

TECNOLOGIA, AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE

Coletânea de Artigos

Organizadores:

João da Costa Pantoja
Márcio Augusto Roma Buzar
Naiara Guimarães de Oliveira Porto



Universidade de Brasília

	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Reitora: Vice-Reitor: Decana de Pesquisa e Inovação: Decanato de Pós Graduação:	Márcia Abrahão Moura Henrique Huelva Maria Emília Machado Telles Walter Lucio Remuzat Rennó Junior
Diretor da FAU Vice Diretoria da FAU Coordenadora de Pós-Graduação: Coordenadora do LaSUS: Coordenador do LaBRAC:	FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - UnB Marcos Thadeu Queiroz Magalhães Cláudia da Conceição Garcia Luciana Saboia Fonseca Cruz Marta Adriana Bustos Romero João da Costa Pantoja
Coordenação de Produção Editorial, Preparação, Revisão e Diagramação: Capa:	João Vitor Lopes Lima Farias Ana Luiza Alves de Oliveira Stefano Galimi
Conselho Editorial	Humberto Salazar Amorin Varum Osvaldo Luiz de Carvalho Souza Yara Regina Oliveira Paulo de Souza Tavares Miranda
Organização:	João da Costa Pantoja Marcio Augusto Roma Buzar Naiara Guimarães de Oliveira Porto

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Tecnologia, ambiente e sustentabilidade [livro eletrônico] : coletânea de artigos / organização João da Costa Pantoja , Marcio Augusto Roma Buzar , Naiara Guimarães de Oliveira Porto. -- 1. ed. -- Brasília, DF : LaSUS FAU : Editora da Universidade de Brasília-UnB, 2021.
ePDF

ISBN 978-65-992384-4-4

1. Artigos - Coletâneas 2. Meio ambiente 3. Sustentabilidade ambiental 4. Tecnologia I. Pantoja, João da Costa. II. Buzar, Marcio Augusto Roma. III. Porto, Naiara Guimarães de Oliveira.

21-63042
CDD-660.02

Índices para catálogo sistemático:

1. Tecnologia 660.02 Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

1ª Edição

FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / LaSUS – Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo.
Caixa Postal 04431, CEP 70842-970 – Brasília-DF. Telefones: 55 61 3107-7458. Email: lasus@unb.br / www.lasus.unb.br

ORGANIZADORES E AUTORES

João da Costa Pantoja | Organizador e Autor | Brasil

Márcio Augusto Roma Buzar | Organizador e Autor | Brasil

Naiara Guimarães de Oliveira Porto | Organizador e Autor | Brasil

Alexandre M C Dutra | Autor | Brasil

Ana Luiza Alves de Oliveira | Autor | Brasil

Clarice C. D. da Silva | Autor | Brasil

Daniel Richard Sant'Ana | Autor | Brasil

Eduardo Bicudo de Castro Azambuja | Autor | Brasil

Francisco Afonso de Castro Júnior | Autor | Brasil

Hillary Damaceno de Brito | Autor | Brasil

Hugo Rodrigues Pinheiro | Autor | Portugal

Iberê Pinheiro de Oliveira | Autor | Brasil

Igor Rafael Mendes Guimarães Alcantara | Autor | Brasil

Joára Cronemberg Ribeiro Silva | Autor | Brasil

Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa | Autor | Brasil

Louise Boeger Viana dos Santos | Autor | Brasil

Luiza Teixeira Naili | Autor | Brasil

Mafalda Fabiene Ferreira Pantoja | Autor | Brasil

Marcelo Aquino Corte Real da Silva | Autor | Brasil

Márcio Busón | Autor | Brasil

Pedro Pantoja Luz | Autor | Brasil

Philipe Queiroz Rodrigues | Autor | Brasil

Rudi Sato Simões | Autor | Brasil

Thaís Aurora Vilela Sancho | Autor | Brasil

Stefano Galimi | Autor | Brasil

Valmor Cerqueira Pazos | Autor | Brasil

Victor Villar de Queiroz Milani | Autor | Brasil

Vitor Ramos de Quadros | Autor | Brasil

Wender Camico Costa | Autor | Brasil

ÍNDICE

Tema 1 - Estruturas e Arquitetura

- I - Manutenção de helipontos elevados - Plataformas de distribuição de cargas em estruturas de concreto/aço instaladas em edifícios já construídos 07
- II - A ponte de ferro de Cachoeiro do Itapemirim..... 28
- III - Caracterização dos blocos de apartamento da Colina Velha na Universidade de Brasília: História, arquitetura, pré-moldado, sistemas estruturais e patologias 47
- IV - Arquitetura de madeira roliça brasiliense: Um estudo de caso, Maloca e academia Unique 83
- V - Aplicação do método de bielas e tirantes em vigas de equilíbrio na ferramenta Cast 97

Tema 2 - Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente construído

- VI - Edificações de porte monumental de arquitetura modernista: Uma contribuição para a avaliação Acústica 119
- VII - Técnicas de auditoria do consumo de água: Relatos de experiência em campo 142
- VIII - Elaboração de algoritmo de uso e ocupação do solo para terrenos do Distrito Federal - Brasill 157
- IX - Aproveitamento de águas pluviais em edificações públicas: O caso da procuradoria geral da república 180
- X - Análise de uma cobertura paramétrica de bambu composta por paraboloides hiperbólicos 194
- XI - Análise da ventilação natural e de qualidade do ar interno: Hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte 206

Tema 3 - Tecnologia de Produção do Ambiente Construído

- XII - Trincas em sistemas de vedação decorrentes da resistência do concreto 229
- XIII - Avaliação probabilística do nível de segurança e durabilidade de estruturas existentes em concreto armado 241
- XIV - A conservação do patrimônio moderno através das práticas de retrofit na infraestrutura urbana de Brasília..... 261
- XV - A influência da fabricação digital junto ao design aberto nas novas gerações de produtos 283
- XVI - Degradação e processo de recuperação de obra de infraestrutura: Viaduto Galeria dos Estados..... 302

TEMA 3: TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Estudos relacionados à tecnologia de materiais, componentes, elementos, sistemas e processos, no âmbito da construção e sua materialização, envolvendo inovação tecnológica, aperfeiçoamento das técnicas construtivas e de produção, industrialização da construção, prototipagem e fabricação digitais. Avaliação da qualidade construtiva visando os estudos do estado de conservação, desempenho e vida útil das edificações, assim como a manutenção e reabilitação do ambiente construído.

