



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

SARAH OLIVEIRA LUCAS

HISTÓRIA E ASPECTOS CONSTRUTIVOS DA NOVA OBRA DE RECUPERAÇÃO
DA PONTE DOS INGLESES EM FORTALEZA/CE

FORTALEZA

2022

SARAH OLIVEIRA LUCAS

HISTÓRIA E ASPECTOS CONSTRUTIVOS DA NOVA OBRA DE RECUPERAÇÃO DA
PONTE DOS INGLESES EM FORTALEZA/CE

Monografia submetida à Coordenação do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L966h Lucas, Sarah Oliveira.
História e aspectos construtivos da nova obra de recuperação da Ponte dos Ingleses em Fortaleza/CE / Sarah Oliveira Lucas. – 2022.
84 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral .
1. Ponte dos Ingleses. 2. Manifestações patológicas. 3. Recuperação e reforço de estruturas de concreto armado. I. Título.

CDD 620

SARAH OLIVEIRA LUCAS

HISTÓRIA E ASPECTOS CONSTRUTIVOS DA NOVA OBRA DE RECUPERAÇÃO DA
PONTE DOS INGLESES EM FORTALEZA/CE

Monografia submetida à Coordenação do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Aprovada em: 11/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – Centro de Tecnologia

Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota
Universidade Federal do Ceará – Centro de Tecnologia

Prof. Dr. Esequiel F. T. Mesquita
Universidade Federal do Ceará – Campus Russas

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, por sua imensa graça e misericórdia, e por me conceder forças em todos os momentos.

Aos meus pais, Socorro e Edileudo, que mesmo com poucos recursos sempre se sacrificaram para que eu tivesse uma boa educação. Obrigada por terem duplicado os esforços e me proporcionado a chance de estudar em outra cidade.

Aos meus irmãos, Edilayne e Filipe, e ao meu cunhado Diego, por torcerem por meu sucesso e estarem sempre se preocupando comigo e me ajudando.

Ao Armando Jr., por todo amor, carinho e compreensão concedidos. Obrigada por nunca me deixar desistir, és um presente de Deus na minha vida.

À Silvana (*in memorian*) e ao Jorge, por cuidarem de mim como filha, principalmente quando me mudei para Fortaleza.

À Fátima Oliveira (tia Norma), por ter contribuído para minha formação.

Aos colegas do curso de Engenharia Civil da UFC, principalmente ao Douglas e Luís Fernando, por compartilharem comigo os momentos de angústias e alegrias acadêmicas e pela parceria.

Ao Prof. Dr. Antônio Eduardo Cabral, pela orientação neste trabalho.

À Prof.^a Dr.^a Marisete Dantas de Aquino, pela disponibilidade e atenção na correção da formatação deste trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora, Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota e Prof. Dr. Esequiel F. T. Mesquita, por aceitarem participar e contribuir com este trabalho.

Ao Delberg arquitetos associados, em particular, ao arquiteto Delberg Ponce de Leon, pela disponibilidade em fornecer dados históricos e arquitetônicos da Ponte dos Ingleses.

À Edro Engenharia, em particular ao Pádua Jr., Juan e Maíke, por me fornecerem todos os dados técnicos e informações necessárias sobre a Ponte dos Ingleses para a realização deste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho, muito obrigada.

“Pois dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas. A Ele seja a glória para sempre! Amém.” (Romanos 11.36)

RESUMO

A priori, viu-se que a diversidade de manifestações patológicas constitui um dos problemas mais recorrentes nas construções. Isso ocorre em virtude de diversos fatores, destacando-se a ação do ambiente externo e a ausência de manutenções preventivas. Quando estas manifestações são verificadas, as ações corretivas devem ser tomadas o mais rápido possível. Assim, tomou-se como objeto de estudo a obra que está sendo realizada na Ponte dos Ingleses, localizada na Praia de Iracema, em Fortaleza/CE. Com este trabalho, objetiva-se fornecer dados históricos desta ponte e fazer um estudo das especificações técnicas da obra de recuperação de sua estrutura de concreto armado, mostrando quais os materiais utilizados e as técnicas de reparo e reforço aplicadas. Por meio de pesquisas na literatura cearense e entrevistas, viu-se que a Ponte dos Ingleses, tombada em 1989 e, hoje, com 100 anos de existência, constitui-se um símbolo cultural para o Município e Estado. Em 1994, recebeu sua primeira obra de recuperação e reforma, adquirindo o aspecto arquitetônico que consolidou sua imagem atrativa. Após 24 anos, viu-se a necessidade de uma nova obra de recuperação e reforço de suas estruturas, cujos dados técnicos foram fornecidos pela empresa que está executando a obra. Aliando os conceitos obtidos bibliograficamente, foi possível compreender a deterioração de estruturas de concreto armado devido à influência do ambiente marinho, quais as principais degradações existentes, bem como quais os ensaios de diagnóstico e as técnicas de reparo e reforço que podem ser aplicadas. Assim, viu-se que corrosão das armaduras, fissuração, oxidação, manchas, lixiviação, desagregação e desgaste do concreto foram as principais manifestações patológicas visualizadas na Ponte dos Ingleses. Os dados bibliográficos obtidos contam com relatórios do ensaio de prova de carga e de extração de testemunhos para verificar a resistência a compressão do concreto, bem como de ensaios químicos, com dados de carbonatação, resistividade elétrica-volumétrica e determinação dos teores de sulfatos e cloretos. Com base nesse diagnóstico, a empresa de recuperação utilizou o concreto projetado e o concreto autoadensável aditivados na recuperação dos elementos estruturais e nos aumentos das seções das vigas, respectivamente. Verificou-se também a aplicação de inibidor de corrosão em todas as armaduras, e para aquelas com considerável perda de seção, a substituição foi integral. De maneira geral, observa-se que o uso de materiais resistentes e técnicas de reparo e reforço proporcionará uma maior vida útil para as estruturas de concreto armado da Ponte dos Ingleses, além de permitir conforto e segurança para seus usuários.

Palavras-chave: Ponte dos Ingleses; manifestações patológicas; recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.

ABSTRACT

A priori, it was seen that the diversity of pathological manifestations constitutes one of the most recurrent problems in constructions. This occurs due to several factors, highlighting the action of the external environment and the absence of preventive maintenance. When these manifestations are verified, corrective actions must be taken as soon as possible. Thus, it was taken as an object of study the work being carried out on Ponte dos Ingleses, located at Praia de Iracema, in Fortaleza/CE. With this work, the objective is to provide historical data of this bridge and to make a study of the technical specifications of the recovery work of its reinforced concrete structure, showing which materials were used and the repair and reinforcement techniques applied. Through research in Ceará literature and interviews, it was seen that the Ponte dos Ingleses, listed in 1989 and, today, with 100 years of existence, constitutes a cultural symbol for the Municipality and the State. In 1994, it received its first restoration and renovation work, acquiring the architectural aspect that consolidated its attractive image. After 24 years, there was a need for a new work to recover and reinforce its structures, whose technical data were provided by the company carrying out the work. Combining the concepts obtained bibliographically, it was possible to understand the deterioration of reinforced concrete structures due to the influence of the marine environment, which are the main existing degradations, as well as which diagnostic tests and repair and reinforcement techniques can be applied. Thus, it was seen that corrosion of the reinforcement, cracking, oxidation, stains, leaching, disintegration and wear of the concrete were the main pathological manifestations seen in Ponte dos Ingleses. The bibliographic data obtained include reports of the static load testing and extraction of cores to verify the compressive strength of the concrete, as well as chemical tests, with carbonation data, electrical-volumetric resistivity and determination of sulfate and chloride contents. Based on this diagnosis, the recovery company used shotcrete and self-consolidating concrete with additives in the recovery of the structural elements and in the increases in the sections of the beams, respectively. It was also verified the application of corrosion inhibitor in all the reinforcing steel, and for those with considerable loss of section, the replacement was integral. In general, it is observed that the use of resistant materials and repair and strengthening techniques will provide a longer useful life for the reinforced concrete structures of Ponte dos Ingleses, in addition to allowing comfort and safety for its users.

Keywords: Ponte dos Ingleses; pathological manifestations; repair and strengthening of reinforced concrete structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Inserção da primeira estaca da Ponte dos Ingleses.....	16
Figura 2 – Construção da Ponte dos Ingleses, com dois silos para armazenar cimento ao fundo	17
Figura 3 – Ponte dos Ingleses em construção.....	17
Figura 4 – Bate estacas na Ponte dos Ingleses	17
Figura 5 – Localização da Ponte dos Ingleses.....	18
Figura 6 – Banhistas sobre a Ponte dos Ingleses	20
Figura 7 – Banhistas sobre a inacabada Ponte dos Ingleses.....	20
Figura 8 – Trecho inicial da Ponte dos Ingleses, na frente dois quiosques e ao fundo a guarita	22
Figura 9 – Ponte dos Ingleses: vista lateral	22
Figura 10 – Observatório marinho do LABOMAR.....	23
Figura 11 – “La Femme Bateau” de Sérvulo Esmeraldo.....	23
Figura 12 – Novo projeto do calçadão e patamar elevado de acesso à Ponte dos Ingleses.....	28
Figura 13 – Vista superior do novo projeto da Ponte dos Ingleses	28
Figura 14 – Torre de observação e espaço de apresentação artística da Ponte dos Ingleses (novo projeto).....	29
Figura 15 – Vista oeste da Ponte dos Ingleses (novo projeto)	29
Figura 16 – Guarda-corpo composto por concreto e vidro (novo projeto).....	29
Figura 17 – Corrosão das armaduras	31
Figura 18 – Diferentes zonas de agressividade às estruturas de concreto armado no ambiente marinho.....	32
Figura 19 - Ação das ondas do mar	34
Figura 20 – Desgaste superficial da estrutura.....	34
Figura 21 – Ação de agentes biológicos marítimos.....	34
Figura 22 – Equipamento para medir resistividade superficial	35
Figura 23 – Equipamento pacômetro.....	36
Figura 24 – Análise de carbonatação em um testemunho de concreto. a) Aspersão da fenolftaleína. b) Região carbonatada	37
Figura 25 – Máquina extratora	37
Figura 26 – Demolição de concreto velho com uso de martetele.....	41

Figura 27 – Jato de areia seco ou úmido	41
Figura 28 – Jato de água fria	43
Figura 29 – Aplicação de <i>grout</i>	44
Figura 30 – Aplicação de concreto projetado	45
Figura 31 – Proteção catódica com uso de ânodo de sacrifício na forma de pastilha	46
Figura 32– Técnicas de reforço estrutural. a) Aumento de seção de uma viga. b) Uso de fibra de carbono. c) Uso de protensão exterior. d) Uso de chapas metálicas.....	47
Figura 33 – Representação da planta baixa e corte lateral da estrutura existente da Ponte dos Ingleses.	48
Figura 34 – Vista superior da Ponte dos Ingleses e seus eixos	48
Figura 35– Manifestações patológicas presentes na Ponte dos Ingleses. a) Corrosão das armaduras dos pilares. b) Desagregação do concreto das vigas de travamento. c) Desgaste do concreto e manchas. d) Fissuração e oxidação. e) Lixiviação. f) Corrosão e desagregação do concreto.	49
Figura 36 – Transição entre pilar e estaca	50
Figura 37 – Esquema de instalação do sistema	51
Figura 38 – Pilar junto ao conjunto de tração, momentos antes da ruptura do concreto.....	52
Figura 39 – Pilar que sofreu tração.....	52
Figura 40 – Gráfico de carga versus deslocamento	53
Figura 41 – Pacometria em um pilar	53
Figura 42 – Localização das extrações dos testemunhos	54
Figura 43 – Extração dos testemunhos nos pilares.....	54
Figura 44– Aspecto dos testemunhos após aspersão da fenolftaleína. a) Testemunho 01 (CPs 1 a 4 do pilar 1). b) Testemunho 2 (CPs 1 a 4 do pilar 2). c) Testemunho 3 (CPs 1 a 4 do pilar 3). d) Testemunho 4 (CPs 1 a 4 do pilar 4). e) Testemunho 5 (CPs 1 a 4 do pilar 5).	56
Figura 45 – Localização dos pontos de coleta das amostras de pó de concreto	58
Figura 46 – Representação de coleta de pó com furadeira em um pilar de concreto	58
Figura 47 – Moldagem de corpo de prova em formato de tronco de pirâmide trapezoidal	61
Figura 48 – Corte frontal da estrutura existente	64
Figura 49 – Pilares do eixo A envolvidos por muro de arrimo	64
Figura 50 – Vigas longitudinais, superiores e extremas em demolição	65
Figura 51 – Vigas longitudinais, superiores e extremas demolidas	65
Figura 52 – Corte no pilar/estaca com serra elétrica circular	66

Figura 53 – Pilar/estaca com demarcações feitas pelo disco de corte sendo apicoada	66
Figura 54 – Pilar/estaca sendo apicoado pelo martetele elétrico.....	67
Figura 55 – Pilar/estaca tendo o concreto deteriorado sendo retirado pelo martetele elétrico .	67
Figura 56 – Aplicação do inibidor de corrosão nas armaduras do pilar/estaca	68
Figura 57 – Aplicação do inibidor de corrosão nas armaduras do pilar/estaca	68
Figura 58 – Pilar/estaca do eixo C que foi colapsado sendo restaurado.....	69
Figura 59 – Proteção catódica dos pilares	70
Figura 60 – Deslocamento de fôrma metálica em um pilar.....	70
Figura 61 – Pilares com aplicação das técnicas de recuperação e reforço. a) Antes. b) Depois.	71
Figura 62 – Apicoamento do concreto de uma viga.....	71
Figura 63 – Demolição de uma viga.....	72
Figura 64 – Limpeza do substrato com jato de água sob pressão.....	72
Figura 65 – Aplicação do concreto projetado.....	73
Figura 66 – Sarrafeamento	73
Figura 67 – Acabamento da superfície	73
Figura 68 – Demolição do concreto degradado de uma viga	74
Figura 69– Movimentação das fôrmas de madeirite em uma viga transversal	74
Figura 70 – Viga com alargamento e consolo	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Procedimentos de preparo do substrato	40
Tabela 2 – Procedimentos de limpeza do substrato.....	42
Tabela 3 – Resultado da resistência a compressão	55
Tabela 4 – Resultado da resistividade elétrica-volumétrica	57
Tabela 5– Resultado dos teores de sulfatos e cloretos nos pilares	59
Tabela 6 – Características dos materiais.....	60
Tabela 7 – Traço de concreto projetado de $f_{ck}= 40\text{MPa}$	61
Tabela 8 – Resultados iniciais de resistência à compressão do concreto projetado	62
Tabela 9 – Traço de concreto autoadensável de $f_{ck}= 40 \text{ MPa}$	62
Tabela 10 – Resultados iniciais de resistência à compressão do concreto autoadensável	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	14
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	14
1.2	Metodologia	14
2	A HISTÓRIA DA PONTE DOS INGLESES	16
2.1	A origem	16
2.2	A recuperação de 1990	21
2.3	A nova Ponte dos Ingleses	24
3	DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	30
3.1	Introdução	30
3.2	Ação do ambiente marinho em estruturas de concreto armado	31
3.3	Ensaio de diagnóstico	35
3.4	Recuperação/reparo e reforço do concreto armado	38
<i>3.4.1</i>	<i>Técnicas de recuperação e reforço</i>	39
<i>3.4.1.1</i>	<i>Recuperação/reparo sobre o concreto</i>	43
<i>3.4.1.2</i>	<i>Recuperação/reparo sobre a armadura</i>	45
<i>3.4.1.3</i>	<i>Reforço</i>	46
4	ASPECTOS DA OBRA DE RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA DE CONCRETO DA PONTE DOS INGLESES DE 2021-2022	48
4.1	Introdução	48
4.2	Manifestações patológicas verificadas	49
4.3	Ensaio realizado	50
<i>4.3.1</i>	<i>Prova de Carga Estática (PCE)</i>	50
<i>4.3.2</i>	<i>Pacometria, extração de testemunho e resistência a compressão axial</i>	53
<i>4.3.3</i>	<i>Carbonatação</i>	56
<i>4.3.4</i>	<i>Resistividade elétrico-volumétrica</i>	57

4.3.5	<i>Determinação dos teores de sulfatos e cloretos</i>	57
4.4	Recuperação e reforço dos elementos estruturais	59
4.4.1	<i>Materiais utilizados</i>	60
4.4.1.1	<i>Concreto projetado</i>	60
4.4.1.2	<i>Concreto autoadensável</i>	62
4.4.2	<i>Técnicas aplicadas</i>	63
4.4.2.1	<i>Pilares/estacas</i>	66
4.4.2.2	<i>Vigas</i>	71
5	CONCLUSÃO	76
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	77
	REFERÊNCIAS	78
	ANEXO A – METODOLOGIA GERAL DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO DO EIXO A	83

1 INTRODUÇÃO

As manifestações patológicas consistem em problemas que atingem às estruturas em algum momento de sua vida útil. Isto acontece em virtude de diversos fatores, tais como projetos inadequados, deficientes técnicas de execução, ausência de manutenções e ação do ambiente externo. Assim, o conhecimento dessas manifestações auxilia na tomada de decisão sobre quais as melhores técnicas de recuperação e reforço que podem ser aplicadas sobre essas estruturas.

A Ponte dos Ingleses, localizada na Praia de Iracema em Fortaleza/CE, cujo nome oficial é Viaduto Lucas Bicalho, consiste numa estrutura em zona costeira exposta ao ambiente marinho. Neste ambiente de severa agressividade, a corrosão das armaduras é a causa dos problemas mais graves de durabilidade e desempenho (Gjorv, 2015).

Projetada para ser um *piér* para atracamento de navios e para viabilizar embarque e desembarque de pessoas e mercadorias, a Ponte dos Ingleses não teve sua construção finalizada, não cumprindo seu papel original. Assim, passou a ser frequentada pela vizinhança e por turistas que visitavam a capital cearense, servindo como espaço de lazer.

Essa ponte se reveste de importância histórica e cultural e foi tombada em 11 de outubro de 1989, através da Lei nº 6.512. O Documento de Madrid (2011), ao estabelecer critérios para a conservação de patrimônios arquitetônicos do século XX, afirma que eles constituem um testemunho material do seu tempo, lugar e uso, em que seu significado cultural pode residir nos seus atributos tangíveis e também nos seus valores intangíveis, como valores históricos e sociais.

Também se tem a importância comercial e social, em virtude do turismo como promotor de inclusão social, ao gerar oportunidades de emprego e renda, beneficiando desde os pequenos vendedores ambulantes até os maiores restaurantes do entorno. Com estas funções consolidadas, em 1994 a Ponte dos Ingleses recebeu o projeto de reforma e recuperação de seus elementos estruturais, de modo a proporcionar um espaço confortável e seguro para todos que a visitassem.

Após 24 anos sob constante visitação e sujeita a ação do ambiente externo, fez-se necessária a realização de uma nova intervenção estrutural. Assim, a exposição dos dados técnicos da atual obra para os profissionais da Engenharia Civil, permitirá o conhecimento das técnicas de recuperação e reforço estrutural que estão sendo aplicadas e quais os materiais

utilizados nessa estrutura que apresenta características tão peculiares. Se, futuramente, houver a necessidade de uma nova recuperação, este trabalho servirá como fonte de dados.

