

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS**

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EDLAINE BALBINO DOS SANTOS

**DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE
CONCRETO ARMADO EXPOSTA AO AMBIENTE MARINHO – ESTUDO DE CASO**

FLORIANÓPOLIS, 2026.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS**

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EDLAINE BALBINO DOS SANTOS

**DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE
CONCRETO ARMADO EXPOSTA AO AMBIENTE MARINHO – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de curso submetido ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Santa Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de bacharel em Engenheiro Civil.

Orientador:
Prof. André Puel, Doutor

FLORIANÓPOLIS, 2026.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Santos, Edlaine Balbino dos

DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO EXPOSTA AO AMBIENTE
MARINHO ESTUDO DE CASO / Edlaine Balbino dos Santos ;
orientador(a): Andre Puel. -- Florianópolis : 2026.

87 p.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de
Santa Catarina, Campus Florianópolis. Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil, Florianópolis, 2026.

Inclui referências.

1. Concreto Armado. 2. Corrosão das Armaduras. 3. Ambiente
Marinho. 4. Manifestações Patológicas. 5. Checklist de Inspeção. I. Puel,
Andre. II. Instituto Federal de Santa Catarina, Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil. III. Título.

EDLAINE BALBINO DOS SANTOS

Diagnóstico de Manifestações Patológicas em Estrutura de Concreto Armado
Exposta ao Ambiente Marinho – Estudo de Caso

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheira e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 07 de Julho, 2026.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
ANDRE PUEL
Data: 06/08/2026 17:24:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

André Puel, Doutor

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
FERNANDO TOPPAN RABELLO
Data: 07/08/2026 07:15:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fernando Toppan Rabello, Doutor

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
AURO CANDIDO MARCOLAN JUNIOR
Data: 07/08/2026 03:12:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Auro Candido Marcolan Junior, Doutor

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
DIEGO RAFAEL PIRES
Data: 07/08/2026 12:32:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Diego Rafael Pires, Mestre

Secretaria de Estado de Justiça e Reintegração Social

Dedico este trabalho aos meus pais, por serem minha terra firme e também meu trampolim. E ao meu irmão, que é a pessoa mais inteligente e admirável que conheço.

AGRADECIMENTOS

Realizar o sonho de me formar em Engenharia Civil foi um objetivo que partiu de mim, mas ganhou força com o apoio de tantas pessoas queridas que torceram, sonharam junto comigo e desejaram, de coração, a minha felicidade. Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por ter me concedido força, saúde e resiliência ao longo desta caminhada acadêmica.

Aos meus pais, por serem meu porto seguro em todos os momentos, pelo amor incondicional e por me ensinarem, desde cedo, a importância da dedicação, da perseverança e da busca constante por ser melhor a cada dia. Agradeço por nunca medirem esforços para que eu chegasse até aqui.

Ao meu irmão, por sempre me lembrar da minha capacidade de alcançar meus sonhos e por acreditar em mim com todo o coração.

Aos meus amigos de curso, que compartilharam comigo não apenas os momentos de alegria, mas também os desafios dessa caminhada, obrigada pela parceria, pelas risadas que tornaram os dias mais leves e pelos longos cafés. Compartilhar essa trajetória com vocês fez toda a diferença.

Ao meu orientador, André Puel, pela dedicação, pela disponibilidade e por compartilhar seus conhecimentos. Sua experiência e incentivo foram essenciais para a concretização deste trabalho.

Agradeço à empresa Burigo & Fiuza pela disponibilização das informações e dos registros técnicos utilizados no desenvolvimento deste estudo de caso, contribuindo para a realização deste trabalho.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e, principalmente, para a minha formação, deixo minha mais sincera gratidão. A trajetória até aqui reforça que grandes conquistas são construídas com o apoio daqueles que caminham ao nosso lado. Obrigada!

“Você pode sonhar, criar, projetar e construir o lugar mais lindo do mundo, mas é preciso gente para tornar o sonho realidade.”

(Walt Disney).

RESUMO

As manifestações patológicas correspondem a danos que afetam as edificações e podem ser identificadas em seus elementos estruturais, comprometendo a durabilidade, a funcionalidade e, em casos mais severos, a segurança das estruturas. Esses problemas podem surgir em diferentes etapas do ciclo de vida da edificação, em decorrência de falhas de projeto, execução, utilização, manutenção ou da ação de agentes agressivos característicos de ambientes marinhos. Este trabalho teve como objetivo analisar as manifestações patológicas decorrentes da corrosão em uma estrutura de concreto armado localizada na Ilha de Galé, no município de Bombinhas, Santa Catarina, por meio da análise de registros fotográficos e de um relatório de orçamento fornecidos por uma empresa atuante na área de recuperação estrutural, fundamentando a análise na literatura técnico-científica e nas normas técnicas aplicáveis. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, desenvolvido a partir de revisão bibliográfica e da análise técnica do material disponibilizado. Entre as principais manifestações patológicas identificadas destacam-se a corrosão das armaduras, o deslocamento do concreto em pilares, vigas e lajes, a presença de fissuras e a perda localizada da seção das armaduras. Como resultado, foi elaborado um checklist técnico para inspeção visual e aplicada a Matriz GUT como ferramenta de apoio à identificação e à priorização das intervenções de manutenção. Conclui-se que o estudo contribui para a compreensão dos mecanismos de deterioração em estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho, além de demonstrar a aplicabilidade do checklist e da Matriz GUT como instrumentos auxiliares ao planejamento de futuras ações de inspeção, manutenção e recuperação estrutural.

Palavras-chave: Concreto Armado. Corrosão das Armaduras. Ambiente Marinho. Manifestações Patológicas. Checklist de Inspeção. Matriz GUT.

ABSTRACT

Pathological manifestations correspond to damages that affect buildings and can be identified in their structural elements, compromising durability, functionality, and, in more severe cases, the safety of structures. These problems may arise at different stages of a building's life cycle due to design flaws, construction execution issues, inadequate use, lack of maintenance, or the action of aggressive agents characteristic of marine environments. This study aimed to analyze the pathological manifestations resulting from corrosion in a reinforced concrete structure located on Galé Island, in the municipality of Bombinhas, Santa Catarina, through the analysis of photographic records and a budget report provided by a company specialized in structural recovery, based on technical-scientific literature and applicable technical standards. The research is characterized as a case study, developed through a literature review and technical analysis of the available material. Among the main pathological manifestations identified are reinforcement corrosion, concrete spalling in columns, beams, and slabs, the presence of cracks, and localized loss of reinforcement cross-section. As a result, a technical checklist for visual inspection was developed, and the GUT Matrix was applied as a support tool for identifying and prioritizing maintenance interventions. It is concluded that the study contributes to the understanding of deterioration mechanisms in reinforced concrete structures exposed to marine environments, in addition to demonstrating the applicability of the checklist and the GUT Matrix as auxiliary instruments for planning future inspection, maintenance, and structural recovery actions.

Keywords: Reinforced Concrete. Reinforcement Corrosion. Marine Environment. Pathological Manifestations. Inspection Checklist. GUT Matrix.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Origem das manifestações patológicas.....	20
Figura 2– Desempenho com e sem manutenção.....	21
Figura 3 – Eflorescência em ambiente destinado à instalação de caixa d'água.....	26
Figura 4 – Variações de Fissuras/Trincas/Rachaduras.	28
Figura 5 – Cobrimento das Armaduras.....	30
Figura 6 – Tipos de Corrosão.	30
Figura 7 – Aparência superficial da corrosão generalizada desencadeada pela carbonatação (a) e da corrosão puntiforme desencadeada pela ação dos íons cloreto(b)	31
Figura 08 – Corrosão de Armadura.	32
Figura 09 – Zonas de exposição em ambientes marinhos e seus níveis de agressividade	36
Figura 10 – Deterioração de peças de concreto na água do mar.....	38
Figura 11 – Representação do processo de corrosão das armaduras em concreto armado.	40
Figura 12 – Corrosão de armaduras em estrutura de concreto armado exposta ao ambiente marinho.....	41
Figura 13 – Corrosão de armaduras em estrutura de concreto armado exposta ao ambiente marinho.....	41
Figura 14 – Corrosão de armaduras em estrutura de concreto armado exposta ao ambiente marinho.....	42
Figura 15 – Localização da área de estudo (Ilha de Galé, Bombinhas/SC).	63
Figura 16 – Croqui esquemático da estrutura analisada (a) e (b) legenda do croqui.	64
Figura 17 – Vista geral da estrutura de concreto armado localizada na Ilha de Galé, Bombinhas/SC.	65
Figura 18 – Fissura vertical associada à infiltração e à degradação do revestimento	67

Figura 19 – Processo corrosivo em armadura exposta após deslocamento do concreto.....	67
Figura 20 – Fissura vertical associada à infiltração e à degradação do revestimento	68
Figura 21 – Deslocamento do concreto com exposição e corrosão acentuada das armaduras.	68
Figura 22 – Fissura vertical profunda com deslocamento acentuado do concreto em pilar estrutural.....	69
Figura 23 – Fissura horizontal no topo de guarda-corpo exposta diretamente ao ambiente marinho.....	70
Figura 24 – Fissura horizontal alongada no topo de guarda-corpo exposta ao mar..	71
Figura 25 – Fissura vertical profunda, exposição da armadura e intensas manchas de umidade com biodeterioração das superfícies	71
Figura 26 – Deterioração próximo a janela, com fissuras, deslocamento de revestimento e forte biodeterioração das paredes internas.....	72
Figura 27 – Fissura vertical em parede interna associada a escada metálica oxidada	73
Figura 28 – Intensa biodeterioração (proliferação de musgo e mofo), fissuras verticais e descolamento de revestimento	73
Figura 29 – Deslocamento acentuado do revestimento, fissuras verticais profundas e intensa biodeterioração das superfícies	74
Figura 30 – Parede interna com escada metálica oxidada e intensa biodeterioração (esquerda) e perda de cobrimento e corrosão das armaduras (direita)	75
Figura 31 – Estrutura vertical de concreto com degradação em faixas, perda de cobrimento e exposição das armaduras.....	75
Figura 32 – Detalhes da base e laterais da estrutura com fissura vertical, perda de cobrimento e biodeterioração.....	76
Figura 33 – Detalhe da base da estrutura com fissuras, perda de material e biodeterioração acentuada	77
Figura 34 – Fachada externa com presença de umidade, fissuração superficial e degradação do revestimento	77
Figura 35 – Fachada com manifestações patológicas associadas à ação da umidade e da maresia.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vida útil de Projeto em anos para setores da edificação	22
Tabela 2 – Classificação das Anomalias	27
Tabela 3 – Classificação das anomalias quanto à abertura	27
Tabela 4 – Fatores Determinantes da Corrosão em Concreto	33
Tabela 5 – Níveis de Danos Segundo CEB 162:1984	48
Tabela 6 – Valores Estimados da Relação de Capacidade	49
Tabela 7 – Critérios de Urgência de Intervenção.....	49
Tabela 8 – Critérios de Avaliação para Elaboração do Checklist de Inspeção Estrutural	59
Tabela 9 – Checklist Técnico para Inspeção de Estruturas em Ambiente Marinho (Parte 1)	60
Tabela 10 – Checklist Técnico para Inspeção de Estruturas em Ambiente Marinho (continuação parte 1)	61
Tabela 11 – Manifestações X Causas X Impacto	81
Tabela 12 – Matriz GUT aplicada às manifestações patológicas identificadas.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DACC	Departamento Acadêmico de Construção Civil
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Registrada
Matriz GUT	Matriz Gravidade, Urgência e Tendência

Sumário

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	16
1.1	Definição do problema.....	17
1.2	Objetivo Geral.....	18
1.3	Objetivos Específicos	18
1.4	Estrutura do Trabalho.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	Patologia	20
2.2	Manutenção e Recuperação das Estruturas de Concreto Armado	22
2.3	Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado	24
2.3.1	Manchas de Umidade e Bolor	24
2.3.2	Eflorescência.....	25
2.3.3	Fissuras, Trincas e Rachaduras.....	26
2.3.4	Corrosão de Armadura.....	28
3	CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EXPOSTAS AO AMBIENTE MARINHO	33
3.1	Caracterização do Ambiente Marinho	34
3.1.1	Propriedades da Água do Mar e Agentes Agressivos.....	34
3.1.2	Classificação das Zonas de Exposição Marinha	35
3.1.3	Mecanismos de Degradação do Concreto em Ambiente Marinho	37
3.1.4	Processo de Transporte de Agentes Agressivos	39
3.2	Corrosão das Armaduras em Ambiente Marinho	40
3.2.1	Reações Eletroquímicas no Concreto Armado	42
3.2.2	Fatores que Favorecem a Corrosão das Armaduras	43
3.3	Evidências Externas da Corrosão em Estruturas Marítimas.....	44

3.4	Impactos da Corrosão nas Propriedades Estruturais do Concreto Armado.....	45
3.5	Carbonatação em Estruturas Costeiras de Concreto	46
3.6	Avaliação Qualitativa dos Processos Corrosivos	47
3.7	Crítérios de Desempenho e Durabilidade em Estruturas Expostas ao Ambiente Marinho.....	50
4	ESTUDOS COMPLEMENTARES DA LITERATURA PARA O ESTUDO DE CASO.....	51
5	METODOLOGIA	55
5.1	Checklist Técnico para Inspeção de Estruturas em Ambiente Marinho	58
6	ESTUDO DE CASO	63
6.1	Caracterização da Estrutura do Estudo de Caso	63
6.2	Registro Fotográfico da Estrutura.....	66
7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	78
7.1	Análise das Manifestações Patológicas Identificadas.....	79
7.2	Influência do Ambiente Marinho na Deterioração da Estrutura	80
7.3	Aplicação da Matriz GUT	82
8	CONCLUSÃO	84

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O concreto armado é um dos sistemas estruturais mais utilizados na construção civil, caracterizando-se pela associação entre o concreto e a armadura de aço, que atuam de forma complementar. Entretanto, garantir o desempenho adequado dessas estruturas ao longo do tempo representa um desafio, especialmente diante dos processos de degradação aos quais estão sujeitas durante sua vida útil.

Nesse contexto, a durabilidade das estruturas de concreto passou a representar um dos aspectos mais relevantes da engenharia civil, estando diretamente relacionada à capacidade da estrutura de manter suas propriedades funcionais, sua segurança e seu desempenho frente às ações deteriorantes. Diversos autores destacam que o comportamento dessas estruturas depende da adequada interação entre projeto, execução e manutenção, uma vez que falhas em qualquer uma dessas etapas podem comprometer significativamente a durabilidade do concreto armado (COLLEPARDI, 1998; HELENE, 1993).

A ausência dessa integração pode resultar no surgimento de manifestações patológicas que reduzem a vida útil das estruturas. Entre elas, destaca-se a corrosão das armaduras, considerada uma das principais causas de deterioração do concreto armado em ambientes agressivos. Trata-se de um processo eletroquímico que provoca fissuração, deslocamento do concreto, perda de aderência entre o aço e o concreto e comprometimento da durabilidade e do desempenho estrutural (CASCUDO, 1997; HELENE, 1993).

Diante desse contexto, o presente trabalho analisa as manifestações patológicas identificadas em uma estrutura de concreto armado localizada na Ilha de Galé, no município de Bombinhas/SC, exposta ao ambiente marinho. A análise foi fundamentada em registros fotográficos e documentação técnica fornecidos por uma empresa atuante na área de recuperação estrutural, complementada pela literatura técnico-científica e pelas normas aplicáveis, visando compreender os mecanismos de deterioração observados e contribuir para a priorização de futuras intervenções de manutenção e recuperação.

