ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Avaliação da deterioração do concreto em estações elevatórias de água: Estudo de caso na área urbana de Belém/PA

Assessment of Concrete Deterioration in Water Pumping Stations: A Case Study in the Urban Area of Belém, PA

Érico Gaspar Lisboa
Universidade da Amazônia | Belém | Brasil | eglisboa@yahoo.com.br
Vivia Ramos da Silva
Universidade da Amazônia | Belém | Brasil |viviaramos28@gmail.com
Gabriel Almeira Silva
Universidade da Amazônia | Belém | Brasil | galmeidas.silva@gmail.com
Stefânia Lima Diocesano
Universidade da Amazônia | Belém | Brasil | diocesanostefania@gmail.com
Elizeu Cordeiro de Souza Neto
Universidade da Amazônia | Belém | Brasil | elizeucordeiro28@gmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho é avaliar a deterioração estrutural de Estações Elevatórias de Água construídas em concreto armado (EEA) que integram o patrimônio construído da companhia de abastecimento de água. Para tanto, desenvolveu-se uma metodologia em três etapas: (i) realiza-se ronda sensorial de inspeção estrutural com auxílio de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) a fim de diagnosticar, por fotos e vídeos de alta resolução, Elementos e Família de elementos Estruturais (EFE) que apresentem manifestações patológicas (aparentes ou sugestivas); (ii) pela RIEV, caso detectado alguma manifestação patológica que requeira avaliações mais detalhadas, realiza-se ensaios não-destrutivos; (iii) afere-se a deterioração de EFE pelo método GDE-UnB, enquadrando-os aos graus de prioridade de intervenção. Aplicado ao conjunto de EAA que integram o sistema de abastecimento de água da cidade de Belém/PA, identificou-se que das seis EEA inspecionadas, três enquadram-se no grau baixo de deterioração, uma enquadrara-se no grau médio de deterioração, apenas duas EEA apresentaram alto grau de deterioração estrutural, sendo requerido prioridade de intervenção em até 1 ano. Assim, além de mapear as EEA em concreto armado que requeiram prioridades de intervenções, pela proposta metodológica é possível estabelecer protocolos que satisfaçam a inspeção, diagnóstico, recuperação e proteção (IDRP), e proporcionar auxílio à manutenção e gestão patrimonial e financeira da companhia.

Palavras-chave: Concreto. Inspeção. VANT. Estações Elevatórias de Água. GDE-UnB

Abstract

The aim of this work is to assess the structural deterioration of reinforced concrete water pumping stations (WPS) that are part of the water supply company's built heritage. To this end, a three-stage methodology was developed: (i) a sensory structural inspection tour is carried out with the aid of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in order to diagnose, using high-resolution photos and videos, structural elements and families of structural elements (FSE) that show pathological manifestations (apparent or suggestive); (ii) through the sensory round of structural inspection with the aid of an unmanned aerial vehicle, if any pathological manifestations are detected that require more detailed assessments, non-destructive tests are carried out; (iii) the deterioration of FSE is assessed using the GDE-UnB method, classifying them in terms of priority for intervention. Applied to the set of WPS that make up the water supply system in the city of Belém/PA, it was found that of the six WPS inspected, three were in the low degree of deterioration, one was in the medium degree of deterioration, and only two WPS showed a high degree of structural deterioration, requiring priority intervention within one year. Thus, in addition to mapping the reinforced concrete water pumping stations that require priority interventions, the methodological proposal makes it possible to establish protocols that satisfy the Inspection, Diagnosis, Recovery and Protection (IDRP), and provide support for the company's maintenance and asset and financial management.

Keywords: Concrete. Inspection. UAV. Water Pumping Stations. GDE-UnB.

INTRODUÇÃO

A deterioração de estruturas de concreto armado é produto da combinação de fatores ambientais, e de técnicas e práticas inadequadas de construção. A este respeito, Parrott [1] destacou que a exposição à ambientes agressivos, como atmosferas industriais e marinhas, podem acelerar os processos de corrosão das armaduras, induzidas por cloretos e carbonatação.

Ainda assim, SANCHEZ e SOUZA [2] observaram que falhas no sistema de impermeabilização e no controle tecnológico do concreto podem facilitar a ação de agentes agressivos. Neste contexto, reservatórios de água que integram o sistema de abastecimento das cidades, quando construídos em concreto armado e associado a cloração da água podem apresentar suscetibilidade a manifestações patológicas precoce e danos estruturais.