Artigos:

- XII. *Trincas Em Sistemas De Vedação Decorrentes Da Resistência Do Concreto*
Oliveira, I.; Pantoja, J.; Buzar, M.
- XIII. *Avaliação Probabilística Do Nível De Segurança E Durabilidade De Estruturas Existentes Em Concreto Armado – Aplicação Em Um Reservatório Elevado*
Porto, N.; Pantoja, J.; Pinheiro, H.
- XIV. *A Conservação Do Patrimônio Moderno Através Das Práticas De Retrofit Na Infraestrutura Urbana De Brasília*
Galimi, S.; Buzar, M.; Pantoja, J.; Naili, L.
- XV. *A Influência Da Fabricação Digital Junto Ao Design Aberto Nas Novas Gerações De Produtos*
Milani, V.; Pantoja, J.; Busón, M.
- XVI. *Degradarão E Processo De Recuperação De Obra De Infraestrutura: Viaduto Galeria Dos Estados*
Costa, W.; Pantoja, J.; Buzar, M.; Junior, Francisco

XIII

AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA DO NÍVEL DE SEGURANÇA E DURABILIDADE DE ESTRUTURAS EXISTENTES EM CONCRETO ARMADO – APLICAÇÃO EM UM RESERVATÓRIO ELEVADO

PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE SAFETY LEVEL AND DURABILITY OF EXISTING STRUCTURES IN REINFORCED CONCRETE – APPLYING TO A WATER TOWER

Naiara Guimarães de Oliveira Porto

Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil
Coimbra, Portugal
naiarag.porto@gmail.com
<http://lattes.cnpq.br/6135239439660296>

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Brasília – DF, Brasil
joaocpantoja@gmail.com
<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

Hugo Rodrigues Pinheiro

Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil
Aveiro, Portugal
hrodrigues@ua.pt

Resumo: A dificuldade em associar análises e cálculos ao desempenho efetivo de estruturas existentes expressa a carência de metodologias que consigam demonstrar, quantitativamente, o real comportamento destas estruturas e seus componentes. Sendo assim, o presente trabalho apresenta uma metodologia probabilística que associa confiabilidade à processos de inspeção e avaliação de estruturas existentes em concreto armado. A avaliação estrutural é baseada no estudo dos danos de cada elemento da estrutura, que são observados por meio de inspeções visuais, com registros das patologias e condições de uso, e ensaios in situ e/ou em laboratórios. A metodologia proposta permite que sejam analisados os níveis de criticidade dos danos, como modelo de integridade de deterioração da estrutura, acoplado aos seus níveis de segurança, por meio de confiabilidade. Como resultado, tem-se um diagnóstico dos processos de degradação presentes e o nível de segurança da estrutura e seus componentes, de forma a entender e prever possíveis comportamentos do sistema. Para exemplificar o que está sendo apresentado, será utilizado um reservatório em concreto armado.

Palavras-chave: estruturas existentes, durabilidade, concreto armado, confiabilidade

Abstract: The difficulty in associating analysis and calculations with the effective performance of existing structures expresses the lack of methodologies that demonstrate, quantitatively, the real behavior of these structures and their elements. Therefore, the present paper introduces a probabilistic methodology that associates reliability with inspection processes and assessment of existing structures in reinforced concrete. The structural assessment is based on

damages study of each structure element, which are observed by visual inspections with records of the pathologies and conditions of use, and in situ or laboratory tests. The methodology suggested allows analysis of the critical damage levels, as an integrity model of the structure deterioration and its elements, linked to their safety levels by reliability. The result is a diagnosis of the degradation processes and the structure safety level and its elements, in a way of understanding and preventing possible behaviors of the system. As an example of what is being presented, a reinforced concrete water tower will be used.

Keyword: existing structures, reinforced concrete, durability, pathologies, reliability

1 INTRODUÇÃO

O estudo de estruturas existentes requer análises distintas de um processo de dimensionamento de uma nova estrutura, no qual permite a escolha de um sistema estrutural adequado às necessidades de projeto e em conformidade aos materiais escolhidos. Já em estruturas existentes verificam-se novas necessidades da estrutura, decorrentes do seu uso, processos de degradação e, até mesmo, de erros provenientes de projetos e/ou execução. De fato, todas as estruturas irão se deteriorar ao longo do tempo, podendo apresentar modificações em seu desempenho, na aparência da estrutura e no seu funcionamento em serviço, mesmo sob condições usuais (*fib* Bulletin 62, 2010).

Para garantir a segurança na reabilitação de uma estrutura existente é essencial o conhecimento a cerca da sua estrutura e seus elementos, além da revisão de informações sobre sua utilização. Ainda sim, persistem-se as dificuldades na intervenção destas estruturas, em virtude da complexidade das ações que devem ser tomadas em um ambiente já construído, em que grande parte das vezes não há documentação e/ou regulamentação sobre o assunto.

Nesse contexto, empresas e profissionais estão cada vez mais interessados em novas soluções e tecnologias que assegurem a segurança da estrutura, juntamente com sua durabilidade, de maneira a reduzir as intervenções e os custos relacionados. Entendendo essas necessidades, metodologias e procedimentos são utilizados para auxiliar o profissional no diagnóstico e na reabilitação das estruturas existentes. Entretanto, ainda existe o obstáculo do julgamento técnico da capacidade dessas metodologias, devido ao grande número de parâmetros a serem considerados.

É então proposta uma metodologia de avaliação probabilística, que acople

parâmetros de confiabilidade à segurança estrutural das estruturas existentes em concreto armado. A metodologia em questão alcança os resultados dos níveis críticos de segurança da estrutura e seus elementos por meio dos graus de deterioração identificados, em que as análises são feitas com base em inspeções e um programa de análise estrutural.

Inicialmente será feita a parametrização da metodologia Gde/UnB, proposta por Castro (1994), de forma a viabilizar o seu acoplamento aos índices de confiabilidade. Logo, é realizável uma análise linear baseada na influência do processo de deterioração da estrutura, obtendo-se a redução do seu nível de segurança estrutural.

Um exemplo de um reservatório elevado em concreto armado é descrito e detalhado de forma a mostrar a capacidade e as limitações da metodologia. De forma geral, a metodologia proposta facilita a tomada de decisão do profissional em um processo de avaliação e reabilitação estrutural.

2 AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES

O estudo e análise de estruturas existentes engloba o entendimento e as implicações que a deterioração causa nos níveis de segurança da estrutura, traduzindo-se em um processo complexo em busca da estabilidade estrutural. É importante salientar que a durabilidade da estrutura está ligada não somente às suas características e aos materiais que a compõe, mas também à sua interação com o ambiente. Por via de regra, quase todos os mecanismos de deterioração ocorrem com o decorrer do tempo (*fib* Bulletin 213/214, 1993). Um modelo básico de duas etapas, fase de iniciação e fase de propagação, aplica-se ao processo de deterioração de uma estrutura, de acordo com a Figura 1.

