

Recuperação da Estrutura Centenária da Ponte dos Ingleses na Orla de Fortaleza

*Joaquim Eduardo Mota¹
Hugo Câmpelo Mota²*

Resumo

Este trabalho apresenta as características do atual projeto de recuperação e reforço da estrutura de concreto da Ponte dos Ingleses, envolvendo: a determinação da ação excepcional das ondas na estrutura, a análise estrutural, os ensaios na estrutura existente, as patologias identificadas, as características dos materiais e da execução da recuperação. A Ponte dos Ingleses, obra construída em 1920, avança cerca de 800 m mar adentro na atual praia de Iracema em Fortaleza/CE. A obra deveria servir como ponte de acesso aos ancoradouros, píer marítimo, de embarque e desembarque de pessoas e mercadorias. Paralisada por falta de orçamento a obra ficou abandonada por anos sendo progressivamente apropriada por turistas e a população local para as mais diversas atividades lúdicas. Em 1994, a obra foi tombada pelo município e o tabuleiro original de concreto, já bastante deteriorado, foi substituído por outro de madeira em 130 m de extensão onde foram dispostos equipamentos de apoio aos usuários. Na última década, o acesso acabou sendo interditado, devido ao elevado grau de deterioração da estrutura e também pela destruição quase total do tabuleiro de madeira devido à ação vertical debaixo para cima, “uplift action”, de onda excepcional na maré de sizígia ocorrida em 2018.

Palavras-chave: Recuperação estrutural; retrofit; píer; ataque de cloretos; ondas marítimas; concreto de alto desempenho.

Introdução

A chamada Ponte dos Ingleses está localizada na praia de Iracema na cidade de Fortaleza/CE. Ela teve sua construção iniciada em 1920, seu projeto previa uma extensão total de 800 m, mar adentro, e deveria servir como ponte de acesso aos ancoradouros, píer marítimo, de embarque e desembarque de pessoas e mercadorias. A obra substituiria a Ponte Metálica que, naquela época, era o principal porto de Fortaleza e que se encontrava em péssimo estado de conservação. Oficialmente a obra foi denominada de Viaduto Lucas Bicalho que foi o engenheiro responsável pela sua concepção no governo de Epitácio Pessoa. O projeto executivo e a construção ficaram a cargo da firma inglesa Norton Griffiths, destacando-se a participação do engenheiro inglês George Ivan Cope que nos termos da época era o especialista em cimento armado. Foi então natural que a população passasse a chamar a obra de Ponte dos Ingleses. A estrutura original era toda em concreto armado incluindo estacas pré-moldadas de seção octogonal maciça, pilares, vigamento e laje do tabuleiro. As obras da Ponte dos Ingleses foram infe-

lizmente paralisadas no governo de Artur Bernardes devido a problemas políticos e orçamentários e desde então ficou abandonada.

Ela nunca chegou a ser utilizada como porto, porém ao longo dos anos ela foi sendo apropriada pelos turistas e pela população local que passou a frequentar o local para ver o pôr do sol, as noites de lua, praticar surf e, quando se tem um pouco de sorte, os golfinhos que nadam nas proximidades da ponte. E foi por esse especial significado atribuído pela população fortalezense que em 1989 a Câmara Municipal de Fortaleza, decreta o tombamento da Ponte dos Ingleses. Em 1994 a Ponte dos Ingleses é reformada e passa a receber nos seus 120 m de comprimento inicial uma pequena galeria de arte e um observatório marinho da Universidade Federal do Ceará. Nesta primeira revitalização foi feita a demolição da laje do tabuleiro já completamente deteriorada com rompimentos e foram executados: encamisamento de pilares, novas vigas transversais e longitudinais para apoio de um tabuleiro de madeira. Após 24 anos de uso, em janeiro de 2018 a ponte é interditada pela prefeitura já com elevado estado de deterioração. Neste ano ocorreu a

¹ Universidade Federal do Ceará (UFC)/Professor do DEECC / joaquim.mota@ufc.br

¹ Universidade de Fortaleza (UNIFOR) /Professor do Curso de Engenharia Civil / hugocmota@gmail.com

