



Centro Universitário de Brasília - UNICEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS
Curso: Engenharia Civil

SAMUEL MOURA COUTO DE SOUZA

**Análise do Grau de Deterioração das Passarelas do Pistão Sul,
utilizando ensaios não destrutivos**

Brasília
2018

SAMUEL MOURA COUTO DE SOUZA

**Análise do Grau de Deterioração das Passarelas do Pistão Sul,
utilizando ensaios não destrutivos.**

Trabalho de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Eng.º Civil Nielsen José Dias Alves, MSc.

Brasília
2018

SAMUEL MOURA COUTO DE SOUZA

**Análise do Grau de Deterioração das Passarelas do Pistão Sul,
utilizando ensaios não destrutivos.**

Trabalho de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Eng.º Civil Nielsen José Dias Alves, MSc.

Brasília, 04 de junho de 2018.

Banca Examinadora

Eng.º Civil: Nielsen José Dias Alves, MSc.
Orientador

Eng.ª Civil: Érika Regina Castro, MSc.
Examinador Interno

Eng.º Civil: Leandro Ornelas
Examinador Externo

DEDICATÓRIA

Primeiramente agradeço a Deus, pois me auxiliou e amparou nesta trajetória, dando-me sabedoria e discernimento para persistir mesmo perante aos obstáculos.

Dedico aos meus pais, Gilson de Souza Pinto e Ivaneide Moura Couto de Souza, por sempre estarem ao meu lado e acreditarem em mim, dando-me todo apoio, cuidado e incentivo a cada momento.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor Nielsen e a professora Érika, pela paciência, disposição, atenção e dedicação que tornaram possível a conclusão desta monografia.

E por fim, agradeço toda a equipe de professores e funcionários do UniCEUB por todo aprendizado durante a caminhada acadêmica.

“A vitória está reservada para aqueles que estão dispostos a pagar o preço.”

(Sun Tzu)

RESUMO

As passarelas para pedestres que são estruturas bastante utilizadas para auxiliar no deslocamento de pessoas em vias de grande circulação de veículos, encontram-se com o alto número de manifestações patológicas. Apesar dessas estruturas de concreto serem altamente duráveis, a inércia da administração pública em relação a um plano de manutenção preventiva reduz sua durabilidade e vida útil trazendo insegurança aos usuários. Com base nesse aspecto, este estudo propõem a verificação do grau de deterioração de três passarelas da DF – 001 no Pistão Sul em Taguatinga, por meio de metodologia para manutenção predial que estabelece critérios que quantifica o grau de deterioração dos elementos de forma isolada e da estrutura de modo geral, embasada em fatores que ponderam a intensidade e a relevância das manifestações. Além disso, para enfatizar o estudo, serão utilizadas técnicas não destrutivas, como ensaio de carbonatação, ensaio de pacometria e uso de câmera termográfica para verificação de manifestações patológicas ocultas. A partir da análise é possível estabelecer medidas a serem adotadas para cada passarela, permitindo que o seu desempenho e durabilidade sejam considerados satisfatórios.

Palavras-chave: Manifestações Patológicas. Durabilidade. Vida útil. Grau de deterioração. Técnicas não destrutivas.

ABSTRACT

The walkways for pedestrians who are quite used to assist structures in the displacement of people in the process of wide circulation of vehicles, with the high number of pathological manifestations. Despite these concrete structures are highly durable, the inertia of the public administration towards a preventive maintenance plan reduces your durability and useful life bringing insecurity to users. Based on that, this study proposes to verify the degree of deterioration of three walkways of DF-001 the piston in Taguatinga, South through methodology for building maintenance establishing criteria that quantifies the degree of deterioration of the elements in isolation and structure in General, based on factors that are the intensity and the importance of the demonstrations. In addition, to emphasize the study, non-destructive techniques, will be used like carbonation test, pacometria test and use of Thermographic camera for verification of pathological manifestations. From the analysis it is possible to establish measures to be adopted for each runway, allowing your performance and durability are considered satisfactory.

Keywords: Pathological Manifestations. Durability. Useful life. Degree of deterioration. Non-destructive techniques.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vida útil das estruturas de concreto	17
Figura 2 – Diferentes desempenhos de uma estrutura com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos.....	18
Figura 3 - Pacômetro Proceq	25
Figura 4 - Câmera termográfica FLIR T440.....	26
Figura 5 - Especificações técnicas FLIR T440	26
Figura 6 - Locação da passarela 1	27
Figura 7 - Vista frontal passarela 1	27
Figura 8 - Locação da passarela 2	28
Figura 9 - Vista frontal passarela 2.....	28
Figura 10 - Locação passarela 3.....	29
Figura 11 - Vista frontal passarela 3.....	29
Figura 12 - Fluxograma de metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (G_d).	31
Figura 13 - Representação das fases de iniciação e propagação do dano	38
Figura 14 – Viga e pilar da passarela 1	43
Figura 15 - Aferição de armadura e cobrimento com pacômetro.....	44
Figura 16 - Projeto armação e formas.....	45
Figura 17 - Aferição da seção da armadura com paquímetro.....	46
Figura 18 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm.....	46
Figura 19 - Classes de agressividade ambiental	47
Figura 20 - Aplicação de fenolftaleína, área carbonatada	47
Figura 21 - Pilar passarela 2	50
Figura 22 - Eflorescência na base inferior do tabuleiro da passarela	51
Figura 23 - Fissura paralela a armadura	51
Figura 24 - Aspersão de fenolftaleína.....	52
Figura 25 - Rampa passarela 3.....	55
Figura 26 - Imagem termográfica, região afetada por manifestação patológica	55
Figura 27 - Fissuramentos com ressaltos proveniente da expansão da armadura.....	56
Figura 28 - Pilar em estado de deslocamento do cobrimento.....	57

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - <i>Check list</i> de apoio à inspeção visual.....	32
Quadro 2 - Famílias de elementos estruturais, danos e fatores de ponderação (F_p). ...	34
Quadro 3 - Famílias de elementos estruturais, danos e fatores de ponderação (F_p).....	35
Quadro 4 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i).....	36
Quadro 5 - Classificação dos níveis de deterioração dos elementos.	40
Quadro 6 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura	41
Quadro 7 - <i>Check list</i> de apoio à inspeção visual Passarela 1	48
Quadro 8 – Cálculo G_{de} Passarela 1.....	48
Quadro 9 - Cálculo G_d Passarela 1	49
Quadro 10 - <i>Check list</i> de apoio à inspeção visual Passarela 2	52
Quadro 11 - Cálculo G_{de} Passarela 2	53
Quadro 12 - Cálculo G_d passarela 2	54
Quadro 13 - <i>Check list</i> de apoio à inspeção visual Passarela 3	57
Quadro 14 - Cálculo G_{de} Passarela 3	58
Quadro 15 - Cálculo G_d Passarela 3	59
Quadro 16 – Deterioração das Passarelas.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS

D – Grau do dano

DER – Departamento de Estradas de Rodagem

D_i – Grau de dano de ordem (i)

END – Ensáio Não Destrutivo

F_i – Fator de Intensidade do dano

F_p – Fator de Ponderação do dano

F_r – Fator de relevância estrutural da família

G_d – Grau de deterioração da estrutura

G_{de} – Grau de deterioração do elemento

G_{df} – Grau de deterioração da família

OAE - Obras de Artes Especiais

UnB – Universidade de Brasília

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Durabilidade nas estruturas de concreto armado	16
3.2	Vida útil.....	16
3.3	Desempenho	18
3.4	Manutenção.....	18
3.5	Manifestações Patológicas	19
3.5.1	Manifestações patológicas geradas na etapa de concepção da estrutura (projeto).....	20
3.5.2	Manifestações Patológicas geradas na etapa de execução da estrutura (construção)	20
3.5.3	Manifestações patológicas geradas na etapa de utilização da estrutura (manutenção):.....	20
3.6	Principais manifestações patológicas verificadas nas estruturas das passarelas.....	21
3.6.1	Eflorescência.....	21
3.6.2	Carbonatação.....	21
3.6.3	Fissuras.....	22
4	Materiais e Métodos	23
4.1	Ensaio não destrutivos.....	23
4.1.1	Ensaio de carbonatação	23
4.1.2	Ensaio de Pacometria	24
4.1.3	Ensaio de Termografia	25
4.2	Localização das passarelas.....	26

5	METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO.....	30
5.1	Descrição da metodologia	30
5.1.1	Princípios gerais	30
5.1.2	Classificação das famílias	32
5.1.3	Fator de ponderação do dano (F_p).....	33
5.1.4	Fator de Intensidade do Dano (F_I).....	35
5.1.5	Grau do dano (D)	37
5.1.6	Grau de deterioração de um elemento.....	39
5.1.7	Grau de deterioração de uma família (G_{df}).....	40
5.1.8	Fator de relevância estrutural da família de elementos (F_r).....	40
5.1.9	Grau de deterioração da estrutura (G_d).....	41
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	42
6.1	Passarela 1.....	42
6.2	Passarela 2.....	49
6.3	Passarela 3.....	54
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
7.1	Conclusões.....	60
7.2	Sugestões para pesquisas futuras.....	61

1 INTRODUÇÃO

Um dos aspectos essenciais para a melhoria do desempenho e vida útil das estruturas em concreto armado é evitar ou retardar o aparecimento de manifestações patológicas e para isso se faz necessário aperfeiçoar os métodos de manutenção e reforço nas estruturas. Tendo em vista que a deterioração no concreto armado é de natureza variada, esses métodos possibilitam verificar os tipos de patologias que acometem certos elementos de uma estrutura. Diante disto, buscou-se verificar os danos causados nas estruturas das passarelas para pedestres da DF – 001 Pistão Sul em Taguatinga com o uso de ensaios.

As passarelas para pedestres, que estão na categoria de obras de arte especiais na engenharia, civil é utilizada pelo homem para transpor rios e vales. Atualmente, essas passarelas são utilizadas sobre vias com grande circulação de veículos e tem a função de auxiliar no deslocamento de pessoas proporcionando segurança na travessia, permitindo a fluidez do tráfego em pontos de alta movimentação em grandes cidades. Grande parte dessas estruturas encontra-se atualmente sujeitas a desgastes, já que, com o crescimento acelerado das cidades, não ocorreram às devidas manutenções e com o tempo começaram a se desgastar surgindo manifestações patológicas. Tais manifestações, causadas pela ausência de um plano de manutenção geram diversos problemas para a estrutura e para os usuários.

