



Recuperação estrutural na Ponte da Torre: identificação e análise de manifestações patológicas, ensaios e soluções adotadas.

Mônica Fernanda Tavares Pires

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco – UPE, Brasil
monica_ftp@hotmail.com

Airton Ruan Alexandre da Silva

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco – UPE, Brasil
airtonruan35@gmail.com

João Batista Pereira Alves de Almeida

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco – UPE, Brasil
jbatistapaa2@gmail.com

Thamirys Limeira Torres

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco – UPE, Brasil
thamirys.l.torres@gmail.com

Eliana Cristina Barreto Monteiro

Professora Adjunta da Universidade de Pernambuco – UPE, Brasil e Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP,
Brasil
eliana@poli.br

RESUMO

Este artigo apresenta as principais manifestações patológicas identificadas na Ponte da Torre, os ensaios destrutivos e não destrutivos realizados para diagnósticos assertivos que comprovam o comprometimento estrutural bem como os métodos adotados para recuperação desta Obra de Arte Especial (OAE). Foram realizados os ensaios de extração de testemunhos, potencial de corrosão, resistividade elétrica superficial, carbonatação, pacometria, perfil de cloreto e ensaio de resistência à compressão. A Ponte da Torre é uma ponte com alta relevância arquitetônica e viária para a cidade do Recife, atendendo as solicitações de tráfego da zona norte da capital pernambucana. Reconhecendo sua relevância, é evidente a necessidade de preservar esta OAE para as futuras gerações, incorporando os princípios de conservação, recuperação, restauração e, mais recentemente, sustentabilidade. Este estudo se insere na prática e execução de projetos, intervenções e requalificações na cidade contemporânea, onde a influência da classe de agressividade ambiental pelo meio em que está inserida é fator fundamental para compreensão dos danos encontrados na ponte. Apesar disso, se pode constatar que um dos lados da estrutura apresenta mais danos que o outro, sendo necessário neste um reforço maior. A consequência do grave estado de deterioração, em especial do concreto, na estrutura da Ponte da Torre está relacionada diretamente à ausência de vistorias e manutenções corretivas periódicas. Através da realização deste estudo, pode-se ter conhecimento nos procedimentos e métodos que auxiliam e embasam soluções sustentáveis adotadas para promover a segurança e a durabilidade da ponte.

PALAVRAS-CHAVES: Manifestações patológicas. Diagnóstico. Recuperação estrutural.

1 INTRODUÇÃO

O presente artigo se insere na área de recuperação de estruturas em concreto armado, com a Ponte da Torre, Obra de Arte Especial (OAE), como objeto de estudo. A ponte é um dos principais acessos ao bairro que recebe o mesmo nome, bairro da Torre, na zona norte do Recife, e fez parte dos projetos de intervenção urbana que integraram o plano de desenvolvimento do estado de Pernambuco no período entre 1922 e 1926. Categorizada como ponte em viga, que, de acordo com Pinheiro (2019), é o tipo mais barato e simples de estrutura para pontes, sua estrutura é composta por plataforma, vigas e pilares, que representam a superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura.

No ano de 2018, foi documentado pela mídia local o preocupante grau de deterioração na estrutura desta e outras pontes da cidade. O estudo deste artigo se propõe a explicar o levantamento visual das manifestações patológicas, bem como os resultados de ensaios de extração de testemunhos, potencial de corrosão, resistividade elétrica superficial, carbonatação, pacometria, perfil de cloreto e ensaio de resistência à compressão, e definir os principais danos causados por estas manifestações patológicas. Além disso, mostrar também os serviços realizados para restauração da estrutura.

Desse modo, torna-se imperativo não apenas conservar a aparência da Ponte da Torre, mas também garantir a integridade de todos os seus elementos, reconhecendo-a como um produto único. Isso implica adotar soluções que atendam aos critérios do desenvolvimento sustentável, seguindo os pilares fundamentais do tripé ambiente, economia e sociedade (Barbosa *et al.*, 2018).

No âmbito ambiental, reconhece-se que a preservação é uma ferramenta crucial para

mitigar os impactos decorrentes de futuras operações na ponte, evitando intervenções massivas de reforma, restauração e reabilitação. Para isso, é imprescindível adotar processos de manutenção e conservação que prolonguem efetivamente a vida útil da estrutura e garantam sua integridade ao longo do tempo.

Do ponto de vista econômico, compreende-se que a escassez de recursos e a falta de investimentos em manutenção representam obstáculos significativos para a preservação. Logo, um programa de manutenção preventiva demonstra-se economicamente mais vantajoso em comparação às operações de manutenção corretiva, prevenindo custos elevados e garantindo a sustentabilidade financeira a longo prazo (Castro, 2012).