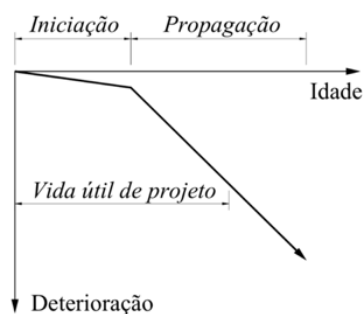


Figura 1. Modelo de deterioração [3]

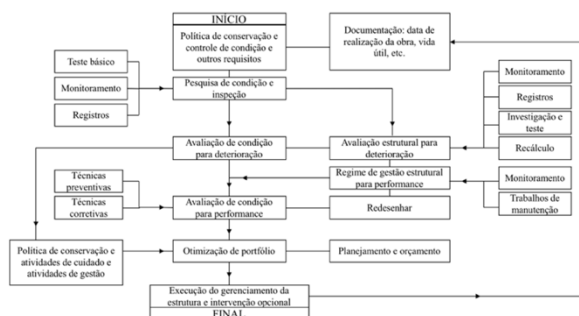


Figura 2. Principais atividades envolvidas em avaliação de estruturas existentes [1]

A fase de iniciação representa o princípio da perda das barreiras de proteção da estrutura, causada pelo ambiente, mas ainda sem sinais visíveis de deterioração ou redução da sua resistência e/ou dos seus materiais. Já na fase de propagação ocorre a rápida progressão da deterioração, podendo ser notada por sinais externos. De forma análoga a este modelo de deterioração está o modelo de Tuutti (1982), que será mencionado posteriormente e é aplicável à corrosão das armaduras do concreto armado.

Estendendo-se para o processo de reabilitação, decorre que a intervenção tem o seu objetivo fundado na existência de anomalias na estrutura, em que a preservação da infraestrutura e o aumento da vida útil são essenciais. Como o foco deste trabalho é uma estrutura existente de um reservatório elevado de água, é importante compreender que o processo de reabilitação deste tipo de estrutura interfere diretamente na vida das pessoas, requerendo, além de um projeto que satisfaça os requisitos estruturais e de durabilidade, uma elaboração de um plano de intervenção que consiga encontrar meios e recursos eficientes e com custos reduzidos.

A Figura 2 traz uma série de atividades e procedimentos para avaliação de estruturas existentes, que associados às metodologias capazes de quantificar processos de deterioração, possibilitam projetar estruturas com vida útil mais realista. Modelos para análise de durabilidade da estrutura, com sistemas de classificação estrutural que utilizem parâmetros e pesos nos fatores que geram a perda do desempenho da estrutura (fib Bulletin 243, 1998; Chew et. al, 2004; Flourentzou et. al, 1999) têm sido propostos nos últimos anos. Porém, o uso desses modelos em casos práticos ainda é deficiente.

Isto posto, é fundamental que exista a interação entre o estudo dos fenômenos de degradação e a avaliação da resistência estrutural em formulações claras e acessíveis. Optou-se, então, pelo uso da metodologia Gde/UnB (Castro, 1994), com as modificações apresentadas a seguir, para a avaliação do grau de deterioração e de integridade dos elementos estruturais de uma estrutura existente. Trazendo, de forma simplificada, a possibilidade de acoplamento a softwares estruturais.

3 METODOLOGIA GDE/UNB

Sabe-se que todas edificações em concreto armado vão sofrer deteriorações

ao longo do tempo. Porém, a falta, ou ausência, de um programa de manutenção preventiva se tornou um dos principais fatores para a manifestação de danos nas estruturas, desencadeando à profissionais a incumbência de investigação dos conceitos de durabilidade e vida útil. Estes conceitos estão diretamente ligados aos efeitos e custos de reparos, e seu estudo possibilita a descoberta prematura de eventuais problemas estruturais. A parametrização relativa à manutenção estrutural, porém, ainda está caminhando para ter a mesma atenção das normas de projetos e execução, que têm como base a durabilidade das estruturas.

Para auxiliar no estudo de estruturas existentes e na manutenção de estruturas de concreto armado, a metodologia para avaliação da durabilidade de concreto armado Gde/UnB (Castro, 1994), parametrizada, foi escolhida. O seu objetivo é avaliar, quantitativamente, o grau de deterioração de elementos isolados e da estrutura como um todo, fundamentando-se em parâmetros que considerem as manifestações de danos mais frequentes, sua evolução e a influência do meio ambiente em que se encontra a estrutura.

A metodologia tem como base um programa de inspeções sistemáticas que consiga identificar a necessidade, o momento correto e a extensão da intervenção em uma estrutura, sendo que as inspeções devem considerar aspectos de segurança, funcionalidade e estética, estando estes atrelados às condições ambientais e ao tempo de utilização. Inicialmente são realizadas as inspeções periódicas nas estruturas de concreto armado, por um profissional da área com informações básicas sobre a estrutura, seguido de um esquema apresentado no fluxograma da Figura 3 e baseando em um caderno de inspeção* com informações básicas sobre a estrutura e diversas matrizes que reúnem os dados necessários do fluxograma.

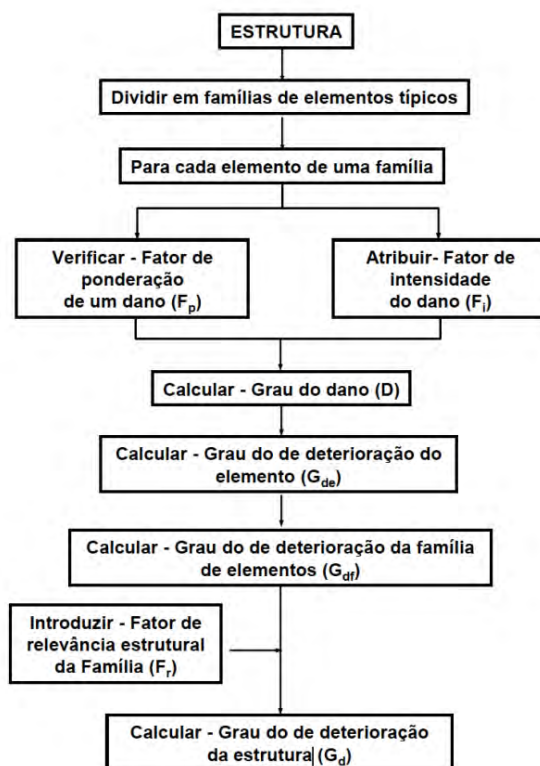


Figura 3. Fluxograma da metodologia para o cálculo de grau de deterioração da estrutura

4 METODOLOGIA GDE/UNB PARAMETRIZADA

De forma a auxiliar o estudo de estruturas existentes, bem como a manutenção de estruturas de concreto armado, optou-se pelo uso da metodologia Gde/Unb parametrizada. O propósito é a quantificação do grau de deterioração da estrutura e de seus elementos de forma isolados, baseando-se em parâmetros de manifestação e evolução de danos, pela ação do ambiente em que a estrutura está inserida.

De acordo com Pantoja (et. al, 2018), para fazer a adequação das variáveis existentes, é preciso realizar um processo de parametrização no qual seja possível adotar diferentes escalas juntamente com outros tipos de avaliações. As modificações a serem feitas para a avaliação do grau de deterioração serão descritas a seguir e tem como intuito chegar à integridade dos elementos estruturais. Ressalta-se que as escalas de valores propostos pelo trabalho original são mantidas, uma vez que representam a contribuição dos autores sobre os fenômenos atuantes no processo de deterioração da estrutura. A Tabela 1 apresenta os valores, referentes ao exemplo que será abordado no item 6, dos fatores da metodologia Gde/Unb parametrizados.

