 – Pilar P7 e o desenvolvimento de manchas de umidade.....	36
Figura 14 – Mapeamento em planta baixa das vigas principais do prédio das Engenharias....	37
Figura 15 – Viga Vp2 com ocorrência de infiltração e corrosão das armaduras.....	38
Figura 16 – Exposição de armadura de aço na viga Vp2	38
Figura 17 – Corrosão da armadura e efeitos da umidade no revestimento da Vp3.....	39
Figura 18 – Fissura na Vp4 devido a falha na execução do encunhamento da alvenaria	39
Figura 19 – Mapeamento em planta baixa das vigas secundárias	40
Figura 20 – Banheiro do piso superior, onde a Vs1 sofre danos quanto a infiltração	40
Figura 21 – Vs1 sujeita a umidades e manchas devido a infiltração	41
Figura 22 – O outro lado da Vs1 acometido de danos patológicos de infiltração.....	41
Figura 23 – Trincas diagonais na alvenaria de vedação indicando presença de recalque	42
Figura 24 – Trincas diagonais na alvenaria de vedação, acompanhando as juntas de assentamento do revestimento cerâmico, indicando presença de recalque	43
Figura 25 – Tela de início da interface gráfica GD+	44
Figura 26 – Painel da ficha para preenchimento das informações referentes a inspeção.....	44
Figura 27 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração dos pilares principais, apresentando os valores de F_i e Gde de P1 a P3 do prédio das Engenharias	45

Figura 28 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração dos pilares principais, apresentando os valores de F_i e G_{de} de P4 a P6 do prédio das Engenharias	46
Figura 29 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração dos pilares principais, apresentando os valores de F_i e G_{de} de P7 a P9 do prédio das Engenharias	46
Figura 30 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração das vigas principais, apresentando os valores de F_i e G_{de} de Vp1 a Vp3 do prédio das Engenharias	48
Figura 31 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração das vigas principais, apresentando os valores de F_i e G_{de} de Vp3 a Vp5 do prédio das Engenharias	48
Figura 32 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração das vigas secundárias, apresentando os valores de F_i e G_{de} de Vs1 e Gdf do prédio das Engenharias ..	50
Figura 33 – Painel da interface gráfica final para cálculo do grau de deterioração estrutura, apresentando também os valores de Gdf do prédio das Engenharias.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental.....	19
Tabela 2 – Famílias de elementos, danos e fatores de ponderação.	21
Tabela 3 – Valores de F_p sugeridos em função da tipologia das fissuras	23
Tabela 4 – Exemplos de Fatores de intensidade (F_i) recomendados	24
Tabela 5 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento.....	25
Tabela 6 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
D	Grau do dano
F_i	Fator de intensidade do dano
F_p	Fator de ponderação do dano
F_r	Fator de relevância estrutura
G_d	Grau de deterioração global da estrutura
G_{de}	Grau de deterioração do elemento
GDE/UnB	Metodologia para avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas de concreto
G_{df}	Grau de deterioração de uma família de elementos
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo geral	13
1.2.2	Objetivos específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES.....	15
2.1.1	Corrosão das armaduras.....	15
2.1.2	Desagregação.....	16
2.1.3	Eflorescência	16
2.1.4	Fissuração	16
2.1.5	Manchas.....	17
2.2	METODOLOGIA GDE/UnB PARA A QUANTIFICAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	17
2.2.1	Roteiro de inspeção	18
2.2.1.1	Agressividade do ambiente	18
2.2.1.2	Identificação e divisão em famílias e elementos estruturais	19
2.2.1.3	Tipos de danos em estruturas	19
2.2.2	Cálculo do Grau de Deterioração dos elementos e da Estrutura	20
2.2.2.1	Fator de ponderação do dano (Fp).....	20
2.2.2.2	Fator de ponderação intensidade do dano (Fi).....	23
2.2.2.3	Grau do dano (D) e graus de deterioração do elemento (Gde), de uma família de elementos (Gdf) e da estrutura (Gd).....	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1	CONSIDERAÇÕES DA METODOLOGIA	27
3.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE O MATLAB.....	28
3.3	DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE GRÁFICA NO MATLAB.....	30
3.4	SELEÇÃO DO LOCAL DE INSPEÇÃO	31
3.5	PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33

4.1	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS NA EDIFICAÇÃO	33
4.1.1	Pilares	33
4.1.1.1	Pilares principais	34
4.1.2	Vigas	37
4.1.2.1	Vigas principais	37
4.1.2.2	Vigas secundárias	40
4.1.3	Ocorrência de recalque diferencial	42
4.2	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UNB EM INTERFACE GRÁFICA NO AMBIENTE MATLAB	43
4.2.1	Identificação da estrutura	43
4.2.2	Grau de deterioração dos elementos e famílias	45
4.2.2.1	Pilares principais	45
4.2.2.2	Vigas principais	47
4.2.2.3	Vigas secundárias	49
4.2.3	Grau de deterioração da estrutura e seu nível de deterioração	50
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento acelerado da construção civil para atender a crescente demanda por edificações, com suas diversas destinações de uso, devido também a própria modernização da sociedade, fomentou um grande salto científico e tecnológico. O uso do concreto armado, por sua vez, tem sido largamente difundido, tornando-se indispensável como matéria-prima na produção de elemento estruturais.

Estruturas de concreto armado, quando bem projetadas, executadas, utilizadas e passam por manutenções periódicas, devem suportar carregamentos de diversas naturezas, bem como a sua exposição a condições do meio ambiente ao qual estão inseridas. No entanto, mesmo com o avanço tecnológico das técnicas construtivas e o controle de qualidade dos materiais de construção, ainda são recorrentes um grande número de edificações apresentando desempenho insatisfatório, devido a falhas, falta de manutenção, envelhecimento inerente, erros de projetos, entre outros diversos fatores (FONSECA, 2007).

A periodicidade de manutenções é, de fato, essencial para melhorar o desempenho das estruturas e aumentar seu tempo de vida útil. Essa prática possibilita a identificação de problemas estruturais em estágio inicial e a execução da intervenção adequada, evitando o desenvolvimento dos danos acometidos.

Nesse contexto, a durabilidade das estruturas de concreto tem motivado muitas pesquisas, visto que reparos envolvem altos custos em várias situações, somando os gastos com os serviços de recuperação ao possível inconveniente da necessidade de interdição (MEDEIROS, 2015).

Ao decorrer do envelhecimento das estruturas, naturalmente surgem danos, fazendo-se necessário estudos das causas, quantificação do nível de deterioração, bem como avaliação das ações reparadoras que devem ser tomadas. Dessa necessidade de estabelecer um meio de avaliação dos danos e minimizar a subjetividade dos laudos e dados obtidos em inspeções, originou-se a metodologia GDE/UnB desenvolvida por Castro (1994). Essa metodologia, por sua vez, primeiramente foi dedicada a avaliação de obras de artes especiais (OAEs), contudo vem sendo aplicada e aprimorada desde a sua publicação, inclusive para outros tipos de estruturas. Dentre essas reformulações, autores se dedicaram a estabelecer modificações, sendo Fonseca (2007) o mais recente a propor alterações quanto a aplicação do método GDE/UnB para estruturas de concreto convencionais.

1.1 JUSTIFICATIVA

O estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado é um ramo complexo da engenharia civil, pois uma edificação está muitas vezes sujeita a diversos fatores causadores de danos. Desde ataques de agentes químicos, até a própria sobrecarga imprevista em uma estrutura. Quanto às causas, estas podem surgir de diferentes etapas da construção da estrutura, como também do uso e ocupação, acrescida ainda da execução ou não de manutenções.

O engenheiro civil é um profissional responsável por vistorias e inspeções técnicas em edificações que estejam necessitando de avaliações, sendo assim uma tarefa que representa um grande desafio. Desse modo, ferramentas que otimizem e minimizem a subjetividade nessas atividades são, sem dúvidas, de grande valia.

A escolha desse tema se justifica pelo interesse em contribuir com o desenvolvimento de um meio de otimização da determinação do grau de deterioração de estruturas de concreto armado, aplicando um método genuinamente brasileiro. Sendo assim, a relevância da realização deste trabalho deve-se à necessidade de estudar o levantamento de manifestações patológicas, utilizando artifícios que vem a somar a esses estudos, dando praticidade e resultados mais satisfatórios.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é de construir uma interface gráfica desenvolvida no MATLAB para, com algoritmo, otimizar do cálculo do grau de deterioração para estruturas de concreto convencionais através da metodologia GDE/UnB em edificações.

1.2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver uma interface gráfica no ambiente MATLAB capaz de realizar o cálculo e apresentar os resultados do grau de deterioração das estruturas de concreto utilizando a Metodologia GDE/UnB, com base na versão modificada por Fonseca (2007);

- Identificar e avaliar as manifestações patológicas do prédio de Engenharias através de inspeções de carácter visual;
- Aplicar a metodologia GDE/UnB, para quantificar o grau de deterioração da estrutura em estudo, utilizando a interface desenvolvida neste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES

Segundo Helene (1992), “patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis”. É também conveniente a análise das consequências que esses problemas causam no comportamento geral da estrutura.

Considerado como relativamente durável, o concreto armado, projetado e produzido adequadamente para o ambiente ao qual será exposto, é capaz de apresentar-se livre de manutenção por décadas. Entretanto, quando exposto a certos agentes e ambientes agressivos, mostra vulnerabilidade, sendo necessárias precauções para evitar processos de degradação (LORENSINI, 2006).

Inspeções rotineiras tem, portanto, o objetivo de identificar os sintomas existentes na estrutura e relacioná-los com suas prováveis causas, mecanismos e origens, através de observações visuais. Esses sintomas patológicos são também chamados de lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas (VERLY, 2015).

2.1.1 Corrosão das armaduras

Para Gentil (2011, p. 1), corrosão é “a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos”. Como consequência, esse fenômeno causa alterações prejudiciais e indesejáveis ao material, como desgaste, variações químicas ou modificações, fazendo-o inadequado para seu uso.

Sabe-se que o concreto armado é constituído do uso combinado de concreto simples (uma massa feita de agregado, cimento e água) com armaduras de aço. Em condições normais, o concreto deve fornecer à armadura proteção contra corrosão, visto que, devido ao pH do extrato aquoso presente nos poros do concreto, ocorre a passivação do metal, isto é, a formação de uma película protetora e insolúvel no material metálico (armadura). Logo, o concreto possui tanto a proteção da armadura quimicamente (camada de passivação), quanto fisicamente (o cobrimento da camada de concreto). Caso essa condição de equilíbrio seja alterada, inicia-se o processo de corrosão das armaduras (LIMA, 1996).

