CAPÍTULO 102 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/afzzcx54
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/f2cd0343

DURABILIDADE E MANUTENÇÃO DE ESTRUTURAS PORTUÁRIAS DE DIFERENTES GERAÇÕES: DIAGNÓSTICO, APRENDIZADO TÉCNICO E PLANO DE MANUTENÇÃO NO COMPLEXO DE SUAPE

Marcela B. S. Sollero*[1], Rodrigo T. Santos[1], Glauber B. Souza[2]
*Autor de contato:marcela.barros@concremat.com.br

[1] CONCREMAT Engenharia e Tecnologia S.A., São Paulo, Brasil
[2] Complexo Industrial Portuário de Pernambuco

RESUMO

Este artigo analisa os quadros patológicos de estruturas portuárias do Complexo de Suape projetadas em diferentes contextos normativos e submetidas ao mesmo ambiente marinho agressivo. Estruturas construídas entre as décadas de 1980 e 2000 apresentaram dinâmicas distintas de degradação, embora a corrosão das armaduras induzida por cloretos tenha sido identificada como o mecanismo predominante. Com base em campanhas de inspeção e ensaios, os danos foram interpretados por grupos de estruturas, subsidiando a formulação de um Plano de Manutenção Preventiva e Corretiva e das especificações técnicas associadas. O estudo destaca o planejamento da manutenção orientado por diagnóstico como instrumento para a gestão do desempenho estrutural e a preservação da infraestrutura portuária ao longo do ciclo de vida.
Palavras-chave: inspeção; manutenção; estruturas portuárias; durabilidade.

ABSTRACT

This paper analyzes the pathological conditions of port structures at the Suape Port Complex designed under different normative contexts and exposed to the same aggressive marine environment. Structures built between the 1980s and the 2000s exhibited distinct degradation dynamics, although chloride-induced reinforcement corrosion was identified as the predominant mechanism. Based on inspection and testing campaigns, damage patterns were interpreted by groups of structures, supporting the formulation of a Preventive and Corrective Maintenance Plan and associated technical specifications. The study highlights maintenance planning based on diagnosis as a key tool for managing structural performance and preserving port infrastructure throughout the asset life cycle.

Keywords: inspection; maintenance; port structures; durability.

1. INTRODUÇÃO

O Complexo Industrial Portuário de Pernambuco (Complexo de Suape) é um dos maiores centros logísticos do país, figurando entre os 5 maiores complexos portuários do Brasil em total de movimentação de carga geral (Brasil, 2026). Suas estruturas portuárias, divididas em Porto Interno – Cais 1 a 5 – e Porto Externo – Píeres de Granéis Líquidos (PGL1, PGL2, PGL3A e PGL3B) e Cais de Múltiplos Usos (CMU) – foram projetadas e construídas entre 1981 e 2009, prevendo-se para um horizonte próximo a inauguração de um Terminal de Containers e de outros cais no Porto Interno. A Figura 1 ilustra as estruturas portuárias.

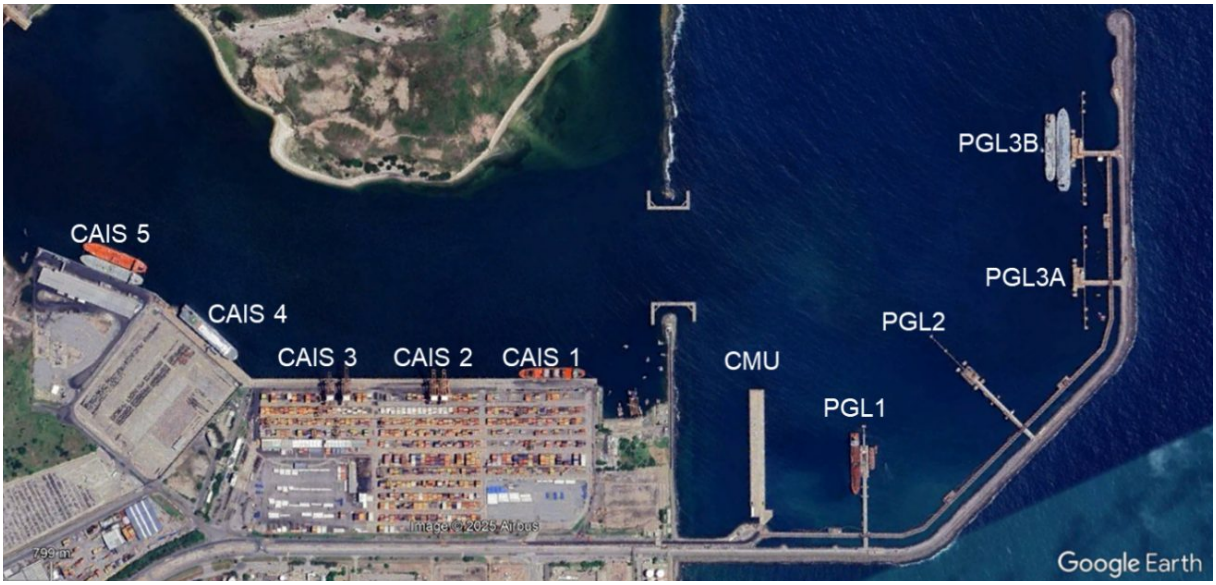


Figura 1 – Vista aérea do Porto Interno e do Porto Externo do Complexo de Suape
Fonte: Google Earth (2026).

