

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ – FAACZ
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

CASSIO MORAES JACOMIN

**RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UM CAIS: UMA ANÁLISE DE UM BERÇO DE
ATRACAÇÃO**

Aracruz

2017

CASSIO MORAES JACOMIN

**RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UM CAIS: UMA ANÁLISE DE UM BERÇO DE
ATRACAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil das
Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ,
como requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. M. Sc. Julimara Zampa Bitti
Blank

Aracruz

2017

CASSIO MORAES JACOMIN

**RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UM CAIS: UMA ANÁLISE DE UM BERÇO DE
ATRACAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil das
Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ,
como requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____ de _____ de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. M. Sc. Julimara Zampa Bitti Blank
Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ
Orientadora

Prof. M. Sc. Felipe Coelho
Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ

Prof. Esp. Ernandes Scopel
Examinador Convidado

DECLARAÇÃO DO AUTOR

Declaro, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico científica, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência à fonte e ao autor.

Aracruz, 11 de dezembro de 2017.

Cassio Moraes Jacomin

A Deus, aos meus pais e a meus irmãos.

A Deus por ter me dado saúde, capacidade força e coragem para superar as dificuldades.

Aos meus pais, pela educação que me deram e exemplo de persistência na qual sempre me inspirei.

Aos meus irmãos, pela força e apoio que me deram sempre que precisei.

A FAACZ, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

A minha orientadora Prof. M. Sc. Julimara Zampa Bitti Blank pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o muito obrigado.

Ser sábio é melhor do que ser forte; o conhecimento é mais importante do que a força. Afinal, antes de entrar numa batalha, é preciso planejar bem, e, quando há muitos conselheiros, é mais fácil vencer.

(PROVÉRBIOS 24:5-6 NTLH)

RESUMO

Os cais são estruturas portuárias que desempenham importantes funções para a indústria, estando todas diretamente ligadas à economia e desenvolvimento logístico de transporte, tanto de cargas quanto de passageiros. Dessa forma, manter estas estruturas em condições ideais de funcionamento é primordial. Sendo assim, o presente estudo visa elencar as ações causadoras de patologias nas estruturas de um cais e apresentar as inspeções, ensaios, metodologia de recuperação e execução da obra de recuperação estrutural de um cais figurado, pois não será feita menção do nome do Porto. Para tanto, foi utilizado como metodologia o estudo bibliográfico, proporcionando conhecimentos norteadores para a construção dos conceitos necessários para melhor entendimento do assunto a ser tratado, e, posteriormente apresentado um estudo de caso que ilustra de forma clara e concisa todos os conceitos abordados, identificando o processo de recuperação estrutural de um cais. Os resultados obtidos desta pesquisa são as comparações dos estudos das patologias encontradas no cais figurado com a execução da obra de recuperação estrutural, concluindo que as inspeções nas estruturas, se realizadas dentro de técnicas adequadas ao projeto, subsidiarão informações para uma boa elaboração de projeto de recuperação, e, este sendo executado conforme especificações, resultará em aumento da vida útil das estruturas.

Palavras-chave: Portos. Cais. Patologia. Recuperação.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Componentes de uma obra portuária.....	17
Figura 2 - Esquema de quebra-mar de parede vertical.	19
Figura 3 - Esquema de quebra-mar misto.	20
Figura 4 - Cais de paramento aberto: à esquerda plataforma de alívio com estaca inclinada; à direita ancoragem de apoio.	23
Figura 5 - Tipos de corrosão das armaduras.....	30
Figura 6 - Exemplo de fissuração.....	31
Figura 7 - Exemplo de destacamento de concreto.	32
Figura 8 - Exemplo de perda de seção de armadura.	32
Figura 9 - Localização da área de estudo.	37
Figura 10 - Planta geral do Berço 1 e a posição dos Berços 2 e 3.....	38
Figura 11 - Principais partes da estrutura do Berço 1.	39
Figura 12 - a) Quebra até exposição da armadura; b) Região após a aplicação de fenolftaleína. Neste caso, a coloração obtida foi vermelho-carmim.	40
Figura 13 - Obtenção de amostra para realização do ensaio.....	41
Figura 14 - a) Lixamento da superfície aonde será realizado o ensaio; b) Realização de ensaio de potencial de corrosão.....	42
Figura 15 - a) Extração de corpo de prova; b) Corpo de prova para ensaios de durabilidade.....	42
Figura 16 - Fraturas encontradas no paramento da estrutura analisada.....	51
Figura 17 - a) Destacamento do revestimento de concreto; b) Oxidação das armaduras.	52
Figura 18 - Área do paramento delimitada com som cavo.	52
Figura 19 - a) Manchas esbranquiçadas e fissuras; b) Manchas de oxidação.....	53
Figura 20 - a) Fissura com trajetória irregular; b) Fissura vertical.	53
Figura 21 - a) Fissura de retração na laje; b) Fissura de retração na viga; c) fissura no apoio das estacas.	54
Figura 22 - Armadura exposta e corroída.....	54
Figura 23 - Junta apresentando infiltrações e obstrução com madeira.	55
Figura 24 - Retrabalhos na argamassa bem executado.....	55
Figura 25 - a) Face interna do paramento com destacamento e armadura exposta; b) Laje apresentando pontos de destacamento e armadura exposta.....	56

Figura 26 - Plataforma fixada na estrutura existente.....	58
Figura 27 - Parte do projeto de recuperação com demarcação de limites de área a ser recuperada.	59
Figura 28 - Parte do projeto de recuperação, com cotas para demolição do concreto.	59
Figura 29 - Viga de paramento com recobrimento demolido conforme recomendações.....	60
Figura 30 - Armaduras do paramento após tratadas.....	61
Figura 31 - Pintura a base de Poliuretano modificado de alta resistência química e mecânica em parte do paramento.....	62
Figura 32 - a) Fixação das plataformas; b) Modelo das plataformas fixas na face inferior da laje.....	62
Figura 33 - Corte típico – espessuras médias da argamassa projetada.	63
Figura 34 - Detalhe típico – demolição do concreto de cobrimento da superestrutura.	64
Figura 35 - a) Demolição do concreto projetado e da argamassa de recobrimento; b) Armadura após a demolição.....	64
Figura 36 - Execução de argamassa projetada.....	65
Figura 37 - Pintura de proteção da face inferior da superestrutura.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Investigações no Paramento.....	44
Tabela 2 - Investigações na face inferior da superestrutura.....	44
Tabela 3 - Ensaio Químicos no Paramento.....	45
Tabela 4 - Ensaio Químicos na Face Inferior da Superestrutura.....	46
Tabela 5 - Resultado dos Ensaio de Potencial Eletroquímico do Paramento.....	47
Tabela 6 - Resultado dos ensaio de potencial eletroquímico da face inferior da superestrutura.....	48
Tabela 7 - Durabilidade do Concreto do Paramento.....	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 OS PORTOS	16
3.1.1 Obras portuárias	17
3.1.1.1 Abrigos	18
3.1.1.2 Molhe.....	18
3.1.1.3 Quebra-mares	18
3.1.1.4 Obras de acostagem	20
3.1.1.5 Enrocamento	20
3.1.1.6 Defensas	21
3.2 CAIS	21
3.2.1 Tipos de cais	22
3.2.1.1 Cais de paramento fechado	22
3.2.1.2 Cais de paramento aberto	22
3.2.1.3 Cais em plataforma superposta.....	23
3.2.1.4 Cais em rampa	24
3.2.1.5 Cais flutuante	24
3.3 AÇÕES OCORRIDAS NAS ESTRUTURAS DE CAIS	24
3.3.1 Ações das embarcações	24
3.3.2 Carregamento permanente	25
3.3.3 Carregamento variável	25
3.3.4 Ações ambientais	26
3.3.5 Empuxo do solo	26
3.4 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CAIS PORTUÁRIOS.....	27
3.4.1 Alguns métodos de inspeção e ensaios em estruturas	27
3.4.2 Principais patologias encontradas em estruturas de cais portuários	29
3.4.2.1 Corrosão da armadura	30
3.4.2.2 Fissuras	31
3.4.2.3 Destacamento do concreto de cobrimento	31

3.4.3 Processo para recuperação de caís portuários.....	33
4 METODOLOGIA	36
4.1 AMOSTRAGEM	36
4.2 COLETA DE DADOS	39
4.2.1 Verificação de alcalinidade <i>in loco</i> (carbonatação)	39
4.2.2 Ensaios químicos	40
4.2.3 Avaliação de potencial de corrosão	41
4.2.4 Ensaios de durabilidade	42
4.2.5 Investigação.....	42
4.2.6 Inspeção visual.....	43
4.3 ANÁLISE DE DADOS.....	43
4.3.1 Análise da verificação de alcalinidade <i>in loco</i> (carbonatação)	43
4.3.2 Análise dos ensaios químicos	44
4.3.3 Análise da avaliação de potencial de corrosão	46
4.3.4 Análise dos ensaios de durabilidade.....	49
4.3.5 Resultados da análise da investigação	50
4.3.6 Resultados da análise da inspeção visual	50
5 RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UM CAIS FIGURADO	51
5.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	51
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA RECUPERAÇÃO DO CAIS EM ESTUDO E EXECUÇÃO DA OBRA	56
5.2.1 Metodologia aplicada na recuperação de fissuras no concreto	57
5.2.2 Metodologia aplicada na recuperação de armaduras	57
5.2.3 Metodologia aplicada para retirada de manchas no concreto aparente ...	66
7 CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A atividade portuária se insere, atualmente, dentro de uma economia de escala em termos de manuseio e tratamento das cargas, o que pode ser identificado ao se perceber que o porto é um ponto economicamente estratégico, tendo em vista que grande parte da produção massiva se escoia por ele.

Segundo Comin (2015, p. 13) “as estruturas portuárias são a ligação do transporte terrestre, rodoviário ou ferroviário, com o aquaviário, e nelas é necessário carregar e descarregar os navios com rapidez e eficiência”. Assim os portos se tornaram obrigados a se adequar às exigências do meio econômico, passando para tanto a serem concebidos, planejados, executados e controlados dentro de rigorosos padrões técnicos, econômicos, financeiros e de gestão ambiental (SILVA, COCCO, 1999).

O concreto armado apresenta características que o tornam um grande aliado para a construção de portos no que tange à capacidade de atender com qualidade a demanda de movimentação de cargas nestas áreas.

Contudo há que se considerar que a engenharia de estruturas portuárias engloba o planejamento, projeto e construção de estruturas ancoradas fixas e estruturas flutuantes fixas ao longo de costas oceânicas e de grandes rios e lagos, além das obras da categoria *offshore* (COMIN, 2015). Partindo deste pressuposto é de fundamental importância que se compreenda a necessidade de um projeto adequado para que a estrutura portuária seja efetivamente desenvolvida. Há que se ressaltar que as estruturas portuárias acompanharam a evolução da engenharia deixando, pois, de se basear em estruturas de madeira e pedra para serem desenvolvidas em concreto armado. Apesar de apresentar características que potencializam o uso de concreto armado em portos, é relevante ressaltar que tais estruturas em ambientes marítimos sofrem maior degradação devido à alta agressividade ambiental. Devido a estas possíveis degradações é de suma importância tratar do tema proposto, para que se identifique patologias e compreenda-se recuperação de berços de atracação.

Torna-se relevante mencionar que existem importantes estruturas no que diz respeito a sua utilidade e valor patrimonial, e que faz parte da infraestrutura “chave” de uma empresa em sua operação e conseqüente geração de renda, no caso de portos, os berços atracadouros de navios. Sendo assim, é de fundamental

importância a preservação e conservação deste tipo de estrutura, dado a sua relevância patrimonial e operacional, por isso a escolha do tema. Dessa forma, para uma correta estruturação do conteúdo apresentado, foram realizadas duas etapas diferentes: a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso de uma obra de recuperação estrutural de um cais figurado. Embora a grande diferença existente entre os métodos aplicados, um acaba por complementar e concretizar o outro, tornando o estudo mais claro e conciso. A ocorrência de patologias em cais é inevitável, tendo em vista todas as ações sofridas pela estrutura, contudo, a análise e estudo por meio de ensaios específicos são imprescindíveis para a identificação da melhor metodologia a ser utilizada no processo de recuperação de um cais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elencar as ações causadoras de patologias nas estruturas de um cais e apresentar método de recuperação estrutural.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar os possíveis agentes causadores de patologia nas estruturas de um cais;
- Apresentar métodos de inspeção e ensaios em estruturas;
- Apresentar a metodologia de recuperação e o processo executivo de uma obra de recuperação de um cais figurado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 OS PORTOS

Os portos são definidos como sendo o lugar onde se pode abrigar uma embarcação contra ventos e ressaca do mar, com instalações para arramar a embarcação e realizar operações de embarque e desembarque de mercadorias e pessoas. É o elo entre os modais terrestres e o modal marítimo, onde se encontram todas as instalações portuárias para movimentação de cargas e mercadorias. A área de fundeio, denominada anteporto, é a área onde a embarcação fica ancorada, aguardando o momento certo para aportar-se no cais. O canal de acesso é a ligação entre o alto-mar e as instalações portuárias (DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO, 2010).

Dessa forma os portos são atualmente o elo na cadeia logística como terminal multimodal, auxiliando o transporte de mercadorias de diversos tipos e finalidades sendo uma eficiente ligação entre os transportes terrestres, rodoviários e ferroviários (COMIN, 2015). Contudo, ainda assim, este é o modal de menor utilização e investimento atualmente no Brasil.