1.1 Definição do problema

A durabilidade das estruturas de concreto armado constitui um dos aspectos fundamentais da engenharia civil e é constantemente desafiada, sobretudo em ambientes agressivos, nos quais os mecanismos de degradação tendem a ser intensificados. Em ambientes marinhos, a ação de agentes como íons cloreto, elevada umidade e ciclos de molhagem e secagem favorece o desenvolvimento da corrosão das armaduras, comprometendo a durabilidade, o desempenho e a vida útil das estruturas.

A evolução desse processo está associada a fatores como a permeabilidade do concreto, a espessura inadequada do cobrimento das armaduras, falhas de projeto, execução e manutenção, além da exposição contínua ao ambiente agressivo. Esses fatores contribuem para o surgimento de manifestações patológicas, como fissuras, deslocamento do concreto, exposição e corrosão das armaduras e perda localizada de seção, afetando diretamente o desempenho estrutural (CASCUDO, 1997).

Diante desse contexto, torna-se importante compreender os mecanismos de deterioração associados à corrosão das armaduras e analisar as manifestações patológicas decorrentes desse processo em estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho. Essa análise contribui para o diagnóstico das condições aparentes da estrutura e para a priorização de futuras intervenções de manutenção e recuperação.

Assim, o presente trabalho busca responder ao seguinte problema de pesquisa:

De que forma as manifestações patológicas decorrentes da corrosão das armaduras afetam uma estrutura de concreto armado exposta ao ambiente marinho e como sua identificação pode auxiliar na priorização de futuras intervenções de manutenção e recuperação?

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar os mecanismos de degradação e as manifestações patológicas associadas à corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado expostas a ambiente marinho, avaliando suas causas, efeitos na durabilidade e os procedimentos de diagnóstico e priorização necessários para auxiliar na definição de estratégias de recuperação.

1.3 Objetivos Específicos

Com o intuito de alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar as principais manifestações patológicas presentes em estruturas de concreto armado;
- b) Identificar as causas e os fatores que contribuem para o surgimento e evolução das manifestações patológicas;
- c) Estudar os mecanismos de corrosão das armaduras em ambientes marinhos e os agentes agressivos envolvidos;
- d) Caracterizar as manifestações patológicas identificadas no estudo de caso e seus impactos na durabilidade da estrutura;
- e) Apresentar técnicas de diagnóstico, recuperação e proteção aplicáveis às estruturas de concreto armado afetadas pela corrosão;
- f) Elaborar um checklist técnico e aplicar a Matriz GUT como ferramentas auxiliares para a avaliação e priorização das manifestações patológicas observadas.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho inicia pelo Capítulo 1 que introduz e justifica o tema do estudo, apresentando a definição do problema, o objetivo geral, os objetivos específicos e o cronograma de execução.

O Capítulo 2 fornece a base teórica, relacionada ao concreto armado e à durabilidade das estruturas expostas ao ambiente marinho. São discutidos os principais mecanismos de degradação, os processos de corrosão das armaduras, a carbonatação, a ação dos íons cloreto, as manifestações patológicas e os critérios de desempenho e durabilidade aplicados às estruturas de concreto armado.

O Capítulo 3 complementa a base teórica por meio do aprofundamento dos mecanismos de corrosão em estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho, abordando fatores de degradação, processos corrosivos, evidências externas e impactos estruturais associados.

O Capítulo 4 contempla estudos complementares da literatura e trabalhos correlatos, contribuindo para o embasamento técnico e científico da análise desenvolvida.

O Capítulo 5 apresenta a metodologia adotada na pesquisa, os procedimentos metodológicos utilizados para levantamento e análise das informações, os registros fotográficos, a aplicação da Matriz GUT e o checklist técnico utilizado para análise das manifestações patológicas identificadas.

O Capítulo 6 apresenta o estudo de caso realizado na edificação localizada no município de Bombinhas/SC, contemplando a caracterização da estrutura, o registro fotográfico e a identificação das manifestações patológicas observadas.

O Capítulo 7 apresenta a discussão dos resultados obtidos, analisando a influência do ambiente marinho na deterioração da estrutura, a aplicação da matriz GUT e as diretrizes propostas para recuperação estrutural.

Por fim, o Capítulo 8 apresenta as considerações finais do trabalho, destacando as principais conclusões obtidas a partir da pesquisa, bem como sugestões para trabalhos futuros relacionados à durabilidade e recuperação de estruturas de concreto armado em ambientes marinhos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

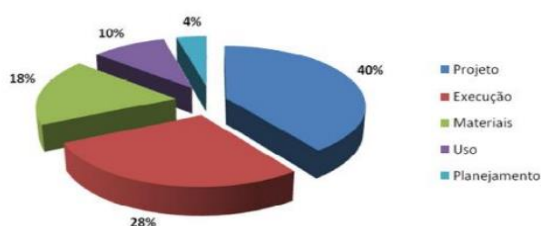
Neste capítulo, apresenta os conceitos fundamentais sobre patologia das construções, manifestações patológicas em estruturas de concreto armado e os principais aspectos relacionados à manutenção e durabilidade, com ênfase nos problemas decorrentes da exposição ao ambiente marinho.

2.1 Patologia

A Patologia das Construções é uma área da Engenharia Civil destinada ao estudo das origens, mecanismos, sintomas e consequências das anomalias que podem comprometer o desempenho, a durabilidade e a segurança das edificações. De acordo com Helene (1992), o estudo das patologias busca compreender os processos de deterioração das estruturas, desde suas causas até suas manifestações, possibilitando a identificação dos mecanismos envolvidos e a definição de medidas corretivas adequadas.

Segundo Bauer (1996), a patologia das construções está diretamente relacionada à investigação das causas responsáveis pelo surgimento das manifestações patológicas, sendo esse conhecimento fundamental para a escolha de procedimentos adequados de recuperação e manutenção das estruturas. Nesse contexto, Helene (1993) destaca que as manifestações patológicas em estruturas de concreto podem estar associadas principalmente a falhas de projeto, execução, materiais, utilização e ausência de planejamento, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Origem das manifestações patológicas

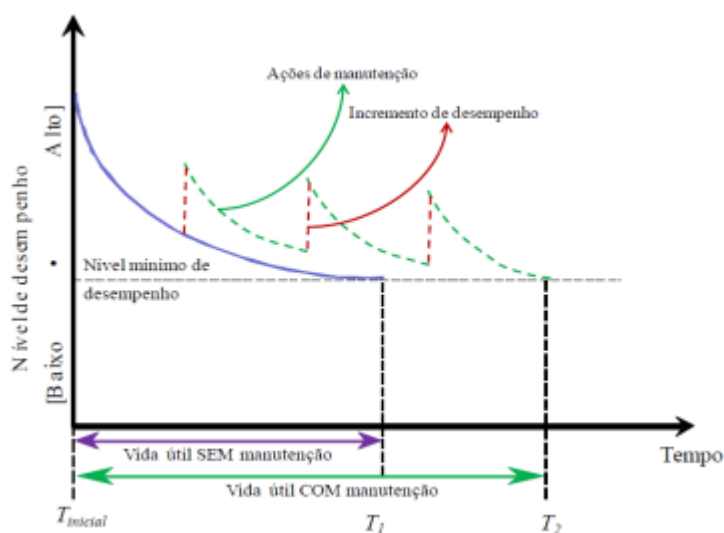


Fonte: Adaptado de Helene, (1992).

A ocorrência dessas manifestações está diretamente relacionada ao conceito de durabilidade e vida útil das estruturas. Conforme a ISO 13823:2008, a vida útil corresponde ao período em que uma estrutura ou seus componentes permanecem atendendo aos requisitos de desempenho estabelecidos em projeto, considerando as condições previstas de utilização e manutenção.

Em suma, a ABNT NBR 15575-1:2013 estabelece critérios relacionados ao desempenho das edificações e define a Vida Útil de Projeto (VUP) como o período estimado em que os sistemas construtivos devem atender aos requisitos de desempenho, desde que sejam realizadas as ações de manutenção previstas. Para os sistemas estruturais, a norma estabelece uma vida útil de projeto mínima de 50 anos, considerando condições adequadas de uso e conservação. A relação entre as práticas de manutenção e a extensão da vida útil das edificações é apresentada na Figura 2, pode-se verificar a influência das ações de manutenção em uma edificação, as quais são necessárias para garantir ou prolongar a vida útil de projeto (VUP).

Figura 2 – Desempenho com e sem manutenção



Fonte: creaprw16.crea-pr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/article/.../10.

A Tabela 1 apresenta os valores mínimos de Vida Útil de Projeto (VUP) estabelecidos pela ABNT NBR 15575-1:2013 para diferentes sistemas das edificações, destacando que os elementos estruturais devem apresentar vida útil igual ou superior a 50 anos.

Tabela 1 - Vida Útil de Projeto em anos para setores da edificação

Sistema	VUP anos		
	Mínimo	Intermediário	Máximo
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013).

Dessa forma, a durabilidade das estruturas de concreto armado está relacionada não somente às características dos materiais empregados e aos procedimentos executivos, mas também às condições de exposição ambiental e às práticas de inspeção e manutenção adotadas ao longo do tempo. Segundo Helene (1993) e Cascudo (1997), a ausência de manutenção adequada favorece a evolução dos mecanismos de deterioração, reduzindo o desempenho e a vida útil das estruturas. Assim, o acompanhamento periódico e a adoção de medidas preventivas são fundamentais para preservar a segurança, funcionalidade e durabilidade das edificações.

2.2 Manutenção e Recuperação das Estruturas de Concreto Armado

A manutenção das edificações compreende o conjunto de atividades destinadas a conservar ou restabelecer a capacidade funcional dos sistemas construtivos, garantindo o desempenho previsto em projeto, a segurança dos usuários e a extensão da vida útil da estrutura. Conforme a ABNT NBR 5674:2012, o sistema de manutenção consiste em ações planejadas para preservar as características originais da edificação e evitar a redução do desempenho dos seus elementos e componentes em decorrência dos processos de degradação.

A durabilidade das estruturas de concreto armado está diretamente relacionada às condições de exposição, qualidade dos materiais, procedimentos executivos e à realização de inspeções e manutenções ao longo da vida útil. Segundo Helene (1992) e Bauer (1996), a ausência de manutenção adequada favorece a evolução das

manifestações patológicas, podendo comprometer progressivamente o desempenho e a segurança das estruturas.

De acordo com a ABNT NBR 5674:2012, as ações de manutenção podem ser classificadas em preventiva, corretiva e rotineira. A manutenção preventiva corresponde às intervenções programadas previamente, realizadas com base no histórico de desempenho da edificação, nas condições de uso e na estimativa de vida útil dos sistemas, tendo como objetivo reduzir a ocorrência de falhas e evitar processos de deterioração mais avançados.

A manutenção corretiva, por sua vez, consiste nas intervenções executadas após a identificação de falhas ou manifestações patológicas, com o objetivo de restabelecer as condições adequadas de funcionamento dos elementos construtivos. Esse tipo de intervenção geralmente ocorre quando já houve perda parcial de desempenho, podendo envolver reparos localizados ou procedimentos mais complexos de recuperação, dependendo do nível de deterioração identificado.

Já a manutenção rotineira está associada às atividades periódicas de conservação, incluindo inspeções visuais, limpeza e pequenos reparos, contribuindo para a preservação das condições de uso e para a identificação precoce de possíveis alterações nos elementos da edificação.

Além das ações de manutenção, estruturas que apresentam degradação significativa podem necessitar de processos de reabilitação ou recuperação. A reabilitação consiste em intervenções destinadas a adequar a estrutura às necessidades atuais, podendo envolver substituição, inclusão ou reforço de elementos estruturais, geralmente mediante elaboração de projeto específico.

A recuperação refere-se às intervenções destinadas ao tratamento das manifestações patológicas e ao restabelecimento das condições de desempenho da estrutura, sem necessariamente modificar suas características originais de projeto. Em estruturas de concreto armado afetadas por processos corrosivos, essas ações

podem envolver procedimentos como remoção do concreto deteriorado, tratamento das armaduras, recomposição do cobrimento e aplicação de sistemas de proteção.

2.3 Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado correspondem aos sinais e alterações que indicam a ocorrência de processos de deterioração capazes de comprometer o desempenho, a durabilidade e, em situações mais avançadas, a segurança das edificações. Essas manifestações podem apresentar diferentes origens, estando associadas a fatores como falhas de projeto, execução inadequada, características dos materiais empregados, condições de exposição ambiental e ausência de manutenção adequada (HELENE, 1992; BAUER, 1996).

A identificação dessas manifestações constitui uma etapa fundamental para a avaliação das condições da estrutura, pois permite compreender os mecanismos de degradação envolvidos e direcionar procedimentos adequados de diagnóstico e recuperação (CASCUDO, 1997). Entre as principais manifestações observadas em estruturas de concreto armado destacam-se fissuras, eflorescências, manchas de umidade, deslocamentos e processos de corrosão das armaduras, os quais serão apresentados nos tópicos seguintes.

2.3.1 Manchas de Umidade e Bolor

As manchas de umidade e o bolor constituem manifestações patológicas frequentes em estruturas de concreto armado, sendo mais comuns em ambientes com elevada umidade relativa, baixa ventilação e reduzida incidência de luz solar. Geralmente, estão associados a infiltrações, falhas de impermeabilização, vazamentos em instalações hidráulicas ou à condensação do vapor d'água, manifestando-se por meio de manchas escuras, esverdeadas ou enegrecidas nas superfícies (HELENE, 1992; BAUER, 1996).

A presença contínua de umidade favorece o desenvolvimento de fungos e outros microrganismos, podendo causar odores desagradáveis, degradação de revestimentos e alterações nas condições de salubridade dos ambientes. Embora essas manifestações não comprometam diretamente a resistência mecânica do concreto, constituem um indicativo de problemas relacionados à umidade persistente, que podem acelerar processos como a carbonatação do concreto e a corrosão das armaduras (LEONI, 2015; CASCUDO, 1997).

Dessa forma, a identificação precoce das causas da umidade e a adoção de medidas corretivas são fundamentais para evitar a evolução das manifestações patológicas, contribuindo para a preservação da durabilidade, do desempenho e da vida útil das estruturas de concreto armado.

2.3.2 Eflorescência

A eflorescência é uma manifestação patológica caracterizada pelo aparecimento de depósitos esbranquiçados na superfície do concreto, resultantes da migração de sais solúveis transportados pela água através dos poros do material. Quando a umidade atinge a superfície e evapora, os sais dissolvidos cristalizam-se, formando as manchas características desse fenômeno (HELENE, 1992; BAUER, 1996).

Segundo Leoni et al. (2015), embora a eflorescência não comprometa diretamente a resistência mecânica do concreto, sua ocorrência indica a presença de umidade no interior da estrutura, podendo estar associada à elevada permeabilidade do material, falhas de impermeabilização ou infiltrações. A Figura 3 apresenta um exemplo de eflorescência registrado pela autora em ambiente destinado à instalação de caixa d'água, utilizado para ilustrar essa manifestação patológica.

Figura 3 - Eflorescência em ambiente destinado à instalação de caixa d'água



Fonte: Acervo da autora, (2023).

A presença contínua de umidade representa um fator que favorece o desenvolvimento de outros mecanismos de deterioração, como a carbonatação do concreto e a corrosão das armaduras, principalmente quando associada à ação de agentes agressivos presentes no ambiente (CASCUDO, 1997; FIGUEIREDO, 2009). Dessa forma, embora a eflorescência seja considerada uma manifestação superficial, sua identificação deve ser acompanhada da investigação das causas da umidade para evitar a evolução de patologias mais severas.