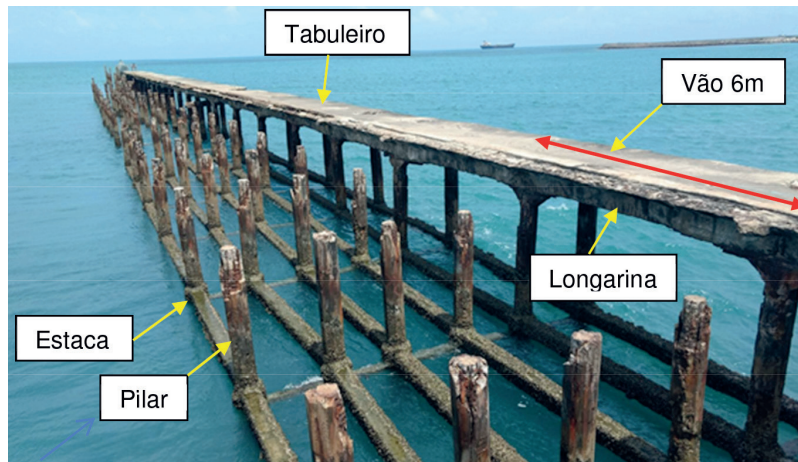


Figura 1 – Foto recente da parte não concluída e desgastada da estrutura original da ponte.

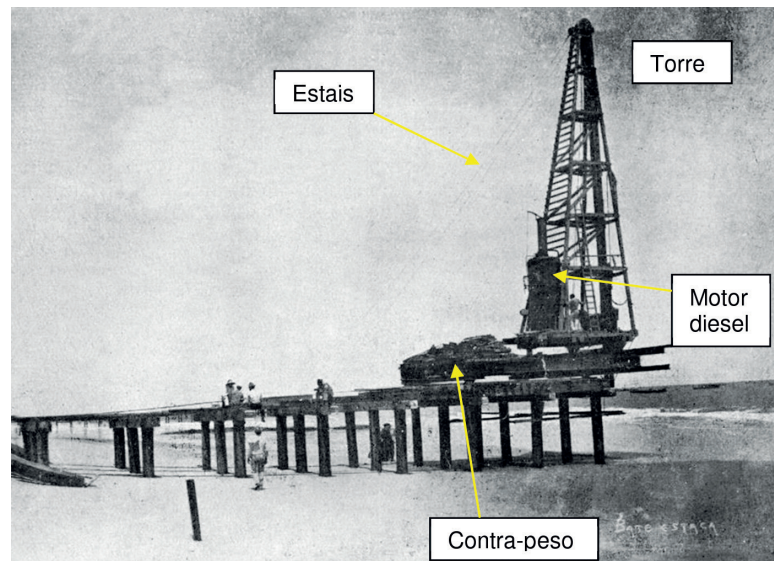


Figura 2 – Foto da construção mostrando a torre do bate-estaca móvel tipo cantitravel.



Figura 3 – Foto da Ponte dos ingleses após a revitalização de 1994.



Figura 4 – Foto da Ponte dos Ingleses em 2021

destruição quase total do tabuleiro de madeira devido à ação vertical debaixo para cima, “uplift action”, de onda excepcional na maré de sizígia. No ano de 2021 a prefeitura de Fortaleza e o governo do estado resolvem fazer uma segunda revitalização da obra baseada em projeto dos arquitetos Delberg Ponce de Leon e Fausto Nilo que previram um aumento de um metro na largura do tabuleiro para implantação de pavilhões de apoio turístico.

Neste mesmo ano fomos contratados pela empresa Edro Engenharia para a elaboração de projeto de recuperação, reforço e readequação da estrutura da ponte. Os principais desafios foram: avaliar capacidade resistente da estrutura da fundação e pilares remanescentes, projetar novo tabuleiro em concreto capaz de resistir inclusive às ações de ondas excepcionais e conferir à estrutura uma durabilidade em termos de uma vida útil compatível com o investimento público planejado.

Ensaio e Estudos na Estrutura Existente

Alguns ensaios e estudos foram realizados na estrutura existente com a finalidade de caracterização do material dos pilares, vigas e estacas remanescentes e orientar a adoção de critérios de projeto. Não foi possível ter acesso ao projeto estrutural original nem ao projeto de revitalização de 1994.