2.1.2 Desagregação

A desagregação é a separação de partes de concreto, como consequência da expansão devido à oxidação ou dilatação das armaduras, e também pelo aumento do volume do concreto quando há absorção de água. Esse processo é decorrente de um ataque químico, que chega a provocar a perda de coesão dos materiais componentes do concreto e diminuição de sua resistência. Pode ocorrer também devido às movimentações estruturais e choques (VITÓRIO, 2003).

2.1.3 Eflorescência

A eflorescência é o depósito de sais acumulado sobre a superfície de alvenarias e componentes de concreto. Tem composição e aspectos que variam de acordo com o sal depositado. De modo geral, esse fenômeno consiste na manifestação da dissolução dos produtos de hidratação do cimento presentes no interior do concreto (hidróxidos de sódio e potássio) em águas puras e brandas, que são transportados para o exterior, ou seja, ocorrência de lixiviação. Logo, a interação dos produtos da lixiviação com o gás carbônico presente no ar forma um produto insolúvel e esbranquiçado, podendo até mesmo formar estalactites, em um grau mais acentuado (VERLY, 2015).

2.1.4 Fissuração

A fissuras são bem recorrentes como manifestação patológica em estruturas de concreto. O concreto é por natureza um material com baixa resistência a tração, quando comparado a sua resistência a compressão, de forma que é natural o aparecimento de fissuras. Contudo, as fissuras devem ser devidamente analisadas quanto a sua origem, intensidade e magnitude. Suas possíveis origens passam por: fase de projeto, execução, processo de cura do concreto, interações do elemento com o ambiente, envelhecimento, entre outros. Através de fissuras é possível identificar outros problemas associados à edificação. Por exemplo, fissuras diagonais são fortes indícios de recalque diferencial – resultado da interação da estrutura com o solo, sofrendo rebaixamento diferenciado em diferentes pontos da edificação (SOUZA e RIPPER, 1998).

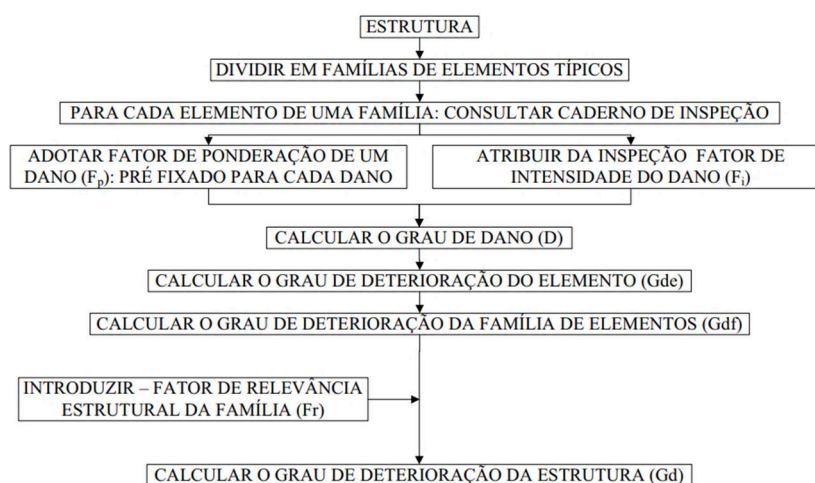
2.1.5 Manchas

São consideradas manchas as associadas à contaminação da superfície de concreto por mofo ou fungos, que promovem o aparecimento de coloração escura, principalmente em fachadas expostas. De acordo com Fonseca (2007), demais manchas como as causadas por corrosão de armaduras ou eflorescências não entram nessa designação.

2.2 METODOLOGIA GDE/UnB PARA A QUANTIFICAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

A metodologia GDE/UnB foi criada devido ao crescente número de edificações com estruturas de concreto armado que apresentam deterioração como resultado de manifestações de danos de diversas origens. Foi desenvolvida na dissertação de mestrado de Castro (1994) com o objetivo de quantificar o Grau de Deterioração de Estruturas de concreto, com base na análise de dados coletados durante as inspeções realizadas em campo. Castro tomou como ponto de partida a metodologia desenvolvida por Klein *et al.* (1991), para quantificar obras de arte, que quando aplicada a estruturas convencionais não apresentava resultados satisfatórios. Sendo assim, a autora fez modificações que considerou necessárias para permitir quantificar o grau de deterioração de uma estrutura usual e de seus componentes. A Figura 1 ilustra o fluxograma da metodologia de cálculo do GDE/UnB apresentado por Castro (1994), também abordado por Boldo (2002) e Fonseca (2007).

Figura 1 – Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de concreto da metodologia GDE/UnB Castro (1994)



Fonte: Fonseca (2007).

Desde sua publicação, em 1994, essa metodologia foi aplicada a vários estudos. Naturalmente, seus autores realizaram modificações nos métodos, mas ainda mantendo as raízes da metodologia. Essas remodelagens foram implantadas em diversos estudos de avaliação estrutural nas pesquisas de Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007). Já Euqueres (2011) adaptou a metodologia para avaliação de pontes de concreto armado, servindo também para dissertações mais recentes, como de Verly (2015) e Medeiros (2015) na avaliação de obras de artes especiais - OAEs.

Para este trabalho, a quantificação e avaliação da estrutura em estudo será baseada na atualização da metodologia GDE/UnB feita por Fonseca (2007). Os tópicos a seguir trazem o procedimento de aplicação e cálculo, bem como conceitos relevantes.

2.2.1 Roteiro de inspeção

A avaliação da estrutura por esse método é feita através de inspeções. Para sua correta aplicação, utiliza-se um roteiro proposto por Boldo (2002), com alterações posteriormente propostas por Fonseca (2007), sendo esse último o roteiro mais atual quanto a aplicação da metodologia GDE/UnB em estruturas convencionais. O roteiro tem como objetivo auxiliar a pessoa responsável pela avaliação (profissional da engenharia ou arquitetura) a identificar os danos e suas causas, o grau de deterioração do elemento estrutural e toda a estrutura e, sobretudo, para ajudar nas decisões a serem tomadas para manutenção e recuperação das estruturas.

2.2.1.1 Agressividade do ambiente

Determinar o ambiente no qual a estrutura está inserida é essencial e deve ser um dos primeiros passos da avaliação. As classificações estão dispostas na NBR 6118 (ABNT, 2014) entre os requisitos de durabilidade das estruturas. A agressividade ambiental está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre a estrutura de concreto. A Tabela 1 apresenta essa classificação segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental

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

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

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

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

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (2014).

2.2.1.2 Identificação e divisão em famílias e elementos estruturais

A estruturas de concreto da edificação são divididas em famílias de elementos: pilares, vigas, lajes, cortinas (muro arrimo), escadas/rampas, reservatório (superior e inferior), bloco de fundação, junta de dilatação e elementos de composição arquitetônica. Cada família é composta por elementos que correspondam a sua categoria. Para melhor aplicação da metodologia, são necessárias representações gráficas das estruturas (como plantas e croquis), facilitando a localização dos elementos vistoriados (FONSECA, 2007).

2.2.1.3 Tipos de danos em estruturas

Com os elementos já identificados, eles são avaliados conforme as manifestações patológicas ou danos observados. É importante buscar bibliografia complementar para

entender melhor os problemas. É também imprescindível o uso de fotografias dos elementos para melhor avaliação e para arquivo. Os danos mais frequentes nas estruturas foram descritos por Fonseca (2007) e serão detalhados mais à frente, no tópico 2.2.2.1.

2.2.2 Cálculo do Grau de Deterioração dos elementos e da Estrutura

Com os dados coletados durante as inspeções, o cálculo do grau de deterioração da estrutura é iniciado, primeiramente, pelo cálculo de deterioração de cada elemento componente. Para isso, são utilizados os fatores de ponderação e intensidade dos danos nos elementos. O procedimento de cálculo é mesmo proposto por Castro (1994), mas o descrito a seguir é baseado nas modificações implementadas por Fonseca (2007).

2.2.2.1 Fator de ponderação do dano (F_p)

Esse fator quantifica a relevância do dano considerando o provável grau de comprometimento estrutural ou desempenho causado pela manifestação patológica. São valores fixados para cada problema, considerado entre os mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural, sendo assim pré-determinados. O F_p pode variar de 1 a 5, segundo Fonseca (2007). Cada família possui uma tabela com possíveis manifestações de danos. A Tabela mostra a divisão de famílias de elementos com seus respectivos danos e fatores de ponderação.

Tabela 2 – Famílias de elementos, danos e fatores de ponderação.

(a)

Pilares	
Danos	Fp
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Desvio de geometria	4
Eflorescência	2
Falha de concretagem	3
Fissuras	2 a 5
Manchas	3
Recalque	5
Sinais de esmagamento	5
Umidade na base	3

(b)

Vigas	
Danos	Fp
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Eflorescência	2
Falha de concretagem	3
Fissuras	2 a 5
Manchas	3
Flechas	5
Sinais de esmagamento	4
Umidade	3

(c)

Lajes	
Danos	Fp
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	3
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Eflorescência	2
Falha de concretagem	2
Fissuras	2 a 5
Manchas	3
Flechas	5
Umidade	3

(d)

Escadas/Rampas	
Danos	Fp
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Eflorescência	2
Falha de concretagem	2
Fissuras	2 a 5
Manchas	3
Flechas	5
Sinais de esmagamento	4
Umidade	3

(Continua)

Fonte: Adaptado de Fonseca (2007).

Tabela 2 – Famílias de elementos, danos e fatores de ponderação (Continuação).

(e)

Muros de arrimo	
Danos	Fp
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Deslocamento por empuxo	5
Desplacamento	3
Desvio de geometria	3
Eflorescência	2
Falha de concretagem	2
Fissuras	2 a 5
Manchas	3
Sinais de esmagamento	5
Umidade	3

(f)

Reservatórios - superior e inferior	
Danos	Fp
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	5
Eflorescência	2
Falha de concretagem	3
Fissuras	2 a 5
Impermeabilização deficiente	4
Vazamento	5

(g)

Blocos de fundação	
Danos	Fp
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Eflorescência	2
Falha de concretagem	3
Fissuras	2 a 5
Recalque	5
Sinais de esmagamento	5
Umidade na base	3

(h)

Elementos de composição arquitetônica	
Danos	Fp
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Eflorescência	2
Falha de concretagem	2
Fissuras	2 a 5
Manchas	3
Sinais de esmagamento	5
Umidade	3

(i)

Juntas de dilatação	
Danos	Fp
Obstrução de junta	5
Umidade	5

Fonte: Adaptado de Fonseca (2007).