A depender do tipo de manifestação patológica, é importante identificar e mitigar danos estruturais a partir de abordagens preventivas e técnicas de reparo. DHIR, HEWLETT e JONES [3] e MEIRA [4] enfatizaram a importância de métodos avançados de monitoramento para detectar corrosão em armaduras (como exemplo, espectroscopia de impedância eletroquímica). HELENE [5] destacou a eficácia de inibidores de corrosão e revestimentos protetores como estratégias preventivas essenciais para prolongar a vida útil das estruturas de concreto.

Entretanto, pela publicação da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [6], de essência preventiva, uma visão sistemática da inspeção na Engenharia Diagnóstica possibilitou classificar as condições da técnica construtiva, do uso e da manutenção para cada sistema construtivo inspecionado. Nestes termos, GOMIDE *et al.* [7] observaram que a concepção da inspeção permitirá classificar a qualidade geral e de cada sistema construtivo.

No âmbito da manutenção, GOMIDE *et al.* [7] observou que muitas manifestações patológicas são consequência da falta de manutenção, e se apresentam sob a forma de umidade, trincas, fissuras, descolamento de pintura, entre outras. Assim, para

identificar manifestações patológicas em edificações e infraestruturas, deve-se caracterizar anomalias (possíveis "doenças") nas construções.

GOMIDE *et al.* [7] referiram que estas anomalias podem ser adquiridas congenitamente, ou seja, durante a execução da obra (emprego inadequado de materiais e métodos construtivos) ou na concepção do projeto, ou mesmo serem adquiridas ao longo de sua vida. Estes autores enfatizaram que, quando as "doenças" de uma edificação são tratadas de forma correta, ocorre uma ampliação da vida útil.

Portanto, é por esta concepção que se pode justificar a adoção de uma inspeção do sistema estrutural das Estações Elevatórias de Água (EEA) utilizando o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e avaliação do grau de deterioração estrutural a partir do emprego do método GDE-UnB [8]. Adotando-se procedimento metodológico que consistiu na utilização do VANT e aplicação do referido método, foi possível definir a prioridade de intervenção estrutural em seis EEA que integram o sistema de abastecimento de água da cidade de Belém/PA.

Além de avaliar a deterioração estrutural das estações, evidenciado aquelas que requeiram prioridades de intervenções, pela proposição metodológica estruturada pode-se estabelecer protocolos que satisfaçam a inspeção, diagnóstico, recuperação e proteção (IDRP), bem como proporcionar auxílio à manutenção e gestão patrimonial e financeira das companhias e concessionárias de saneamento.

METODOLOGIA

A proposta metodológica é desenvolvida em três etapas. Na primeira etapa realizou-se Ronda sensorial de Inspeção Estrutural com auxílio de VANT (RIEV). Em seguida, pela RIEV, caso detectado alguma manifestação patológica estrutural que requeira avaliações detalhadas, realiza-se ensaios não-destrutivos. Pela última etapa, afere-se o grau de deterioração estrutural pelo método GDE-UnB, pelo que se faz necessário defini-lo.

MÉTODO GDE_UNB

Proposto por KLEIN *et al.* [9] e desenvolvido por CASTRO [8], a concepção do método GDE_UnB permite quantificar a deterioração de estruturas de concreto armado. A este propósito, CASTRO [8] referiu que este método tem sido bastante utilizado em diversas pesquisas de caráter técnico e científico, no âmbito do estudo da durabilidade das estruturas de concreto armado no Brasil.

Para aplicá-lo, CASTRO [8] sugeriu que, inicialmente, fosse dividido em famílias de elementos estruturais. Em seguida, um fator de danos de elementos estruturais, associado a um fator de intensidade de dano (relacionado ao tipo de manifestação patológica), classificam-se em quatros graus de deterioração de um elemento estrutural (baixo, médio, alto e crítico).

Descartando o grau baixo, a partir da reunião dos graus de danos dos elementos, estima-se o grau de deterioração de uma família de elementos estruturais. Deste modo, em função de um fator de relevância estrutural, calcula-se o grau de deterioração global da estrutura.