2.3.3 Fissuras, Trincas e Rachaduras

Fissuras, trincas e rachaduras constituem algumas das manifestações patológicas mais frequentes em estruturas de concreto armado, podendo comprometer a durabilidade e, em casos mais avançados, o desempenho estrutural. Essas descontinuidades facilitam a entrada de agentes agressivos, como água, dióxido de carbono e íons cloreto, favorecendo processos como a carbonatação do concreto e a corrosão das armaduras (HELENE, 1993; CASCUDO, 1997; ABNT NBR 6118:2023).

As causas dessas manifestações são variadas, podendo estar relacionadas a retração do concreto, variações térmicas, movimentações estruturais, recalques diferenciais, sobrecargas, falhas de execução ou processos de deterioração ao longo da vida útil da estrutura (BAUER, 1996; FIGUEIREDO, 2009). Quanto à origem, as manifestações patológicas podem ser classificadas em endógenas, exógenas,

naturais e funcionais. A Tabela 2 apresenta essa classificação conforme proposta pelo IBAPE (2013).

Tabela 2 - Classificação das Anomalias

ANOMALIAS	
Endógena	Originária da própria edificação (projeto, materiais e execução)
Exógena	Originária de fatores externos a edificação provocada por terceiros
Natural	Originária de fenômenos da natureza (previsíveis/ imprevisíveis)
Funcional	Originária do uso

Fonte: Adaptado IBAPE (2013).

Além da identificação da origem, a classificação das fissuras também pode ser realizada de acordo com sua abertura, permitindo avaliar sua gravidade e definir procedimentos adequados de monitoramento e intervenção. Para essa avaliação, recomenda-se a utilização de fissurômetro. A Tabela 3 apresenta a classificação das anomalias conforme sua abertura.

Tabela 3 - Classificação das anomalias quanto à abertura

Anomalia	Abertura (mm)
Fissura	Até 0,50
Trinca	Acima de 0,50 até 1,00
Rachadura	Acima de 1,00 até 5,00
Fenda	Acima de 5,00 até 10,00
Brecha	Acima de 10,00

Fonte: Adaptado IBAPE (2013).

A Figura 4 ilustra exemplos de fissuras, trincas e rachaduras, destacando as diferenças entre essas manifestações de acordo com sua abertura.

Figura 4 - Variações de Fissuras/Trincas/Rachaduras



Fonte: Adaptado de Sena (2022).

A identificação dessas manifestações é fundamental durante a inspeção da estrutura, pois seu desenvolvimento favorece o ingresso de agentes agressivos e acelera os mecanismos de deterioração do concreto armado. Dessa forma, a avaliação de sua origem, extensão e evolução constitui uma etapa essencial para o diagnóstico das condições da estrutura e para a definição das intervenções necessárias.

2.3.4 Corrosão de Armadura

Entre as diversas manifestações patológicas que acometem as estruturas de concreto armado, a corrosão das armaduras destaca-se como uma das mais graves em razão de seus efeitos sobre a durabilidade, o desempenho e a segurança estrutural. Trata-se de um processo eletroquímico iniciado após a despassivação da armadura, quando o aço passa a reagir com a presença simultânea de umidade e oxigênio, podendo ser acelerado pela ação de agentes agressivos, como o dióxido de carbono e os íons cloreto (HELENE, 1993; CASCUDO, 1997).

A evolução da corrosão provoca a redução da seção transversal das armaduras, a perda de aderência entre o aço e o concreto, o surgimento de fissuras longitudinais e, em estágios mais avançados, o deslocamento do cobrimento de concreto, comprometendo progressivamente a capacidade resistente da estrutura (HELENE, 1993; BAUER, 1996).

Segundo Cascudo (1997), a corrosão das armaduras constitui uma das principais causas de deterioração das estruturas de concreto armado no Brasil, sendo particularmente intensa em regiões litorâneas devido à elevada concentração de íons cloreto presentes na atmosfera marinha. Em centros urbanos e industriais, a presença de poluentes atmosféricos também contribui para o aumento da agressividade ambiental e para a aceleração dos processos corrosivos.

Os íons cloreto, provenientes principalmente da maresia, podem ser transportados pelo vento na forma de gotículas de água ou partículas sólidas, penetrando no concreto por meio de seus poros e fissuras. Ao atingirem a armadura, promovem a ruptura da camada passivadora do aço, iniciando o processo de corrosão localizada. Dessa forma, a adoção de medidas de proteção, associada ao correto dimensionamento do cobrimento das armaduras e à realização de manutenção preventiva, contribui para ampliar a vida útil das estruturas expostas a ambientes agressivos (HELENE, 1993; CASCUDO, 1997).

A importância da prevenção da corrosão é evidenciada pela Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO), que, com base em dados da NACE (2016), informa que os custos globais decorrentes da corrosão correspondem a aproximadamente 3,4% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial. No Brasil, estima-se que esses custos representem cerca de 4% do PIB, reforçando a necessidade da adoção de medidas preventivas para minimizar os impactos econômicos e estruturais desse processo.

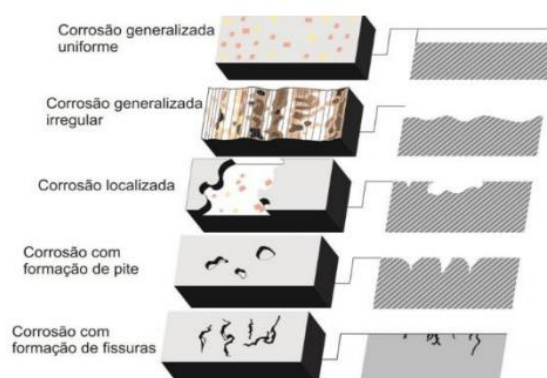
A ABNT NBR 6118:2023 estabelece critérios para o dimensionamento das estruturas de concreto armado em função da classe de agressividade ambiental. A norma relaciona o ambiente de exposição ao cobrimento nominal mínimo das armaduras, considerando que maiores espessuras de cobrimento proporcionam maior proteção contra a penetração de agentes agressivos e reduzem o risco de corrosão. A Figura 5 apresenta os valores mínimos de cobrimento estabelecidos pela norma para as diferentes classes de agressividade ambiental.

Figura 5 - Cobrimento das Armaduras

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118 (2023).

Além do cobrimento adequado, outras medidas podem ser adotadas para aumentar a durabilidade das estruturas, como a utilização de concretos com baixa permeabilidade, o controle da relação água/cimento, o emprego de adições minerais e a aplicação de revestimentos protetores compatíveis com as condições de exposição. Essas estratégias reduzem a penetração de agentes agressivos e retardam o início do processo corrosivo.

Os processos corrosivos podem ocorrer de diferentes formas, dependendo das características do meio e das condições de exposição da armadura. A Figura 6 apresenta os principais tipos de corrosão observados em estruturas de concreto armado.

Figura 6 - Tipos de Corrosão

Fonte: Adaptado de Cascudo (1997).

A corrosão generalizada caracteriza-se pela deterioração distribuída ao longo de praticamente toda a superfície metálica, resultando em perda relativamente uniforme da seção da armadura. Já a corrosão localizada ocorre em regiões específicas do material, normalmente associada a heterogeneidades do aço, variações das condições ambientais ou falhas localizadas na proteção proporcionada pelo concreto (CASCUDO, 1997).

A corrosão por pites caracteriza-se pela formação de pequenas cavidades profundas em pontos específicos da superfície metálica, sendo frequentemente provocada pela ação dos íons cloreto, que rompem a camada passivadora do aço. Esse mecanismo é comum em estruturas expostas ao ambiente marinho, onde a elevada concentração de cloretos acelera significativamente o processo corrosivo (HELENE, 1993). A Figura 7 ilustra a diferença entre a corrosão generalizada, normalmente associada ao processo de carbonatação do concreto, e a corrosão localizada por pites, característica da ação dos íons cloreto.

Figura 7 - Aparência superficial da corrosão generalizada desencadeada pela carbonatação (a) e da corrosão puntiforme desencadeada pela ação dos íons cloreto(b)



Fonte: Adaptado de Cascudo (1997).

A avaliação do nível de corrosão das armaduras pode ser realizada por meio de inspeções visuais e de ensaios complementares, como a determinação da profundidade de carbonatação, a medição do potencial de corrosão, a avaliação da resistividade elétrica do concreto e, quando necessário, a extração de testemunhos. Esses procedimentos permitem identificar o grau de deterioração da estrutura e

fornece informações para a definição das técnicas de recuperação mais adequadas (ABNT NBR 16747:2020; HELENE, 1993).

Além dos procedimentos técnicos, a interpretação dos resultados deve ser realizada por profissionais habilitados, garantindo um diagnóstico consistente das condições da estrutura. A Figura 8 apresenta um exemplo de armaduras com elevado grau de corrosão, evidenciando a perda de seção do aço e o comprometimento do cobrimento de concreto.

Figura 8 - Corrosão de Armadura



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

Os fatores que influenciam o desenvolvimento da corrosão são diversos e podem atuar de forma isolada ou combinada, acelerando os mecanismos de deterioração do concreto armado. Com base na literatura consultada, a Tabela 4 sintetiza os principais fatores determinantes da corrosão em estruturas de concreto armado.

Tabela 4 - Fatores determinantes da corrosão em concreto

Fatores Mecânicos	As vibrações podem provocar fissuras no concreto, favorecendo o contato da armadura com o meio corrosivo. Além disso, líquidos em movimento contendo partículas em suspensão podem causar erosão no concreto por desgaste superficial. Esse processo é intensificado quando o fluido transporta partículas sólidas com ação abrasiva ou, ainda, na forma de vapor, como ocorre na cavitação.
Fatores Físicos	Como variações de temperatura, podem gerar choques térmicos que comprometem a integridade das estruturas. Diferenças térmicas entre os elementos do concreto podem provocar a formação de microfissuras, facilitando a penetração de agentes agressivos.
Fatores Biológicos	Como a ação de microrganismos, podem criar ambientes corrosivos tanto para o concreto quanto para as armaduras, como no caso de bactérias oxidantes de enxofre ou sulfetos, que contribuem para a formação de ácido sulfúrico e aceleram processos de deterioração.
Fatores Químicos	Estão relacionados à presença de substâncias agressivas no meio, como água, solo e atmosfera. Entre essas substâncias, destacam-se os ácidos, como o sulfúrico e o clorídrico, que atuam na pasta de cimento, nos agregados e nas armaduras de aço carbono, contribuindo para a degradação do material.

Fonte: Adaptado de Cascudo (1997).

Em conjunto, esses fatores demonstram que a corrosão das armaduras resulta da interação entre as características dos materiais, as condições ambientais e a qualidade do projeto, da execução e da manutenção da estrutura. A compreensão desses mecanismos fornece subsídios para o diagnóstico das manifestações patológicas e para a seleção de estratégias de recuperação e prevenção, especialmente em estruturas expostas ao ambiente marinho.

3 CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EXPOSTAS AO AMBIENTE MARINHO

Este capítulo aprofunda os mecanismos de corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho, tema central deste trabalho. A compreensão desses processos é essencial para interpretar as manifestações patológicas observadas no estudo de caso.

3.1 Caracterização do Ambiente Marinho

O ambiente marinho é considerado um dos meios mais agressivos para as estruturas de concreto armado devido à atuação simultânea de agentes capazes de acelerar os processos de deterioração. Entre os principais fatores destacam-se a presença de íons cloreto, a elevada umidade relativa do ar, os ciclos de molhagem e secagem e as variações de temperatura, que favorecem a penetração de agentes agressivos no concreto e intensificam os processos corrosivos das armaduras (HELENE, 1993; CASCUDO, 1997; COLLEPARDI, 1998).

A intensidade dessa agressividade depende das condições de exposição da estrutura ao ambiente marinho. Elementos localizados em regiões sujeitas à ação direta da água do mar, da zona de respingos ou da maresia apresentam diferentes níveis de suscetibilidade à deterioração. Por esse motivo, a classificação das zonas de exposição constitui um importante parâmetro para a avaliação da durabilidade e para a definição de medidas de proteção das estruturas de concreto armado.

3.1.1 Propriedades da Água do Mar e Agentes Agressivos

A água do mar constitui um meio altamente agressivo para estruturas de concreto armado localizadas em regiões costeiras devido à sua composição química e às condições ambientais características desse meio. A presença de sais dissolvidos, especialmente íons cloreto, sulfatos, magnésio e sódio, favorece mecanismos de deterioração capazes de comprometer a durabilidade das estruturas, com destaque para a corrosão das armaduras.

Segundo Helene e Andrade (1993) e Meira et al. (2003), os íons cloreto apresentam elevada agressividade por serem capazes de romper a camada passivadora que protege o aço, mesmo na ausência de fissuras visíveis no concreto. Esse processo é intensificado por fatores típicos das regiões costeiras, como elevada umidade relativa do ar, ação dos ventos e deposição contínua de maresia, que contribuem para o transporte e a penetração dos sais através da rede porosa do

concreto. Nesse contexto, Guimarães et al. (2007) destacam que a concentração de cloretos no interior do concreto está diretamente relacionada ao grau de exposição ao ambiente marinho e à permeabilidade do material.

Além da elevada concentração de sais, a água do mar apresenta elevada condutividade elétrica, característica que favorece o desenvolvimento das reações eletroquímicas responsáveis pela corrosão das armaduras. Como consequência, ocorre a formação de produtos de corrosão com maior volume que o aço original, provocando fissuração, deslocamento do concreto de cobrimento e redução da aderência entre o aço e o concreto (HELENE; ANDRADE, 1993).

A literatura também demonstra que a resistência das estruturas aos agentes agressivos depende diretamente das características do concreto empregado. Helene e Andrade (1993), Meira et al. (2003) e Granato (2012) ressaltam que a utilização de concretos com baixa permeabilidade, associada ao adequado controle da relação água/cimento e da qualidade da execução, reduz a penetração de agentes agressivos e contribui para o aumento da durabilidade das estruturas expostas ao ambiente marinho.

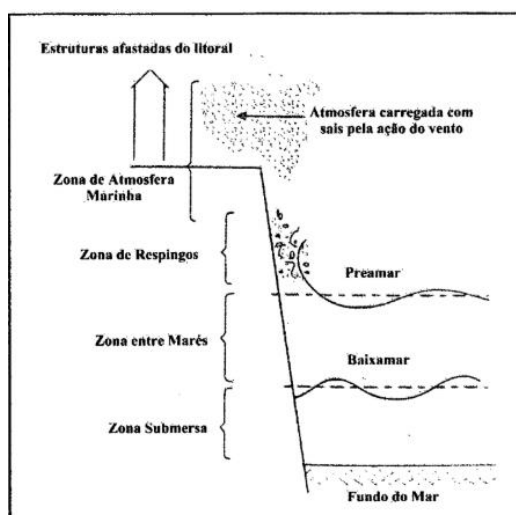
Entretanto, a intensidade da ação desses agentes não é uniforme, variando de acordo com a posição da estrutura em relação ao mar e com o grau de exposição às condições ambientais. Em razão dessas diferenças, as estruturas são classificadas em distintas zonas de exposição marinha, assunto abordado no subcapítulo seguinte.

3.1.2 Classificação das Zonas de Exposição Marinha

A intensidade da agressividade do ambiente marinho varia conforme a posição da estrutura em relação ao nível do mar e ao grau de exposição aos agentes agressivos. Em razão dessas diferenças, a classificação das zonas de exposição constitui um importante parâmetro para o dimensionamento das estruturas de concreto armado e para a definição de medidas de proteção voltadas ao aumento da durabilidade.

Para fins de análise da agressividade ambiental, as estruturas podem estar inseridas na zona de atmosfera marinha, zona de respingos, zona entre marés, zona submersa ou zona enterrada. Cada uma dessas regiões apresenta características específicas de exposição aos íons cloreto, à umidade e aos ciclos de molhagem e secagem, influenciando diretamente a velocidade dos processos de deterioração. A Figura 9 apresenta a classificação das zonas de exposição marinha e seus respectivos níveis de agressividade.