Ressalta-se que no presente trabalho foi possível identificar a existência de conhecimento multidisciplinar. O constante contato entre os engenheiros projetistas e os arquitetos foi necessário para que os projetos de engenharia não descaracterizassem a imagem arquitetônica já consolidada da Ponte dos Ingleses. A relação entre essas áreas é imprescindível, de modo a não focar somente na engenharia, sob risco de os aspectos culturais serem perdidos e também não focar apenas na arquitetura, permitindo a perda da compreensão dos métodos de reabilitação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Reconhecer as especificações técnicas da obra de recuperação e reforço da estrutura de concreto armado da Ponte dos Ingleses localizada na Praia de Iracema em Fortaleza/CE.

1.1.2 Objetivos específicos

- Proporcionar conhecimentos históricos da Ponte dos Ingleses;
- Compreender aspectos arquitetônicos da reforma de 2021/2022;
- Expor os tipos de materiais utilizados para os procedimentos de recuperação e reforço dos elementos de concreto armado;
- Descrever e explicar as técnicas de recuperação e reforço aplicadas na atual obra da Ponte dos Ingleses.

1.2 Metodologia

A metodologia para a elaboração do presente trabalho consistiu inicialmente em um levantamento histórico da Ponte dos Ingleses. Por se tratar de um patrimônio público, a princípio, foram feitas solicitações de informações nos órgãos públicos, a exemplo das secretarias de cultura e de turismo. Além disso, foram feitas pesquisas em *web sites*, como por

exemplo o *blogger* do Fortaleza Nobre, em literaturas cearenses e no arquivo do historiador cearense Miguel Ângelo de Azevedo, o Nirez.

Concernente ao projeto arquitetônico, as contribuições foram obtidas através de uma entrevista feita ao arquiteto Delberg Ponce de Leon. A empresa Delberg Arquitetos forneceu os relatórios de danos, de definições projetuais e urbanístico para restauração e melhoria da Ponte dos Ingleses.

Para o embasamento teórico sobre manifestações patológicas, suas causas e origens, recorreu-se a pesquisas em periódicos, notas de aula e livros. Exemplificou-se a influência do ambiente marinho nas estruturas de concreto armado. Também se fez uma explanação das técnicas de recuperação/reparo e reforço estrutural e quais os principais materiais que podem ser utilizados.

Posteriormente fez-se uma análise detalhada da obra de recuperação e reforço, cujos projetos foram elaborados pela Hugo A. Mota Consultoria e Engenharia de Projetos, os ensaios foram realizados pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e a execução da mesoestrutura foi realizada pela Edro Engenharia. Foram realizadas visitas técnicas na obra com acesso a todos os dados técnicos, a exemplo: o traço de concreto utilizado; relatórios dos ensaios de resistência a compressão, carbonatação e cloretos; pranchas contendo a investigação dos elementos estruturais; pareceres técnicos; metodologia técnica executiva; entre outros relatórios técnicos.

Ressalta-se que as obras da mesoestrutura, objeto deste trabalho, ficaram sob supervisão da Secretaria Municipal da Infraestrutura. Finalizadas essas obras, o restante ficará sob responsabilidade da Secretaria de Turismo do Estado do Ceará e da Superintendência de Obras Públicas.

2 A HISTÓRIA DA PONTE DOS INGLESES

2.1 A origem

A Ponte dos Ingleses teve sua construção iniciada em 04 de setembro de 1921, quando foi encravada sua primeira estaca (Figura 1). Nessa época o Brasil era governado pelo presidente Epitácio Pessoa, cujo mandato foi de 1919 a 1922 e o governador do Ceará era Justiniano de Serpa. Originalmente, pretendia-se utilizá-la como um *pier*, destinada a apoiar o embarque e desembarque de passageiros e cargas, em substituição a um *pier* já existente (LEON, 2021).

O nome oficial da ponte em estudo é Viaduto Lucas Bicalho, em referência ao Inspetor Federal de Portos, Rios e Cais de mesmo nome. Foi projetada pelo engenheiro inglês *Ivan Coop*, tendo como superintendente de serviço o Sr. *J. H. Kirwood* e o arquiteto José Barros Maia (Mainha) com as funções de desenhista e revisor técnico do projeto.

A construção ficou sob responsabilidade da empresa inglesa *Norton Griffiths & Co. Ltd.*, por isso começou a ser apelidada de Ponte dos Ingleses. Esta firma também foi responsável pela construção do porto e de alguns açudes do Estado da Paraíba, bem como alguns açudes do Ceará, sob contratação do Governo Federal (MAINHA, 1996).

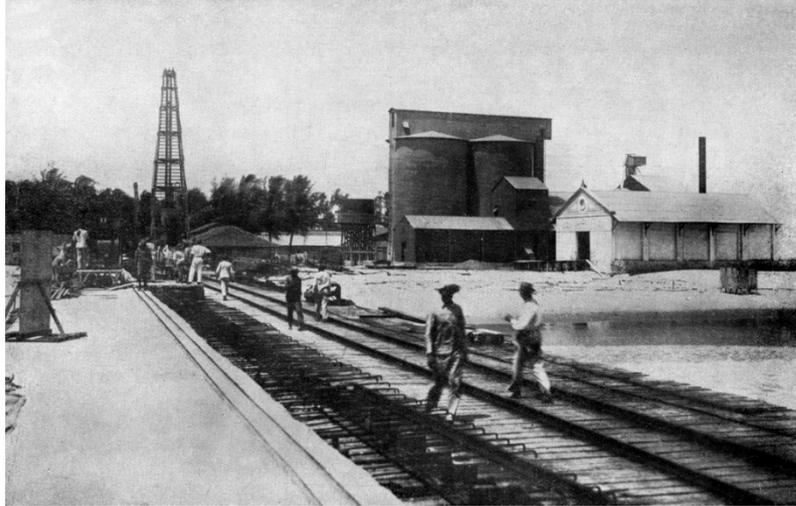
Figura 1– Inserção da primeira estaca da Ponte dos Ingleses



Fonte: Arquivo Nirez, 2021.

Naquela época eram construídos silos para armazenar o cimento que seria utilizado na obra em construção. Na Figura 2 é possível ver dois silos construídos e no fundo um bate-estacas no final da linha de ferro. As Figuras 3 e 4 mostram a Ponte dos Ingleses em construção.

Figura 2 – Construção da Ponte dos Ingleses, com dois silos para armazenar cimento ao fundo



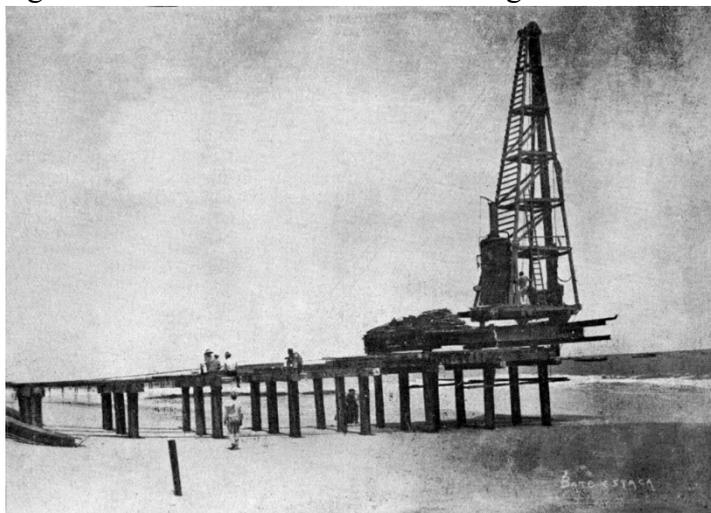
Fonte: Arquivo Nirez, 2021.

Figura 3 – Ponte dos Ingleses em construção



Fonte: Arquivo Nirez, 2021.

Figura 4 – Bate estacas na Ponte dos Ingleses



Fonte: Arquivo Nirez, 2021.

Vale ressaltar que a Ponte dos Ingleses é equivocadamente confundida com a Ponte Metálica, que teve sua construção iniciada em 1902. Ambas estão situadas na Praia de Iracema, mas o acesso à Ponte dos Ingleses ($3^{\circ}43'6.548''$ S, $38^{\circ}31'1.024''$ W) se dá pela rua dos Tabajaras, esquina com a rua dos Cariris, mostrado na Figura 5. Conforme afirma o arquiteto Mainha “Não confundir com a Ponte Metálica, em que não participei da construção. A Ponte dos Ingleses, você partindo do Porto das Dragas, é a segunda. A primeira é a Ponte Metálica. Geralmente confundem-nas.” (MAINHA, 1996. p. 181). Outra diferença é que quando construída, a primeira era integralmente de ferro e madeira e a segunda de concreto.

Figura 5 – Localização da Ponte dos Ingleses



Fonte: Google Maps, 2021.

Projetada por Domingos Sérgio de Sabóia e Silva e montada pelos engenheiros Hildebrando Pompeu (cearense) e *Robert Grow Bleasby* (escocês), a Ponte Metálica teve sua construção iniciada em 1902, com inauguração apenas em 1906. Era dotada de uma escada móvel para o embarque e desembarque de passageiros e guindastes para transportes das mercadorias. Entretanto, devido a profundidade, não era um cais acostável, então o navio ficava a uma certa distância e o trajeto entre a ponte e o navio era feito por botes, isto causava desconforto para os usuários. E foi justamente com o objetivo de permitir o atracamento dos navios que se projetou a Ponte dos Ingleses.

Desse modo, pode-se inferir que há essa confusão de nomes em virtude de a Ponte dos Ingleses ter sido construída com a mesma finalidade da Ponte Metálica: embarque e desembarque de pessoas, mercadorias e produtos. Em 1928, devido a corrosão da estrutura metálica, houve uma reforma, recobrando-a com concreto e em homenagem ao presidente do

Estado, foi incrementada a nomenclatura de Viaduto Moreira da Rocha, todavia, ainda ficou mais conhecida por Ponte Metálica.

Com a mudança no Governo Federal, do então Presidente da República Epitácio Pessoa para Artur Bernardes em 1923, a Ponte dos Ingleses teve sua obra interrompida devido a questões financeiras. Possuía 10 m de largura, e dos 800 m de extensão projetados, apenas 300 m foram construídos. Em 1929, após seis anos seguidos de obra parada, o engenheiro Miranda de Carvalho apresentou ao engenheiro Oscar Weinschenck, Inspetor Federal de Portos, propostas a fim de continuar a obra na Pontes dos Ingleses:

O prolongamento da ponte por meio de uma estacada de aço, contraventada por tirantes metálicos até atingir a profundidade de 8 metros e construir aí um cais quebra-mar, de estacas e enrocamento, com 500 metros de extensão para atracação dos navios; [...] sobre as vigas da ponte e do cais metálico, uma laje de concreto armado capaz de suportar linhas férreas que interliguem o cais quebra-mar aos armazéns de porto em terra; [...] os armazéns do porto serão 3 dos próprios armazéns já existentes no enraizamento da ponte, sendo posteriormente adaptados e providos das competentes ligações ferro e rodoviárias. (GIRÃO, 1959, p. 218).

O diretor de Obras Públicas do Ceará, Antônio Borges de Melo, também defendia este projeto. Entretanto, o engenheiro *Hor Meyell* defendia a ideia da construção do Porto do Mucuripe. Dentre muitas discussões, foi aprovada a continuação da obra na Ponte dos Ingleses. Todavia, a continuidade ficou apenas no papel e os diversos acontecimentos ao longo dos anos fizeram com que, em 1938, fosse tomada a decisão da construção do Porto no Mucuripe. Dessa forma, as obras na Ponte dos Ingleses foram abandonadas.

Já que não vinha cumprindo a função de porto marítimo, a Ponte dos Ingleses tornou-se um local de recreação. O fato de não possuir guarda-corpo, proporcionava aos seus usuários uma facilidade para a prática do mergulho (Figuras 6 e 7), como afirmado por BARBOSA (2010).

[...] Como a Ponte dos Ingleses não chegou a ter mureta de proteção, os jovens a escolheram para recreação. O lado direito ficou para a pescaria pois, as pedras ali colocadas servem de abrigos para os peixes. O outro lado foi destinado para a prática do mergulho, ou pulo, no momento em que a onda do mar está passando, devido ao fato de não haver pedras. Na maré alta, a ponte era bastante movimentada por adolescentes que praticavam o esporte do mergulho na passagem da onda. Isso se explica porque a maré alta reduz a distância do nível da água do mar para a laje da ponte. E quando a onda está passando em direção ao litoral, a citada distância chega ao seu valor mínimo. Então é hora de mergulhar. Na linguagem dos jovens, a expressão é "pular da ponte". Uns garotos esperam a passagem na borda da ponte. Outros ficam mais afastado, de correr para dar um impulso maior e pôr mais emoção. O contato com a água pode ser com a ponta dos dedos das mãos, se a pessoa pula de bico, também conhecido como tainha. Ou feito com os pés, se o praticante pula para cair em pé. (BARBOSA, 2010, p. 26).

Figura 6 – Banhistas sobre a Ponte dos Ingleses



Fonte: Arquivo Delberg Ponce de Leon, 2021.

Figura 7 – Banhistas sobre a inacabada Ponte dos Ingleses



Fonte: Fortaleza Nobre, 2009.

Os amantes da natureza visitavam constantemente a Ponte dos Ingleses, atraídos por sua característica de permitir a contemplação do pôr do sol e das noites de luar. Ademais, tornou-se também um ponto turístico para aqueles que visitavam a capital do Estado do Ceará.

A Ponte dos Ingleses tornou-se um ícone fundamental e popular da capital cearense. Sua imagem em silhueta recortada sobre a paisagem iluminada das tardes fortalezenses passou a ser um apoio definitivo à configuração da imagem urbana memorável de Fortaleza, fator decisivo na configuração de um destino turístico. (LEON, 2019, p. 3).

Sob a justificativa de ser um espaço com livre acesso, raro no cenário de Fortaleza à época, constituindo-se num símbolo da cultura para a visita de outros povos, a Ponte dos Ingleses foi tombada, através da edição da Lei nº 6.512, de 11 de outubro de 1989, onde estabelece normas de preservação e conservação, dentre outras providências:

[...] Art. 1º Ficam instituídas normas de Proteção, Preservação e Conservação da PONTE DOS INGLESES, pela sua expressão arquitetônica e histórica para o Patrimônio Cultural da Cidade de Fortaleza. Parágrafo Único - Ponte referida neste artigo é a que se localiza no bairro Praia de Iracema, onde tradicionalmente é visitada por artistas, poetas, intelectuais e os mais variados turistas. Art. 2º As normas estatuídas na presente lei têm por finalidade: I. Assegurar a proteção e disciplinar a preservação, mantendo as características originais e tradicionais da ponte; II. Permitir a delimitação de uma área compreendendo o seu entorno; III. Garantir a imediata restauração e recuperação da mesma. Art. 3º-A Proteção, Preservação e Restauração da ponte, serão exercidos pelos órgãos competentes da Prefeitura, podendo contar com o apoio de outros órgãos estaduais e federais. Parágrafo Único - A proteção preservadora de que trata este artigo, caracteriza-se pela execução das obras de conservação, reparação ou restauração da referida ponte, como tal entendendo-se: I. OBRA DE CONSERVAÇÃO a intervenção de natureza preventiva, que consiste na manutenção do bem cultural a ser preservado; II. OBRA DE REPARAÇÃO- a intervenção de natureza corretiva, que consiste na substituição, modificação ou eliminação de elementos estranhos ou incompatíveis com a unidade arquitetônica da ponte; III. OBRA DE RESTAURAÇÃO- a intervenção de natureza também corretiva que consiste na reconstituição das características originais, mediante a recuperação da estrutura afetada pela maresia ou pela batida das ondas do mar. [...] (FORTALEZA, 1989, p. 3).

2.2 A recuperação de 1990

Após aproximadamente 69 anos da sua construção, a Ponte dos Ingleses se encontrava com suas estruturas de concreto armado em deterioração, em decorrência de sua utilização e também por estar em contato direto com a maresia. Então, o Governo do Estado a interditou para uso público. Em meados de 1990, estava ocorrendo a licitação pública por meio de Cartas Convite com vistas ao projeto do Centro Dragão do Mar de Arte e Cultura. Nesse ínterim, sugeriu-se a inserção da reabilitação da Ponte dos Ingleses, considerando seu estado parcial de ruína, no contexto de reurbanização do Bairro Praia de Iracema (LEON, 2021).

Para a realização da reforma, levou-se em consideração a situação estrutural, aplicação de intervenções que proporcionassem lazer aos usuários, de forma que estes estivessem em segurança, sem, no entanto, descaracterizar a historicidade da construção. A Ponte dos Ingleses teve sua inauguração em 4 de outubro de 1994, contando com o projeto arquitetônico de Delberg Ponce de Leon e Fausto Nilo, executado pela Engexata Engenharia Ltda.

No projeto de reforma, a laje de concreto armado foi completamente retirada e substituída por madeira. Fez-se a elevação da ponte em 1 m, isto com aumento da altura dos pilares, num trecho de aproximadamente 119 m. A largura que antes apresentava 10 m, foi ampliada para 15 m, aumentando 2,5 m para cada lado. Também foi inserido guarda-corpo de madeira com altura de 1,2 m em toda a extensão da ponte, permitindo segurança para os

usuários, mas dificultando a prática do mergulho dos jovens nos verdes mares bravios da Praia de Iracema (BARBOSA, 2010).

O trecho inicial da ponte, antes do acesso ao piso de madeira, era constituído por piso cimentado na área dos quiosques, e nas demais áreas por pedra portuguesa, como se pode observar na Figura 8. Estes quiosques eram destinados a atividades diversas, como lojas, bancas de jornais, sorveterias e outros.

Figura 8 – Trecho inicial da Ponte dos Ingleses, na frente dois quiosques e ao fundo a guarita



Fonte: Secretaria de Cultura do Ceará, 2015.

Já no trecho com laje de madeira, logo no início havia uma guarita destinada a ser um ponto de informações e à polícia. No decorrer da extensão da ponte também foram construídos mais dois quiosques, um restaurante e um palco para *shows* (Figura 9). Também foi instalado um observatório marinho do LABOMAR- Instituto de Ciências do Mar pertencente à Universidade Federal do Ceará (Figura 10).

Figura 9 – Ponte dos Ingleses: vista lateral



Fonte: Secretaria de Cultura do Ceará, 2015.

Figura 10 – Observatório marinho do LABOMAR



Fonte: Secretaria de Cultura do Ceará, 2015.

Vale ressaltar, que esse projeto contou com uso de fibra de vidro, tanto nas cobertas como nos parafusos e porcas de emendas. Esta fibra pode ser usada em substituição ao aço e apresenta a vantagem de não ser corroída facilmente com o tempo, ou seja, proporciona uma maior conservação à estrutura.

Nesta ponte também foi inserida, no final de sua estrutura, a obra de arte “La Femme Bateau” (Figura 11), do artista Sérvulo Esmeraldo. De acordo com Santos e Rodrigues (2021), a obra consiste numa escultura cinética em aço e fibra de vidro, de dimensões 5,20 x 4,50 x 0,50 m, pesando aproximadamente 400 kg, em formato de barco a vapor, em que a fumaça se converte em farta cabeleira feminina e por três vezes já cedeu à força dos ventos e das correntes marítimas, sendo reconstruída e restituída ao seu lugar na paisagem.

Figura 11 – “La Femme Bateau” de Sérvulo Esmeraldo



Fonte: Jornal O Povo, 2021.