DANOS NOS ELEMENTOS E FAMÍLIA DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A divisão de família de elementos estruturais, como: pilares principais e secundários, vigas principais e secundárias, lajes, elementos arquitetônicos, escadas, entre outros; apresenta-se como uma das etapas preliminares, e de maior importância, para aplicação do método GDE_UnB. Além da ronda de inspeção de cada elemento estrutural, pelo referido método deve-se adotar um fator de ponderação de danos.

O fator de ponderação (F_D) considera as condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos da família da estrutura de concreto. Assim, para quantificar a importância de um dano, CASTRO [8] considerou a atribuição de pesos em função das manifestações patológicas, as quais são detectadas durante a ronda de inspeção estrutural. Estes pesos, que variam entre 5 e 10, estão descritos pela Tabela 1.

A intensidade do dano no elemento estrutural (F_I) é estimada em função da manifestação patológica que é detectada durante a ronda de inspeção. Atribui-se a intensidade do dano (lesão) associado ao tipo de manifestação patológica detectada na escala de 0 (SEM LESÃO) a 4 (MUITO ALTO). Conforme CASTRO [8], a associação entre F_D e F_I, expressa o grau de dano de um elemento estrutural (D). Para F_P = 10 utiliza-se:

$$D = 4\,xF_I \;\; para \;\; F_I \leq 2$$

$$D = 60\,xF_I - 140 \;\; para \;\; F_I \geq 3$$

Tabela 1: Fator F_D em Elementos Estruturais – Pilar – Viga – Laje – Escada.

Manifestação patológica	Pilar	Viga	Laje	Escada
1. Carbonatação	7	7	7	7
2. Cobrimento Deficiente	6	6	7	6
3. Contaminação por Cloretos	10	10	10	10
4. Corrosão de Armaduras	10	10	9	10
5. Desagregação	7	7	7	7
6. Desvio de Geometria (Flechas)	8	10	10	10
7. Eflorescência	5	5	7	5
8. Esfoliação	8	8	10	8
9. Fissuras	10	10	10	10
10. Infiltração/Vazamentos	6	6	10	6
11. Manchas/Impermeabilização deficiente	5	5	5	5
12. Recalque	10	-	-	-
13. Segregação	6	5	8	5
14. Sinais Esmagamento/torção/cisalhamento	10	10	10	10

Fonte: adaptado pelos autores a partir de Castro (1994).

Conforme CASTRO [8], a associação entre F_D e F_I, expressa o grau de dano de um elemento estrutural (D). Para F_P = 10 utiliza-se:

$$D = 4\,xF_I \;\; para \;\; F_I \leq 2$$

$$D = 60\,xF_I - 140 \;\; para \;\; F_I \geq 3$$

E, para $F_P \leq 10$ utiliza-se as seguintes expressões:

$$D = 0{,}4\,xF_I xF_P \;\; para \;\; F_I \leq 2$$

$$D = F_P x(6xF_I - 14) \ \ para \ \ F_I \geq 3$$

Pela quantificação do dano (D) pode-se estimar o grau de dano do elemento estrutural (e.g., pilares, vigas, lajes) e o grau de dano de elemento ou uma família de elementos estruturais (e.g, conjunto de pilares, vigas, lajes).

DETERIORAÇÃO DOS ELEMENTOS E FAMÍLIA DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

O grau de deterioração de um elemento estrutural é obtido pela seguinte expressão:

$$GDE = D_{máximo}, para\ m \leq 2$$

$$GDE = D_{máximo} + \frac{(\sum_{i=1}^{m} D) - D_{máximo}}{m}, para\ m > 2$$

Em que "*m*" se refere ao número de danos detectados. O valor de $D_{máximo}$ se refere ao máximo dano calculado pelas equações definidas no subitem anterior. Assim, calcula-se o termo D_i (i = 1, 2, …, n), que se refere ao dano de i-elemento estrutural.

A partir desta estimativa, se classifica o grau de deterioração do elemento e as respectivas ações a serem adotadas (Tabela 2). Considerando apenas o grau médio, alto e crítico, excluindo os valores de GDE ≤ 15; calcula-se o grau de deterioração da família de elementos (GDF) por:

$$GDF = \frac{(\sum_{i=1}^{m} GDE_i)}{n}$$

Tabela 2: Classificação dos graus de deterioração do elemento estrutural.

Grau	GDE	Ações a serem adotadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável. Realizar manutenção preventiva.
Médio	15 – 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 2 anos).
Alto	50 – 80	Definir prazo/natureza para inspeção detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 1 ano).
Crítico	> 80	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: adaptado pelos autores a partir de Castro (1994).