A expansão do porto ao longo dos anos, impulsionada pelo desenvolvimento econômico e pelo aumento da demanda logística, resultou na convivência de estruturas que refletem diferentes momentos da engenharia civil. As estruturas projetadas na década de 1980 são fruto de um período em que as exigências normativas e o próprio conhecimento técnico acerca de durabilidade ainda eram limitados, implicando especificações distintas daquelas adotadas para os píeres e cais projetados a partir dos anos 2000, especialmente no que se refere ao tipo de cimento, resistência à compressão, espessura de cobrimento e controle tecnológico.

Nesse contexto, o presente artigo analisa as diferenças nos quadros patológicos observados em estruturas portuárias projetadas em distintos contextos normativos e submetidas ao mesmo meio agressivo, discutindo como os diferentes diagnósticos fundamentaram a formulação de um Plano de Manutenção Preventiva e Corretiva e de especificações técnicas aplicáveis ao conjunto das estruturas portuárias do Complexo de Suape. Sob a ótica da gestão de ativos, a manutenção deixa de ser compreendida apenas como resposta a danos severos e passa a constituir um pilar da gestão da infraestrutura portuária. Estudos internacionais indicam que os custos de operação e manutenção representam a maior parcela do custo total de propriedade de uma infraestrutura ao longo de sua vida útil, sendo fortemente influenciados pelas decisões tomadas a partir da fase de inspeção e diagnóstico. Em complexos portuários caracterizados pela coexistência de estruturas com diferentes idades e concepções construtivas, como Suape, a consolidação de programas contínuos de inspeção e diagnóstico é condição essencial para uma gestão de manutenção eficiente e economicamente sustentável (PRIF, 2021).

2. CONTEXTO NORMATIVO, CONSTRUTIVO E DE DURABILIDADE

A concepção e o desempenho das estruturas portuárias estão diretamente relacionados ao contexto normativo vigente à época de sua elaboração e ao grau de maturidade do conhecimento técnico acerca dos mecanismos de degradação associados ao ambiente marinho. No Brasil, até as décadas finais do século XX, a durabilidade das estruturas de concreto era tratada de forma subjetiva, baseada no bom senso e na experiência do profissional e assegurada por exigências prescritivas, sem a adoção explícita de critérios de vida útil de projeto (Medeiros, Andrade, Helene; 2011).

As estruturas mais antigas de Suape foram projetadas sob a norma ABNT NBR 6118:1980 (ABNT, 1980), que estabelecia cobrimentos mínimos e recomendações genéricas para ambientes agressivos, sem definir parâmetros objetivos relacionados à permeabilidade do concreto, à penetração de agentes deletérios ou à adoção de medidas de proteção adicionais. Embora a norma reconhecesse o ambiente marinho como fortemente agressivo, a ausência de diretrizes claras quanto à sua influência mesmo em elementos sem contato direto com a água abria espaço para interpretações diversas, refletindo o estágio do conhecimento técnico disponível à época.

A partir dos anos 2000, observa-se uma mudança progressiva de paradigma no meio técnico, acompanhando os avanços na tecnologia do concreto e a maior compreensão dos processos de degradação. Esse movimento se reflete na revisão da ABNT NBR 6118:2003 (ABNT, 2003), que incorporou de forma estruturada o conceito de durabilidade, introduzindo a classificação da agressividade ambiental e vinculando parâmetros como resistência característica do concreto, relação água/cimento (a/c) e cobrimento mínimo das armaduras às condições de exposição. Para estruturas portuárias sujeitas à respingos de maré, enquadradas como Classe de Agressividade Ambiental IV, passaram a ser exigidos concretos de maior resistência e menor permeabilidade, associados a maiores espessuras de cobrimento.

A publicação da ABNT NBR 19782:2024 (ABNT, 2024) consolida esse entendimento e estabelece requisitos específicos para o projeto de estruturas portuárias, integrando critérios estruturais, ambientais e de durabilidade. A norma fixa uma vida útil de projeto mínima de 50 anos para terminais portuários e introduz explicitamente os conceitos de vida útil residual e de acréscimo de vida útil por meio da adoção de sistemas de proteção, além de classificar a zona de variação e respingos de maré como ambiente de agressividade especial (classe IV-E).

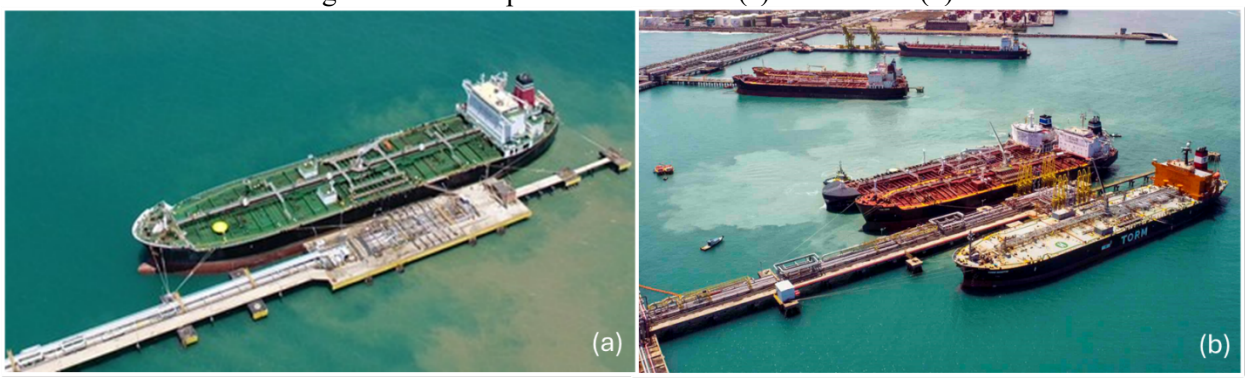
Do ponto de vista construtivo, a ABNT NBR 19782:2024 estabelece que, para estruturas inseridas em ambientes altamente agressivos e com vida útil de projeto igual ou superior a 50 anos, o atendimento isolado aos parâmetros usuais de projeto não é suficiente, sendo requerida a adoção de sistemas especiais de proteção, como inibidores de corrosão, proteção catódica, ânodos de sacrifício e revestimentos superficiais. A norma reforça ainda a integração entre durabilidade e gestão da manutenção, ao exigir a realização de inspeções periódicas e a avaliação contínua da vida útil residual como subsídio às decisões de intervenção.