As manifestações patológicas “verificadas em pontes e viadutos têm natureza variada e quando não tratadas adequadamente, comprometem a funcionalidade da estrutura. Uma possível explicação para o desenvolvimento de patologias em uma estrutura é ocorrência de falhas e incorreções em uma das etapas de construção” (LOURENÇO, 2007).

Na execução de uma obra, o principal objetivo é a permanência das características originais previstas no projeto, assim como sua duração, proporcionando segurança e vida útil à estrutura. Entretanto, há vários fatores que podem promover anomalias em uma construção como, por exemplo, a escolha dos materiais, a execução dos serviços ou até mesmo o processo de utilização durante um determinado período.

Percebe-se cada vez a conscientização sobre a necessidade de uma manutenção preventiva nas passarelas para pedestres para que estas tenham sua vida útil majorada ao longo de sua utilização.

Dentro desse contexto é necessário a utilização de técnicas que detectem as manifestações patológicas de modo eficiente e eficaz e com isso, minimizar ou evitar o surgimento de problemas diversos.

Uma das técnicas utilizadas para análise e verificação de manifestações patológicas são a termografia de infravermelho como técnica de ensaio não destrutivo – END, usado na inspeção de componentes sem danificá-lo, a pacometria e o ensaio de carbonatação que são essenciais para a manutenção preventiva das obras de artes especiais. A inspeção por câmera termográfica tem como princípio básico a obtenção da radiação infravermelha emitida pelos corpos com intensidade proporcional a sua temperatura. Assim, é possível detectar zonas onde a temperatura não está de acordo com um padrão pré- estabelecido ou conhecido e assim correlacionar com prováveis problemas que possam vir a ocorrer nas estruturas. Já a inspeção feita por instrumentos usando o pacômetro, é possível verificar o cobrimento da armadura, bem como o diâmetro de sua seção. No ensaio de carbonatação é usado um reagente químico que quando aspergido no interior de um elemento é possível saber se este está carbonatado.

Diante do exposto, este trabalho analisará de forma não destrutiva as manifestações patológicas nas passarelas da DF-001, Pistão Sul, Taguatinga, utilizando as técnicas citadas. Isto posto, pretende-se identificar, avaliar e diagnosticar o estado de conservação das passarelas, bem como apresentar os possíveis motivos que levaram ao aparecimento das anomalias e analogamente sugerir algumas soluções. Além disso, indicar o grau de dano dos elementos das passarelas, utilizando a metodologia de Castro (1994).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar o grau de deterioração das passarelas do Pistão Sul, utilizando ensaios não destrutivos.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Identificar as áreas das passarelas com manifestações patológicas;
- Analisar os ensaios no diagnóstico das manifestações patológicas;
- Avaliar o estado de conservação das passarelas;
- Determinar o grau de dano dos elementos estruturais pela metodologia G_d – Grau de deterioração da estrutura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os principais aspectos que envolvem o levantamento e análise de manifestações patológicas que surgem em estruturas de concreto armado, em particular as inerentes às passarelas para pedestre em perímetro urbano.

3.1 Durabilidade nas estruturas de concreto armado

Segundo Ripper (1998), “deve-se entender que a concepção de uma construção durável implica na adoção de um conjunto de decisões e procedimentos que garantam à estrutura e aos materiais que a compõem um desempenho satisfatório ao longo da vida útil da construção”.

Já John (apud OLIVEIRA, 1999, p. 49) diz que a durabilidade é a resistência do material à degradação e existe uma correlação entre as propriedades de cada material, a agressividade do meio a qual está exposta a obra e a magnitude dos esforços atuantes que irão definir a taxa de degradação e, por sua vez, a vida útil do material. A durabilidade não pode ser associada a um material isolado, mas se deve associá-la a uma determinada situação: material + meio ambiente.

Silva Filho (1994, p. 9) relacionou diversos conceitos de durabilidade:

- Durabilidade é a capacidade de resistir à mudança de estado, ou seja, de suas propriedades;
- Durabilidade está associada com a capacidade de resistir às condições para as quais foi projetada, sem deterioração por muitos anos;
- Durabilidade é a capacidade de um material manter seu bom comportamento e desempenho em condições de segurança, sob as condições previstas de serviço, durante o tempo previsto de duração.

3.2 Vida útil

A qualidade das estruturas está diretamente ligada aos projetos, aos materiais empregados e à devida manutenção preventivos, que garantem a vida útil, correspondendo à expectativa de uso. Sendo assim, a vida útil e a durabilidade estão

intimamente associadas e demandam certa necessidade de perícia e combate às agressividades que causam deterioração das estruturas.

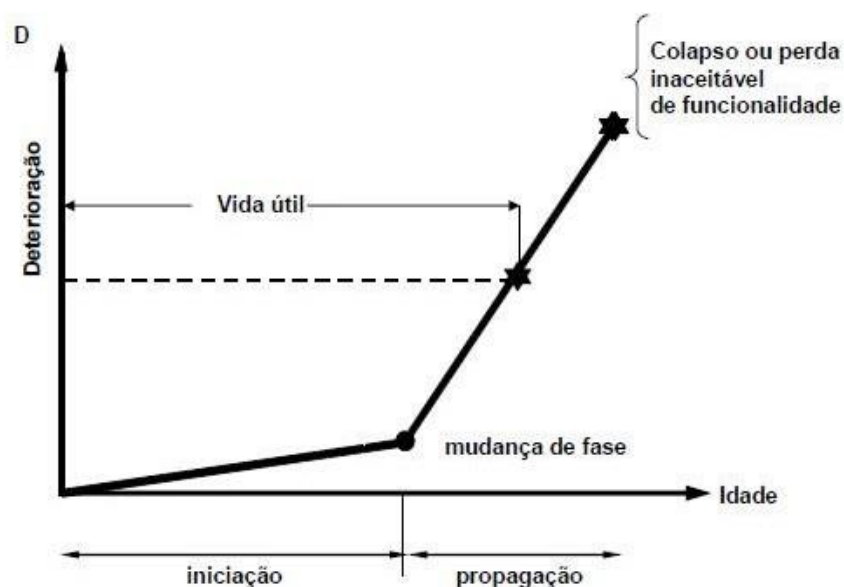
Segundo Somerville (1987):

vida útil é o período mínimo em que se espera que a estrutura desempenhe as funções previstas, segundo suas finalidades específicas e condições ambientais, sem perdas significativas na sua capacidade de utilização e não exigindo custos elevados de manutenção e reparo.

Classifica-se a deterioração das estruturas em dois períodos: o de iniciação e de propagação. Na fase de iniciação, os agentes agressivos penetram lentamente através da microestrutura do concreto e, quando atingem um limite, função das características do agressivo e do concreto, tem-se o início aos danos. Nesta etapa, os danos são imperceptíveis e dificilmente detectados em inspeções visuais. A velocidade de degradação é lenta e não representa comprometimento para a vida útil da estrutura (Rostam, 1991).

Já na segunda fase, propagação, após um limite de deterioração, a velocidade de degradação aumenta em função da ação conjunta dos agentes agressivos.

Figura 1 - Vida útil das estruturas de concreto.



Fonte: Tuutti, 1982, modificado por Castro, (1995).

3.3 Desempenho

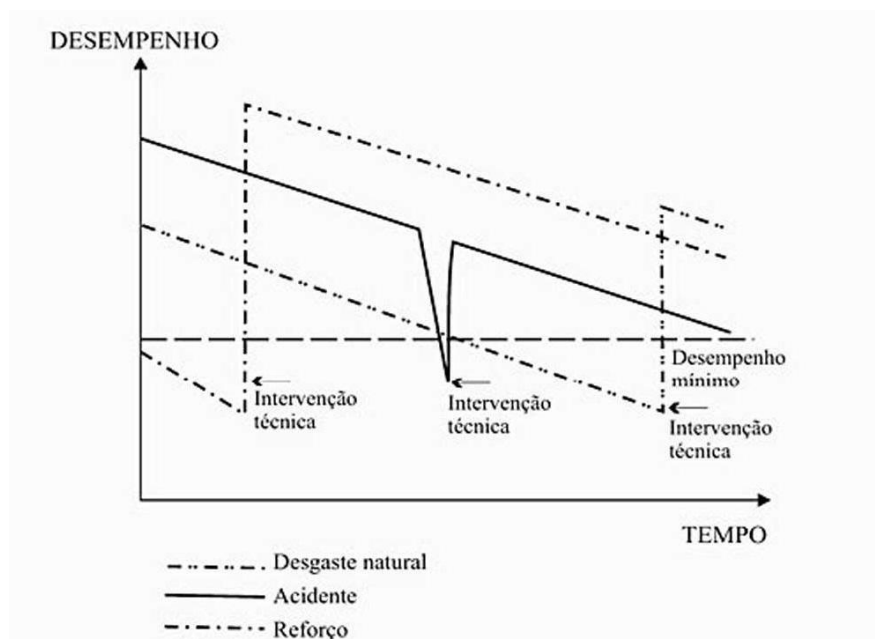
Segundo Souza e Ripper (2001), desempenho é o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e sua medida relativa espelhará sempre o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção.

Ainda de acordo com os autores,

O ponto em que cada estrutura, em função da deterioração, atinge níveis de desempenho insatisfatórios varia de acordo com o tipo de estrutura. Algumas delas por falhas de projeto ou de execução, já iniciam suas vidas de forma insatisfatória, enquanto outras chegam ao final de suas vidas projetadas ainda mostrando um bom desempenho.

Em decorrência de fenômenos patológicos diversos, as estruturas ao longo de sua vida útil podem apresentar diferentes desempenhos, como é mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Diferentes desempenhos de uma estrutura com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos.



Fonte: Souza e Ripper (2001).

3.4 Manutenção

Manutenção pode ser definida como o conjunto de atividades imprescindíveis para garantir integridade e o desempenho satisfatório de uma estrutura ao longo do tempo, fazendo com que sua vida útil seja prolongada.

Segundo Souza e Ripper, (2001, p. 21) “um bom programa de manutenção implica definição de metodologias adequadas de operação, controle e execução da obra, e na análise custo-benefício desta manutenção”.

Castro (1994, p. 27) diz que:

É cada vez mais urgente criar uma consciência de que a manutenção é fundamental para que as estruturas desempenhem as funções para as quais foram projetadas. É essencial fazer prevalecer, na prática, o conceito de que a vida útil das estruturas, mesmo daquelas bem projetadas e construídas, depende muito dos níveis adequados de manutenção.

Souza e Ripper (2001, p.21) complementam que “em termos de manutenção fica clara a corresponsabilização, pois proprietário, investidor e usuário deverão sempre estar dispostos a suportar o custo com o sistema de manutenção concebido pelos projetistas, que deverá ter sido respeitado e viabilizado pelo construtor. A base deste sistema, aliás, será o conjunto de inspeções rotineiras, em que o usuário será Figura preponderante”.