- a) Ensaio no concreto realizados pelo laboratório de materiais da UFC

- A média da resistência à compressão dos corpos de prova extraídos do concreto original dos pilares foi de 44 MPa. Observa-se um grande crescimento de resistência do concreto de cimento portland certamente trazido da Inglaterra em 1920.
- Não foi detectada frente de carbonatação nos pilares pelo método colorimétrico com a solução de fenolftaleína. Uma explicação pode ser pela ação da água de arrebentação das ondas que preenchem os poros superficiais do concreto não permitindo a penetração do CO_2 .
- Foram feitas medições de resistividade elétrica-volumétrica nos testemunhos de pilares e vigas. O valor médio das resistividades foi de 47Ω ., portanto maior que o valor de referência de 20Ω ., indicando um valor baixo de probabilidade de corrosão das armaduras.
- Foram determinados os teores de sulfato e cloreto de 20 amostras de pó de concreto retirado dos pilares. Os resultados indicam um teor de sulfato dentro de limites permitidos entre 0,10% e 0,20%. Para o teor de cloreto o resultado variou de 0,50% a 0,80% que são valores bem superiores ao limite de 0,15%. Restou evidenciado que o mecanismo principal de deterioração da estrutura é o ataque por cloreto. Estudos desenvolvidos por pesquisadores da UFC sobre a agressividade ambiental na cidade de Fortaleza, ver Cabral (2016), revelam que a região da praia de Iracema poderia ser caracterizada como Classe

III – Nível Forte da NBR 6118:2014. Para fins de elaboração do projeto, entretanto, pelo fato da estrutura está em contato direto com a água do mar considerou-se Classe IV – Nível Muito Forte.

- b) *Sondagem e Prova de Carga Estática PCE*
 Foram executados dois furos de sondagens à percussão nas imediações da segunda linha de pilares tendo-se encontrado uma camada de aproximadamente 2,50 m de areia fina compacta seguida de rocha alterada tipo arenito com impenetrável à percussão na profundidade de 3,5 m. Nestas condições estimou-se que a estaca pré-moldada de seção octogonal com 70 cm de diâmetro do círculo inscrito e com 4 m de profundidade poderia ter uma carga admissível geotécnica elevada de até 3.000 kN. Um análise preliminar da nova estrutura revelou que a estaca mais carregada deveria suportar uma carga de serviço da ordem de 900 kN. Achou-se prudente realizar uma prova de carga estática em uma estaca que foi carregada até o limite de 1500 kN apresentando bom desempenho com um deslocamento de 2,10 mm.
- c) *Investigação de Armaduras Existentes*
 Foram abertas algumas janelas de inspeção em vigas e pilares para identificação das armaduras.
 Nos pilares foram encontradas armaduras periféricas com bitola de 12,5 mm com corrosão instalada, aço CA50, correspondente ao encamisamento de 1994 e armaduras mais internas, especificamente seis barras de 16 mm (5/8”), ferro liso intacto que não foi ensaiado mas que foi considerado para efeito de avaliação da capacidade resistente da seção um aço CA-25.

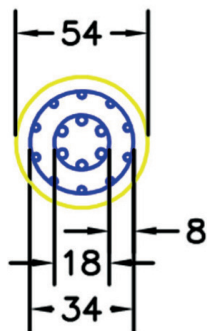


Figura 5 – Detalhe das armaduras encontradas nos pilares.

As armaduras das vigas longitudinais e transversais da revitalização de 1994 também foram investigadas, mas não foram consideradas no cálculo das novas vigas travessas dado o seu estado de oxidação com intensa perda de seção. Algumas destas vigas tiveram que ser completamente demolidas.

- d) *Levantamento Topográfico e Batimetria*
 Um levantamento topográfico georreferenciado foi realizado o que permitiu a determinação das dimensões reais e posicionamento atualizado de todos os elementos estruturais necessários para modelação da estrutura e desenvolvimento do projeto. As cotas do leito do mar em cada linha de apoio foram obtidas por batimetria. As cotas das marés máximas e mínimas também foram indicadas.
 Este estudo revelou um grande desaprumo e excentricidade da maioria dos pilares além de escondidade nas linhas de apoio do tabuleiro.

Concepção do Novo Tabuleiro

Devido à ação da onda excepcional com possibilidade de criar uma ação vertical significativa de baixo para cima (“*uplift action*”), o novo tabuleiro foi concebido em concreto e ligado monoliticamente às novas vigas travessas. Optou-se por painéis pré-moldados protendidos pela técnica da pré-tração. Evitou-se a utilização de vigamentos longitudinais observando as recomendações de (GJORV, 2015) que afirma que píeres marítimos com tabuleiro nervurado são muito mais vulneráveis à deterioração que a solução em laje lisa (Figuras 6 e 7).