Tabela 1. Parametrização dos fatores da metodologia Gde/UnB. (Fonte: gerado pela autora)

Fator de Ponderação (Fp)				Fator de Intensidade	
Tipo de degradação	Pilar	Parede	Laje	Gravidade	Fi
Lixiviação	0,5	0,7	0,7	Sem lesões	0
Esfoliação	0,8	1	1	Lesões leves	0,25
Desagregação	0,7	0,7	0,7	Lesões toleráveis	0,5
Cobrimento Deficiente	0,6	0,7	0,7	lesões graves	0,75
Manchas de Corrosão	0,7	0,9	0,9	Lesões intoleráveis	1
Fissuras	1	1	1		
Carbonatação	0,7	0,7	0,7		
Vazamento	1	1	1		
Impermeabilização Danificada	0,8	0,8	0,8		

Fator de Relevância Estrutural			
Tipo de Classe	F_R	Tipo de Família	F_R
Pilares	0,33	Nível 1	0,143
Laje inferior do reservatório	0,27	Nível 2	0,143
Paredes	0,2	Nível 3	0,143
Lajes	0,13
Tampa do reservatório	0,07	Nível 7	0,143

$\sum F_{Ri} = 1$

Para transformação do grau de dano (D) em fatores de integridade e para conectar a metodologia aos valores dos índices de confiabilidade nas estruturas existentes, é necessária uma parametrização no modelo de Tuutti (1982), de acordo com a Figura 4.

Assim temos,

$$Integr = [1 - D(F_i, F_p)] \tag{1}$$

Essa transformação é necessária para ser utilizada como ponderadora da resistência junto à matriz de rigidez dos elementos. Para consideração dos fatores de integridade de cada elemento de uma mesma classe, considera-se uma média direta de todos os danos presentes no elemento, diferentemente da versão original. Sendo assim, apenas valores de $D(F_i, F_p)$ maiores que 0,2 serão contabilizados. Isso visa evitar disfarçar valores superiores na presença de outros menores. Para uma classe/família de elementos deve-se também determinar uma média dos valores. Finalmente, para os valores de integridade da estrutura completa, deverão ser definidos pesos para as classes e famílias, de acordo com sua importância estrutural.

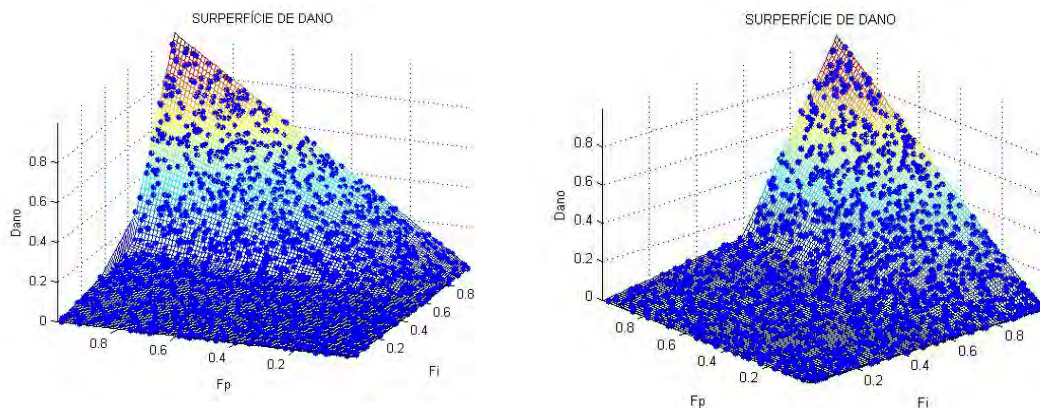


Figura 4. Superfície de dano com base no modelo de Tuutti (Fonte: gerado pela autora)

5 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SEGURANÇA VIA CONFIABILIDADE

O acoplamento do nível de segurança é feito de forma simples, seguindo a hipótese de que a variação do índice de confiabilidade dos elementos, classes, famílias e da estrutura segue a mesma ordem de comportamento que o fator de integridade.

$$\beta \approx \text{Integridade } (F_i, F_p) \cdot \varphi \quad (2)$$

Os valores mínimo e máximo de φ , que representa o nível de confiabilidade dos elementos, seguem os valores de referência para estruturas existentes, presentes na Tabela 2.

Tabela 2. Índices de confiabilidade de referência [1]

Classe de consequência	Período Mínimo de referência para estruturas existentes	β Nova		β Reparada		β Existente	
		WN	WD	WN	WD	WN	WD
CCO	1 ano	3.3	2.3	2.8	1.8	1.8	0.8
CC1 - Baixa	15 anos	3.3	2.3	2.8	1.8	1.8	1.1
CC2 - Média	15 anos	3.8	2.8	3.3	2.5	2.5	2.5
CC3 - Alta	15 anos	4.3	3.3	3.8	3.3	2.5	3.3

Classes de 0 a 1 (CCO e CC1) - aplicadas apenas em situações onde não houver dano humano envolvido

WN - Forças devido ao vento não são dominantes

WD - Forças devido ao vento são dominantes

De forma que:

$$P(C/I) = \frac{P(C \cap I)}{P(I)} \quad (3)$$

O agrupamento do índice de confiabilidade de cada família, para a obtenção do índice de confiabilidade estrutural, segue a regra de probabilidade condicionada.

6 APLICAÇÃO EM UM EXEMPLO

Neste trabalho será realizada a análise e aplicação da metodologia, apresentada anteriormente, em um reservatório elevado de água (Figura 5), com a finalidade de encontrar o nível de criticidade que a estrutura e seus elementos se encontram e, por último, realizar uma análise linear da estrutura.



Figura 5. Fotografia do reservatório elevado de água

A divisão do reservatório foi feita em famílias, classes e elementos, em que as famílias se subdividem nos níveis do reservatório, como mostra a Figura 6.

As patologias identificadas na estrutura, por meio de vistoria e ensaios, encontram-se resumidas na Tabela 3.