Embora sejam ainda incipientes as disposições referentes ao assunto, a manutenção, recentemente, tem merecido destaque por parte dos órgãos normalizadores. Para atender demandas alguns órgãos buscam desenvolver metodologias específicas para inspeção e manutenção de estruturas.

3.5 Manifestações Patológicas

Segundo Ripper (1998, p. 14):

Designa-se genericamente por DAS ESTRUTURAS esse novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Praticamente, as manifestações patológicas ocorrem devido a problemas, imperfeições e anomalias tanto na fase de projeto, execução e utilização que podem implicar no desempenho insatisfatório de uma construção, desta forma, necessitando de um diagnóstico preciso para o tratamento desses problemas. A fim de sanar essas falhas, é de fundamental importância conhecer as formas de manifestações patológicas que acometem as estruturas.

Podemos classificar os problemas patológicos como simples ou complexos. De acordo com RIPPER (1988, p. 14):

Os problemas patológicos simples são os que admitem padronização, podendo ser resolvidos sem que o profissional responsável tenha obrigatoriamente conhecimentos altamente especializados. Já os problemas patológicos

complexos não convivem com mecanismos de inspeção convencionais e esquemas rotineiros de manutenção, obrigando a uma análise pormenorizada e individualizada do problema, sendo então necessários profundos conhecimentos das Estruturas.

Desta forma as manifestações patológicas podem ser categorizadas em:

3.5.1 Manifestações patológicas geradas na etapa de concepção da estrutura (projeto)

Ocorem essas falhas no estudo preliminar ou na elaboração do projeto, problemas gerados nessa etapa é muito mais complexo e oneroso para ser sanado. Algumas falhas recorrentes são: os elementos de projetos inadequados, falta de compatibilização entre a estrutura e a arquitetura, bem como os demais projetos, especificação inadequada dos materiais, detalhamento insuficiente ou inadequado, detalhes construtivos inexecutáveis, falta de padronização das representações (convenções) e erro de dimensionamento.

3.5.2 Manifestações Patológicas geradas na etapa de execução da estrutura (construção)

Nessa etapa inicia-se a execução do projeto sem a conclusão de todos os estudos e projetos pertinentes. As falhas mais recorrentes são: falta de condições locais de trabalho, falta de capacitação profissional da mão de obra, inexistência do controle de qualidade de execução, má qualidade dos materiais e componentes e irresponsabilidade técnica.

3.5.3 Manifestações patológicas geradas na etapa de utilização da estrutura (manutenção):

Nessa etapa, os problemas patológicos podem ocorrer mesmo que as etapas anteriores tenham sido executadas de forma adequada, as falhas surgem pela manutenção errônea ou até mesmo pela falta de um programa de manutenção eficaz. Algumas das falhas mais recorrentes na falta de manutenção preventiva são: infiltração em lajes de coberturas e marquises, entupimento de drenos por falta de limpeza, causando sobrecarga na estrutura podendo levá-la ao colapso pelo acúmulo de água.

3.6 Principais manifestações patológicas verificadas nas estruturas das passarelas

As investigações realizadas nesse trabalho tiveram foco nos problemas gerados ao longo dos anos por meio do tráfego, intempéries, má execução, deficiência dos materiais, entre outras causas que contribuíram para o aparecimento de eventuais causas patológicas nas passarelas do pistão sul.

Observou-se que as manifestações patológicas que acometem as passarelas inspecionadas têm algumas similaridades entre si, abaixo segue lista dos principais problemas encontrados e suas prováveis causas:

3.6.1 Eflorescência

Segundo Uemoto (1988), eflorescência significa formação de depósito salino na superfície dos materiais. Normalmente não causa danos maiores do que o mau aspecto resultante, mas há casos em que os seus sais constituintes podem ser agressivos e causar degradação profunda. As modificações visuais são mais intensas quando há contraste entre o sal e a base sobre a qual se deposita, como por exemplo, a formação de eflorescência branca sobre o bloco cerâmico.

3.6.2 Carbonatação

Segundo Souza e Ripper (1998, p.74), a carbonatação é proveniente da ação dissolvente do gás carbônico presente na atmosfera sobre o cimento hidratado, formando o carbonato de cálcio e, conseqüentemente, obtém-se a redução do pH.

Já MEHTA; MONTEIRO (1994, p. 170) explicam como funciona o processo químico, até chegar à corrosão.

Uma vez que os cimentos Portland hidratados contêm álcalis no fluido dos poros e aproximadamente 20 por cento do peso é constituído de hidróxido de cálcio sólido, normalmente há alcalinidade suficiente no sistema para manter o pH acima de 12. Em condições excepcionais [...], o pH do concreto na vizinhança do aço pode ser reduzido a menos de 11.5, destruindo portanto a passividade do aço e armando o palco para o processo de corrosão (MEHTA E MONTEIRO, 1994, p. 170).

3.6.3 Fissuras

Segundo Oliveira (2012), fissuras, trincas e rachaduras são manifestações patológicas das edificações observadas em vigas, pilares, lajes, pisos, entre outros elementos, geralmente causadas por tensões nos materiais.

Já Miotto (2010), diz que os danos causados pela corrosão de armaduras geralmente são manifestados por fissuras no concreto paralelas à direção da armadura, delimitando e ou desprendendo o recobrimento.

4 Materiais e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido nas passarelas da DF – 001 Pistão Sul, Taguatinga. Para a realização do trabalho, foram realizadas duas visitas às passarelas em estudo nas datas 03/04/2018 e 06/04/2018, buscando identificar as manifestações patológicas existentes. Inicialmente foi feita uma inspeção preliminar através de uma avaliação visual. A partir dessa visita, se planejou a inspeção mais detalhada de cada elemento das passarelas, que foi realizada na visita posterior. Na inspeção detalhada foram feitos ensaios não destrutivos de carbonatação, pacometria e termografia, os quais auxiliaram na identificação de manifestações patológicas ocultas em alguns elementos.

4.1 Ensaios não destrutivos

Ensaio não destrutivo é um método de investigação visual ou por instrumentação que não provoca dano à estrutura já pronta. Este método serve para averiguar a causa e o efeito de determinadas manifestações patológicas nas estruturas.

De maneira geral, existem duas classes de métodos de ensaios não destrutivos para aplicação em estruturas de concreto. A primeira consiste em métodos usados para estimar a resistência do material, tais como o ensaio de dureza superficial (esclerometria), resistência à penetração, ensaios de arrancamento e método da maturidade. A segunda classe inclui os métodos que medem outras características e defeitos internos do concreto por meio de propagação de ondas e termografia infravermelha. Além desses métodos, existem outros que fornecem informações sobre a armadura, como a localização das barras de aço, seu diâmetro e o potencial de corrosão. (MALHOTRA; CARINO 2004).

Deste modo, os ensaios realizados neste trabalho para investigação de manifestações patológicas de forma a não provocar danos à estrutura foram: carbonatação, pacometria e termografia.

4.1.1 Ensaio de carbonatação

Por meio do ensaio de carbonatação é possível identificar a influência de agentes agressivos que estão em contato com o concreto e com as barras de aço. O CO₂, quando em contato com a massa de concreto hidratado reage de forma a diminuir o pH deste, provocando a despassivação da armadura, posteriormente surgindo fissuração do concreto, destacamento do cobrimento do aço, redução da seção da armadura e perda de aderência das barras com o concreto.

O método utilizado para essa verificação é a aspensão de fenolftaleína em uma pequena porção da área do elemento, podendo assim verificar se o mesmo encontra-se

com a sua alcalinidade dentro dos padrões estabelecidos.

Segundo Helene, Midieri Filho, Thomaz, (1995), “dentre os constituintes da pasta de cimento, os álcalis, dentre eles o Ca(OH)_2 , confere ao concreto uma alta alcalinidade: o pH da mistura está entre 12 e 13. Esses valores promovem a formação de um filme de óxido nas barras de aço que as protege da corrosão”.

Com a aspensão da fenolftaleína verifica se há mudança de cor no local aspergido, se houver uma coloração roxa na superfície onde recebeu o produto o concreto não estará carbonatado e sua alcalinidade estará alta, se a superfície ficar incolor após a aspensão demonstra que o concreto perdeu sua alcalinidade e que a proteção às barras está comprometida.

A carbonatação não é prejudicial para o concreto, porém diminuindo o pH para valores abaixo de 10 a proteção da armadura é destruída, e está em contato com umidade e oxigênio entra em processo de oxidação e dá-se início a corrosão.

4.1.2 Ensaio de Pacometria

Por meio do ensaio de pacometria é possível a detecção de armaduras e do cobrimento do concreto com um instrumento conhecido como pacômetro (Figura 3). Este ensaio baseia-se na leitura da interação entre as armaduras e a baixa frequência de um campo eletromagnético criado pelo próprio aparelho. A partir dos dados recolhidos (intensidade e frequência) é possível localizar as barras de aço, assim como estimar o diâmetro e cobrimento das maduras. (SANTOS, 2008).

Figura 3 - Pacômetro Proceq.



Fonte: Google imagens, 2018 ((<https://www.jroma.pt/detetores-de-armaduras.html>)).

4.1.3 Ensaio de Termografia

A termografia infravermelho tem por base que todo corpo é constituído de moléculas, estas quando se agitam emitem radiação no qual produz um fluxo de calor que é captado pela câmara termográfica e convertida para onda infravermelha em comprimentos de espectro visível ao olho humano.

Devido à agitação interna da matéria, os corpos emitem ou absorvem radiações eletromagnéticas. Essas radiações eletromagnéticas se propagam no espaço em forma de energia como perturbações vibratórias elétricas e magnéticas, com direção perpendicular. Oscilando de sua posição de equilíbrio, as moléculas geram a emissão de ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda. (BARREIRA, 2014, p. 35).

Ultimamente, o uso da termografia como técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva vem sendo bastante utilizada e difundida no campo da manutenção preditiva. Por meio do uso da câmara termográfica é possível obter a temperatura superficial de um corpo e com isso pode-se identificar manifestações patológicas que não são visíveis a olho nu.

A câmara termográfica utilizada para o ensaio foi a FLIR T440 (Figura 4), possui captura de imagens em radiação infravermelha e visuais conforme especificações técnicas (Figura 5).

Figura 4 - Câmera termográfica FLIR T440.



Fonte: Google imagens, 2018 (<https://www.amazon.com/FLIR-62103-1301-T440-Industrial-Sensitivity/dp/B0081U6LFY>).