Figura 9 - Zonas de exposição em ambientes marinhos e seus níveis de agressividade



Fonte: Adaptado de CEB (1984).

De acordo com Meira et al. (2003), a zona de respingos é considerada uma das regiões mais agressivas para o concreto armado, em razão da alternância contínua entre os ciclos de molhagem e secagem. Essa condição favorece o acúmulo de sais na superfície do concreto e intensifica a penetração de íons cloreto, acelerando o desenvolvimento da corrosão das armaduras.

Mesmo nas estruturas localizadas na zona de atmosfera marinha, onde não ocorre contato direto com a água do mar, a deposição de sais transportados pela maresia e pela ação dos ventos representa um importante mecanismo de deterioração. Segundo Helene (1993) e Figueiredo (2009), a concentração de cloretos tende a diminuir com o aumento da distância em relação ao litoral, embora fatores

como relevo, direção dos ventos predominantes e características da orla possam influenciar significativamente a dispersão desses agentes agressivos.

A zona submersa corresponde à região permanentemente imersa em água salgada, enquanto a zona enterrada compreende os elementos estruturais em contato com o solo ou sedimentos marinhos. Nessas condições, Medeiros (2011) destaca que a utilização de concretos com baixa permeabilidade, associada ao adequado cobrimento das armaduras e ao emprego de materiais que reduzam a permeabilidade do concreto, contribui para dificultar a penetração de agentes agressivos e aumentar a durabilidade das estruturas.

Conforme ilustrado na Figura 9, as zonas de exposição não apresentam limites perfeitamente definidos, ocorrendo regiões de transição entre elas. De acordo com o CEB (1984), essa sobreposição faz com que uma mesma estrutura possa estar submetida simultaneamente a diferentes níveis de agressividade ambiental, aspecto que deve ser considerado durante o projeto, a execução e a manutenção das estruturas de concreto armado.

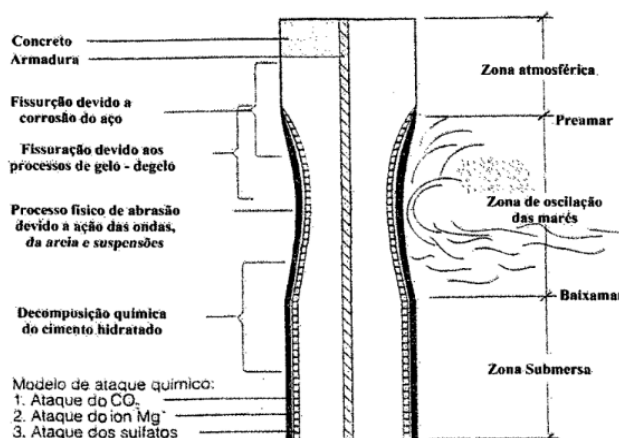
3.1.3 Mecanismos de Degradação do Concreto em Ambiente Marinho

Em ambientes marinhos, a degradação do concreto resulta da ação contínua de agentes agressivos capazes de comprometer seu desempenho e sua durabilidade. Entre esses agentes, destacam-se os íons cloreto, que penetram na matriz cimentícia por meio dos poros e fissuras, atingem as armaduras e promovem a ruptura da camada passivadora do aço, favorecendo o início do processo corrosivo (HELENE; ANDRADE, 1993; CASCUDO, 1997).

Além da ação dos cloretos, a elevada umidade relativa do ar e os ciclos sucessivos de molhagem e secagem intensificam a concentração de sais no interior do concreto, acelerando os mecanismos de deterioração. A combinação desses fatores favorece a penetração de agentes agressivos e reduz a capacidade de proteção proporcionada pelo concreto às armaduras (MEHTA, 1994).

A Figura 10 apresenta um exemplo de deterioração de elementos de concreto submetidos à ação contínua do ambiente marinho, evidenciando os efeitos da exposição prolongada aos agentes agressivos característicos desse meio. A imagem possui finalidade exclusivamente ilustrativa e não corresponde à estrutura analisada no estudo de caso desta pesquisa.

Figura 10 - Deterioração de peças de concreto na água do mar



Fonte: Adaptado de Mehta (1994).

A deterioração progressiva do concreto está diretamente relacionada às suas características físicas, especialmente à porosidade e à permeabilidade. Segundo Bauer (1996), essas propriedades influenciam o ingresso de água, oxigênio e sais dissolvidos na matriz cimentícia, condicionando a velocidade de evolução dos mecanismos de degradação e da corrosão das armaduras.

De forma complementar, Helene e Andrade (1993), Mehta (1994) e Cascudo (1997) destacam que concretos com elevada permeabilidade apresentam maior suscetibilidade à penetração de cloretos e umidade, tornando-se mais vulneráveis aos processos de deterioração em ambientes marinhos. Em contrapartida, concretos com menor permeabilidade, produzidos mediante adequado controle da relação água/cimento, correta execução e controle tecnológico dos materiais, oferecem maior resistência à entrada de agentes agressivos e apresentam melhor desempenho ao longo da vida útil da estrutura.

A compreensão dos mecanismos de degradação do concreto em ambiente marinho fornece suporte para a adoção de estratégias de projeto, execução e manutenção capazes de reduzir a ação dos agentes agressivos e contribuir para o aumento da durabilidade das estruturas expostas às condições características das regiões costeiras.

3.1.4 Processo de Transporte de Agentes Agressivos

A durabilidade das estruturas de concreto armado, especialmente quando expostas ao ambiente marinho, está diretamente relacionada aos mecanismos responsáveis pelo transporte de agentes agressivos através da matriz cimentícia. Entre os principais mecanismos destacam-se a difusão, predominante na movimentação de íons cloreto em concretos saturados; a permeabilidade, associada à facilidade de deslocamento de fluidos pelos poros do concreto; e a capilaridade, responsável pela ascensão de soluções contendo sais dissolvidos em condições de umidade variável (HELENE; ANDRADE, 1993; LIMA, 2006; MEDEIROS, 2011).

A eficiência desses mecanismos depende, principalmente, das características do concreto, como porosidade, permeabilidade e continuidade da rede de poros. Além disso, falhas durante a execução da estrutura, como cura inadequada, adensamento insuficiente e deficiência na concretagem, favorecem a formação de caminhos preferenciais para a penetração de água, oxigênio e íons cloreto, acelerando os processos de deterioração (CASCUDO, 1997; RIBEIRO, 2015).

Segundo Medeiros (2011), Helene e Andrade (1993) e Cascudo (1997), a redução da permeabilidade do concreto constitui uma das principais estratégias para aumentar a resistência à penetração de agentes agressivos. Para isso, recomenda-se o controle da relação água/cimento, a adequada compactação e cura do concreto, bem como a utilização de materiais e adições minerais que contribuam para o refinamento da estrutura porosa e para a melhoria da durabilidade.

A compreensão dos processos de transporte de agentes agressivos permite estimar o comportamento das estruturas ao longo de sua vida útil e fornece subsídios

para a definição de medidas de projeto, execução e manutenção destinadas a reduzir a penetração de substâncias nocivas e minimizar o risco de corrosão das armaduras em ambientes marinhos.

3.2 Corrosão das Armaduras em Ambiente Marinho

A corrosão das armaduras em ambientes marinhos constitui um dos principais mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado. Esse fenômeno ocorre, principalmente, em decorrência da ação dos íons cloreto provenientes da água do mar e da névoa salina, que penetram no concreto por meio de sua rede porosa e de eventuais fissuras, promovendo a ruptura da camada passivadora responsável pela proteção do aço (HELENE, 1993; CASCUDO, 1997).

Após a despassivação das armaduras, iniciam-se as reações eletroquímicas que resultam na formação de produtos de corrosão com volume superior ao do aço original. Essa expansão gera tensões internas capazes de provocar fissuração, deslocamento do concreto de cobertura e redução progressiva da seção transversal das armaduras, comprometendo o desempenho estrutural e a durabilidade da edificação (HELENE, 1993; CASCUDO, 1997). A Figura 11 apresenta, de forma esquemática, o mecanismo de desenvolvimento da corrosão das armaduras em concreto armado, evidenciando a interação entre os agentes agressivos e o aço no interior do concreto.

Figura 11 - Representação do processo de corrosão das armaduras em concreto armado



Fonte: Adaptado de Cascudo (1997).

Conforme ilustrado na Figura 11, a penetração de íons cloreto, associada à presença de umidade e oxigênio, favorece a despassivação das armaduras e o desenvolvimento das reações eletroquímicas responsáveis pelo avanço da corrosão.

Com a finalidade de ilustrar as manifestações patológicas decorrentes desse mecanismo, as Figuras 12, 13 e 14 apresentam exemplos de estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho. As imagens possuem caráter exclusivamente ilustrativo e não correspondem à estrutura analisada no estudo de caso desta pesquisa, sendo utilizadas apenas para exemplificar manifestações típicas da corrosão em estruturas submetidas a condições de elevada agressividade ambiental.

Figura 12 - Corrosão de armaduras em estrutura de concreto armado exposta ao ambiente marinho



Fonte: Acervo técnico fornecido pela empresa (2026).

Figura 13 - Corrosão de armaduras em estrutura de concreto armado exposta ao ambiente marinho



Fonte: Acervo técnico fornecido pela empresa (2026).

Figura 14 - Corrosão de armaduras em estrutura de concreto armado exposta ao ambiente marinho



Fonte: Acervo técnico fornecido pela empresa (2026).

As imagens evidenciam manifestações características da corrosão das armaduras, como a exposição do aço, a formação de produtos de corrosão e o deslocamento do concreto de cobrimento. Essas manifestações são frequentemente observadas em estruturas submetidas à ação contínua da maresia, da elevada umidade e da deposição de sais, condições que favorecem a penetração de íons cloreto e aceleram a deterioração do concreto armado (HELENE, 1993; CASCUDO, 1997).

3.2.1 Reações Eletroquímicas no Concreto Armado

A corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado resulta de reações eletroquímicas que ocorrem quando estão presentes, simultaneamente, umidade, oxigênio e diferenças de potencial elétrico entre regiões distintas da superfície do aço. Nessas condições, forma-se uma célula eletroquímica na qual determinadas regiões da armadura atuam como ânodo, onde ocorre a oxidação do ferro, enquanto outras funcionam como cátodo, possibilitando o desenvolvimento das reações corrosivas (HELENE; ANDRADE, 1993).

Durante esse processo, o ferro metálico é convertido em produtos de corrosão, como óxidos e hidróxidos de ferro, cujo volume é superior ao do aço original. Essa expansão provoca tensões internas que podem resultar em fissuração e

desplacamento do concreto de cobrimento, reduzindo a aderência entre o aço e o concreto e comprometendo o desempenho estrutural (LIMA, 2006). Em ambientes marinhos, a elevada concentração de íons cloreto, associada à presença constante de umidade, favorece a ruptura da camada passivadora do aço e acelera o desenvolvimento das reações eletroquímicas, reduzindo progressivamente a durabilidade das estruturas de concreto armado (MEDEIROS, 2011; CASCUDO, 1997).

Além das condições ambientais, as características do concreto exercem influência direta sobre a velocidade de evolução da corrosão. Segundo Ribeiro (2015), concretos com elevada porosidade ou saturação facilitam o transporte de água, oxigênio e íons agressivos, intensificando a atividade eletroquímica no interior da estrutura. De acordo com Helene e Andrade (1993) e Cascudo (1997), a utilização de concretos com baixa permeabilidade, associada ao adequado controle da relação água/cimento, à correta execução e à adoção de medidas de proteção das armaduras, contribui para reduzir a penetração de agentes agressivos e retardar o desenvolvimento da corrosão.

A compreensão das reações eletroquímicas que ocorrem no interior do concreto fornece subsídios para a adoção de medidas preventivas capazes de reduzir a velocidade dos processos corrosivos e contribuir para o aumento da durabilidade das estruturas expostas ao ambiente marinho.

3.2.2 Fatores que Favorecem a Corrosão das Armaduras

A corrosão das armaduras no concreto armado é influenciada por diversos fatores físicos, químicos e construtivos que, de forma conjunta, contribuem para a redução da durabilidade estrutural. A presença de agentes agressivos, associada à elevada permeabilidade do concreto, às falhas executivas e às condições ambientais adversas, favorece o desenvolvimento e a intensificação dos processos corrosivos em estruturas expostas ao ambiente marinho.

Conforme discutido por Helene e Andrade (1993), Lima (2006) e Cascudo (1997), a facilidade de penetração de agentes agressivos está diretamente relacionada às características do concreto, especialmente à porosidade, à elevada relação água/cimento, à compactação inadequada e à ausência de cura eficiente. Essas condições favorecem a formação de redes capilares e microfissuras, permitindo o ingresso acelerado de umidade e íons cloreto no interior da estrutura.

Medeiros (2011) e Ribeiro (2015) ressaltam que ambientes com elevada umidade relativa, associados à presença de fissuras superficiais, cobrimento insuficiente das armaduras, baixa qualidade dos materiais e deficiências de execução, contribuem significativamente para a formação de células eletroquímicas e para a redução da proteção natural oferecida pelo concreto, intensificando os processos corrosivos em regiões costeiras submetidas à ação da maresia.

Nesse contexto, a adoção de boas práticas construtivas, como o controle da relação água/cimento, a utilização de concretos com baixa permeabilidade, o emprego de adições minerais e a execução adequada da cura, contribui para reduzir a penetração de agentes agressivos e aumentar a durabilidade das estruturas de concreto armado.

À medida que o processo corrosivo evolui, surgem alterações visíveis na superfície dos elementos estruturais, que auxiliam na identificação do grau de deterioração e subsidiam a definição das intervenções necessárias. Essas manifestações são apresentadas no subcapítulo seguinte.

3.3 Evidências Externas da Corrosão em Estruturas Marítimas

A evolução da corrosão das armaduras provoca alterações visíveis no concreto, que constituem importantes indicadores do avanço dos processos de deterioração. Em estruturas expostas ao ambiente marinho, essas manifestações são decorrentes, principalmente, da expansão dos produtos de corrosão formados sobre a superfície do aço, gerando tensões internas capazes de comprometer o concreto de cobrimento (HELENE, 1993; CASCUDO, 1997).

Entre as principais evidências externas destacam-se o aparecimento de fissuras longitudinais paralelas às armaduras, manchas de ferrugem na superfície do concreto, deslocamento do cobrimento, exposição das armaduras e perda localizada de material. Essas manifestações indicam que o processo corrosivo se encontra em estágio avançado e que a integridade do elemento estrutural pode estar comprometida.

As fissuras decorrentes da corrosão diferenciam-se daquelas originadas por retração ou variações térmicas por apresentarem, geralmente, direção coincidente com a posição das armaduras. Com a continuidade do processo corrosivo, o aumento do volume dos produtos de corrosão intensifica as tensões internas, provocando o desprendimento do concreto de cobrimento e deixando as armaduras diretamente expostas ao ambiente, o que acelera ainda mais a deterioração da estrutura (HELENE, 1993; CASCUDO, 1997).

A identificação dessas manifestações durante inspeções visuais constitui uma etapa importante na avaliação das condições de conservação das estruturas de concreto armado, permitindo reconhecer indícios do processo corrosivo e subsidiar a definição das técnicas de diagnóstico e recuperação mais adequadas.

3.4 Impactos da Corrosão nas Propriedades Estruturais do Concreto Armado

A corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado provoca alterações significativas nas propriedades estruturais dos elementos, comprometendo sua capacidade resistente, sua durabilidade e seu desempenho ao longo da vida útil. Conforme Helene e Andrade (1993), Lima (2006), Medeiros (2011) e Ribeiro (2015), o processo corrosivo reduz progressivamente a eficiência do sistema aço-concreto, afetando a aderência entre os materiais e favorecendo a evolução das manifestações patológicas.