O único dano que não possui um valor fixo é o relativo a fissuras. Nesse caso, o F_p é definido no momento da inspeção. Fonseca (2007) estabeleceu critérios para classificação de fissuras e dispôs em seu Roteiro de Inspeções em uma extensa tabela. A título de exemplo, os casos referentes a fissuras formadas no estado plástico estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de F_p sugeridos em função da tipologia das fissuras

Fissuras	Descrição	Croquis	F_p
ESTADO PLÁSTICO	De retração plástica do concreto - comuns em lajes e paredes. - aproximadamente paralelas, superficiais e afastadas entre si de 0,3 a 1 m.		2
	De assentamento do concreto - sobre as armaduras. - em pilares, ficam abaixo dos estribos. - interação com armaduras vizinhas.		3
	De movimentação de fôrmas - indicam posicionamento e/ou fixação incorretos ou resistência insuficiente de fôrmas/escoramentos		3

Fonte: Adaptado de Fonseca (2007).

2.2.2.2 Fator de ponderação intensidade do dano (F_i)

O F_i classifica o nível da gravidade e evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4, definida por Castro (1994), de forma que quando mais próximo de 4 maior a gravidade do dano:

- Sem lesões $F_i = 0$;
- Lesões leves $F_i = 1$;
- Lesões toleráveis $F_i = 2$;
- Lesões graves $F_i = 3$;
- Estado crítico $F_i = 4$.

Diferentemente do F_p , o fator de intensidade do dano é determinado pelo responsável pela inspeção, não sendo valores fixos. Logo, nota-se que há uma subjetividade nessa classificação. Sendo assim, existem recomendações de valores para F_i em função das características observadas no dano. A Tabela 04 traz um trecho da tabela de recomendações feita por Fonseca (2007).

Tabela 4 – Exemplos de Fatores de intensidade (F_i) recomendados

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

Fonte: Adaptado de Fonseca (2007).

2.2.2.3 Grau do dano (D) e graus de deterioração do elemento (Gde), de uma família de elementos (Gdf) e da estrutura (Gd)

A seguir, todos os parâmetros constam a parte de cálculo da metodologia GDE/UnB. São apresentadas as fórmulas e tabelas necessárias para o cálculo do grau de dano (D), grau de deterioração do elemento (G_{de}), grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) e grau de deterioração da estrutura (G_d).

a) Grau do dano (D)

O grau de dano é calculado em função de F_i e F_p , conforme as equações 1 e 2. Tal formulação é uma analogia ao modelo de Tuutti (1982) e foi proposta por Fonseca (2007).

$$D = 0,8F_pF_i \quad , \text{ para } F_i \leq 2 \quad (1)$$

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

b) Grau de deterioração do elemento (G_{de})

O G_{de} indica o nível de degradação de cada elemento isolado e seu valor é obtido através da Equação 3.

$$G_{de} = D_{máx} \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^m D(i)) - D_{máx}}{\sum_{i=1}^m D(i)} \right] \quad (3)$$

Onde:

G_{de} = Grau de deterioração de um elemento;

D(i) = grau de dano de ordem i;

$D_{m\acute{a}x}$ = maior grau de dano de um elemento;

m = número de danos encontrado em um elemento.

De acordo com o resultado para o G_{de} , é possível obter informação de quais são as possíveis ações que devem ser tomadas em cada elemento, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação dos níveis de deterioração do 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 médio prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 – 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano).
Crítico	> 80	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: Fonseca (2007).

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

Esse parâmetro representa a deterioração de um conjunto de elementos com características semelhantes (família) e é calculado pela Equação 4, reformulada por Fonseca (2007).

$$G_{df} = G_{dem\acute{a}x} \left[\sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de}(i)) - G_{dem\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m G_{de}(i)}} \right] \quad (4)$$

Onde:

G_{df} = Grau de deterioração de uma família;

$G_{de}(i)$ = grau de deterioração de um elemento de ordem i;

$G_{dem\acute{a}x}$ = maior grau de G_{de} de uma família;

m = número de elementos da família.

Importante ressaltar que para a Equação 4 só são considerados elementos que apresentarem um nível de deterioração médio ou superior, isto é, elementos com valor de $G_{de} \geq 15$ (FONSECA, 2007).

d) Fator de relevância estrutural (F_r)

Cada família de elementos possui um fator de relevância estrutural (F_r), dependendo da sua importância para a estabilidade global da estrutura (SILVA, 2008). Com isso, de acordo com o descrito por Castro (1994), têm-se que:

- Elementos de composição arquitetônica: $F_r = 1,0$;
- Reservatório superior e inferior: $F_r = 2,0$;
- Escadas/rampas, cortinas ou muro de arrimo, braços (hastes de sustentação de cúpulas) e fustes (pilas parede), junta de dilatação: $F_r = 3,0$;
- Lajes, bloco de fundações, vigas e pilares secundários: $F_r = 4,0$;
- Vigas e pilares principais: $F_r = 5,0$.

e) Grau de deterioração da estrutura (G_d)

O grau de deterioração global é calculado através da média ponderada dos graus de deterioração das diversas famílias de elementos, tendo como peso o fator de relevância (F_r), de acordo com a Equação 5.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^m F_r(i) G_{df}(i)}{\sum_{i=1}^m F_r(i)} \quad (5)$$

Então, através do valor de G_d determinado e com a Tabela 6, pode-se avaliar o nível de deterioração da estrutura e, a partir disso, traçar os tipos de ações que devem ser adotadas, bem como os tipos de vistorias e prazos de intervenção.

Tabela 6 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura

Nível de deterioração	G_d	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. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 – 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

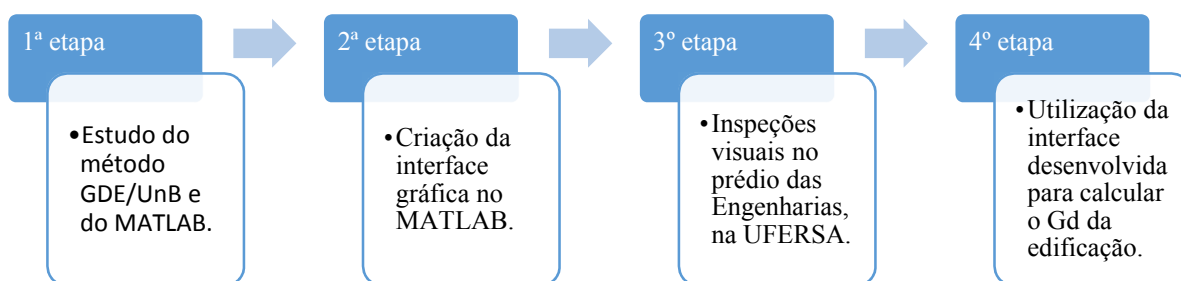
Fonte: Fonseca (2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CONSIDERAÇÕES DA METODOLOGIA

Realizou-se uma pesquisa de desenvolvimento, pois consiste na utilização de conhecimento pré-existente para a criação de uma nova ferramenta para aplicá-lo, bem como uma pesquisa descritiva de um estudo de caso, em que se aplica o recurso desenvolvido com o objetivo de buscar o entendimento ou compreensão do objeto de análise. Para isso, a realização deste trabalho foi dividida em quatro etapas conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Sequência de atividades seguida na realização deste trabalho.



Fonte: Autoria própria (2019).

A primeira etapa consiste no estudo da metodologia GDE/UnB, desde sua origem até suas reformulações mais recentes. A partir disso, pôde-se definir qual proposta da metodologia estava relacionada ao estudo em questão, sendo, portanto, a atualização publicada por Fonseca (2007). Paralelo à revisão bibliográfica sobre o método, estudou-se o MATLAB, mais especificamente para o desenvolvimento de uma interface, na versão R2014b, através de pesquisa em livros, artigos e apostilas.

A segunda etapa corresponde ao desenvolvimento de um algoritmo e a construção da sua interface gráfica para calcular o grau de deterioração de estruturas de concreto armado em ambiente MATLAB.

Após finalização da interface gráfica, passa-se para a terceira etapa. Essa parte engloba as inspeções no prédio das Engenharias, localizado na UFERSA – Campus Mossoró, para coleta dos dados necessários para aplicar a metodologia GDE/UnB.

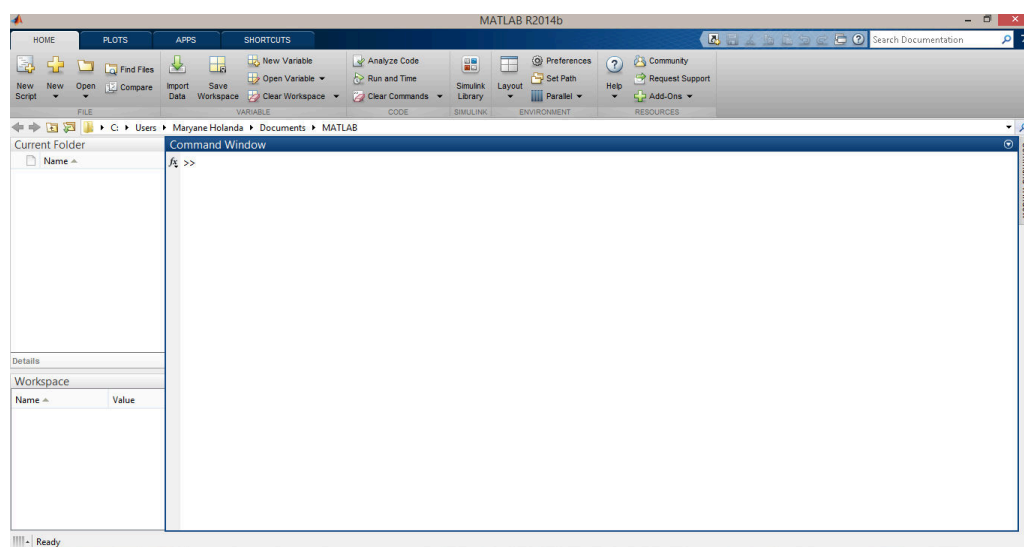
Finalmente, na quarta etapa, utilizando a interface e os dados coletados, calcula-se o grau de deterioração do prédio. Por fim, é possível fazer uma análise dos resultados entregues pelo programa e avaliar o nível de deterioração do caso em estudo. Nos resultados, os painéis

desenvolvidos na interface gráfica no MATLAB imprimem os valores finais referentes às inspeções visuais, juntamente com uma análise das imagens obtidas e dos danos identificados.

