

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DANIEL ANTONIO MASSARIOL**  
**INGRID DELA VALENTINA SIRTOLI**

**ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UM CAIS PORTUÁRIO**  
**COLAPSADO APÓS SWELL**

Aracruz  
2020

DANIEL ANTONIO MASSARIOL  
INGRID DELA VALENTINA SIRTOLI

**ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UM CAIS PORTUÁRIO  
COLAPSADO APÓS SWELL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil das Faculdades  
Integradas de Aracruz, como requisito parcial para  
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Hipólito José da Silva Gonçalves  
Meira

Aracruz  
2020

**DANIEL ANTONIO MASSARIOL  
INGRID DELA VALENTINA SIRTOLI**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

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 2020.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof. Hipólito José da Silva Gonçalves Meira  
Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ  
Orientador

Prof. Evandro José Pinto de Abreu  
Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ

Prof.  
Examinador Convidado

## **DECLARAÇÃO DOS AUTORES**

Declaramos, 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 aos autores.

Aracruz, 14 de dezembro de 2020.

Daniel Antonio Massariol  
Ingrid Dela Valentina Sirtoli

## RESUMO

Portos Marítimos são conhecidos como complexos estruturais localizados à beira de oceanos ou mares. Nessa acepção, cais portuários são imprescindíveis elementos que desempenham um papel fundamental no transporte de cargas e passageiros. Em direção ao desenvolvimento da matriz logística Brasileira, os portos estão direta e estrategicamente ligados à economia por serem meios de escoamento de matérias-primas, produtos e pessoas. Manter tais estruturas em condições ideais de funcionamento é, portanto, primordial para que a movimentação das cargas seja efetuada com o máximo de eficiência pelo modal marítimo. À vista disso, a presente análise objetiva a investigação das ações causadoras do colapso parcial nas estruturas de um cais, localizado na região de Aracruz, bem como a apresentação de inspeções, ensaios, solução do problema, metodologia de recuperação e execução da obra de recuperação estrutural. Para tanto, o estudo bibliográfico se revela fundamental na concessão de conhecimentos norteadores para a construção dos conceitos necessários, a fim de permitir melhor entendimento do assunto a ser tratado. Atrelado a isso, a apresentação de um estudo de caso ilustra de forma clara e concisa todas as concepções abordadas, de modo a identificar o processo de recuperação estrutural de um cais.

Palavras-chave: Portos. Cais. Estruturas. Recuperação

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bacia de Evolução.....	13
Figura 2 - Molhe .....	14
Figura 3 - Abrigo Portuário .....	15
Figura 4 – Quebra-mares .....	16
Figura 5 - Enrocamento.....	20
Figura 6 - Defesa Marítima.....	21
Figura 7 - Elevação de seção transversal de arranjo com núcleo de Geotube .....	25
Figura 8 - Elevação de perfil transversal de revestimento de margem no Rio Pará, no Porto de Vila do Conde (PA).....	27
Figura 9 – Identificação do cais que sofreu ruptura.....	34
Figura 10 - Planta parcial do Berço 102 e a posição dos Berços 103 e Armazém 102. Área Hachurada identifica local de intervenção .....	35
Figura 11 – Prospecções realizadas no piso.....	36
Figura 12 - Inspeções visuais do desabamento .....	36
Figura 13 - Inspeções visuais sob o cais.....	37
Figura 14 – Direção e intensidade média do vento em superfície entre os dias 16 e 25 de julho de 2019.....	39
Figura 15 – Média de pressão ao nível médio do mar no período entre 16 e 19 de julho de 2019 .....	40
Figura 16 – Anomalia de pressão ao nível médio do mar no período entre 16 e 19 de julho de 2019.....	41
Figura 17 – Anomalia de pressão ao nível médio do mar no período entre 20 e 25 de julho de 2019.....	41
Figura 18 – Anomalia de pressão ao nível médio do mar no período entre 20 e 25 de julho de 2019.....	42
Figura 19 – Rajadas de vento registradas entre 00h00 e 23h00 do dia 16 de julho de 2019 na estação automática do INMET em Vitória .....	43
Figura 20 – Rajadas de vento registradas entre 00h00 e 23h00 do dia 17 de julho de 2019 na estação automática do INMET em Vitória .....	43
Figura 21 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 17 de julho de 2019.....	45

Figura 22 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 18 de julho de 2019.....	45
Figura 23 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 19 de julho de 2019.....	46
Figura 24 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 20 de julho de 2019.....	46
Figura 25 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 21 de julho de 2019.....	47
Figura 26 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 22 de julho de 2019.....	47
Figura 27 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 23 de julho de 2019.....	48
Figura 28 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 24 de julho de 2019.....	48
Figura 29 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 25 de julho de 2019.....	49
Figura 30 – Berço de estudo .....	50
Figura 31 – Corte da seção transversal do projeto, editado pelo Autor.....	52
Figura 32 - Dimensões e quantidades de Geobags .....	53
Figura 33 - Detalhe da sequência executiva de instalação do Bolsacreto®.....	54
Figura 34 - Vista frontal a completa instalação do Bolsacreto® .....	54
Figura 35 - Detalhe típico – Amarração do Bolsacreto® .....	55
Figura 36 - Geobags instalados e detalhe da válvula de conexão com o mangote ..	55
Figura 37 - Fotografia tirada durante a obra de recuperação do sistema de drenagem pluvial .....	56
Figura 38 - Caixa de passagem antes da concretagem da laje.....	58
Figura 39 - Sistema de drenagem pluvial após envelopamento da tubulação .....	58
Figura 40 - Tabela de propriedades da manta geotêxtil Bidim RT .....	59
Figura 41 - Principais geossintéticos e suas funções em obras de Engenharia Geotécnica .....	60
Figura 42 - Aplicação da manta geotêxtil RT 21.....	61
Figura 43 - Corte da seção transversal do projeto com detalhe para a recomposição do solo.....	61
Figura 44 - Recomposição das camadas com rochas de granulometria diversas.....	62