Figura 5 - Especificações técnicas FLIR T440.

Imagens e dados ópticos	
Resolução	320 x 240 pixels
FOV	25° x 19°
IFOV	1,36 mrad
Frequência da imagem	60 Hz
Detecção de dados	
Intervalo Espectral	7.5 - 13µm

Fonte: FLIR SYSTEMS (2014) pag. 24, tradução nossa.

4.2 Localização das passarelas

As passarelas analisadas no trabalho estão localizadas na DF-001, precisamente no Pistão Sul em Taguatinga – DF.

A primeira passarela localiza-se em frente à Universidade Católica de Brasília (Figura 6). Tem sua estrutura metálica com base em concreto armado, onde foram

feitos os ensaios. De acordo com o Departamento de Estradas de Rodagem DER-DF, o projeto da passarela é datado em novembro de 1991.

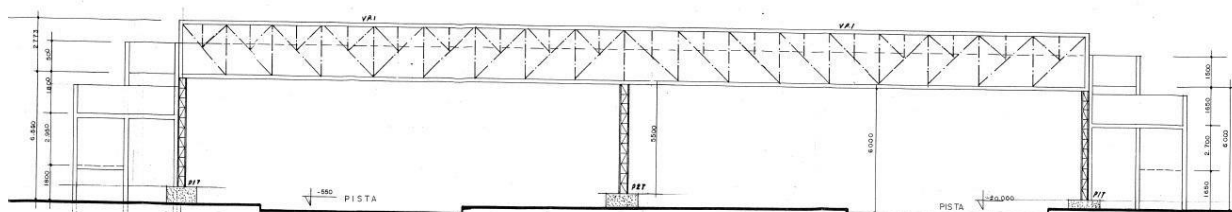
A Figura 7 apresenta o projeto da passarela 1 com uma vista frontal.

Figura 6 - Localização da passarela 1.



Fonte: Google Earth, (2018).

Figura 7 - Vista frontal passarela 1.



Fonte: Projeto DER – DF (1991).

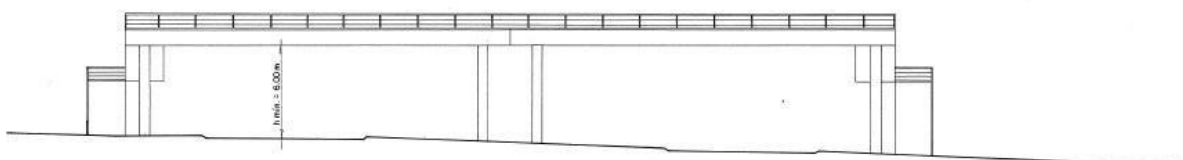
A segunda passarela analisada localiza-se em frente à rede de *Fast Food* Giraffas como mostra Figura 8, tem sua estrutura feita em concreto pré-moldado e suas rampas e tabuleiros são sustentados por pilares Figura 9. De acordo com o DER-DF, o projeto da passarela é datado em novembro de 1997.

Figura 8 - Localização da passarela 2.



Fonte: Google Earth, (2018).

Figura 9 - Vista frontal passarela 2.



Fonte: Projeto DER – DF (1997).

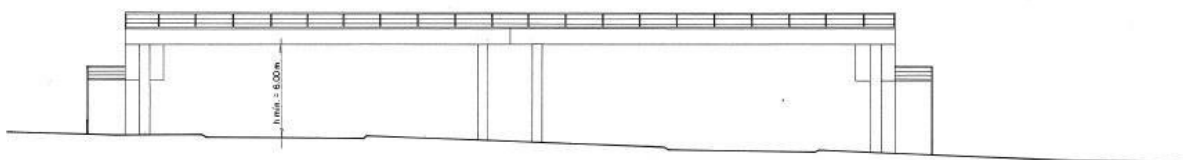
E por último a terceira passarela analisada localiza-se em frente ao *Compact Mall* Feibox, Figura 10, a qual tem sua estrutura similar a estrutura da passarela 2 como mostra Figura 11. De acordo com o DER-DF, o projeto da passarela é datado em julho de 1995.

Figura 10 - Localização passarela 3.



Fonte: Google Earth, (2018).

Figura 11 - Vista frontal passarela 3.



Fonte: Projeto DER – DF (1995).

5 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO

Visando prever ações para cumprimento de vida útil esperada faz-se necessário um programa de manutenção periódica das estruturas na garantia de sua durabilidade. O presente capítulo apresenta uma proposta de metodologia para a manutenção das passarelas que foram objetos de estudo, e tem por objetivo determinar o grau de deterioração dos elementos estruturais de forma isolada, tendo como base parâmetros que consideram as manifestações mais frequentes, evolução dos danos e o meio ambiente em que a estrutura está inserida.

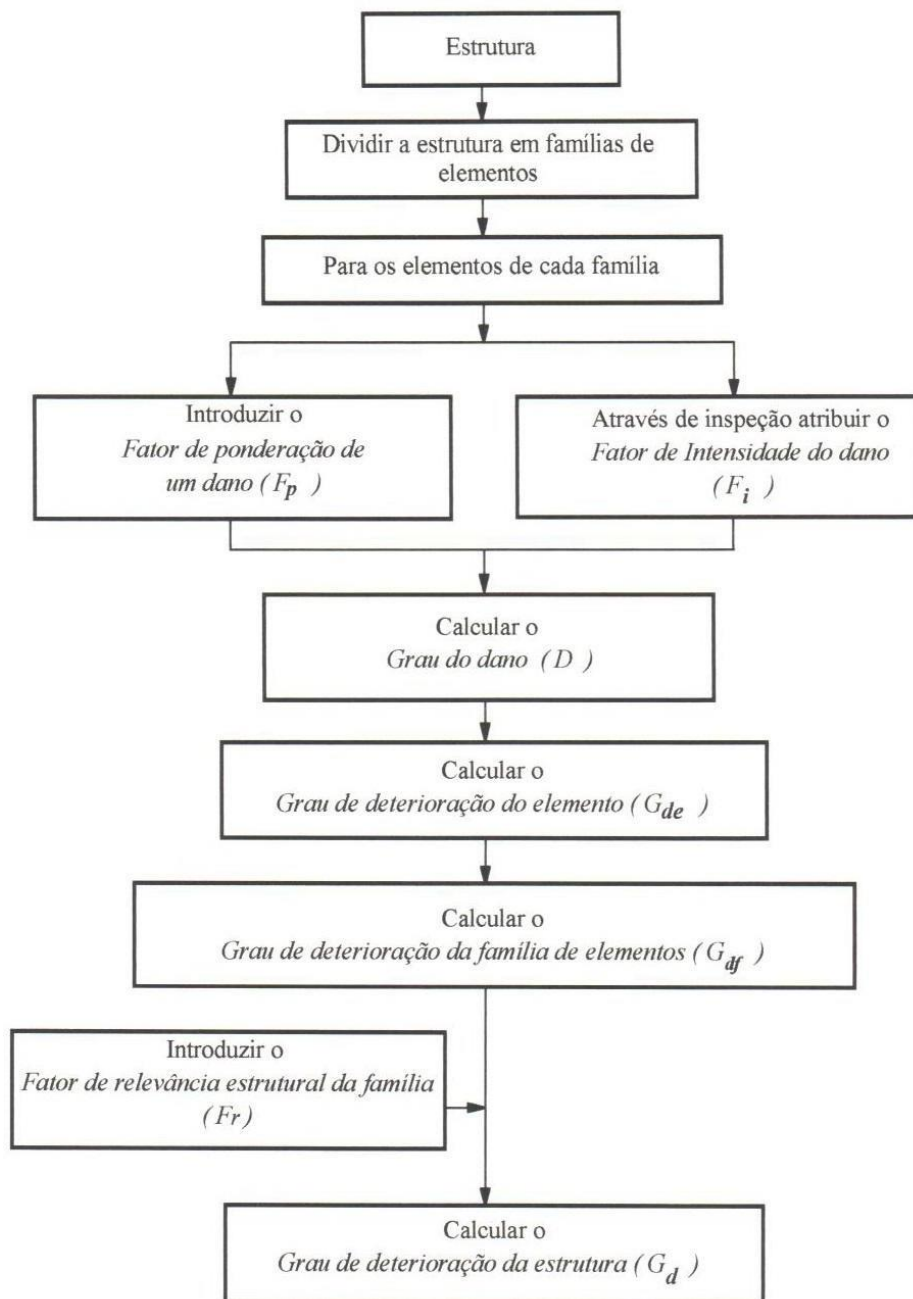
A metodologia utilizada foi a de Castro (1994), desenvolvida em sua dissertação de mestrado pela Universidade de Brasília - UnB, que é derivada da metodologia de KLEIN et al (1991).

A metodologia adotada mostrou-se bastante viável para cada estudo de caso, pois quantifica um “grau de risco” para cada elemento estrutural de uma família de elementos e também para estrutura de forma global, objetivando os parâmetros que levam em conta o processo de degradação da estrutura e possíveis agentes agressivos presentes, conforme propõe o método.

5.1 Descrição da metodologia

5.1.1 Princípios gerais

Inicialmente, a metodologia segue um fluxograma (Figura 12), mostrando os procedimentos a serem seguidos, de forma ordenada, para otimização das inspeções e avaliação dos resultados.

Figura 12 - Fluxograma de metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (G_d).

Fonte: Castro (1994)

Posteriormente, para levantamento das manifestações, é preenchido um *check-list* de apoio à inspeção visual (Quadro 1), com o intuito de apontar e relacionar o processo de deterioração.

Quadro 1 - *Check list* de apoio à inspeção visual.

CHECK LIST DE APOIO À INSPEÇÃO VISUAL		
LOCAL:		
PERGUNTAS	RESPOSTAS	
	SIM	NÃO
Há fissuras nas estruturas de concreto?		
Há eflorescência?		
Há manchas de corrosão?		
Há corrosão nas ferragens?		
Há deslocamento do concreto?		
As fissuras são paralelas as armaduras?		
As fissuras são mapeadas?		
As fissuras apresentam ressaltos?		
Há presença de vegetação nas fissuras?		
O cobrimento do concreto é adequado?		
As regiões afetadas são expostas aos sol e a chuva?		
Há manchas de foligem nas estruturas de concreto?		
Há presença de lodo ou lóbor nas estruturas?		
As ferragens apresentam flambagem?		
Há deformações excessivas nas lajes?		
Há deformações excessivas nas vigas?		
Há odor de urina na região dos pilares?		
Há indícios de manutenção recente?		
Há desgaste superficial do concreto?		

Fonte: Nielsen (2001).