3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MATLAB

Para desenvolvimento da interface gráfica proposta nos objetivos deste trabalho, optou-se por utilizar o MATLAB. Este consiste em um ambiente de programação de alto desempenho voltado para a resolução de problemas, que podem ser expressos em notação matemática. Possui ferramentas avançadas de análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e visualização de dados. O MATLAB pode ser utilizado para as mais diversas finalidades, como computacional, visualização ou ainda programação. A tela inicial se apresenta conforme a Figura 3.

Figura 3 – Tela inicial do MATLAB



Fonte: Autoria própria (2019).

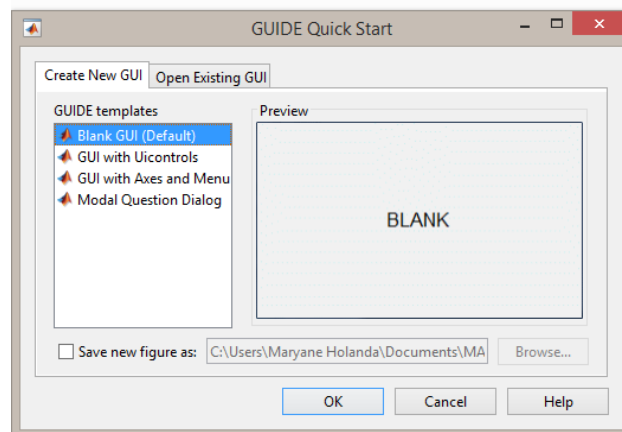
É possível utilizar o MATLAB para:

- Cálculos matemáticos;
- Desenvolvimento de algoritmos;
- Modelagem, simulação e visualização de sistemas;
- Análise, exploração e confecção de dados;
- Gráficos científicos e de engenharia;
- Desenvolvimento de aplicações, incluindo a elaboração de interfaces gráficas.

A utilidade do MATLAB de desenvolver aplicações refere-se à possibilidade do usuário criar sua própria *Graphical User Interface*, ou GUI, que consiste em uma interface contendo menus, botões, textos, gráficos, entre outros recursos. Essas ferramentas podem ser manipuladas de forma simples e, basicamente, através da execução de dois passos: criar um layout, ou figura, e escrever os comandos necessários para a aplicação nas *callback functions* (HUNT; LIPSMAN; ROSENBERG, 2014).

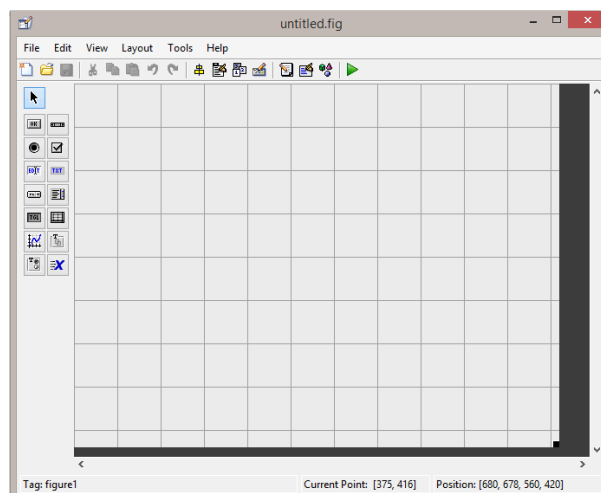
Ao digitar “guide” na *command window*, a janela da Figura 4 é aberta. Ao selecionar “Blank GUI (Default)”, abre então janela da Figura 5, através da qual é possível construir a figura da interface desejada, usando os recursos como texto (*static text* e *edit text*), menu (*pop-up menu*), botões (*push button*), espaço para figuras e gráficos (*axes*), tabelas (*table*), entre outros.

Figura 4 – Janela de seleção da função *guide*



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 5 – Janela de criação da figura da interface



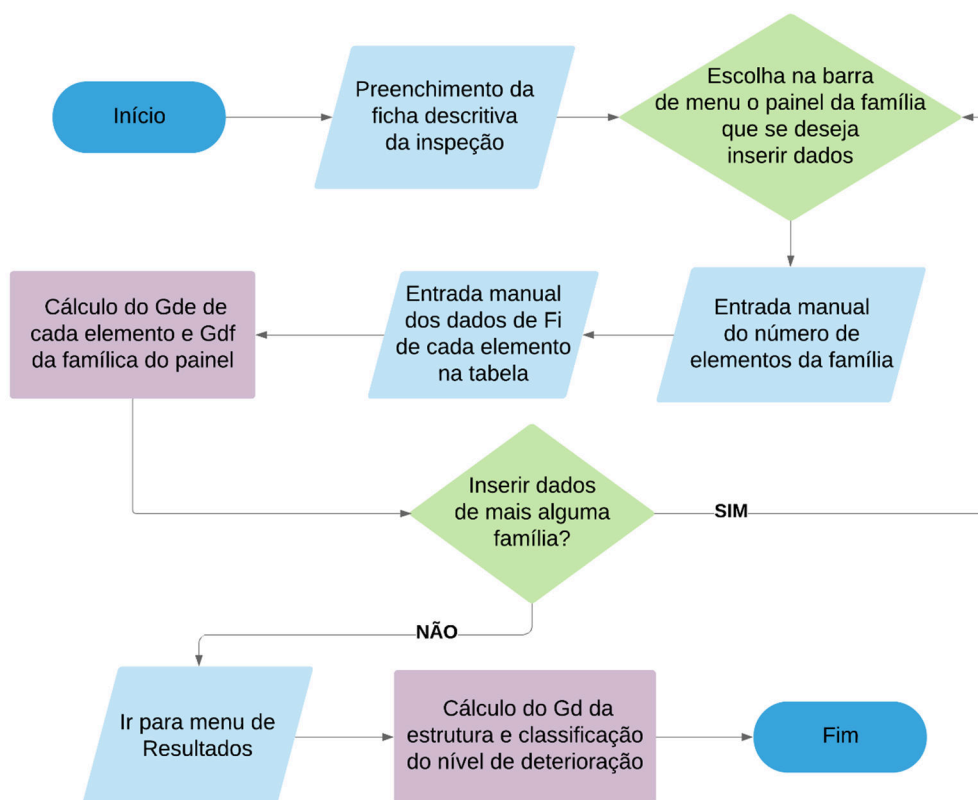
Fonte: Autoria própria (2019).

O MATLAB foi escolhido para esse trabalho devido sua abrangente utilização em pesquisas no meio acadêmico, pela possibilidade de construção de algoritmos intuitivos e de suas funções complementares.

3.3 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE GRÁFICA NO MATLAB

Utilizando o comando *guide*, inicialmente criou-se a figura da interface, posicionando todos os elementos desejados. Cada família de elementos recebeu um painel próprio, dentro do qual ficam os campos destinados a receber seus dados. Os fatores de intensidade para cada dano são inseridos em tabelas e, após calculados, os valores de grau de deterioração de cada elemento são comparados lado a lado em um gráfico de barras. Para o cálculo dos resultados finais, há um painel que entrega em uma tabela todos os valores dos graus de deterioração das famílias, como também um gráfico desses itens. Nesse último painel também consta o grau de deterioração final da estrutura e seu nível de deterioração, conforme classificação determinada pela metodologia. Quanto à execução do algoritmo desenvolvido, a Figura 6 mostra um fluxograma do seu funcionamento.

Figura 6 – Fluxograma de funcionamento da interface gráfica



Fonte: Autoria própria (2019).

Quanto às limitações da interface, é importante destacar que o usuário deve atentar-se aos valores inseridos nos painéis e seguir as orientações da metodologia, pois não há janelas de aviso quanto a erros cometidos na entrada dos dados.

3.4 SELEÇÃO DO LOCAL DE INSPEÇÃO

O local escolhido para o estudo de caso foi o prédio das Engenharias, dentro da própria UFERSA, no campus oeste da unidade de Mossoró/RN. É uma das edificações mais antigas da universidade, construída no ano de 1977, com dois pavimentos e uma área de aproximadamente 916 m². Nele há salas de aulas, que no momento estão destinadas apenas como espaço para prática de atividades físicas, e laboratórios ainda em funcionamento. A edificação é ilustrada na Figura 7.

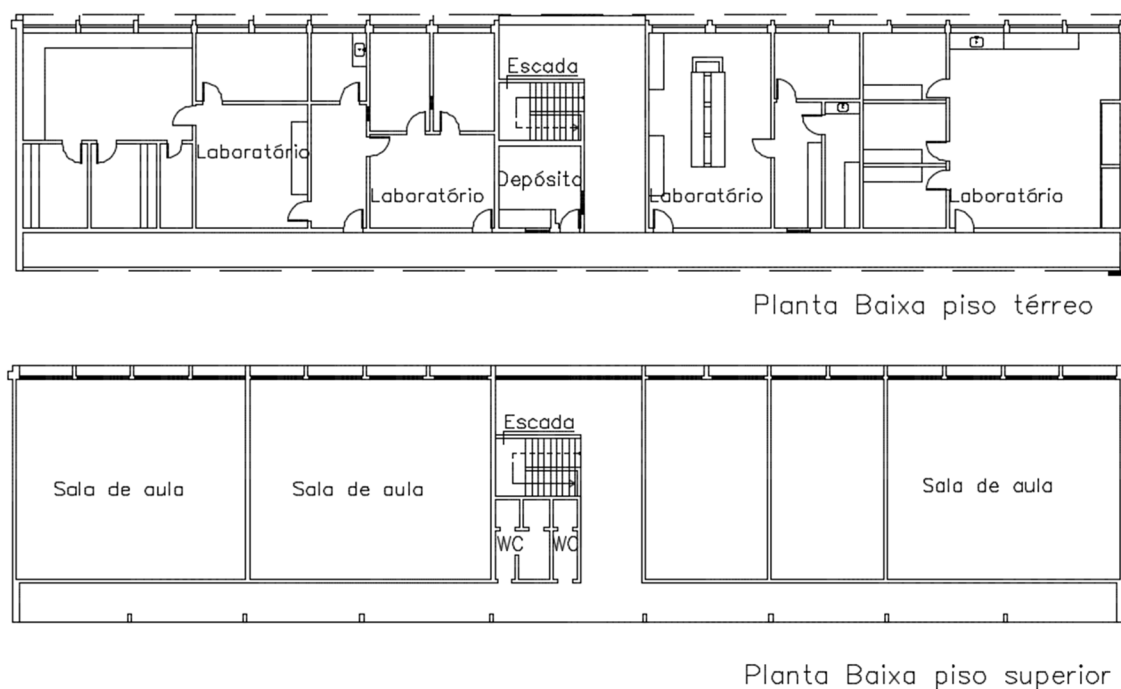
Figura 7 – Prédio das Engenharias, na UFERSA – Campus Mossoró



Fonte: Autoria própria (2019).