Sob o aspecto social, destaca-se que a preservação da infraestrutura da Ponte da Torre contribui diretamente para o desenvolvimento da sociedade, promovendo bem-estar, qualidade de vida, valorização do patrimônio e senso de pertencimento à comunidade local. Ao respeitar a memória e a identidade da região, a preservação da ponte fortalece os laços comunitários e enriquece o tecido social da cidade, consolidando-a como um espaço que valoriza sua história e seu legado cultural.

2 OBJETIVOS

Identificar as manifestações patológicas e descrever o processo de recuperação estrutural na Ponte da Torre, em Recife/PE.

3 METODOLOGIA

3.1 Método

A Ponte da Torre, localizada sobre o rio Capibaribe, interliga os bairros das Graças e Torre, pertencentes à zona norte da cidade de Recife, capital do estado de Pernambuco, como ilustra o mapa de localização na Figura 1. O rio Capibaribe passa por áreas densamente povoadas e capta parte do esgoto sanitário da cidade, fato relevante para a agressividade do meio ambiente que atua sobre a estrutura em concreto armado. Destinada ao tráfego rodoviário, conforme o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a ponte possui, aproximadamente, 120 metros de comprimento, 14 metros de largura para faixa de rolamento e 3 metros para o passeio.

Figura 1 – Localização da Ponte da Torre, Recife/PE

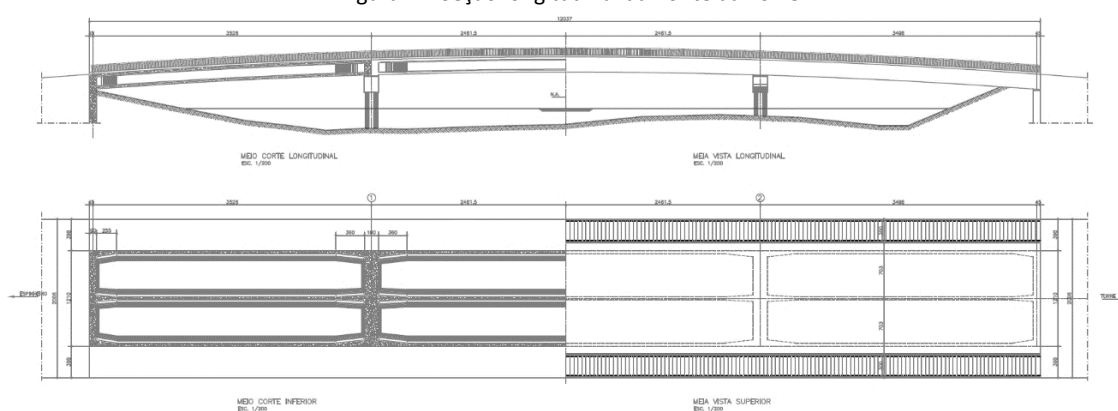


Fonte: Google Earth (2024).

A coleta dos dados foi realizada inicialmente em 2018 com imagens do estado de deterioração da estrutura. As informações pertinentes aos tipos de ensaios executados e resultados obtidos foram produzidas em 2020. Foram realizadas visitas ao local e registro fotográfico da obra de execução da recuperação estrutural. Os dados técnicos foram obtidos junto à própria equipe de engenharia e à administração da obra, fornecendo procedimentos e resultados de ensaios, bem como desenhos de detalhes construtivos.

A Figura 2 representa o corte longitudinal e exibe, além de seu eixo curvo com relação à horizontal, o tabuleiro, as duas travessas (leste e oeste) e seus tubulões (três em cada travessa).

Figura 2 – Seção longitudinal da Ponte da Torre



Fonte: EMLURB (2019).

Foram realizados os seguintes ensaios: extração de testemunhos, resistência à compressão, medição do potencial de corrosão de armaduras, medição da resistividade elétrica, profundidade de carbonatação, teor de íons cloreto e pacometria, analisados através dos softwares recomendados para cada equipamento de avaliação. Para auxiliar na interpretação dos resultados, utilizaram-se ferramentas do Pacote Office.

3.2 Análise das manifestações patológicas

De acordo com Brisola (2019), a mesoestrutura consiste nos pilares da ponte ou viaduto que sustentam toda a superestrutura e transferem as cargas para a infraestrutura. Esta área está diretamente exposta às variações de maré, o que está relacionado ao alto risco de deterioração da estrutura. Portanto, de acordo com a NBR 6118:2023, a ponte em estudo é classificada como Classe de Agressividade Ambiental III, indica a necessidade de um maior cobrimento para proporcionar uma proteção mais eficaz.