Segundo Silva (2014, p. 4) “os portos têm contribuído para o desenvolvimento sustentável de toda a indústria mundial, assegurando ligações entre parceiros econômicos em todo o mundo”, além de proporcionar um grande “desenvolvimento criado na zona do porto, contribuindo e muito para o crescimento das regiões envolventes”. Tendo em vista o papel indispensável dos portos em uma cadeia logística, torna-se relevante mencionar a necessidade dos projetos serem elaborados com riqueza de detalhes apresentando para tanto características que estejam diretamente ligadas às demandas à que se destinam. Silva (2014, p. 4) menciona ser imprescindível no processo de implantação de projetos portuários “criar estruturas que possam assegurar que o porto é um bom ponto de abrigo para privilegiar as trocas de bens e embarque e desembarque”.

Pereira e Lenzion (2013) afirmam que uma obra portuária é constituída por anteporto, porto e retroporto, como ilustrado pela Figura 1.

Figura 1 - Componentes de uma obra portuária.



Fonte: PEREIRA, LENDZION (2013, p. 97).

Pereira e Lenzion (2013) esclarecem que o anteporto é composto por canal de acesso e fundeadouros de espera; os portos bacia de evolução, cais com faixa de atracação e movimentação terrestre, estação de serviços e dârsenas, sendo estas últimas partes resguardadas artificialmente do porto, usada para tarefas de carga e descarga; em se tratando dos retroportos, as autoras supracitadas esclarecem que são áreas terrestres próprias para movimentação de carga.

Alfredini e Arasaki (2009) explicam que a área de retroporto são áreas terrestres próprias para movimentação de carga e passageiro. Sobre o acesso terrestre, aquaviário e aeroviário os autores afirmam que são indispensáveis para prover eficientemente a chegada ou retirada de cargas e passageiros no porto de acordo com a localização dos polos da infraestrutura de produção urbana.

Comin (2015) menciona que as informações necessárias para uma correta elaboração e execução de obra portuárias está diretamente ligada ao tipo de carga a ser movimentada, ao tipo de embarcação que irá operar na área e às condições ambientais locais.

3.1.1 Obras portuárias

Ribeiro (2011) pondera que é relevante que o dimensionamento de um projeto portuário percorra definições do tipo de obra de acordo com a função, determine

parâmetros de projeto baseando-se em esforços e ações de cálculo e o dimensionamento estrutural das obras e de eventual defesa.

Para Alfredini e Arasaki (2009) é necessário compreender que uma obra portuária necessita atender as necessidades de abrigo; profundidade e acessibilidade; área de retroporto; acessos terrestres, aquaviários e aeroviários.

3.1.1.1 Abrigos

Alfredini e Arasaki (2009) afirmam que os abrigos são a condição primordial de proteção da embarcação-tipo de ventos, ondas e correntes, em que se possa ter condições de acesso à costa, viabilizando dessa forma a acostagem e a movimentação de cargas ou passageiros.

Segundo os referidos autores esta movimentação é possível uma vez que a acostagem provê pontos de amarração para cabos os da embarcação, garantindo reduzidos movimentos e com mínimos esforços de atracação durante a operação portuária.

3.1.1.2 Molhe

Projeção das partes laterais das docas ou portos e rios, ao longo do qual os navios podem acostar para carga ou descarga (DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO, 2010). Sousa (2011) define os molhes como estruturas longas e estreitas que objetiva estabilizar canais de navegação nas áreas da foz dos rios e embocaduras por criar locais ideais à atracação facilitando dessa forma as manobras das embarcações.

3.1.1.3 Quebra-mares

Segundo o Dicionário Básico Portuário (2010, p. 111) os quebra-mares “são uma construção que recebe e rechaça o ímpeto das ondas ou das correntes, defendendo as embarcações que se recolhem num porto, baía ou outro ponto da costa”.

Quebra-mares são estruturas paralelas à costa, com suas medidas de acordo com a zona portuária a salvaguardar, e devem ser posicionados transversalmente à direção predominante do vento, das correntes marítimas, dando capacidade de manobra às embarcações que entram no porto. O quebra-mar também pode

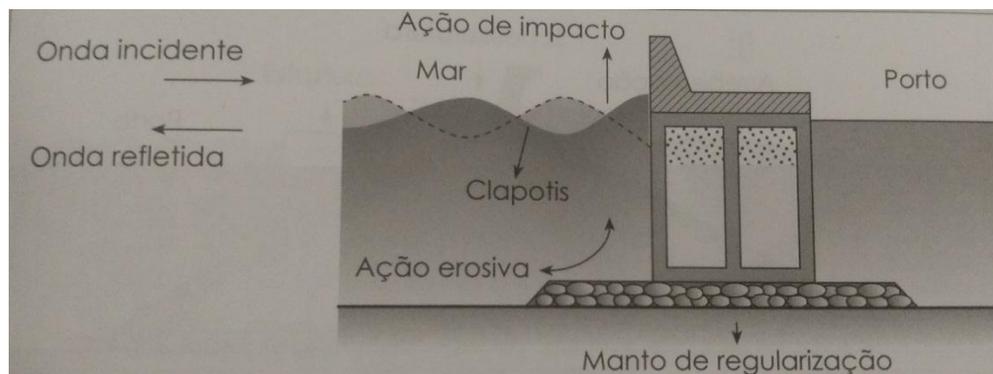
suportar, no paramento abrigado, estruturas de embarque e desembarque (SILVA, 2014).

Silva (2014) esclarece que os quebra-mares reduzem a ação das ondas do mar nas regiões abrigadas dissipando a energia existente. Tais estruturas podem ser divididas em três diferentes tipos: de talude, de parede vertical ou misto.

Segundo Alfredini e Arasaki (2009) o **quebra-mar de talude** é formado por maciço de seção transversal trapezoidal constituídas por blocos de enrocamento ou concreto, sendo o tipo de estrutura mais usada devido a fácil construção e manutenção agindo eficientemente no amortecimento da energia das ondas.

No que tange ao **quebra-mar de parede vertical** (Figura 2) Alfredini e Arasaki (2009) esclarecem que este é formado por uma parede vertical, impermeável, tendo a fundação constituída por um manto de regularização e enrocamento, reduzindo ao mínimo o volume da obra.

Figura 2 - Esquema de quebra-mar de parede vertical.

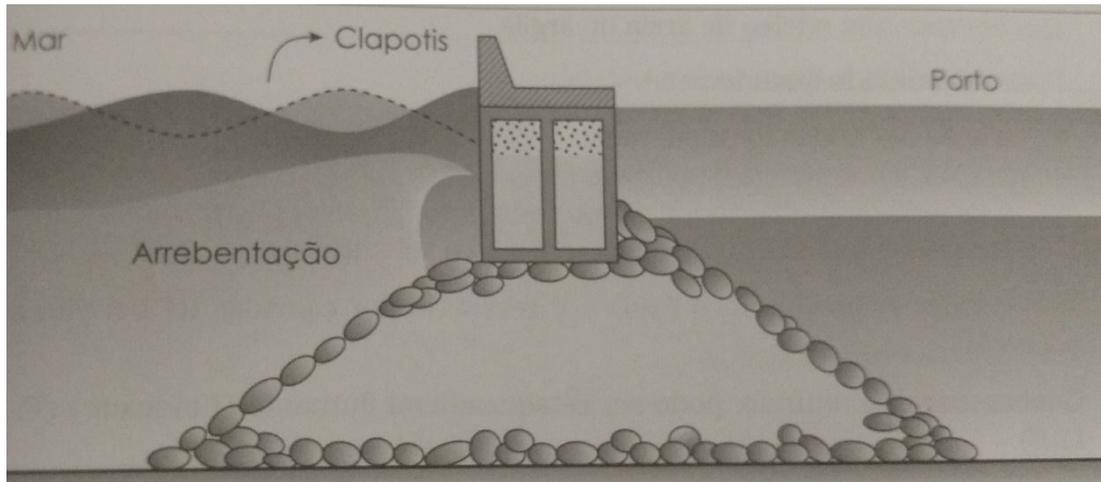


Fonte: ALFREDINI, ARASAKI (2009, p. 351).

Segundo Silva (2014, p. 13) os quebra-mares de paredes verticais “basicamente, são constituídos por caixotões em betão armado cheios com areia, colocados sobre uma camada de regularização de aterro do fundo. Ao contrário do quebra-mar em talude, este reflete para o largo a energia dos estados de agitação incidentes”.

Em se tratando de **quebra-mares mistos** Silva (2014) enfatiza que são constituídos por elementos de taludes e paredes verticais como ilustrado na Figura 3. Para tanto, a fundação do muro de paramento vertical é realizada sobre uma camada de enrocamento espessa.

Figura 3 - Esquema de quebra-mar misto.



Fonte: ALFREDINI, ARASAKI (2009, p. 351).

Alfredini e Arasaki (2009) acrescentam que este tipo de quebra-mar é composto por maciço de enrocamento submerso sobre o qual é assentada uma parede vertical, permitindo estender o quebra-mar de tipo vertical a maiores profundidades ou em terrenos de menor resistência. Os autores esclarecem que esta estrutura consiste num quebra-mar de talude com uma superestrutura destinada a complementar a proteção contra o galgamento das ondas.

3.1.1.4 Obras de acostagem

Alfredini e Arasaki (2009) afirmam que as obras de acostagem são obras maciças para resistir aos elevados esforços estruturais, não devendo para tanto serem esbeltas uma vez que se encontram sujeitas a cargas horizontais elevadas, verticais concentradas e efeitos de empuxo de terras.

As obras de acostagem também conhecidas como cais, por serem ponto chave do estudo apresentado, serão melhor esclarecidas no item 3.2.

3.1.1.5 Enrocamento

O enrocamento trata-se de um conjunto de pedras ou blocos que são lançados uns sobre os outros dentro da água para formar um lastro para um cais, por exemplo, com intuito de amenizar o efeito das ondas sobre as estruturas. Segundo Fanti (2007, p. 26) “a necessidade da proteção do enrocamento está ligada basicamente

às ações das ondas e no caso de navios maiores, está ligada também à ação dos propulsores que auxiliam na atracação”.

3.1.1.6 Defensas

São interfaces entre as embarcações e as estruturas de acostagem para proteger ambas dos esforços de impacto das embarcações (ALFREDINI, ARASAKI, 2009).

São equipamentos ou peças feitas de sola ou de cabo, pneu, estopa, ou outro material, que são fixadas no cais ou na embarcação, nos lugares mais proeminentes do casco, com a finalidade de protegê-los dos danos que podem ser causados por impactos com a borda do cais no momento da atracação ou enquanto estiverem atracados (DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO, 2010).

Segundo Silva (2014) as defensas se classificam em: defesa cilíndrica radial, defesa tipo arco, defesa tipo modular, defesa tipo cone e defesa tipo pneumática.

Para a definição do tipo de defesa a ser utilizada, deve-se levar em conta o tipo de estrutura para a qual a mesma se destina, uma vez que cada uma possui diferentes características, tornando-se assim mais eficazes para uma estrutura do que para outras.

3.2 CAIS

Segundo o Dicionário Básico Portuário (2010, p. 25) o cais é definido como “plataforma em parte da margem de um rio ou porto de mar ao qual atracam os navios e onde se faz o embarque ou desembarque de pessoas e/ou mercadorias”.

Um cais é uma estrutura para atracação de embarcações, geralmente construído por vigas transversais e viga longitudinal, esta última sendo chamada de viga de paramento, que é a mais importante, pois recebe os maiores esforços solicitados pela estrutura, e comporta as defensas, que protegem o cais e as embarcações quando atracam e quando estão atracadas. A estrutura do cais também é formada por laje e estacas, cravadas em terra ou em mar (MEDINA, 2013).

Segundo Alfredini e Arasaki (2009) os cais podem ser caracterizados como estruturas de obras contínuas com função de acesso, suporte de equipamentos, atracação e amarração das embarcações.

Os cais, também chamados de obras de acostagem, são constituídos basicamente de lâmina d'água, altura da estrutura, comprimento do berço e largura da plataforma. Goes Filho (2008) *apud* Medina (2013) pondera ainda que “os cais são estruturas contínuas, contíguas ao litoral e a ele paralelas. São frequentemente encontrados formando uma sequência de berços de atracação, podendo ou não ser utilizados para o mesmo tipo de carga”.

3.2.1 Tipos de cais

Os cais podem ser classificados quanto ao tipo estrutural de obra, dividindo-se em paramento fechado ou aberto, cais de plataforma superposta, cais em rampa e cais flutuante.

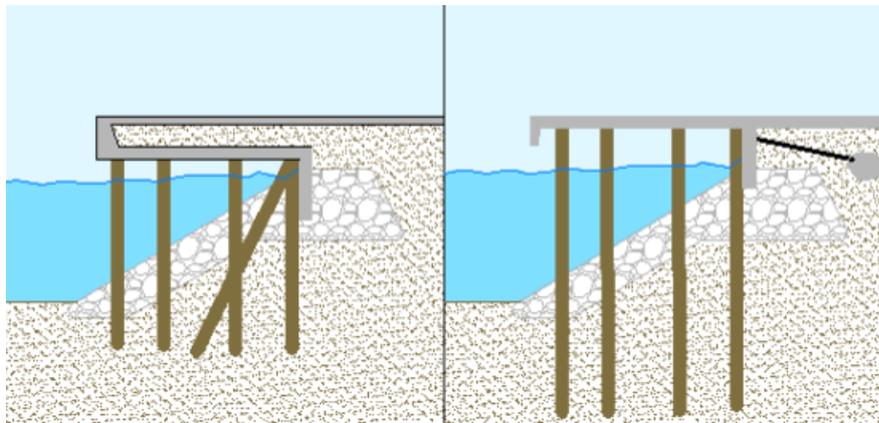
3.2.1.1 Cais de paramento fechado

O cais de paramento fechado ou de face vertical possui “uma cortina frontal que contém o terrapleno no tardo, podendo ter solução estrutural de cais com plataforma de alívio, já que a plataforma alivia a cortina dos empuxos ou não” (ALFREDINI, ARASAKI, 2009, p. 382).