Onde "n" se refere a condição para que o número de elementos componentes da família de elementos seja considerado como GDE ≥ 15. A partir da obtenção do valor de GDF, pode-se estimar o grau de deterioração global da estrutura (GDG).

DETERIORAÇÃO GLOBAL DA ESTRUTURA

Para estimar o grau de deterioração global da estrutura (GDG), CASTRO [8] considerou que, diferentes graus de deterioração das diversas famílias de elementos da edificação, afetados diretamente pela respectiva relevância estrutural; são capazes de mostrar o quanto a estrutura está deteriorada. Por esta concepção, pode-se quantificar o valor de GDG pela seguinte equação:

$$GDG = \frac{\sum_{i=1}^{k} F_{r_i}.GDF_i}{\sum F_{r_i}}$$

Onde GDF_i (i = 1, 2, ..., n) é calculado pela equação definida no subitem anterior, cujas qualificações dos graus estão descritas na Tabela 2. Ressalta-se que as ações a serem adotadas são as mesmas referidas na Tabela 3.

Tabela 3: Classificação dos graus de deterioração global da estrutura de concreto armado.

Grau	GDG	Prazo máximo para intervenção estrutural
Baixo	0 – 15	A intervenção estrutural deve ser realizada até 5 anos
Médio	15 – 50	A intervenção estrutural deve ser realizada até 2 anos
Alto	50 – 80	A intervenção estrutural deve ser realizada até 1 ano
Crítico	> 80	A intervenção estrutural deve ser realizada até 6 meses

Fonte: adaptado pelos autores a partir de Castro [8].

O F_{ri} refere-se ao fator de relevância que considera a importância relativa das diversas famílias de elementos estruturais variando de 1 a 5.

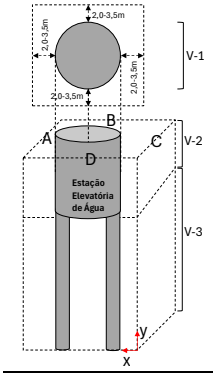
INSPEÇÃO ESTRUTURAL COM AUXÍLIO DE VANT

A ronda sensorial de inspeção estrutural com auxílio de VANT (RIEV) foi caracterizada pela adoção do plano de voo e diagnóstico das manifestações patológicas (aparentes ou sugestivas). O diagnóstico das manifestações patológicas referidas pela Tabela 1 foi realizada por análise de fotos e vídeos de alta resolução dos elementos e família de elementos estruturais. O plano de voo foi definido pelas características da estrutura de concreto inspecionada, nomeadamente estações elevatórias de água (EEA).

Assim, definiu-se um plano de voo para inspecionar seis EEA que integram o sistema de abastecimento de água da cidade de Belém/PA e o patrimônio construído da concessionária de água e esgoto local, por quatro vistas: V-1 (a: vista em planta do reservatório; e, b: vista do fundo do reservatório), V-2 (vista da parte estrutura que constitui o reservatório de água), V-3 (vista da base dos elementos estruturais da EEA).

Considerando quatro faces de inspeção das estruturas (A-B-C-D), efetuou-se voos com VANT nas direções (x) e (y), sendo que para cada vista anteriormente definida, foram obtidos fotos e vídeos de alta resolução dos elementos e família de elementos estruturais de concreto da EEA a partir de uma distância de 2,0 a 3,5 m. A Figura 1 apresenta o esquema do plano de voo e as características das EEA inspecionadas.

Figura 1: Características das estações elevatória de água e definição do plano de voo do VANT para inspeção.

Características	1º Setor	8º Setor	9º Setor	12º Setor	13º Setor
Lati; Long.	-1.4516;-48.49				
Volume total	4.000m³	16.000m³	16.000m³	700m³	1.400m³
Pop. atendida	47.520	224.205	273.720	17.600	106.190
Altura			27m	22m	22m
Quant. de EEA	01	01	01	01	02
Forma	Retangular	Octagonal	Octagonal	Circular	Circular
Plano de Voo 					

Fonte: os autores.