Quanto ao seu sistema estrutural, o prédio possui como elementos estruturais vigas, pilares, lajes e uma escada de dois vãos. Sua construção foi destinada, inicialmente, para comportar as aulas para os cursos de ciências agrárias da instituição no período de sua fundação. A planta da edificação está disposta na Figura 8. Este local foi escolhido devido apresentar ocorrência de manifestações patológicas que podem prejudicar as condições de serviço e estruturais caso não sejam reparadas ao longo de sua vida útil.

Figura 8 – Planta baixa do prédio das Engenharias



Fonte: Superintendência de Infraestruturas da UFERSA (2016).

3.5 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

As inspeções foram realizadas no dia 13 de junho de 2019 por duas pessoas, uma preenchendo as fichas de inspeção, segundo o roteiro de inspeção descrito por Fonseca (2007), com os valores dos fatores de intensidade em cada elemento do prédio, e a outra fotografando a estrutura e os danos identificados.

Foram necessários como instrumentos nas inspeções uma trena a laser, uma trena manual, prancheta, fichas de inspeção, tabelas de orientação para os valores de Fi – conforme metodologia descrita por Fonseca (2007) - e câmera fotográfica digital.

As inspeções foram apenas de caráter visual, não sendo realizados ensaios no local. Desta forma, danos como, por exemplo, a carbonatação e contaminação por íons cloreto não foram analisadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são descritas as manifestações patológicas identificadas no prédio das Engenharias, das quais foram extraídos os dados suficientes para aplicar a metodologia GDE/UnB para avaliação quantitativa da deterioração da estrutura, na versão modificada por Fonseca (2007). Como ferramenta de cálculo para aplicação da metodologia, foi utilizada a interface gráfica desenvolvida.

Por meio dessa análise, nessa seção serão realizadas as identificações dos danos, da deterioração e a análise eventuais fenômenos progressivos instalados nos elementos estruturais do estudo de caso, bem como apresentação dos resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB.

4.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS NA EDIFICAÇÃO

De acordo com o observado na inspeção, as manifestações patológicas foram identificadas em dois tipos de família, são elas a dos pilares e das vigas. Devido ao uso de forro e piso cerâmico instalado, não houve como analisar devidamente as lajes. O mesmo para o reservatório de água superior, feito de concreto armado, porém sem possibilidade de acesso.

Nas próximas seções, serão descritas e discutidas as manifestações patológicas encontradas nos elementos estruturais das famílias e observações adicionais.

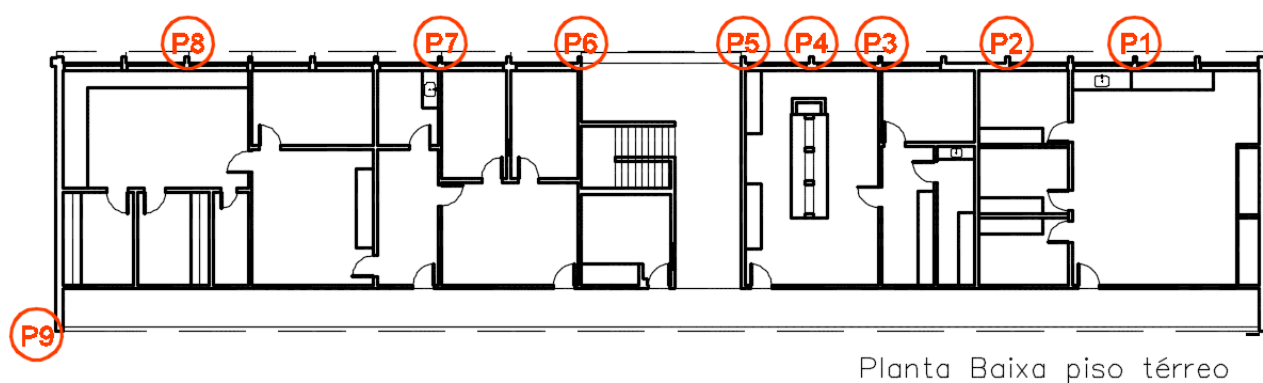
4.1.1 Pilares

A família dos pilares é dividida em dois tipos, dependendo de sua função estrutural: pilares principais e secundários. Essa ramificação é importante, pois cada tipo tem um fator de relevância estrutural diferente no cálculo do grau de deterioração através do GDE/UnB, sendo o fator para pilares principais maior que o estabelecido para os secundários. Para uma análise mais precisa, o ideal seria ter o projeto estrutural em mãos. Porém, para edificação em questão, é possível apenas o acesso ao projeto arquitetônico. Dessa forma, para agir mais a favor da segurança, através de uma análise da disposição dos elementos estruturais, decidiu-se considerar que todos os pilares observados são designados como principais.

4.1.1.1 Pilares principais

Os pilares principais do prédio das Engenharias com danos patológicos está conforme o mapeamento na Figura 9. Foram no total nove elementos inspecionados distribuídos apenas no térreo.

Figura 9 – Mapeamento em planta baixa dos pilares principais do prédio das Engenharias



Fonte: Autoria própria (2019).

As principais manifestações patológicas identificadas nesses pilares foram: deslocamento e desagregação do concreto, com alguns elementos em níveis mais avançados que outros; corrosão das armaduras, estando expostas em alguns pilares; indícios de eflorescências e manchas devido a umidade externa.

A Figura 10 apresenta o estado do pilar identificado no mapeamento (FIGURA 10) como “P1”. Pode-se notar que uma trinca vertical é consequência do deslocamento da camada mais externa de concreto. Isso indica, inclusive, corrosão das armaduras, processo no qual ocorre o aumento dos esforços de tração no concreto, que por sua vez não possui boa resistência nessa situação quando comparada à compressão, pressionando e expandindo o concreto que envolve a peça estrutural. Em alguns pilares a armadura chega a ficar exposta, com visto no elemento P2, na Figura 11. Nos pilares, especificamente na região base, pode-se observar indícios de eflorescência.

Figura 10 – Pilar, identificado como P1, apresentando deslocamento de concreto



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 11 – Pilar P2 com armadura exposta sofrendo corrosão, como também ocorrência de deslocamento de concreto



Fonte: Autoria própria (2019).

Já no pilar P5, apresentado na Figura 12, o concreto que está descolado do tramo do pilar é o que compreende a região de aderência com o revestimento cerâmico.

Figura 12 – Pilar P5 deslocando rente ao revestimento cerâmico



Fonte: Autoria própria (2019).

No P7, na base do pilar há manchas referentes a ocorrência de umidade, de forma que já há formação de lodo (pela presença da cor esverdeada). A umidade é consequência da disfunção na drenagem da água proveniente dos aparelhos de ar condicionados das salas. O destino da água é gotejar no piso, junto ao pilar P7. Essa umidade cria manchas no elemento e prejudica o serviço da peça. Caso a situação não seja reparada, os danos serão agravados, podendo desencadear, por exemplo, corrosão biológica induzida pela umidade. A situação está exposta na Figura 13.

Figura 13 – Pilar P7 e o desenvolvimento de manchas de umidade



Fonte: Autoria própria (2019).

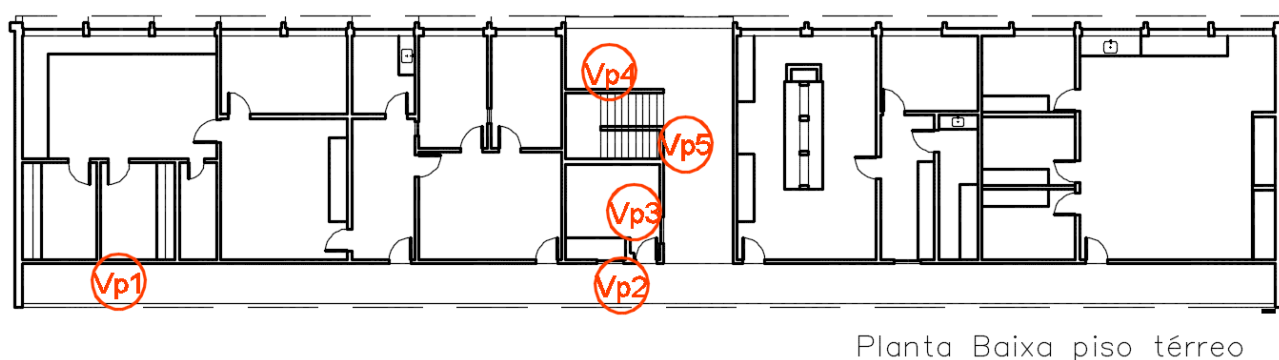
4.1.2 Vigas

Assim como para os pilares, as vigas também são divididas em principais e secundárias. O critério que define essa divisão é relativo ao apoio das vigas sobre pilares. Se a viga for apoiada diretamente sobre pilares, esta é definida como principal. Caso se apoie sobre outras vigas, são denominadas vigas secundárias.

4.1.2.1 Vigas principais

As vigas principais do prédio das Engenharias inspecionadas que apresentam manifestações patológicas estão conforme o mapeamento na Figura 14. Foram identificados cinco elementos dessa categoria distribuídos apenas no térreo.

Figura 14 – Mapeamento em planta baixa das vigas principais do prédio das Engenharias



Fonte: Autoria própria (2019).

Na estrutura constatou-se que um dos principais danos incidentes nas vigas de forma mais agressiva é a infiltração. Essa manifestação patológica é identificada pela presença de manchas de umidade, deterioração expressiva da pintura existente, indicação de corrosão das armaduras (pela presença de manchas de cor alaranjada, consequência da oxidação do aço). Além disso, o aspecto de degradação causa sensação de desconforto e de incertezas quanto a segurança para os usuários da edificação. Esses aspectos podem ser observados na viga Vp2, conforme Figura 15.