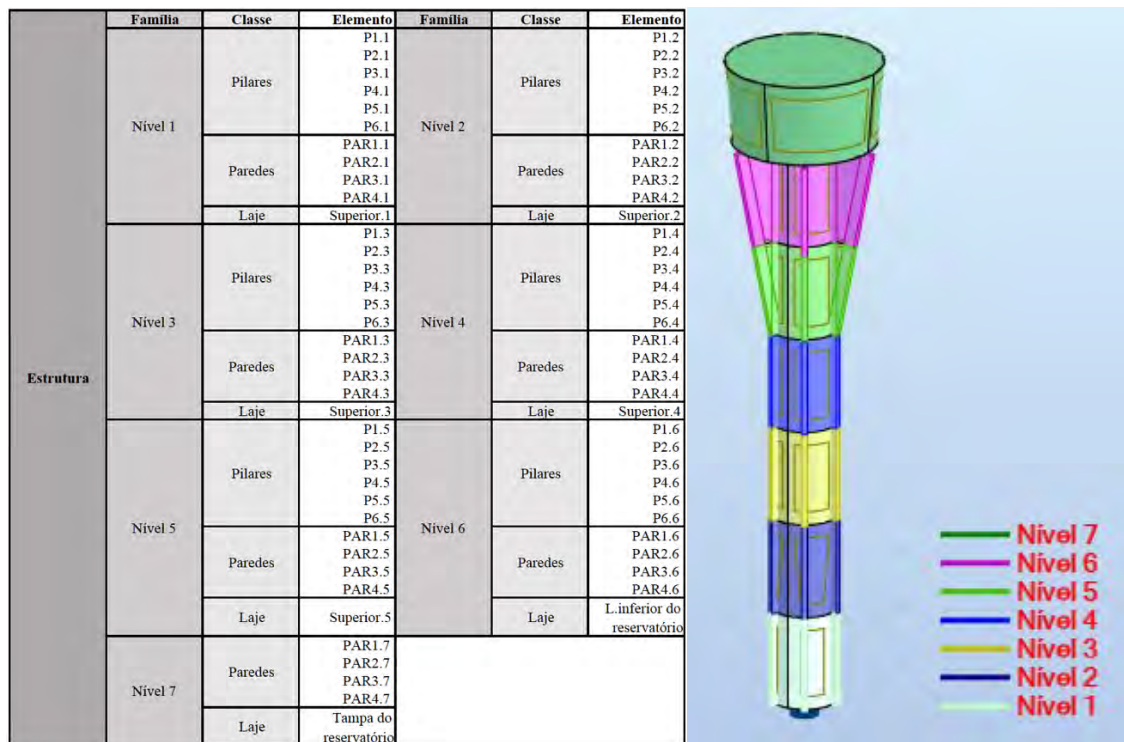


Figura 6. Divisão da estrutura e de seus níveis com modelagem feita no programa Robot Structural Analysis. (Fonte: Gerado pela autora)

Tabela 3. Resumo das patologias presentes no reservatório (Fonte: gerado pela autora)

NÍVEL	PATOLOGIAS	CAUSAS	CONSEQUÊNCIAS
1	Armadura exposta	Carbonatação Penetração de cloretos Lixiviação Fissuras Falta de manutenção Contato das peças com água da chuva	Corrosão das armaduras de concreto armado (dano estrutural) Corrosão de elementos metálicos (dano não estrutural)
	Destacamento do recobrimento		
2	Armadura exposta		
	Destacamento do recobrimento		
3	Armadura exposta		
4	Armadura exposta		
5	Armadura exposta		
6	Armadura exposta		
	Destacamento do recobrimento		
	Concreto degradado		
7	Perda de Estanqueidade	Falta de manutenção Porosidade do concreto Fendas nas juntas de betonagem Fissuras	Dano estrutural e não estrutural

elementos e classes igual à 1.

Para o cálculo do grau de deterioração da estrutura foram consideradas todas as famílias com a mesma importância.

Dessa forma, os resultados obtidos estão expressos na Tabela 5 com a respectiva correspondência ao seu nível de deterioração, em que os valores de referência são apresentados na Tabela 6.

Tabela 5. Valores obtidos a partir da metodologia Gde/UnB, parametrizada (Fonte: gerado pela autora)

Família	Classe	Elemento	Gde	Gdc	Gdf	Gd			
Estrutura	Nível 1	Pilares	P1.1	0,13 Leve	0,11 Leve	0,06 Leve	0,18 Baixo		
			P2.1	0,13 Leve					
			P3.1	0 Leve					
			P4.1	0,13 Leve					
			P5.1	0,64 Alto					
			P6.1	0,13 Leve					
	Nível 2	Pilares	PAR1.1	0 Leve	0,07 Leve	0,13 Leve			
			PAR2.1	0 Leve					
			PAR3.1	0 Leve					
			PAR4.1	0,14 Leve					
			Lajes	Superior.1				0 Leve	0 Leve
			Nível 3	Pilares				P1.2	0,13 Leve
	P2.2	0,13 Leve							
	P3.2	0,13 Leve							
	P4.2	0,13 Leve							
	P5.2	0,13 Leve							
	P6.2	0,64 Alto							
	Nível 4	Pilares	PAR1.2	0,14 Leve	0,07 Leve	0,03 Leve			
			PAR2.2	0 Leve					
			PAR3.2	0 Leve					
			PAR4.2	0,14 Leve					
			Lajes	Superior.2				0 Leve	0 Leve
			Nível 5	Pilares				P1.3	0 Leve
	P2.3	0 Leve							
P3.3	0 Leve								
P4.3	0,14 Leve								
P5.3	0,14 Leve								
P6.3	0,14 Leve								
Nível 6	Pilares	PAR1.3	0 Leve	0,02 Leve	0,39 Médio				
		PAR2.3	0 Leve						
		PAR3.3	0 Leve						
		PAR4.3	0 Leve						
		Lajes	Superior.3			0 Leve	0 Leve		
		Nível 7	Pilares			P1.4	0,13 Leve	0,07 Leve	0,62 Alto
P2.4	0 Leve								
P3.4	0 Leve								
P4.4	0,13 Leve								
P5.4	0,13 Leve								
P6.4	0 Leve								
Nível 8	Pilares	PAR1.4	0 Leve	0,24 Baixo	0,66 Alto				
		PAR2.4	0 Leve						
		PAR3.4	0 Leve						
		PAR4.4	0 Leve						
		Lajes	Superior.4			0 Leve	0 Leve		
		Nível 9	Pilares			P1.5	0,13 Leve	0,02 Leve	0,62 Alto
P2.5	0 Leve								
P3.5	0 Leve								
P4.5	0 Leve								
P5.5	0,13 Leve								
P6.5	0 Leve								
Nível 10	Pilares	PAR1.5	0 Leve	0,28 Baixo	0,62 Alto				
		PAR2.5	0 Leve						
		PAR3.5	0 Leve						
		PAR4.5	0 Leve						
		Lajes	Superior.5			0 Leve	0 Leve		
		Nível 11	Pilares			P1.6	0,51 Médio	0,24 Baixo	0,62 Alto
P2.6	0,6 Alto								
P3.6	0 Leve								
P4.6	0,11 Leve								
P5.6	0,11 Leve								
P6.6	0,13 Leve								
Nível 12	Pilares	PAR1.6	0,57 Alto	0,64 Alto	0,62 Alto				
		PAR2.6	0,56 Alto						
		PAR3.6	0 Leve						
		PAR4.6	0 Leve						
		Lajes	Laje Inferior do Reservatório			0,64 Alto	0,64 Alto		
		Nível 13	Pilares			PAR1.7	0,6 Alto	0,6 Alto	0,62 Alto
PAR2.7	0,6 Alto								
PAR3.7	0,6 Alto								
PAR4.7	0,6 Alto								
Lajes	Tampa do Reservatório			0,66 Alto	0,66 Alto				

Tabela 6. Valores de referência para o nível de deterioração (Fonte: Pantoja et.al, 2018)

Nível de deterioração	Grau do dano
Leve	$\leq 0,15$
Baixo	$0,15 < Gd \leq 0,35$
Médio	$0,35 < Gd \leq 0,55$
Alto	$0,55 < Gd \leq 0,75$
Crítico	$0,75 < Gd \leq 1$

Observa-se, portanto, que a maioria dos elementos possui um nível de deterioração leve. Porém, há pontos mais críticos nos pilares, paredes e lajes dos níveis 6 e 7, locais estes de ocorrência da perda de estanqueidade do reservatório, evidenciando o aparecimento e intensificação de outras patologias.