Para Ribeiro (2014), a armadura está protegida pelo cobrimento, que atua como uma barreira física contra a entrada de agentes externos e, também, é protegida por uma camada química conferida pela alta alcalinidade da solução aquosa nos poros do concreto. No entanto, ao longo do tempo, esta proteção diminui, processo conhecido como despassivação da armadura, conforme explicado por Verly (2015). Este fenômeno pode ocorrer de duas formas: através da carbonatação do concreto, processo que é intensificado nas áreas urbanas devido

às altas concentrações de gás carbônico, e pela ação de ataques de cloretos. Com a perda dessa proteção, o aço se torna suscetível à corrosão.

Segundo Zucareli *et al.* (2021), a corrosão do aço no concreto é classificada em fatores internos e externos. Os fatores externos são pertinentes aos parâmetros de qualidade do concreto como teor de cimento, aditivos, qualidade e quantidade da água utilizada, agregados e sais de cloreto, bem como composição e estrutura do aço. Já os fatores internos são os ambientais no nível do aço dentro do concreto, como o oxigênio, umidade relativa, temperatura, carbonatação, poluentes gasosos, ácidos e íons. A corrosão no aço se dá a partir da redução do pH que podem ser consequência de tais fatores.

De acordo com Bertolini (2010), o tipo de corrosão mais frequente é a desencadeada pelo contato com a água, denominada corrosão úmida, comum em ambientes em contato com água, devido à presença de cloretos. A corrosão úmida é a principal manifestação patológica que contribui para redução da durabilidade e capacidade de suporte dos reforços da estrutura em concreto. A Figura 3 demonstra a corrosão e deslocamento do concreto devido à perda de aderência entre aço e concreto na progressão do processo corrosivo.

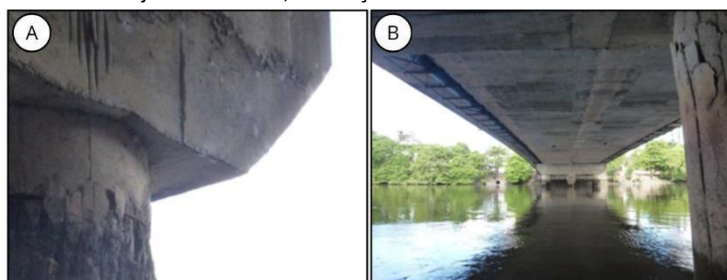
Figura 3 – Corrosão de armaduras. (A) Armadura do tubulão exposta e com perda de seção devido à corrosão; (B) Área com armadura exposta e fissuração do concreto devido à corrosão



Fonte: Autores (2018).

Também foi observada nas travessas e na laje inferior do tabuleiro da OAE, conforme apresentado na Figura 4, a presença de manchas brancas, características de um fenômeno conhecido como eflorescência. De acordo com Ribeiro *et al.* (2018), a eflorescência é resultado da formação de depósitos salinos na superfície do concreto, causada pela sua exposição à água, seja ela proveniente de infiltrações através de fissuras, seja das condições do ambiente quente e úmido. Em alguns casos, os sais que compõem esses depósitos podem ser agressivos e causar uma degradação profunda no material.

Figura 4 – Manifestações patológicas encontradas ao longo da ponte. (A) Presença de manchas brancas na travessa; (B) Eflorescência na laje do tabuleiro, fissuração e destacamento do cobrimento do tubulão



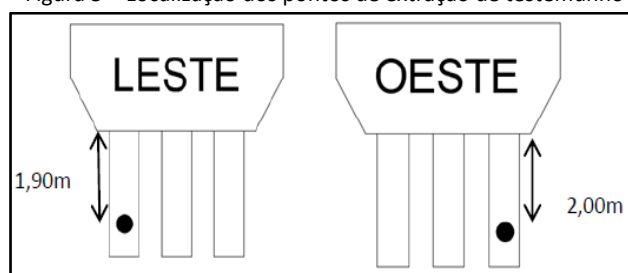
Fonte: Autores (2018).

4 RESULTADOS

Buscando diagnosticar causas e extensão dos danos das manifestações patológicas identificadas, foram realizados nos tubulões da OAE procedimentos de ensaios como extração de testemunhos, resistência à compressão, perfil de cloreto, pacometria, potencial de corrosão, resistividade elétrica superficial e carbonatação.