Nesse contexto, a coexistência em Suape de estruturas projetadas sob diferentes referenciais normativos e concepções construtivas resulta em comportamentos distintos frente ao mesmo meio agressivo. A compreensão desse contexto normativo e construtivo é fundamental para a interpretação dos quadros patológicos observados nas diferentes gerações de estruturas e para o estabelecimento de estratégias de manutenção compatíveis com suas características, em consonância com as diretrizes atualmente preconizadas pelas normas técnicas vigentes.

3. CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS E HISTÓRICO

Os projetos do Píer de Granéis Líquidos 1 (PGL1) datam de 1981. Sua plataforma central (Figura 2), com 84 m de comprimento e 25 m de largura, possui superestrutura em grelha formada por laje sobre vigas de concreto armado, apoiadas em estacas centrifugadas de concreto protendido. Dispõe de 6 dolfins, ponte de acesso com *pipe rack* e Cais de Rebocadores, totalizando 330 m de extensão.

Figura 2 – Vistas parciais dos PGL 1 (a) e do PGL 2 (b)



Fonte: Brasil (2014) e Brasil (2020).

O Cais de Múltiplos Usos (CMU) (Figura 3) teve seus projetos iniciados em 1983 e sua construção em 1986, sendo inaugurado após cinco anos. Possui superestrutura em laje sobre grelha de vigas com modulação de aproximadamente 10,0 m x 5,0 m, totalizando 342,5 m de comprimento e 39,2 m de largura, apoiada em 754 estacas de concreto centrifugado e protendido, além de uma ponte de acesso de 20 m de largura e 15 m de comprimento. Trata-se de uma das maiores estruturas do complexo, tanto em extensão quanto em diversidade de usos operacionais.

Figura 3 – Vistas parciais do CMU



Fonte: os autores.

Os Cais 1 a 5, adjacentes entre si e com um balanço voltado para o mar, somam cerca de 1628 m de comprimento e 33 m de largura. São constituídos por superestrutura em grelha de laje sobre vigas de concreto armado, apoiadas em blocos e em cerca de 1400 estacas de concreto protendido.

Do ponto de vista de materiais e parâmetros de projeto, o PGL1, o CMU e os Cais 1 a 3 foram concebidos sob a vigência da ABNT NBR 6118:1980 (ABNT, 1980), com o uso de cimento Portland comum 320 (CP I 32, na classificação atual), sem adições, consumo mínimo de 400 kg/m³ e fator a/c de 0,45. A resistência à compressão especificada variou de 220 kgf/cm² (22 MPa) a 25 MPa para a superestrutura e de 220 kgf/cm² (22 MPa) a 30 MPa para a infraestrutura.

O PGL 2, com 386,2 m de extensão, possui plataforma central de 45,0 m x 32,0 m, além de ponte, passarela de acesso e 10 dolfins. A superestrutura da plataforma é constituída por grelha de lajes sobre vigas, apoiando-se em estacas de concreto protendido. Os projetos, iniciados em 2000, já refletem a transição para um novo paradigma de durabilidade, com a especificação de concreto de 50 MPa, em consonância com os avanços normativos e tecnológicos então em curso.

Essa evolução se consolida nos projetos dos Cais 4 e 5, iniciados em 2008, nos quais foram especificados concretos com $f_{ck} \geq 45$ MPa, uso de cimento resistente a sulfatos e com limitação de C_3A, adições minerais, fator a/c $\leq 0{,}42$, cobrimento mínimo das armaduras de 4,5 a 5,5 cm, verificação da reatividade potencial dos agregados e medidas explícitas de mitigação da corrosão das armaduras. Essas estruturas evidenciam a incorporação, ainda na fase de projeto, de parâmetros voltados à redução da permeabilidade do concreto e ao controle dos mecanismos de degradação em ambiente marinho.

Os PGLs 3A e 3B, inaugurados em 2010, representam a geração mais recente de estruturas portuárias do complexo. Possuem plataformas, pontes de acesso e 10 dolfins cada, formados por elementos de concreto armado e protendido. As superestruturas das plataformas caracterizam-se por lajes sobre grelha de vigas de concreto armado, com 2 níveis. A infraestrutura é formada por estacas centrifugadas de concreto protendido. Nessa geração, os parâmetros de projeto e detalhamento já incorporam, desde a origem, critérios compatíveis com ambientes de agressividade elevada, alinhados às práticas de durabilidade então consolidadas.