A formação dos produtos de corrosão promove aumento de volume em relação ao aço original, gerando tensões internas capazes de provocar fissuração e deslocamento do concreto de cobrimento. Essas alterações facilitam a penetração

de água, oxigênio e íons cloreto, intensificando o avanço da corrosão e acelerando o processo de deterioração da estrutura.

Com a continuidade do processo corrosivo, ocorre a redução da seção transversal das armaduras, diminuindo sua capacidade de resistir aos esforços solicitantes. Como consequência, observa-se perda de aderência entre o aço e o concreto, redução da capacidade resistente dos elementos estruturais, aumento das deformações, diminuição da rigidez e comprometimento da ductilidade, podendo, em situações mais avançadas, afetar a estabilidade e a segurança da estrutura (HELENE; ANDRADE, 1993; RIBEIRO, 2015).

Segundo Medeiros (2011) e Ribeiro (2015), esses efeitos tendem a ser mais intensos em estruturas expostas ao ambiente marinho, devido à elevada concentração de íons cloreto e à elevada umidade relativa, condições que favorecem a evolução do processo corrosivo. Dessa forma, a adoção de medidas preventivas durante as etapas de projeto, execução e manutenção é essencial para preservar o desempenho e aumentar a vida útil das estruturas de concreto armado.

3.5 Carbonatação em Estruturas Costeiras de Concreto

A carbonatação constitui um mecanismo de degradação associado à redução da alcalinidade do concreto armado, resultante da reação entre o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera e os compostos alcalinos da pasta de cimento, principalmente o hidróxido de cálcio. Esse processo provoca a diminuição gradual do pH do concreto, podendo comprometer a estabilidade da camada passivadora responsável pela proteção das armaduras e favorecer o início do processo corrosivo (HELENE; ANDRADE, 1993; LIMA, 2006).

Embora a penetração de íons cloreto seja considerada o principal mecanismo de deterioração das estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho, a carbonatação pode atuar como um processo complementar de degradação. A redução da alcalinidade do concreto altera as condições de proteção das armaduras,

tornando-as mais suscetíveis à corrosão quando associada à presença de umidade e outros agentes agressivos presentes no ambiente costeiro (MEDEIROS, 2011).

O avanço da frente de carbonatação depende de características do concreto e das condições de exposição, como permeabilidade, relação água/cimento, espessura do cobrimento das armaduras, qualidade da execução e condições ambientais. Concretos com maior porosidade ou com cobrimento insuficiente apresentam maior facilidade para a entrada do dióxido de carbono, favorecendo a progressão do fenômeno e reduzindo a durabilidade da estrutura (HELENE; ANDRADE, 1993; LIMA, 2006).

Dessa forma, o controle da qualidade do concreto, a adoção de cobrimentos adequados conforme as condições de exposição, a execução correta dos elementos estruturais e a realização de manutenção preventiva são medidas fundamentais para retardar o avanço da carbonatação e contribuir para o aumento da vida útil das estruturas de concreto armado submetidas a ambientes costeiros.

3.6 Avaliação Qualitativa dos Processos Corrosivos

A avaliação qualitativa dos processos corrosivos constitui uma ferramenta importante para a análise do estado de conservação de estruturas de concreto armado submetidas a ambientes agressivos. Essa abordagem fundamenta-se na identificação visual das manifestações patológicas e na análise das condições aparentes da estrutura, considerando aspectos como fissuração, manchas de corrosão, destacamento do cobrimento, exposição das armaduras e alterações nos elementos estruturais.

Segundo Cascudo (1997) e Cánovas (1988), a análise qualitativa permite classificar os danos associados à corrosão das armaduras e estabelecer níveis de deterioração conforme a evolução das manifestações observadas. O boletim CEB 162:1984 apresenta critérios de classificação baseados em características visuais,

como alteração de coloração do concreto, presença de fissuras, lascamento do cobrimento, perda de seção das armaduras e possíveis deformações estruturais.

A classificação dos níveis de deterioração auxilia na identificação da gravidade das manifestações patológicas e contribui para a definição das ações de manutenção necessárias. A Tabela 5 apresenta os níveis de danos propostos pelo CEB 162 para estruturas afetadas pela corrosão das armaduras.

Tabela 5 - Níveis de Danos Segundo CEB 162:1984

Identificações visuais	Níveis de danos				
	A	B	C	D	E
Mudança de cor	Manchas de ferrugem	Manchas de ferrugem	Manchas de ferrugem	Manchas de ferrugem	Manchas de ferrugem
Fissuração	Algumas longitudinais	Várias longitudinais e algumas nos estribos	Acentuada	Acentuada	Acentuada
Lascamento	-	Alguns	Acentuada	Perda de aderência aço/concreto em alguns trechos	Perda de aderência aço/concreto em alguns trechos
Perda da seção de aço	-	5%	10%	25%	Alguns estribos quebrados e barras longitudinais flambadas
Flechas	-	-	-	Possíveis	Aparente

Fonte: Adaptado de Cascudo, (1997).

Além da classificação visual, Cascudo (1997) apresenta a relação de capacidade estrutural (v), definida pela razão entre a resistência residual da estrutura (R) e a solicitação atuante (S), como um parâmetro complementar para avaliação do nível de comprometimento estrutural. Esse parâmetro permite relacionar a evolução dos danos com a necessidade de intervenções, especialmente em estruturas

submetidas a processos avançados de deterioração. Os valores estimados da relação de capacidade para diferentes níveis de deterioração são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores estimados da relação de capacidade

Obras	Níveis de deterioração			
	A	B	C	D
Nova	0,95	0,80	0,60	0,35
Velha	0,85	0,70	0,50	0,25

Fonte: Adaptado de Cascudo, (1997).

Com base nesses critérios, o boletim CEB 162 também apresenta referências relacionadas à urgência de intervenção conforme o nível de deterioração identificado, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Critérios de urgência de intervenção

Urgência de intervalo	
Resistência residual (V)	Tempo (anos)
< 0,50	Imediata
> 0,50	1 a 2
1	10 a 20

Fonte: Adaptado de Cascudo, (1997).

Dessa forma, a avaliação qualitativa dos processos corrosivos permite organizar e classificar as manifestações patológicas identificadas em uma estrutura, auxiliando na tomada de decisão quanto às ações de manutenção e recuperação. No presente trabalho, esses conceitos foram utilizados como referência para a elaboração do checklist de inspeção e para a classificação das manifestações

patológicas observadas no estudo de caso, posteriormente utilizadas na aplicação da Matriz GUT para definição da prioridade de intervenção.

3.7 Critérios de Desempenho e Durabilidade em Estruturas Expostas ao Ambiente Marinho

As estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho estão submetidas a condições de elevada agressividade ambiental, principalmente devido à presença de umidade, sais dissolvidos e agentes agressivos capazes de favorecer processos de deterioração ao longo do tempo. Nesse contexto, a adoção de critérios adequados de desempenho e durabilidade é fundamental para garantir que as estruturas mantenham suas condições de segurança, funcionalidade e vida útil previstas em projeto.

Segundo Helene (1993) e Mehta (1997), a durabilidade das estruturas de concreto armado está relacionada à capacidade do material de resistir às ações ambientais e conservar suas propriedades ao longo do período de utilização. Para isso, devem ser considerados aspectos relacionados à especificação dos materiais, às características do concreto, aos procedimentos executivos, às condições de exposição e às estratégias de manutenção adotadas durante a vida útil da estrutura.

Apesar dos avanços obtidos no conhecimento sobre o comportamento do concreto, estruturas expostas a ambientes agressivos ainda apresentam problemas relacionados à durabilidade. Conforme Neville (2001), muitas dessas ocorrências estão associadas não somente aos mecanismos naturais de deterioração, mas também às falhas nas etapas de projeto, execução e manutenção. Deficiências na dosagem do concreto, cura inadequada, ausência de controle tecnológico e falhas construtivas podem favorecer o ingresso de agentes agressivos e acelerar o desenvolvimento de manifestações patológicas.

Em ambientes marinhos, a penetração de íons cloreto constitui um dos principais mecanismos responsáveis pela deterioração das estruturas de concreto armado, podendo provocar a despassivação das armaduras e o desenvolvimento da corrosão.

Além desse processo, outros fatores também podem contribuir para a degradação, como ataques químicos por sulfatos presentes na água do mar, ação física das ondas e marés, abrasão provocada por partículas transportadas pela água, ciclos contínuos de umedecimento e secagem e demais condições ambientais que favorecem a entrada de agentes agressivos no concreto.

Dessa forma, a durabilidade das estruturas depende da adoção de medidas preventivas desde as etapas iniciais do empreendimento. Conforme Helene (1993), Mehta (1997) e a ABNT NBR 6118:2023, requisitos como controle da relação água/cimento, utilização de concretos com baixa permeabilidade, definição adequada do cobrimento das armaduras conforme a classe de agressividade ambiental, execução correta da cura, emprego de adições minerais e controle tecnológico são fundamentais para reduzir a vulnerabilidade das estruturas aos processos de deterioração.

Além das medidas relacionadas ao projeto e à execução, a realização de inspeções periódicas e a adoção de práticas de manutenção preventiva são essenciais para identificar alterações no desempenho da estrutura e possibilitar intervenções em estágios iniciais de deterioração. Assim, a avaliação dos critérios de desempenho e durabilidade contribui para a conservação das estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho, servindo também como referência para a análise das manifestações patológicas e definição das prioridades de manutenção abordadas neste trabalho.

4 ESTUDOS COMPLEMENTARES DA LITERATURA PARA O ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta estudos complementares da literatura técnica relacionados à deterioração de estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho, selecionados por apresentarem relação direta com os mecanismos de deterioração, as manifestações patológicas e as condições de exposição semelhantes às verificadas no estudo de caso da estrutura localizada na Ilha de Galé, em Bombinhas/SC. Os trabalhos analisados abordam aspectos relacionados à

durabilidade, à ação de agentes agressivos, aos processos de corrosão das armaduras, às manifestações patológicas e à importância da inspeção e da manutenção preventiva em estruturas submetidas a ambientes de elevada agressividade.

Daniel Victor da Costa Valença (2016), em estudo desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), avaliou a influência da exposição ambiental sobre a durabilidade do concreto, com enfoque no processo de carbonatação natural em condições associadas ao ambiente marinho. A pesquisa analisou a influência de parâmetros como a relação água/cimento, a qualidade do concreto e as condições de exposição sobre a evolução da frente de carbonatação. Os resultados demonstraram que concretos com maior permeabilidade apresentam maior suscetibilidade à penetração de agentes agressivos, evidenciando a importância da baixa porosidade e do adequado controle dos materiais para aumentar a durabilidade das estruturas expostas ao ambiente marinho. O estudo também destaca que a deterioração de estruturas costeiras não ocorre exclusivamente pela ação dos íons cloreto, uma vez que a carbonatação pode contribuir para a redução da proteção das armaduras quando associada a concretos com características inadequadas. Dessa forma, a pesquisa reforça a importância da qualidade do concreto, do cobrimento adequado das armaduras e da adoção de medidas preventivas para minimizar a evolução dos mecanismos de deterioração, aspectos relacionados às condições observadas na estrutura analisada na Ilha de Galé.

Wilson Kopsch (2001), em dissertação desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), avaliou a durabilidade de estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho, destacando a influência dos agentes agressivos presentes nesse meio sobre o desempenho das estruturas. O autor destaca que a exposição contínua à umidade e aos sais presentes na atmosfera marinha favorece a penetração de agentes agressivos, especialmente os íons cloreto, podendo ocasionar a perda da proteção das armaduras e o desenvolvimento de processos corrosivos. A pesquisa evidencia que a durabilidade das estruturas inseridas em ambientes costeiros está relacionada

às características do concreto, ao cobrimento das armaduras, às condições ambientais e à realização de ações de manutenção ao longo da vida útil.

Os resultados apresentados demonstram que a ausência de manutenção preventiva pode contribuir para a evolução progressiva dos danos, resultando em manifestações como fissuração, deterioração do concreto e comprometimento das armaduras. Essas observações apresentam relação direta com o estudo de caso da Ilha de Galé, no qual foram identificadas manifestações associadas à exposição prolongada ao ambiente marinho e à ausência de intervenções preventivas ao longo do tempo.

Marina Moraes Gaspar (2021), em Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), analisou manifestações patológicas e técnicas de recuperação aplicáveis a estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho. O estudo destacou que a atuação conjunta da umidade, dos íons cloreto e da ausência de manutenção pode acelerar os processos de deterioração das estruturas. Entre as principais manifestações observadas em estruturas inseridas nesse ambiente estão fissuras, manchas de corrosão, deslocamento do concreto e exposição das armaduras. A autora ressalta que o diagnóstico adequado das manifestações patológicas constitui uma etapa fundamental para a definição de medidas corretivas, sendo necessária a identificação dos mecanismos responsáveis pelos danos observados.

As contribuições apresentadas nesse trabalho auxiliam na interpretação das manifestações identificadas no presente estudo de caso, principalmente aquelas relacionadas à corrosão das armaduras, perda do cobrimento do concreto e necessidade de planejamento de intervenções futuras.

Pablo Ramon Rodrigues Ferreira (2022), em estudo desenvolvido na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), apresentou uma abordagem voltada à previsão do processo de corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho. A pesquisa avaliou a influência de parâmetros relacionados à durabilidade, como qualidade do concreto, espessura do cobrimento,

concentração de cloretos e condições ambientais. O estudo demonstra que pequenas alterações nas características do concreto e nas condições de exposição podem influenciar significativamente o início e a evolução dos processos corrosivos. Dessa forma, reforça-se a importância de estratégias de inspeção, monitoramento e manutenção planejada para estruturas submetidas a ambientes de elevada agressividade, contribuindo para a compreensão dos mecanismos associados à deterioração observada na estrutura estudada.

Carlos Eduardo Tavares Balestra et al. (2016) analisaram manifestações patológicas em estruturas de concreto armado com longo período de exposição ao ambiente marinho, avaliando os efeitos da agressividade ambiental sobre o desempenho dos elementos estruturais. O estudo identificou manifestações relacionadas à ação prolongada do ambiente costeiro, como fissuras, corrosão das armaduras, perda do cobrimento e deterioração do concreto. Os autores destacam que a intensidade dos danos está diretamente relacionada às condições de exposição ambiental, principalmente nas regiões submetidas continuamente à ação dos agentes agressivos presentes no ambiente marinho. Os resultados apresentados possuem relação com o estudo de caso da Ilha de Galé, uma vez que foram identificadas manifestações semelhantes, incluindo fissuras, deslocamento do concreto, exposição das armaduras, corrosão e deterioração das superfícies externas submetidas diretamente às condições ambientais.

De maneira geral, os estudos analisados demonstram que a deterioração de estruturas de concreto armado em ambientes marinhos ocorre pela atuação conjunta de diversos fatores, como penetração de agentes agressivos, presença constante de umidade, perda da proteção das armaduras e ausência de manutenção preventiva. As pesquisas reforçam que a avaliação das condições de exposição, associada à identificação das manifestações patológicas e ao planejamento de inspeções periódicas, é fundamental para preservar a durabilidade e o desempenho das estruturas.

Dessa forma, os estudos complementares apresentados contribuíram para fundamentar a análise do estudo de caso da Ilha de Galé, permitindo relacionar as

manifestações identificadas na estrutura com os mecanismos de deterioração descritos na literatura técnica. Além disso, serviram como base para a organização das informações obtidas por meio do checklist técnico e para a aplicação da Matriz GUT, utilizados neste trabalho como ferramentas de apoio à identificação e priorização das manifestações patológicas observadas.