Figura 15 – Viga Vp2 com ocorrência de infiltração e corrosão das armaduras



Fonte: Autoria própria (2019).

Na mesma viga, é possível identificar também pontos de exposição da armadura, apresentado na Figura 16, assim como na viga Vp3, na Figura 17. A existência de corrosão em elementos estruturais é um sério problema, que compromete o desempenho da estrutura, especialmente em elementos principais. Um dos tratamentos indicados para esse caso é serrar a fonte de umidade, como também executar intervenção quanto a recuperação das armaduras.

Figura 16 – Exposição de armadura de aço na viga Vp2



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 17 – Corrosão da armadura e efeitos da umidade no revestimento da Vp3



Fonte: Autoria própria (2019).

Em volta da escada, há fissuração justamente na região que compreende o encontro da alvenaria de vedação e estrutura de concreto, sendo no caso da viga. Essa fissura é contínua e horizontal, indicando uma manifestação patológica originada devido ao esforço cortante provocado pela falha na execução do encunhamento (ligação entre a alvenaria de vedação e a peça estrutural). Essa situação pode ser observada na Figura 18 que apresenta a viga Vp4.

Figura 18 – Fissura na Vp4 devido a falha na execução do encunhamento da alvenaria

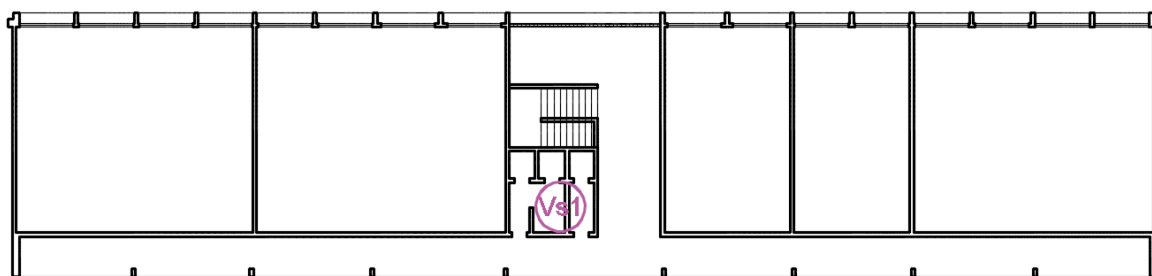


Fonte: Autoria própria (2019).

4.1.2.2 Vigas secundárias

As vigas secundárias inspecionadas que apresentam manifestações patológicas estão de acordo com o mapeamento na Figura 19. Apenas um elemento dessa categoria foi identificado, estando localizado na divisão entre banheiros do piso superior.

Figura 19 – Mapeamento em planta baixa das vigas secundárias



Planta Baixa piso superior

Fonte: Autoria própria (2019).

O reservatório de água superior está exatamente acima desses banheiros e a viga localiza-se bem no meio dessa região. Essa viga, a Vs1, está sujeita a deterioração como consequência de infiltração do reservatório e das instalações de água fria. Pode-se afirmar esse diagnóstico devido a presença de umidade, deterioração do revestimento das paredes e desenvolvimento gradual das cores das manchas de umidade, que traz indícios de ausência de inspeções periódicas. Nas Figuras 20 e 21 é possível observar a situação descrita, sendo registros do banheiro mais próximo do corredor de acesso a escada.

Figura 20 – Banheiro do piso superior, onde a Vs1 sofre danos quanto a infiltração



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 21 – Vs1 sujeita a umidades e manchas devido a infiltração



Fonte: Autoria própria (2019).

De forma previsível, o outro lado da viga também apresenta danos similares, como ilustra a Figura 22. Nas Figuras 20, 21 e 22 é possível observar sinais de intervenções para corrigir os problemas nesse setor, uma vez que há indicações de recortes no revestimento da alvenaria. Pela região de revestimento refeito da Figura 23, identifica-se indícios que nesse ponto provavelmente estava ocorrendo vazamento pela tubulação, possível de deduzir sua existência devido a presença de um registro.

Figura 22 – O outro lado da Vs1 acometido de danos patológicos de infiltração



Fonte: Autoria própria (2019).

Os reparos contribuem para aumento da durabilidade da estrutura e retardam os efeitos que intensifiquem os danos já existentes. Contudo, mesmo com intervenções, as sequelas na viga estão generalizadas e a armadura não apresenta sinais de reparo, que por sua vez é o dano mais crítico para a estrutura e funcionalidade do elemento.

4.1.3 Ocorrência de recalque diferencial

Através de inspeção visual, é possível supor uma situação de recalque diferencial, devido a identificação de fissuras e trincas diagonais na alvenaria. Essa situação pode ser observada conforme as Figuras 23 e 24. O recalque é consequência da interação do solo com o elemento de fundação, quando há um rebaixamento. Essa diferença de nível interfere na estrutura, de forma que além das fissuras e trincas na alvenaria, o piso também sofre diferença de nível. Recomenda-se a realização de estudos aprofundados para diagnóstico mais preciso.

Figura 23 – Trincas diagonais na alvenaria de vedação indicando presença de recalque



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 24 – Trincas diagonais na alvenaria de vedação, acompanhando as juntas de assentamento do revestimento cerâmico, indicando presença de recalque



Fonte: Autoria própria (2019).

4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UNB EM INTERFACE GRÁFICA NO AMBIENTE MATLAB

De acordo com as manifestações patológicas apresentadas na seção 4.2, observadas através de inspeções visuais realizadas no prédio de Engenharias e baseando-se em Fonseca (2007), foi possível realizar os cálculos que definem a deterioração da estrutura pela metodologia GDE/UnB por meio do algoritmo desenvolvida no ambiente MATLAB.

A seguir, estão os painéis e valores numéricos encontrados para elementos, famílias e a estrutura, que qualificam e classificam a edificação de acordo com a atual situação dos elementos estruturais presentes.

4.2.1 Identificação da estrutura

Ao abrir a interface gráfica no MATLAB, sua tela inicial é a ilustrada na Figura 25. Nomeada de GD+, a ferramenta de cálculo pode ser acionada ao clicar no botão “Iniciar”.

Seguindo orientações do roteiro de inspeção para estruturas de concreto armado pela metodologia GDE/UnB proposto por Fonseca (2007), o primeiro passo realizado é o da identificação da estrutura. A ficha para a edificação em estudo está conforme a Figura 26.

Figura 25 – Tela de início da interface gráfica GD+



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 26 – Painel da ficha para preenchimento das informações referentes a inspeção

A imagem mostra o painel da ficha para preenchimento das informações referentes a inspeção. O formulário é dividido em duas seções principais: "Ficha descritiva da edificação" e "Responsável pela inspeção".

Ficha descritiva da edificação

- Nome: Prédio das engenharias
- Localização: Campus oeste da UFERSA, Mossoró/RN
- Natureza do uso: Destinado a salas de aula e laboratórios das ciências agrárias
- Área construída aproximada: 916 m²
- Idade: 42 anos
- Número de pavimentos: 2
- Sistema construtivo: Estrutura em concreto armado e alvenaria de vedação convencional
- Classe de agressividade ambiental (NBR 6118:2014): II - Urbana
- Datas das inspeções: 13 de junho de 2019

Responsável pela inspeção

- Nome: Maryane Holanda de Melo
- Profissão: Estudante de Engenharia Civil - UFERSA
- Registro do conselho:

Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.2 Grau de deterioração dos elementos e famílias

Como os elementos possíveis de realizar as inspeções foram os pilares e as vigas, primários e secundários, assim ficaram divididas as famílias da estrutura. Com os dados de fatores de intensidade para cada dano de cada elemento, esses valores foram inseridos na interface GD+ desenvolvida e, ao solicitar o cálculo, foi possível obter os valores dos graus de deterioração de cada elemento e da família.

4.2.2.1 Pilares principais

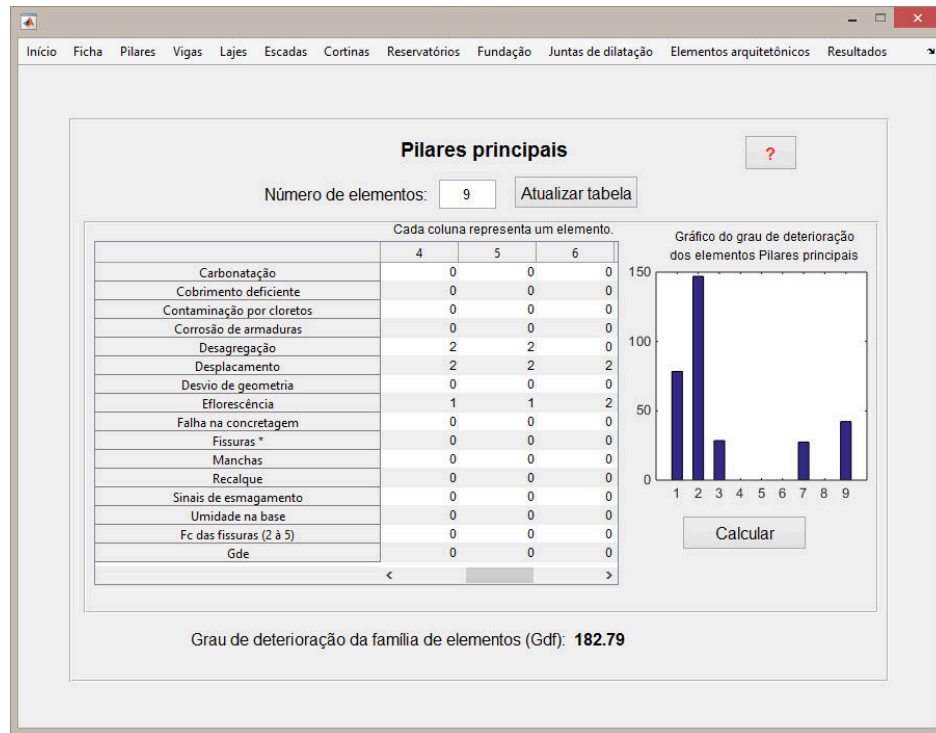
Pelo método GDE/UnB e utilizando a interface gráfica desenvolvida neste trabalho, o grau de deterioração dos elementos e da família dos pilares principais foi determinado conforme apresentado das Figuras 27, 28 e 29, sendo respectivamente as que ilustram a tabela de preenchimento dos valores de F_i para dos danos dos pilares de P1 a P3, P4 a P6 e P7 a P9.