5.1.2 Classificação das famílias

Para melhor apresentação dos resultados do levantamento das manifestações patológicas, as análises serão subdivididas em “famílias”, segundo as características estruturais e seus elementos. Desta forma, dividem-se as famílias da seguinte forma:

- Pilar;
- Viga;
- Laje;
- Cortinas;

- Juntas de dilatação e
- Elementos de composição arquitetônica.

5.1.3 Fator de ponderação do dano (F_p).

O fator de ponderação do dano quantifica a importância relativa de um determinado dano na estrutura, estabelecendo os problemas mais relevantes, passíveis de serem detectados quanto a aspectos de durabilidade e segurança estrutural.

Os (Quadros 2 e 3) mostram os valores dos valores de ponderação do dano (F_p), que corresponde às respectivas manifestações patológicas de cada família de elementos. Adotou-se no presente trabalho a mesma escala de ponderação de Klein, variando em escala de 1 a 10.

Quadro 2 - Famílias de elementos estruturais, danos e fatores de ponderação (F_p).

PILAR		CORTINAS	
danos	F_p	danos	F_p
desvio de geometria	8	sinais de esmagamento	10
recalque	10	desvio de geometria	6
infiltração na base	6	infiltração	6
segregação	6	segregação	5
eflorescência	5	eflorescência	5
esfoliação	8	esfoliação	8
desagregação	7	desagregação	7
sinais de esmagamento	10	deslocam por empuxo	10
cobrimento deficiente	6	cobrimento deficiente	6
mancha de corrosão	7	mancha de corrosão	7
fissuras	10	fissuras	10
carbonatação	7	carbonatação	7
presença de cloretos	10	presença de cloretos	10
manchas	5	manchas	5
LAJES		Vigas	
danos	F_p	danos	F_p
segregação	5	segregação	4
eflorescência	3	eflorescência	5
esfoliação	8	esfoliação	8
desagregação	7	desagregação	7
cobrimento deficiente	6	cobrimento deficiente	6
mancha de corrosão	7	mancha de corrosão	7
flechas	10	Flechas	10
fissuras	10	Fissuras	10
carbonatação	7	carbonatação	7
infiltração	6	infiltração	6
presença de cloretos	10	presença de cloretos	10
manchas	5	manchas	5

Fonte: Castro (1994)

Quadro 3 - Famílias de elementos estruturais, danos e fatores de ponderação (F_p).

COMPOSIÇÃO ARQUITETÔNICA	
danos	F_p
segregação	4
eflorescência	4
esfoliação	8
desagregação	7
cobrimento deficiente	6
mancha de corrosão	7
fissuras	8
ligação à estrutura	10
carbonatação	7
presença de cloretos	10

Fonte: Castro (1994).

5.1.4 Fator de Intensidade do Dano (F_i)

O Fator de intensidade do dano (F_i) classifica o nível de gravidade e a evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4. O caderno de inspeção apresenta os possíveis danos, com critérios objetivos e detalhados para a atribuição do F_i a partir da inspeção.

sem lesões	$F_i = 0$
lesões leves	$F_i = 1$
lesões toleráveis	$F_i = 2$
lesões graves	$F_i = 3$
estado crítico	$F_i = 4$

A ponderação será realizada com auxílio do Quadro 4 mostrado abaixo, e os valores de cada dano serão atribuídos conforme o fator de intensidade (F_i) e o tipo de manifestação.

Quadro 4 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i).

Tipos de danos	Fator de intensidade do dano – Tipo de manifestações
Segregação	1 - superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2 - significativa em relação às dimensões da peça; 3 - profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura; 4 - perda relevante da seção da peça.
Eflorescência	1 - início de manifestação; 2 - manchas de pequenas dimensões; 3 - manchas acentuadas, em grandes extensões.
Esfoliação	2 - pequenas escamações do concreto; 3 - lascamento, de grandes proporções, com exposição da armadura; 4 - lascamento acentuado com perda relevante de seção.
Desagregação	2 - início de manifestação; 3 - manifestações leves; 4 - por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto;
Cobrimento	1 - menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura; 2 - menor do que o previsto em norma, permitindo a localização da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3 - deficiente com armaduras expostas em extensões significativas.
Manchas de corrosão/ corrosão da armadura	2 - manifestações leves; 3 - grandes manchas e/ou fissuras de corrosão; 4 - corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção.
Flechas	1 - não perceptíveis a olho nu; 2 - perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos em norma; 3 - superiores em até 40% às previstas na norma; 4 - excessivas.
Recalque	2 - indícios, pelas características de trincas na alvenaria; 3 - recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais; 4 - recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
Fissuras	1 - aberturas menores do que as máximas previstas em norma; 2 - estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma; 3 - aberturas excessivas; estabilizadas; 4 - aberturas excessivas; não estabilizadas.
Carbonatação	1 - localizada, com algumas regiões com $pH < 9$, sem atingir a armadura; 2 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco; 3 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido; 4 - generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
Infiltração	1 - indícios de umidade; 2 - pequenas manchas; 3 - grandes manchas; 4 - generalizada.
Presença de cloretos	2 - em elementos no interior sem umidade; 3 - em elementos no exterior sem umidade; 4 - em ambientes úmidos.
Manchas	2 - manchas escuras de pouca extensão, porém significativas; 3 - manchas escuras em todo o elemento estrutural
Sinais de esmagamento	3 - desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da superestrutura; fissuras diagonais

	isoladas; 4 - fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento (esmagamento) do concreto devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de seção, deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura.
Desvio de geometria	2 - pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ (h = altura) 3 - pilares e cortinas com excentricidade $\geq h/100$
Infiltração na base	3 - indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações; 4 - vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações.
Junta de dilatação obstruída	2 - perda de elasticidade do material da junta; 3 - presença de material não compressível na junta.
Fissuras vizinhas às juntas de dilatação	2 - lajes com início de fissuras adjacentes às juntas; 3 - grande incidência de lajes com fissuras adjacentes às juntas; 4 - idem, com prolongamento das fissuras em vigas e/ou pilares de suporte.
Deslocamento por empuxo	3 - deslocamento lateral no sentido horizontal, com excentricidade porém estável; 4 - deslocamento lateral no sentido horizontal, instável.

Fonte: Castro (1994).

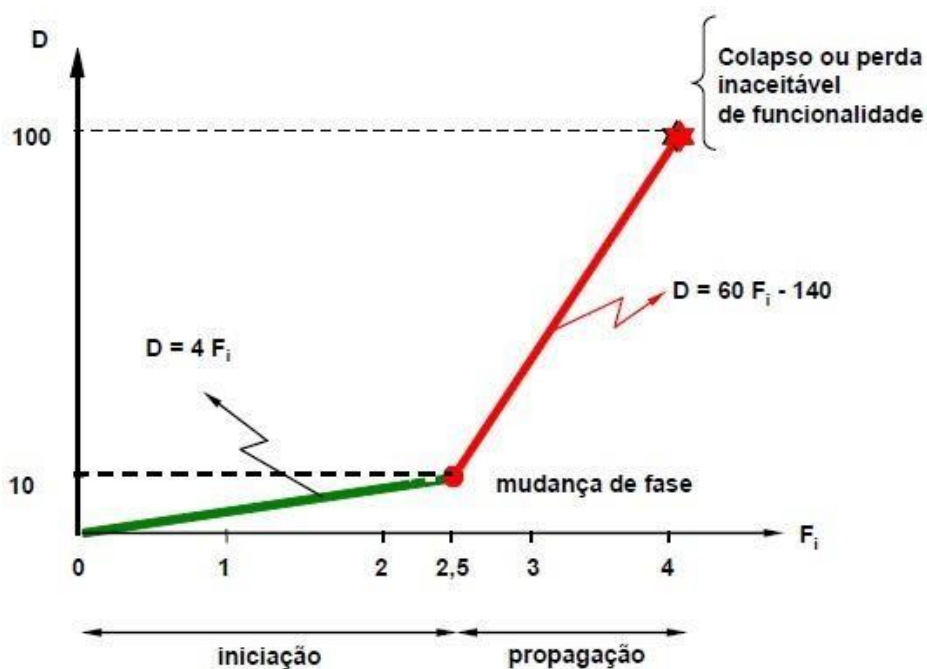
5.1.5 Grau do dano (D)

O grau do dano (D) é determinado em função das diversas manifestações dos danos detectados no elemento pela inspeção e correspondente grau calculado para cada dano tem por objetivo quantificar a manifestação de cada dano no elemento.

O grau do dano depende do fator de ponderação (F_p), específico de cada dano característicos de cada elemento e também da intensidade com que o dano se manifesta em um determinado elemento da família, traduzido pelo fator de intensidade (F_i).

Na Figura 13, são apresentadas as fases de iniciação e propagação do dano que são representadas por meio do fator de intensidade (F_i) e pelo grau de deterioração (D). Nas abscissas em escala de 0 a 4, o valor de 2,5 representa um valor de "mudança de fase", o valor 2,0 indica lesões toleráveis, e o valor 3,0 representa lesões graves. O gráfico estabelece um limite máximo de $D=100$ para o grau de dano correspondente a $F_i=4$, onde se caracteriza estado crítico de uma manifestação do dano.

Figura 13 - Representação das fases de iniciação e propagação do dano.



Fonte: Rostam (1991).

A primeira reta ascendente que parte do ponto 0 até a intersecção das coordenadas (2,5;10), estabelece a iniciação e ausência completa de dano. Uma manifestação de dano com um grau de dano $D=10$, não deve haver sinais de comprometimento e não necessita de intervenção imediata naquele elemento. Contudo, considerando que o grau de dano esteja próximo a mudança de fase, deve-se levar em conta um programa de manutenção preventiva, de modo a prevenir a propagação e necessidade posterior de intervenção.

Na segunda reta, a qual atinge o limite de mudança de fase, onde $D < 10$ deve-se nesse trecho a necessidade de intervenção urgente e imprescindível visando a funcionalidade e segurança ou mesmo o estado crítico do elemento.

Isto posto, o grau de dano para $F_p=10$, será dado da seguinte maneira:

$$D = 4F_i \quad (\text{Eq.01}) \quad \text{Para } F_i \leq 2$$

$$D = 60F_i - 140 \quad (\text{Eq.02}) \quad \text{Para } F_i \geq 3$$

Para $F_p < 10$, usa-se as seguintes equações:

$$D = 0,4F_i \cdot F_p \quad (\text{Eq. 03}) \quad \text{Para } F_i \leq 2$$

$$D = (6F_i - 14) \cdot F_p \quad (\text{Eq. 04}) \quad \text{Para } F_i \geq 3$$

5.1.6 Grau de deterioração de um elemento

O grau de deterioração de um elemento é determinado em função das manifestações dos danos detectados no elemento feito em inspeção, a partir do fator de intensidade atribuído a cada dano (F_i), como mostrado anteriormente no Quadro 4, e do grau de dano (D). Na expressão, chamamos de “ m ” o número de danos detectados no elemento em análise.