3.2.1.2 Cais de paramento aberto

No cais de paramento aberto (Figura 4), parte constituinte do objeto deste estudo, “a área sob a plataforma de operações apresenta um talude a partir do fundo do berço de atracação, podendo dispor de plataforma de alívio ou não” (ALFREDINI, ARASAKI, 2009, p. 382).

Figura 4 - Cais de paramento aberto: à esquerda plataforma de alívio com estaca inclinada; à direita ancoragem de apoio.



Fonte: ALFREDINI, ARASAKI (2009, p. 417).

Segundo Fanti (2007) o paramento aberto caracteriza-se pela ausência de parede vertical na frente do cais tendo as estruturas representadas por estacas e plataformas suspensas sem parede frontal, o que elimina, para tanto, os empuxos de solo que devem ser contidos sob o cais.

Alfredini e Arasaki (2009) esclarecem que estas estruturas têm como princípio se constituírem em estruturas leves, em que as cargas verticais são absorvidas pelas estacas verticais e as cargas horizontais são absorvidas por estacas inclinadas e pelo terrapleno.

Nestas estruturas “o solo da região abaixo do cais deve permitir a formação de um talude suave de modo que o fim do talude atinja a linha de dragagem que deverá estar próximo à projeção da linha mais externa do cais” (FANTI, 2007, p. 25).

3.2.1.3 Cais em plataforma superposta

São estruturas de acostagem utilizadas para variações de nível d’água muito elevadas, compostas por plataformas sobrepostas em diferentes cotas.

Essas estruturas têm a desvantagem de dificultar a movimentação de carga diretamente de linhas férreas ou com emprego de esteiras transportadoras, além de apresentar inconveniências no acesso das embarcações quando estas têm de operar junto aos patamares superiores em épocas de cheias (ALFREDINI, ARASAKI, 2009).

3.2.1.4 Cais em rampa

Segundo Alfredini e Arasaki (2009) estas estruturas são compostas por rampa contínua longitudinal ao canal com inclinação de 5 a 10% entre o nível d'água máximo de cheia e o mínimo de estiagem.

3.2.1.5 Cais flutuante

Alfredini e Arasaki (2009) definem o cais flutuante como estruturas compostas de um flutuante que acompanha as variações do nível d'água e onde são realizadas as operações de movimentação de cargas.

3.3 AÇÕES OCORRIDAS NAS ESTRUTURAS DE CAIS

De acordo com Alfredini e Arasaki (2009) é imprescindível que para a efetivação de um projeto de cais portuário se leve em consideração as ações das embarcações sobre as estruturas correspondentes aos esforços transmitidos na atracação e amarração, bem como as ações naturais que tendem a ocorrer nas estruturas.

Os autores supracitados mencionam que os esforços solicitantes sobre estas estruturas se devem fundamentalmente a movimentação de cargas e passageiros, equipamentos de movimentação de cargas, edificações portuárias, impacto de atracações das embarcações, empuxos de terra e hidrostáticos, e ação de ventos, ondas e correntes.

3.3.1 Ações das embarcações

Mason (1982) afirma que o elemento primordial para o projeto de obras marítimas e acostáveis é a avaliação das ações que os navios e embarcações podem exercer sobre estas obras. As embarcações realizam ações sobre as estruturas no momento da **atracação** e durante o período de **amarração**.

No momento da **atracação** a estrutura sofre impacto da embarcação devido a velocidade da mesma, podendo este impacto ser reduzido por meio da construção de defensas do tipo mais apropriado à estrutura.

Fanti (2007) menciona que na atracação o impacto do navio na estrutura é uma das principais a ser considerada. Isso ocorre porque segundo Sousa (2013, p. 50), “a atracação das embarcações gera nas estruturas marítimas, no ato do impacto, energia cinética, que é transformada em energia potencial das estruturas e defensas”.

No que tange a **amarração** Fanti (2007) pondera que as ações ocorrem devido aos esforços de fixação dos navios nas obras de acostagem, devendo ser levadas em conta as ações ambientais sobre as embarcações.

Segundo Sousa (2011) as forças das amarrações são transmitidas à estruturas por meio dos elementos de fixação que recebem a força sofrida pelos cabos de amarração.

3.3.2 Carregamento permanente

“O carregamento permanente é o somatório do peso próprio dos elementos estruturais componentes do cais com a massa de todos os elementos construtivos fixos e as instalações permanentes” (MEDINA, 2013, p. 12).

Fanti (2007) afirma que toda estrutura de cais portuário está sujeita a carregamentos permanentes, sendo estes o carregamento da estrutura e de elementos que se incorporam a mesma tornando-se permanente como o enchimento de material na estrutura, pavimento ou edificação.

3.3.3 Carregamento variável

As cargas variáveis sofridas por uma estrutura de cais portuário estão diretamente ligadas às cargas que não são permanentes, podendo também ser denominadas de cargas acidentais ocorrendo, possivelmente, devido a diversos fatores como a atracação e amarração de embarcações.

O carregamento variável pode ser classificado em **vertical** ou **horizontal**. Segundo Fanti (2007) o **carregamento variável vertical** está diretamente ligado aos equipamentos de operação do porto bem como às cargas manipuladas no mesmo.

O carregamento vertical pode ser subdividido em sobrecarga vertical e cargas móveis. Segundo Medina (2013, p. 14) “a sobrecarga vertical é o conjunto de ações

uniformemente distribuídas aplicadas às estruturas, que representam as ações de natureza não definida que podem ocorrer durante a vida útil da estrutura”.

O autor esclarece que “as cargas móveis são devidas aos equipamentos de operação do porto, como por exemplo, portêineres, transtêineres, empilhadeiras, guindastes, veículos, trem, entre outros” (MEDINA, 2013, p. 15).

No que tange ao **carregamento variável horizontal** Fanti (2007) pondera que este está ligado diretamente à atracação e amarração do navio (já esclarecidas em item anterior) realizando empuxo de solo da retroárea.

3.3.4 Ações ambientais

Além das ações de embarcações e de carregamento variável um cais também está sujeito a ações ambientais como a **variação dos níveis da maré, condições de vento, ondas e temperatura**.

Sobre os **níveis da maré** Fanti (2007) afirma que onde esta é muito alta pode haver inviabilização da implantação de estrutura fixa. Quanto às **condições de vento**, o autor esclarece que o vento atua diretamente na estrutura gerando esforços nesta. Medina (2013) afirma que a velocidade do vento não deve ser menor que 20m/s devendo pois ser calculada em 10 minutos, medida no local onde a estrutura será implantada. As **ondas** podem ser grandes agravantes para a estrutura de um cais, tendo em vista que em casos de ondas muito forte serão necessárias condições de abrigo e proteção como quebra-mar, por exemplo (FANTI, 2007). No que diz respeito à **temperatura**, o mesmo autor afirma que esta relaciona-se diretamente “às variações dimensionais geradas pela variação da temperatura média do concreto em relação à temperatura de montagem”.

3.3.5 Empuxo do solo

De acordo com Medina (2013, p. 22) “o empuxo do solo pode ser definido como a ação proveniente do terrapleno atrás da estrutura portuária” devendo este ser observado de acordo com o comportamento frente aos princípios da Mecânica dos Solos.

Fanti (2007) acrescenta que os parâmetros do solo devem ser retirados de ensaios de campo e laboratoriais.

3.4 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CAIS PORTUÁRIOS

Tendo por base os conceitos elencados nos capítulos anteriores é perceptível que um cais portuário em determinado momento de sua vida útil apresentará alguma patologia que poderá estar direta ou indiretamente relacionada às ações sofridas pela estrutura.

Segundo Dziekaniak (2005) as estruturas portuárias têm vida útil entre 35 e 50 anos sendo apropriadamente conservadas, contudo permanecem suscetíveis a danos com o tempo.

3.4.1 Alguns métodos de inspeção e ensaios em estruturas

Para diagnosticar-se uma patologia, é necessário determinar as causas da formação e da gravidade de uma manifestação patológica, com base na observação dos sintomas e na realização de estudos e ensaios específicos (MAZER, 2012).

A norma NBR 6118-2007 parametriza a espessura mínima de revestimento e qualidade adequada em obras ou elementos expostos à agressividade do ambiente (SAHUINCO, 2011).

Diz Cascudo (2001 apud SAHUINCO, 2011, p. 52): “Na avaliação de uma estrutura de concreto acabada deve considerar-se aspectos tanto de durabilidade quanto de resistência e estabilidade. Os aspectos de durabilidade envolvem investigações sobre condições da armadura (passivadas ou não). Sobre as condições de carbonatação do concreto, deve considerar-se a presença de agentes agressivos tais como cloretos e sulfatos, ou eventual presença de agregados reativos no concreto. Estes aspectos podem ser avaliados através de métodos de ensaio tais como: potenciais de corrosão, resistividade elétrica, resistência de polarização, profundidade de carbonatação, teor de cloretos e sulfatos, porosidade, absorção de água, análise petrográfica entre outros”.

Os Ensaios Não Destrutivos - END são ensaios realizados a fim de se verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem alterar as características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais da estrutura, e sem interferir em seu uso posterior (MAZER, 2012).

A inspeção visual é o primeiro ensaio não destrutivo aplicado em qualquer tipo de estrutura, e está associada a outros ensaios. Este ensaio é bem empregado por ser

simples e por fazer parte de qualquer trabalho executado. O fato de se observar as condições das superfícies de uma estrutura de concreto armado, pode fornecer ao profissional, conclusões sobre o estado da estrutura analisada (MAZER, 2012).

Já o método de carbonatação e pH, segundo Kazmierczak, Helene (1993 apud MAZER, 2012) consiste em evidenciar a diferença de pH entre o concreto e a frente de carbonatação, por meio de aspersão de indicadores químicos.

Segundo Gentil (1982 apud MAZER, 2012) pode-se verificar a profundidade, ou extensão, da carbonatação tratando-se, com solução aquosa-alcoólica de fenolftaleína a 1%, numa área recém-exposta do concreto. Quando não há carbonatação, aparece a coloração róseo-avermelhada, característica da fenolftaleína em meio fortemente alcalino; e se a área estiver carbonatada, permanecerá inalterada. Pode-se usar um algodão umedecido, com a solução de fenolftaleína, ou um frasco com spray, para contatar a área exposta em diferentes profundidades. A fenolftaleína apresenta coloração róseo-avermelhada com valores de pH iguais ou superiores a 9,5 aproximadamente e incolor abaixo desse valor.

Pauletti (2004 apud SAHUINCO, 2011) diz que a carbonatação do concreto é um fenômeno físico-químico causando a neutralização dos produtos alcalinos hidratados do cimento, fenômeno em que o pH do concreto é reduzido de 13 ou 12 para um nível inferior de 9. Isto ocorre pela reação entre os compostos hidratados do cimento tais como o hidróxido de cálcio e outros, e o CO₂ da atmosfera produzindo a neutralização. O avanço da frente de carbonatação está diretamente relacionado à facilidade com que o CO₂ tem de difundir-se para o interior do concreto.

Segundo Mazer (2012) o potencial de corrosão no aço existente em estruturas de concreto armado pode ser medido pela diferença de potencial entre o aço e um eletrodo de referência. Utiliza-se o eletrodo de cobre em contato com a superfície de concreto. Devem ser observados alguns aspectos para o referido ensaio, são eles: a superfície do concreto não deve apresentar destacamentos ou trincas; deve haver continuidade elétrica entre as barras de aço; o ensaio deve ser realizado em um dia considerado "típico".

Os cloretos presentes em ambientes próximos ao mar não atacam o diretamente o concreto, mas, ao penetrarem no material, por processo capilaridade, atingem as armaduras de aço, iniciando um processo de corrosão (SAHUINCO, 2011).

Para Helene (1993 apud SAHUINCO, 2011) não existe um limite do teor de cloretos que possa se afirmar que não haverá despassivação. Pode-se considerar como um

limite geral 0,4% em relação à massa de cimento ou de 0,05 a 0,1% em relação ao peso de concreto, estas são quantidades de cloretos totais suficientes para despassivar o aço.

A durabilidade das estruturas de concreto armado depende da facilidade com a qual os fluidos, líquidos ou gases, penetram na estrutura e se deslocam no seu interior, trazendo consigo agentes agressivos (SAHUINCO, 2011). Segundo o autor, algumas formas de se verificar a estrutura de poros de um concreto são pelos ensaios de porosidade (índice de vazios) e absorção de água, normalizados pela NBR 9778:2005.

3.4.2 Principais patologias encontradas em estruturas de cais portuários

Por ser uma estrutura em ambiente marítimo o cais portuário está sujeito a diversas ações ambientais, ações causadas por amarração e atracação de embarcações e ações de cargas permanentes e variáveis, todas estas já trabalhadas em subitens anteriores, são responsáveis por alterações nas estruturas de um cais portuário podendo dessa forma comprometer o funcionamento do mesmo o que acarreta grandes prejuízos à economia nacional em diversas áreas.

Segundo Dziekaniak (2005) há cinco zonas distintas de deterioração das estruturas em ambiente marítimo as quais citam-se: **Zona exposta à atmosfera; Zona de respingo; Zona de maré; Zona submersa; e Zona no fundo do mar.**

Dziekaniak (2005) afirma que a **zona exposta à atmosfera** caracteriza-se por fissuras do concreto, devido à corrosão da armadura.

Sobre as **zonas de respingo e de maré** Dziekaniak (2005) menciona que estas normalmente são mais vulneráveis e caracterizadas por fissuras e lascamento do concreto devido à molhagem e secagem, corrosão do aço, decomposição química dos produtos de hidratação do cimento e efeitos dinâmicos da ação das ondas.

Lima (2006) *apud* Rodrigues (2011) afirma que as ondas atuam na degradação das estruturas causando desgaste superficial provocado pelo impacto contínuo ocasionado tanto pela variação das marés quanto pelos respingos das mesmas afetando tanto a estrutura exposta ao ar livre quanto as partes das estruturas que estão sujeitas às variações do nível freático (zona submersa).