Determinação da Ação Hidrodinâmica Excepcional da Onda

Um estudo hidrodinâmico para avaliar a ação de ondas na nova estrutura da ponte dos ingleses foi desenvolvido por professores pesquisadores de engenharia costeira do departamento de hidráulica da UFC cujo relatório completo está apresentado na referência Silva (2021), Figura 7.

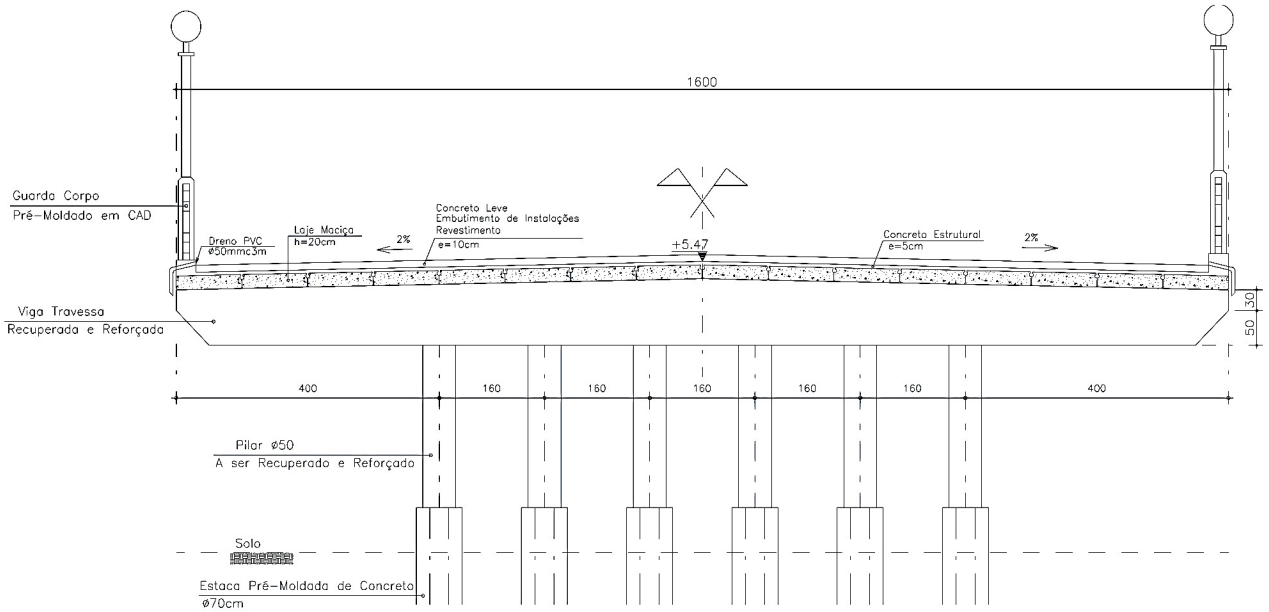


Figura 6 – Seção longitudinal e detalhe do painel pré-moldado.