O resultado do grau de deterioração da estrutura ($Gd = 0,18$) indica que há menos de 20% de comprometimento da mesma. Ou seja, de maneira geral a estrutura se apresenta em bom estado, havendo apenas alguns pontos específicos com maiores danos.

6.2 Análise linear

Será utilizado o programa Robot Análise Estrutural como ferramenta para análise linear do reservatório apresentado, seguindo as normas do Eurocódigo 2 [9], [10].

Para a avaliação de segurança da estrutura serão utilizados os seguintes valores das ações como referência na análise linear:

- 1: Peso próprio (PP) – gerado pelo próprio programa, para concreto C16/20;
- 2: Sobrecarga (SB) – para terraços acessíveis (uniformemente distribuída de $1,0 \text{ KN/m}^2$);
- 3: Impulso Hidrostático (IMP) – foi considerado a água na totalidade da altura para a determinação dos esforços nas paredes e soleira ($855,48 \text{ KN/m}^2$);
- 4: Simulação do vento X + 20m/s;
- 5: Simulação do vento X + Y + 20m/s;
- 6: Simulação do vento Y + 20m/s;
- 7: Simulação do vento X - Y + 20m/s;
- 8: Simulação do vento X - 20m/s;
- 9: Simulação do vento X - Y - 20m/s;
- 10: Simulação do vento Y - 20m/s;

11: Simulação do vento X + Y - 20m/s.

A simulação do vento foi gerada automaticamente pelo programa, assim como as combinações das ações para o cálculo dos estados limites últimos e de serviço.

O fator de integridade, calculado pela parametrização da metodologia Gde/UnB, será utilizado como ponderador da resistência do concreto e do aço. Seu resultado é utilizado na matriz de rigidez da estrutura, a fim de se chegar à um comparativo da estrutura íntegra com a estrutura deteriorada. Isto significa que, na estrutura íntegra foi utilizado um concreto C16/20 – com módulo de elasticidade igual à 29GPa – e na estrutura deteriorada o módulo de elasticidade de cada elemento foi multiplicado pelo seu respectivo valor do fator de integridade, presente na Tabela 7.

Tabela 7. Fatores de integridade das classes, famílias e da estrutura (Fonte: gerado pela autora)

	Nível 1	Nível 2	Nível 6	Nível 7
Integr Pilares	0,66	0,66	0,68	
Integr Laje Reservatório Inferior			0,64	
Integr Paredes			0,62	0,62
Integr Tampa do Reservatório				0,64
Integr das Famílias (usando fator de relevância das classes)	0,66	0,66	0,65	0,63
Integr da Estrutura (usando fator de relevância das famílias)	0,65			

O fator de integridade pode ser acoplado, de forma direta, ao índice de confiabilidade. Com o resultado da Tabela 7, em que o fator de integridade da estrutura é igual à 0,65, temos que, uma vez que o fator de integridade varia de 0 a 1 e o índice de confiabilidade varia de 0 a 4, obtêm-se um índice de confiabilidade igual à 2,6. Dessa forma, utilizando a Tabela 2 como referência para o índice de confiabilidade, diz-se que o resultado aqui obtido representa um bom nível de segurança da estrutura.

6.3 Comparação da estrutura íntegra com a estrutura deteriorada

Na tabela 8 está a comparação numérica dos valores dos esforços atuantes na estrutura íntegra e deteriorada. Estes valores são referentes aos extremos globais da estrutura, obtidos diretamente pelo programa Robot Structural Analysis.

Tabela 8. Extremos globais dos esforços atuantes na estrutura (Fonte: gerado pela autora)

Estrutura Íntegra						
	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kNm)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MÁX	942,58	12,41	54,21	2,68	30,86	18,31
Barra	48	31	6	18	9	21
Nó	43	27	6	16	9	18
Caso	65 (C)	66 (C)	67 (C)	64 (C)	64 (C)	66 (C)
MÍN	-1978,02	-12,28	-52,35	-2,62	-27,41	-18,54
Barra	9	21	51	28	5	31
Nó	9	18	45	25	6	27
Caso	64 (C)	66 (C)	18 (C)	60 (C)	66 (C)	66 (C)

Estrutura Deteriorada						
	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kNm)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MÁX	943,72	13,59	69,19	2,79	29,12	19,88
Barra	48	31	6	18	9	21
Nó	43	27	6	16	9	18
Caso	65 (C)	66 (C)	67 (C)	64 (C)	64 (C)	66 (C)
MÍN	-1929,18	-13,41	-57,72	-2,74	-34,33	-20,17
Barra	9	21	5	28	5	31
Nó	9	18	6	25	6	27
Caso	64 (C)	66 (C)	62 (C)	60 (C)	67 (C)	66 (C)

De forma geral, a estrutura deteriorada apresenta um pequeno aumento nos valores dos esforços atuantes máximos e mínimos. Apenas a força mínima atuante em X e o momento máximo atuante em Y, apresentam um pequeno decréscimo em seus valores. Isto pode acontecer pela redistribuição de esforços que ocorre na estrutura, podendo notar-se também, pela mudança nos nós, nas barras e nos casos que apresentam as forças mínimas em Z.

Para efeito de comparação e análise a seguir, será utilizado o caso de estado limite último para a combinação de ação linear: $PP \cdot 1,35 + SB \cdot 1,50 + IM \cdot 1,50$.

Portanto, para os esforços atuantes relativo às forças normais foram obtidos os diagramas da Figura 7, em que se nota o valor mínimo em X referente a estrutura íntegra um pouco maior do que na estrutura deteriorada, refletindo o mesmo cenário dos extremos globais. Para os momentos atuantes, Figura 8, nota-se que o valor máximo em y referente à estrutura íntegra é um pouco maior do que na estrutura deteriorada, refletindo novamente o cenário dos extremos globais e das forças normais.

Estes resultados refletem que a estrutura apresenta um nível de deterioração baixo, o que pode ser confirmado pelo valor do índice de confiabilidade obtido anteriormente.