“A **zona submersa** está basicamente vulnerável a perda da resistência do concreto devido a reação química entre a água do mar e os produtos de hidratação do cimento” (DZIEKANIAK, 2005, p. 39).

Entendida e conceituada cada zona de deterioração das estruturas é possível perceber que as patologias mais comuns em um cais portuário são ocasionadas em diferentes materiais estruturais e de diferentes maneiras. Dziekaniak (2005) afirma que alguns dos efeitos estão relacionados à corrosão de metais e/ou degradação do concreto.

3.4.2.1 Corrosão da armadura

Uma das patologias identificadas nas estruturas tratadas na presente produção diz respeito à corrosão da armadura podendo esta ser generalizada ou localizada como ilustradas na Figura 5.

Figura 5 - Tipos de corrosão das armaduras.



Fonte: RODRIGUES (2011, p. 40).

Rodrigues (2011) define **corrosão generalizada** como uma perda geral da película de passivação podendo levar dessa forma à perda de características mecânicas do aço, contudo a pior consequência está relacionada ao aumento do volume ocasionado pelos elementos responsáveis pela corrosão.

No que tange à **corrosão localizada** o autor supracitado esclarece ser aquela causada tipicamente pelo alastramento de iões cloretos provenientes do ambiente exterior à estrutura.

Independentemente do tipo de corrosão esta patologia é também compreendida como a oxidação da armadura diminuindo, desta forma a área efetiva da mesma.

Segundo Costa (2016) a ferrugem causada pela oxidação é responsável por ampliar o volume do aço em até 600% o que ocasiona a desagregação do concreto provocando dessa forma fissuras (que serão trabalhadas em outro subitem).

Costa (2016) afirma que a permeabilidade do concreto, fator chave para a corrosão da armadura, “é resultante de fatores como a vibração, a cura e a dosagem do concreto, sendo esta última a que merece maior atenção, uma vez que os dois primeiros são controlados mais facilmente”.

3.4.2.2 Fissuras

As fissuras podem ser provocadas pelo gradiente de temperatura e carregamento estrutural ao qual a estrutura se sujeita (RODRIGUES, 2011).

Rodrigues (2011) define, dessa forma, as fissuras (Figura 6) como uma característica superficial como abertura ao longo do elemento.

Figura 6 - Exemplo de fissuração.



Fonte: RODRIGUES (2011, p. 50).

Segundo Costa (2016) as fissuras podem se ocasionadas por cura executada de forma inadequada. O autor esclarece que tais fissuras podem se tornar o meio de entrada para agentes agressivos.

3.4.2.3 Destacamento do concreto de cobrimento

Outra patologia possível em uma obra do tipo estudado está relacionada à delaminação, doravante denominada destacamento do concreto de cobrimento

(Figura 7), sendo este definida por Rodrigues (2011) como uma perda localizada do recobrimento da armadura da estrutura por meio de libertação dos agregados posteriormente à perda progressiva da união conferida pela pasta de cimento.

Figura 7 - Exemplo de destacamento de concreto.



Fonte: RODRIGUES (2011, p. 51).

Em algumas estruturas é possível também que haja uma perda de seção de armaduras como ilustrado pela Figura 8.

Figura 8 - Exemplo de perda de seção de armadura.



Fonte: RODRIGUES (2011, p. 52).

“A perda de seção das armaduras caracteriza-se por uma redução generalizada da seção útil da armadura, nomeadamente o diâmetro efetivo” (RODRIGUES, 2011, p. 52).

Segundo Dziekaniak (2005) o destacamento do concreto pode ser ocasionado devido a molhagem e secagem do mesmo, corrosão do aço e efeitos dinâmicos das ações de ondas.

O destacamento do concreto pode ser responsável também pelo oco em partes de uma estrutura o que pode ocorrer devido a perda de aderência do revestimento o que, segundo Segat (2005) ocorre a tensões que ultrapassem capacidade de junção da ligações, ocasionando falhas ou ruptura na interface das camadas constituintes do revestimento.

3.4.3 Processo para recuperação de caís portuários

Tendo em vista as patologias que podem surgir em um cais é imprescindível que se aplique a metodologia correta para recuperação do mesmo, visando para tanto uma manutenção eficiente e indispensável para a estrutura.

Contudo, para a realização de um processo de recuperação eficiente torna-se relevante que antes de decidir a metodologia a ser aplicada avalie-se a estrutura, permitindo, dessa forma, analisar a possibilidade de alcançar a condição desejada (QUESADA, 2003 *apud* MATTOS, 2009).

Estruturas em ambientes marítimos estão sujeitas a condições severas e condições de serviço pesado. Um cronograma de manutenção apropriado envolve constante inspeção e reparo dos danos e deterioração. Estruturas marítimas comumente sofrem com a negligência nas manutenções, alcançando estágio onde reparos maiores ou a reconstrução são necessários (DZIEKANIAK, 2005). O autor esclarece que a decisão de recuperar um cais deve ser tomada quando se tornar não só viável economicamente, mas, também, quando se fizer necessário, considerando-se a vida do projeto bem como o ponto onde o processo deverá ser realizado. O mesmo autor acrescenta que uma inspeção e avaliação técnica detalhadas fornecerão os dados relevantes para todo o processo, observando-se que a grande parte das obras são passíveis de restauração por serem construídas em concreto armado, podendo a recuperação ser executada pelo método de **remendo** (*patching*); **concreto projetado** (*shotcreting*); ou **reforço**, dentre outros métodos.

Segundo Dziekaniak (2005) o **remendo** é a substituição da parte perdida, lascada ou esmagada por um material novo, devendo para tanto restaurar a integridade estrutural e ser compatível com o concreto da estrutura que permanecer durando por igual período.

Sobre o **concreto projetado** o autor supracitado menciona ser o processo em que se aplica concreto a alta velocidade de fluxo na superfície de concreto a ser recuperada, sendo tipicamente utilizado em áreas deterioradas muito grandes.

Quanto ao **reforço** deve-se compreender que este ocorre quando há o aumento dos esforços da estrutura, como é o caso do aumento de carga a ser suportada causando dessa forma rachadura ou ruptura da estrutura (DZIEKANIAK, 2005).

Todas as metodologias abordadas acima são de grande relevância para o tratamento de armaduras, retirada de manchas, recomposição da camada de cobertura e tratamento de fissuras, devendo, para tanto, ser analisada cada situação para que então seja decidido qual o melhor método a ser aplicado.

Para o caso de patologias encontradas em estacas, há a possibilidade de realização do reforço da estrutura por meio de adição de ancoragem abaixo da água, uma vez que as barras de ancoragem originais são colocadas o mais próximas possível do nível médio inferior da água (DZIEKANIAK, 2005).

Fato é que para cada tipo de patologia detectada há uma metodologia diferenciada a ser empregada para a recuperação da estrutura portuária devendo portanto ser executada por profissional devidamente qualificado para que dessa forma não haja recorrência da patologia.

No caso de patologias relacionadas à armadura Júnior (2008) pondera que para o tratamento destas há necessidade de profissionais especializados devendo os mesmos realizarem um estudo sobre a causa do defeito, para que então seja capazes de selecionar um material coerente ao processo de recuperação.

Contudo o autor menciona que a corrosão das armaduras é um fenômeno que só ocorre quando o revestimento de concreto é insuficiente ou também se encontra comprometido, sendo assim deve-se juntamente com a corrosão da armação, ser realizado um processo para recuperação e adequação de revestimento da mesma.

Em se tratando de fissuras a recuperação pode ser realizada por meio de injeção, selagem e grampeamento, variando, pois, de acordo com a identificação prévia do tipo de fissura e da atividade da mesma.

Segundo Reis (2001) no tratamento de fissuras deve-se eliminar a causa que a geraram, promovendo a vedação com material elástico e não resistente, impedindo unicamente a degradação do concreto existente. Contudo há fissuras em que há necessidade de aplicação de material resistente. Este é o procedimento de injeção de materiais em fissuras.

Em conjunto com a injeção é necessário que se realize, também, a selagem do bordo para arremate e proteção da resina (REIS, 2001).

“Outra técnica aplicável em fissuras é o grampeamento de armaduras feitos pela inserção de grampos de aço no concreto. É uma técnica discutível já que poderá surgir nova fissura em região adjacente” (REIS, 2001, p. 72).

4 METODOLOGIA

A pesquisa apresentada baseia-se em uma pesquisa qualitativa de caráter exploratório, com intuito de identificar as patologias no Berço 1 de um cais figurado, apontando também métodos de recuperação a ser aplicados.

Dessa forma foi construída por meio de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, sendo estes dois diferentes métodos empregados como complemento um do outro, para a construção de uma melhor produção.

Segundo Lima e Miotto (2007) a pesquisa bibliográfica implica em um conjunto ordenado de procedimentos de busca por soluções, atento ao objeto de estudo, e que, por isso, não pode ser aleatório. A presente pesquisa teve uma seleção criteriosa da literatura existente sobre o tema. As bases utilizadas foram teses, dissertações, artigos, e livros.

A pesquisa bibliográfica foi então construída por meio de embasamento teórico para conhecimento de conceitos pertinentes ao assunto tratado para que melhor se identificassem alguns dos processos de recuperação de um cais portuário, sendo este o objeto do estudo presente.

Após embasamento teórico foi realizado um estudo de caso de um cais figurado, afim de melhor esclarecer os conteúdos teóricos abordados por meio de aplicação prática.

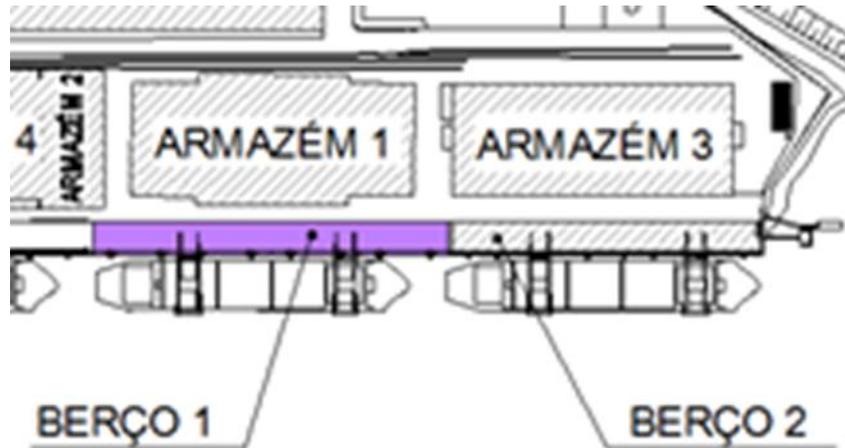
Para a realização do estudo de caso, foram elencadas informações sobre os processos de intervenção aplicados para a recuperação do cais figurado, analisando-se para tanto as inspeções e ensaios na estrutura de concreto armado, documentados no ano de 2014, por meio de relatório técnico, que classificou as patologias encontradas. Para complementar o estudo de caso e o objetivo do trabalho, apresenta-se a metodologia recomendada para a recuperação das estruturas junto com a execução da obra de recuperação estrutural, executada no ano de 2017.

4.1 AMOSTRAGEM

O estudo apresentado gira em torno das condições do Berço 1, com foco principal na superestrutura e na viga de paramento de um cais figurado (Figura 9). Em meados do ano de 2014 foram feitos estudos para análise das condições de

deterioração das estruturas em concreto armado do referido Berço, visando diagnosticar as prováveis causas geradoras das ocorrências patológicas, bem como propor soluções para terapia e adequação. Os estudos foram realizados por empresa projetista e gerenciadora de obras, contratada pela Empresa Operadora.

Figura 9 - Localização da área de estudo.



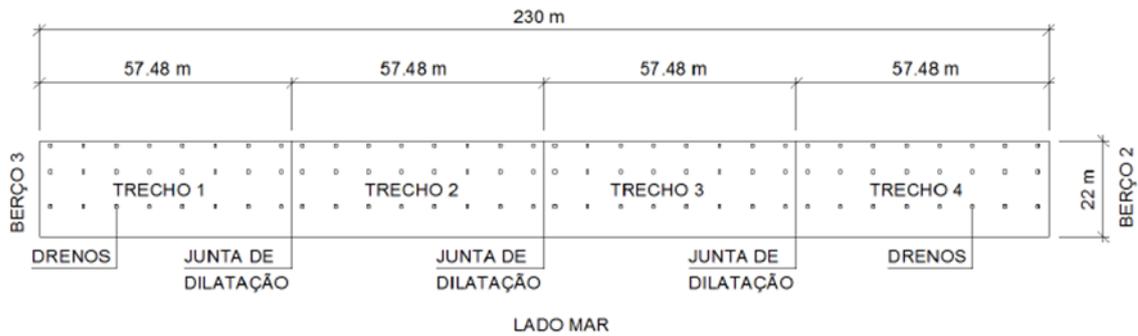
Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Para constituir o diagnóstico da estrutura, procedeu-se a realização de inspeção visual, com identificação, cadastramento e registro fotográfico das patologias, investigações em locais de interesse e ensaios para determinação de propriedades físicas, químicas e mecânicas do concreto.

Uma vez conhecidos os mecanismos de formação e desencadeamento das anomalias, foi possível estabelecer os métodos de intervenção, fundamentado em restituir ou elevar a vida útil prevista em projeto.

A integridade das fundações, bem como a coerência entre a obra efetivamente executada e o projeto não fizeram parte do escopo dos trabalhos de investigação, sendo apenas executadas verificações por amostragem das estacas do Berço em questão. A Figura 10 a seguir ilustra a planta geral do Berço 1 e a posição dos Berços 2 e 3.