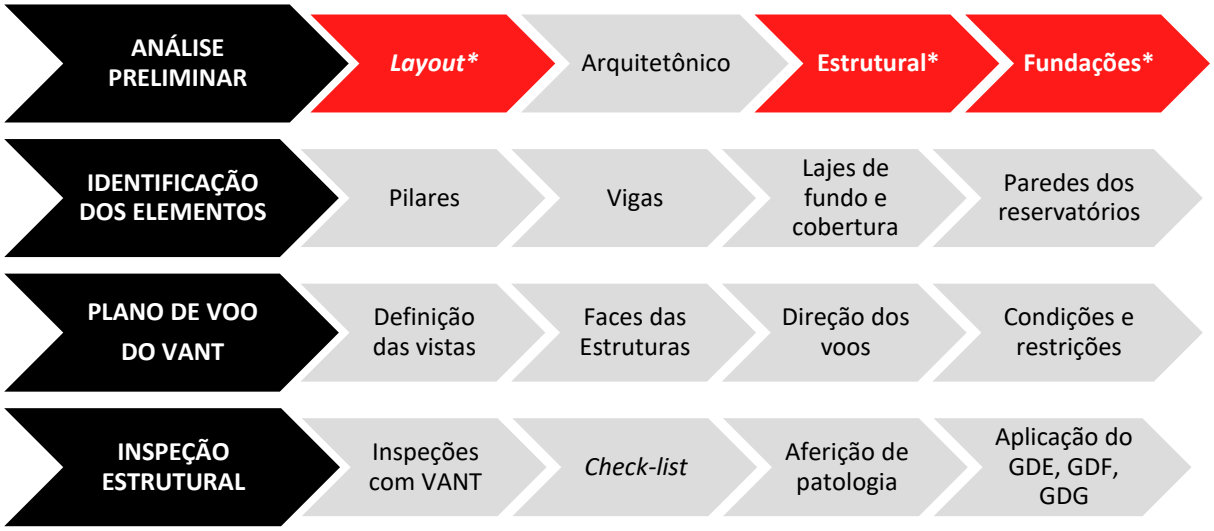
Definido o plano de voo do VANT e caracterizado as EEA de concreto armado a serem inspecionadas, definiu-se o procedimento para ronda sensorial de inspeção estrutural com auxílio de VANT (RIEV) (Figura 2).

Para implementar o RIEV é necessário, inicialmente, efetuar análise preliminar das estruturas a serem inspecionadas, identificar os elementos e famílias de elementos, definir o plano de voo do VANT e realizar o procedimento de inspeção.

Embora não se tenha feito análise preliminar do layout, projeto estrutural e fundações, no ato da inspeção não se constatou quaisquer sugestões de recalques uniformes ou diferenciais na estrutura. Apenas foi disponibilizado pela companhia de saneamento local os detalhes e geometrias das peças estruturais e as características das EEA.

A aplicação da RIEV é antecedida de uma avaliação “in-loco” das condições aparentes dos elementos estruturais das EEA. Esta etapa se apresenta como condição diagnóstica para definir sobre a necessidade de utilização de alguns ensaios destrutivos ou não-destrutivos.

Figura 2: Procedimento para ronda sensorial de inspeção estrutural com auxílio de VANT (RIEV).



Nota: as etapas da RIEV em asterisco não foram executadas. Fonte: os autores.

Em seguida, efetua-se inspeção com auxílio do VANT do tipo "*check-list*", a fim de identificar e mapear as indicações das manifestações patológicas consideradas em CASTRO [8]. Aplica-se a RIEV considerando não haver necessidade de aferições por ensaios como ato confirmatório de manifestações patológicas.

A RIEV está associada à identificação de manifestações patológicas e seus respectivos fatores de intensidade dos danos (lesões) causados aos elementos estruturais, pelo que se calculou o GDE, GDF e GDG.

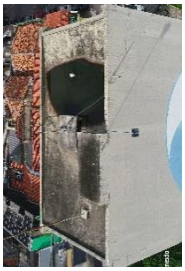
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram apresentados em função de cada uma das EEA inspecionadas pelos setores de abastecimento da cidade de Belém/PA. Deste modo, apresentou-se os graus de dano de cada uma das quatorzes manifestações patológicas consideradas e os graus de deterioração da estrutura de concreto armado das EEA.