A extração de testemunhos é o método inicial de ensaio que retirou uma amostra de um tubulão de cada lado, como mostra a Figura 5. De acordo com a NBR 7680 (2015), os resultados obtidos através deste procedimento podem ser utilizados para a aceitação do concreto em caso de não conformidades para a avaliação da segurança estrutural da obra em andamento ou para verificação da segurança estrutural de uma obra existente. A análise dos testemunhos mostra a existência de duas camadas internas que possivelmente foram executadas em períodos diferentes, pois os concretos não apresentam ligação entre eles, apesar de apresentarem o mesmo traço.

Figura 5 – Localização dos pontos de extração de testemunho



Fonte: Adaptado do Relatório Técnico dos Ensaios (2024).

Os ensaios de resistência à compressão dos testemunhos foram realizados com base na NBR 7680-1 (2015). No lado leste, a resistência mínima foi 24,3 MPa e, no lado oeste, 33,2 MPa. As peças 1 e 5 representam o conjunto oeste, e as peças 2 e 3 o conjunto leste. Para obter o resultado do ensaio, foram instituídos fatores de correção previstos na NBR 7680: K1 é a relação de altura com diâmetro do testemunho; K2 é referente ao efeito do processo de extração pela broca, ou seja, quanto maior o efeito, menor o diâmetro do testemunho; K3 relativo à direção da extração do modelo em relação ao lançamento do concreto, ortogonal ao elemento estrutural, e K4 pertinente ao efeito da umidade do testemunho, em que se considera K4= -0,04 para ensaio seco ou ao ar e K4= 0 para ensaio saturado. Dessa forma, a Tabela 1 exhibe os resultados do ensaio.

Tabela 1 - Resultado do ensaio de resistência nas amostras dos tubulões

Peça	Diâmetro	Comprimento	fci, ext, inicial (Mpa)	Fatores de correção				fci, ext (Mpa)
	(mm)	(mm)		K1	K2	K3	K4	
Tubulão oeste - Peça 1	74,8	138,4	30,5	-0,01	0,09	0,05	-0,04	33,2
Tubulão oeste - Peça 5	74,9	142,6	34,8	-0,01	0,09	0,05	-0,04	38
Tubulão leste - Peça 2	74,9	143,2	22,3	-0,01	0,09	0,05	-0,04	24,3
Tubulão leste - Peça 3	75,1	141,8	25,2	-0,01	0,09	0,05	-0,04	27,5

Fonte: Adaptado do Relatório Técnico dos Ensaios (2024).

O ensaio denominado Perfil de cloreto foi realizado em laboratório, de acordo com Romano (2009), determina a concentração iônica de cloretos solúveis em água. A amostra foi coletada no Tubulão 1 ao leste e do Tubulão 3 a oeste, e obrigatoriamente foi retirada numa altura do nível de variação da maré. A Tabela 2 explana a profundidade de cada peça.

Tabela 2 - Profundidade de teor de cloreto encontrado superior ao limite

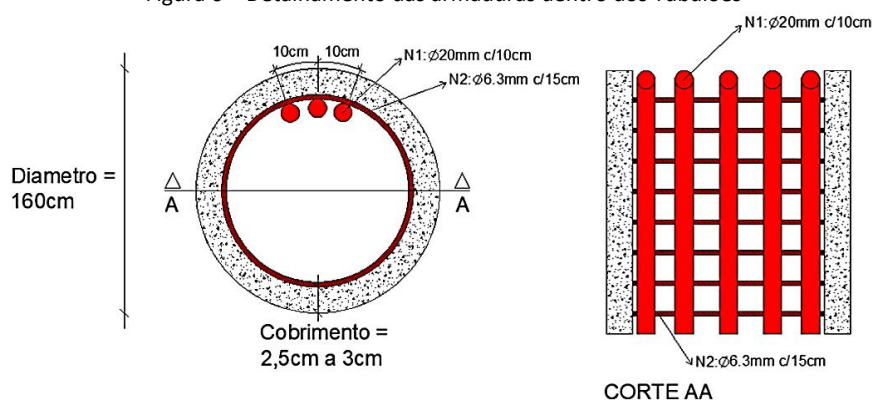
PEÇA	PROFUNDIDADE (cm)
Tubulão 1 - face interna	4,5
Tubulão 1 - face externa	3,5
Tubulão 3 - face interna	4
Tubulão 3 - face externa	4,5

Fonte: Adaptado do Relatório Técnico dos Ensaios (2024).