5 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho baseia-se em pesquisa bibliográfica e estudo de caso, com o objetivo de identificar e analisar as manifestações patológicas presentes em uma estrutura de concreto armado exposta ao ambiente marinho, considerando aspectos relacionados à durabilidade, aos mecanismos de deterioração e à importância da manutenção preventiva dessas estruturas.

Inicialmente, foi realizada uma revisão da literatura especializada, contemplando publicações técnicas, artigos científicos, livros, Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs) e normas técnicas relacionadas à durabilidade do concreto armado, à corrosão das armaduras, às manifestações patológicas e aos métodos de avaliação de estruturas expostas a ambientes agressivos. O levantamento bibliográfico foi realizado por meio de consultas a bases de dados e mecanismos de busca acadêmicos, com destaque para o Google Acadêmico, incluindo também estudos aplicados a estruturas submetidas ao ambiente marinho, utilizados como referência comparativa para a interpretação das manifestações observadas no estudo de caso.

Também foram utilizados recursos digitais de apoio à organização das informações, à revisão textual e à formatação do documento, incluindo ferramentas baseadas em inteligência artificial. Essa etapa constituiu a base da pesquisa, permitindo reunir os principais conceitos teóricos, critérios técnicos e referências necessárias para a análise da estrutura estudada. Além de fundamentar a discussão apresentada ao longo do trabalho, a revisão da literatura contribuiu para a elaboração do checklist técnico e para a definição dos critérios utilizados na aplicação da Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), auxiliando na identificação, classificação e priorização das manifestações patológicas observadas.

Na sequência, foi desenvolvido um estudo de caso em uma edificação localizada na Ilha de Galé, no município de Bombinhas/SC, inserida em ambiente marinho e submetida continuamente à ação da umidade, da maresia e de agentes agressivos presentes na atmosfera costeira. A análise foi realizada com base na documentação técnica e nos registros fotográficos disponibilizados pela empresa responsável pela estrutura, não sendo realizada visita técnica ao local.

A partir desse material, procedeu-se à avaliação qualitativa das manifestações patológicas presentes na edificação, buscando identificar os principais processos de deterioração observados, como fissuração, deslocamento do concreto, exposição e corrosão das armaduras, biodeterioração, infiltrações e degradação dos revestimentos, relacionando-os aos mecanismos de deterioração descritos na literatura técnica.

Com o objetivo de tornar a avaliação das manifestações patológicas mais sistemática e organizar as informações obtidas durante a análise, foi desenvolvido um checklist técnico específico para estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho. Sua elaboração foi fundamentada na revisão da literatura especializada, nas recomendações técnicas relacionadas à inspeção, durabilidade e manifestações patológicas, além dos estudos complementares apresentados no Capítulo 4. Posteriormente, o instrumento foi adaptado às características observadas no estudo de caso, considerando as condições específicas da estrutura analisada e as manifestações identificadas nos registros disponibilizados.

Dessa forma, o checklist contemplou os principais aspectos relacionados à deterioração de estruturas de concreto armado em ambiente marinho, incluindo condições do cobrimento do concreto, presença de fissuras, manchas de corrosão, desagregação e deslocamento do concreto, exposição das armaduras, condições ambientais e histórico de manutenção. A ferramenta teve como finalidade organizar as informações referentes às manifestações patológicas identificadas, permitindo registrar sua ocorrência, características predominantes e relevância dentro da avaliação qualitativa da estrutura.

O checklist foi aplicado pela autora durante a análise documental e fotográfica da estrutura, utilizando exclusivamente as informações disponíveis nos registros técnicos e nas imagens fornecidas pela empresa responsável pela edificação, sem realização de visita técnica ou execução de ensaios destrutivos e não destrutivos. Considerando que as manifestações patológicas estavam distribuídas em diferentes elementos estruturais, tanto internos quanto externos, a aplicação do instrumento permitiu registrar de forma padronizada as ocorrências observadas, proporcionando uma visão integrada das condições de conservação da estrutura e dos principais mecanismos de deterioração atuantes.

As informações obtidas por meio da aplicação do checklist serviram de base para a elaboração e aplicação da Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), utilizada como ferramenta de priorização das manifestações patológicas identificadas. Enquanto o checklist teve a função de identificar, registrar e organizar sistematicamente as ocorrências verificadas na estrutura, a Matriz GUT permitiu classificá-las conforme seu grau de criticidade, considerando a gravidade dos danos, a urgência de intervenção e a tendência de evolução de cada manifestação patológica.

Para essa avaliação, adotou-se uma escala de classificação de 0 a 5, em que os maiores valores representam condições de maior criticidade observadas na estrutura. A atribuição dessas classificações foi realizada com base nas evidências registradas durante a aplicação do checklist e na análise dos registros fotográficos, possibilitando estabelecer uma ordem de prioridade entre as manifestações identificadas.

Dessa forma, a utilização integrada do checklist e da Matriz GUT contribuiu para reduzir a subjetividade da avaliação qualitativa, conferindo maior organização e consistência à interpretação dos resultados e auxiliando na identificação das manifestações que demandam maior atenção quanto às futuras ações de manutenção.

A utilização combinada da revisão bibliográfica, da análise qualitativa da documentação técnica e dos registros fotográficos, do checklist técnico e da Matriz

GUT permitiu organizar de forma sistemática as informações obtidas durante o estudo de caso, contribuindo para a avaliação das manifestações patológicas identificadas na estrutura e para a discussão das condições de durabilidade de edificações de concreto armado expostas ao ambiente marinho.

5.1 Checklist Técnico para Inspeção de Estruturas em Ambiente Marinho

A avaliação de estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho requer a análise de fatores relacionados à durabilidade, às condições de exposição e às manifestações patológicas que podem comprometer o desempenho da estrutura ao longo do tempo. Nesse contexto, foi elaborado um checklist técnico de inspeção estrutural com o objetivo de organizar os principais aspectos relacionados às condições do concreto, das armaduras e às manifestações patológicas associadas ao processo de deterioração em ambientes sujeitos à ação de agentes agressivos.

A elaboração do checklist foi fundamentada em critérios técnicos relacionados às principais manifestações patológicas observadas em estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho. Esses critérios foram definidos com base na literatura especializada e adaptados às características do estudo de caso, contemplando aspectos associados à integridade do concreto, às condições das armaduras, aos revestimentos de proteção, ao ambiente de exposição e ao histórico de manutenção, quando disponível.

Para definição dos itens de avaliação, foram estabelecidos critérios relacionados às características do concreto, condições aparentes da armadura, manifestações patológicas identificadas e fatores associados ao ambiente de exposição. Esses critérios foram definidos com base na revisão bibliográfica apresentada neste trabalho e nas referências técnicas relacionadas à inspeção, avaliação e manutenção de estruturas de concreto armado.

Os critérios utilizados para elaboração do checklist foram organizados na Tabela 8 – Critérios de Avaliação para Elaboração do Checklist de Inspeção

Estrutural, que apresenta os principais parâmetros considerados para a identificação e classificação das condições observadas na estrutura analisada.

Tabela 8 - Critérios de Avaliação para Elaboração do Checklist de Inspeção Estrutural

Item de Verificação	Descrição da Avaliação
Condição do cobrimento do concreto	Verificar a integridade do cobrimento e identificar possíveis exposições das armaduras
Presença de Fissuras	Identificar descontinuidades que possam favorecer a penetração de agentes agressivos
Presença de corrosão das armaduras	Verificar indícios visuais de corrosão decorrentes da ação do ambiente marinho
Deslocamento do concreto	Identificar perda do cobrimento e desprendimento de material
Manchas de umidade	Verificar evidências de infiltração ou retenção de umidade
Biodeterioração e estado da pintura	Avaliar a degradação do revestimento superficial e a presença de organismos biológicos
Condições ambientais	Considerar a influência da maresia, da névoa salina e dos ciclos de molhagem e secagem sobre a estrutura
Histórico de manutenção	Verificar a existência de inspeções, reparos ou intervenções anteriores, quando essas informações estiverem disponíveis

Fonte: Elaborada pela autora, (2026).

Com base nesses critérios, foi desenvolvido o checklist técnico apresentado na Tabela 9. A ferramenta foi aplicada utilizando os registros fotográficos e a documentação técnica disponibilizada pela empresa responsável, permitindo organizar as manifestações patológicas identificadas na estrutura de forma sistemática e padronizada.

Tabela 9 - Checklist Técnico para Inspeção de Estruturas em Ambiente Marinho (Parte 1)

Grupo de avaliação	Item de verificação	Sim	Não	Condição identificada no estudo de caso / Observações
1. Caracterização da estrutura	A estrutura está inserida em ambiente marinho com elevada agressividade ambiental?	X		Exposição contínua à maresia, umidade e ação de íons cloreto
	Foram identificados danos aparentes na parte externa e interna da estrutura?	X		As manifestações patológicas encontram-se distribuídas em diferentes regiões da estrutura
2. Avaliação das manifestações patológicas	Presença de fissuras	X		Fissuras observadas em diferentes elementos estruturais (pilares, lajes, vigas e guarda – corpos)
	Presença de deslocamento do concreto	X		Identificado em diversos pontos da estrutura, como pilares e guarda-corpos
	Presença de armaduras expostas	X		Exposição decorrente do deslocamento do concreto.
	Presença de corrosão das armaduras	X		Evidências visuais de corrosão associadas ao ambiente marinho
	Presença de manchas de umidade	X		Observadas em diferentes superfícies da estrutura

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

**Tabela 10 - Checklist Técnico para Inspeção de Estruturas em Ambiente Marinho
(continuação parte 1)**

Grupo de avaliação	Item de verificação	Sim	Não	Condição identificada no estudo de caso / Observações
3. Avaliação das condições de durabilidade	As manifestações observadas podem comprometer a durabilidade da estrutura?	X		A permanência das manifestações patológicas, sem a adoção de medidas corretivas, favorece a evolução dos mecanismos de deterioração, reduzindo a vida útil da estrutura e podendo comprometer seu desempenho e segurança ao longo do tempo
	As manifestações justificam inspeções complementares ou ensaios específicos?	X		Recomenda-se a realização de inspeção detalhada e de ensaios complementares para avaliar a extensão dos danos, subsidiar o diagnóstico e definir as técnicas de recuperação mais adequadas
	Os resultados obtidos permitem aplicação da Matriz GUT para priorização das intervenções?	X		As manifestações identificadas possibilitaram a aplicação da Matriz GUT para definir a ordem de prioridade das intervenções, apresentada neste trabalho. A elaboração de um plano de manutenção preventiva e corretiva, associado ao monitoramento periódico da estrutura, é essencial para reduzir a progressão das manifestações patológicas, definir a sequência das intervenções e contribuir para o aumento da vida útil da estrutura

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

O checklist desenvolvido constitui uma ferramenta de apoio à avaliação qualitativa de estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho,

permitindo sistematizar as informações obtidas por meio dos registros fotográficos e da documentação técnica disponibilizada. Sua aplicação possibilitou a identificação e organização das manifestações patológicas observadas, contribuindo para uma análise estruturada das condições da edificação e dos possíveis mecanismos de deterioração atuantes.

Ressalta-se que o checklist possui caráter orientativo e não substitui a realização de inspeção técnica presencial, ensaios complementares ou avaliações detalhadas conduzidas por profissional habilitado. No presente estudo de caso, sua aplicação foi adaptada às informações fornecidas pela empresa responsável, compreendendo registros fotográficos e documentação técnica da estrutura analisada.

A utilização do checklist permitiu organizar de forma sistemática as manifestações patológicas identificadas, fornecendo subsídios para a elaboração da análise apresentada no Capítulo 6. A partir dessas informações, foi possível relacionar as manifestações observadas às suas possíveis causas e impactos, bem como aplicar a Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) para estabelecer a prioridade das intervenções.

A integração entre o Checklist e a Matriz GUT proporcionou uma análise mais consistente das condições da estrutura, permitindo identificar os problemas que demandam maior atenção e evidenciando a importância do planejamento das ações de inspeção, monitoramento e manutenção. Considerando que a estrutura se encontra inserida em ambiente marinho, a ausência de intervenções e de um plano de manutenção pode favorecer a progressão das manifestações patológicas, reduzir a vida útil da estrutura e aumentar a complexidade e os custos de futuras ações de recuperação.

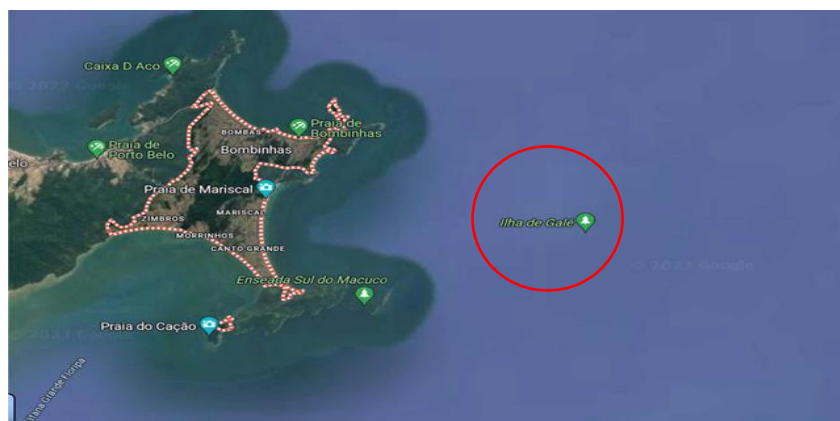
6 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a caracterização da edificação analisada e o registro das manifestações patológicas identificadas por meio de inspeção visual. O estudo de caso foi realizado em uma estrutura de concreto armado localizada na Ilha de Galé, município de Bombinhas/SC, em região de elevada agressividade ambiental marinha.

6.1 Caracterização da Estrutura do Estudo de Caso

A edificação objeto deste estudo de caso está localizada na Ilha de Galé, no município de Bombinhas/SC, inserida em uma região diretamente exposta ao ambiente marinho.

Figura 15 - Localização da área de estudo (Ilha de Galé, Bombinhas/SC)



Fonte: Google Earth, (2026).

A Figura 15 apresenta a localização da área de estudo, evidenciando a inserção da estrutura em uma região diretamente influenciada pelo ambiente marinho. Observa-se que a proximidade com o litoral favorece a exposição contínua a agentes agressivos, como a névoa salina, a elevada umidade e a ação dos ventos, fatores que podem contribuir para o desenvolvimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado.

Trata-se de uma estrutura de concreto armado composta por três pavimentos e cobertura destinada à instalação do sinal luminoso, com idade estimada em aproximadamente 30 anos. A edificação apresenta configuração quadrangular, com dimensões aproximadas de 1,50 m × 1,50 m, estando continuamente exposta às condições características do ambiente marinho, especialmente à ação da maresia, da elevada umidade e dos ciclos de molhagem e secagem.

Figura 16 - Croqui esquemático da estrutura analisada (a) e (b) legenda do croqui



Fonte: Croqui fornecido pela empresa responsável pela inspeção técnica (2023).

A Figura 16 apresenta o croqui esquemático da estrutura disponibilizado pela empresa responsável pela avaliação técnica, permitindo visualizar sua configuração geral, a distribuição dos pavimentos e a disposição dos elementos que compõem a edificação. A representação contribui para a compreensão da geometria da estrutura antes da análise das manifestações patológicas identificadas nos registros fotográficos. A Figura 17 apresenta uma vista geral da estrutura analisada, evidenciando suas condições de conservação e sua inserção em ambiente marinho.

Figura 17 - Vista geral da estrutura de concreto armado localizada na Ilha de Galé, Bombinhas/SC



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

A análise da estrutura foi realizada com base nos registros fotográficos e na documentação técnica disponibilizados pela empresa responsável pela avaliação, permitindo a caracterização das condições gerais de conservação da edificação e a identificação das principais manifestações patológicas presentes. Ressalta-se que não foram realizadas inspeção presencial ou ensaios complementares no âmbito deste estudo.