Isto posto, o grau de deterioração será determinado da seguinte maneira:

$$G_{de} = D_{max} \quad (\text{Eq. 05}) \quad \text{Para } m \leq 2$$

$$G_{de} = D_{max} + \frac{\sum D_i}{n-1} \quad (\text{Eq. 06}) \quad \text{Para } m \geq 2$$

Onde:

m = número de danos detectados no elemento;

D_i = grau de dano de ordem (i).

Dessa forma, baseando-se nos parâmetros do grau de deterioração e na aplicação da metodologia em situações reais, elaborou-se o Quadro 5, que classifica os níveis de deterioração dos elementos.

Quadro 5 - Classificação dos níveis de deterioração dos elementos.

Nível de deterioração	G_{de}	Medidas a serem adotadas
Baixo	0-15	estado aceitável.
Médio	15-50	observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo.
Alto	50-80	observação periódica e necessidade de intervenção a curto prazo.
Crítico	>80	necessidade de intervenção imediata para reestabelecer funcionalidade e/ou segurança.

Fonte: Castro (1994).

5.1.7 Grau de deterioração de uma família (G_{df})

É a média aritmética dos graus de deterioração dos elementos que apresentarem danos expressivos, ou seja, com um valor acima de um $G_{de,lim}$. Obtido pela equação:

$$G_{df} = \frac{\sum D_e}{n} \quad (\text{Eq.07})$$

Onde:

n = número de elementos componentes da família com $G_{de} \geq 15$.

Quando $G_{de} \leq 15$, o grau de deterioração de uma família será 0, logo $G_{df} = 0$.

Neste trabalho, para fins de cálculo do grau de deterioração de uma família, somente foram adotados os elementos com $G_{de} \geq 15$, por acreditar que estes serão os de maior influência sobre o grau de deterioração da família.

5.1.8 Fator de relevância estrutural da família de elementos (F_r)

Quantifica a importância relativa de cada família na estrutura, sendo sugerida a seguinte classificação:

- Elementos de composição arquitetônica $F_r = 1.0$
- Reservatório superior $F_r = 2.0$
- Escada/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias $F_r = 3.0$
- Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários $F_r = 4.0$
- Vigas e pilares principais $F_r = 5.0$

5.1.9 Grau de deterioração da estrutura (G_d)

É uma função dos diferentes graus de deterioração das diversas famílias de elementos da edificação, afetados pelos respectivos fatores de relevância estrutural.

O grau de deterioração estrutural é obtido por:

$$G_d = \frac{\sum F_r(i) \cdot G_{df}(i)}{\sum F_r(i)} \quad (\text{Eq. 08})$$

Onde:

F_r = fator de relevância de relevância estrutural de cada família.

G_{df} = grau de deterioração da família.

O Quadro 6, apresenta as medidas recomendadas por Castro, segundo o nível de deterioração estabelecido para a estrutura como um todo. Cabe esclarecer qual a quantificação do grau de deterioração da estrutura não deve, necessariamente, influenciar as medidas a serem adotadas nos elementos isolados com manifestações relevantes de danos.

Quadro 6 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura.

Nível de deterioração	G_d	Medidas a serem adotadas
Baixo	0-15	estado aceitável.
Médio	15-40	observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo.
Alto	40-60	observação periódica e necessidade de intervenção a curto prazo.
Crítico	>60	necessidade de intervenção imediata para reestabelecer funcionalidade e/ou segurança.

Fonte: Castro, (1994).

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para o levantamento realizado nas passarelas, o qual teve por objetivo a verificação do grau de deterioração dos elementos, foi centrado nas manifestações patológicas provocadas ao longo do tempo, por meio do tráfego, intempéries, má execução do projeto, deficiência de materiais e quaisquer outros fatores que possibilitem a ocorrência de eventuais patologias.

Primeiramente foi preenchido o *check list* de apoio à inspeção visual e posteriormente foi realizado todo o procedimento da metodologia proposta por Castro (1994), como descreve os capítulos anteriores.

6.1 Passarela 1

A passarela 1 tem aproximadamente 27 anos. Pela metodologia proposta por Castro (1994), foi analisado um pilar e uma viga que fazem parte da base de sustentação da estrutura metálica do seu corpo, com o uso da metodologia foi calculado o grau de deterioração desses elementos. Com a aspersão do componente químico fenolftaleína é possível notar que toda a área onde foi aplicado o produto está carbonatada, o concreto se mostrou frágil de forma que seu revestimento se destacava facilmente das barras e estas já estão em estado avançado de oxidação. Uma provável causa da carbonatação mostrada na Figura 20 é a grande quantidade de gás carbônico lançado pelos veículos, tornando o local em um “ambiente viciado”. O gás carbônico em contato com o cimento hidratado forma o carbonato de cálcio $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$, que tem como consequência a redução do pH do concreto.

Outro fator preponderante incide sobre o forte odor de urina sentido na região. A urina possui cloreto de amônio, e quando penetrada no concreto através dos poros reage com o hidróxido de cálcio, diminuindo o valor do seu pH, provocando desagregação do concreto e corrosão da armadura.

Além disso, com a leitura do pacômetro sobre o elemento foi possível verificar que a armadura da estrutura se encontrava com perda de seção em decorrência das manifestações patológicas citadas anteriormente em relação ao projeto inicial mostrado na Figura 16. Aferido com um paquímetro foi possível verificar perda de aproximadamente de 25% na seção do AÇO CA – 50 do elemento como mostra a Figura 20. Com a leitura também foi possível confirmar que o revestimento nominal da armadura não foi adequado de acordo com a norma ABNT NBR 6118/2003, na qual

dimensiona o cobrimento nominal da armadura de um tipo de estrutura em face da classe de agressividade ambiental, como é mostrado nas Figuras 18 e 19, para o elemento viga com classe de agressividade II, o cobrimento adequado seria de 30 mm, estando o elemento com 21 mm, indicado por instrumentação na Figura 15.

Figura 14 – Viga e pilar da passarela 1.



Fonte: Autor (2018).

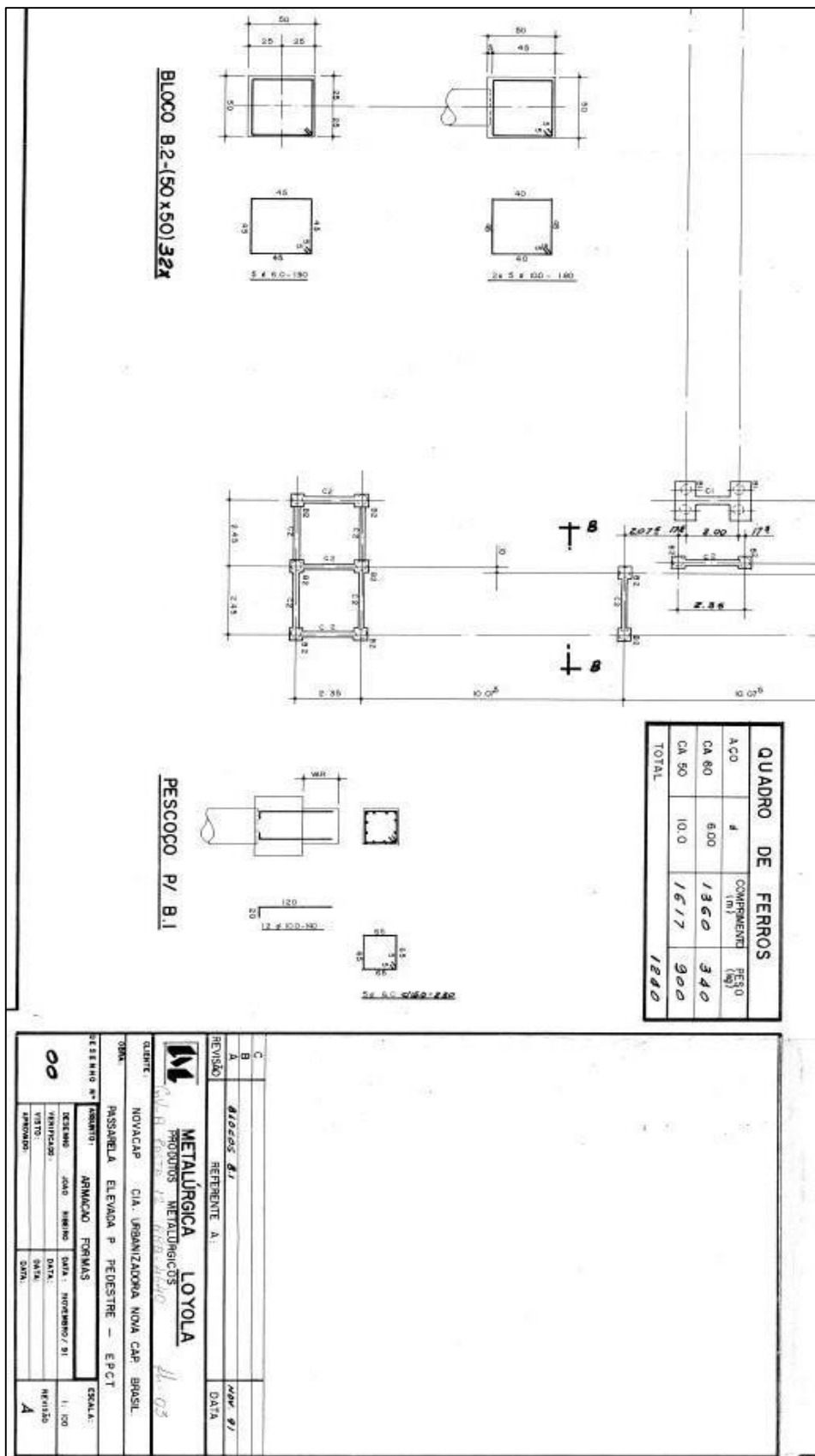
- Viga
- Pilar

Figura 15 - Aferição de armadura e cobertura com pacômetro.



Fonte: Autor (2018).

Figura 16 - Projeto armação e formas.



Fonte: Autor (2018).

Figura 17 - Aferição da seção da armadura com paquímetro.



Fonte: Autor (2018).

Figura 18 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobertura nominal para $\Delta c = 10$ mm.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobertura nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobertura nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobertura nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobertura nominal ≥ 45 mm.