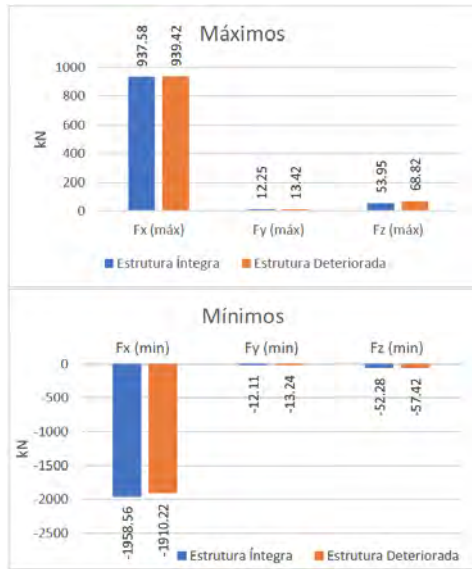


Figura 7. Diagrama das forças normais máximas e mínimas (gerado pela autora)

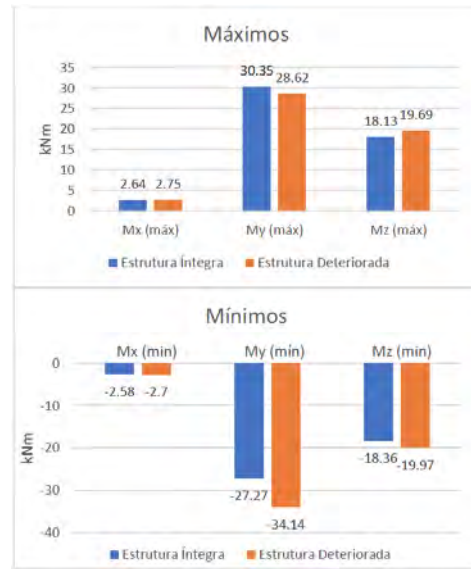
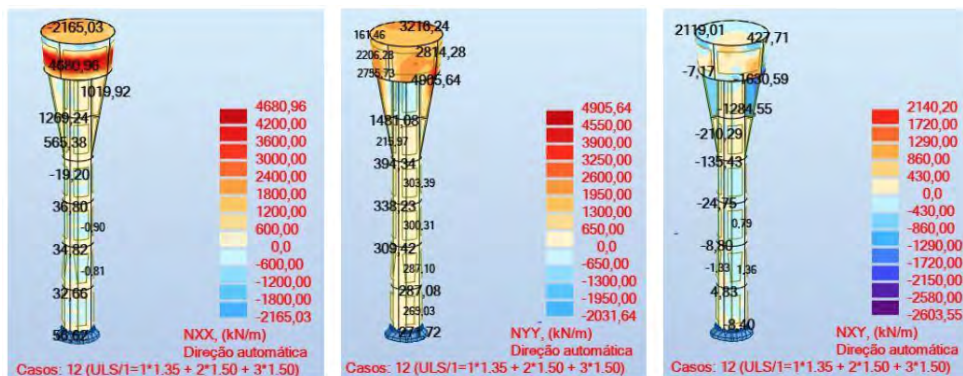
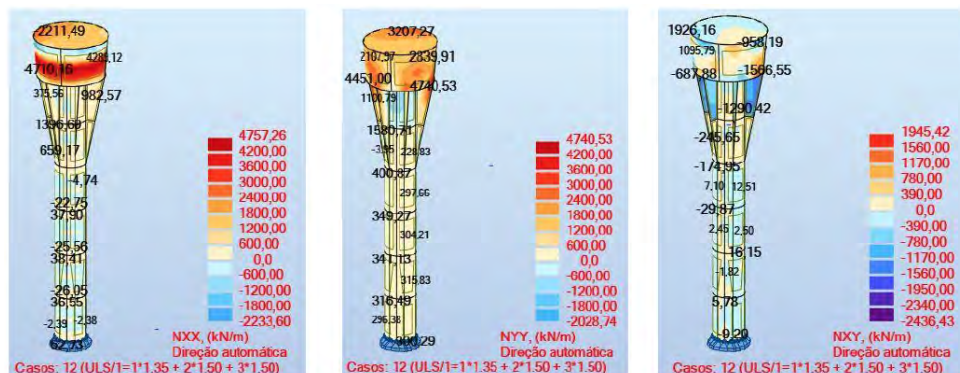


Figura 8. Diagrama dos momentos máximos e mínimos (Fonte: gerado pela autora)

De forma a mostrar, visualmente, que houve apenas pequenas mudanças nos valores referentes aos esforços normais e aos momentos da estrutura íntegra e deteriorada, seguem os mapas obtidos através do programa Robot Structural Analysis.



(a) Estrutura Íntegra



(b) Estrutura Deteriorada

Figura 9. Mapas de forças (Fonte: gerado pela autora)

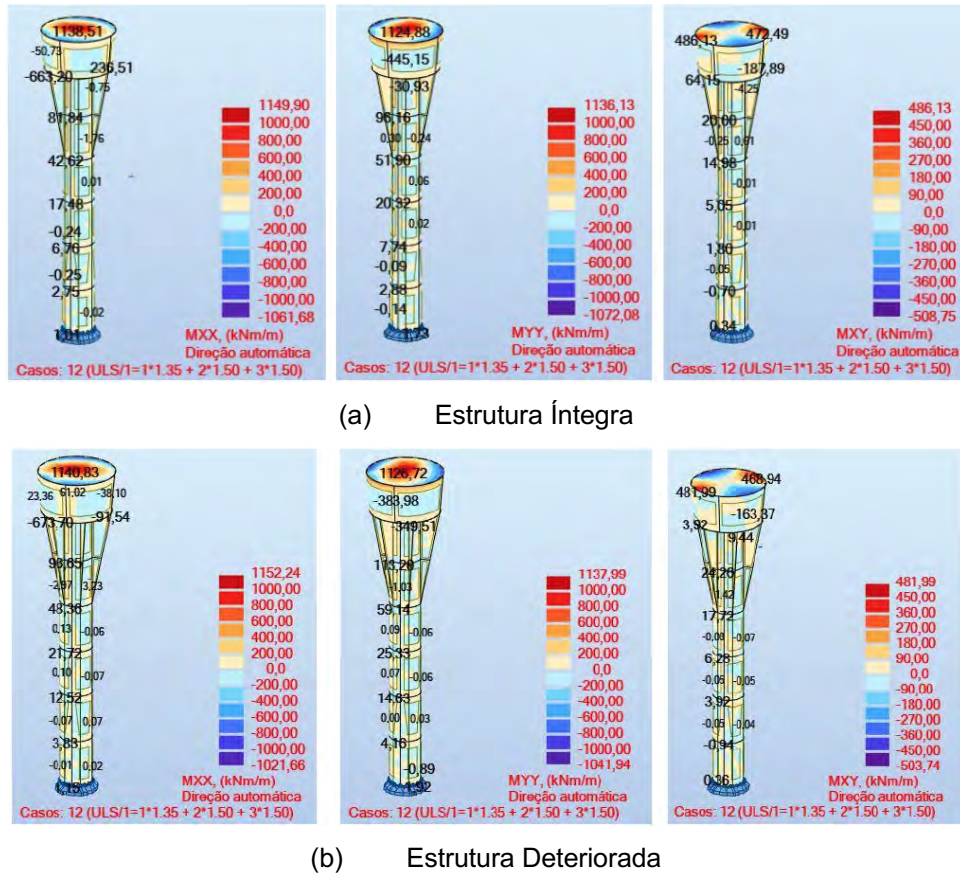


Figura 10. Mapas de momentos (Fonte: gerado pela autora)

Na deformação da estrutura, demonstrada na Figura 11, observa-se uma deformação similar para a estrutura íntegra e degradada, com um aumento no valor da deformação da estrutura degradada. Todos os resultados obtidos verificam um nível de criticidade baixo de deterioração na estrutura.