Figura 27 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração dos pilares principais, apresentando os valores de F_i e Gde de P1 a P3 do prédio das Engenharias



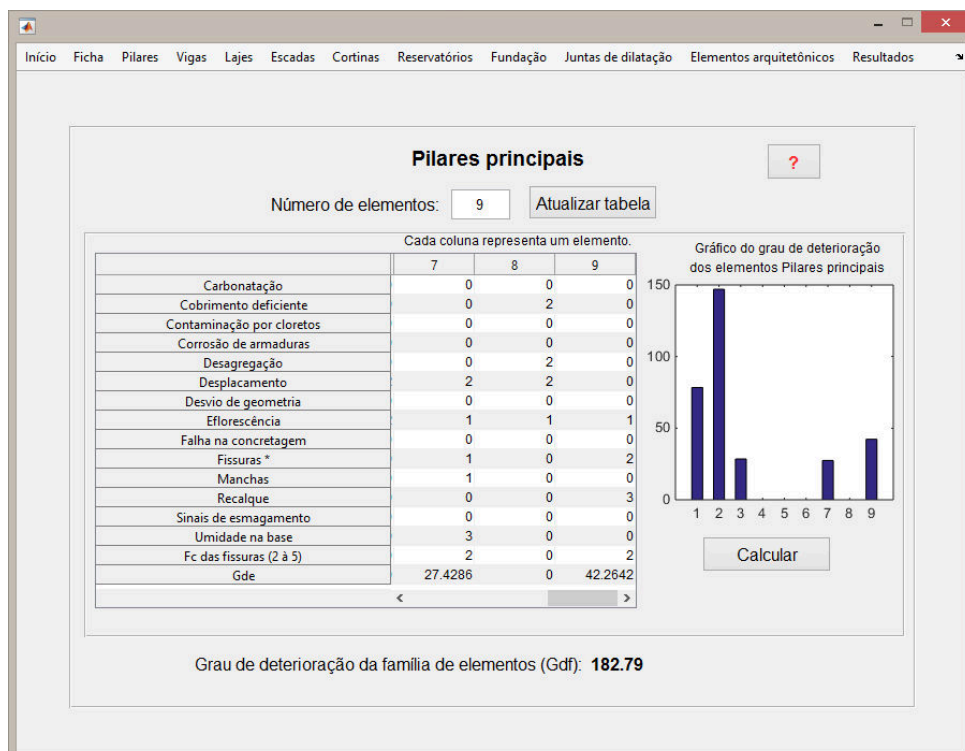
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 28 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração dos pilares principais, apresentando os valores de F_i e G_{de} de P4 a P6 do prédio das Engenharias



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 29 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração dos pilares principais, apresentando os valores de F_i e G_{de} de P7 a P9 do prédio das Engenharias



Fonte: Autoria própria (2019).

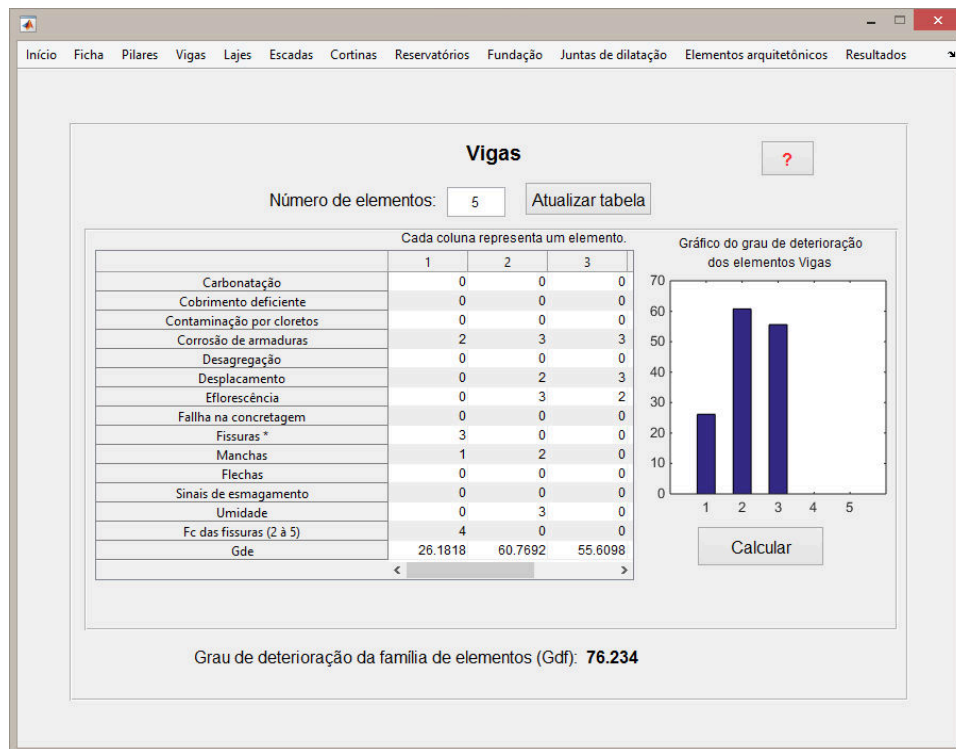
Nas Figuras 27 a 29, há um gráfico comparativo entre os valores dos graus de deterioração dos elementos. Através dele, vê-se facilmente que o grau de deterioração do elemento mais expressivo é o referente ao pilar P2, o qual apresenta o maior nível de deslocamento de concreto e exposição de armadura sofrendo corrosão. Calculado no valor de 147,04, de acordo com Tabela 5 na seção 2.2.2.3, é classificado como crítico, pois é maior que 80, necessitando de inspeção especial de caráter emergencial e planejamento de intervenção imediata. Para o pilar P1, o valor encontrado foi um pouco menor, 78,33, caracterizado como de alto nível de deterioração, por apresentar valor entre 50 e 80, e recomendação de plano de intervenção não imediato como o P2, mas de curto prazo (no período máximo de 1 ano). Já os pilares P4, P5 e P6 são os que apresentaram menor grau, sendo nulos, pois seus valores de F_i para os danos não ultrapassam de 2, o que dá um valor para G_{de} menor ou igual a 15, que deve ser desconsiderado segundo a formulação de Fonseca (2007) para a metodologia.

O grau de deterioração da família é no valor de 182,79.

4.2.2.2 Vigas principais

Os graus de deterioração dos elementos e da família das vigas principais determinados pelo programa GD+, seguindo a metodologia GDE/UnB, foram obtidos conforme apresentado das Figuras 30 e 31, sendo respectivamente as que ilustram as tabelas de preenchimento dos valores de F_i para dos danos das vigas de Vp1 a Vp3 e Vp3 a Vp5. Nas figuras é possível ver também um gráfico comparativo dos valores de G_{de} e, na parte mais abaixo do painel, o G_{df} .

Figura 30 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração das vigas principais, apresentando os valores de F_i e G_{de} de Vp1 a Vp3 do prédio das Engenharias



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 31 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração das vigas principais, apresentando os valores de F_i e G_{de} de Vp3 a Vp5 do prédio das Engenharias



Fonte: Autoria própria (2019).

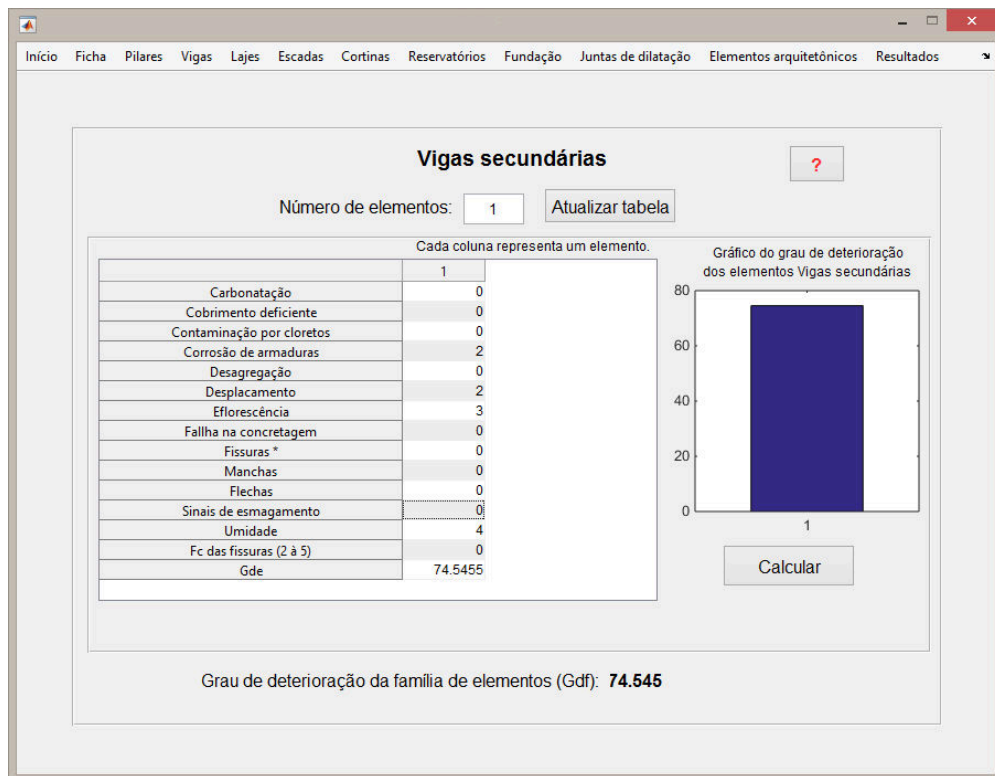
Pelos resultados coletados pelo programa, determinou-se que o maior grau de deterioração do elemento é relativo à viga Vp2 (a que apresenta sinais de corrosão de armaduras e grandes manchas umidade), no valor de 60,77, considerado nível alto, já que se encontra entre 50 e 80, segundo a Tabela 5 na seção 2.2.2.3. Quanto às ações recomendadas pela metodologia, consta que é preciso definir uma nova inspeção, porém especializada detalhada, além de um planejamento de intervenção em curto prazo (no período máximo de 1 ano). A mesma situação para viga Vp3, já que apresentou Gde no valor de 55,61. Já a viga Vp1 foi caracterizada como de nível de deterioração médio, com Gde calculado em 26,18, ou seja, entre 15 e 50, também com indicação de definição de nova inspeção e planejamento de intervenção, porém em médio prazo (no intervalo de no máximo 2 anos).

O grau de deterioração da família das vigas principais foi determinado no valor de 76,23.