Em março de 2018, uma ressaca que atingiu a orla do litoral cearense provocou o afundamento da escultura “La Femme Bateau”. Por apresentar importância histórica e cultural, o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará (CBMCE) e guarda-vidas da Guarda Municipal de Fortaleza (GMF) foram mobilizados em busca da escultura. Encontrada completamente submersa e presa à uma longarina de concreto, foram necessários quatro dias e a utilização de equipamentos adequados para a retirada e manuseio da obra.

Com estrutura danificada, “La Femme Bateau” deveria ter sido conduzida para a Metalúrgica Santa Luzia, sob responsabilidade de Ari Josino, o qual esteve na instalação da obra e conhece sua complexidade (Guimarães, 2021). Entretanto, isto não foi feito e a obra permanece deteriorada. Segundo a Secretaria Municipal da Cultura de Fortaleza (Secultfor), a escultura será reinstalada após a conclusão da nova reforma na Ponte dos Ingleses (MENEZES, 2021).

2.3 A nova Ponte dos Ingleses

Em 2018, 24 anos após a sua última reforma, a Ponte dos Ingleses foi novamente interditada por apresentar elevado grau de deterioração. Isto decorre da sua exposição à maresia, não acompanhada de medidas de manutenção e mau uso pela população residente de Fortaleza e dos visitantes.

O projeto de requalificação da ponte, contratado pela Superintendência de Obras Públicas (SOP), apresenta-se como uma iniciativa responsável que contribuirá para o desenvolvimento urbano de Fortaleza, ratificando-a como uma cidade atrativa à visita de turistas em atividades saudavelmente compartilhadas com uma comunidade local forte e expressiva em seus valores (LEON, 2019).

O contrato da nova reforma foi assinado em 26 de outubro de 2020 e os projetos foram feitos novamente pelos arquitetos Delberg Ponce de Leon e Fausto Nilo. Estes realizaram um estudo preliminar da Ponte, visando analisar “aspectos importantes de adaptabilidade e satisfação do público a partir de sua prática de uso”. (LEON, 2019).

As principais conclusões deste estudo que levaram a discussões de mudanças, foram:

- a) em decorrência da mudança de local de trabalho dos pesquisadores do Labomar, a torre de observação marinha teve seu uso abandonado;

- b) os materiais da obra se apresentaram com resistência significativa, entretanto, por falta de manutenções, se desgastaram, sendo necessárias restaurações a fim de permitir o retorno ao uso público;
- c) o uso do piso de madeira demonstrou-se não muito aceito pela cultura local. Desse modo, entendeu-se que “o piso em concreto seria bem mais capaz de absorver os efeitos dinâmicos das ondas e proteger-se da corrosão que afeta todos os componentes metálicos de fixação das madeiras” (Leon, 2019). Além de fornecer sensação de mais segurança aos usuários, por apresentar mais estabilidade e proporcionar facilidade de manutenção e limpeza;
- d) a guarita destinada ao uso policial não recebeu efetivamente este destino;
- e) subdimensionamento da área localizada na extremidade norte da ponte, que permite a melhor contemplação do mar, causando desconforto e sensação de insegurança para as pessoas;
- f) possível agressão ambiental, dada a existência de instalações sanitárias sob o piso de madeira que está imediatamente acima do mar;
- g) insuficiente iluminação pública e recursos luminotécnicos que permitam destaque da ponte, bem como conforto e segurança aos usuários;
- h) inexistência de sinalização com comunicação visual que proporcione acessibilidade a todos os ambientes;
- i) necessidade de estudo aprofundado para a fixação da escultura “La Femme Bateau”, de forma que esta resista aos impactos das grandes ondas.

Todavia, mesmo diante destas conclusões, a Ponte dos Ingleses constitui-se um patrimônio público (Lei nº. 6.512 de 1989) e deve ser zelado por todos que a frequentam, que abrangem as diferentes faixas etárias e classes sociais. Por apresentar característica de lugar que permite celebrações públicas e ponto de encontro, pode-se dizer que é um local urbano definitivo como referência convergente (LEON, 2019).

Além disso, a existência da ponte é benéfica para os pontos comerciais do seu entorno, com perspectivas de agregar valor a tais empreendimentos em razão do processo de revitalização. Com a concretização do Plano Fortaleza 2040, a Ponte dos Ingleses e, conseqüentemente, a Praia de Iracema completarão seus objetivos turísticos para a cidade.

Pautando-se nos pós e contras que a reforma de 1994 trouxe para a ponte, a Secretaria Estadual de Turismo e os projetistas originais da ponte, vislumbraram um projeto de readaptação, e no relatório de análise preliminar foram descritas as seguintes características:

- a) substituição de algumas estruturas de madeira por estrutura de concreto;
- b) conversão de grande parte da área da ponte em zona de acesso, através de pagamento de uma taxa com baixo custo e controle feito por catracas, com exceção da área de face urbana de chegada e recepção, que terá livre acesso;
- c) a zona de acesso geral contará com dispositivos de acessibilidade e que promovam segurança aos usuários, como piso adequado, escadas, rampas, guarda-corpos, corrimãos e sinalização de comunicação visual;
- d) controle rigoroso entre a capacidade dos ambientes e o público frequentador, de forma a não exceder os limites;
- e) instalação de equipamentos e procedimentos que proporcionem segurança física a estrutura, tornando-a resistente aos impactos das ondas;
- f) inclusão de diversidade de atividades para o público e melhoria do espaço de contemplação paisagística;
- g) criação de espaço estratégico a fim de instalar permanente segurança policial;
- h) inserção de banheiros em área que impeça a passagem de tubulações sobre o mar, evitando eventuais conflitos ambientais;
- i) conversão da torre pertencente ao Labomar em mirante especial com acesso controlado;
- j) inserção de elevação ao norte, defronte ao mar, que permita acesso de todos, de forma segura e confortável, para a contemplação da paisagem;
- k) buscar, nas novas tecnologias, materiais a serem inseridos nas cobertas, de forma a permitir uma maior resistência aos impactos marinhos, ou seja, aumentar sua vida útil;
- l) permitir que estas características arquitetônicas se harmonizem com o futuro espaço urbano, incluindo-se a futura zona de influência do Aquário e melhoria para o bairro da Praia de Iracema.

Desse modo, em setembro de 2019, houve uma reunião entre os interessados, responsáveis e projetistas da reforma da Ponte dos Ingleses, e com base em estudos preliminares decidiram que:

- a) em relação à zona de acesso, área sobre o solo que abrange parte do calçadão à beira-mar, por onde se faz a chegada dos visitantes, está com caminho de passeio estreito devido a existência de um muro do imóvel privado vizinho. Assim, sugere-se que sejam demolidos o muro e parte da edificação;

- b) os dois quiosques pré-existentes no patamar após a escada e mesmo nível da plataforma da ponte, serão usados com função de área administrativa e como área para banheiros. Após essa área, o acesso à plataforma será controlado através do uso de etiquetagem e haverá catracas associadas a gradil de contenção, conforme pode ser visto na Figura 12;
- c) a cabine de segurança terá sua instalação no segundo quiosque da área em solo, equipada com sistema de monitoramento por câmeras e abrigando guardas policiais;
- d) a instalação sanitária subterrânea será na área sobre o solo, onde se tem o acesso à ponte, sendo ligada ao sistema público de abastecimento de água e coleta de esgoto. Na plataforma da ponte haverá apenas instalação elétrica;
- e) a laje será de concreto pré-moldado com uma camada de regularização, apresentando altura total de 28 cm. Sua largura passará de 15 m para 16 m, aumentando 0,5 m para cada lado;
- f) o pavilhão central, a torre de observação e os quiosques permanecem com suas volumetrias e materiais originais, de modo a preservar a imagem da Ponte dos Ingleses já consolidada no imaginário popular (Figura 13);
- g) um dos quiosques da plataforma será usado para serviços e o outro como área de livre utilização pelo público;
- h) na área destinada às apresentações artísticas, haverá arquibancada em dois níveis (Figura 14);
- i) o tablado elevado pré-existente de madeira terá uma nova altura de 0,8 m, mas sua extensão será reduzida, permitindo, assim, que na extremidade Norte haja a permanência de mais usuários;
- j) a torre de observação marinha será composta internamente por escada de madeira, corrimãos, guarda-corpos, área de permanência e janelas que permitirão a visualização da paisagem, como pode-se observar na Figura 14;
- k) a iluminação permanecerá em postes inerentes aos guarda-corpos (Figura 15), de forma a exaltar a beleza monumental da Ponte;
- l) a escultura “La Femme Bateau” será reinstalada na sua posição original, com maior firmeza nas fixações à estrutura de apoio;

- m) os guarda-corpos de madeira serão em concreto pré-moldado, mas com a modulação original. Em algumas partes haverá composição de guarda-corpo em concreto e vidro, conforme pode ser visto na Figura 16;
- n) a fibra de vidro continuará a ser usada nas cobertas e nos parafusos de fixação;
- o) as vigas e os pilares passarão por processo de recuperação estrutural.

Figura 12 – Novo projeto do calçadão e patamar elevado de acesso à Ponte dos Ingleses



Fonte: Delberg arquitetos associados, 2021.

Figura 13 – Vista superior do novo projeto da Ponte dos Ingleses



Fonte: Delberg arquitetos associados, 2021.

Figura 14 – Torre de observação e espaço de apresentação artística da Ponte dos Ingleses (novo projeto)



Fonte: Delberg arquitetos associados, 2021.

Figura 15 – Vista oeste da Ponte dos Ingleses (novo projeto)



Fonte: Delberg arquitetos associados, 2021.

Figura 16 – Guarda-corpo composto por concreto e vidro (novo projeto)



Fonte: Delberg arquitetos associados, 2021.

3 DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

3.1 Introdução

Descoberto no final do século XIX e abundantemente utilizado até o presente século, o concreto de cimento Portland consiste no mais importante material de construção civil e estruturas. Formado também por água e agregados, podendo também incrementar aditivos com as mais variadas funções, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, o concreto apresenta como principal característica a elevada resistência a compressão (ISAIA, 2010).

Todavia, as estruturas de concreto, mesmo possuindo excelente durabilidade, inevitavelmente perderão essa característica ao longo do tempo, em decorrência da forte interação com o meio ambiente (Isaia, 2010). Nesse contexto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas Norma Brasileira (ABNT NBR) 6118 (2014) define a vida útil de projeto como um período de tempo durante o qual as características destas estruturas são mantidas, sem intervenções significativas e atendendo aos requisitos de uso e manutenção especificados pelo projetista e pelo executor, bem como de execução dos reparos necessários advindos de danos não previstos. Ou seja, durante este período, as estruturas de concreto devem fornecer segurança, estabilidade e eficiência em serviço.

A falta de durabilidade nas estruturas de concreto armado é o problema mais recorrente enfrentado na construção civil, sendo mais preocupante a rapidez com que as manifestações patológicas começam a aparecer. Entende-se por manifestação patológica a degradação na estrutura. Suas origens são as mais diversas, podendo ser no projeto, na execução, na escolha de materiais e na manutenção. Já as causas, podem ser decorrentes dos seguintes fatores:

- a) falhas humanas: modelagem inadequada da estrutura, má avaliação das cargas, detalhamento errado ou insuficiente, erro na interação solo-estrutura, erro na consideração de juntas de dilatação, deficiências de concretagem, má interpretação do projeto de armadura, má utilização de anticorrosivos, utilização de agregados reativos, ineficiente controle tecnológico, ausência de manutenção, alterações estruturais, inserção de sobrecargas exageradas, alteração das condições do terreno de fundação e outros;

- b) causas naturais do próprio concreto: causas decorrentes da própria porosidade do concreto, reações álcalis-agregados, reações álcalis-dolomita, reação entre rochas caulinizadas, expansibilidade de constituintes do cimento, presença de cloretos, ácidos, sais, anidrido carbônico e água, elevação da temperatura interna do concreto e outras causas naturais;
- c) ações externas: choque de veículos, recalque de fundações, acidentes, variações de temperatura, insolação, ação da água, ação de ar e gases, vegetação na estrutura e presença de cupins e formigas.

3.2 Ação do ambiente marinho em estruturas de concreto armado

As construções civis estão sujeitas a sofrerem manifestações patológicas que reduzam sua vida útil. No caso das obras de arte especiais (pontes e viadutos), as quais muitas delas foram construídas entre as décadas de 70 e 80, no contexto do Milagre Econômico brasileiro, os critérios de especificações eram insuficientes sob a ótica da durabilidade, a exemplo de classes de resistência entre 15 MPa e 25 MPa e insuficiente cobrimento da armadura. Soma-se a isto o ambiente agressivo em que aquelas estão inseridas, a adoção de prática construtiva sem priorizar a qualidade e a ausência de manutenções preventivas, culminando em elevado potencial de degradação, afetando seu desempenho estrutural (ISAIA, 2010).

Segundo Helene (1992), as manifestações patológicas típicas dessas obras que se encontram inseridas em ambiente marinho são: desgaste mecânico, corrosão nos elementos semi-submersos, quebra de arestas, cantos e fissuras. A corrosão das armaduras (Figura 17) é uma das degradações mais importantes, do ponto de vista estrutural e econômico (ISAIA, 2011).

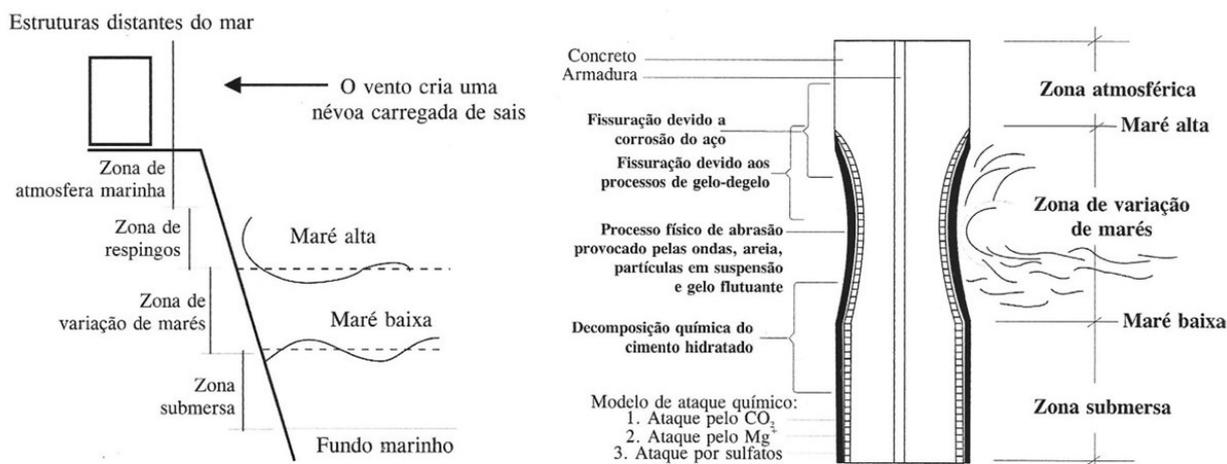
Figura 17 – Corrosão das armaduras



Fonte: Prof. Eduardo Cabral, 2021.

A intensa agressão do ambiente marinho nas estruturas de concreto armado se dá em decorrência da existência de agentes químicos, físicos e biológicos, que podem agir simultaneamente (Isaia, 2011). Esse ambiente pode ser dividido em distintas zonas, como apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Diferentes zonas de agressividade às estruturas de concreto armado no ambiente marinho



Fonte: Isaia, 2011.

De acordo com Isaia (2011), as principais características dessas zonas são:

- a) zona de atmosfera marinha: região da estrutura em que são acumulados sais trazidos dos ventos. A principal manifestação patológica presente nesta região é a corrosão das armaduras através da ação dos íons cloreto;
- b) zona de respingos: região de incidência direta das ondas e respingos, produzindo corrosão das armaduras pelos íons cloretos e por erosão devido ao impacto das ondas;
- c) zona de variação de marés: região entre os níveis máximo e mínimo das marés. Nessa região há períodos em que o concreto se encontra saturado com elevada concentração de sais. O desgaste da estrutura é proveniente do ataque químico (sais agressivos), corrosão das armaduras, ação das ondas e outras substâncias em suspensão (abrasão), além de microrganismos (ataques biológicos);
- d) zona submersa: região em que a estrutura se encontra completamente e permanentemente submersa. A degradação ocorre pela ação de sais agressivos e pela ação de microrganismos, podendo gerar, em casos extremos, corrosão biológica das armaduras.

Caracterizando-as pelo mecanismo e agente de degradação (Guimarães, 2000 apud ISAIA, 2011), pode-se resumir a distinção das zonas da seguinte forma:

- a) carbonatação: significativa apenas na atmosfera marinha;
- b) penetração de cloretos: significativa nas regiões com ciclos de molhagem e secagem, ou seja, nas zonas de respingos e de variação de marés;
- c) sulfatos: o ataque por sulfatos é mais significativo nas zonas de respingos e de variação de marés, diminuindo a intensidade de ataque com o aumento de cota, ou seja, com a distância em relação ao nível de mar.

Caracterizadas as zonas, apresentam-se os agentes agressores, expondo seus efeitos:

- a) agentes químicos de degradação: correspondem aos sais dissolvidos na água do mar. Para concretos em contato com essa água, os mais agressores são os sais de magnésio e os de sulfato (Lopez, 1998 apud ISAIA, 2011). Já a corrosão das armaduras é decorrente da presença de íons cloreto e da elevada umidade do meio;
- b) agentes físicos de degradação: a movimentação da água do mar se subdivide em três: ondas, correntes e marés. As ondas (Figura 19) provocam o desgaste superficial (Figura 20) das estruturas de concreto através de seu impacto contínuo. Já as correntes apresentam efeitos indiretos na degradação dessas estruturas, influenciando na concentração dos compostos químicos e na composição do material carregado em suspensão. Estes, por sua vez, podem provocar erosão e atacam quimicamente as estruturas. Em relação as marés, têm-se as marés, que expõem as estruturas à contínua molhagem/secagem e calor/frio. Outro agente físico é o vento, que além atuar na formação das ondas e correntes, transporta íons e age como catalisador nos ciclos de molhagem e secagem das estruturas;
- c) agentes biológicos de degradação: os organismos incrustadores (Figura 21) que se fixam nas estruturas são os principais agressores biológicos, desgastando diretamente parte da estrutura ou, indiretamente, produzindo resíduos metabólicos, enzimas e ácidos. Todavia, alguns desses organismos atuam também de forma positiva, a exemplo das algas, estas, quando nas zonas submersas, se fixam nas estruturas e as selam, contribuindo para sua durabilidade.

Figura 19 - Ação das ondas do mar



Fonte: SC engenharia de fundações e contenções, 2021.

Figura 20 – Desgaste superficial da estrutura



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Figura 21 – Ação de agentes biológicos marítimos



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

3.3 Ensaios de diagnóstico

A primeira identificação de que uma estrutura de concreto apresenta manifestações patológicas é feita por meio do exame visual, atrelado à análise do ambiente em que esta está inserida. Todavia, torna-se necessário realizar uma inspeção detalhada e cuidadosa para se ter conhecimento das condições reais da estrutura, avaliando as anomalias existentes, suas causas, providências a serem tomadas e os métodos a serem adotados para a recuperação ou o reforço (SOUSA; RIPPER, 1998).

A inspeção é realizada seguindo três etapas básicas: levantamento dos dados, análise e diagnóstico. Dentre os passos seguidos no levantamento dos dados, tem-se a realização dos ensaios, que podem ser não destrutivos e semi destrutivos, estes causam danos reparáveis à estrutura.