A imagens apresentadas nas Figura 3, 4, 5, 6, 7 e 8 foram utilizadas para a determinação do fator de ponderação, atribuído aos elementos das famílias, e para os cálculos dos graus de deterioração da estrutura referente as EEA do 1º, 8º, 9º, 12º e 13º setores. Abaixo das mesmas seguem as manifestações patológicas avaliadas neste estudo ordenadas de 1 a 14, no qual estas constam na Tabela 1 com seus respectivos fatores de ponderação.

Figura 3: Graus de lesão das respectivas manifestações patológicas, GDE, GDF e GDG – EEA do 1º Setor.

V1-a



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V1-b



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

Graus de dano (lesão) associado a cada manifestação patológica

Grau 0 (S/L) | Grau 1 (B) | Grau 2 (M) | Grau 3 (A) | Grau 4 (MA)

Grau de Deterioração Estrutural

	V1-a	V1-b	V2-A	V2-B	V2-C	V2-D	V3-A	V3-B	V3-C	V3-D
$D_{máximo}$	20	4	28	28	8	4	0	0	0	0
$\sum D_i$	40	4	28	58,80	19,60	15,60	0	0	0	0
GDE	30,00	4,00	36,96	42,70	11,20	7,12	0	0	0	0

Baixo (0-15) | Médio (15-50) | Alto (50-80) | Crítico >80

Fonte: autores

Figura 4: Graus de lesão das respectivas manifestações patológicas, GDE, GDF e GDG – EEA do 8º Setor.

V1-a



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

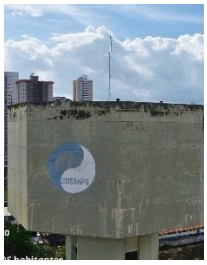
V1-b



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

Graus de dano (lesão) associado a cada manifestação patológica

Grau 0 (S/L) | Grau 1 (B) | Grau 2 (M) | Grau 3 (A) | Grau 4 (MA)

Grau de Deterioração Estrutural

	V1-a	V1-b	V2-A	V2-B	V2-C	V2-D	V3-A	V3-B	V3-C	V3-D
$D_{máximo}$	40	4	40	40	40	4	0	0	0	0
$\sum D_i$	53,6	9,6	60,4	60,4	60,4	6,8	0	0	0	0
GDE	50,72	7,2	50,07	50,07	50,07	4	0	0	0	0

Baixo (0-15) | Médio (15-50) | Alto (50-80) | Crítico >80

Fonte: os autores.

Figura 5: Graus de lesão das respectivas manifestações patológicas, GDE, GDF e GDG – EEA do 9º Setor.

V1-a



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V1-b



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

Graus de dano (lesão) associado a cada manifestação patológica

Grau 0 (S/L) Grau 1 (B) Grau 2 (M) Grau 3 (A) Grau 4 (MA)

Grau de Deterioração Estrutural

	V1-a	V2-b	V2-A	V2-B	V2-C	V2-D	V3-A	V3-B	V3-C	V3-D
$D_{máximo}$	20	0	5,6	2,8	5,6	2,8	0	0	0	0
$\sum D_i$	26,8	0	14	7,6	18	7,6	0	0	0	0
GDE	28,93	0	9,10	5,33	9,20	5,33	0	0	0	0

Baixo (0-15) Médio (15-50) Alto (50-80) Crítico >80

Fonte: os autores

Figura 6: Graus de lesão das respectivas manifestações patológicas, GDE, GDF e GDG – EEA do 12º Setor.

V1-a



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V1-b



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

Graus de dano (lesão) associado a cada manifestação patológica

Grau 0 (S/L) | Grau 1 (B) | Grau 2 (M) | Grau 3 (A) | Grau 4 (MA)

Grau de Deterioração Estrutural

	V1-a	V1-b	V2-A	V2-B	V2-C	V2-D	V3-A	V3-B	V3-C	V3-D
$D_{máximo}$	50	4	50	4	4	4	4	4	4	4
$\sum D_i$	79,6	23,63	79,6	8,8	25,6	8,8	4	4	4	4
GDE	61,37	7,37	61,37	6,93	7,66	6,93	4	4	4	4

Baixo (0-15) | Médio (15-50) | Alto (50-80) | Crítico >80

Fonte: autores

Figura 7: Graus de lesão das respectivas manifestações patológicas, GDE, GDF e GDG – EEA (1) do 13º Setor.