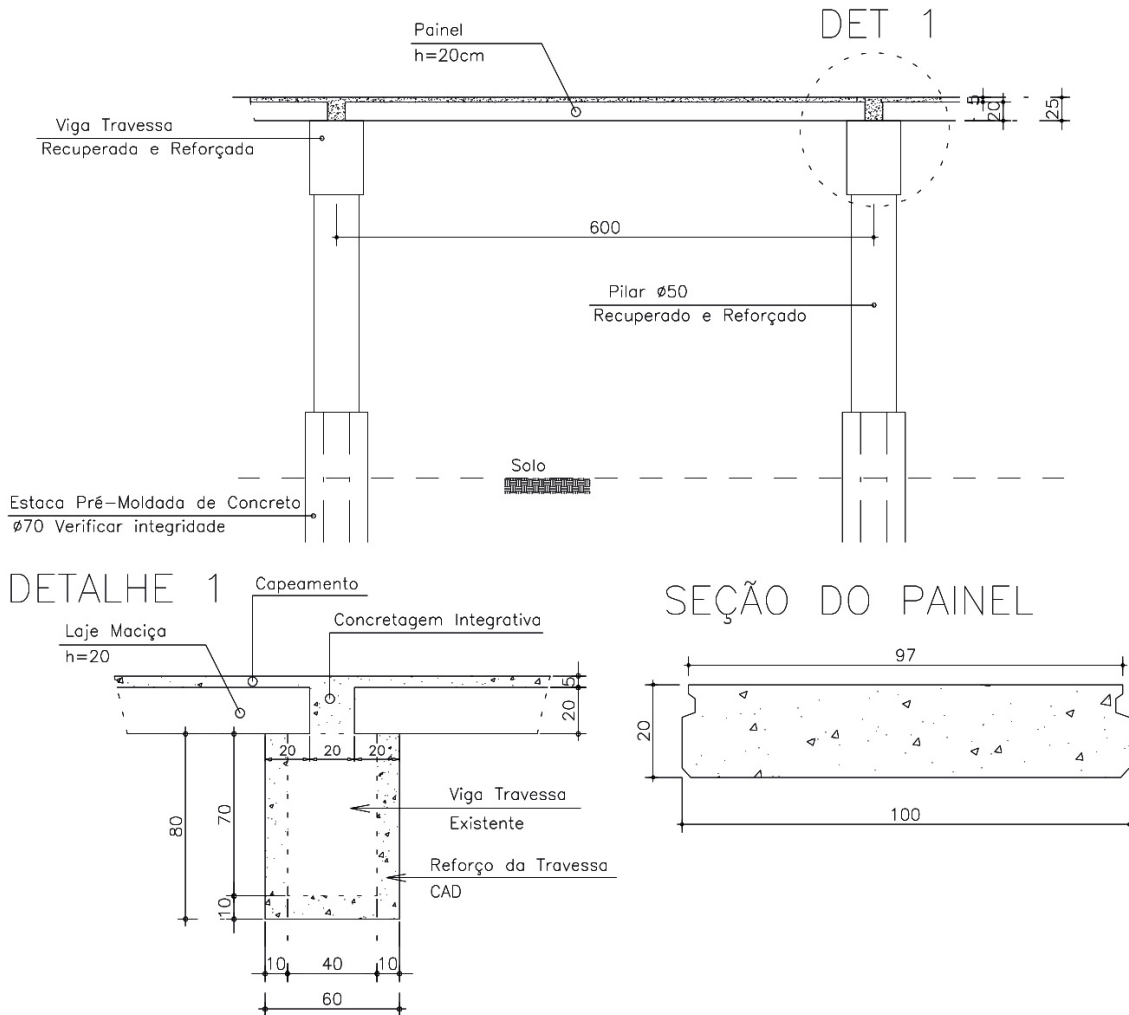


Figura 7 – Seção longitudinal e detalhe do painel pré-moldado.



Figura 8 – Flagrante da propagação da onda gigante registrada em 02/03/2018.

Foram obtidos os valores de ações horizontais resultantes de arrasto nos pilares, devido à propagação da onda, para os diversos eixos sendo encontrado um valor máximo de 23 kN. Os valores das forças de arrasto devido às correntes marítimas não foram significativos (Figura 9).

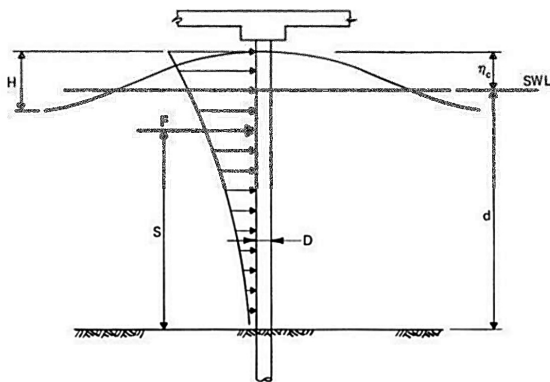


Figura 9 – Distribuição das forças de arrasto nos pilares devido à propagação de onda.

Os valores de ações horizontais na viga travessa frontal e interna são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Ações Hidrodinâmicas nas Travessas

Travessa	Vertical		Horizontal	
	qv-cima kN/m	qv-baixo kN/m	qh-costa kN/m	qh-mar kN/m
Frontal	11,91	-10,25	14,47	-4,23
Interna	12,76	-8,01	44,77	-13,84

O valor calculado da ação hidrodinâmica vertical no sentido para cima *uplift* atuante no tabuleiro foi de 14,19 kN/m². Foi também verificada a situação de

inundação do *deck* com uma lâmina de água de 30 cm.