Para a determinação da qualidade do concreto, têm-se, por exemplo, os seguintes ensaios não destrutivos:

a) resistividade elétrica-volumétrica: é o inverso da condutividade, consistindo num parâmetro que, atrelado a disponibilidade de oxigênio, controla a velocidade de corrosão do aço no concreto (Andrade, 1992). Esse ensaio é regido pela ABNT NBR 9204 (2012). Os quatro pinos (sondas) do equipamento são postos em contato com o concreto (Figura 22). As sondas mais externas medem a diferença de corrente dentro do concreto. Já as sondas mais internas medem uma diferença de potencial, podendo-se obter a resistividade superficial do concreto;

Figura 22 – Equipamento para medir resistividade superficial



Fonte: Proceq, 2017.

b) prova de carga: ensaio regido pela ABNT NBR 9607 (2019), consistindo basicamente em uma aplicação gradativa de carga sobre uma parte da estrutura, a respeito qual tem-se um prévio conhecimento, de forma a não destruí-la durante o ensaio. Assim, o seu deslocamento é medido em mm, através do uso de relógios comparadores, que têm precisão de milésimo de milímetro. Visando impedir que a estrutura vá à ruína, é importante que na planilha de dados se tenha um valor máximo de deslocamento, norteando, assim, o ensaio.

Para a determinação da localização do aço no concreto, tem-se, por exemplo, o ensaio não destrutivo com uso do pacômetro (Figura 23), equipamento que emite ondas eletromagnéticas que ao encontrarem as armaduras, emitem um sinal sonoro e luminoso. Esse instrumento também fornece o cobrimento e o diâmetro das armaduras.

Figura 23 – Equipamento pacômetro



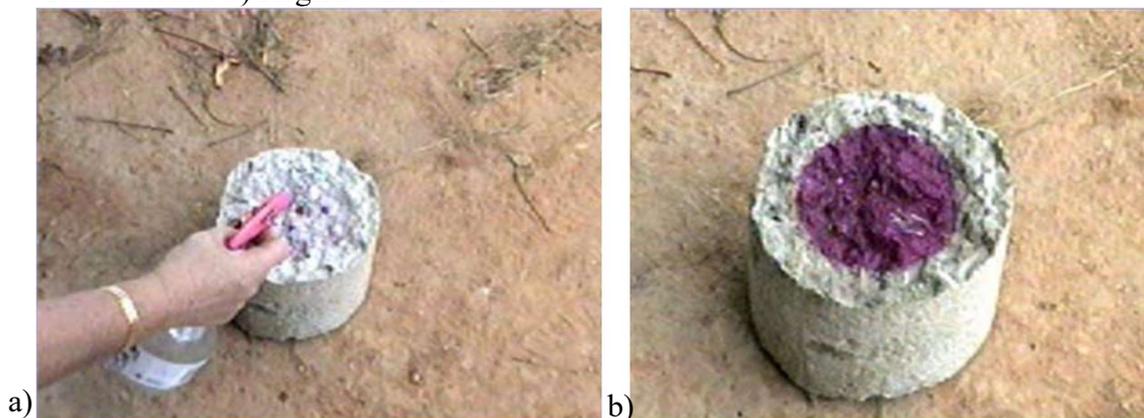
Fonte: Prof. Eduardo Cabral, 2021.

Alguns exemplos dos ensaios semi destrutivos são:

a) carbonatação: consiste num processo físico (entrada do CO_2 na porosidade do concreto) e químico (ocorrência das reações) de neutralização da fase intersticial do concreto, saturada de hidróxido de cálcio e de outros compostos alcalinos hidratados, resultando na redução do potencial hidrogeniônico (pH) a valores inferiores a 9. O problema ocorre em virtude dessa concentração de CO_2 na atmosfera e da porosidade e nível de fissuração do concreto, fazendo com que a carbonatação atinja a armadura, quebrando o filme óxido que a protege, corroendo-a (Helene, 1992). A metodologia do ensaio consiste em aplicar um indicador de pH (Figura 24-a), geralmente a fenolftaleína, numa região da superfície do concreto que possua uma fratura ortogonal à armadura. Deixa-se passar alguns minutos para

que haja alteração da cor do concreto e, após isso, faz-se a medição com precisão de milímetro na região incolor, carbonatada. A região com cor avermelhada indica a não carbonatação (Figura 24-b);

Figura 24 – Análise de carbonatação em um testemunho de concreto. a) Aspersão da fenolftaleína. b) Região carbonatada



Fonte: Notas de aula do Prof. Eduardo Cabral, 2021.

- b) extração de testemunhos: consiste na retirada de amostras de concreto em formato cilíndrico da estrutura a ser analisada. O equipamento utilizado é uma extratora (Figura 25) provida de cálice e coroa diamantada que possibilite o corte dos testemunhos com as dimensões estabelecidas, sem danificar excessivamente a estrutura, conforme descrito pela ABNT NBR 7680 (2015). As amostras retiradas são levadas para laboratório e ensaiadas na prensa, cujo objetivo é realizar o rompimento dos corpos de prova para verificar a resistência à compressão e/ou a resistência à tração na flexão. Todavia, outras análises podem ser feitas, a exemplo da avaliação do índice de vazios e da massa específica;

Figura 25 – Máquina extratora



Fonte: Prof. Eduardo Cabral, 2020.

c) determinação da presença e do teor de cloretos: se mede a profundidade de alcance dos íons cloretos no interior do concreto. Um dos ensaios que pode ser realizado *in loco* para determinar a presença de cloreto e não sua quantidade, consiste na aspersão de nitrato de prata sobre a superfície do concreto previamente fraturada. Os cloretos reagem e formam o cloreto de prata, apresentando uma coloração prateada, podendo, assim, ser feita a medição da espessura de penetração na estrutura. Ensaios de laboratório podem ser realizados seguindo os procedimentos da ABNT NBR 9917 (2009), mas é necessária a retirada de amostra, fazendo-se três furos ao passo de 1 cm no mesmo local da estrutura, coletando o pó de cada perfuração.

Finalizada a etapa de levantamento de dados, faz-se a análise destes, de forma a compreender o comportamento da estrutura e identificar as causas e origens das manifestações patológicas (Helene, 1992). A última etapa é a de diagnóstico e está condicionada a diversos fatores (econômicos, técnicos, de segurança e de conforto), nesta será dada uma conclusão do estado da estrutura e quais medidas deverão ser tomadas.

Após o diagnóstico, as técnicas de recuperação e/ou reforço poderão ser aplicadas. Estas incluem a cuidadosa seleção de materiais e equipamentos a serem utilizados, bem como mão de obra para a execução do serviço. Todavia, antes de exemplificá-las, torna-se necessário distinguir, conceitualmente, recuperação e reforço.

3.4 Recuperação/reparo e reforço do concreto armado

A recuperação ou reparo consiste numa intervenção na estrutura que não tem a finalidade de aumentar sua capacidade portante, mas a reconstituição das suas características geométricas, de resistência e de desempenho originais. Ou seja, nesta não é exigido o cálculo estrutural, mas apenas a restauração da estrutura com uso de materiais específicos.

Já o reforço está ligado às alterações de funcionalidade da estrutura ou às consequências de danificação sofrida por ela, requerendo, para isto, a elaboração de cálculos estruturais. É bastante comum que as atividades de reforço estejam dentro das atividades de recuperação.

Antes de estabelecer se será feito reforço ou recuperação, faz-se necessário primeiramente definir a capacidade resistente residual da estrutura (ou peça estrutural) através da determinação da geometria, resistência à compressão do concreto, cargas atuantes e da

verificação do estado de conservação do aço. Feito isto, faz-se uma avaliação das cargas e com base nos resultados, escolhe-se entre reparar e reforçar.

A recuperação/reparo e reforço podem ser classificados quanto à extensão e à profundidade da intervenção. Quanto à extensão, têm-se o tipo localizados, em que não se faz as modificações na peça toda, mas apenas no local definido pelo diagnóstico, e o tipo generalizados, feito em toda a peça estrutural. Há uma premissa de que, se 40% ou 50% da peça estrutural estiver precisando de reparo ou reforço, faz-se logo o do tipo generalizado (CABRAL, 2021).

Quanto à profundidade de intervenção, ou seja, quanto ao que entra no cobrimento, a recuperação/reparo e reforço podem ser: rasos ou superficiais (espessura menor ou igual à 2cm); semiprofundos (espessura maior que 2cm e menor ou igual a 5cm); profundos (espessura maior que 5cm). Essa classificação direciona a escolha do material a ser utilizado nos procedimentos.

Se o reparo for do tipo raso ou superficial, recomenda-se a utilização de argamassa de reparo ou *grout*, que mesmo apresentando um alto custo em relação a outros materiais, tem como característica a fácil aplicação, usualmente a manual. É comum o uso de materiais mais baratos, a exemplo do concreto projetado, quanto mais profundo for o reparo e/ou a recuperação. Já para o reparo semi profundo, faz-se necessário avaliar se é possível utilizar a solução do profundo, caso não seja, parte-se para a solução de argamassa de reparo.

3.4.1 Técnicas de recuperação e reforço

A aplicação das técnicas de recuperação é antecedida pelo preparo e limpeza do substrato. Segundo Helene (1992), as atividades de preparo consistem em tratamentos prévios da superfície dos componentes estruturais. Os principais procedimentos estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Procedimentos de preparo do substrato

Procedimento	Procedimento mais adequado para				Usos mais comuns	Equipamento/material utilizado
	concreto com superfície		aço com superfície			
	seca	úmida	seca	úmida		
Escarificação manual	AD	AD	IN	IN	Pequenas superfícies e locais de difícil acesso para equipamentos maiores. Apicoamento das superfícies	Ponteiro, talhadeira e marreta
Disco de desbaste	AC	AD	AC	AC	Preparação e desbaste de grandes superfícies	Lixadeira industrial com disco
Escarificação mecânica	AD	AD	IN	IN	Grandes superfícies, apicoamento	Rebarbador eletromecânico ou fresas
Demolição (Figura 26)	AD	AD	IN	IN	Grandes superfícies, demolições	Martelete pneumático ou eletromecânico
Lixamento manual	IN	AC	AD	AC	Superfícies reduzidas, lixamento de barras de aço	Lixa d'água para concreto ou lixa de ferro para aço
Lixamento elétrico	AD	AC	AD	AC	Superfícies de concreto ou chapas de aço	Disco de lixa acoplado a uma lixadeira eletromecânica provida de um protetor
Escovamento manual	AD	AC	AD	AC	Superfícies de pequenas dimensões em locais de fácil acesso e remoção de produtos de corrosão incrustados nas barras	Escova com cerdas de aço
Pistola de agulha	IN	IN	AD	AD	Limpeza de superfícies metálicas, retirada de corrosão e de pinturas	Pistola eletromecânica
Jato de areia seco ou úmido (Figura 27)	AD	AD	AD	AC	Grandes áreas e locais angulosos	Compressor de ar, equipamento de jato de areia, areia, mangueira de alta pressão e, se necessário, água
Disco de corte	AC	AD	AD	AD	Retirada de rebarbas, delimitação da área de reparo, abertura de vincos para tratamento de fissuras	Máquina de corte dotada de disco diamantado
Queima controlada	AD	IN	IN	IN	Áreas em que não há armadura exposta ou espessura do cobrimento superior a 3 cm	Maçarico
Remoção de óleos e graxas impregnados	IN	AD	IN	AD	Locais com óleos e graxas impregnadas no concreto	Podendo ser os mesmos da escarificação mecânica, queima controlada ou demolição
Máquina de desbaste superficial	AC	AD	IN	IN	Grandes áreas horizontais com bom cobrimento da armadura e necessidade de remoção de espessuras na ordem de 0,5 e 3mm	Escarificador ou fresadoras mecânicas

AC – Aceitável; AD – Adequado; IN – Inaceitável.

Fonte: Adaptado de Helene (1992).

Figura 26 – Demolição de concreto velho com uso de martelete



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Figura 27 – Jato de areia seco ou úmido



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

A limpeza do substrato compreende os procedimentos efetuados instantes antes da aplicação dos materiais de reparo, os principais estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Procedimentos de limpeza do substrato

Procedimento	Procedimento mais adequado para				Usos mais comuns	Equipamento/material utilizado
	concreto com superfície		aço com superfície			
	seca	úmida	seca	úmida		
Jato de água fria (Figura 28)	IN	AD	IN	AC	Limpeza de grandes áreas	Mangueira de alta pressão, equipamento tipo lava-a-jato e bico direcional
Jato de água quente	IN	AD	IN	AC	Limpeza de grandes áreas ou locais levemente contaminados com gorduras	Mangueira de alta pressão, equipamento tipo lava-a-jato e bico direcional
Vapor	IN	AD	IN	AC	Preparação de grandes áreas e locais levemente contaminados com impurezas orgânicas e minerais	Mangueira de alta pressão dotada de isolamento térmico, bico direcional e caldeira para geração de vapor
Soluções ácidas	IN	AC	IN	IN	Limpeza de grandes áreas onde não haja armadura exposta, remoção de tintas e ferrugem de metais, ferramentas, etc	Pulverizador, brocha, trincha ou esfregão
Soluções alcalinas	IN	AD	IN	AD	Limpeza de grandes áreas que apresentam resíduos ácidos impregnados	Pulverizador, brocha, trincha ou esfregão
Remoção de óleos e graxas superficiais	IN	IN	AD	AD	Limpeza de pisos contaminados superficialmente em espessuras menores que 2mm	Vassoura, brocha, trincha e esfregão
Jato de ar comprimido	AD	AC	AD	AC	Remoção de pó após procedimentos de reparo	Mangueira de alta pressão e compressor dotado de filtro de ar e de óleo
Solventes voláteis	AD	AD	IN	AC	Limpeza de superfícies de concreto ou de aço, instantes antes da aplicação de resina de base epóxi	Pincel, estopa e algodão
Saturação com água	IN	IN	AD	IN	Tratamento de superfícies de concreto, antes da aplicação de argamassas e concretos de base cimento	Mangueira perfurada, sacos de aniagem
Aspiração a vácuo	AD	IN	AC	AC	Limpeza a seco de superfícies de concreto, adequadas para receber adesivos e pontes de aderência que exigem substrato seco	Aspirador de pó industrial com alta potência para aspirar pó de concreto

AC – Aceitável; AD – Adequado; IN – Inaceitável.

Fonte: Adaptado de Helene (1992).

Figura 28 – Jato de água fria



Fonte: Fppt, 2017.

A definição de qual técnica de recuperação e reforço a ser aplicada é tomada com base na manifestação patológica existente. Para o tratamento de fissuras e trincas, podem ser utilizadas técnicas de injeção, selagem e grampeamento, de forma a reestabelecer o monolitismo da estrutura. Os principais produtos utilizados são resina epóxi, cimento, poliuretano e metacrilatos hidro reativos. No caso do grampeamento, faz-se uso de armadura adicional para combater os esforços de tração que provocam essas degradações.

3.4.1.1 Recuperação/reparo sobre o concreto

Em geral, os métodos de recuperação/reparo que atuam sobre o concreto podem ser: por repassivação, com adição de polímeros, com inibidores de corrosão e por proteção por barreira. Os principais materiais utilizados são argamassa de reparo, concreto modificado, *grout* e concreto projetado.

A argamassa de reparo pode ser do tipo polimérica ou cimentícia. A polimérica é aplicada quando a estrutura se encontra num ambiente muito agressivo, consistindo na união de areia e ligante, sendo este um polímero que permite o fechamento da porosidade. Já a argamassa cimentícia, a base de cimento Portland, é mais utilizada para ambientes internos, podendo conter polímeros. Nesse caso, será de base cimento polimérica, caso contrário, apenas de base cimento pura.

O concreto modificado compreende aquele em que há introdução de cimentos Portland especiais, como o de alta resistência inicial (ARI), o resistente a sulfato (RS), o resistente à reação álcalis-agregados (RRAA), o aluminoso e outros; concreto de alto

desempenho (CAD) com uso de aditivos super plastificantes e adições minerais; de aditivos inibidores de corrosão; de polímeros em forma de látex. Normalmente, usa-se o concreto modificado em reparos subaquáticos.

O *grout* (Figura 29) consiste numa argamassa de base mineral ou de base epóxi, sem retração, baixa permeabilidade, que atinge altas resistências rapidamente e que apresenta elevada fluidez, sendo, portanto, autoadensável. Apresenta um custo elevado se comparado com as outras argamassas. Por isso, é recomendado que seu uso seja para reparos superficiais ou semiprofundos.

Figura 29 – Aplicação de *grout*



Fonte: Quartzolit, 2016.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a técnica do concreto projetado consiste em se conduzir, por meio de uma mangueira, concreto ou argamassa, projetando-o em alta velocidade, conforme Figura 30. Suas especificações são definidas pela ABNT NBR 14026 (2012), podendo ser aplicado em superfície que podem estar em qualquer posição (vertical, inclinada ou horizontal). Devido a sua energia de grande impacto, permite uma excelente aderência ao substrato. Dispensa uso de fôrmas de aplicação e possui boa compacidade, sendo consequentemente menos permeável.

Figura 30 – Aplicação de concreto projetado



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

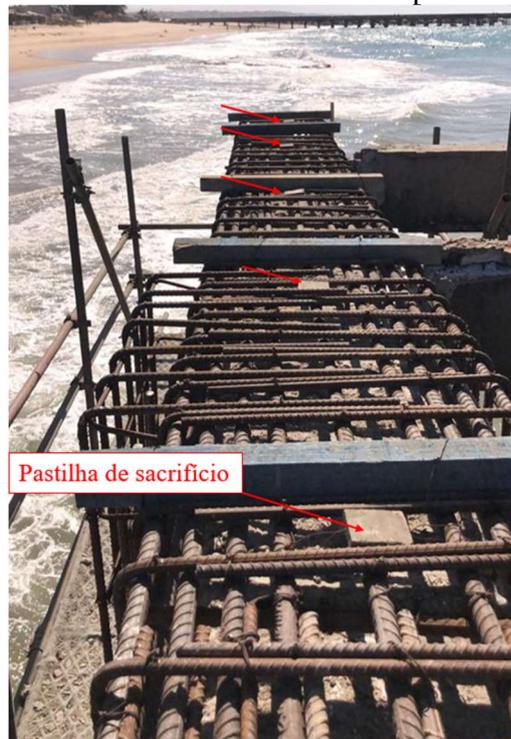
O concreto projetado que não adere ao substrato é chamado de rebalde, mesmo sendo perdido no ato da concretagem, poderá ser reutilizado para outros fins. Os ensaios para argamassas e concretos projetados são feitos em corpos de prova cilíndricos extraídos das placas que têm sua moldagem regulamentada pela ABNT NBR 13070 (2012). Em relação à aplicação, pode ser por:

- a) via seca: aplicação regulamentada pela ABNT NBR 14279 (1999). Nesta o cimento e os agregados são misturados a seco, transportados na mangueira por ar comprimido, e ao chegar no mangote ou bico de projeção, a água e os aditivos são adicionados, completando a mistura;
- b) via úmida: neste processo, o concreto já está previamente hidratado e com aditivos plastificantes e redutores de água, tendo a mistura integralizada com a inserção do aditivo acelerador na saída do bico.

3.4.1.2 Recuperação/reparo sobre a armadura

Os métodos de recuperação/reparo que atuam sobre a armadura podem ser por proteção catódica e por barreira. A proteção catódica (Figura 31) está relacionada com a polarização da armadura por corrente impressa ou pelo uso de metal mais eletronegativo que o aço, de forma que o potencial da armadura fique na zona de imunidade (Meira; Figueiredo, 2013). Já a proteção por barreira visa controlar o acesso de umidade e oxigênio até a armadura.