A análise dos registros evidenciou a presença de manifestações patológicas distribuídas em diferentes regiões da estrutura, destacando-se fissuras, deslocamento do concreto, exposição e corrosão das armaduras, manchas de umidade, biodeterioração e deterioração da pintura superficial. Essas manifestações foram identificadas em elementos estruturais e superfícies externas da edificação, indicando um processo de deterioração associado às condições de exposição prolongada ao ambiente marinho.

Conforme Helene (1993) e Cascudo (1997), a penetração de íons cloreto em estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho promove a despassivação das armaduras, favorecendo o desenvolvimento dos processos corrosivos. As manifestações patológicas identificadas nos registros fotográficos são compatíveis com esses mecanismos de deterioração e evidenciam o

comprometimento das condições de durabilidade da estrutura. Nesse contexto, os resultados reforçam a importância da realização de inspeções periódicas, do monitoramento contínuo e da implantação de um plano de manutenção preventiva e corretiva, visando minimizar a evolução dos danos e prolongar a vida útil da edificação.

6.2 Registro Fotográfico da Estrutura

Durante a análise da documentação técnica disponibilizada pela empresa responsável pela inspeção da estrutura, foram examinados os registros fotográficos com o objetivo de identificar e documentar as manifestações patológicas presentes na edificação. Esses registros constituíram a principal fonte de informações para a avaliação qualitativa das condições de conservação da estrutura, permitindo identificar os principais processos de deterioração atuantes nos diferentes elementos estruturais.

De modo geral, verificou-se que as manifestações patológicas não ocorrem de forma isolada, sendo frequente a ocorrência simultânea de fissuras, deslocamento do concreto, exposição e corrosão das armaduras, manchas de umidade, biodeterioração e degradação dos revestimentos em um mesmo elemento estrutural. Dessa forma, as figuras apresentadas neste capítulo foram organizadas conforme a sequência dos registros fotográficos disponibilizados pela empresa, buscando representar as condições observadas na estrutura sem separar artificialmente manifestações que, na prática, encontram-se associadas.

As Figuras 18 e 19 apresentam manifestações patológicas identificadas em elementos da estrutura de concreto armado, destacando regiões com fissuração, perda de cobrimento e exposição das armaduras. As imagens evidenciam pontos onde a degradação superficial do concreto possibilitou a visualização das armaduras, indicando a perda da proteção proporcionada pelo cobrimento.

Figura 18 – Fissuração e perda de cobrimento do concreto com exposição das armaduras



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

Figura 19 - Exposição das armaduras e sinais de corrosão em elemento de concreto armado



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

As manifestações observadas nas Figuras 18 e 19 são compatíveis com processos de deterioração associados à exposição ao ambiente marinho, onde a presença de agentes agressivos pode favorecer a despassivação das armaduras e o desenvolvimento da corrosão. A perda do cobrimento reduz a proteção física das armaduras, aumentando a vulnerabilidade do elemento estrutural.

A Figura 20 apresenta uma região interna da estrutura com fissura vertical associada ao deslocamento do concreto. Observa-se perda localizada do material de cobrimento, expondo a superfície interna do elemento e evidenciando a

degradação do concreto em uma área submetida às condições ambientais da edificação.

Figura 20 - Fissura vertical associada à infiltração e à degradação do revestimento



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

A manifestação observada na Figura 20 demonstra que os processos de deterioração também atingem regiões internas da estrutura, com ocorrência de fissuração e perda do material superficial. Essa condição pode favorecer a entrada de umidade e agentes agressivos, contribuindo para a progressão dos mecanismos de degradação do concreto armado. A Figura 21 apresenta uma região externa da estrutura com perda acentuada do cobrimento do concreto e exposição das armaduras. Observa-se uma área de degradação mais evidente, localizada em elemento diretamente exposto às condições ambientais marinhas.

Figura 21 - Deslocamento do concreto com exposição e corrosão acentuada das armaduras



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

Na Figura 21, a abertura aparente da região deteriorada é estimada em aproximadamente 5 cm, utilizando como referência a régua metálica presente na imagem. Essa medida representa uma estimativa visual e indica uma perda significativa do material de proteção do concreto, deixando as armaduras mais suscetíveis à ação dos agentes agressivos presentes no ambiente marinho.

A Figura 22 apresenta uma região interna da estrutura com processo avançado de deterioração do concreto. Observa-se a presença de fissura vertical de grande abertura, associada ao deslocamento do concreto e à exposição da armadura, que apresenta sinais visíveis de corrosão.

Figura 22 - Fissura vertical profunda com deslocamento acentuado do concreto em elemento estrutural



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

A manifestação observada na Figura 22 evidencia a perda localizada do cobrimento do concreto em região interna da estrutura, expondo a armadura aos agentes agressivos presentes no ambiente. A presença de fissuração associada ao deslocamento favorece a entrada de umidade e pode contribuir para a continuidade do processo corrosivo das armaduras.

A Figura 23 apresenta uma região do topo de um guarda-corpo exposta diretamente ao ambiente marinho. Observa-se a presença de fissuração horizontal no elemento, além de sinais de biodeterioração superficial e a instalação de painel solar sobre a estrutura.

Figura 23 - Fissura horizontal no topo de guarda-corpo exposta diretamente ao ambiente marinho

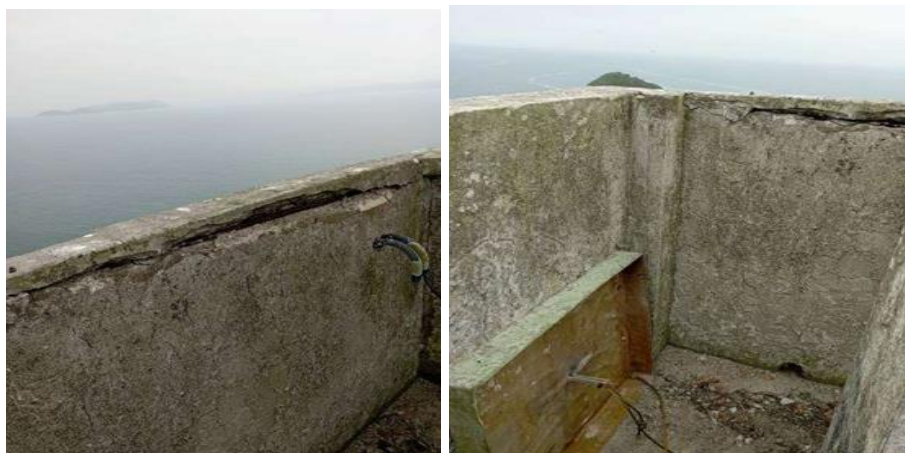


Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

A condição observada na Figura 23 demonstra a exposição direta de um elemento construtivo aos agentes ambientais, com presença de fissura e alterações superficiais compatíveis com a ação prolongada da umidade. Essas manifestações podem contribuir para a redução da durabilidade do elemento ao facilitar o ingresso de agentes deteriorantes.

A Figura 24 evidencia uma fissura horizontal alongada localizada no topo de um guarda-corpo, em uma região submetida diretamente às condições ambientais externas. Observa-se a extensão da fissura ao longo do elemento e alterações superficiais no concreto.

Figura 24 - Fissura horizontal alongada no topo de guarda-corpo exposto ao ambiente marinho



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

A manifestação identificada na Figura 24 indica uma região vulnerável da estrutura, uma vez que fissuras superficiais podem facilitar a penetração de umidade e agentes agressivos, principalmente em ambientes sujeitos à ação da maresia.

A Figura 25 apresenta um canto interno de elemento estrutural com fissura vertical profunda, perda localizada do concreto e exposição da armadura. Observam-se também manchas de umidade e alterações superficiais associadas à presença de biodeterioração.

Figura 25 - Fissura vertical profunda com exposição da armadura e sinais de umidade e biodeterioração superficial



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

As manifestações observadas na Figura 25 indicam uma condição de deterioração do elemento, com perda da proteção do concreto e exposição das armaduras. A presença de umidade e alterações superficiais favorece a continuidade dos processos de degradação e pode acelerar a corrosão das armaduras quando associada à presença de agentes agressivos.

A Figura 26 apresenta uma região próxima a uma abertura (janela), localizada em área interna da edificação, com presença de fissuras, perda do revestimento e alterações superficiais nas paredes. Observam-se sinais de biodeterioração, caracterizados por manchas e alteração da superfície do revestimento.

Figura 26 - Deterioração próxima a abertura com fissuras, perda de revestimento e biodeterioração superficial



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

As manifestações observadas na Figura 26 são compatíveis com condições de exposição à umidade, que podem contribuir para a degradação dos revestimentos e favorecer o desenvolvimento de agentes biológicos sobre as superfícies.

A Figura 27 apresenta uma fissura vertical em parede interna próxima a uma escada metálica com sinais de oxidação. Observa-se degradação da pintura, presença de alterações superficiais e deslocamento do revestimento, com exposição da alvenaria.

Figura 27 - Fissura vertical em parede interna próxima a escada metálica com sinais de oxidação



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

A Figura 27 evidencia a ocorrência conjunta de fissuração, degradação do revestimento e oxidação do elemento metálico, indicando a influência das condições de umidade sobre os componentes construtivos da região. A Figura 28 apresenta um canto interno da estrutura com presença de biodeterioração superficial, caracterizada pela proliferação de musgos e mofo nas paredes. Observam-se também fissuras verticais e descolamento do revestimento.

Figura 28 – Biodeterioração superficial com presença de musgo e mofo, fissuras verticais e deslocamento do revestimento



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

As manifestações observadas na Figura 28 são compatíveis com condições de elevada exposição à umidade, contribuindo para a degradação dos revestimentos e o desenvolvimento de agentes biológicos nas superfícies.

A Figura 29 apresenta outro canto interno da estrutura com diferentes manifestações patológicas. Observa-se deslocamento significativo do revestimento, fissuras verticais profundas e alterações de coloração nas superfícies, com tonalidades avermelhadas e esverdeadas associadas à presença de umidade e processos de biodeterioração. As condições observadas indicam a evolução dos mecanismos de degradação superficial no elemento analisado.

Figura 29 - Deslocamento do revestimento, fissuras verticais profundas e alterações superficiais associadas à biodeterioração

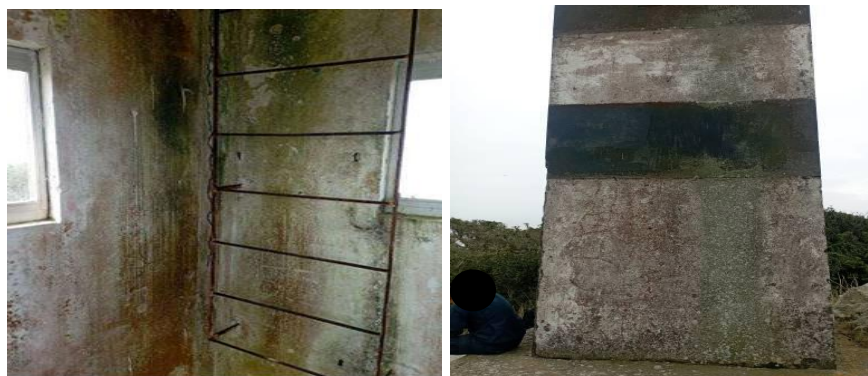


Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

As manifestações observadas na Figura 29 evidenciam a degradação progressiva das superfícies internas, indicando condições favoráveis ao desenvolvimento de processos de deterioração relacionados à umidade.

A Figura 30 apresenta dois detalhes representativos das condições de conservação da estrutura. A primeira imagem evidencia uma parede interna próxima a uma escada metálica com sinais de oxidação e presença de biodeterioração superficial. A segunda mostra um pilar externo com deterioração da pintura e desgaste superficial, característicos da exposição contínua às condições ambientais.

Figura 30 - Parede interna próxima a escada metálica com biodeterioração superficial (esquerda) e perda de revestimento com exposição das armaduras (direita)



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

As imagens da Figura 30 demonstram manifestações patológicas em diferentes elementos da edificação, evidenciando a degradação dos revestimentos e acabamentos tanto em ambientes internos quanto externos, associada à exposição prolongada às condições ambientais.

As Figuras 31 apresentam uma vista geral do pilar externo da estrutura. Observa-se perda de revestimento do concreto em faixas horizontais, exposição das armaduras e presença de biodeterioração superficial, principalmente nas regiões submetidas à exposição direta ao ambiente marinho. As manifestações observadas indicam a evolução dos processos de deterioração associados à perda da proteção das armaduras e à ação dos agentes agressivos do meio.

Figura 31 - Estrutura vertical de concreto com degradação em faixas, perda de revestimento e exposição das armaduras



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

A condição observada na Figura 31 demonstra a evolução dos processos de deterioração em um elemento estrutural diretamente exposto às condições ambientais, reduzindo a proteção conferida pelo concreto às armaduras.

As Figuras 32 apresentam detalhes da base e das laterais da estrutura. Observa-se a presença de fissura vertical na região de junção entre elementos, perda de cobrimento do concreto na base e ocorrência de biodeterioração superficial, caracterizada pela presença de musgos e líquens. As manifestações observadas são compatíveis com regiões submetidas à elevada exposição à umidade e às condições ambientais agressivas.

Figura 32 - Detalhes da base e laterais da estrutura com fissura vertical, perda de cobrimento e biodeterioração superficial



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

As manifestações observadas na Figura 32 são compatíveis com regiões submetidas à ação prolongada da umidade e à exposição ambiental, favorecendo a degradação superficial dos elementos.

A Figura 33 apresenta detalhes da base de um elemento estrutural vertical. Observa-se fissuração, perda de material do concreto e presença de biodeterioração superficial, com ocorrência de musgos e líquens. Essas condições indicam a ação prolongada da umidade e a degradação progressiva das superfícies expostas.

Figura 33 - Base de elemento estrutural com fissuras, perda de material e biodeterioração superficial



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

Nas áreas externas da edificação, especialmente nas superfícies mais expostas às intempéries e à ação da maresia, observam-se manifestações patológicas relacionadas à presença de umidade e à degradação superficial dos revestimentos. Em diferentes pontos da fachada foram identificadas fissuras superficiais e sinais de biodeterioração, indicando condições favoráveis ao desenvolvimento de processos de deterioração associados à exposição ambiental.

Figura 34 - Fachada externa com presença de umidade, fissuração superficial e degradação do revestimento



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

As Figuras 34 e 35 apresentam vistas da fachada externa da edificação, evidenciando manifestações patológicas associadas à exposição às condições ambientais. Observam-se fissuras superficiais, degradação do revestimento, presença de umidade e biodeterioração em diferentes regiões da fachada.

Figura 35 – Fachada com manifestações patológicas associadas à exposição à umidade e à maresia



Fonte: Imagens fornecidas pela empresa, (2023).

As manifestações identificadas na edificação apresentam relação entre si, demonstrando a atuação conjunta de diferentes mecanismos de deterioração. A presença de fissuras, perda de revestimento, sinais de umidade e biodeterioração evidencia a influência das condições ambientais sobre a durabilidade dos elementos construtivos, especialmente em regiões submetidas à exposição marinha.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a discussão dos resultados obtidos a partir da análise dos registros fotográficos e da documentação técnica disponibilizados pela empresa responsável pela inspeção da estrutura de concreto armado localizada na Ilha de Galé, em Bombinhas/SC. As manifestações patológicas identificadas foram analisadas à luz da fundamentação teórica apresentada nos Capítulos 2, 3 e 4, permitindo compreender os principais mecanismos de deterioração atuantes em uma estrutura exposta ao ambiente marinho.