4.2.2.3 Vigas secundárias

Os graus de deterioração dos elementos e da família das vigas secundárias determinados pelo programa GD+, de acordo a metodologia GDE/UnB, foram obtidos conforme apresentado na Figura 32. Na imagem do painel, é possível observar a tabela de danos preenchida com seus respectivos valores de Fi , um gráfico com o valor de Gde (já que para essa família foi identificado apenas um elemento) e o valor do Gdf .

Figura 32 – Painel da interface gráfica para cálculo do grau de deterioração das vigas secundárias, apresentando os valores de F_i e G_{de} de V_{s1} e G_{df} do prédio das Engenharias



Fonte: Autoria própria (2019).

Como trata-se de um único elemento compondo a família, o valor do grau de deterioração do elemento é exatamente igual ao da família, no valor de 74,55. Esse grau é classificado como de nível alto, já que existe dentro intervalo de 50 a 80. Logo, é necessário que seja definido uma inspeção especializada e detalhada, bem como deve-se planejar uma intervenção em curto prazo, dentro de no máximo 1 ano da realização deste trabalho.

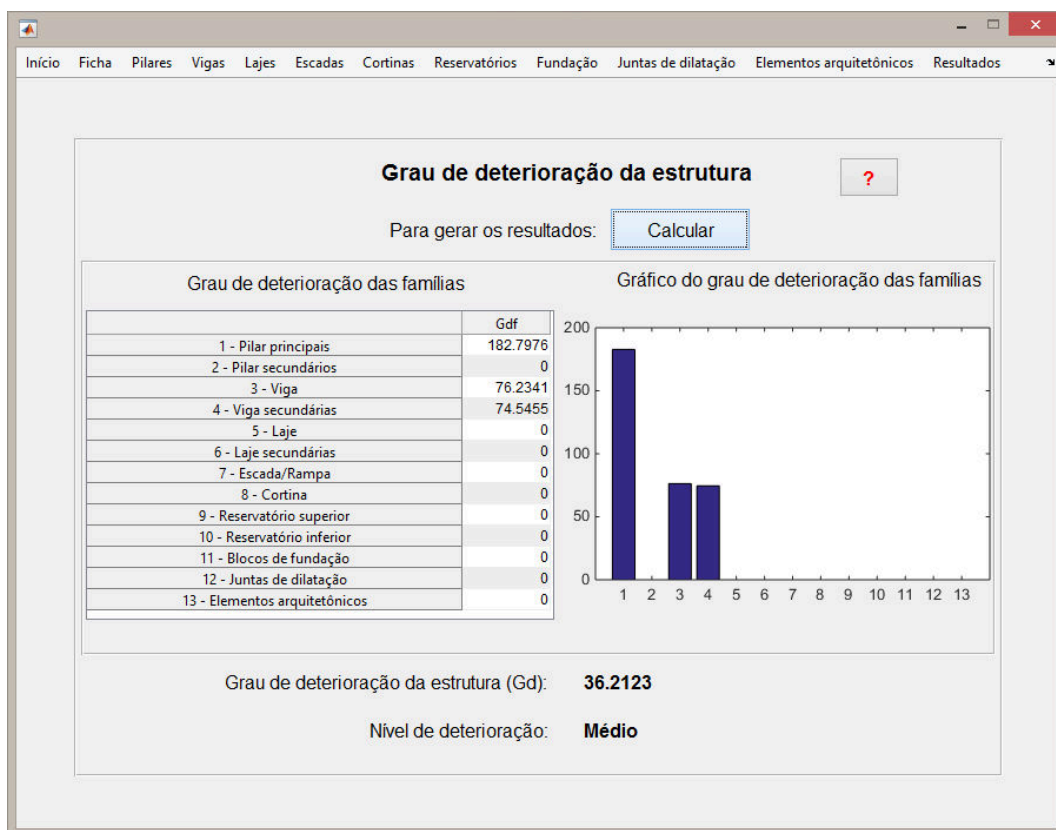
4.2.3 Grau de deterioração da estrutura e seu nível de deterioração

A determinação do grau de deterioração da estrutura é o ponto mais importante da realização da metodologia GDE/UnB, pois é nessa etapa que se determina o nível de urgência e atenção que a estrutura requer para intervenção no tratamento das manifestações patológicas que prejudicam a estrutura.

A Figura 33 apresenta o último painel da interface desenvolvida neste trabalho. Nele constam uma tabela resumo dos graus de deterioração de todas as famílias que a metodologia atende, um gráfico de barras dos valores dos G_{df} e, na parte mais abaixo, o valor calculado do

grau de deterioração da estrutura como um todo (Gd) e sua classificação quanto ao nível de deterioração.

Figura 33 – Painel da interface gráfica final para cálculo do grau de deterioração estrutura, apresentando também os valores de Gdf do prédio das Engenharias



Fonte: Autoria própria (2019).

Como não foi realizada inspeção em todas as famílias compreendidas pela metodologia GDE/UnB, as que não foram analisadas receberam o valor 0 e as inspecionadas, seu valor calculado em seus respectivos painéis. Pelo gráfico de barras que compõe a Figura 32, pode-se inferir que a família 1, compreendida pelos pilares, é a que apresenta maior valor, seguida, em ordem decrescente, pelas famílias das vigas principais e vigas secundárias.

O grau de deterioração da estrutura foi calculado no valor de 36,21. De acordo com a Tabela 6 disponível na seção 2.2.2.3, esse número entre 15 e 50 corresponde a um nível de deterioração caracterizado como médio. Portanto, recomenda-se definir inspeção, com planejamento de intervenção em longo prazo, de no máximo 2 anos a partir da realização deste trabalho.

Apesar das manifestações patológicas identificadas apresentarem certo grau considerável de intensidade e agressividade, esta classificação apresentou-se coerente, visto que o processo de investigação realizado foi de interpretação visual. Não foram realizados ensaios para avaliação mais profunda dos danos que afetam a estrutura. Além disso, durante as inspeções notou-se que partes da edificação já passaram por reformas e intervenções, o que indica que a estrutura já passou por manutenções em diferentes épocas, entretanto não o suficiente para sanar todas as danificações. Porém, se nunca tivessem sido realizadas, o prédio estaria em condições muito mais preocupantes e apresentaria um grau de deterioração mais elevado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou o nível de deterioração estrutural do prédio das Engenharias, localizado na UFERSA, na cidade de Mossoró/RN, através de uma interface gráfica desenvolvida no MATLAB que otimiza o cálculo o grau de deterioração de estruturas convencionais de concreto armado com base na metodologia GDE/UnB, especificamente na formulação proposta por Fonseca (2007).

Diante do estudo realizado, pôde-se obter as seguintes considerações:

- Foi possível obter êxito na aplicação de um problema de engenharia em uma ferramenta computacional desenvolvida dentro do ambiente MATLAB.
- No programa desenvolvido neste trabalho, GD+, verificou-se interface de fácil utilização, com todos os elementos necessários e posicionados de forma que facilite ao máximo a execução dos cálculos quando utilizada a metodologia GDE/UnB. Além disso, não se aplica apenas ao estudo de caso, mas a qualquer estudo que sejam necessárias de análise de diferentes famílias e elementos das que foram observadas nesse trabalho.
- A aplicação da metodologia deu-se por meio de inspeções visuais, impossibilitando, portanto, a verificação dos danos carbonatação do concreto e contaminação por cloretos, sendo estes avaliados por meio de ensaios. Contudo, essa limitação trata-se apenas da aplicação da metodologia no estudo de caso, enquanto o programa desenvolvido pode ser futuramente utilizado para quaisquer casos que se apliquem a mesma metodologia e formulação.
- As inspeções visuais realizadas possibilitaram identificar diversas manifestações patológicas no prédio das Engenharias, no qual as maiores incidências ocorrem em pilares e vigas. Quanto aos seus tipos, os danos mais intensos identificados foram a presença de concreto deslocado em pilares, manchas de umidade e eflorescência (provocando degradação do revestimento dos elementos), como também indícios de infiltração de água provenientes do reservatório superior e falha na drenagem da água oriunda dos aparelhos de ar condicionados gotejando onde há presença de elemento estrutural, no caso pilar.
- Na aplicação da metodologia GDE/UnB, obteve-se que a família dos pilares apresentou o maior grau de degradação ($G_{df} = 182,8$) e que a estrutura apresentou nível de deterioração classificado como médio ($G_d = 36,21$) com ações a serem

adotadas com a definição de prazo/natureza para nova inspeção e planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos) a partir da realização deste trabalho.

- Constatou-se indícios de reformas já realizadas durante a história da edificação, que revela ações quanto a manutenção do prédio, contudo não o suficiente para manter o nível de deterioração da edificação como baixo.

Como sugestão para a continuação deste trabalho, propõem-se:

- A realização de critérios além de inspeções visuais para a aplicação da metodologia GDE/UnB, executando ensaios não-destrutivos.
- Conversão do código utilizado neste trabalho para uma linguagem de programação que seja mais acessível quanto ao uso, como construir um aplicativo para dispositivos móveis utilizando JAVA, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. 2002, 295 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas), Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**. 1994. 120 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas), Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1994.
- EUQUERES, P. **Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado**. 2011, 168 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção**. 2007. 231 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed, Rio de Janeiro: LTC, 2011. 360 p.
- HELENE, P. R. L. **Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992. 218 p.
- HUNT, Brian R.; LIPSMAN, Ronald L.; ROSENBERG, Jonathan M.. **A Guide to MATLAB: For Beginners and Experienced Users**. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2014. 346 p.
- KLEIN, D.; GASTAL, F.; CAMPANOLO, J.L.; SILVA FILHO, L.C. **Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte**. In: XXV Jornadas Sul-Americana de Engenharia Estrutural CPGEC - UFRGS. Anais... . Porto Alegre. 1991. vol 5, p. 185 - 196.
- LIMA, M. G. **Inibidores de corrosão – Avaliação da eficiência frente à corrosão de armaduras provocada por cloretos**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica –Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996, 174p.
- LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”**. 1998, 150 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 1998.
- LORENSINI, R. V. **Avaliação probabilística da deterioração de estruturas em concreto armado**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

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

RIPPER, T.; SOUZA, V. C. M., **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** 1ª ed. São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

SILVA, L. S. P. **Estruturas do monumento a Caixas e do Teatro Pedro Calmon em Brasília: histórico de projeto, execução e intervenções e estratégias para manutenção.** 2008, 133 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete.** 1. ed. Sweden: CBI, 1982. p. 468.

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

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