Figura 31 – Proteção catódica com uso de ânodo de sacrifício na forma de pastilha



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Há também os métodos eletroquímicos, como a realcalinização, que transforma um concreto carbonatado em um não carbonatado através da inserção de uma estrutura auxiliar. Essa estrutura é formada por uma malha metálica revestida por argamassa porosa ou massa que seja fácil de retirar, uma vez que servirá apenas para transferir os eletrólitos para o interior do concreto e posteriormente ser retirada. Faz-se a ligação da armadura do concreto e da malha numa unidade retificadora. O eletrólito que está saturado com material alcalino migrará para dentro do concreto, realcalinizando-o.

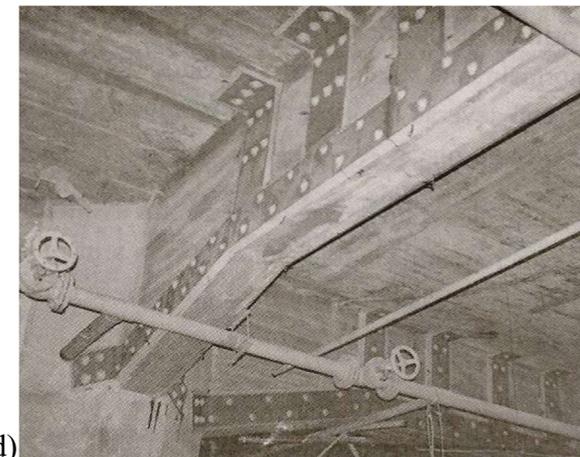
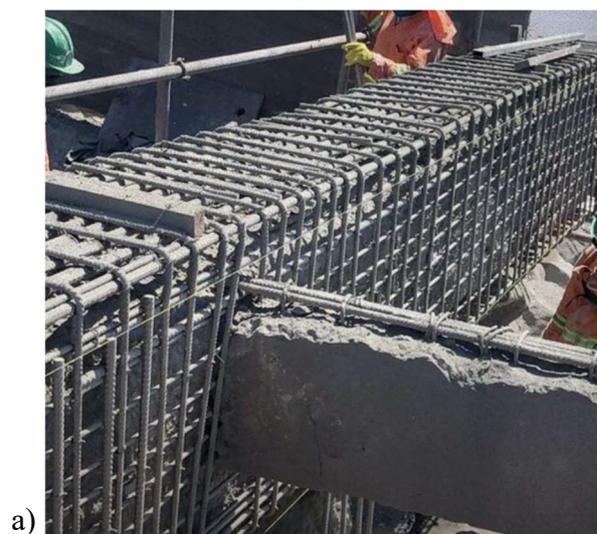
Outro método a ser citado é a dessalinização, ou seja, remoção dos íons cloretos do concreto contaminado, de forma que a concentração residual destes íons alcance valores baixos suficientes para que o processo de corrosão se reduza a níveis insignificantes.

3.4.1.3 Reforço

Os métodos de reforço, tanto para a armadura quanto para o concreto, podem ser: aumento da seção resistente, uso de fibra de carbono, uso de protensão exterior e uso de chapas ou perfis metálicos (Figura 32). Tomando como exemplo o reforço de um pilar, torna-se necessário definir o posicionamento deste na edificação, as razões estéticas e o material

disponível. Com base nisto, será definido se o aumento da seção da armadura é suficiente, ou se será necessário aumentar a seção do pilar. A depender do caso, recomenda-se que seja utilizado concreto projetado ou concreto convencional aditivado, com aditivo plastificante e expensor.

Figura 32– Técnicas de reforço estrutural. a) Aumento de seção de uma viga. b) Uso de fibra de carbono. c) Uso de protensão exterior. d) Uso de chapas metálicas.



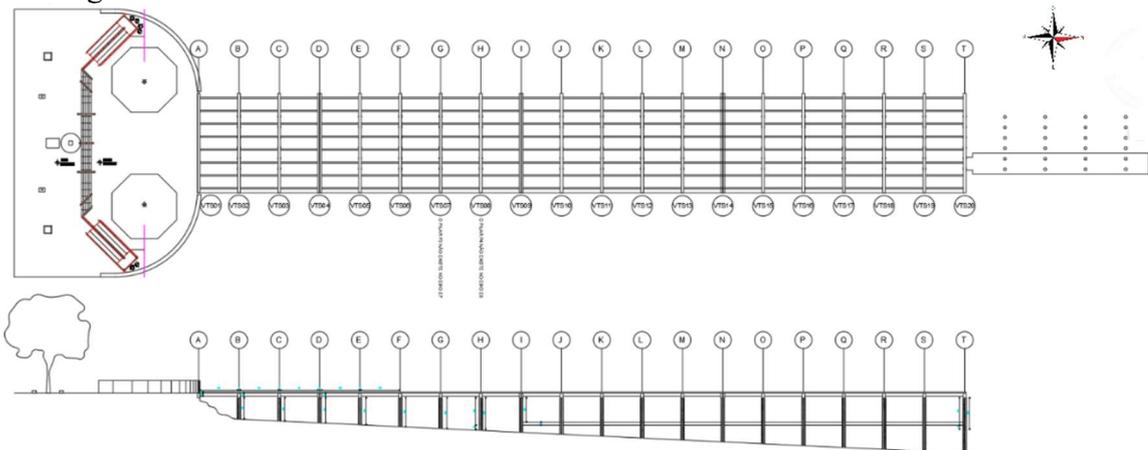
Fonte: a) Edro Engenharia, 2021. b) Soares Engenharia, 2019. c) Notas de aula do Prof. Eduardo Cabral, 2021. d) Notas de aula do Prof. Eduardo Cabral, 2021.

4 ASPECTOS DA OBRA DE RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA DE CONCRETO DA PONTE DOS INGLESES DE 2021-2022

4.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os dados técnicos da obra de recuperação e reforço da Ponte dos Ingleses, incluindo, principalmente, ensaios e resultados, técnicas de reparo e reforço e materiais utilizados. Em relação à nomenclatura adotada para os pórticos da ponte, foram denominados de “eixos”, atribuindo-se a cada um uma letra do alfabeto, como se pode observar nas Figuras 33 e 34, totalizando 20 eixos, ou seja, indo da letra A até a letra T.

Figura 33 – Representação da planta baixa e corte lateral da estrutura existente da Ponte dos Ingleses.



Fonte: Projeto arquitetônico, 2021.

Figura 34 – Vista superior da Ponte dos Ingleses e seus eixos



Fonte: Adaptado de André, 2021.

Ressalta-se que a nova laje por não passar por processo de recuperação e reparo, não foi tratada com detalhes no presente trabalho. Esta será maciça/pré-moldada e protendida, com uma altura total de 25 cm, sendo 5 cm de capeamento. Optou-se pela solução pré-moldada de forma a evitar que houvesse a entrada de agentes agressivos, a exemplo de cloretos, durante a moldagem *in loco* (MOTA, 2022).

4.2 Manifestações patológicas verificadas

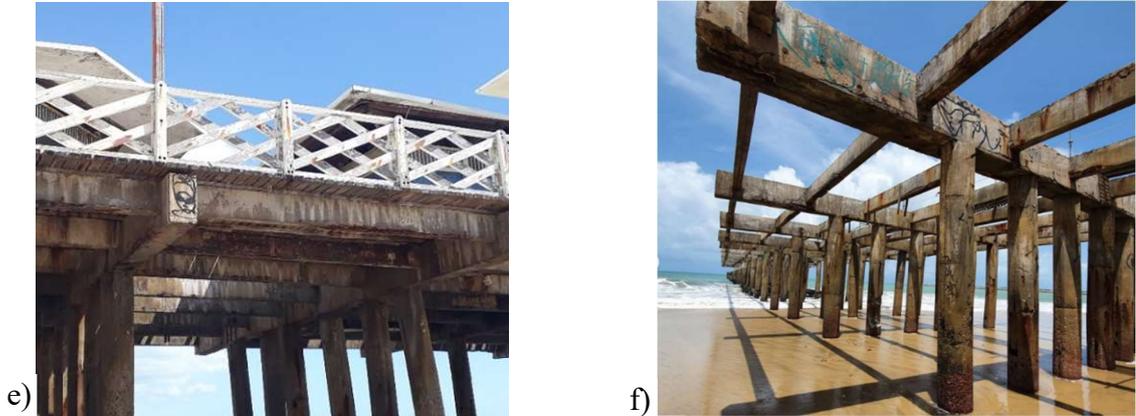
As principais manifestações patológicas encontradas na estrutura de concreto armado da Ponte dos Ingleses foram corrosão de armaduras, fissuração, oxidação, manchas, lixiviação, desagregação e desgaste do concreto. As Figuras 35-a a 35-f ilustram as manifestações patológicas identificadas.

Figura 35– Manifestações patológicas presentes na Ponte dos Ingleses. a) Corrosão das armaduras dos pilares. b) Desagregação do concreto das vigas de travamento. c) Desgaste do concreto e manchas. d) Fissuração e oxidação. e) Lixiviação. f) Corrosão e desagregação do concreto.



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Figura 35 – Manifestações patológicas presentes na Ponte dos Ingleses. a) Corrosão das armaduras dos pilares. b) Desagregação do concreto das vigas de travamento. c) Desgaste do concreto e manchas. d) Fissuração e oxidação. e) Lixiviação. f) Corrosão e desagregação do concreto.



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

4.3 Ensaios realizados

4.3.1 Prova de Carga Estática (PCE)

Seguindo as recomendações da ABNT NBR 16903 (2020), realizou-se o ensaio de Prova de Carga Estática (PCE) em um pilar do eixo C, por meio da empresa SC Engenharia de Fundações e Contenções. Isso foi feito devido à ausência dos projetos estruturais originais e buscou-se fornecer subsídios à estimativa da capacidade de carga dos elementos de fundações.

Ressalta-se que durante as investigações das estruturas de apoio das vigas superiores, foi possível distinguir uma diferença de seção transversal nas colunas existentes. Desse modo, identificou-se a existência de uma transição da estaca de fundação (com maior diâmetro) para o pilar de apoio (com menor diâmetro), cuja seção transversal é em geometria octogonal (Figura 36).

Figura 36 – Transição entre pilar e estaca

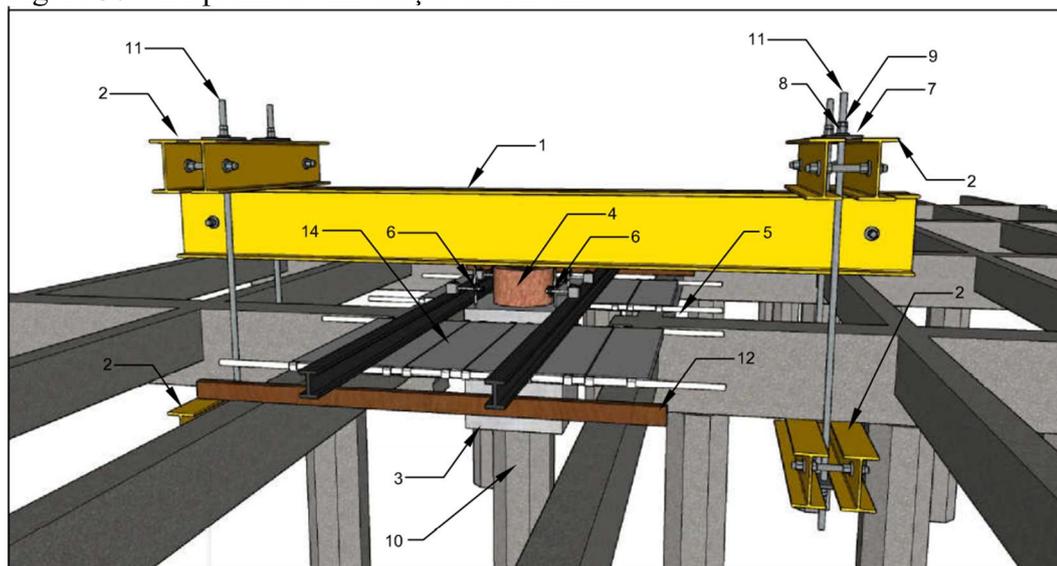


Fonte: SC engenharia de fundações e contenções, 2021.

Os procedimentos realizados anteriormente à aplicação da carga consistiram, inicialmente, na desvinculação entre o pilar e a viga transversal, na qual ele estava engastado excentricamente. Essa desvinculação foi necessária a fim de isolar o pilar e realizar o ensaio. Após isso, um bloco de coroamento para a prova de carga foi confeccionado e incorporado ao topo pilar, cujas armaduras em espera foram engastadas na ferragem do bloco.

O sistema de reação foi constituído por uma viga principal travada nas suas duas extremidades por dois conjuntos de vigas secundárias, ambas em perfil metálico duplo. Estes perfis foram fixados a partir das faces inferior e superior da viga transversal do eixo C e os travamentos do sistema foram feitos por tirantes. O macaco hidráulico foi posto entre a viga de reação principal e o bloco de coroamento. Para a medição, utilizou-se um manômetro e quatro relógios comparadores. A Figura 37 mostra o esquema de instalação do sistema e seus componentes.

Figura 37 – Esquema de instalação do sistema



- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1- Perfil principal duplo | 8- Porca sextavada |
| 2- Perfil secundário duplo | 9- Contra porca |
| 3- Bloco de coroamento | 10- Pilar/estaca a ser ensaiado |
| 4- Macaco hidráulico | 11- Tirante-Aço |
| 5- Viga de fixação dos extensômetros | 12- Linha de madeira para apoio |
| 6- Extensômetro | 13- Plataforma metálica |
| 7- Placa | |

Fonte: SC engenharia de fundações e contenções, 2021.

Na realização do ensaio pretendia-se aplicar uma carga de 10 tf em cada estágio, sendo um total de 16 estágios. Todavia, após a aplicação de 100 tf, ou seja, ao tentar incrementar o 11º estágio, o pilar a oeste (Figura 38) do pilar em teste não suportou a carga de tração e

apresentou indícios de ruptura (Figuras 39). Desse modo, com a desestabilização do sistema de reação, o ensaio foi finalizado apresentando um deslocamento total de 2,10 mm na carga de 100,0 tf, como se pode observar no gráfico da Figura 40.

Figura 38 – Pilar junto ao conjunto de tração, momentos antes da ruptura do concreto



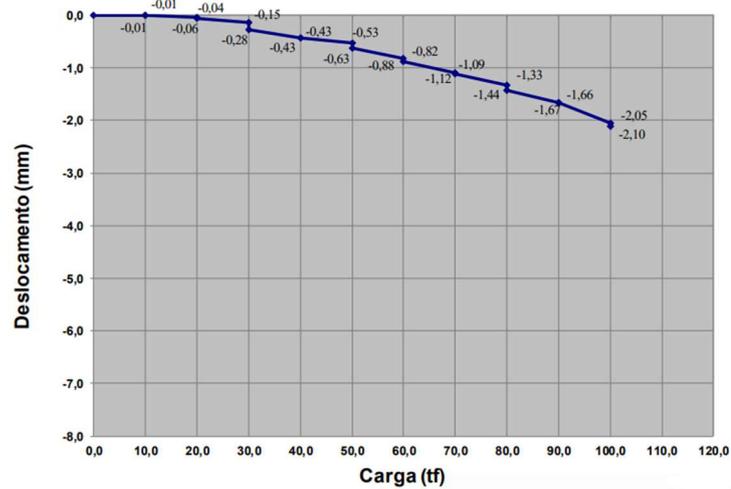
Fonte: SC engenharia de fundações e contenções, 2021.

Figura 39 – Pilar que sofreu tração



Fonte: SC engenharia de fundações e contenções, 2021.

Figura 40 – Gráfico de carga versus deslocamento
Carga x Deslocamento



Fonte: SC engenharia de fundações e contenções, 2021.

Com base nos resultados obtidos neste ensaio, considera-se que o pilar ensaiado apresentou um comportamento satisfatório, podendo suportar uma carga superior a 100,0 tf, caso o ensaio fosse repetido.

4.3.2 Pacometria, extração de testemunho e resistência a compressão axial

A pacometria, as extrações e os ensaios dos testemunhos de concreto da estrutura de concreto armado foram realizados pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFC.

A análise da resistência a compressão do concreto das vigas e dos pilares dos pórticos de concreto armado da Ponte dos Ingleses foi precedida pela localização da armadura. Para isso, fez-se uso do pacômetro do tipo Profometer da Proceq. A Figura 41 mostra a execução da pacometria em um pilar.

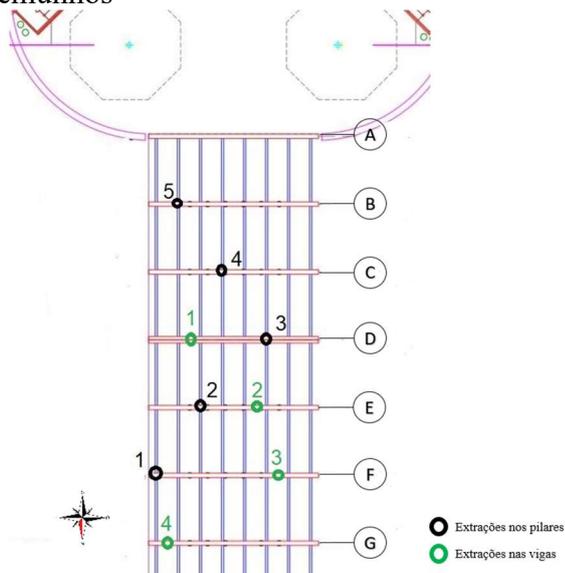
Figura 41 – Pacometria em um pilar



Fonte: Prof. Eduardo Cabral, 2021.

Localizadas as armaduras, fez-se a extração dos testemunhos, cuja localização está representada na Figura 42. Essa extração seguiu as recomendações da ABNT NBR 7680 (2015), utilizando a máquina extratora (Figura 43). Após extraídos, os Corpos de Prova (CPs) tiveram seus topos retificados e foram ensaiados à compressão axial. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 3.

Figura 42 – Localização das extrações dos testemunhos



Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

Figura 43 – Extração dos testemunhos nos pilares



Fonte: LMCC UFC, 2021.