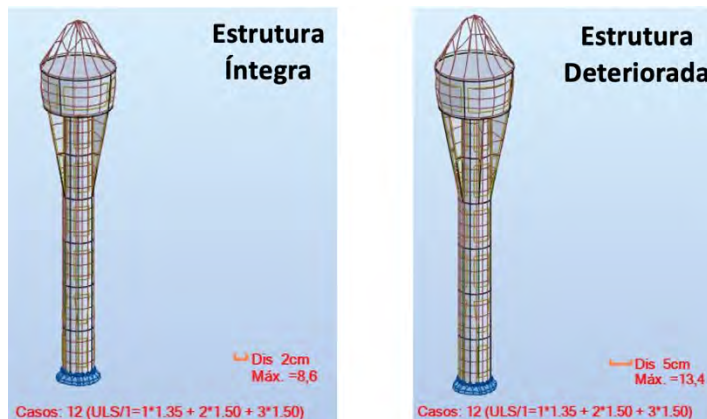


Figura 11. Mapas das deformações na estrutura

7 CONCLUSÃO

A metodologia proposta foi capaz de expressar resultados que demonstram, quantitativamente, o nível de criticidade que a estrutura e seus elementos apresentam quando deteriorados. O acoplamento direto do fator de integridade ao índice de confiabilidade, traz, de forma simplificada e com mais sentido físico, a relação do nível de segurança dos elementos, classes, famílias e da estrutura global com seus danos. É preciso, no entanto, olhar com atenção os valores muito baixos dos danos nos elementos, pois estes podem mascarar o estado em que a estrutura se encontra.

Nota-se, pela análise linear, que a estrutura não apresentou muitas diferenças de esforços e deformações, expressando a distribuição de esforços que ocorre quando há a presença de algum dano. Esta metodologia, portanto, mostra-se mais eficiente em estruturas que apresentem patologias em estados mais graves e, conseqüentemente, que apresentem um grau de deterioração da estrutura alto. Isso é um reflexo do modelo de Tuutti (1982), em que a fase de iniciação do dano é muito mais demorada do que a fase de propagação.

A metodologia proposta, porém, pode auxiliar de forma rápida e eficiente o profissional que avalia a estrutura, a fim de tornar a sua tomada de decisão, no processo de reabilitação, mais realista e de acordo com os níveis de segurança e durabilidade das estruturas de concreto armado.

Nota: o presente trabalho é derivado da tese de mestrado de Porto (2020).

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6118:2003 – **“Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos”**.
- ABNT NBR 5674:2012 – **“Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção”**.
- C. Verzenhassi C. – **“Otimização de risco estrutural baseada em confiabilidade”**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/SP da Universidade de São Paulo, São Paulo: (2008).
- D. Coronelli. – **“Condition rating of RC structures: A case study”**. Journal of Building Appraisal, vol. 3 nº 1, (2007).
- Dir. u. Prof. Dr. W. Rücker; Dipl.-Ing. F. Hille; Dipl.-Ing. R. Rohrman – **“F08a:**

- Guideline for the assessment of existing structures**". Berlin, Germany: SAMCO. Final Report (2006).
- F. Flourentzou and E. Brandt and C. Wetzel. **"MEDIC – A method for predicting residual service life and refurbishment investment budgets"**. Energy and Buildings, 1999.
- fib* Bulletin 62, *Structural Concrete – Volume 5. Manual – Textbook on behavior, design and performance*. 2nd ed. Fédération Internationale du Béton (*fib*), Lausanne, Switzerland, 476 p, 2010.
- fib* Bulletin 213/214, **Model Code 90: Design code**. Final version published by Thomas Telford Ltd., London, 460 p, 1993.
- fib* Bulletin 243, **Strategies for testing and assessment of concrete structures: Guidance report**. Fédération Internationale du Béton (*fib*), Lausanne, Switzerland, 184 p, 1998.
- FONSECA, Régis Pamponet da. – **"A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção"**. 2007. 213 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)-Universidade de Brasília, Brasília, (2007).
- E.K. Castro. **"Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado"**. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 185 p, dezembro, 1994.
- EN 1992-1-1:2010 – **"Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings"**.
- EN 1992-3:2006 – **"Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 3: Liquid retaining and containment structures"**.
- Especificação LNEC E 464:2007 – **"Betões: Metodologia prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais"**.
- Especificação LNEC E464:2016 – **"Betões: Metodologia prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais"**.
- ISO 13822:2010 – **"Bases for design of structure – Assessment of existing structures"**.
- J. Pantoja; H. Varum; A. A. Henriques. **"Metodologia probabilística para avaliação de edificações com estrutura existente em betão armado"**. Encontro Nacional Betão Estrutural – BE2018, LNEC, 2018.

- J. Pantoja; N. Porto; M. Marques – **“Análise de patologias em estrutura mista com obtenção do nível de criticidade via Metodologia Gde/Unb adaptada”**. Artigo, XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, Porto: Cinpar (2016).
- K, Tuutti. **“Corrosion steel in concrete”**. Swedish Cement and Concrete Institute, Stockholm, 469 p, 1982.
- M. Chew Y. L. – **“The performance of concrete repair.”** J. Build. (1993).
- M.Y.L. Chew; S. S. Tan; and K. H. Kang. **“Building Maintainability – Review of State of the Art”**. Journal of Architectural Engineering, 2004.
- NP EN 1990:2009 – **“Bases para o projecto de estrutura”**.
- NP EN 206-1:2007 – **“Betão parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade”**.
- N. Porto G. O. – **“Análise paramétrica do comportamento de elementos de membrana aplicada a estruturas de concreto armado via confiabilidade estrutural”**. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas do Centro Universitário de Brasília, Brasília: (2016).
- N. Porto G. O. – **“Avaliação dos efeitos da deterioração de estruturas de betão armado no seu comportamento – Aplicação a um reservatório elevado”**. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade de Coimbra, Coimbra: (2020).
- V. Sangiorgio; J. Pantoja Costa; H. Varum – **“Structural Degradation Assessment of RC Buildings: Calibration and Comparison of Semeiotic-Based Methodology for Decision Support System”**. J. Perform. Constr. Facil. ASCE, (2019).