Foi também feita uma comparação das frequências naturais da estrutura extraídas do modelo numérico com valores de frequência de referência obtidos do período $T = 12$ s da onda de projeto. O intervalo com risco de ressonância seria [0,167 Hz e 0,33 Hz], entretanto, a extração modal da estrutura revelou um primeiro modo de flexão transversal com frequência de 1,6 Hz indicando que a ação hidrodinâmica da onda é quase-estática.

Estas ações foram consideradas no projeto como excepcionais, não sofrendo majoração nas verificações de estado limite último.

Análise da Estrutura

A estrutura foi modelada por elementos finitos tipo barra e casca e sendo a interação solo-estrutura incorporada por molas de winkler na parte enterrada das estacas.

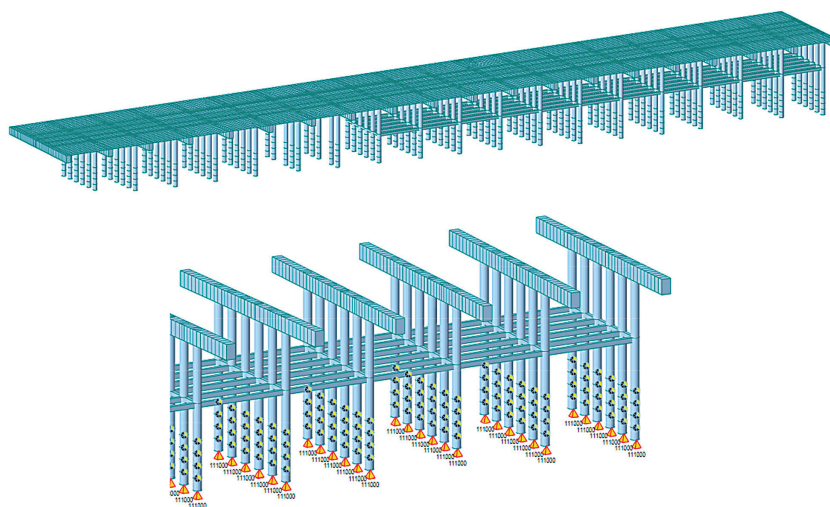
As ações hidrodinâmicas foram consideradas estáticas pelos motivos já apresentados neste trabalho (Figura 10).

Características do Projeto de Recuperação e Reforço

Basicamente o projeto de recuperação e reforço prescreve a seguintes etapas para os pilares e vigas travessas.

a) Ações de Reparo

- Corte e retirada do concreto desagregado.
- Expor armaduras corroídas até atingir área sã. Armaduras rompidas ou com 30% de sua



ver
2 com
número 7

Figura 10 – Modelo numérico da estrutura, detalhe da representação da interação solo estrutura – programa Midas Civil.