As estruturas portuárias do Complexo de Suape, portanto, refletem três gerações construtivas diretamente associadas ao contexto normativo e ao avanço do conhecimento técnico acerca da durabilidade do concreto em ambiente marinho:

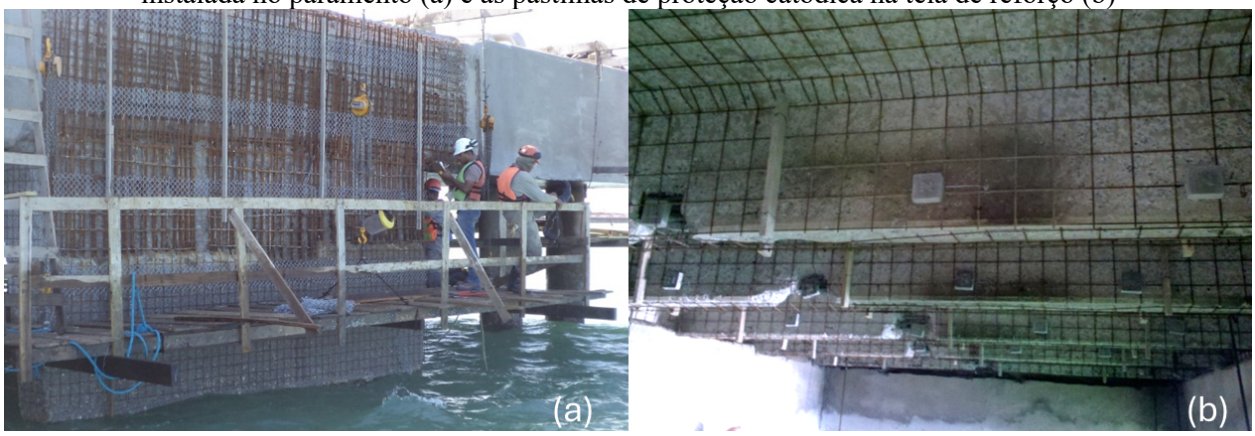
a) A geração dos anos 1980, concebida sob a ABNT NBR 6118:1980, com concretos de menor resistência e cobrimentos mais modestos;
b) O período de transição entre 2000 e 2008, marcado pela adoção progressiva de concretos de maior desempenho;
c) A geração inaugurada em 2010, já alinhada às práticas de projeto e detalhamento orientadas para a mitigação da corrosão induzida por cloretos e para a redução da permeabilidade.

Passados cerca de 20 anos após suas inaugurações, foram identificados danos nas estruturas de concreto armado do CMU e do PGL 1, os quais motivaram inspeções visuais e obras de recuperação na década de 2000. Como essas estruturas permaneceram sem sistemas de proteção superficial nesse período, ocorreu a penetração progressiva de cloretos, propiciando a corrosão das armaduras e o desplacamento do concreto.

Em 2012, foi finalizada uma nova campanha de inspeção, seguida de intervenções de recuperação no CMU, quando se realizou o encamisamento de elementos da superestrutura. Apesar do cobrimento médio das armaduras de 3,0 cm nas vigas e de 3,5 a 5,0 cm nas lajes, verificaram-se contaminações mais profundas, o que levou à substituição localizada de armaduras, à remoção do

concreto de cobrimento deteriorado e ao encamisamento com concreto projetado e telas soldadas. Conforme a área de intervenção, foram empregados concretos com cimento CP II-Z, CP III ou CP IV, com adição de microssílica, f_{ck} = 40 MPa, ou concreto projetado com microssílica e nitrito de sódio, f_{ck} = 35 MPa. Nessa etapa, foram testadas diferentes soluções de proteção catódica, incluindo: (i) tela de proteção catódica constituída por liga de alumínio, zinco, estanho e, ocasionalmente, manganês; (ii) pastilhas de proteção galvânica à base de zinco e alumínio; (iii) inibidor de corrosão à base de nitrito de sódio incorporado ao concreto projetado; e (iv) inibidor de corrosão misto aplicado por aspersão. A Figura 4 ilustra algumas das soluções implantadas.

Figura 4 – Vistas parcial e detalhe das obras de recuperação. Observa-se a tela de proteção catódica instalada no paramento (a) e as pastilhas de proteção catódica na tela de reforço (b)



Fonte: os autores.

Considerando a reatividade potencial de parte dos agregados, característica comum da região, ampliou-se a importância da redução da umidade nos elementos estruturais. Para tanto, foram aplicados sistemas de proteção à base de cristalizante cimentício, estucamento com argamassa polimérica e pintura com tinta betuminosa, como medidas complementares de proteção.

A partir desse histórico, o Complexo de Suape decidiu implantar um Sistema de Gestão de Ativos para o acompanhamento das estruturas portuárias, com o objetivo de embasar ações de manutenção corretiva, preventiva e preditiva, garantindo a preservação e a disponibilidade das estruturas, bem como a otimização dos custos associados. Nesse contexto, foi desenvolvida uma ampla campanha de inspeções e ensaios em todas as estruturas, posteriormente atualizada por inspeções realizadas entre 2013–2014 e 2019–2021, fundamentando o planejamento e as intervenções subsequentes.

4. METODOLOGIA E DIAGNÓSTICO

A implantação do Sistema de Gestão de Manutenção das estruturas portuárias do Complexo de Suape foi precedida pela anamnese das estruturas, com levantamento e análise de projetos e memoriais, realização de inspeção visual preliminar e detalhada e execução de ensaios nas estruturas de concreto armado e protendido. Esse conjunto de atividades permitiu caracterizar as condições estruturais, estabelecer prioridades e subsidiar o planejamento, o controle e a sistematização das ações de manutenção ao longo do tempo.