V1-a



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V1-b



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

Graus de dano (lesão) associado a cada manifestação patológica

Grau 0 (S/L) Grau 1 (B) Grau 2 (M) Grau 3 (A) Grau 4 (MA)

Grau de Deterioração Estrutural

	V1-a	V1-b	V2-A	V2-B	V2-C	V2-D	V3-A	V3-B	V3-C	V3-D
$D_{máximo}$	7,2	0	5,6	4	4	4	0	0	0	0
$\sum D_i$	16,8	0	16,6	13,6	11,6	11,6	0	0	0	0
GDE	12,80	0	16,6	13,6	11,6	11,6	0	0	0	0

Baixo (0-15) Médio (15-50) Alto (50-80) Crítico >80

Fonte: autores

Figura 8: Graus de lesão das respectivas manifestações patológicas, GDE, GDF e GDG – EEA (2) do 13º Setor.

É possível observar na Imagem V3-C uma inclinação na estrutura, sendo está apenas uma falha na coleta da imagem, o que não impede a análise das manifestações patológicas apresentadas na estrutura.

V1-a



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V1-b



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V2-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-A



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-B



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-C



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

V3-D



Manifestação Patológica

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	

Graus de dano (lesão) associado a cada manifestação patológica

Grau 0 (S/L) Grau 1 (B) Grau 2 (M) Grau 3 (A) Grau 4 (MA)

Grau de Deterioração Estrutural

	V1-a	V1-b	V2-A	V2-B	V2-C	V2-D	V3-A	V3-B	V3-C	V3-D
$D_{máximo}$	5,6	0	4	8	0	0	0	0	0	0
$\sum D_i$	13,6	0	11,6	18,4	0	0	0	0	0	0
GDE	10,1	0	6,90	12,0	0	0	0	0	0	0

Baixo (0-15) Médio (15-50) Alto (50-80) Crítico >80

Fonte: autores

DETERIORAÇÃO E INTERVENÇÃO ESTRUTURAL DAS EEA

A partir dos graus de deterioração dos elementos e famílias estruturais é possível determinar o Grau de Deterioração Global das estruturas (GDG). Definido os GDG é determinado os prazos de intervenções estruturais. A Tabela 4 apresenta os GDG de cada EEA e o prazo de intervenção nas estruturas destas estações.

Tabela 4: Classificação dos graus de deterioração global das EEA em concreto armado.

EEA	Deterioração	Prazo máximo para intervenção estrutural
1º Setor	MÉDIO	A intervenção estrutural deve ser realizada até 2 anos
8º Setor	ALTO	A intervenção estrutural deve ser realizada até 1 ano
9º Setor	BAIXO	A intervenção estrutural deve ser realizada até 5 anos
12º Setor	ALTO	A intervenção estrutural deve ser realizada até 1 ano
13º Setor	BAIXO	A intervenção estrutural deve ser realizada até 5 anos
13º Setor	BAIXO	A intervenção estrutural deve ser realizada até 5 anos

Após realizada a RIEV e calculado o GDE, GDF e GDG e determinado os prazos de intervenções nas EEA, obtivemos os seguintes resultados.

As estações elevatórias do 9º e 13º setor obtiveram os GDG classificados em grau baixo, apresentando estruturas em bom estado de conservação e manifestações patológicas com fatores de ponderação baixos a médios, em que o prazo de intervenção estrutural para tratamento das manifestações patológicas é de até 5 anos.

O 1º setor apresentou um GDG classificado em grau médio, apresentando uma estrutura com deteriorações consideráveis e com fatores de ponderação médios a altos, onde o prazo de intervenção estrutural para tratamento das manifestações patológicas apresentadas seja de até 2 anos.

O 8º e 12º setores exibem os GDG classificados em grau alto, onde constatado que as suas estruturas possuem um estado de conservação deteriorado, com fatores de ponderação altos, resultando em um prazo de intervenção de até 1 ano.

Os prazos apresentados estipulam um período máximo de intervenção nas estruturas, para garantir a segurança das EEA avaliadas nesse estudo e o entorno das mesmas.

Ao todo neste estudo foram avaliadas 6 EEA em 5 setores, onde obtivemos que em 3 das 6 EEA apresentaram um GDG baixo com estrutura bem preservadas, 1 das estações apresentou um GDG médio onde sua estrutura conta com algumas deteriorações, porém ainda apresentando um bom estado de conservação. Por fim, 2 estações apresentaram os um GDG alto, alertando para a saúde destas estruturas e para a falta de manutenção das mesmas, onde é necessária uma intervenção iminente.