Tabela 3 – Resultado da resistência a compressão

Testemunho	CP	Profundidade em relação à face (cm)	Carga (kN)	Relação (h/d)	f _c (Mpa)	Coeficiente de correção				f _c corrigido (MPa)
						k1	k2	k3	k4	
Pilar 1	1	0 a 10	88,40	1,82	45,0	-0,02	0,10	0,05	-0,04	49,3
	2	14 a 21	95,13	1,26	48,5	-0,07	0,10	0,05	-0,04	50,4
	3	26 a 36	93,97	1,74	47,9	-0,02	0,10	0,05	-0,04	52,2
	4	41 a 51	75,26	1,78	38,3	-0,02	0,10	0,05	-0,04	41,9
Pilar 2	1	0 a 6	84,52	1,24	43,0	-0,08	0,10	0,05	-0,04	44,6
	2	7 a 17	78,22	1,88	39,8	-0,01	0,10	0,05	-0,04	43,8
	3	17 a 27	71,96	1,88	36,7	-0,01	0,10	0,05	-0,04	40,3
	4	30,5 a 37,5	117,69	1,32	59,9	-0,06	0,10	0,05	-0,04	62,9
Pilar 3	1	0 a 8	89,20	1,36	45,4	-0,06	0,10	0,05	-0,04	48,0
	2	12 a 22	101,76	1,86	51,8	-0,01	0,10	0,05	-0,04	56,9
	3	22 a 32	61,56	1,82	31,4	-0,02	0,10	0,05	-0,04	34,4
	4	32 a 42	76,94	1,38	39,2	-0,05	0,10	0,05	-0,04	41,5
Pilar 4	1	0 a 7,5	111,36	1,46	56,7	-0,04	0,10	0,05	-0,04	60,6
	2	10 a 20	69,54	1,76	35,4	-0,02	0,10	0,05	-0,04	38,7
	3	20 a 30	68,68	1,88	35,0	-0,01	0,10	0,05	-0,04	38,5
	4	34 a 42	91,40	1,48	46,6	-0,04	0,10	0,05	-0,04	49,8
Pilar 5	1	0 a 7	80,18	1,32	40,8	-0,06	0,10	0,05	-0,04	42,9
	2	7 a 14	95,49	1,20	48,6	-0,08	0,10	0,05	-0,04	49,9
	3	14 a 24	49,79	1,76	25,4	-0,02	0,10	0,05	-0,04	27,7
	4	26 a 36	62,82	1,68	32,0	-0,03	0,10	0,05	-0,04	34,7
Viga 1	1	-	263,99	2,00	38,9	0,00	0,06	0,05	-0,04	41,7
Viga 2	2	-	285,15	1,98	42,0	0,00	0,06	0,05	-0,04	45,0
Viga 3	3	-	227,61	1,98	33,5	0,00	0,06	0,05	-0,04	35,9
Viga 4	4	-	183,29	1,49	27,0	-0,04	0,06	0,05	-0,04	27,9

K1: coeficiente de correção devido à relação altura/diâmetro

K2: coeficiente de correção devido ao efeito do broqueamento em função do diâmetro do testemunho

K3: coeficiente de correção devido à direção da extração em relação ao lançamento do concreto

K4: coeficiente de correção devido ao efeito da umidade do testemunho

Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

Assim, a média das resistências do concreto dos pilares reforçados em 1994 é 48,2 MPa, que são os CPs que apresentam profundidades entre 0 cm e 10 cm e entre 40 cm e 50 cm. Já a média das resistências dos CPs dos pilares com concreto original é 43,9 MPa, com profundidades entre 10 cm e 40 cm. As vigas, por sua vez, apresentam uma média de resistência a compressão axial de 37,6 MPa (CABRAL, 2021).

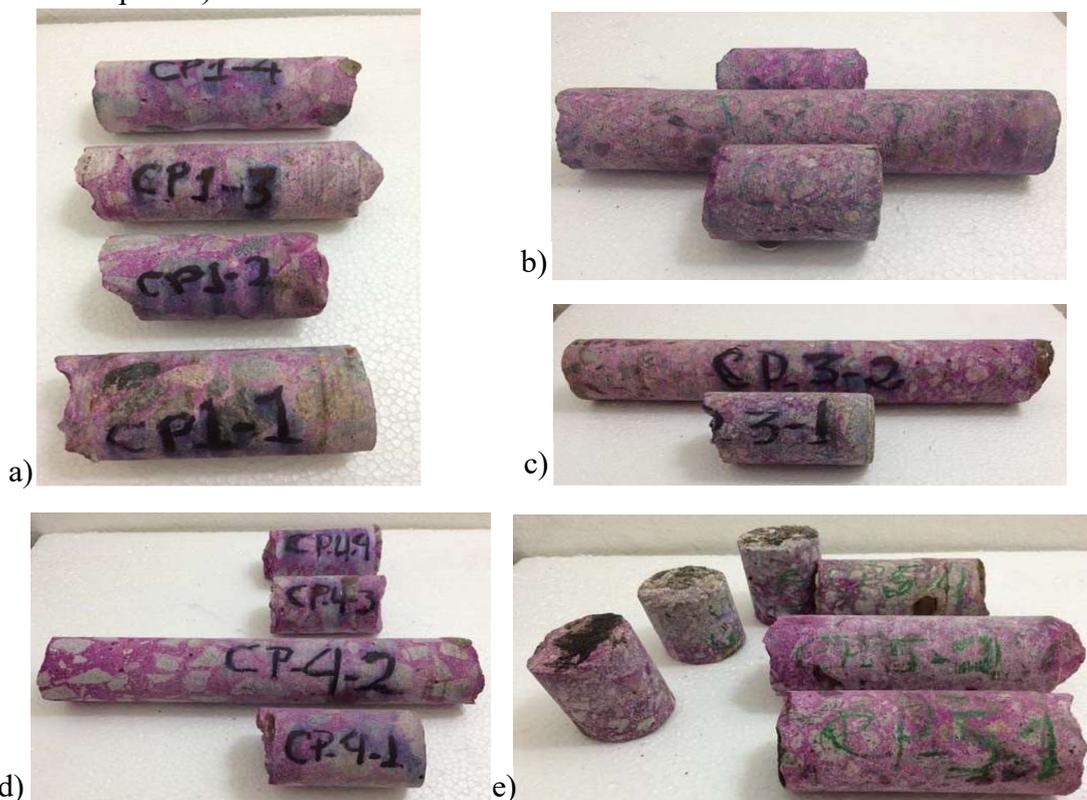
Observa-se que a resistência a compressão do concreto original ficou em torno de 40 MPa e como nessa época, ano de 1921, ainda não existiam fábricas de cimento no Brasil,

supõe-se que o cimento foi trazido da Inglaterra, onde as estruturas de concreto já eram utilizadas desde o século XVIII (Santos, 2008). Assim, por ser um país com experiência no uso desse material, o concreto produzido para a Ponte dos Ingleses apresentou uma elevada resistência para uma idade de 100 anos.

4.3.3 Carbonatação

A carbonatação foi realizada pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFC. Os testemunhos extraídos dos pilares, antes de serem retificados e rompidos, foram submetidos à aspersão da solução de fenolftaleína, a fim de ser analisada a ocorrência de carbonatação. Na Figura 44 é possível verificar a não ocorrência de carbonatação, isso ocorre em virtude do constante contato da estrutura com a água da arrebentação das ondas, a qual preenche os poros superficiais do concreto e não permite a penetração do CO₂ na porosidade deste (CABRAL, 2021).

Figura 44– Aspecto dos testemunhos após aspersão da fenolftaleína. a) Testemunho 01 (CPs 1 a 4 do pilar 1). b) Testemunho 2 (CPs 1 a 4 do pilar 2). c) Testemunho 3 (CPs 1 a 4 do pilar 3). d) Testemunho 4 (CPs 1 a 4 do pilar 4). e) Testemunho 5 (CPs 1 a 4 do pilar 5).



Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

4.3.4 Resistividade elétrica-volumétrica

A resistividade elétrica-volumétrica foi realizada pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFC. Seguindo as recomendações da ABNT NBR 9204 (2012) e com o objetivo de controlar a velocidade de corrosão do aço no concreto, mediu-se a resistividade elétrica-volumétrica dos testemunhos dos pilares e das vigas, cujos resultados obtidos estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado da resistividade elétrica-volumétrica

Testemunho	Resistividade elétrica-volumétrica ($k\Omega.cm$)			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Pilar 1	31,0	20,0	20,9	15,4
Pilar 2	24,7	36,9	48,8	45,6
Pilar 3	25,7	49,0	43,0	25,4
Pilar 4	22,3	36,2	33,8	58,2
Pilar 5	26,7	25,0	21,9	15,5
Vigas	32,4	35,5	29,7	88,6

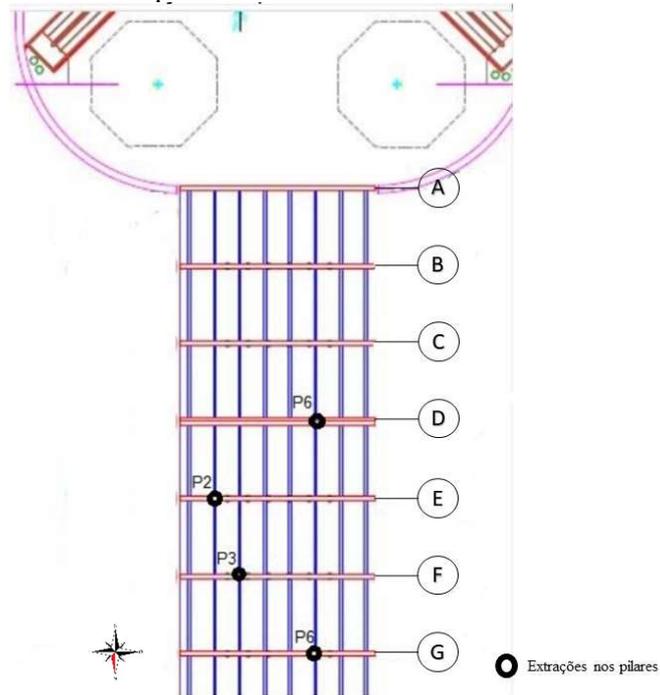
Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

Com base nos resultados obtidos foi possível definir a média das resistividades elétricas-volumétricas dos pilares reforçados em 1994, pilares originais e vigas iguais a 24,4 $k\Omega.cm$, 35,0 $k\Omega.cm$ e 46,6 $k\Omega.cm$, respectivamente. Assim, com os valores de resistividades elétricas superiores a 20,0 $k\Omega.cm$, a indicação de probabilidade de corrosão das armaduras é desprezível.

4.3.5 Determinação dos teores de sulfatos e cloretos

A determinação dos teores de sulfato e cloretos no concreto foi realizada pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFC. Seguindo as recomendações da ABNT NBR 9917 (2009), determinou-se os teores de sulfatos e cloretos de 20 amostras de pó de concreto distribuídas nos pilares, localizadas conforme mostra Figura 45. A coleta do pó em diferentes profundidades (1 cm a 5 cm) foi feita através do uso de uma furadeira e uma broca de Widea de 10 mm (Figura 46). Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 5.

Figura 45 – Localização dos pontos de coleta das amostras de pó de concreto



Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

Figura 46 – Representação de coleta de pó com furadeira em um pilar de concreto



Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

Tabela 5– Resultado dos teores de sulfatos e cloretos nos pilares

Identificação da amostra	Teor de sulfatos (%)	Teor de cloretos (%)
Eixo D P6 – 1 cm	0,15	0,56
Eixo D P6 – 2 cm	0,11	0,79
Eixo D P6 – 3 cm	0,12	0,78
Eixo D P6 – 4 cm	0,13	0,68
Eixo D P6 – 5 cm	0,13	0,61
Eixo E P2 – 1 cm	0,21	0,55
Eixo E P2 – 2 cm	0,12	0,72
Eixo E P2 – 3 cm	0,12	0,75
Eixo E P2 – 4 cm	0,11	0,78
Eixo E P2 – 5 cm	0,11	0,66
Eixo F P3 – 1 cm	0,27	0,45
Eixo F P3 – 2 cm	0,15	0,53
Eixo F P3 – 3 cm	0,08	0,50
Eixo F P3 – 4 cm	0,06	0,44
Eixo F P3 – 5 cm	0,05	0,43
Eixo G P6 – 1 cm	0,24	0,44
Eixo G P6 – 2 cm	0,10	0,53
Eixo G P6 – 3 cm	0,08	0,54
Eixo G P6 – 4 cm	0,08	0,55
Eixo G P6 – 5 cm	0,08	0,53

Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

Segundo a ABNT NBR 12655 (2015), o máximo teor de íons cloretos no concreto é de 0,15% e o teor de sulfatos vai de 0,10% a 0,20%. Desse modo, analisando a Tabela 5 pode-se dizer que, de maneira geral, o teor de sulfato está dentro dos limites permitidos. Todavia, o teor de cloretos excedeu consideravelmente o máximo permitido.

4.4 Recuperação e reforço dos elementos estruturais

Após o conhecimento do estado das estruturas de concreto armado da Ponte dos Ingleses, foi possível definir quais as técnicas de recuperação/reparo e reforço a serem aplicadas, além da definição de quais materiais deveriam ser utilizados, visando proporcionar mais durabilidade às estruturas frente ao ambiente marinho.

4.4.1 Materiais utilizados

Para a recuperação das estruturas adotou-se concreto com resistência característica à compressão de 40 MPa. Este valor foi definido com base no ensaio de resistência à compressão realizado.

4.4.1.1 Concreto projetado

O concreto projetado teve como recomendação um traço produzido em massa combinado com volume. A areia de leito de rio lavada e a brita granítica de dimensão máxima característica (DMC) de até 12,5mm, sendo estes agregados medidos em volume por meio de padiolas. O ligante é o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) ou o cimento composto com filer (CP II 32 F 32/40), medidos em massa e com uso de metacaulim como adição mineral, no teor de 10% em massa do cimento.

Visando melhorar os parâmetros de durabilidade, indicou-se o uso de aditivo cristalizante incorporado na massa do concreto (*Xypex Admix* ou *Penetron Admix*) no teor de 1% da massa do cimento. Já a água provém da rede pública de distribuição. A Tabela 6 mostra as características dos materiais mencionados.

Tabela 6 – Características dos materiais

Material	Dimensão Máxima Característica (mm)	Módulo de Finura	Massa específica (kg/m³)	Massa unitária (kg/m³)	Absorção de água (%)
Brita	12,5	5,95	2620	1440	0,93
Areia	4,75	3,19	2580	1520	0,42
Cimento	-	-	2970	-	-
Metacaulim	-	-	2410	-	-

Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

Para a dosagem deste concreto, seguiram-se as recomendações da ABNT NBR 12655 (2015) e o traço obtido está disposto na Tabela 7. Esta dosagem ficou a cargo do Laboratório de materiais e construção civil (LMCC) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Tabela 7 – Traço de concreto projetado de $f_{ck}=40\text{MPa}$

Material	Tipo	Traço unitário	Consumo de matéria por saco de cimento	Consumo de material por metro cúbico de concreto
Cimento	CP V-ARI ou CP II F 32/40	1	50kg	419kg
Adição mineral	Metacaulim	0,10	5kg	41,9kg
Areia	Natural, lavada	2,06	103,0kg medido em duas padiolas de 35cm x 45cm x h=21,5cm	863kg
Brita	Pedrisco natural, granítica	1,65	82,5kg medido em duas padiolas de 35cm x 45cm x h=18cm	691kg
Aditivo	Cristalizante, tipo <i>Admix</i>	0,01	500g	4,2kg
Água	Da rede pública de distribuição	0,45	22,5kg	188kg

Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

Sob responsabilidade desse laboratório, também foram realizados ensaios de compressão axial neste concreto. Para a moldagem, seguiram-se as recomendações da ABNT NBR 13070 (2012) e assim foram moldados corpos de provas em formato de tronco de pirâmide trapezoidal de base inferior 60 cm x 60 cm e 16 cm de altura, como se pode observar na Figura 47. Os resultados iniciais obtidos estão dispostos na Tabela 8.

Figura 47 – Moldagem de corpo de prova em formato de tronco de pirâmide trapezoidal



Fonte: Prof. Eduardo Cabral, 2021.

Tabela 8 – Resultados iniciais de resistência à compressão do concreto projetado

Idade (dias)	Dimensões dos CPs (mm)		Área (mm ²)	Relação (h/d)	Coeficientes de correção				Carga máxima (kN)	Resistência à compressão (MPa)	
	h	Φ			k1	k2	k3	k4		Direta	Corrigida
3	145	73	6939,57	1,99	0,00	0,09	0,0	-0,04	153,77	36,7	38,4
3	145	73	6939,57	1,99	0,00	0,09	0,0	-0,04	152,90	36,5	38,2
7	143	73	6939,57	1,96	0,00	0,09	0,0	-0,04	169,61	40,5	42,2
7	141	73	6939,57	1,93	-0,01	0,09	0,0	-0,04	179,30	42,8	44,5

Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

4.4.1.2 Concreto autoadensável

O concreto autoadensável teve as mesmas recomendações do traço de concreto projetado, à exceção do ligante, sendo recomendado o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) ou o cimento Portland Pozolânico (CP IV 32). Também se recomendou aditivo cristalizante para melhorar os parâmetros de durabilidade do concreto.

Para a dosagem deste concreto, seguiram-se as recomendações da ABNT NBR 12655 (2015) e o método de dosagem de Gomes (2002)¹. O traço obtido está disposto na Tabela 9. Esta dosagem ficou a cargo do Laboratório de materiais e construção civil (LMCC) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Também sob responsabilidade desse laboratório, foram realizados ensaios de compressão axial em corpos de prova deste concreto e os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 9 – Traço de concreto autoadensável de $f_{ck}=40$ MPa (continua)

Material	Tipo	Traço unitário	Consumo de matéria por saco de cimento	Consumo de material por metro cúbico de concreto
Cimento	CP V-ARI ou CP IV 32	1	50 kg	461 kg
Adição mineral	Metacaulim	0,10	5 kg	45 kg
Areia	Natural, lavada	1,46	73kg medido em duas padiolas de 35cm x 45cm x h=30,5cm	673 kg
Brita	Pedrisco natural, granítica	1,80	90kg medido em duas padiolas de 35cm x 45cm x h=40cm	829 kg

¹ GOMES, 2002 apud CABRAL, 2021. Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete. 2002 139p. Tese - Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

Tabela 9 – Traço de concreto autoadensável de $f_{ck}= 40$ MPa (conclusão)

Material	Tipo	Traço unitário	Consumo de matéria por saco de cimento	Consumo de material por metro cúbico de concreto
Aditivo	Cristalizante, tipo <i>Admix</i>	0,01	500g	4,61kg
Água	Da rede pública de distribuição	0,45	22,5kg	208kg
Aditivo superplastificante	BASF MasterGlenium ACE	0,012	60g	5,53kg

Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

Tabela 10 – Resultados iniciais de resistência à compressão do concreto autoadensável

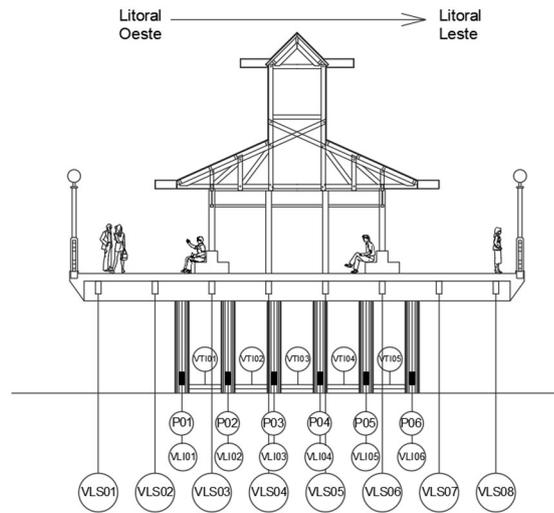
Idade (dias)	Dimensões dos CPs (mm)		Área (mm ²)	Carga máxima (kN)	Resistência à compressão (MPa)
	h	Φ			
7	198	99	7697,46	281,20	36,5
7	198	99	7697,46	276,70	35,9
28	197	99	7697,46	357,50	46,4
28	198	99	7697,46	350,20	45,5

Fonte: Adaptado de LMCC UFC, 2021.

4.4.2 Técnicas aplicadas

Visando aumentar e reestabelecer a capacidade portante dos elementos estruturais, de forma a atender às novas cargas advindas dos novos projetos de modernização da Ponte do Ingleses, foram aplicadas diversas técnicas de recuperação e reforço estrutural. A Figura 48 mostra os elementos estruturais comuns a todos os eixos, sendo: viga longitudinal superior (VLS); viga longitudinal inferior (VLI); viga transversal superior (VTS); viga transversal inferior (VTI); pilar (P).