A metodologia adotada contemplou as estruturas portuárias integrantes do sistema operacional, incluindo a Tubovia, uma ponte de concreto armado com 2,3 km de extensão, apoiada sobre 421 estacas de concreto protendido, ainda que nem todas essas estruturas sejam discutidas em detalhe no presente artigo. As atividades de inspeção e diagnóstico foram estruturadas de forma sistemática

e periódica, com definição de tipos de inspeção, frequência e níveis de aprofundamento, de modo a permitir o acompanhamento da evolução dos quadros patológicos e a comparação entre campanhas sucessivas. Como parte do método, a formulação do Plano de Manutenção Preventiva e Corretiva baseou-se nos princípios da EN 1504 (CEN, 2008), referencial para a definição dos objetivos das intervenções e para a seleção dos métodos de reparo e proteção do concreto. Adicionalmente, foram elaboradas estimativas orçamentárias associadas às ações de manutenção, não com caráter executivo, mas como instrumento de priorização técnica e planejamento, integrando os resultados do diagnóstico estrutural às decisões de gestão da manutenção.

Entre 2012 e 2014, foi realizada uma ampla campanha de inspeções e ensaios, com amostragem representativa nas diferentes estruturas portuárias, contemplando:

- Inspeção visual das regiões emersas e submersas;
- Localização das armaduras e determinação do cobrimento por indução magnética;
- Determinação da espessura carbonatada do concreto;
- Determinação do potencial de corrosão das armaduras;
- Avaliação da homogeneidade do concreto por ultrassom;
- Determinação dos teores de cimento, cloretos totais e sulfatos totais;
- Determinação da massa específica, absorção e índice de vazios e
- Determinação de permeabilidade *in situ* - Pipeta Karsten;
- Determinação da resistência à compressão axial e de módulo de deformação do concreto;
- Análise petrográfica, abrangendo técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- Conferência geométrica e cadastramento de armaduras;
- Monitoramento dinâmico;
- Levantamento de condições ambientais e cargas permanentes;
- Ensaio de integridades de estacas (PIT – *pile integrity test*) e sondagem a percussão.

A partir da análise integrada dos dados obtidos, foi realizado o diagnóstico dos mecanismos de degradação preponderantes, destacando-se a corrosão das armaduras induzida por cloretos, com menor relevância da corrosão por carbonatação e da reação álcali-agregado. Esses mecanismos foram avaliados com base em estudos das fases de iniciação e propagação da corrosão, bem como em estimativas de vida útil de serviço e vida útil residual das estruturas.

Como parte do diagnóstico estrutural, foi realizada a análise da capacidade portante do CMU por meio de modelagem matemática tridimensional baseada no método dos elementos finitos, utilizando o software SAP 2000 (Figura 5).

Figura 5 – Vistas do modelo: (a) geral, (b) inferior na região da junta de dilatação e (c) lateral, evidenciando-se em marrom a restrição lateral das estacas por elementos tipo *spring*



Fonte: os autores.

A análise estrutural teve caráter previdente e decisório, permitindo verificar de forma objetiva que os processos de corrosão identificados ao longo da vida útil não implicaram comprometimento da capacidade resistente da estrutura. A modelagem considerou a geometria e as propriedades reais dos materiais, confirmadas por conferência geométrica e ensaios, o histórico de intervenções e o quadro patológico existente, incorporando ainda os resultados do monitoramento dinâmico da estrutura para calibração.

Os resultados da análise evidenciaram a robustez estrutural do sistema, com fatores de segurança obtidos na verificação dos esforços de flexão e cisalhamento sempre superiores ao valor mínimo adotado, destacando-se: vigas longarinas com FS de 1,8 a 2,4, vigas transversinas com FS = 3,3, laje com FS = 2,5 e estacas com FS = 2,2. Na modelagem, foram considerados os carregamentos pertinentes às estruturas portuárias, incluindo sobrecargas operacionais, variações térmicas, esforços decorrentes da atracação e amarração de embarcações e carga móvel representada pelo trem-tipo TB-45. As verificações dos estados limites último (ELU) e de serviço (ELS) indicaram deslocamentos máximos e aberturas de fissuras inferiores aos limites estabelecidos pela ABNT NBR 6118 (ABNT, 2007), confirmando o comportamento estrutural adequado.

Como desdobramento dessas análises, foi implementado um Plano de Manutenção Preventiva e Corretiva, apoiado por um Sistema de Gestão da Manutenção informatizado. A adoção desse sistema e do plano associado foi reconhecida como boa prática, tendo sido inclusive recomendada pelo Tribunal de Contas da União (Brasil, 2014a).

Entre 2019 e 2020, após nova campanha de inspeção visual, foram realizados ensaios complementares, incluindo a determinação da espessura carbonatada do concreto, do potencial de corrosão das armaduras, da resistividade elétrica superficial do concreto e dos teores de cloretos e sulfatos livres, além de análises petrográficas com técnicas de microscopia. A seleção dos pontos de ensaio foi planejada de modo a permitir tanto a avaliação da evolução do quadro patológico em relação à campanha anterior quanto a ampliação das áreas avaliadas, com um mínimo de 30 pontos por estrutura.

No caso do CMU, parte dos ensaios foi realizada tanto no concreto original quanto no concreto do encamisamento, possibilitando a avaliação comparativa do comportamento dos materiais ao longo do tempo. Os resultados dessas campanhas fundamentaram a atualização do Plano de Manutenção, a revisão das prioridades de intervenção e a incorporação de novas técnicas e produtos, conforme discutido nos itens subsequentes.