As informações sistematizadas por meio do checklist técnico elaborado neste trabalho serviram de base para a identificação das manifestações patológicas, sua relação com as possíveis causas e impactos, bem como para a aplicação da Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), utilizada para estabelecer a prioridade das intervenções. Dessa forma, a discussão busca integrar os aspectos observados no estudo de caso com os conceitos de durabilidade, degradação e manutenção de

estruturas de concreto armado, evidenciando a importância do diagnóstico e do planejamento das ações de recuperação para o aumento da vida útil da estrutura.

7.1 Análise das Manifestações Patológicas Identificadas

A análise dos registros fotográficos e da documentação técnica da estrutura localizada na Ilha de Galé, em Bombinhas/SC, evidenciou um avançado estado de deterioração em uma edificação de concreto armado com aproximadamente 30 anos de idade, inserida em ambiente marinho de elevada agressividade. A Ilha de Galé possui pequenas dimensões e encontra-se diretamente exposta à ação da maresia, da elevada umidade, dos ventos e dos ciclos de molhagem e secagem, condições que favorecem a intensificação dos mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado.

Os registros fotográficos apresentados no Capítulo 6 evidenciam a ocorrência simultânea e inter-relacionada de diferentes manifestações patológicas distribuídas ao longo da estrutura. Entre as principais anomalias identificadas destacam-se fissuras, deslocamento do concreto, exposição e corrosão das armaduras, manchas de umidade, biodeterioração e deterioração da pintura superficial. A ocorrência conjunta dessas manifestações demonstra a evolução progressiva dos processos de degradação e evidencia o comprometimento das condições de conservação da estrutura.

As fissuras observadas em diferentes elementos estruturais, muitas delas com desenvolvimento longitudinal próximo às armaduras, são compatíveis com os mecanismos de expansão dos produtos de corrosão descritos por Helene (1993) e Cascudo (1997). Em diversas regiões também foi identificado deslocamento do concreto de cobertura, favorecendo a exposição das armaduras ao ambiente agressivo e intensificando o processo corrosivo.

As armaduras expostas apresentaram evidências visuais de corrosão avançada, caracterizadas pela presença de produtos de corrosão e deterioração do concreto adjacente. Além disso, foram observadas manchas de umidade, biodeterioração e

degradação da pintura superficial, indicando condições favoráveis à permanência da umidade e à continuidade dos mecanismos de deterioração.

Verificou-se que as manifestações mais severas se concentram nos elementos mais expostos à ação direta da maresia, como guarda-corpos, faces externas e regiões superiores da estrutura, reforçando a influência do ambiente marinho sobre a durabilidade do concreto armado. A ausência de manutenção preventiva e de intervenções corretivas ao longo da vida útil da edificação contribuiu para a evolução progressiva dessas manifestações, resultando em um quadro generalizado de deterioração e comprometimento da durabilidade da estrutura.

As manifestações patológicas identificadas nesta etapa serviram de base para a elaboração da Tabela 9, na qual são relacionadas às suas possíveis causas e impactos, e para a posterior aplicação da Matriz GUT, utilizada para estabelecer a prioridade das intervenções propostas.

7.2 Influência do Ambiente Marinho na Deterioração da Estrutura

A estrutura analisada encontra-se localizada na Ilha de Galé, em Bombinhas/SC, estando submetida a condições de elevada agressividade ambiental devido à exposição contínua ao ambiente marinho. A presença de névoa salina, umidade elevada, ação dos ventos e ciclos frequentes de molhagem e secagem contribui para a penetração de agentes agressivos no concreto, especialmente íons cloreto, considerados um dos principais responsáveis pela despassivação das armaduras em estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho (Helene, 1993; Meira et al., 2003).

Os elementos mais expostos às condições ambientais, como guarda-corpos, muretas superiores e superfícies externas voltadas para o mar, apresentaram manifestações patológicas mais intensas. A ação combinada da umidade e dos agentes agressivos favorece a deterioração progressiva do concreto, a perda do

cobrimento das armaduras e o desenvolvimento de processos corrosivos, reduzindo gradualmente a capacidade de proteção proporcionada pelo concreto.

A Tabela 11 apresenta a relação entre as principais manifestações patológicas identificadas na estrutura, suas possíveis causas associadas e os impactos relacionados à durabilidade e ao desempenho da edificação.

Tabela 11 - Manifestações X Causas X Impacto

Manifestação Patológica	Possível Causa	Impacto Estrutural
Fissuras	Retração, ações ambientais	Baixo a Moderado
Deslocamento do concreto	Expansão dos produtos de corrosão	Moderado a Elevado
Exposição das Armaduras	Perda do cobrimento	Elevado
Corrosão das Armaduras	Penetração de cloretos e carbonatação	Elevado

Fonte: Elaborada pela autora, (2026).

A relação entre a proximidade ao mar e a intensidade das manifestações observadas evidencia que o ambiente marinho atuou como um fator determinante na aceleração dos processos de deterioração. Esse efeito foi potencializado pela ausência de manutenção preventiva ao longo da vida útil da estrutura, favorecendo a evolução das manifestações patológicas e reforçando a necessidade de planejamento de inspeções periódicas e intervenções corretivas adequadas.

7.3 Aplicação da Matriz GUT

Com o objetivo de estabelecer uma ordem de prioridade entre as manifestações patológicas identificadas na estrutura analisada, aplicou-se a Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), ferramenta utilizada para classificação dos problemas conforme o impacto, a necessidade de intervenção e a possibilidade de evolução dos danos ao longo do tempo.

A aplicação da metodologia foi realizada com base nas informações obtidas por meio da análise dos registros fotográficos e da documentação técnica disponibilizada pela empresa responsável pela inspeção, considerando as manifestações patológicas identificadas no estudo de caso. Dessa forma, a ferramenta possibilitou organizar os problemas observados e auxiliar na definição das manifestações que demandam maior atenção para ações de manutenção e recuperação.

Tabela 12 - Matriz GUT aplicada às manifestações patológicas identificadas

Manifestação Patológica	G	U	T	Prioridade
Corrosão das Armaduras	5	5	5	125
Desplacamento do Concreto	5	4	5	100
Exposição das armaduras	5	5	4	100
Fissuras	4	4	5	80
Degradação do revestimento/pintura	3	4	4	48
Umidade Constante	4	3	4	48
Biodeterioração	3	3	4	36

Fonte: Elaborada pela autora, (2026).

Os resultados obtidos por meio da Matriz GUT evidenciam que as manifestações relacionadas à corrosão das armaduras, exposição das armaduras e

deslocamento do concreto apresentam maior grau de prioridade entre os danos identificados. Essa classificação está associada ao fato de que essas manifestações indicam perda da proteção conferida pelo cobrimento do concreto e favorecem a progressão dos mecanismos de deterioração, podendo comprometer a durabilidade e o desempenho dos elementos estruturais ao longo do tempo.

A corrosão das armaduras apresentou a maior pontuação na avaliação, devido à sua relação direta com a exposição da estrutura aos agentes agressivos presentes no ambiente marinho, especialmente os íons cloreto. Quando associada ao deslocamento do concreto, essa manifestação tende a evoluir progressivamente, uma vez que a expansão dos produtos de corrosão gera tensões internas no concreto, favorecendo o surgimento de fissuras e a perda adicional do cobrimento.

O deslocamento do concreto e a exposição das armaduras também apresentaram elevada prioridade, pois representam manifestações associadas à perda da barreira de proteção física do concreto sobre o aço. Dessa forma, esses danos demandam maior atenção no planejamento das ações de manutenção e recuperação da estrutura.

As demais manifestações identificadas, como fissuras, umidade constante, degradação do revestimento e biodeterioração, embora tenham apresentado menor pontuação relativa, não devem ser desconsideradas, pois podem contribuir para a permanência de condições favoráveis à atuação dos agentes agressivos e acelerar a evolução dos processos de deterioração.

Dessa forma, a aplicação da Matriz GUT demonstrou ser uma ferramenta complementar ao checklist técnico desenvolvido neste trabalho, permitindo organizar as manifestações patológicas identificadas conforme seu grau de prioridade. Ressalta-se que a ferramenta não substitui uma avaliação técnica detalhada nem define os procedimentos executivos de recuperação, mas contribui para o planejamento das ações futuras de inspeção, monitoramento e manutenção, auxiliando na tomada de decisão e no aumento da vida útil da estrutura.

8 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar as manifestações patológicas associadas à deterioração de uma estrutura de concreto armado exposta ao ambiente marinho, utilizando como estudo de caso uma edificação localizada na Ilha de Galé, em Bombinhas/SC. A partir da análise dos registros fotográficos e da documentação técnica disponibilizada pela empresa responsável pela inspeção, foi possível identificar os principais danos presentes na estrutura e compreender os mecanismos de deterioração relacionados às condições de exposição ambiental.

A análise realizada evidenciou que a estrutura apresenta um quadro avançado de deterioração, com manifestações patológicas distribuídas em diferentes elementos construtivos, incluindo fissuras, deslocamento do concreto, exposição e corrosão das armaduras, manchas de umidade, biodeterioração e degradação dos revestimentos superficiais. Observou-se que os danos apresentam maior intensidade nas regiões mais expostas à ação da maresia, da umidade e dos ciclos de molhagem e secagem, confirmando a influência do ambiente marinho como fator acelerador dos processos de degradação do concreto armado.

A elaboração e aplicação do checklist técnico permitiram sistematizar as informações obtidas a partir dos registros disponíveis, organizando as manifestações patológicas identificadas e contribuindo para uma avaliação qualitativa das condições gerais da estrutura. A ferramenta demonstrou ser um recurso auxiliar para o levantamento das anomalias, possibilitando uma análise mais padronizada e facilitando a relação entre manifestações, possíveis causas e impactos observados.

A aplicação da Matriz GUT complementou a avaliação ao estabelecer uma ordem de prioridade entre os problemas identificados. Os resultados indicaram que a corrosão das armaduras, a exposição das armaduras e o deslocamento do concreto apresentam maior necessidade de atenção, devido ao potencial de evolução dos danos e aos impactos relacionados à durabilidade e ao desempenho da estrutura. Dessa forma, a ferramenta mostrou-se adequada como apoio à tomada de decisão,

auxiliando na definição dos problemas que devem ser avaliados prioritariamente antes da adoção de medidas de recuperação.

Os resultados obtidos reforçam que estruturas de concreto armado inseridas em ambientes marinhos necessitam de acompanhamento periódico e planejamento adequado de manutenção, uma vez que a ação contínua dos agentes agressivos pode acelerar processos de deterioração e comprometer progressivamente a vida útil da edificação. A ausência de manutenção preventiva ao longo do tempo contribui para a evolução das manifestações patológicas, aumentando a complexidade das futuras intervenções necessárias.

Como limitação do estudo, destaca-se que a análise foi desenvolvida com base nos registros fotográficos e na documentação técnica disponibilizada pela empresa responsável, não contemplando inspeção presencial, ensaios complementares ou avaliações quantitativas das propriedades dos materiais. Dessa forma, recomenda-se que futuras avaliações sejam complementadas por inspeções técnicas detalhadas e ensaios específicos, possibilitando um diagnóstico mais aprofundado das condições estruturais e a definição de procedimentos de recuperação mais adequados.

Conclui-se, portanto, que a análise das manifestações patológicas, associada ao uso do checklist técnico e da Matriz GUT, contribuiu para uma melhor compreensão das condições de deterioração da estrutura estudada e para o planejamento das ações futuras de manutenção e avaliação. O estudo reforça a importância da inspeção, do monitoramento e da manutenção preventiva como estratégias fundamentais para preservar a durabilidade, o desempenho e a segurança das estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. **Por que se preocupar com a corrosão?** Rio de Janeiro: ABRACO, 2026. Disponível em: <https://abraco.org.br/blog/por-que-se-preocupar-com-a-corrosao/>. Acesso em: 21 jun. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747: Inspeção predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, 2012.

BALESTRA, Carlos E. T.; LIMA, Maryangela G.; MEDEIROS-JUNIOR, Ronaldo A. Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado com 60 anos em ambiente marinho. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, Ponta Grossa, v. 8, n. 3, p. 139-149, 2016.

BAUER, Elton. **Parâmetros e grandezas de importância no estudo da evolução da corrosão das armaduras no concreto**. In: 38º REIBRAC. Ribeirão Preto: Instituto Brasileiro do Concreto, 1996.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1997.

CEB 162. **Durable Concrete Structures – CEB Design Guide**. Bulletin d'Information n. 162. Lausanne: Comité Euro-International du Béton, 1984.

COLLEPARDI, Mario. **Ordinary Long-Term Durability of Reinforced Concrete Structures**. In: 40º REIBRAC. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Concreto, 1998.

FERREIRA, Pablo Ramon Rodrigues. **Modelagem probabilística para previsão do tempo de iniciação da corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado expostas em zonas de atmosfera marinha**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.

FIGUEIREDO, A. D. **Durabilidade do concreto: uma abordagem prática**. São Paulo: PINI, 2009.

GASPAR, Marina Moraes. **Estudo de caso: análise de patologias, recuperação e reparo em estrutura de concreto armado em ambiente marítimo**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

GRANATO, A. R. **Propriedades do concreto em ambientes agressivos**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GUIMARÃES, A. T. C.; CASTRO, P.; NUNES, J. L. O. Teor de cloretos próximos à superfície do concreto em ambientes marítimos. In: **49º Congresso Brasileiro do Concreto**. Anais [...]. São Paulo: IBRACON, 2007.

HELENE, Paulo R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

HELENE, Paulo R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Pini, 1993.

HELENE, Paulo R. L.; ANDRADE, Carmen. **Modelos de transporte de íons agressivos no concreto**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil da Universidade de São Paulo, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO (IBAPE-SP). **Norma de vistoria de vizinhança: procedimentos básicos executivos**. São Paulo, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13823:2008. General principles on the design of structures for durability**. Geneva, 2008.

KOPSCH, Wilson. **Durabilidade de estruturas de concreto armado em ambiente marinho: estudo de caso**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LEONI, Matheus. **Patologias em estruturas de concreto: identificação, causas e prevenção**. São Paulo: Pini, 2010.

LEONI, Matheus. **Gestão de durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: Editora Técnica, 2015.

LEONI, Matheus. O impacto da água do mar nas estruturas de concreto. In: SENA, Gideon Oliveira de (org.). **Patologia das construções**. São Paulo: Ekoa Educação, 2022.

LIMA, M. G. **Durabilidade do concreto: avaliação da influência da permeabilidade e da porosidade no desempenho estrutural**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

MEDEIROS, M. H. F. **Durabilidade do concreto**. São Paulo: Pini, 2011.

MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, Paulo R. L. Durabilidade de estruturas de concreto armado em ambientes marinhos. *Revista Engenharia Civil*, v. 34, p. 27-35, 2009.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 1994.

MEIRA, G. R.; ANDRADE, Carmen; PADARATZ, I. J. Corrosão em estruturas de concreto armado: avaliação da agressividade ambiental em zonas costeiras brasileiras. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 2, n. 2, p. 123-145, 2003.

NEVILLE, Adam M. The confused world of durability. *Concrete International*, v. 23, n. 11, p. 21-28, 2001.

RIBEIRO, D. V. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, consequências e prevenção**. São Paulo: Elsevier, 2015.

SENA, Gideon Oliveira de (org.). **Patologia das construções: um guia para o diagnóstico e prevenção de manifestações patológicas em edificações**. São Paulo: Ekoa Educação, 2022.

TOLEDO, F. F. **Durabilidade do concreto em ambientes agressivos: recomendações para projeto e execução**. Belo Horizonte: UFMG, 2019.

VALENÇA, Daniel Victor da Costa. **Análise da deterioração do concreto por carbonatação natural com exposição às classes de agressividade ambiental marinha e respingos de maré**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.