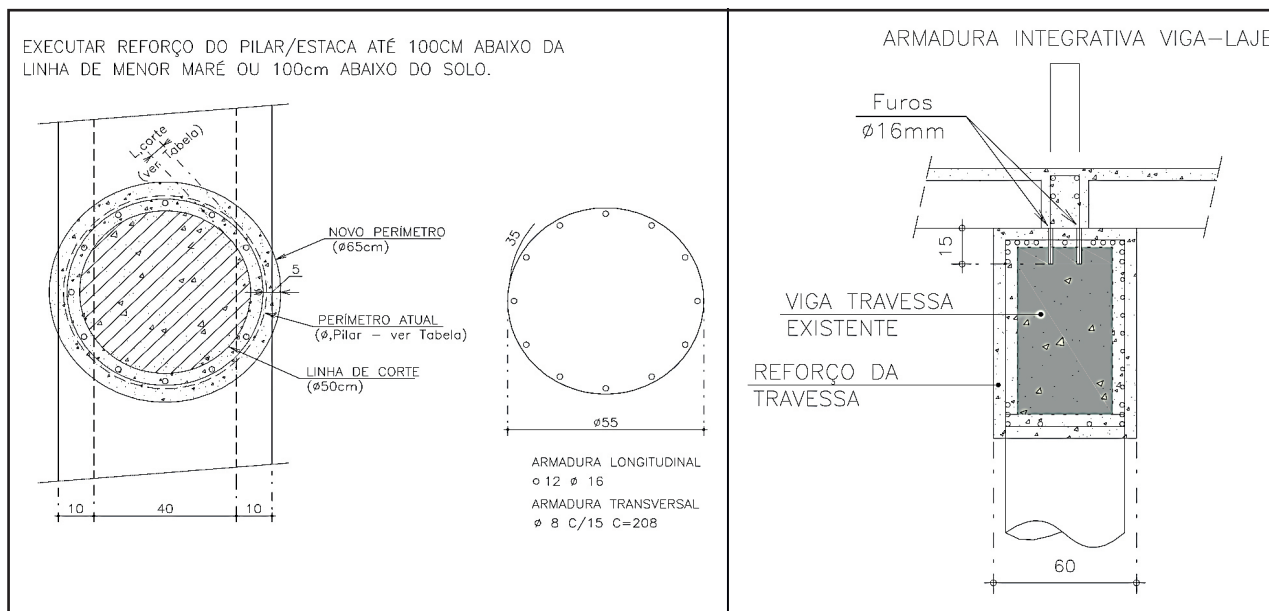


Figura 11 – Detalhes do encamisamento e reforço de pilares e vigas travessas.

- seção comprometida deverão ser substituídas.
 - Fazer limpeza de armaduras expostas com jato de areia/água complementadas por escova de aço.
 - Aplicar inibidor de corrosão nas armaduras expostas e limpas.
- b) Preparo e Execução do Reforço**
- Escarificação de toda a área de elemento com a retirada de uma capa de aproximadamente 10 mm deixando o agregado exposto.
 - Posicionar formas e armaduras.

- Limpar com jato de água a superfície do concreto velho (Figura 11).
- Instalar proteção catódica através de pastilhas de sacrifício.
- Aplicar adesivo estrutural para garantir a aderência entre concreto velho e o novo.
- Fazer a concretagem do reforço.

O reforço e a recuperação dos pilares se estenderam até 1,00 m abaixo da linha de menor maré ou 1,0 m abaixo do solo, o que ocorrer primeiro. O objetivo foi o de cobrir a área mais vulnerável de des-



Figura 12 – Limpeza do substrato com jato de água sob pressão.

gaste do pilar que é a correspondente à de variação da maré.

c) Características do Concreto tipo CAD

Foi recomendada a utilização de um concreto tipo CAD com as seguintes características.

- $f_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$, resistência característica à compressão aos 28 dias.
- $a/c < 0,45$, fator água cimento. – Cimento CP V-ARI.
- Uso de aditivo cristalizante incorporado na massa do concreto (Xypex Admix ou Penetron Admix) no teor de 1% da massa do cimento.
- Adição mineral de microssilica ou metacaulim no teor de 10% em massa do cimento.

A obra elaborou traços para concreto projetado e autoadensável.

d) Cobrimentos

Foram adotados os seguintes valores de cobertura para as armaduras: $c = 50 \text{ mm}$ para armaduras passivas e $c = 70 \text{ mm}$ para armaduras ativas.

Conclusões

A elaboração de projeto de recuperação e reforço de estruturas costeiras como é caso da Ponte dos Ingleses em Fortaleza é um problema multidisciplinar e exige a participação de diversos especialistas. É necessário estabelecer um diagnóstico para as patologias e estabelecer uma estratégia de recuperação e reforço que passa pela escolha de materiais

adequados, avaliação das ações incluindo as de caráter hidrodinâmicos, sempre com o objetivo de conferir à nova estrutura revitalizada segurança estrutural e durabilidade com uma vida útil compatível com sua importância econômica e cultural.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR6118; Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. 3ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- CABRAL, A. E. B.; CAMPOS, A.M.R. Estudo da agressividade do ar em Fortaleza/CE. Sinduscon/CE, 2016.
- DAA DELBERG ARQUITETOS ASSOCIADOS. Projeto de Arquitetura da Reforma da Ponte dos Ingleses, 2020.
- GJORV, O. E. Projeto da durabilidade de estruturas de concreto em ambientes de severa agressividade. Oficina de Textos, 2015.
- HUGO A. MOTA C. ENGENHARIA DE PROJETOS. Projeto de Recuperação e Reforço da Ponte dos Ingleses, 2021.
- LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – LMCC/UFC. Relatório n. 718/2021 Ensaio de Carbonatação e de Resistência à Compressão em testemunhos de concreto – Ponte dos Ingleses. 2021.
- LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – LMCC/UFC. Relatório n. 724/2021. Ensaio de determinação de teores de Sulfatos e Cloretos no concreto dos pilares da Ponte dos Ingleses. 2021.
- SC ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E CONTENÇÕES. LG-697.108/21 Relatório de Execução de Prova de Carga na Ponte dos Ingleses. 2021.