Fonte: NBR – ABNT 6118/2003, versão corrigida.

Figura 19 - Classes de agressividade ambiental.

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

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

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

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

Fonte: NBR – ABNT 6118/2003, versão corrigida.

Figura 20 - Aplicação de fenolftaleína, área carbonatada.



Fonte: Autor (2018).

Quadro 7 - Check list de apoio à inspeção visual Passarela 1.

CHECK LIST DE APOIO À INSPEÇÃO VISUAL		
LOCAL:	PASSARELA 1 FRENTE A UCB	
PERGUNTAS	RESPOSTAS	
	SIM	NÃO
Há fissuras nas estruturas de concreto?	x	
Há eflorescência?		x
Há manchas de corrosão?	x	
Há corrosão nas ferragens?	x	
Há deslocamento do concreto?	x	
As fissuras são paralelas as armaduras?	x	
As fissuras são mapeadas?	x	
As fissuras apresentam ressaltos?	x	
Há presença de vegetação nas fissuras?		x
O revestimento do concreto é adequado?		x
As regiões afetadas são expostas aos sol e a chuva?	x	
Há manchas de foligem nas estruturas de concreto?	x	
Há presença de lodo ou lóbio nas estruturas?	x	
As ferragens apresentam flambagem?		x
Há deformações excessivas nas lajes?		x
Há deformações excessivas nas vigas?		x
Há odor de urina na região dos pilares?	x	
Há indícios de manutenção recente?		x
Há desgaste superficial do concreto?	x	

Fonte: Autor (2018).

Quadro 8 – Cálculo G_{de} Passarela 1.

PILAR				VIGA			
Nome do Elemento	Pilar 1			Nome do Elemento	Viga 1		
Local	Passarela 1 (frente a UCB)			Local	Passarela 1 (frente a UCB)		
danos	F_p	F_i	D	danos	F_p	F_i	D
desvio de geometria	8	0	0	segregação	4	0	0
recalque	10	0	0	eflorescência	5	0	0
infiltração na base	6	1	2,4	esfoliação	8	4	80
segregação	6	0	0	desagregação	7	4	70
eflorescência	5	0	0	cobrimento deficiente	6	3	24
esfoliação	8	4	80	mancha de corrosão	7	4	70
desagregação	7	4	70	flechas	10	1	4
sinais de esmagamento	10	0	0	fissuras	10	2	8
cobrimento deficiente	6	3	24	carbonatação	7	3	28

mancha de corrosão	7	4	70	infiltração	6	1	2,4
fissuras	10	3	40	presença de cloretos	10	3	40
carbonatação	7	3	28	manchas	5	2	4
presença de cloretos	10	3	12	G_{de}=			107,82
manchas	5	2	4				
G_{de}=			111,30				

Fonte: Autor (2018).

De acordo com o Quadro 5 o qual classifica os níveis de deterioração dos elementos, o Pilar 1 e a Viga 1 estão classificados como críticos, apresentando valores de $G_{de} > 80$ (Quadro 8), necessitando de intervenção imediata para reestabelecer a funcionalidade e/ou segurança.

Quadro 9 - Cálculo G_d Passarela 1.

FAMÍLIA DE ELEMENTOS	G_{df}	F_r	
Pilares Principais	111,3	5	556,5
Vigas principais	107,82	5	539,1
Total		10	1095,6
G_d =			109,56

Fonte: Autor (2018).

Para o grau de deterioração da estrutura conforme Quadro 6, a família de elementos apresenta-se em estado crítico, tendo $G_d > 60$ como mostra o Quadro 9, necessitando de intervenção imediata para reestabelecer a funcionalidade e/ou segurança.

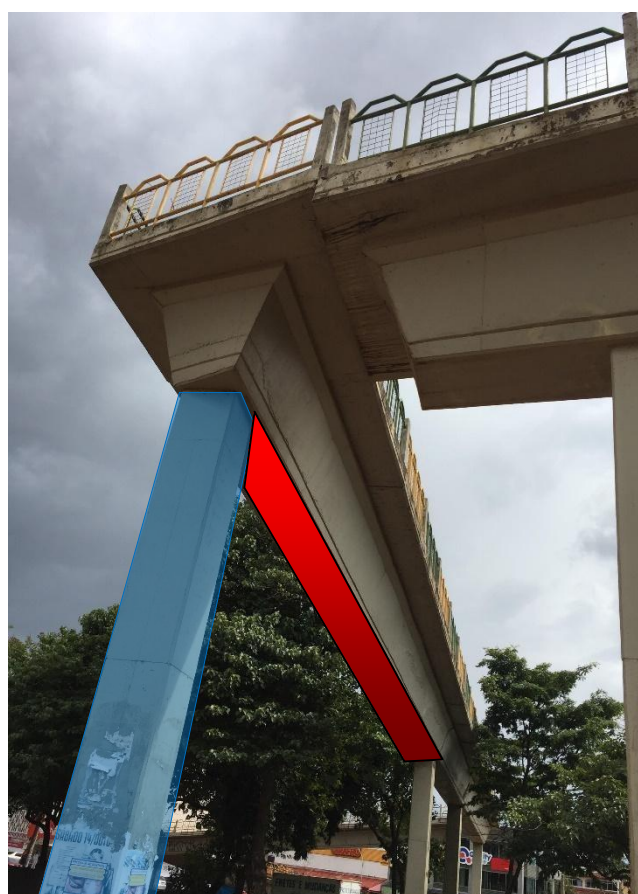
6.2 Passarela 2

A passarela 2 tem aproximadamente 21 anos. Pela metodologia proposta por Castro (1994), foi analisado uma rampa e o pilar que faz sustentação da rampa, com o uso da metodologia foi calculado o grau de deterioração desse elemento. Além disso, também foi possível constatar a presença de eflorescências (Figura 22) na parte superior do tabuleiro da passarela não possui drenagem suficiente para o escoamento da água tendo uma tendência à infiltração. A água da chuva possui pouco ou nenhum íon de cálcio, quando entra em contato com a pasta de cimento dissolve os produtos que contém cálcio, com a variação de temperatura, muito comum em Brasília, aumenta a velocidade de evaporação e gera um favorecimento na solubilização dos sais, permitindo que estes migrem para a superfície pelo processo de lixiviação. Também foi

possível notar que as fissuras que aparecem no pilar de sustentação mostrado na Figura 23 são provenientes de fontes externas, ou seja, há uma penetração de matéria no interior do concreto fazendo com que as armaduras sofram uma alteração química, resultando em corrosão extensa das barras oxidadas, perda de seção e sua expansão.

As fissuras nesse caso seguem linha paralela às barras, onde a massa de concreto é enfraquecida minorando a capacidade de resistência da estrutura em longo prazo. Também foi encontrada uma área na rampa onde a armadura estava exposta (Figura 24), nesta área foi feita a aspersão de fenolftaleína, e pôde-se constatar que mesmo a armadura estando desprotegida, o concreto e as barras não sofreram carbonatação, tendo estes sua alcalinidade dentro dos padrões, porém, a médio prazo a proteção de óxido que envolve as barras perderá sua função e as mesmas estarão oxidadas pela ação de agentes agressivos.

Figura 21 - Pilar passarela 2.



Fonte: Autor (2018).

- Pilar
- Rampa

Figura 22 - Eflorescência na base inferior do tabuleiro da passarela.



Fonte: Autor (2018).

Figura 23 - Fissura paralela a armadura.



Fonte: Autor (2018).

Figura 24 - Aspersão de fenolftaleína.



Fonte: Autor (2018).

Quadro 10 - *Check list* de apoio à inspeção visual Passarela 2.

CHECK LIST DE APOIO À INSPEÇÃO VISUAL		
LOCAL:	PASSARELA DE FRENTE AO GIRAFFAS	
PERGUNTAS	RESPOSTAS	
	SIM	NÃO
Há fissuras nas estruturas de concreto?	x	
Há eflorescência?	x	
Há manchas de corrosão?		x
Há corrosão nas ferragens?	x	
Há deslocamento do concreto?		x
As fissuras são paralelas as armaduras?	x	
As fissuras são mapeadas?	x	
As fissuras apresentam ressaltos?		x
Há presença de vegetação nas fissuras?		x
O cobrimento do concreto é adequado?		x
As regiões afetadas são expostas aos sol e a chuva?	x	
Há manchas de foligem nas estruturas de concreto?	x	
Há presença de lodo ou lobar nas estruturas?		x
As ferragens apresentam flambagem?		x
Há deformações excessivas nas lajes?		x

Há deformações excessivas nas vigas?		x
Há odor de urina na região dos pilares?		x
Há indícios de manutenção recente?		x
Há desgaste superficial do concreto?	x	

Fonte: Autor (2018).

Quadro 11 - Cálculo G_{de} Passarela 2.

Local	Passarela 2 (frente ao <i>Fast Food</i> Giraffas)						
Nome do Elemento	Pilar 1			Nome do Elemento	Tabuleiro/Rampa 1		
danos	F_p	F_i	D	danos	F_p	F_i	D
desvio de geometria	8	0	0	segregação	5	0	0
recalque	10	0	0	eflorescência	3	3	12
infiltração na base	6	0	0	esfoliação	8	0	0
segregação	6	0	0	desagregação	7	2	5,6
eflorescência	5	0	0	cobrimento deficiente	6	0	0
esfoliação	8	0	0	mancha de corrosão	7	0	0
desagregação	7	2	5,6	flechas	10	1	4
sinais de esmagamento	10	0	0	fissuras	10	2	8
cobrimento deficiente	6	1	2,4	carbonatação	7	1	2,8
mancha de corrosão	7	0	0	infiltração	6	3	24
fissuras	10	2	8	presença de cloretos	10	2	8
carbonatação	7	2	5,6	manchas	5	2	4
presença de cloretos	10	0	0				
manchas	5	2	4				
	$G_{de} = 12,4$				$G_{de} = 30,34$		

Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Quadro 5 o qual classifica os níveis de deterioração dos elementos, o Pilar 1 e a Rampa 1 estão classificados como nível de deterioração médio, apresentando valores de $G_{de} \leq 50$ (Quadro 11), necessitando de observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo.

Quadro 12 - Cálculo G_d passarela 2.

FAMÍLIA DE ELEMENTOS	G_{df}	F_r	
Pilar 1	12,4	5	62,0
Rampa 1	30,4	3	91,2
Total		8	153,2
			$G_d = 19,15$

Fonte: Autor (2018).

Para o grau de deterioração da estrutura conforme Quadro 6, a família de elementos apresenta-se em nível de deterioração médio tendo G_d entre 15-40 (Quadro 12) , necessitando de observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo.