O resultado da pesquisa indica que ambos apresentaram teor de cloreto acima do limite. O teor de cloreto mínimo a uma profundidade de 5 cm aferido no ensaio foi na parte interna do tubulão leste, com 1,56% em relação à massa de cimento. No entanto, a parte externa do tubulão oeste apresentou 2,88%, teor máximo nas mesmas condições de profundidade.

Para verificar se o cobrimento do concreto está de acordo com a NBR 6118 (2023) e determinar a posição das armaduras nos Tubulões, foi realizado o procedimento de pacometria. De acordo com Carvalho *et al.* (2017), trata-se de um método não destrutivo e não invasivo que identifica a localização das armaduras, bem como seu diâmetro e espessura de cobrimento de concreto. O equipamento utilizado foi o Ferroskan PS35, e este método é baseado nos princípios do eletromagnetismo. A Figura 6 ilustra o resultado obtido através desta ferramenta.

Figura 6 – Detalhamento das armaduras dentro dos Tubulões



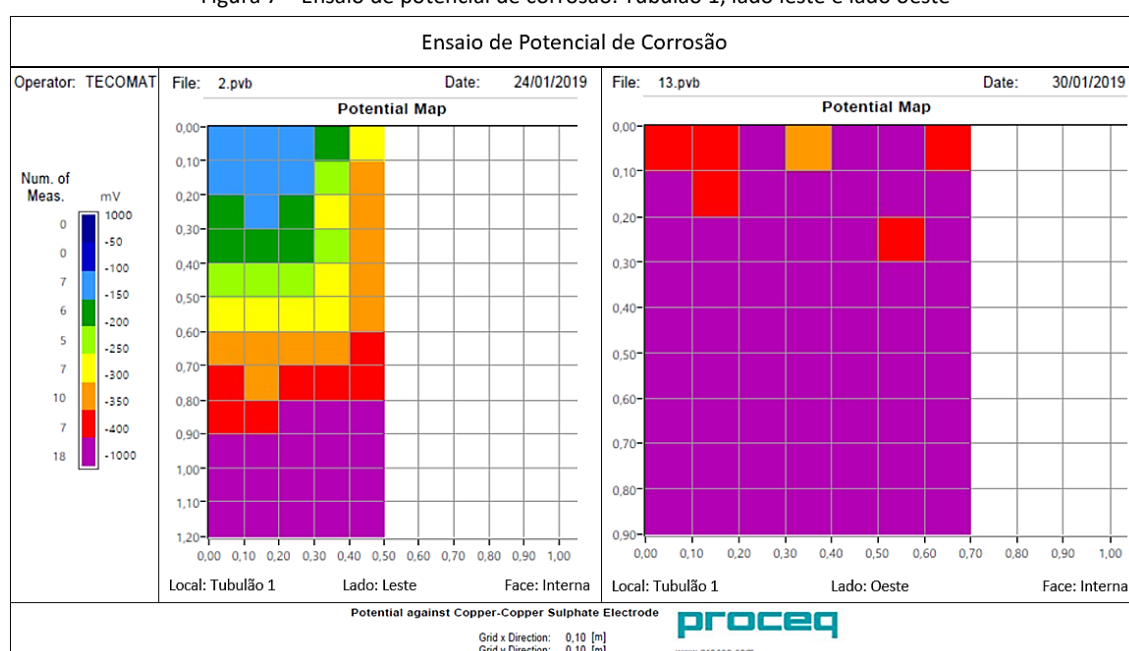
Fonte: Adaptado do Relatório Técnico dos Ensaios (2024).

Com a adequada rastreabilidade das armaduras, se pode realizar o ensaio de potencial de corrosão e as leituras foram realizadas na altura mais baixa permitida pela variação da maré, elegendo também as áreas com menor perda de concreto nas regiões da corrosão. Esta medição é um teste não destrutivo, rápido e abrangente. Foi utilizado o método

da meia célula e o equipamento operado para determinar, através da superfície do concreto, as características da corrosão do aço presente na estrutura foi o CANIN+.

A sondagem estabelecida pela leitura do equipamento e traduzida por seu *software* constata que as armaduras presentes nos Tubulões do lado oeste possuem um potencial de corrosão elevado nos três elementos em relação aos outros três do lado leste. A Figura 7 apresenta os resultados das leituras do *software* no Tubulão 1 de ambos os lados e representa, de forma geral, os dados apurados. De acordo com os critérios da norma ASTM C 876-09, a probabilidade de corrosão é menor que 10% para leituras maiores que -200mV, com uma probabilidade de 50%, ou seja, incerta, caso a leitura indique valores entre -200mV e -350mV. E maior 90%, caso a leitura apresente valores abaixo de -350mV.