Figura 10 - Planta geral do Berço 1 e a posição dos Berços 2 e 3.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

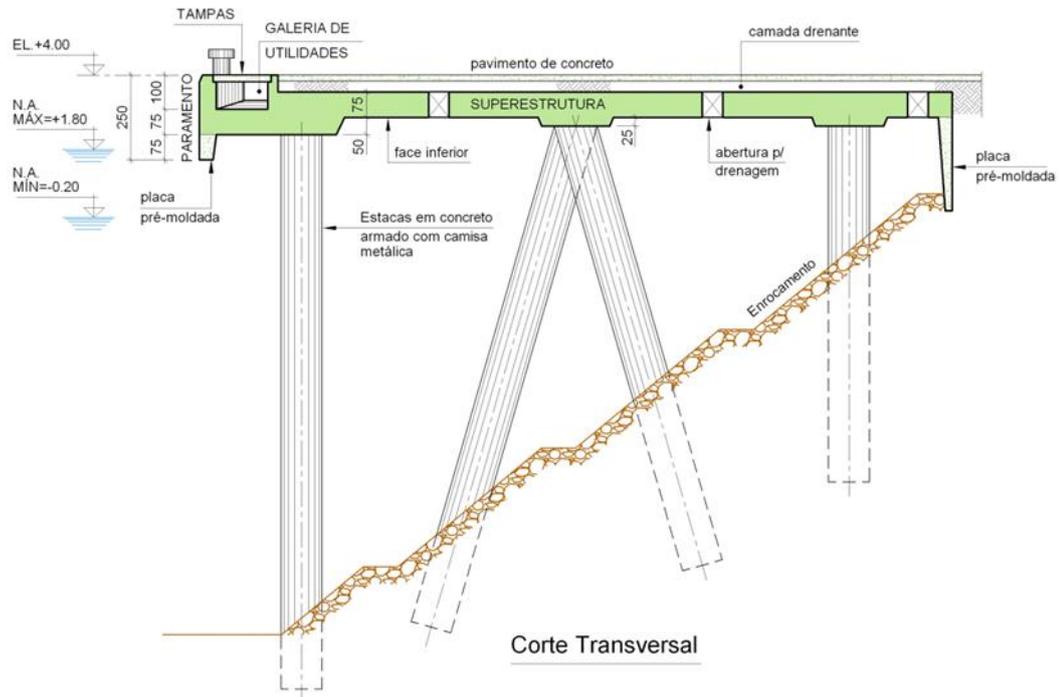
Os dados extraídos do projeto de fôrmas e armação sobre os materiais empregados foram:

- Concreto: resistência à compressão (f_{ck}) igual a 22 MPa (220 kgf/cm²).
- Aço: categoria CA 50A.
- Cobrimento das peças estruturais: 5 cm.

A estrutura da área analisada é dividida em paramento vertical de atracação com defensas marítimas e cabeços de amarração instalados; superestrutura que recebe esforços horizontais de atracação, amarração e esforços verticais atuantes sobre o pavimento de concreto, transmitindo-os às estacas; e galeria de utilidades, destinada à passagem de tubulação. O fechamento da galeria é realizado por meio de tampas de concreto armado.

A Figura 11 ilustra as principais partes da estrutura do Berço 1. Nota-se também que o nível máximo da água não atinge a face inferior da superestrutura, somente as placas pré-moldadas situadas na região inferior do paramento.

Figura 11 - Principais partes da estrutura do Berço 1.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

4.2 COLETA DE DADOS

Os dados coletados foram obtidos por meio de visita técnica com acompanhamento do Engenheiro Civil responsável pela obra. Durante a visita o profissional responsável apresentou alguns conceitos básicos e então deu-se início à investigação da estrutura.

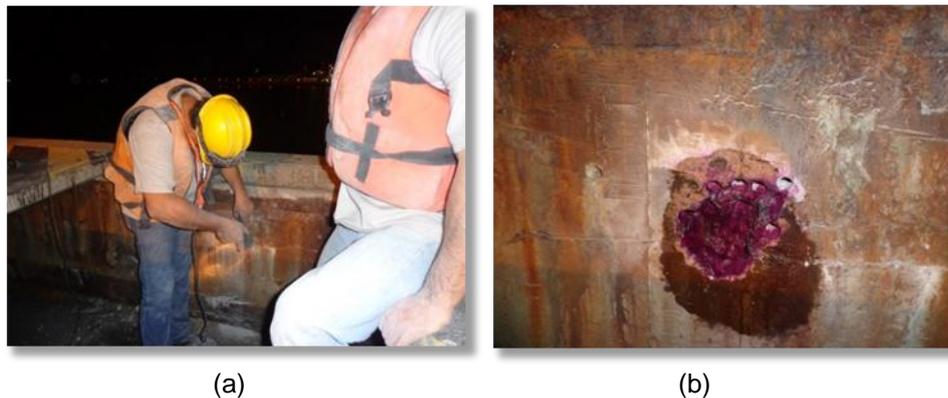
O processo de identificação de irregularidades na estrutura foi realizado por meio de inspeção visual, com identificação, cadastramento e registro fotográfico das patologias, investigações em locais de interesse e ensaios para determinação de propriedades físicas, químicas e mecânicas do concreto.

4.2.1 Verificação de alcalinidade *in loco* (carbonatação)

Segundo a Empresa Operadora (2014) o ensaio de avaliação da profundidade de carbonatação tem por objetivo a verificação *in loco* da espessura ou profundidade de rebaixamento da alcalinidade normal do concreto ou argamassa, que deve situar-se entre o pH 11 e 13.

Os ensaios foram realizados apenas nas paredes das canaletas uma vez que a proximidade e contato das outras peças com o mar, acabam por forjar os resultados obtidos. A verificação (Figura 12 a e 12 b) foi feita mediante abertura de janela de investigação e aplicação de solução de fenolftaleína (solução a 1%), visando determinar a profundidade média na qual ocorre a mudança de coloração do indicador e a faixa de pH do substrato. O indicador pode se apresentar: Incolor em pH inferior a 8,3; rosa a vermelho-carmim para valores de pH entre 8,3 e 9,5; vermelho-carmim para valores de pH superiores a 9,5 (EMPRESA OPERADORA, 2014).

Figura 12 - a) Quebra até exposição da armadura; b) Região após a aplicação de fenolftaleína. Neste caso, a coloração obtida foi vermelho-carmim.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

As principais aplicações práticas deste ensaio são para verificação e/ou orientação quanto à intensidade de prováveis processos de carbonatação instalados; existência de regiões passíveis de processos de oxidação de armaduras; verificar se a queda de alcalinidade do concreto atinge as armaduras ou em qual profundidade se verifica a alteração da alcalinidade normal; orientar locais para realização de ensaios de potencial eletroquímico ou para retirada de amostras laboratoriais para análise química do concreto (EMPRESA OPERADORA, 2014).

4.2.2 Ensaio químicos

A fim de avaliar a presença e os teores de agentes agressivos ao aço, bem como a profundidade de contaminação do concreto, procedeu-se à realização de ensaios químicos laboratoriais em amostras obtidas da estrutura. A obtenção das amostras

do concreto foi realizada por meio de furadeira elétrica nas diversas profundidades de interesse, para retirada de pó do concreto para determinação de contaminantes químicos, como ilustra a Figura 13 (EMPRESA OPERADORA, 2014).

Figura 13 - Obtenção de amostra para realização do ensaio.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

4.2.3 Avaliação de potencial de corrosão

O potencial de corrosão das peças estruturais foram medidos por método não destrutivo, através da utilização de voltímetro de alta impedância, em relação a qual os potenciais foram medidos na superfície do concreto. A magnitude desses potenciais indica as regiões anódicas onde há probabilidade de instalação de processos de corrosão de armaduras (EMPRESA OPERADORA, 2014).

Para realização dos ensaios, as superfícies foram previamente preparadas mediante lixamento com disco abrasivo (Figura 14 a e 14 b) e saturação com água.

Figura 14 - a) Lixamento da superfície aonde será realizado o ensaio; b) Realização de ensaio de potencial de corrosão.



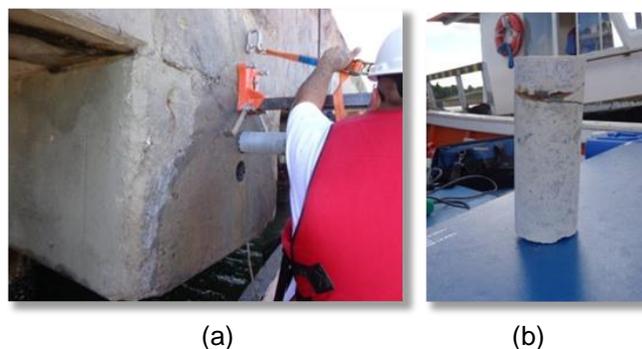
Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

4.2.4 Ensaios de durabilidade

Objetivando avaliar os parâmetros de qualidade dos concretos utilizados, procedeu-se à realização de ensaios de determinação dos índices de vazios, absorção de água e massa específica, conforme determinado na norma NBR 9778.

De acordo com a Empresa Operadora (2014) a durabilidade do concreto pode ser definida como sendo a capacidade que o concreto possui de resistir à ação do tempo, aos ataques químicos, à abrasão ou a qualquer outro agente deletério. A Figura 15 a e 15 b apresenta a retirada de corpo de prova e ilustra corpo de prova para ensaios de durabilidade.

Figura 15 - a) Extração de corpo de prova; b) Corpo de prova para ensaios de durabilidade.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

4.2.5 Investigação

Além dos ensaios acima mencionados, foram realizadas também investigações para análise das barras das armaduras, buscando localiza-las através da utilização de equipamento detector de metal, para medição de espessura da camada de cobertura com auxílio de paquímetro após perfuração do concreto e exposição pontual da armadura.

Nos pontos de investigação, também se avaliou o eventual estágio de corrosão das armaduras, basicamente com relação à perda de seção promovida pelo processo de degradação (EMPRESA OPERADORA, 2014).

4.2.6 Inspeção visual

A inspeção visual realizada no Berço 1, área de estudo, mapeou manifestações patológicas relevantes à elaboração do diagnóstico, tendo como foco a análise prévia da estrutura, identificando patologias visíveis.

4.3 ANÁLISE DE DADOS

Será apresentado abaixo, por meio de tabelas, a análise de dados dos estudos realizados nas estruturas no ano de 2014. Será enfatizado somente a análise de dados das estruturas do paramento e das estruturas da superestrutura, que é o foco do estudo de caso.

4.3.1 Análise da verificação de alcalinidade *in loco* (carbonatação)

O ensaio de carbonatação foi realizado apenas nas paredes das canaletas uma vez que a proximidade e contato das outras peças com o mar, acabam por forjar os resultados obtidos (EMPRESA OPERADORA, 2014).

A Tabela 1 e a Tabela 2 mostram os resultados da verificação da alcalinidade das estruturas do paramento e da superestrutura, respectivamente.

Tabela 1 - Investigações no Paramento.

Investi- gação	Local	Cobrimento (cm)	Condição da armadura
2	Paramento - Trecho 4 - Zona D1e - Superestrutura	3,0	com corrosão moderada, sem perda de seção
3	Paramento - Trecho 4 - Zona D2e - Superestrutura	5,2	com corrosão moderada, sem perda de seção
4	Paramento - Trecho 3 - Zona D4d1 - Pré-moldada	5,8	com corrosão moderada, sem perda de seção
5	Paramento - Trecho 1 - Zona D4d2	5,0	com corrosão moderada, sem perda de seção
8	Paramento - Trecho 1 - Zona D2d - Canaleta	5,3	com corrosão moderada, sem perda de seção
9	Paramento - Trecho 1 - Zona D4d1 - Canaleta	6,1	com corrosão moderada, sem perda de seção
10	Paramento - Trecho 2 - Zona D4d1 - Canaleta	9,2	sem corrosão
11	Paramento - Trecho 2 - Zona D3e - Superestrutura	4,3	com corrosão moderada, sem perda de seção

Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Tabela 2 - Investigações na face inferior da superestrutura.

Investi- gação	Local	Cobriment o (cm)	Condição da armadura
40	1º Engrossamento - Lateral - Trecho 1 - Próximo a 1ª estaca frente mar	4,8	com corrosão moderada, sem perda de seção
44	2ª Laje - Trecho 4 - Próximo divisa com Berço 2	3,5	com corrosão moderada, sem perda de seção
50	1º Engrossamento - Fundo - Trecho 2 Entre 4ª e 5ª desta parte	5,0	com corrosão moderada, sem perda de seção
51	1ª Laje - Trecho 3 - Próximo a Divisa com o Trecho 2	8,0	com corrosão moderada, sem perda de seção
49	Lateral final do Berço - Trecho 4 - Região da 1ª laje	4,4	com corrosão moderada, sem perda de seção

Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

4.3.2 Análise dos ensaios químicos

A Tabela 3 e a Tabela 4 mostram os resultados do ensaio químico realizado no paramento e na superestrutura, respectivamente.

Tabela 3 - Ensaio Químicos no Paramento.

Amostra nº	Local	Profundidade (cm)	Ensaio - Cloreto (%)
4	Paramento - Trecho 4 - Zona	0 a 3	0,07
5		3 a 6	0,01
6	D2e - Superestrutura	6 a 9	0,16
7	Paramento - Trecho 3 - Zona	0 a 3	0,37
8		3 a 6	0,17
9	D4d1 - Pré-moldada	6 a 9	0,22
16	Paramento - Trecho 1 - Zona	0 a 3	0,16
17		3 a 6	0,06
18	D2d - Canaleta	6 a 9	0,01
19	Paramento - Trecho 1 - Zona	0 a 3	0,12
20		3 a 6	0,11
21	D4d1 - Canaleta	6 a 9	<0,01
22	Paramento - Trecho 1 - Zona	0 a 3	0,14
23		3 a 6	0,08
24	D4e1 - Superestrutura	6 a 9	0,02
25	Paramento - Trecho 1 - Zona	0 a 3	0,52
26		3 a 6	0,18
27	D2e - Canaleta	6 a 9	0,18
28	Paramento - Trecho 2 - Zona	0 a 3	0,19
29		3 a 6	0,18
30	D4d1 - Canaleta	6 a 9	0,07
31	Paramento - Trecho 2 - Zona	0 a 3	0,21
32		3 a 6	<0,01
33	D3e - Superestrutura	6 a 9	<0,01

Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Tabela 4 - Ensaios Químicos na Face Inferior da Superestrutura.