5. QUADROS PATOLÓGICOS E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

A análise dos quadros patológicos observados nas estruturas portuárias de Suape evidencia que, embora submetidas ao mesmo ambiente marinho e concebidas para a mesma finalidade operacional, estruturas projetadas em contextos normativos distintos apresentam respostas significativamente diferentes ao longo do tempo. Para fins de discussão, o CMU é tomado como representativo das estruturas projetadas na década de 1980, enquanto o Cais 4 representa o contexto normativo e construtivo consolidado a partir dos anos 2000, sintetizando as diferenças de desempenho entre essas gerações.

Em ambas as estruturas, o mecanismo de degradação predominante é a corrosão das armaduras induzida pela penetração de cloretos, característica esperada em ambiente marinho. As

manifestações patológicas associadas a esse mecanismo incluem fissuração na projeção das barras, desplacamento do concreto de cobrimento e exposição das armaduras.

No CMU, inaugurado em 1986, a degradação se manifestou de forma mais difusa ao longo do tempo, refletindo as limitações inerentes ao contexto normativo da época, associado a concretos de menor resistência à compressão, cobrimentos mais modestos e maior permeabilidade. As inspeções realizadas na década de 2000 evidenciaram a presença de sinais de corrosão em aproximadamente 94 % das vigas longarinas e em 100 % das intersecções entre vigas longitudinais e transversais, com maior incidência também na face inferior das vigas longitudinais. Esses quadros motivaram intervenções de recuperação, sem que se observasse comprometimento da estabilidade estrutural, conforme demonstrado pelas análises estruturais apresentadas no item anterior.

Durante as campanhas de recuperação do CMU, verificou-se que, apesar dos cobrimentos médios da ordem de 3,0 cm nas vigas e 3,5 a 5,0 cm nas lajes, a contaminação por cloretos havia atingido profundidades superiores às armaduras em diversos pontos, exigindo a substituição localizada de aço e a remoção do concreto deteriorado. Esse histórico contribuiu para a compreensão do caráter progressivo da degradação e para o aprimoramento das estratégias de manutenção adotadas posteriormente.

Em contraste, o Cais 4, projetado sob a égide da ABNT NBR 6118:2003 (ABNT, 2003), apresentou um quadro patológico de menor severidade. Diferentemente do observado no CMU, o Cais 4 foi acompanhado por campanhas de inspeção precoces, com a primeira avaliação realizada cerca de cinco anos após o início de sua operação. Os ensaios iniciais indicaram a presença de cloretos predominantemente nas camadas mais superficiais do concreto, com teores inferiores ao limiar crítico na profundidade das armaduras, além de carbonatação incipiente.

A evolução desse quadro foi monitorada ao longo do tempo por campanhas sucessivas de inspeção e ensaios. As medições de potencial de corrosão evidenciaram a coexistência de regiões com probabilidade de corrosão incerta e pontos localizados com maior probabilidade de corrosão, sem a configuração de um quadro difuso semelhante ao observado no CMU. De forma consistente, os ensaios confirmaram a manutenção de teores de cloretos abaixo do crítico na profundidade das armaduras, enquanto a carbonatação avançou de forma gradual, atingindo profundidade média da ordem de 1,1 cm. Observou-se que as regiões mais vulneráveis no Cais 4 estavam associadas a fissuras por retração, especialmente em longarinas e no pavimento, favorecendo o avanço localizado da carbonatação, o aporte de cloretos e a presença de umidade. Ainda assim, a comparação entre as campanhas indicou baixo avanço global do quadro patológico, mantendo-se o caráter localizado das anomalias ao longo do período analisado.

A comparação entre o CMU e o Cais 4 demonstra que estruturas com a mesma finalidade operacional, quando projetadas sob diferentes contextos normativos e parâmetros de durabilidade, não apresentam a mesma dinâmica de degradação, mesmo sob condições ambientais semelhantes. No CMU, a combinação de concretos de menor desempenho e ausência de medidas de proteção incorporadas ao projeto original resultou em quadros mais amplos de degradação ao longo do tempo. No Cais 4, os parâmetros de projeto mais rigorosos e o acompanhamento precoce permitiram controlar a evolução dos danos, viabilizando uma abordagem baseada em monitoramento contínuo e intervenções mais seletivas. Essas diferenças de comportamento reforçam que os grupos de estruturas, embora funcionalmente equivalentes, exigem estratégias diferenciadas de manutenção, diretamente condicionadas pelos níveis de resistência do concreto, espessuras de cobrimento e contexto normativo de projeto.

6. ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DE MANUTENÇÃO

A estruturação do Sistema de Gestão da Manutenção das estruturas portuárias de Suape teve início com a elaboração de um manual técnico de padronização, desenvolvido concomitantemente à primeira emissão do Plano de Manutenção. Esse manual teve como objetivo estabelecer critérios comuns de análise e diagnóstico, assegurando consistência técnica nas inspeções e nas decisões de manutenção ao longo do tempo, independentemente das equipes envolvidas.

O documento consolidou os conceitos técnicos adotados nas inspeções e análises, contemplando aspectos relacionados ao desempenho das estruturas ao longo do tempo, à definição dos mecanismos de degradação relevantes em ambiente marinho e à influência dos microclimas locais sobre a evolução dos danos. Foram também estabelecidas diretrizes para a realização de inspeções e ensaios, bem como para a caracterização das condições estruturais, de modo a permitir a comparação entre diferentes campanhas e a identificação de tendências de degradação.