6.3 Passarela 3

A passarela 3 tem aproximadamente 23 anos. Pela metodologia proposta por Castro (1994), foi analisada uma das rampas que faz ligação com o tabuleiro e um pilar de sustentação. Com o uso da metodologia foi calculado o grau de deterioração desse elemento. Por meio da inspeção feita por câmera termográfica foi possível identificar uma manifestação patológica na área da rampa desta passarela, a Figura 26 mostra uma coloração amarelada onde estão locadas as ferragens, onde as mesmas se encontram ocultas devido à presença de umidade no interior do elemento, possivelmente houve uma oxidação pela infiltração de água, onde ocorreu expansão da armadura tracionando o revestimento fazendo com que este sofra fissuração e posteriormente deslocamento como mostra a Figura 27. O mesmo ocorre com o pilar, porém não foi necessário o uso da câmera termográfica para verificar esse problema, pois o revestimento já estava em estado avançado de deslocamento do revestimento (Figura 28).

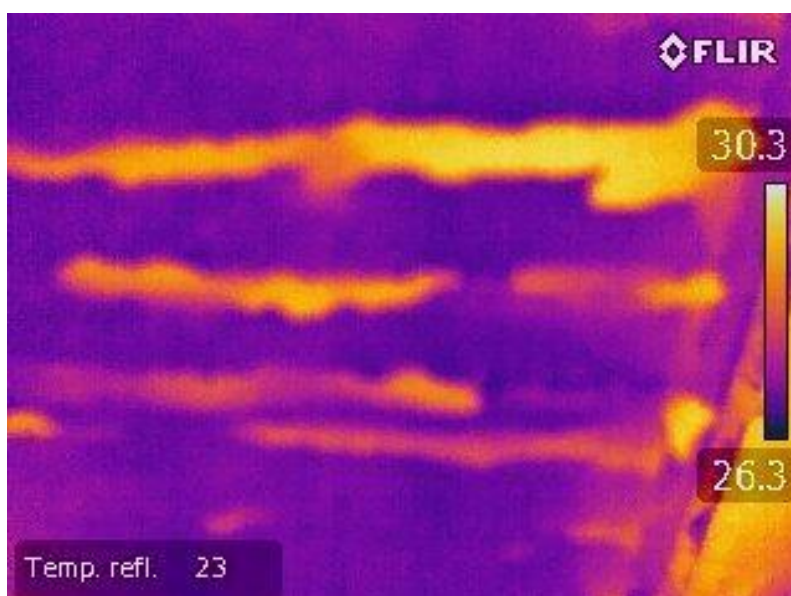
Figura 25 - Rampa passarela 3.



Fonte: Autor (2018).

— Rampa

Figura 26 - Imagem termográfica, região afetada por manifestação patológica.



Fonte: Autor (2018).

Figura 27 - Fissuramentos com ressaltos proveniente da expansão da armadura.



Fonte: Autor (2018).

Figura 28 - Pilar em estado de deslocamento do cobrimento.



Fonte: Autor (2018).

Quadro 13 - Check list de apoio à inspeção visual Passarela 3.

CHECK LIST DE APOIO À INSPEÇÃO VISUAL		
LOCAL:	PASSARELA DE FRENTE AO EXTRA	
PERGUNTAS	RESPOSTAS	
	SIM	NÃO
Há fissuras nas estruturas de concreto?	x	
Há eflorescência?	x	
Há manchas de corrosão?	x	
Há corrosão nas ferragens?	x	
Há deslocamento do concreto?	x	
As fissuras são paralelas as armaduras?	x	
As fissuras são mapeadas?	x	
As fissuras apresentam ressaltos?	x	
Há presença de vegetação nas fissuras?		x
O cobrimento do concreto é adequado?		x
As regiões afetadas são expostas aos sol e a chuva?	x	
Há manchas de foligem nas estruturas de concreto?	x	
Há presença de lodo ou lobar nas estruturas?	x	
As ferragens apresentam flambagem?		x
Há deformações excessivas nas lajes?		x
Há deformações excessivas nas vigas?		x

Há odor de urina na região dos pilares?		x
Há indícios de manutenção recente?		x
Há desgaste superficial do concreto?	x	

Fonte: Autor (2018).

Quadro 14 - Cálculo G_{de} Passarela 3.

Local	Passarela 3 (frente ao <i>Compact mall</i> Feibox)						
Nome do Elemento	Pilar 1			Nome do Elemento	Tabuleiro/Rampa 1		
danos	F_p	F_i	D	danos	F_p	F_i	D
desvio de geometria	8	0	0	segregação	5	2	4
recalque	10	0	0	eflorescência	3	3	12
infiltração na base	6	0	0	esfoliação	8	2	6,4
segregação	6	1	2,4	desagregação	7	3	28
eflorescência	5	0	0	cobrimento deficiente	6	2	4,8
esfoliação	8	4	80	mancha de corrosão	7	3	28
desagregação	7	2	5,6	flechas	10	1	4
sinais de esmagamento	10	0	0	fissuras	10	4	100
cobrimento deficiente	6	1	2,4	carbonatação	7	3	28
mancha de corrosão	7	4	70	infiltração	6	3	24
fissuras	10	2	8	presença de cloretos	10	3	40
carbonatação	7	2	5,6	manchas	5	2	4
presença de cloretos	10	2	8				
manchas	5	2	4				
	$G_{de} = 93,25$				$G_{de} = 116,65$		

Fonte: Autor (2018).

De acordo com o Quadro 5 o qual classifica os níveis de deterioração dos elementos, o Pilar 1 e a Rampa 1 estão classificados como nível de deterioração crítico, apresentando valores de $G_{de} \geq 80$ (Quadro 14), necessitando de intervenção imediata para reestabelecer funcionalidade e/ou segurança.

Quadro 15 - Cálculo G_d Passarela 3.

FAMILIA DE ELEMENTOS	G_{df}	F_r	
Pilar 1	93,25	5	466,25
Rampa 1	116,65	3	349,95
Total		8	816,20
			G_d 102,02

Fonte: Autor (2018).

Para o grau de deterioração da estrutura conforme Quadro 6, a família de elementos apresenta-se em estado crítico de deterioração tendo $G_d > 60$ como mostra o Quadro 15, necessitando de intervenção imediata para reestabelecer funcionalidade e/ou segurança.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusões

A metodologia proposta neste trabalho teve por objetivo a verificação do desempenho e vida útil das estruturas de concreto armado das passarelas. Com base em dados verificados por *check list* de apoio à inspeção visual e fórmulas é possível estabelecer um nível de deterioração de “famílias” de elementos isolados e da estrutura de uma forma global, fazendo desta metodologia uma ferramenta de fácil utilização para profissionais da área de manutenção.

O uso de técnicas não destrutivas capaz de auxiliar na detecção de anomalias como o uso do pacômetro, aspersão do componente químico fenolftaleína e o uso de câmera termográfica se mostrou bastante eficaz, ajudando a encontrar danos não visíveis a olho nu.

Por meio dos resultados obtidos com o uso da metodologia que determina um grau de deterioração da estrutura, recomenda-se que sejam feitas intervenções imediatas para melhor funcionalidade, estética e segurança para usuários que utilizam as passarelas 1 e 3. Na passarela 2 a estrutura necessita de observação periódica e intervenção a médio prazo, há também uma necessidade de acompanhamento preventivo nas três passarelas para evitar o aparecimento de manifestações patológicas que possam comprometer a sua funcionalidade e durabilidade. Como mostra o Quadro 16.

Quadro 16 – Deterioração das Passarelas.

Passarela	G_d	Nível de deterioração	Medidas a serem adotadas	Elementos
Passarela 1 - Frete a UCB	109,56	Crítico	Estrutura necessita de intervenção imediata para reestabelecer a funcionalidade e/ou segurança.	Pilar e Viga
Passarela 2 - Frente ao <i>Fast food</i> Giraffas	19,15	Médio	Estrutura necessita de observação periódica e de intervenção a médio prazo.	Pilar e Rampa
Passarela 3 - Frente ao <i>Compact Mall</i> Feibox	102,02	Crítico	Estrutura necessita de intervenção imediata para reestabelecer a funcionalidade e/ou segurança.	Pilar e Rampa

Fonte: Autor (2018)

Portanto, é possível notar que, embora as passarelas para pedestres estejam em locais diferentes, os problemas ocasionados devido às manifestações patológicas foram considerados comuns. Aparentemente há uma inércia da administração pública em relação à manutenção preventiva, pois não há indícios de reparos para prolongamento da vida útil das estruturas das passarelas que foram analisadas neste estudo.

7.2 Sugestões para pesquisas futuras

A seguir, são apresentadas algumas sugestões para pesquisas que poderão dar sequência a esse trabalho.

- Aplicar a metodologia do trabalho em questão, para avaliar os demais elementos estruturais das passarelas para pedestres não contemplados nesse trabalho.
- Aprimorar o uso da metodologia em demais estruturas de Obras de Artes Especiais – OAE, com intuito de consolidação da mesma.

REFERÊNCIAS

CASTRO, Eliane Kraus. **DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA MANUTENÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. 1994. Dissertação (Mestrado), Brasília, 1994.

LOURENÇO, L.C. **ANÁLISE DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE PONTES METÁLICAS E EM CONCRETO ARMADO**. 2007 Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro, 2007.

MEHTA. P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ed. Pini, 1994. p. 170.

MALHORTA, V. M., CARINO, N. J. **HANDBOOK ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF CONCRETE**. 2. ed. Flórida: Ed. Boca Raton. p.210.

MIOTTO, D. **Estudo de caso de patologias observadas em edificação escolar estadual no município de Pato Branco-PR**. 2010. 62 f. Monografia (Especialização em Construção de Obras Públicas). 2010 Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2010.

OLIVEIRA, A. M. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96 f. Monografia (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

OLIVEIRA, G. G. **Importância da Manutenção Preventiva nas Pontes e Viadutos do Rio Grande do Sul: Caracterização da Tipologia das Estruturas e Levantamento de Manifestações Patológicas**. Porto Alegre, 1999. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 131 P.

SOMERVILLE, G. ***"The design life of concrete structures"***. Cement & Concrete Association. Londres, 1987.

SOUZA, V.C.M., RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**". São Paulo: Ed. Pini. p. 19-74.

TUUTTI, K. "Corrosion Steel in Concrete", Swedish Cement and Concrete Research Institute. 1982. Stockholm 469p.

UEMOTO, K. L. **Patologia: Danos causados por eflorescência. Tecnologia de Edificações**. São Paulo: Pini/IPT, 1988. (Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT). p. 85.