Figura 7 – Ensaio de potencial de corrosão. Tubulão 1, lado leste e lado oeste



Fonte: Adaptado do Relatório Técnico dos Ensaios (2024).

A Tabela 3 apresenta o resultado do ensaio de resistividade elétrica superficial e reforça que o lado oeste possui a resistividade do concreto um alto risco de corrosão. Entretanto, o lado leste apresentou valores de risco moderado. “Devem ser realizadas duas medidas da diferença potencial entre os eletrodos internos e duas leituras da corrente elétrica passante entre os eletrodos externos do corpo-de-prova” (SILVA, 2016, p. 28).

Foi utilizado o aparelho RESIPOD e adotado o método de Wenner, que consiste em submeter superficialmente o concreto a uma corrente elétrica alternada utilizando quatro eletrodos. O procedimento foi realizado em dois pontos de cada tubulão, denominados superior (posicionado a 0,80 m do fundo da travessa) e inferior (posicionado a 1,90 m do fundo da travessa), sendo feitas cinco leituras em cada ponto.

Tabela 3 - Ensaio de resistividade - Tubulão 1, face interna, lado leste e lado oeste

Posição superior (PS) leste	Posição inferior (PI) leste	Posição superior (PS) oeste	Posição inferior (PI) oeste
Valores de Resistividade (KΩcm)	Valores de Resistividade (KΩcm)	Valores de Resistividade (KΩcm)	Valores de Resistividade (KΩcm)
28,9	12,6	11,7	13,8
29,4	13	10,2	13,3
30,6	13,2	6	12,8
32,4	13,5	7,7	12,5
13	11	10,1	12,5
Média	27	9,1	13
Desvio Padrão	7,9	2,3	0,6

Fonte: Adaptado do Relatório Técnico dos Ensaios (2024).

Para confrontar os resultados obtidos sobre a superfície dos tubulões com a resistividade do concreto, utilizou-se critérios do RILEM TC 154, determinados na Tabela 4.

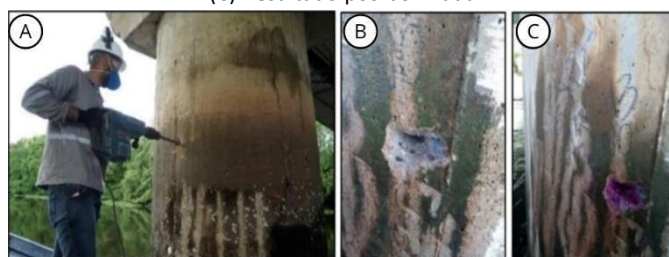
Tabela 4 – Resistividade do concreto (RILEM TC 154)

Resistividade do concreto (kΩcm)	Risco de corrosão
≤ 10 kΩcm	Risco alto
10 a 50 kΩcm	Risco moderado
50 a 100 kΩcm	Risco baixo
≥ 100 kΩcm	Risco negligenciável

Fonte: Adaptado do Relatório Técnico dos Ensaios (2024).

O objetivo do ensaio de carbonatação foi identificar a possibilidade de corrosão da armadura e foi realizado apenas nos 3 tubulões do lado leste, nas faces internas e externas, de acordo com as recomendações do RILEM TC056 CPC 18. Trata-se de um método parcialmente destrutivo e de baixo custo, sendo necessário apenas um borrifador preenchido com uma solução resultante da mistura de fenolftaleína e etanol. De acordo com Silva (2012), a fenolftaleína é um composto orgânico utilizado como indicador preparado em uma solução com 2% em etanol, que, quando em contato com o meio, em pH ácido <7,0, se mantém incolor e, em pH básico ou alcalino >7,0 resulta na coloração rósea, como identificado na Figura 8.

Figura 8 – Ensaio de carbonatação. (A) Fratura no concreto; (B) Limpeza da região com água; (C) Resultado pós-borrifada



Fonte: Adaptado do Relatório Técnico dos Ensaios (2024).

De acordo com a profundidade do ensaio e cobrimento observados, a Tabela 5, a seguir, estima a despassivação e o tempo remanescente das armaduras. Pode-se observar que a face externa do Tubulão 2 é a mais crítica em relação a estes pontos.