Amostra nº	Local	Profundidade (cm)	Ensaio - Cloreto (%)
85	1º Engrossamento - Lateral -	0 a 3	0,37
86	Trecho 1 - Próximo a 1ª estaca	3 a 6	0,17
87	frente mar	6 a 9	0,13
107	2ª laje - Trecho 4 - Próximo	0 a 3	0,16
108	divisa com Berço 2	3 a 6	0,16
109		6 a 9	0,16
124	1º Engrossamento - Fundo -	0 a 3	0,17
125	Trecho 2 Entre 4ª e 5ª desta	3 a 6	0,17
126	parte	6 a 9	0,16
127	1ª Laje - Trecho 3 - Próximo a	0 a 3	0,20
128	Divisa com o Trecho 2	3 a 6	0,29
132	Lateral final do Berço - Trecho 4	0 a 3	0,43
133	- Região da 1ª laje	3 a 6	0,18
134		6 a 9	0,16

Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

De modo geral, todas as amostras avaliadas apresentaram teores de cloretos acima do recomendado (EMPRESA OPERADORA, 2014).

4.3.3 Análise da avaliação de potencial de corrosão

A Tabela 5 e a Tabela 6 mostram os resultados do ensaio de potencial eletroquímico no paramento e na superestrutura, respectivamente.

Tabela 5 - Resultado dos Ensaio de Potencial Eletroquímico do Paramento.

Potencial de Corrosão	Investigação	Local	nº de pontos avaliados	Resultados Obtidos % em relação ao nº de pontos avaliados		
				mais positivo que -200mV 5% de probabilidade de corrosão	-200 a -300mV incerto	mais negativo que -300mV 95% de probabilidade de corrosão
7	9	Paramento - Trecho 1 - Zona D4d1 - Canaleta	36	19	31	50
19	8	Paramento - Trecho 1 - Zona D2d - Canaleta	36	0	0	100
20	5	Paramento - Trecho 1 - Zona D4d2	36	0	0	100
21	11	Paramento - Trecho 2 - Zona D3e - Superestrutu ra	36	0	28	72
22	4	Paramento - Trecho 3 - Zona D4d1 - Pré-moldada Canaleta -	34	0	6	94
38	54	Parede Lado Mar - Ponto 6	12	92	8	0

Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Tabela 6 - Resultado dos ensaios de potencial eletroquímico da face inferior da superestrutura.

Potencial de Corrosão	Investigação	Local	nº de pontos avaliados	Resultados Obtidos % em relação ao nº de pontos avaliados		
				mais positivo que -200mV 5% de probabilidade de corrosão	-200 a -300mV incerto	mais negativo que -300mV 95% de probabilidade de corrosão
		2ª laje - Trecho				
28	44	4 - Próximo divisa com Berço 2 1º	36	0	44	56
		Engrossamento - Lateral -				
29	40	Trecho 1 - Próximo a 1ª estaca frente mar	24	0	71	29
		Lateral final do Berço - Trecho				
31	49	4 - Região da 1ª laje 1º	24	0	83	17
		Engrossamento - Fundo -				
32	50	Trecho 2 Entre 4ª e 5ª desta parte 1ª Laje -	30	0	0	100
		Trecho 3 -				
33	51	Próximo a Divisa com o Trecho 2	36	14	67	19

Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Em resumo, no paramento, observa-se a probabilidade de 95% de ocorrência de corrosão em 78% dos pontos medidos. Já na superfície inferior a probabilidade de 95% de corrosão acontece em 46% dos ensaios, a incerteza atinge 52% dos

ensaios e a probabilidade de 5 % em apenas 2% das amostras (EMPRESA OPERADORA, 2014).

4.3.4 Análise dos ensaios de durabilidade

A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios de durabilidade realizados no paramento do Berço 1.

Tabela 7 - Durabilidade do Concreto do Paramento.

Corpo de Prova nº	Local	Diâmetro (mm)	Resultados				
			Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa Específica (g/cm³)		
					Seca	Saturada	Real
4	Paramento - Trecho 4 - Zona D2e -	100	5,5	12,5	2,26	2,39	2,59
5	Superestrutur a	100	5,6	12,7	2,25	2,38	2,58
7	Paramento - Trecho 3 - Zona D4d1 -	100	4,9	11,4	2,31	2,42	2,61
8	Pré-moldada	100	4,9	11,3	2,33	2,44	2,62
9	Paramento - Trecho 1 - Zona D5 -	100	5,8	13,2	2,28	2,41	2,62
10	Superestrutur a	100	6,4	14,3	2,24	2,38	2,61

Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Os resultados obtidos nos ensaios realizados indicaram que a absorção do concreto em análise apresentou-se satisfatória, podendo classificar os concretos analisados como de boa qualidade. Entretanto, sabe-se que em concretos endurecidos, com a evolução da idade há uma tendência à diminuição da absorção, em decorrência do tamponamento dos poros capilares por compostos e/ou sais hidratados do cimento, bem como pela formação de hidróxido de cálcio em combinação com o ambiente.

A análise dos resultados obtidos indica que os valores de índices de vazios apresentados pelas amostras analisadas apresentaram-se ligeiramente superiores aos considerados para concretos de boa qualidade, com o ensaio mais crítico

apresentando valor de 30% acima do máximo permitido. Os valores de massa específica obtidos nos ensaios realizados podem ser considerados normais para concretos de resistência $f_{ck} = 22,0$ MPa, indicando uma boa compactidade das amostras avaliadas (EMPRESA OPERADORA, 2014).

4.3.5 Resultados da análise da investigação

A estrutura apresentou de forma generalizada a ocorrência de destacamento do concreto de cobrimento (som cavo), e significativa perda de seção das armaduras, da ordem de 10 a 20%, o que é evidenciado inclusive pelos elevados teores de contaminação por cloretos que superam a profundidade das armaduras inseridas (EMPRESA OPERADORA, 2014).

4.3.6 Resultados da análise da inspeção visual

Na inspeção visual identificou-se fissuras em várias direções no concreto, manchas de oxidação, manchas de umidade, fraturas ocasionadas por colisão de embarcações e destacamento do concreto (EMPRESA OPERADORA, 2014).

5 RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UM CAIS FIGURADO

Após a realização dos ensaios, inspeções, investigações e avaliações realizadas na estrutura em análise, foram identificadas diversas patologias abaixo descritas.

5.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

No paramento da área em análise, foram identificadas fraturas em placas pré-moldadas, na face inferior do paramento, como ilustrado pela Figura 16. Acredita-se que o surgimento desta fratura tenha como causa a colisão de embarcação.

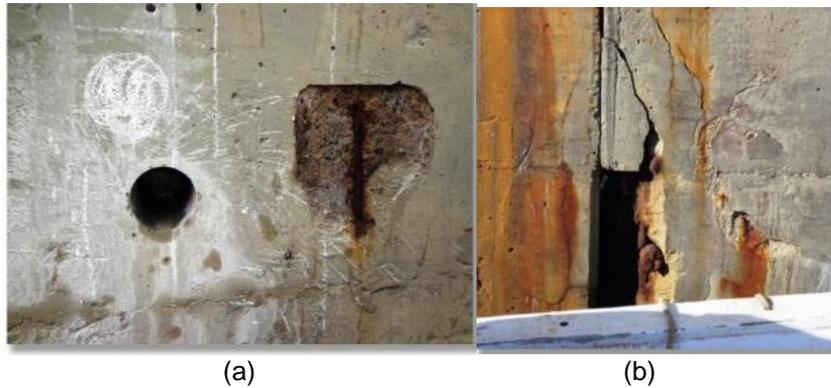
Figura 16 - Fraturas encontradas no paramento da estrutura analisada.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Identificou-se também nesta área o destacamento do revestimento e oxidação das armaduras como ilustrado na Figura 17 a e 17 b, ocorridas tipicamente em arestas das placas pré-moldadas, cantos de nichos e pontos aleatórios.

Figura 17 - a) Destacamento do revestimento de concreto; b) Oxidação das armaduras.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Em toda a face do paramento foram prospectadas com instrumento rijo não contundente, visando delimitar áreas com som cavo, indicativas de futuros destacamentos do concreto de revestimento pelo processo de corrosão das armaduras, como ilustrado na Figura 18 (EMPRESA OPERADORA, 2014).

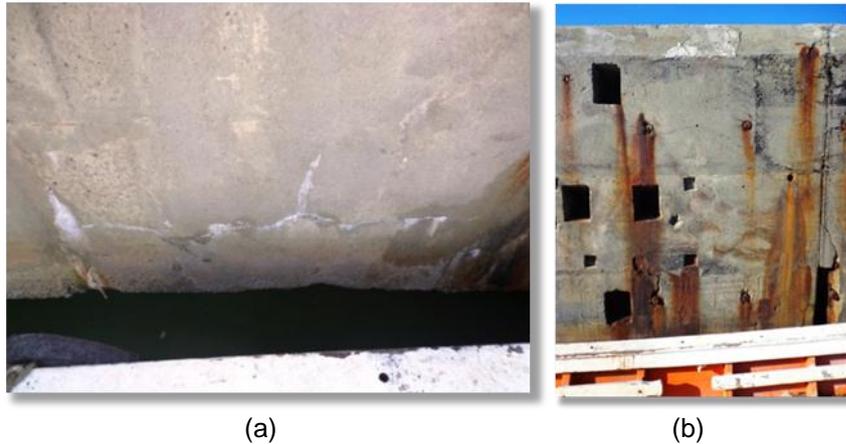
Figura 18 - Área do paramento delimitada com som cavo.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Nesta parte da estrutura foram identificadas ainda manchas de oxidação, manchas esbranquiçadas, e fissuras presentes em diversas regiões, como ilustrado na Figura 19 a e 19 b (EMPRESA OPERADORA, 2014).

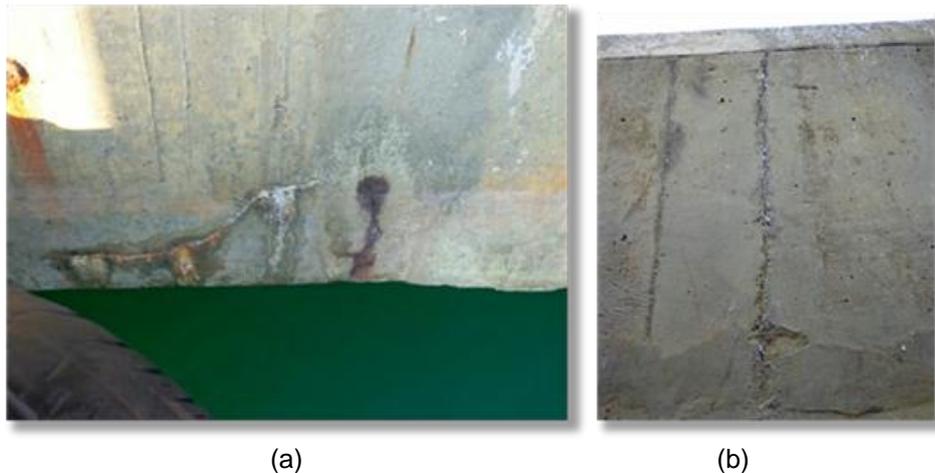
Figura 19 - a) Manchas esbranquiçadas e fissuras; b) Manchas de oxidação.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Foram detectadas fissuras presentes em diversas regiões do paramento, com destaque para fissura apresentando trajetória irregular e fissura vertical, conforme ilustrado na Figura 20 a e 20 b, respectivamente.

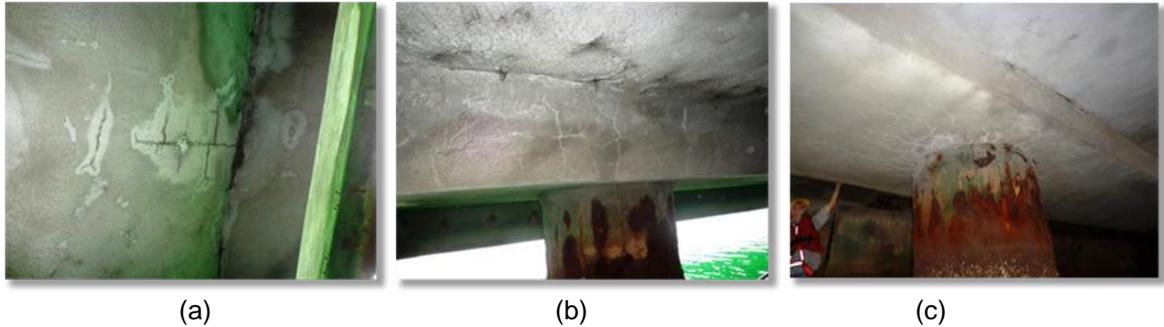
Figura 20 - a) Fissura com trajetória irregular; b) Fissura vertical.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Já na parte da superestrutura foram identificadas fissuras, presentes em diversas regiões como na laje, viga e apoios das estacas; manchas de umidade e manchas de oxidação, sendo estas distribuídas no entorno das aberturas e na face inferior da superestrutura. A Figura 21 a, 21 b e 21 c, mostra fissura de retração na laje, fissura de retração na viga e fissura no apoio das estacas, respectivamente.