Figura 48 – Corte frontal da estrutura existente



Fonte: Projeto arquitetônico, 2021.

As recomendações para recuperação e reforço foram, praticamente, comuns para todos os eixos, à exceção dos pilares do eixo A, que, por estarem envolvidos pelo muro de arrimo de concreto ciclópico (Figura 49) e não apresentarem comprometimento da função estrutural, não tiveram as técnicas de recuperação e reforço aplicadas.

Figura 49 – Pilares do eixo A envolvidos por muro de arrimo



Fonte: Delberg arquitetos associados, 2021.

Outra exceção que também pode ser citada é a relativa aos elementos estruturais que sofreram modificações em decorrência do ensaio de Prova de Carga Estático (PCE), os quais necessitaram de atividades a mais para serem recuperados e reforçados.

Destacam-se que as vigas longitudinais, superiores e extremas de cada vão (Figura 48), foram demolidas totalmente, mas com preservação dos trechos comuns com as vigas

travessas. A demolição do concreto velho foi feita com uso de martetele elétrico ou pneumático e a remoção da armadura existente com lixadeira elétrica dotada de disco de corte de ferro.

Isso foi feito com o objetivo de reduzir o peso próprio da estrutura e de readequação e concepção de um novo desempenho estrutural (Mota, 2021). As Figuras 50 e 51 mostram estas vigas em demolição e completamente demolidas, respectivamente.

Figura 50 – Vigas longitudinais, superiores e extremas em demolição



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Figura 51 – Vigas longitudinais, superiores e extremas demolidas



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

A seguir serão citadas as técnicas de recuperação e reforço aplicadas aos pilares e às vigas de forma geral, ou seja, sem distinguir as especificidades de cada eixo.

4.4.2.1 Pilares/estacas

Antes da aplicação das técnicas de reparo e reforço, fez-se primeiramente o preparo e a limpeza das superfícies dos pilares/estacas, de modo a tratar previamente essas superfícies. A Figura 52 mostra a execução de um corte com serra elétrica circular com disco diamantado, tipo Makita. A profundidade deste corte foi feita conforme projeto para cada pilar.

Figura 52 – Corte no pilar/estaca com serra elétrica circular



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Com uso de martelotes elétricos ou pneumáticos, fez-se a retirada do concreto desagregado até atingir o concreto são. Em seguida, realizou-se o apicoamento, tornando a superfície rugosa afim de criar boas condições de aderência. As Figuras 53, 54 e 55 mostram estes procedimentos.

Figura 53 – Pilar/estaca com demarcações feitas pelo disco de corte sendo apicoada



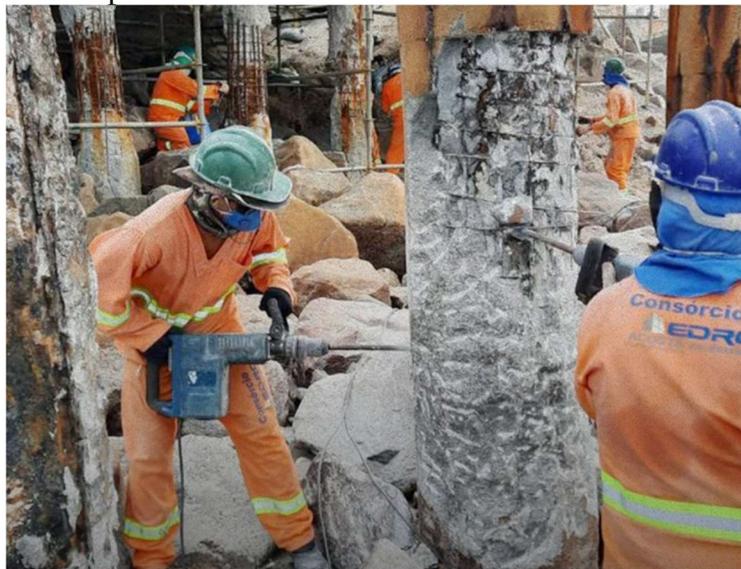
Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Figura 54 – Pilar/estaca sendo apicoado pelo martetele elétrico



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Figura 55 – Pilar/estaca tendo o concreto deteriorado sendo retirado pelo martetele elétrico



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Identificadas as regiões com anomalias a serem reparadas, fez-se a exposição das armaduras corroídas, liberando-a do concreto até uma área com armadura sã. Com as armaduras expostas, fez-se a limpeza através do uso de jato de areia/água e de escova com cerdas de aço, de modo a deixá-las na condição de metal cinza com cor uniforme, sem quaisquer resquícios de ferrugem. Feito isto, aplicou-se o inibidor de corrosão (Figura 56) à base de polímeros e cimento Portland, objetivando proteger a armadura, prolongando sua vida útil.

Figura 56 – Aplicação do inibidor de corrosão nas armaduras do pilar/estaca



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

No caso de armaduras rompidas ou com perda de seção do aço em mais de 30% da seção original, fez-se a recomposição destas, bem como o grampeamento nas barras longitudinais. A Figura 57 exemplifica a retirada de armaduras a serem substituídas.

Figura 57 – Aplicação do inibidor de corrosão nas armaduras do pilar/estaca



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Feitos os tratamentos na armadura, fez-se a preparação e a limpeza da superfície (concreto velho) com jato de água sob pressão, removendo quaisquer materiais que comprometessem a ponte de aderência. Esta, por sua vez, foi feita de argamassa polimérica projetada, à base de cimento Portland e com polímeros e aditivos especiais. Após isso, aplicou-se o concreto novo (concreto projetado de 40 MPa).

Finalizada a etapa de recuperação estrutural, partiu-se para a etapa de reforço estrutural. Iniciou-se com a montagem da armadura de reforço, barras longitudinais e estribos, seguidos por aplicação do inibidor de corrosão. Realizou-se também a proteção catódica através da inserção de ânodo de sacrifício na forma de pastilhas, a cada metro em quatro pontos do pilar.

Antes da nova concretagem, colocaram-se as mestras, seguido pela preparação e limpeza da superfície com jato de água sob pressão, inserção da ponte de aderência com aplicação de argamassa polimérica e concretagem final com uso de concreto projetado de 40 MPa com cobrimento de 5,0 cm. Por fim, aplicou-se a pintura hidrofugante.

É importante ressaltar que para os pilares dos eixos D ao T e o pilar do eixo C (Figura 58), que foi colapsado pelo ensaio de Prova de Carga Estática (PCE), a etapa final de recuperação e a etapa de reforço receberam alguns procedimentos diferentes.

Figura 58 – Pilar/estaca do eixo C que foi colapsado sendo restaurado



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Na etapa de recuperação estrutural, a extensão delimitada foi até 50,0 cm abaixo do solo e o último procedimento desta etapa foi a aplicação do inibidor de corrosão na armadura. Não houve execução de ponte de aderência, nem aplicação de concreto projetado de 40 MPa. Já na etapa de reforço estrutural, montou-se a armadura de reforço pintada com inibidor de corrosão. Inseriu-se também a proteção catódica com uso de pastilhas de sacrifício (Figura 59).

Figura 59 – Proteção catódica dos pilares



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Fez-se a preparação e limpeza do concreto velho por meio do uso do jato de água sob pressão, seguido da instalação e travamento das fôrmas metálicas circulares com fundo vedado. Após isso, fez-se o lançamento do concreto subaquático de 40 MPa para a infraestrutura do pilar e concreto autoadensável de 40 MPa para a mesoestrutura deste. Na Figura 60 é possível visualizar a movimentação da fôrma para concretagem da mesoestrutura. Após curado, houve a desforma dos pilares e aplicação da pintura hidrofugante. A Figura 61 mostra um eixo com os pilares durante a recuperação e após o reforço com concreto curado.

Figura 60 – Deslocamento de fôrma metálica em um pilar



Fonte: Prof. Eduardo Cabral, 2021.

Figura 61 – Pilares com aplicação das técnicas de recuperação e reforço. a) Antes. b) Depois.



Fonte: Edro engenharia, 2021.

4.4.2.2 Vigas

As etapas de recuperação das vigas travessas e longitudinais consistiram inicialmente em corte linear do perímetro da área a ser reparada, com posterior demolição do concreto degradado (Figura 62) e apicoamento do concreto velho (Figura 63). Após retirado todo o concreto deteriorado, fez-se a substituição da armadura corroída por uma sã, seguido de sua limpeza com jato de areia/água e complementada com escova com cerdas de aço. Feito isso, aplicou-se o inibidor de corrosão.

Figura 62 – Apicoamento do concreto de uma viga



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Figura 63 – Demolição de uma viga



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Assim como realizado em alguns pilares, fez-se a preparação e limpeza da superfície de concreto com jato de água sob pressão, visando retirar quaisquer resíduos e posteriormente aplicar a ponte de aderência de argamassa polimérica e por conseguinte o concreto projetado de 40 MPa.

Na etapa de reforço estrutural, fez-se a montagem da armadura de reforço pintada com inibidor de corrosão, e após a secagem, inseriram-se os ânodos de sacrifício como proteção catódica. Antes da concretagem, realizou-se a preparação e limpeza da superfície com jato de água sob pressão, como mostra a Figura 64. Além da aplicação de outra ponte de aderência com argamassa polimérica para receber o concreto projetado de 40 MPa (Figuras 65).

Figura 64 – Limpeza do substrato com jato de água sob pressão



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Figura 65 – Aplicação do concreto projetado



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Após o lançamento deste concreto, o acabamento foi feito por pedreiro, através do sarrafeamento e desempenamento da última camada com uso de esponja de borracha, conforme Figura 66 e Figura 67. Após a cura do concreto, aplicou-se a pintura hidrofugante, de modo a impermeabilizar a superfície.

Figura 66 – Sarrafeamento



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Figura 67 – Acabamento da superfície



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Foi necessária a demolição completa de algumas vigas, conforme mostrado na Figura 68. Após essa demolição e retirada das armaduras, fez-se a montagem do escoramento metálico e colocação das fôrmas de madeirite. Feito isto, montou-se as armaduras, aplicando também o inibidor de corrosão. Posteriormente fez-se o lançamento de concreto autoadensável de 40 MPa. Na Figura 69, tem-se a movimentação das fôrmas de madeirite em uma viga transversal, a ter sua concretagem completada com concreto autoadensável de 40MPa.

Figura 68 – Demolição do concreto degradado de uma viga



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Figura 69– Movimentação das fôrmas de madeirite em uma viga transversal



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

Ressalta-se que as vigas transversais tiveram suas extremidades aumentadas, em virtude do alargamento do tabuleiro e foram feitas com concreto autoadensável de 40 MPa. Nas

situações de desalinhamento do pilar, essas vigas receberam alargamento e consolo localizados, como se pode observar na Figura 70.

Figura 70 – Viga com alargamento e consolo



Fonte: Edro Engenharia, 2021.

No Anexo A, tem-se uma prancha expondo a metodologia executiva da recuperação e do reforço da viga travessa do Eixo A e a metodologia de reforço aplicada nos pilares dos outros eixos.

5 CONCLUSÃO

A exposição dos fatos históricos relativos à Ponte dos Ingleses permitiu o conhecimento do contexto político e dos aspectos comerciais do período em que sua construção foi iniciada, bem como as características do projeto original, função para qual foi projetada e qual foi realmente adotada, profissionais que a projetaram e a empresa que iniciou sua construção. Também foi possível vislumbrar sua importância cultural, histórica e comercial para o Município e Estado.

Concernente à obra de recuperação e reforma de 1994, viu-se as modificações construtivas feitas na ponte. O aspecto arquitetônico adotado contribuiu ainda mais para consolidá-la como patrimônio cultural. Ressalta-se que nesse período já se fez uso de materiais resistentes ao ambiente marinho, a exemplo da fibra de vidro.

Em relação a atual obra de requalificação da Ponte dos Ingleses, os arquitetos resolveram preservar sua imagem já sólida. Todavia, as funções dos espaços foram alteradas, visando proporcionar segurança e conforto aos usuários, além de induzir estes a preservarem o espaço.

Nas obras de recuperação e reforço das estruturas de concreto armado, fez-se uso de cimentos e aditivos que proporcionem ao concreto maior resistência à compressão, bem como maior durabilidade, com resistência à penetração de sulfatos e cloretos. Para as armaduras, fez-se a substituição de armaduras corroídas por armaduras sãs e também se aplicou inibidor de corrosão de modo a aumentar sua vida útil.

Outra técnica de recuperação utilizada foi a proteção catódica. Como técnica de reforço, aumentou-se a seção dos elementos, inserindo mais armaduras e concreto projetado ou subaquático. Em todos os elementos estruturais, vigas e pilares, fez-se uso de pintura hidrofugante, de modo a proteger a superfície contra água e agentes agressivos.

De maneira geral, com o avanço tecnológico, a Ponte dos Ingleses está recebendo nesta obra de 2021/2022, os mais modernos aspectos construtivos e de materiais, sendo que isso proporcionará uma maior vida útil para as estruturas de concreto, além de fornecer um espaço seguro e confortável para aqueles que a visitarem.

Conclui-se que o presente trabalho, além de permitir um profundo conhecimento sobre a historicidade da Ponte dos Ingleses, permitirá aos engenheiros civis interessados em engenharia diagnóstica a saberem quais técnicas podem ser aplicadas em estruturas similares a

esta. Além de fornecer dados para pesquisadores que desejarem futuramente fazer um novo estudo sobre a estrutura dessa ponte.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se para trabalhos futuros:

- Estudo sobre a obra de recuperação e reforço da Ponte dos Ingleses em 1994;
- Análise do estudo hidrodinâmico e o desafio da onda centenária;
- Análise comparativa entre benefícios trazidos pela antiga obra (1994) e a atual (2021/2022);
- Estudo sobre o tipo de laje utilizada na obra de 2021/2022;
- Monitoramento da saúde estrutural da estrutura de concreto armado da Ponte dos Ingleses, de forma a acompanhar o seu envelhecimento frente aos agentes agressivos locais.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Levi. Reforma da Ponte dos Ingleses deve continuar até meados de julho. **O Povo Online**, Fortaleza, 21 maio 2021. Disponível em:

<https://www.opovo.com.br/noticias/ceara/2021/05/21/reforma-da-ponte-dos-ingleses-deve-continuar-ate-meados-de-julho--veja-fotos.html>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ANDRADE, C. **Manual de diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Editora PINI, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13070**: Moldagem de placas para ensaio de argamassa e concretos projetados. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14026**: Concreto projetado – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14279**: Concreto projetado – Aplicação por via seca – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14724**: Informação e documentação – trabalhos acadêmicos - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16903**: Solo – Prova de carga estática em fundação profunda. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: Informação e documentação – referências - elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

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 7680-2**: Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 2: Resistência à tração na flexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9204**: Concreto endurecido – determinação da resistividade elétrico-volumétrica – método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9607**: Prova de carga estática em estruturas de concreto – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9917: Agregados para concreto – Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

AZEVEDO, Miguel Ângelo (Nirez). Informações sobre a Pontes dos Ingleses, 2021.

BARBOSA, Jailton Correia. **A Praia de Iracema dos anos 50.** Fortaleza: Premium, 264 p. ISBN 978-85-7924-026-3.

CABRAL, A. E. B. **Aula 3 e 4: Deterioração do concreto.** [2021]. 109 slides.

CABRAL, A. E. B. **Aula 5: Inspeção e diagnóstico de manifestações patológicas em concreto.** [2021]. 42 slides.

CABRAL, A. E. B. **Aula 7: Reparo e recuperação de estruturas de concreto.** [2021]. 49 slides.

CABRAL, A. E. B. **Aula 8: Reforço de estruturas de concreto.** [2021]. 99 slides.

CASTRO, José Liberal de. **Arquitetura do Ferro no Ceará.** Revista do Instituto do Ceará. Fortaleza, v. 106, p. 63-94, 1992. Trimestral. Disponível em: <https://www.institutodoceara.org.br/revista/Rev-apresentacao/RevPorAno/1992/1992Apresentacao.pdf>. Acesso em: 19 out. 2021.

CEARÁ. Lei nº 6512, de 11 de outubro de 1989. Institui normas de proteção, preservação e conservação da Ponte dos Ingleses e adota outras providências. **Diário Oficial do Município:** Fortaleza, CE, ano 1989, p. 3.

ENGENHARIA, Soares. [**Uso de fibra de carbono em reforço estrutural negativo em viga de concreto armado.**]. [2020]. 1 gravura. Disponível em: https://www.instagram.com/p/CB0qWrJH38G/?utm_source=ig_web_copy_link. Acesso em: 17 jan. 2022.

ESPÍNOLA, Rodolfo. **Caravelas, jangadas e navios: história do Ceará-resgates e contrastes.** 2. ed. Rev. e amp. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2010. 509 p. ISBN 9788575635575 (broch.).

FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. **Corrosão de armadura de estruturas de concreto.** Boletim Técnico, México, março de 2013. Disponível em: <http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B6-Corros%C3%A3o-das-armaduras-das-estruturas-de-concreto.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2021.

FORTALEZA (CE). Câmara Municipal. Livro de tombo.

FPPT. [**Sem título**]. [2017]. 1 gravura. Disponível em: <https://meumaterialsite.files.wordpress.com/2017/01/tc3a9cnicas-usuais-em-servic3a7os-de-recuperac3a7c3a3o-parte-i.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2022.

GIRÃO, Raimundo. **Geografia estética de Fortaleza.** 2. ed. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, Imprensa Universitária, 1979. 257p. ISBN (broch.).

GJORV, O. E. **Projeto da durabilidade de estruturas de concreto em ambientes de severa agressividade**. Revisão técnica: Enio Pazini Figueiredo e Paulo Helene; Tradução: Leda Maria Marques Dias Beck. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

HELENE, P.R.L. **Manual para reparo, reforço e reabilitação de estruturas de concreto**. São Paulo. Editora PINI, 1992.

INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO. Biblioteca do IFSP Catanduva. **Normas de apresentação tabular do IBGE**. Disponível em: https://ctd.ifsp.edu.br/images/Logos_biblioteca/Tutoriais_/Normas_de_apresenta%C3%A7%C3%A3o_tabular.pdf. Acesso em: 21 dez. 2021.

INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES. **Documento de Madri: Critérios para a Conservação do Patrimônio Arquitetônico do Século XX**. (Carta de Madri). Madri: ICOMOS, 2011. Disponível em: <http://www.icomos-isc20c.org/pdf/MDversionportugese.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2022.

ISAIA, G. C. (coord.) **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. 2v.

ISAIA, G. C. (coord.) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. 2v.

JEFF, André. **[Foto aérea da Ponte dos Ingleses]**. [2021]. 1 gravura. Disponível em: https://www.instagram.com/p/CMR_h8Jn4HI/?utm_source=ig_web_copy_link. Acesso em: 17 jan. 2022.

LEON, D. P.; NILO, F. **Restauração e melhoria da Ponte dos Ingleses: relatório preliminar**. Fortaleza: Delberg arquitetos associados, 2019. 24 p.

LEON, D. P.; NILO, F. **Restauração e melhoria da Ponte dos Ingleses: relatório de definições projetuais pós análise preliminar**. Fortaleza: Delberg arquitetos associados, 2019. 6 p.

MAIA, J. B. Lembrar é viver de novo. *In*: **SOUZA, S.; PONTE, S. R. Roteiro sentimental de Fortaleza**. Fortaleza: Edições Universidade Federal do Ceará, 1996. 216 p. ISBN broch.