Tabela 5 – Profundidade de carbonatação

Elemento	Leitura carbonatada (cm)	K (cm/ano ^{0,5})	Cobrimento encontrado (cm)	Estimativa para despassivação das armaduras (anos)	Tempo remanescente (anos)
T1 - Leste (face interna)	0,4	0,031235	5	6406	6365
T2 - Leste (face interna)	0,4	0,06247	2,2	1204	1199
T3 - Leste (face interna)	0,5	0,078087	3,8	2368	2327
T1 - Leste (face externa)	1,8	0,281113	3,5	155	114
T2 - Leste (face externa)	2,9	0,452904	3,7	66	25
T3 - Leste (face externa)	1,8	0,281113	4	202	161

Fonte: Adaptado do Relatório Técnico dos Ensaios (2024).

4.1 Soluções adotadas para recuperação estrutural

Após análise dos resultados, os serviços de recuperação estrutural e reforço dos tubulões, travessas e tabuleiro foram realizados. Dentre as soluções adotadas, estão: limpeza com remoção das manchas existentes, pintura de proteção, substituição dos aparelhos de apoio, reposição de drenos nas lajes do passeio e da junta de dilatação entre a estrutura e o acesso.

O reforço estrutural nos tubulões ocorreu, primeiramente, com o apicoamento, isto é, o processo de perfuração ou corte de uma camada de concreto para remover material danificado. Em seguida, realizou-se a pintura de proteção a fim de proteger as estruturas de concreto contra danos causados pelo ambiente externo, como umidade e poluentes atmosféricos, e assim prolongar a vida útil delas. Posteriormente, efetuou-se instalação da nova ferragem, hidrojateamento, aplicação de graute e encamisamento de 15 centímetros. Na execução dos serviços abaixo do nível da água, foi fundamental a contenção temporária da passagem de água através de ensecadeiras, como demonstrado na Figura 9.

Figura 9 – Processo de recuperação do tubulão. (A) Tubulão da ponte em estado de deterioração; (B) Execução da recuperação dentro de ensecadeira; (C) Elemento estrutural recuperado



Fonte: Autores (2020).

Para os blocos das travessas, as técnicas de recuperação foram semelhantes, como demonstrado na Figura 10.

Figura 10 – Processo de recuperação da travessa. (A) Travessa ponte sem manutenção; (B) Execução da recuperação do bloco da travessa; (C) Elemento estrutural recuperado



Fonte: Autores (2020).

Para o tabuleiro, a solução diferenciou-se apenas na espessura do concreto projetado com finalidade para recobrimento, que foi de sete centímetros, como demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Processo de recuperação do tabuleiro da ponte. (A) Apicoamento no tabuleiro; (B) Concreto projetado; (C) Instalação de ferragens no tabuleiro



Fonte: Autores (2020).

A Figura 12 mostra que a recuperação da laje do passeio também foi considerada medida preventiva.

Figura 12 – Processo de recuperação da laje do passeio. (A) Condições da laje do passeio antes da recuperação; (B) Recobrimento do elemento estrutural; (C) Elemento estrutural recuperado



Fonte: Autores (2020).

5 CONCLUSÃO

A Ponte da Torre enfrentou uma série de problemas estruturais devido à longa ausência de manutenção. As imagens apresentadas neste artigo revelaram o estado crítico de seus elementos estruturais e foi possível identificar, através de inspeção visual, as manifestações patológicas fortemente presentes como muitas fissuras, eflorescência, corrosão

e deslocamento do concreto. Tais danos comprometiam tanto sua estética, quanto sua durabilidade e resistência do concreto.

Os ensaios em concreto são procedimentos realizados para avaliar a qualidade, integridade e conformidade das estruturas de concreto e, diante do exposto, tornou-se evidente a relevância do processo de identificação e diagnóstico preciso de manifestações patológicas. Esta abordagem foi essencial para direcionar com precisão as medidas corretivas necessárias durante o processo de restauração de estruturas em concreto armado. A utilização dos métodos e técnicas científicas específicas para a avaliação das condições estruturais utilizadas permitiu uma fundamentação para intervenção assertiva, e os diagnósticos obtidos ajudaram a determinar a real situação da ponte, garantindo a eficácia e a durabilidade das soluções adotadas. Assim, a identificação das manifestações patológicas e o resultado dos ensaios realizados foram essenciais para orientar ações destinadas à preservação e conservação deste importante patrimônio.

Os ensaios mostraram que a resistência à compressão do concreto variou de 24,3 a 33,2 MPa apresentando alguns valores abaixo da norma atual. O ensaio de perfil de cloreto indicou um teor acima do limite e os valores de profundidade de carbonatação, apesar de não terem atingido a armadura, mostram que, em alguns locais, a vida útil remanescente seria de apenas 25 anos. Com a devida rastreabilidade das armaduras presentes nos tubulões, pelo método da pacometria, também se pode constatar que o lado oeste possuía um potencial de corrosão mais elevado, confirmado pelo ensaio de resistividade elétrica superficial, demonstrando uma tendência a alto risco de corrosão.