Figura 21 - a) Fissura de retração na laje; b) Fissura de retração na viga; c) fissura no apoio das estacas.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Foi identificado também destacamento do concreto de cobertura, armaduras expostas e corroídas, inclusive com perda de seção. Segundo a Empresa Operadora (2014) a face inferior da superestrutura foi prospectada com instrumento rijo não contundente visando delimitar áreas com som cavo. A Figura 22 ilustra a armadura da camada de argamassa projetada corroídas, inclusive com perda de seção.

Figura 22 - Armadura exposta e corroída.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Identificou-se também nesta parte da estrutura analisada juntas com infiltrações e com obstrução com madeira como ilustra Figura 23.

Figura 23 - Junta apresentando infiltrações e obstrução com madeira.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014)

Ainda na superestrutura foram identificadas áreas com retrabalhos da argamassa e concreto projetado (Figura 24), provavelmente realizados quando da execução das obras de intervenção realizadas em situações anteriores, por volta do ano de 1994 à 1995 (EMPRESA OPERADORA, 2014).

Figura 24 - Retrabalhos na argamassa bem executado.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

Na fundação da área em estudo foram identificadas estacas com camisa metálica em estágio avançado de corrosão, contudo as armaduras das estacas apresentam bom estado de conservação.

Na investigação realizada em galeria de utilidades desta área foram realizadas observações em pontos aleatórios onde identificou-se a existência de fissuras, presença de som cavo e corrosão em elementos metálicos.

Quanto às investigações realizadas para verificação de atendimento às solicitações de projetos e normatizações, identificou-se que os cobrimentos das armaduras atendem às especificações de projeto em aproximadamente 70% dos casos, tendo

como caso mais crítico 3,0 cm no paramento do Trecho 4. O paramento apresenta destacamento do concreto e armadura exposta apresentando processo de corrosão com perda de seção em distintos estágios evolutivos. Na face interna do paramento (Figura 25 a), visualmente foi constatado em alguns pontos destacamentos com exposição da armadura sem aparente perda de seção. Na laje (Figura 25 b) notou-se pontos de destacamento e algumas regiões que apresentaram som cavo, e observou-se armaduras em processo de corrosão. As investigações realizadas nessas regiões mostraram armaduras em diferentes estágios de corrosão, desde armaduras com presença de “pites” de oxidação, até locais com barras com perdas de seção da ordem de 40% a 50% (EMPRESA OPERADORA, 2014).

Figura 25 - a) Face interna do paramento com destacamento e armadura exposta; b) Laje apresentando pontos de destacamento e armadura exposta.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA RECUPERAÇÃO DO CAIS EM ESTUDO E EXECUÇÃO DA OBRA

Com base nos estudos realizados por meio de ensaios, investigações técnicas e inspeções identificou-se a necessidade de intervenções pontuais na área de estudo, identificando nesta a ocorrência de grande número de patologias relacionadas à corrosão de armadura, fissuras, destacamentos e manchas de umidade.

Apesar de os estudos terem acontecido em meados do ano de 2014, a execução da obra teve início somente após o ano de 2017, mais precisamente no primeiro trimestre do referido ano.

Fazendo uma breve divisão no que tange às patologias encontradas em cada parte do Berço 1 identificam-se:

- ✓ Paramento: fissuras, som cavo e manchas;
- ✓ Superestrutura: corrosão oculta nas armaduras;
- ✓ Galeria de utilidades: deterioração de concreto, som cavo e armaduras oxidadas;
- ✓ Fundação: estacas com camisa metálica em estágio avançado de corrosão, porém, a armadura e o concreto encontram-se em perfeito estado de conservação, não necessitando intervenção.

5.2.1 Metodologia aplicada na recuperação de fissuras no concreto

As fissuras foram patologias encontradas no paramento do Berço 1 em diversos pontos e devendo ser devidamente tratadas para que se previna a ocorrência de agravamentos nesta ou até mesmo o surgimento de novas patologias.

Para fissuras maiores que 0,20 mm a Empresa Operadora (2014) recomenda a injeção de resina epoxídica. Para a realização desse procedimento faz-se necessário abertura de sulcos com seção triangular ao longo da fissura e execução de furos, com diâmetro igual a 12,7 mm e profundidade de 50 mm, variando de 10 cm a 15 cm de distância entre furos. Após realização dos sulcos e furos, realizar limpeza mediante aplicação de jatos de ar comprimido. Após a limpeza, faz-se calafetação dos sulcos com a utilização de resina epoxídica de consistência pastosa, aplicada com emprego de espátula metálica, pressionando-a no interior dos sulcos.

Para fissuras menores que 0,20 mm a Empresa Operadora (2014) recomenda a aplicação de fluorsilicato de sódio ou zinco (vidro líquido). O líquido realiza penetração por capilaridade até o fundo da fissura e reage com a cal virgem, o que viabiliza a formação do fluorsilicato de cálcio para preenchimento da fissura de dentro para fora. Contudo, para a realização deste procedimento é necessária a realização da limpeza superficial das fissuras e secagem da área circunvizinha. A aplicação do produto deve ser realizada com a utilização de escova ou brocha. Decorridas 24 horas, a operação deve ser repetida.

5.2.2 Metodologia aplicada na recuperação de armaduras

Para o tratamento de áreas que apresentam som cavo e concreto deteriorado, como é o caso da área do paramento e galeria de utilidades, deve-se utilizar processo de recuperação de armaduras expostas e oxidadas.

Segundo a Empresa Operadora (2014), deve-se proceder de forma sequencial, estabelecendo assim um padrão de aplicação do processo de recuperação para as patologias.

De acordo com a Empresa Operadora (2014), para a realização dos serviços no paramento, é necessário a confecção, montagem e instalação de plataforma para realização adequada dos trabalhos de recuperação. A plataforma é fixada a estrutura existente (Figura 26), prevendo os níveis máximo e mínimo da maré, e deve ter fechamentos do fundo e nas laterais, além de se estender por debaixo do paramento para garantir que nada seja lançado ao mar, como entulhos e produtos de corrosão das barras e detritos.

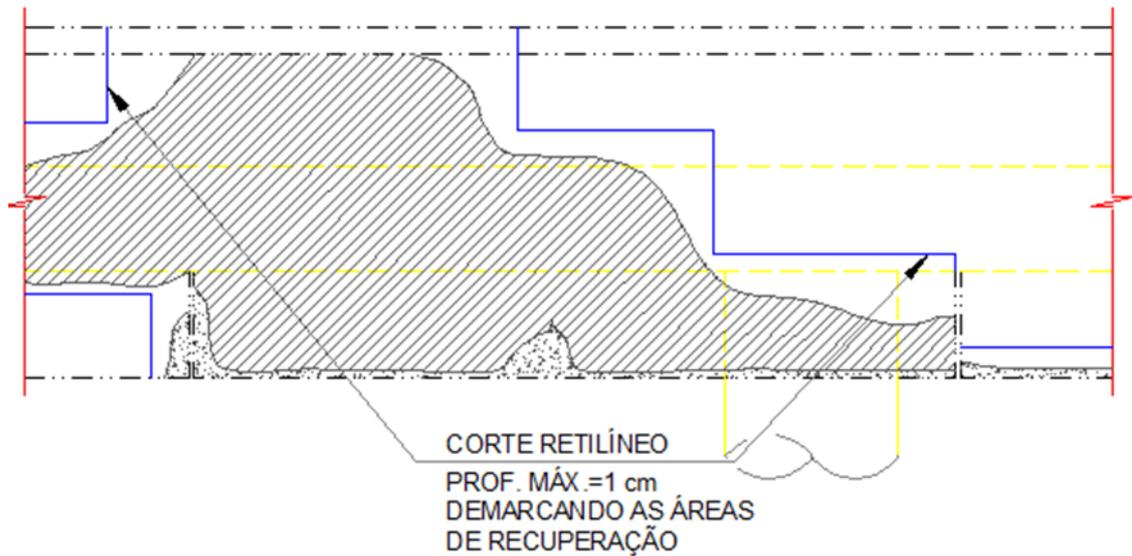
Figura 26 - Plataforma fixada na estrutura existente.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2017).

O procedimento deve ser realizado partindo-se de uma prévia demarcação de limites da área a ser recuperada mediante corte do concreto com profundidade máxima de 1cm e espessura do corte de 6mm. Após esta demarcação deve-se dar início à demolição do concreto não devendo esta ser mais rasa que 10 cm e liberando ao menos 2,5 cm atrás das barras de aço com cuidado para que as armaduras não sejam danificadas. A Figura 27 ilustra parte do projeto de recuperação com demarcação de limites de área a ser recuperada.

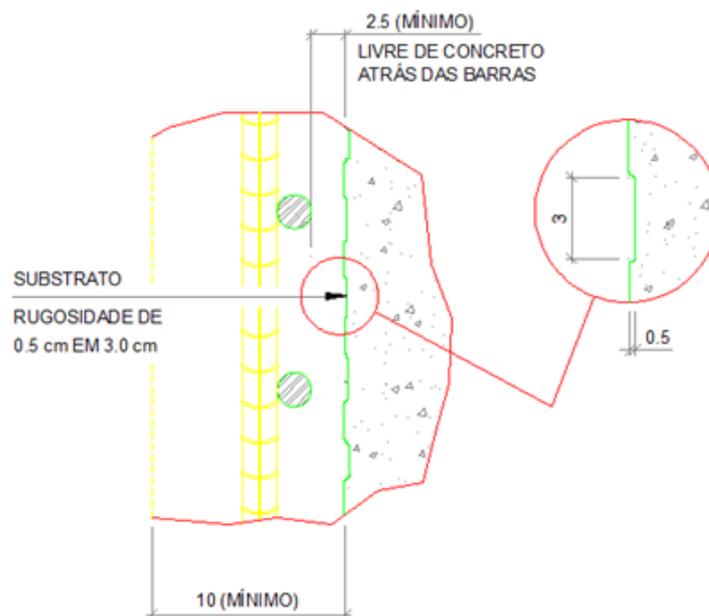
Figura 27 - Parte do projeto de recuperação com demarcação de limites de área a ser recuperada.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

A Figura 28 apresenta parte do projeto de recuperação, com cotas para demolição do concreto. O substrato deverá ser apicoado, tornando-se áspero com rugosidade de 0,5 cm em 3,0 cm. A rugosidade é a relação entre a altura da saliência e a sua extensão.

Figura 28 - Parte do projeto de recuperação, com cotas para demolição do concreto.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

A Figura 29 apresenta parte da viga de paramento em processo de recuperação, com recobrimento demolido conforme recomendações.

Figura 29 - Viga de paramento com recobrimento demolido conforme recomendações.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2017).

Após o processo de demolição deve-se realizar a limpeza das barras da armadura removendo-se os produtos de corrosão através de jateamento de pó de basalto, devendo as barras, após este processo, apresentarem-se com a coloração branca. Deve-se ainda realizar a limpeza das barras para que não permaneçam cobertas de poeira.

A Figura 30 ilustra as armaduras do paramento após jateamento de pó de basalto, jateamento de ar comprimido filtrado (isento de óleos e graxas) e hidrojateamento para remoção dos íons de cloreto da armadura e incrustações de sujeira, feito com água aquecida a 70°C com pressão mínima de 1500 psi.

Figura 30 - Armaduras do paramento após tratadas.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2017).

Realizada a limpeza deve ser avaliada a porcentagem de redução do diâmetro em 100% das barras pelo engenheiro responsável pela execução do processo. Após esta análise deve-se realizar proteção em todas as barras existentes e novas (caso seja necessário inserção de novas barras) mediante pintura da superfície do aço com produto a base de mineral, seguindo rigorosamente as indicações do fabricante. Para aplicação de novo concreto deverão ser montadas formas de madeira compensada e plastificada, devendo estas serem rígidas, com alta estanqueidade e cobertas por desmoldante. O substrato deverá ser saturado com água potável por 24 horas antes da concretagem por meio de molhagem contínua.

A concretagem deverá ser realizada por meio de grauteamento industrializado com adição de pedrisco lavado, preparado conforme instruções do fabricante (EMPRESA OPERADORA, 2014). O adensamento da área concretada deverá ser realizado por meio de percussão com marreta de borracha na face externa da forma.

Após este processo a desforma só poderá ocorrer com no mínimo 24 horas, devendo ser aplicada agente de cura química imediatamente a desforma e, havendo a necessidade de a cura química ser complementada com cura úmida, esta será realizada por 3 dias com utilização de tecidos.

Após 7 dias da concretagem, sobre todas as superfícies recuperadas, dever-se-á aplicar o produto MC Dur 2496 CTP da MC Bauchemie (Pintura a base de Poliuretano modificado de alta resistência química e mecânica), conforme instruções do fabricante (EMPRESA OPERADORA, 2014). A Figura 31 apresenta parte do paramento após receber pintura a base de Poliuretano.

Figura 31 - Pintura a base de Poliuretano modificado de alta resistência química e mecânica em parte do paramento.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2017).

Para a recuperação da face inferior da superestrutura, deve-se realizar a confecção e montagem de plataforma fixa (ancoragem de barras através de furação do concreto e colagem aplicando o sistema adesivo HIT-HY 200R da Hilti) ou flutuante para acesso e execução da obra. A Figura 32 a, mostra a fixação das plataformas, e a Figura 32 b, mostra o modelo das plataformas fixas na face inferior da laje.

Figura 32 - a) Fixação das plataformas; b) Modelo das plataformas fixas na face inferior da laje.