MAPA CULTURAL DO CEARÁ. **Ponte dos Ingleses**. [2017]. Disponível em: <https://mapacultural.secult.ce.gov.br/espaco/280/>. Acesso em: 22 nov. 2021.

MENEZES, Clara. "La Femme Bateau": obra de Sérvulo Esmeraldo continua sem previsão de restauro. **O Povo Online**, Fortaleza, 27 maio 2021. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/vidaarte/2021/05/27/la-femme-bateau---obra-de-servulo-esmeraldo-continua-sem-previsao-de-restauro.html>. Acesso em: 22 nov. 2021.

MOTA, J. E. **Metodologia executiva da obra de reparação estrutural da Ponte dos Ingleses**. Fortaleza: Hugo A. Mota: Consultoria e engenharia de projetos, 2021.

MOTA, J. E. **Conceitos básicos do projeto de pontes**. Notas de aulas, [2018]. 66 p. Disponível em: http://www.deecc.ufc.br/Download/TB803_Pontes%20I/TB803_Pontes%20I.htm. Acesso em: 17 jan. 2022.

NOBRE, Leila. Ponte Metálica e Ponte dos Ingleses. **Blog Fortaleza Nobre**. Fortaleza, 2 jun. 2009. Disponível em: <http://www.fortalezanobre.com.br/2009/06/ponte-metalica.html>. Acesso em: 11 out. 2021.

PROCEQ. [Sem título]. Disponível em: https://www.screeningeagle.com/Downloads/Resipod_Sales%20Flyer_Portuguese_high.pdf. Acesso em: 17 jan. 2022.

REDAÇÃO. Escultura carregada pela força do mar é encontrada. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 06 março 2018. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/metro/escultura-carregada-pela-forca-do-mar-e-encontrada-1.1903919?page=6>. Acesso em: 22 nov. 2021.

SANTOS, Cleide Maria Amorim dos; RODRIGUES, Kadma Marques. O desaparecimento da escultura no mar e a emergência da moda na praia: transgressões e continuidades nas interações entre bens culturais em Fortaleza-Ceará. **45º Encontro Anual da Anpocs**, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.anpocs2021.sinteseeventos.com.br>. Acesso em: 22 nov. 2021.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão do sistema construtivo concreto armado e da construção de sua hegemonia**. – Belo Horizonte, 2008.327f.: il.

SC ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E CONTENÇÕES. **Execução de Prova de Carga na Ponte dos Ingleses**. Fortaleza, 2021.

SC ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E CONTENÇÕES. **Realização de Prova de Carga na Ponte dos Ingleses**. Fortaleza, 2021.

SENA, G.O. NASCIMENTO, M.L.M. NETO, A.C.N. **Patologia das construções**. Salvador. Ed. 2B, 2020. 256p.

SOUZA, V.C. M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Editora PINI, 1998.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. Comissão de Normalização. **Guia de normalização para elaboração de citações da Universidade Federal do Ceará** / Universidade Federal do Ceará, Biblioteca Universitária, Comissão de Normalização. – Fortaleza, 2019. 24 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. Comissão de Normalização. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará** / Universidade Federal do Ceará, Biblioteca Universitária, Comissão de Normalização. – Fortaleza, 2021.76 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Relatório da dosagem de concreto autoadensável de $f_{ck}=40\text{MPa}$** . Fortaleza: Laboratório de Materiais de Construção Civil, 2021. 3p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Relatório do traço de concreto projetado**. Fortaleza: Laboratório de Materiais de Construção Civil, 2021. 2p.

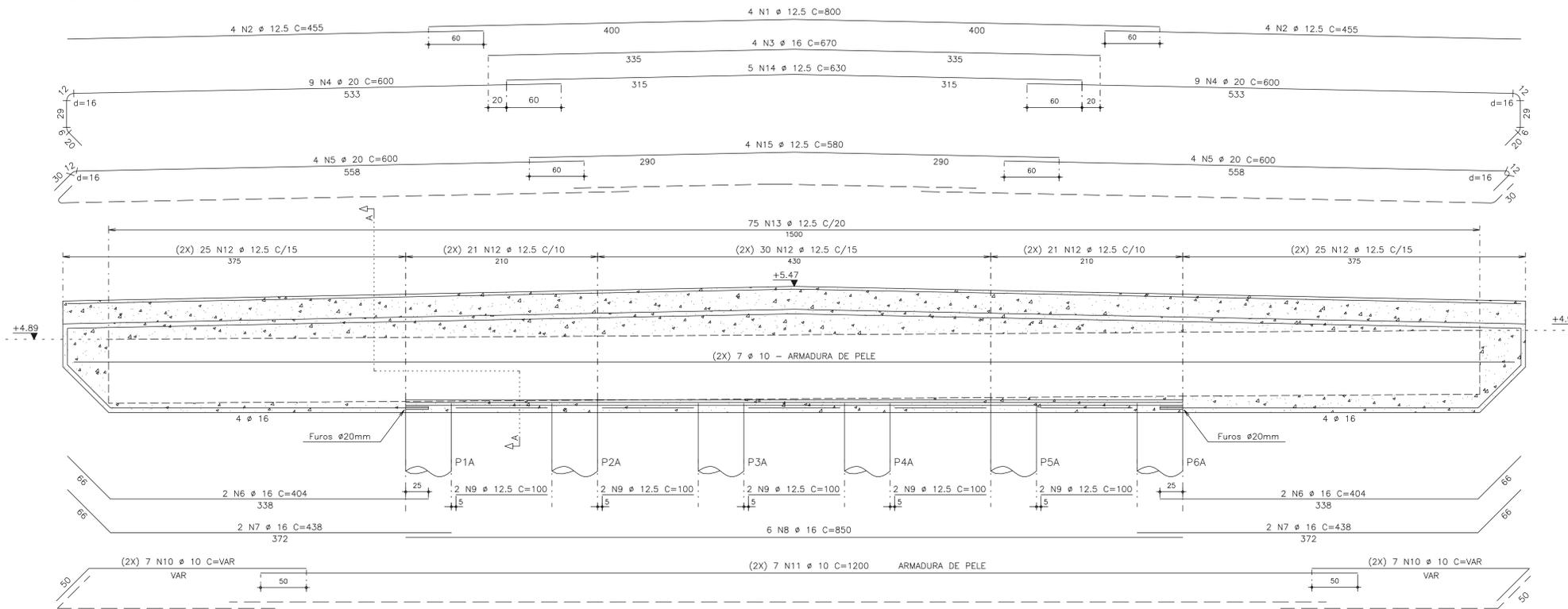
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Relatório dos ensaios de carbonatação e de resistência à compressão em testemunhos de concreto.** Fortaleza: Laboratório de Materiais de Construção Civil, 2021. 7p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Relatório dos ensaios de determinação dos teores de sulfatos e cloretos no concreto dos pilares da Pontes dos Ingleses.** Fortaleza: Laboratório de Materiais de Construção Civil, 2021. 2p.

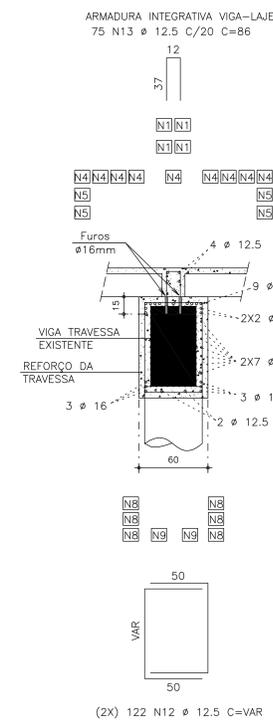
**ANEXO A – METODOLOGIA GERAL DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO DO EIXO
A**

ARMADURA DE REFORÇO DA VIGA TRAVESSA – METODOLOGIA GERAL – EIXO A

ESCALA 1:25



Corte A



ARMAÇÃO DE REFORÇO DAS VIGAS TRAVESSAS	ÁÇO	POS	BIT (mm)	QUANT	COMPRIMENTO UNIT (cm)	TOTAL (cm)
50A	1	12,5	4	800	3200	
50A	2	12,5	8	455	3640	
50A	3	12,5	4	670	2680	
50A	4	20	18	600	10800	
50A	5	20	8	600	4800	
50A	6	16	4	404	1616	
50A	7	16	4	438	1752	
50A	8	16	6	850	5100	
50A	9	12,5	10	100	1000	
50A	10	10	28	--VAR--	6864	
50A	11	10	14	1200	16800	
50A	12	12,5	244	--VAR--	47580	
50A	13	12,5	75	86	6450	
50A	14	12,5	5	630	3150	
50A	15	12,5	4	580	2320	

RESUMO AÇO CA 50-60	ÁÇO	BIT (mm)	COMPR (m)	PESO (kg)
50A	10	235	148	148
50A	12,5	700	700	700
50A	16	85	135	135
50A	20	156	390	390
Peso Total 50A =				1374 kg

ETAPA DE RECUPERAÇÃO – VIGAS TRAVESSAS

(A) PREPARO E PLANEJAMENTO

- 1A. DELIMITAR ÁREAS DE REPARO COM CONTOURO POLIGONAL.
- 2A. PLANEJAR SEQUENCIA DE REPAROS DE FORMA A NÃO COMPROMETER A ESTABILIDADE DO ELEMENTO RECUPERADO. NO CASO DE ELEMENTOS MUITO COMPROMETIDOS PODE-SE OPTAR PELA SUA DEMOLIÇÃO TOTAL OU PARCIAL.
- 3A. AS TRAVESSAS DOS EIXOS:(D,I,N), ANTIGAS JUNTAS, SERÃO DEMOLIDAS.

(B) AÇÃO EM CADA ÁREA DE REPARO

- 1B. FAZER CORTE E RETIRADA DO CONCRETO DESAGREGADO.
- 2B. EXPOR ARMADURAS CORROÍDAS ATÉ Atingir uma área com ARMADURA Sã. SE A ÁREA FOR MUITO EXTENSA PROCEDER POR ETAPAS.
- 3B. ARMADURAS ROMPIDAS OU COM MAIS DE 30% DE SUA SEÇÃO DEVERÃO SER REPOSTAS PRESERVANDO SUA POSIÇÃO. ADOTAR EMENDAS POR TRASPASSE DE COMPRIMENTO IGUAL A 50φ.
- 4B. FAZER LIMPEZA DAS ARMADURAS EXPOSTAS COM JATO DE AREIA/ÁGUA COMPLEMENTADA COM ESCOVA DE AÇO.
- 5B. APLICAR INIBIDOR DE CORROSÃO NAS ARMADURAS EXPOSTAS E LIMPAS.

ETAPA DE REFORÇO – VIGAS TRAVESSAS

(C) PREPARO PARA O REFORÇO

- 1C. FAZER ESCARIFICAÇÃO, RETIRADA DE UMA CAPA DE APROXIMADAMENTE 10MM DEIXANDO O AGREGADO EXPOSTO EM TODA A SUPERFÍCIE DA PEÇA. INCLUIR AS ÁREAS QUE NÃO FORAM RECUPERADAS.
- 2C. FAZER FURAÇÃO PARA CHUMBAMENTO DA ARMADURA INTEGRATIVA VIGA-PILAR, VER SEQUENCIA DE REFORÇO DOS PILARES.
- 3C. EXECUTAR CHUMBAMENTOS. POSICIONAR FORMAS E ARMADURAS.
- 4C. LIMPAR COM JATO DE ÁGUA A SUPERFÍCIE DO CONCRETO VELHO.
- 5C. REALIZAR PROTEÇÃO CATÓDICA ATRAVÉS DA INSTALAÇÃO DE PASTILHA DE SACRIFÍCIO A CADA METRO E EM TODAS AS FACES DO ELEMENTO.

(D) EXECUÇÃO DO REFORÇO

- 1D. APLICAR ADESIVO ESTRUTURAL PARA GARANTIR ADERÊNCIA ENTRE O CONCRETO VELHO E O CONCRETO NOVO. PODE USAR PARA ESTE FIM ARGAMASSA POLIMÉRICA PROJETADA.
- 2D. FAZER CONCRETAGEM DO REFORÇO E DO COMPLEMENTO DA TRAVESSA.

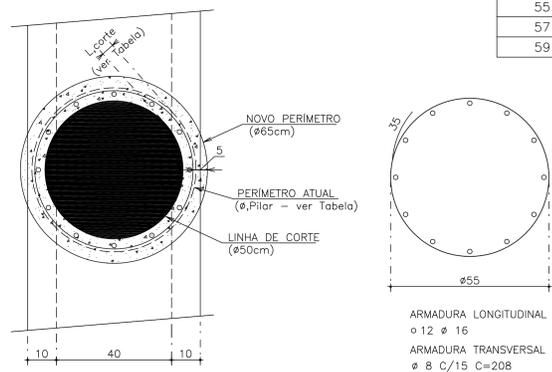
(E) PREPARAÇÃO PARA INTEGRAÇÃO COM A LAJE DO TABULEIRO

- 1E. APÓS O REFORÇO ADQUIRIR RESISTÊNCIA MONTAR PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS ADJACENTES.
- 2E. FAZER FURAÇÃO E CHUMBAMENTO DA ARMADURA INTEGRATIVA VIGA-LAJE.

DETALHE DE REFORÇO DOS PILARES

ESCALA 1:10

EXECUTAR REFORÇO DO PILAR/ESTACA ATÉ 100CM ABAIXO DA LINHA DE MENOR MARÉ OU 50CM ABAIXO DO SOLO.



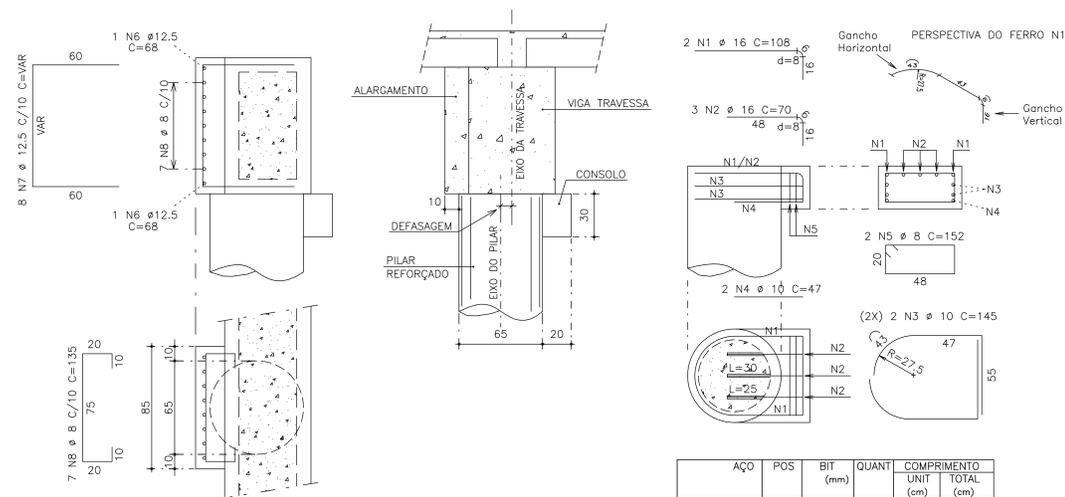
ETAPA DE REFORÇO DOS PILARES

1. DELIMITAR A EXTENSÃO DO REFORÇO ATÉ 100CM ABAIXO DA LINHA DE MENOR MARÉ OU 50CM ABAIXO DO SOLO, O QUE ACONTECER PRIMEIRO.
2. EXECUTAR CORTE DE 30mm EM TODA A SUPERFÍCIE DA ÁREA DE REFORÇO DEIXANDO EXPOSTO O AGREGADO.
3. CHUMBAR ARMADURAS INTEGRATIVAS VIGA-PILAR (ITEM 2C DO REFORÇO DA TRAVESSA)
4. LIMPAR COM JATO DE ÁGUA A SUPERFÍCIE DE CONTATO CONCRETO VELHO-CONCRETO NOVO.
5. FAZER FURAÇÃO PARA CHUMBAMENTO DA ARMADURA DO CONSOLO SE NECESSÁRIO.
6. CHUMBAR ARMADURA DO CONSOLO SE NECESSÁRIO.
7. POSICIONAR ARMADURA DE REFORÇO: BARRAS LONGITUDINAIS E ESTRIBOS.
8. REALIZAR PROTEÇÃO CATÓDICA ATRAVÉS DA INSTALAÇÃO DE PASTILHA DE SACRIFÍCIO A CADA METRO E EM QUATRO PONTOS DO ELEMENTO.
9. APLICAR ADESIVO ESTRUTURAL NA SUPERFÍCIE PARA AUMENTAR A ADERÊNCIA ENTRE CONCRETO VELHO E CONCRETO NOVO. PODE USAR PARA ESTE FIM ARGAMASSA POLIMÉRICA PROJETADA.
10. POSICIONAR FORMAS E EXECUTAR CONCRETAGEM DO PILAR E CONSOLO.

COMPRIMENTO DE CORTE DOS PILARES	
φ, Pilar (cm)	L, corte (cm)
54	2,0
55	2,5
57	3,5
59	4,5

CONSOLO E ALARGAMENTO DA VIGA PARA PILAR DESALINHADO

ESCALA 1:20



PROCEDIMENTO GERAL DE CHUMBAMENTO DAS ARMADURAS

1. Fazer furo com broca com diâmetro conforme indicado.
2. Fazer limpeza do furo com ar comprimido.
3. Limpar furo com estopa embebida no adesivo estrutural.
4. Posicionar armadura.
5. Aplicar adesivo estrutural observando recomendações do fabricante (Sikadur 31 ou similar).

ÁÇO	POS	BIT (mm)	QUANT	COMPRIMENTO UNIT (cm)	TOTAL (cm)
CONSOLO PARA PILAR DESALINHADO					
50A	1	16	2	108	216
50A	2	16	3	70	210
50A	3	10	4	145	580
50A	4	10	2	47	94
50A	5	8	2	152	304
50A	6	12,5	2	68	136
50A	7	12,5	8	--VAR--	1680
50A	8	8	7	135	945

RESUMO AÇO CA 50-60			
ÁÇO	BIT (mm)	COMPR (m)	PESO (kg)
50A	8	12	5
50A	10	7	4
50A	12,5	18	18
50A	16	4	7
Peso Total 50A =			34 kg

NOTAS:

1. CONCRETO TIPO CAD fck>40MPa,α/c<0,45
2. AÇO CA-50A
3. COBRIMENTOS
c=50mm armadura passiva (CA50)
c=70mm armadura ativa (CP190-RB)
PARA GARANTIR DURABILIDADE USAR CAD: USAR CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO COM RESISTÊNCIA À CLORETO.
Adição de Microsilica: 10% do peso do cimento.
Adição de Cristalinizante: 0,8% do peso do cimento.

HUGO A. MOTA
Eng. Joaquim E. Mota
Crea: CE8221-D

HUGO A. MOTA
CONSULTORIA E ENGENHARIA DE PROJETOS S/S

AV. DOM LUIZ, 880 - SALA 201/202 - Fone Fax: (085) 261.1332
CEP: 60160/230 - FORTALEZA - CEARÁ

ENG. CO-RESPONSÁVEL: ENG. RESPONSÁVEL: ENG. HUGO A. MOTA
CREA - 48750/D-CE

CLIENTE:		PROJETO DE OBRAS	
OBRA: RECUPERAÇÃO E REFORMA DA PONTE DOS INGLESES	RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE VIGA TRAVESSA METODOLOGIA GERAL - EIXO A	DATA: MAIO 2021	INDICADA: 29/48
		FECHA: 29/48	PROJETO Nº: R04