Como parte dessa padronização, o manual adotou os princípios da série EN 1504 como referencial para a definição dos objetivos das intervenções e para a seleção dos métodos de reparo e proteção do concreto, sem caráter prescritivo. Adicionalmente, foram definidos os tipos de inspeção aplicáveis às estruturas do complexo e os critérios de avaliação das condições estruturais e de priorização das intervenções, fornecendo uma base técnica comum para o planejamento da manutenção. Esse conjunto de definições permitiu estruturar a gestão da manutenção de forma sistemática e previsível, fornecendo suporte técnico às decisões ao longo do tempo e viabilizando a transição de uma abordagem predominantemente reativa para um modelo planejado, compatível com a diversidade de estruturas, idades e condições de exposição existentes em Suape.

7. ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO E MANUTENÇÃO

As estratégias de intervenção e manutenção estabelecidas para Suape foram definidas a partir da análise dos seus diferentes grupos de estruturas, representativos de distintos contextos normativos, idades e dinâmicas de degradação. Inicialmente, foi desenvolvido um Plano de Manutenção com especificações técnicas para cada estrutura, considerando suas distinções construtivas, níveis de exposição e estágio de deterioração. Na atualização do Sistema de Gestão, as especificações foram consolidadas em apenas um documento, buscando-se facilitar a logística de recuperação, mas mantendo o direcionamento de procedimentos para casos particulares sempre que preciso.

No processo de formulação do plano, as especificações de manutenção preventiva e corretiva foram orientadas pelos mecanismos de degradação predominantes, com ênfase na corrosão das armaduras induzida por cloretos. Para estruturas mais antigas, com quadros mais difusos, fora previstas mais ações voltadas à reabilitação de elementos e à mitigação da progressão da corrosão. Para estruturas mais recentes, as ações preventivas assumem maior peso.

Diferentes soluções de controle da corrosão foram efetivamente testadas em campo, fundamentando as estratégias adotadas. Entre essas soluções incluem-se o emprego em reparos, em diversas combinações, de concreto com e sem inibidor de corrosão incorporado, de pastilhas galvânicas convencionais, de inibidores por aspersão, malhas galvânicas e sistemas de proteção superficial. Observou-se que os melhores resultados estiveram associados aos sistemas formados pela combinação de malha galvânica, encamisamento com concreto, aspersão de inibidor e proteção superficial. Entretanto, essas soluções mostraram-se invasivas e de execução complexa,

além de apresentarem desempenho não replicável em regiões onde a malha galvânica não estava presente em todo o conjunto estrutural. Em áreas fortemente corroídas, as soluções baseadas apenas em reparo associado à proteção superficial apresentaram desempenho aquém da expectativa, e as pastilhas galvânicas convencionais revelaram-se insatisfatórias, com falhas localizadas e ocorrência de *pop-out*.

Paralelamente a essas experiências práticas, a proteção catódica por corrente impressa foi analisada conceitualmente, mas não foi testada em campo, tendo sido descartada como solução generalizada em função de condicionantes técnicas relevantes, como (a) a presença de reação álcali-agregado, que pode ser acelerada por alterações no meio alcalino, (b) a existência de elementos de concreto protendido, com riscos associados à geração de hidrogênio, (c) risco de incompatibilidade com os sistemas já implantados e (d) especificidades em relação ao detalhamento das armaduras existentes.

Na revisão do Plano de Manutenção realizada em 2020, optou-se pela elaboração de projetos de proteção catódica galvânica aplicados a determinados elementos estruturais, dimensionada considerando as áreas superficiais reais das armaduras embutidas e os níveis de cloretos identificados nos ensaios. Foram especificados ânodos de maior capacidade, com dimensões típicas de 38 mm × 83 mm × 1000 mm, massa anódica da ordem de 3 kg por unidade e vida útil de 20 anos, compatível com os objetivos de durabilidade estabelecidos no plano. Essa solução permitiu uma atuação localizada e compatível com o comportamento das estruturas, sem interferir de forma significativa no equilíbrio eletroquímico global.

Além das especificações técnicas passo a passo para recuperação de concreto e armaduras, tratamento de fissuras e juntas, recomposição de elementos complementares, entre outros, passaram a ser especificados sistemas de proteção superficial mais atuais, incluindo produtos à base de cristalizantes cimentícios, hidrofugantes à base de silano e revestimentos poliméricos permeáveis ao vapor, com o objetivo de reduzir o ingresso de agentes agressivos e umidade, respeitando as condições higroscópicas do concreto existente. Essas soluções foram selecionadas de forma compatível com o histórico das estruturas e com os mecanismos de degradação predominantes, evitando abordagens genéricas e mantendo-se alinhadas às normas europeias EN 1504.

De forma geral, as estratégias consolidadas no Plano de Manutenção refletem a compreensão de que a especificação de intervenções deve estar diretamente vinculada ao diagnóstico e ao aprendizado acumulado com o comportamento real das estruturas, e não à aplicação indiscriminada de soluções padronizadas.

8. CONCLUSÃO

O presente artigo teve como objetivo analisar as diferenças nos quadros patológicos de estruturas portuárias projetadas em distintos contextos normativos, discutindo como os diferentes diagnósticos fundamentaram a formulação de um Plano de Manutenção e de especificações técnicas aplicáveis ao conjunto das estruturas portuárias de Suape.

As análises evidenciaram que, embora submetidas ao mesmo ambiente marinho agressivo, estruturas projetadas em diferentes contextos normativos e tecnológicos apresentam dinâmicas distintas de degradação ao longo do tempo. O mecanismo de degradação predominante observado foi a corrosão das armaduras induzida por cloretos, porém sua velocidade de progressão,

profundidade de contaminação e impacto operacional variaram de forma significativa entre as diferentes gerações construtivas.