(a)

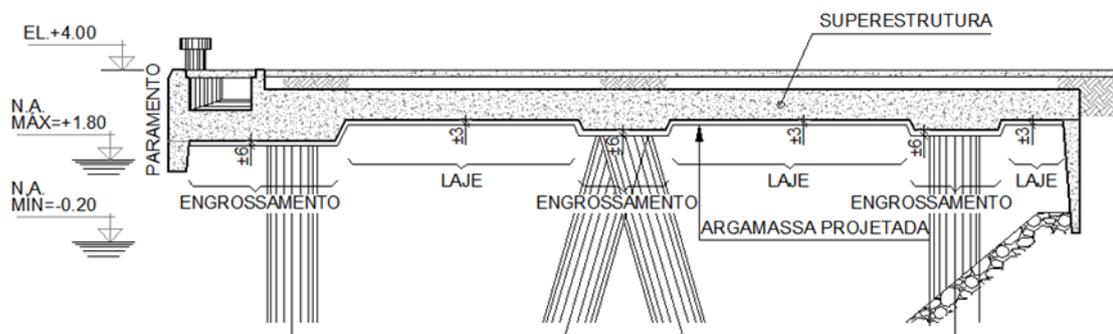
(b)

Fonte: EMPRESA OPERADORA (2017).

A face inferior da superestrutura apresenta de forma pontual ocorrências patológicas relacionadas à corrosão de armaduras. O entorno das aberturas dos drenos e juntas de dilatação também apresentam destacamentos e manchas de umidade.

As regiões da face inferior da laje onde apresentam som cavo e/ou armadura oxidada, recomenda-se proceder com a demolição de toda espessura da argamassa projetada existente (na região a ser tratada) através da utilização de martelo rompedor pneumático ou eletromecânico. A figura 33 mostra os valores médios das espessuras da argamassa projetada existente.

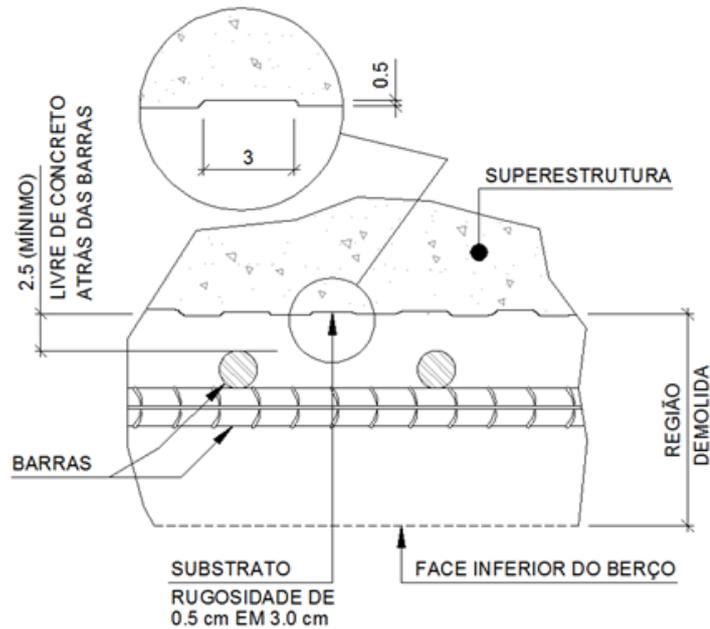
Figura 33 - Corte típico – espessuras médias da argamassa projetada.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

A empresa Operadora recomenda demarcar os limites da área a ser recuperada mediante corte do concreto com profundidade máxima de 1 cm e espessura do corte de 6 mm, utilizando serra dotada de disco diamantado, demolir concreto de cobrimento com a utilização de martelo rompedor pneumático ou eletromecânico, liberando pelo menos 2,5 cm, sem danificar as armaduras (EMPRESA OPERADORA, 2014). A Figura 34 ilustra detalhe típico de demolição do concreto de cobrimento da face inferior da superestrutura.

Figura 34 - Detalhe típico – demolição do concreto de cobrimento da superestrutura.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2014).

A demolição do concreto projetado e da argamassa de recobrimento é apresentada na Figura 35 a, e na Figura 35 b é apresentada armadura após a demolição.

Figura 35 - a) Demolição do concreto projetado e da argamassa de recobrimento; b) Armadura após a demolição.



(a)



(b)

Fonte: EMPRESA OPERADORA (2017).

O procedimento de limpeza das barras é o mesmo adotado para a limpeza das barras da viga de paramento.

Deve ser feita avaliação da porcentagem de redução do diâmetro das barras, dividindo numericamente o diâmetro "D" (trecho íntegro da barra) e o diâmetro "d" (trecho com diâmetro reduzido pela corrosão). Caso d/D for inferior a 0,92,

reconstituir seção da armadura com a colocação de novo trecho de barra, com emendas realizadas por luvas prensadas, transpasse ou ancoragem através de furação e colagem (EMPRESA OPERADORA, 2014).

Segundo a Empresa Operadora, 2014, recomenda-se utilizar o sistema adesivo HIT-HY 200R da Hilti, seguindo rigorosamente as especificações do fabricante, para ancoragem de barras através de furação do concreto e colagem.

Para as armaduras, realizar proteção de todas as barras (existentes e novas) mediante pintura da superfície do aço com o produto Zentrifix KMH da MC Bauchemie (material de base mineral), conforme instruções do fabricante.

Após tratada as armaduras, recompôr cobrimento mediante aplicação de argamassa projetada Zentrifix KM 250 HS da MC Bauchemie, observando a saturação do substrato com mangueira por aspersão de água doce, jatear de 4 a 5 camadas para obter a espessura total, desempenar a argamassa com desempenadeira dentada, entre camadas aplicar ponte de aderência Zentrifix KMH da MC Bauchemie e aplicar agente de cura química (Emcoril AC da MC Bauchemie) conforme instruções do fabricante. A Figura 36 apresenta a execução de argamassa projetada.

Figura 36 - Execução de argamassa projetada.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2017).

Para a injeção de fissuras, proceder a demolição de toda espessura da argamassa projetada existente (na região a ser tratada) e utilizar resina epoxídica, observando a metodologia aplicada na recuperação de fissuras no concreto.

Após feito os reparos, aplicar pintura final de poliuretano especial MC DUR 2496 CTP da MC Bauchemie (utilizar sistema air less) para proteção em toda a área da face inferior da superestrutura do berço (EMPRESA OPERADORA, 2014). A Figura 37 apresenta a face inferior da superestrutura após etapa final, que é a pintura de proteção.

Figura 37 - Pintura de proteção da face inferior da superestrutura.



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2017).

5.2.3 Metodologia aplicada para retirada de manchas no concreto aparente

De acordo com a Empresa Operadora (2014) as manchas de eflorescência que aparecem na superfície de concreto prejudicam unicamente a estética, estas manchas e eflorescência podem ter origem acidental (derramamento de líquido) ou podem ser originadas de defeitos de construção.

Em ambos os casos devem ser investigadas e eliminadas as causas a fim de dar prosseguimento ao tratamento.

O concreto é um material bastante claro, poroso e absorvente e que as vezes reage com substâncias líquidas que entram em contato com sua superfície. O tratamento para retirar as manchas e eflorescência deve ser feito o mais rapidamente possível (EMPRESA OPERADORA, 2014).

Podem ser eliminadas através de tratamento mecânico (polímeros, lixamento) ou químico ou ainda pela combinação dos dois. Em casos raros onde não se consegue eliminar as manchas podem se recobrir as superfícies com vernizes, tintas, etc.

No caso do paramento, as manchas podem ter como causa o depósito de restos de calcita procedente do modo com que a cal do cimento foi dissolvida pela água de impregnação.

De acordo com a Empresa Operadora (2014) estas eflorescências podem marcar eventuais fissuras dos paramentos. As eflorescências desta natureza desaparecem as vezes por si só ou se atenuam com o tempo, sendo possíveis repará-las por escovada com água acidulada seguido de enxague com água doce.

Para manchas muito pronunciadas, limpar o pó com hipoclorito sódico em pó seguido de lavagem. Aplicação de uma pasta absorvente (gesso frio misturado com água) limpando a seguir com água abundante.

7 CONCLUSÃO

O estudo de ações causadoras de patologias em estruturas de um berço de atracação é de grande relevância para que se compreenda os processos de inspeções, ensaios, metodologias de recuperação e execução da obra de recuperação estrutural de um cais, e para que se agregue conhecimentos.

Contudo é imprescindível que o estudante da área perceba a necessidade de conhecimento de toda a caracterização da obra, assim como a destinação de uso da mesma, uma vez que cada tipo de projeto apresenta diferentes cargas atuantes.

Para o caso em estudo, grande parte da incidência das ações está relacionada à ações das embarcações, visto que o cais analisado está destinado a embarque e desembarque de cargas, além de ações como as ambientais e as de carregamento permanente.

Uma boa avaliação estrutural através de métodos e ensaios eficazes, somado ao conhecimento das causas patológicas em estruturas de concreto armado em ambientes marítimos, promovem um bom projeto de recuperação estrutural, e quando este é executado de acordo com as recomendações, alcança-se o objetivo esperado, que é potencializar a vida útil de projeto da estrutura.

A realização da recuperação efetiva de toda área de um cais é indispensável para que as patologias não venham trazer maiores prejuízos e longas paralisações para manutenção.

REFERÊNCIAS

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. **Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. 2. Ed. São Paulo: Blücher, 2009.

COMIN, Cristiano. **Estruturas portuárias: distribuição de esforços na infraestrutura devidos à amarração e atracação de embarcações**. 2015. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Pará, 2015. Disponível em: <<http://www.ppgec.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2015/cristiano.pdf>>. Acesso em 29 set 2017.

DZIEKANIAK, Nelissa Gonçalves. **Remodelação de obras portuárias: fundações em estacas mistas no Porto Novo do Rio Grande**. 2005. 183f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, 2005. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp056810.pdf>>. Acesso em 01 out 2017.

EMPRESA OPERADORA. **Relatório técnico: recomendações para tratamento das estruturas**. 2014.

FANTI, Fábio Dollinger. **Concepção, métodos construtivos e dimensionamento de terminais para contêineres**. 2007. 171f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-14012008-101326/pt-br.php>>. Acesso em 30 set 2017.

JUNIOR, Clémenceau Chiabi Saliba. **Técnicas de recuperação de estruturas de concreto armado sob efeito da corrosão das armaduras**. Artigo (Doutorado em Engenharia de Minas e Metalurgia). 2008. 10f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais. 2008. Disponível em: <http://www.ibapemg.com.br/arquivos/download/19_arquivo.pdf>. Acesso em 11 nov 2017.

LIMA, Telma Cristiane Sasso de; MIOTO, Regina Célia Tamasso. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Rev. Katál**. Florianópolis v. 10 n. esp. p. 37-45 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rk/v10nspe/a0410spe>>. Acesso em 30 set 2017.

MEDINA, Bruno Leite. **Recuperação estrutural de um cais**. 2013. 65f. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007683.pdf>>. Acesso em 30 set 2017.

MASON, Jayme. **Obras portuárias**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1982.

MATTOS, Flávia Costa de. **Estudo de viabilidade de empreendimento sob a ótica da vida útil: o caso sobre a modernização do Porto Novo do Rio Grande – RS.** 2009. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, 2009. Disponível em: <<http://www.engenharioceanica.furg.br/arquivos/mattos,f.c.pdf>>. Acesso em 01 out 2017.

PEREIRA, Márcia de Andrade; LENDZION, Eloá (orgs). **Apostila de sistemas portuários.** Paraná: UFPR/Setor de Tecnologia/Departamento de transportes, Paraná, 2013. Disponível em: <<http://www.dtt.ufpr.br/Sistemas/Arquivos/apostila-sistemas-2013.pdf>>. Acesso em 29 set 2017.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.** 2001. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUDB-8AKG76/sobre_a_recupera__o_e_refor_o_das_estruturas_do_concreto_armado.pdf;sequence=1>. Acesso em 10 nov 2017.

RIBEIRO, Tiago José Teixeira. **Processos de construção e fiscalização de obras portuárias: estudo de caso.** 2011. 245f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com especialização em Construções Cíveis) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto, 2011. Disponível em: <<https://paginas.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MIEC/TiagoRibeiro2011.pdf>>. Acesso em 29 set 2017.

RODRIGUES, Francisco Antônio Cavalheiro Pina Simões. **Modelos de gestão de degradação de infraestruturas portuárias.** 2011. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Técnico, Lisboa, 2011. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143403030/Tese%2056489.pdf>>. Acesso em 01 out 2017.

Dicionário Básico Portuário. 2.Ed. Paraná: APPA, 2010.

SEGAT, Gustavo Tramontina. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS).** 2005. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10139/000521616.pdf>>. Acesso em 10 nov 2017.

SILVA, Gerardo; COCCO, Giuseppe. **Cidades e portos: os espaços da globalização.** Rio de Janeiro: DP&A, 1999.

SILVA, Ricardo Miguel da. **Caracterização de estruturas portuárias: caso de estudo – Ampliação do Terminal XXI, Sines.** 2014. 106f. Relatório de estágio (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Área Departamental de Engenharia Civil, Lisboa, 2014. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/47133826.pdf>>. Acesso em 30 set 2017.

SAHUINCO, Melquiades Hermógenes Choquepuma. **Utilização de métodos não destrutivos e semidestrutivos na avaliação de pontes de concreto.** 2011. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <file:///D:/Downloads/Dissertacao_Melquiades.pdf>. Acesso em 10 dez 2017.

MAZER, Wellington. **Curso de especialização em patologia das construções: Inspeção e ensaios em estruturas de concreto.** Paraná: UFTPR/ Departamento acadêmico de construção civil, 2012. Disponível em: <file:///D:/Downloads/Notas_de_Aula_Ensaio.pdf>. Acesso em 10 dez 2017.

SOUSA, Nuno Miguel Barros de. **Obras marítimas de acostagem: o caso do porto de abrigo da Ilha do Porto Santo.** 2011. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade da Madeira, Funchal, 2011. Disponível em: <<http://digituma.uma.pt/bitstream/10400.13/644/1/MestradoNunoSousa.pdf>>. Acesso em 01 out 2017.

WATZKO, Aires. **Barragens de enrocamento com face de concreto no Brasil.** 2007. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/90140>>. Acesso em 09 nov 2017.