Para as soluções implementadas, nota-se uma abordagem multifacetada para resolver os problemas identificados. Inicialmente, realizou-se uma limpeza com remoção das manchas existentes nas superfícies afetadas. Este processo visou eliminar resíduos e detritos que poderiam comprometer a eficácia das intervenções subsequentes. Posteriormente, foi executada a aplicação de uma camada de pintura de proteção sobre as áreas tratadas, visando fornecer uma barreira adicional contra agentes agressores externos. Como parte das medidas de reforço estrutural, procedeu-se à substituição dos aparelhos de apoio comprometidos para restaurar a capacidade de carga e estabilidade da estrutura. Outra ação empreendida foi a reposição de drenos nas lajes do passeio e da junta de dilatação entre a estrutura principal e o acesso adjacente. Esta medida teve como objetivo melhorar o escoamento de água superficial e reduzir o acúmulo de umidade nas áreas vulneráveis, prevenindo, assim, a corrosão e outros danos decorrentes da exposição prolongada à umidade.

Nesse sentido, pensando em futuras intervenções a fim de promover a integridade estrutural da ponte, são recomendadas inspeções regulares, principalmente avaliando a impermeabilização e vida útil dos sistemas de apoio, acompanhadas de limpeza e remoção de detritos e monitoramento ambiental, que pode ser feito através de sensores. Ao considerar a sustentabilidade nas intervenções urbanas contemporâneas, fica clara a importância de priorizar métodos que causem o menor impacto possível, seja ambiental, seja social, e que, ao mesmo tempo, resultem em menor custo de recuperação.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7680-1**: Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro. ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9452**: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- AUTARQUIA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA DO RECIFE. **Laudo de Vistoria Nº08 – Ponte da Torre**. Recife: EMLURB, 2019.
- BARBOSA, M. T. *et al.* A importância da sustentabilidade na restauração do patrimônio histórico. Estudo de caso: pontes. **Revista CONSTRUINDO**, Belo Horizonte. v. 10, n. 1, p. 01–09, 2018.
- BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- BRISOLA, G. M. S. **Pontes e Grandes Estruturas**. São Paulo: Editora e Distribuidora Educacional, 2019.
- CARVALHO, E.; SENA, C.; ROCHA, M.; CARVALHO, C. Utilização de Ensaio Não Destrutivos, Ultrassom e Pacômetro, como Métodos de Verificação da Resistência e Qualidade do Concreto em um Edifício em Aracaju – Sergipe. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Pernambuco, n. 3, p. 28-37, 2017.
- CASTRO, R. R. T. L. **Análise da sustentabilidade de estruturas: aço vs betão**. 2012. Tese (Doutorado em Construção e Reabilitação Sustentáveis). Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Braga, 2012.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 122/2009 – ES**: Pontes e viadutos rodoviários – Estruturas de concreto armado - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: DNIT, 2009.
- PINHEIRO, I. Descubra os 6 principais tipos de pontes. **Inova Civil**. Fortaleza, set. 2019. Disponível em: <https://www.inovacivil.com.br/pontes-conheca-os-principais-tipos/>. Acesso em: 17 mai. 2024.
- RIBEIRO, D. V. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**: Teoria, Controle e Método de Análise. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2014.
- RIBEIRO, I. J. C. *et al.* Implantação de métodos de tratamento para combater as eflorescências. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, n. 38, p. 43-53, fev. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/1206>. Acesso em: 05 mai. 2024.
- SILVA, L. M. A. **Resistividade elétrica superficial do concreto**: influência da cura. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/RESISTIVIDADE_EL%C3%89TRICA_SUPERFICIAL_DO_CONCRETO_I_NFLU%C3%84NCIA_DA_CURA.pdf. Acesso em: 05 maio. 2024.
- TECOMAT. **Relatório de resultado dos ensaios realizados nos materiais, concreto e aço (seção 3)**. Recife: TECOMAT, 2019.
- VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, 2015.
- ZUCARELI, V. L.; NETO, J. T.; REMOR, M. B.; REZINO, T. S.; UTZIG, L. A. Corrosão do aço em estruturas de concreto armado. **Brazilian Journal of Development**. Paraná, v. 7. n. 2, p. 14349–14354, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/24506>. Acesso em: 5 mai. 2024.