O estudo demonstrou que a interpretação dos quadros patológicos por grupos de estruturas, representativos de épocas de projeto, parâmetros de durabilidade e níveis de desempenho do concreto, foi fundamental para a compreensão do comportamento global do sistema portuário. As diferenças foram ilustradas pelo CMU, cais projetado na década de 1980, e pelo Cais 4, projetado na década de 2000.

A partir desse diagnóstico por grupos, o artigo evidenciou que a formulação de estratégias de manutenção eficazes depende menos da aplicação isolada de soluções consagradas e mais da avaliação crítica de seu desempenho no contexto específico das estruturas. A experiência acumulada ao longo das campanhas de inspeção e das intervenções anteriores demonstrou, por exemplo, que soluções pontuais ou aplicadas de forma não integrada tendem a apresentar desempenho limitado em estruturas com quadros patológicos mais difusos, enquanto abordagens combinadas, embora tecnicamente mais eficientes, podem se mostrar excessivamente invasivas e de difícil replicação. Esse aprendizado técnico foi determinante para a evolução das especificações adotadas no Plano de Manutenção, orientando a seleção de soluções compatíveis com os mecanismos de degradação identificados e com as particularidades construtivas das estruturas.

Como resultado direto desse processo, o trabalho consolidou um Plano de Manutenção Preventiva e Corretiva e um conjunto de especificações técnicas estruturadas, fundamentadas em inspeção sistemática, diagnóstico aprofundado e revisão crítica das alternativas disponíveis. As especificações técnicas, portanto, refletem decisões de engenharia orientadas pelo comportamento real das estruturas, permitindo direcionar as ações de manutenção de forma seletiva, tecnicamente justificada e alinhada aos objetivos de durabilidade estabelecidos para o complexo portuário.

Sob a ótica da gestão de ativos, os resultados apresentados estão em consonância com recomendações internacionais, como as do *Pacific Region Infrastructure Facility* (PRIF), que destacam que a maior parcela do custo de um ativo de infraestrutura ao longo de sua vida útil está associada às decisões de operação e manutenção, e não à fase inicial de construção (PRIF, 2021). A experiência de Suape demonstra, na prática, que investimentos contínuos em inspeção, diagnóstico e planejamento de manutenção constituem instrumento efetivo de preservação do capital investido, reduzindo a necessidade de intervenções emergenciais de grande porte e contribuindo para maior estabilidade no fluxo de recursos ao longo do tempo.

Nesse contexto, a estruturação de um sistema contínuo de inspeção, diagnóstico e planejamento da manutenção evidencia uma postura institucional voltada à gestão responsável da infraestrutura portuária, compatível com a relevância estratégica do porto e com as exigências atuais de confiabilidade e sustentabilidade dos ativos. A consolidação do Plano de Manutenção e das especificações técnicas associadas reforça a capacidade do complexo em garantir a integridade estrutural, a continuidade operacional e a atratividade de seus ativos, nos quais a previsibilidade do desempenho da infraestrutura constitui fator decisivo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe do Complexo Industrial Portuário de Pernambuco pela autorização para divulgação dos dados e por toda a parceria desenvolvida ao longo dos anos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 19782**: Investigação de estruturas de concreto — Inspeção e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). **Estatístico Aquaviário**. Brasília, DF: ANTAQ, 2026. Disponível em: https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/Relatorio.html#pt. Acesso em: 15 mar. 2026.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Suape geral 2 1.jpg**. 2014. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/centrais-de-conteudo/suape-geral-2-1-jpg/view. Acesso em: 13 mar. 2026.

BRASIL. Ministério de Portos e Aeroportos. **Estudos e Pesquisas**: transporte aquaviário. Brasília, DF: Ministério de Portos e Aeroportos, 31 jul. 2020. Atualizado em: 8 jul. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/transporte-aquaviario/estudos-e-pesquisas. Acesso em: 15 mar. 2026.

BRASIL. **Tribunal de Contas da União.** *Acórdão nº 3222/2014 – Plenário.* Relator: Marcos Bemquerer. Brasília, DF, sessão de 19 nov. 2014a. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/doc/acordao-completo/3222/2014/Plen%C3%A1rio>. Acesso em: 13 mar. 2026.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 1504-9**: Products and systems for the protection and repair of concrete structures: definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity: part 9: general principles for the use of products and systems. Brussels: CEN, 2008.

GOOGLE EARTH PRO. Imagem de satélite do Complexo Industrial Portuário de Pernambuco (Suape). [S.l.]: Google, 2025. Disponível em: https://earth.google.com/. Acesso em: 13 mar. 2026.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. *In*: ISAIA, Geraldo Cechella (ed.). **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo: Ibracon, 2011. v. 1, cap. 22, p. 773-808.

PACIFIC REGION INFRASTRUCTURE FACILITY (PRIF). **Pacific Infrastructure Maintenance Benchmarking Report**: 2021 baseline assessment. Sydney: PRIF, 2021.

SUAPE. **[Navio atracado no PGL 2]**. 2021. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br/pt/noticias/1325-porto-de-suape-registra-70-de-crescimento-na-movimentacao-de-cargas-em-fevereiro. Acesso em: 22 maio 2024.

SUAPE. Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros. **Galeria de Imagens**: Porto Organizado. Ipojuca: Suape, 2024. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br. Acesso em: 15 mar. 2026.