Ao realizarmos a RIEV foi possível observar que a manifestação patológica número 7 (eflorescência) é comum a todas as estações, uma das causas dessa manifestação patológica deve-se ao processo construtivo das EEA que ainda é feito de forma rudimentar, se utilizando de técnicas e etapas construtivas consolidadas, porém já ultrapassadas. Por serem estruturas que muitas vezes apresenta formas geométricas diferentes das convencionais (formato retangular) e por apresentarem grandes dimensões, tem-se a necessidade de realizar uma concretagem em etapas, principalmente nas paredes do reservatório, gerando assim juntas frias entre as peças concretadas, essas juntas também se formam no encontro entre lajes e paredes do reservatório, como é possível observar nas imagens utilizadas para determinação do fator de ponderação.

Após a concretagem é realizada a impermeabilização do reservatório, onde por vezes é feita sem qualquer tratamento prévio dessas juntas. Com o decorrer do uso e a falta de um plano de manutenção o sistema de impermeabilização se sobrecarrega, o que pode ocasionar infiltrações nas paredes do reservatório e no encontro com as lajes. Apresentando assim diversas manifestações patológicas, como exemplo a eflorescência. Além disso, essas infiltrações podem ocasionar danos nas armaduras destas estruturas, visto que as paredes e lajes apresentam armaduras passivas em sua composição (ou ativas quando for o caso).

CONCLUSÕES

Após realizada a RIEV e calculado o GDE, GDF e GDG foi viável determinar os prazos de intervenções nas estruturas citadas onde duas das seis EEA apresentam um GDG alto, no qual será necessário intervir no prazo máximo de até 1 ano, uma estação apresentou um GDG médio com intervenção estipulada para o prazo máximo de até 2 anos, e por fim três EEA apresentaram um GDG baixo no qual estas precisarão de intervenção no prazo máximo de até 5 anos (poderia estar indicado nos resultados e discussões).

A partir dos prazos de intervenções é possível determinar para as EEA analisadas um plano de manutenção para os sistemas estruturais em ordem de prioridade de intervenção, e com ações a serem tomadas a fim de assegurar o desempenho e a vida útil das estruturas. É necessário que se crie um plano de aço obedecendo os prazos máximos determinados para que não haja um aumento no GDG das EEA.

A metodologia GDE_UnB se mostrou, satisfatoriamente, capaz de quantificar o estado de deterioração das EEA da área urbana de Belém/PA. A utilização de VANT como auxílio para identificar as manifestações patológicas apresentadas nas EEA, foi de suma importância na análise desse estudo.

Ressalta-se que a metodologia GDE_UnB foi utilizada com base em análises visuais e com determinação de valores sugestivos, podendo ter o GDE, GDF e GDG alterados conforme a análise do profissional.

REFERÊNCIAS

[1] PARROTT, L. J. **Design for avoiding damage due to carbonation-induced corrosion**. Construction and Building Materials, 8(4), 229-241. 1994.

[2] SANCHEZ, M.; SOUZA, R. **Durability of reinforced concrete structures**. Journal of Materials in Civil Engineering, 23(11), 1589-1599. 2011.

[3] DHIR, R. K.; HEWLETT, P. C.; JONES, M. R. **Advanced Concrete Technology: Processes.** Butterworth-Heinemann. 2019.

[4] MEIRA, G. R. **Corrosão de Armaduras em Estruturas de Concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. 1ª edição, editora do IFPB, João Pessoa-PB, 2017

[5] HELENE, P. R. **Contribuição do estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo: Universidade de São Paulo escola Politécnica.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16747/2020**: INSPEÇÃO PREDIAL - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro, 2020

[7] GOMIDE, T. L. F., DELLA FLORA, S. M., BRAGA, A., GULLO, M., FAGUNDES NETO, J. C. P. **MANUAL DE ENGENHARIA DIAGNÓSTICA: desempenho, manifestações patológicas e perícias na construção civil**. São Paulo, 2021.

[8] CASTRO, E.K**. Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**. Dissertação de Mestrado em Estruturas. Universidade de Brasília, Brasília/DF, 1994.

[9] KLEIN, D., GASTAL, F., CAMPANOLO, J.L & SILVA FILHO, L. C.. **Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte.** In: XXV Jornada Sul-Americana de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, pp.185–196, novembro, 1991.