Figura 45 - Detalhe das camadas de recomposição do solo.....	63
Figura 46 - Vista parcial da obra durante a recuperação do solo .....	64
Figura 47 - Área de piso em concreto armado .....	65
Figura 48 - Detalhe da barra de transferência no concreto existente.....	66
Figura 49 - Lançamento do concreto magro.....	67
Figura 50 - Trecho da obra coberto com concreto magro .....	67
Figura 51 - Trecho da obra com a armadura montada.....	69
Figura 52 - Detalhe da Junta de Dilatação (JD) .....	70
Figura 53 - Detalhe da Junta Serrada (JS).....	71
Figura 54 - Detalhe da Junta de Construção (JC).....	73
Figura 55 - Fotografia das barras de transferência instaladas no concreto.....	74
Figura 56 - Concretagem do piso do cais.....	75
Figura 57 - Polimento do piso do cais .....	75
Figura 58 - Cura úmida do concreto.....	76
Figura 59 - Tratamento das Juntas .....	77
Figura 60 - Obra finalizada .....	77

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características Das Ondas Capilares e Gravitacionais.....	29
Quadro 2 – Escala de Beaufort .....	44

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1	OBJETIVOS .....	12
1.1.1	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>12</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
2.1	OS PORTOS .....	13
2.2	ESTRUTURA PORTUÁRIA.....	13
2.2.1	<b>Bacia de evolução</b> .....	<b>13</b>
2.2.2	<b>Molhe</b> .....	<b>14</b>
2.2.3	<b>Abrigos</b> .....	<b>14</b>
2.2.4	<b>Quebra-mares</b> .....	<b>15</b>
2.2.4.1	Quebra-mar de talude.....	16
2.2.4.2	Quebra-mar de parede vertical .....	16
2.2.4.3	Quebra-mar misto.....	17
2.2.4.4	Quebra-mar com núcleo de areia ou argila .....	17
2.2.5	<b>Espigões</b> .....	<b>18</b>
2.2.6	<b>Enrocamento</b> .....	<b>19</b>
2.2.7	<b>Defensas</b> .....	<b>20</b>
2.3	CAIS .....	21
2.3.1	<b>Obras de acostagem</b> .....	<b>21</b>
2.3.1.1	Estruturas contínuas.....	22
2.3.1.2	Estruturas discretas .....	22
2.3.1.3	Paramento externo do cais .....	22
2.3.2	<b>Forças atuantes na estrutura de um cais</b> .....	<b>23</b>
2.4	MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS DE CONTENÇÃO COM GEOSSINTÉTICOS .....	24
2.4.1	<b>Geotube</b> .....	<b>24</b>
2.4.2	<b>Bolsacreto</b> .....	<b>25</b>
2.5	AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA DE UM CAIS .....	27
2.5.1	<b>Ações Ambientais</b> .....	<b>27</b>
2.5.2	<b>Swell</b> .....	<b>28</b>
2.5.3	<b>Ventos</b> .....	<b>29</b>

<b>2.5.4</b>	<b>Ondas</b> .....	<b>29</b>
2.5.4.1	Ondas curtas produzidas pelo vento .....	30
2.5.4.2	Ondas de oscilação .....	30
2.5.4.3	Ondas sinusoidais ou harmônicas .....	31
2.5.4.4	Ondas de gravidade .....	31
2.6	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	32
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
3.1	AMOSTRAGEM.....	33
3.2	COLETA DE DADOS.....	35
<b>3.2.1</b>	<b>Investigação</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Inspeção visual</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Relatório das Condições de Tempo e Mar</b> .....	<b>37</b>
3.3	ANÁLISE DE DADOS.....	37
<b>3.3.1</b>	<b>Resultado da Análise da Investigação</b> .....	<b>37</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Resultado da Análise da Inspeção visual</b> .....	<b>37</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Resultado das Condições de Tempo e Mar</b> .....	<b>38</b>
3.3.3.1	Análise Sinótica .....	38
3.3.3.2	Análise dos Campos de Vento e Pressão .....	39
3.3.3.3	Dados Meteorológicos .....	42
3.3.3.4	Condições de Mar.....	44
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>50</b>
4.1	CRONOGRAMA .....	50
<b>4.1.1</b>	<b>Mobilização</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Execução de proteção do talude com Bolsacreto®</b> .....	<b>51</b>
4.1.2.1	Instalação e modelagem do Bolsacreto® .....	52
<b>4.1.3</b>	<b>Restauração do Sistema de Drenagem de Água Pluvial</b> .....	<b>55</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Recuperação do piso do berço 102</b> .....	<b>58</b>
4.1.4.1	Recomposição do Solo.....	59
4.1.4.2	Construção do Piso de Concreto Armado .....	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>78</b>
5.1	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	79
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade portuária é economicamente estratégica, inserida como ponto de destaque dentro de uma matriz logística, em razão de grande parte da produção massiva se escoar por portos.

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, sendo, portanto, concebidos, planejados, executados e controlados dentro de rigorosos padrões técnicos, econômicos, financeiros e de gestão ambiental (SILVA, COCCO, 1999).

A Engenharia Civil visualiza no concreto armado um grande aliado para a construção de elementos constituintes das instalações portuárias. Esse material possui propriedades capazes de atender, com qualidade, a demanda de movimentação de cargas nessas áreas. Entretanto, há que se considerar que a engenharia de estruturas portuárias engloba 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 de tal pressuposto, é fundamental o entendimento da necessidade de um projeto específico e adequado para o desenvolvimento efetivo de estruturas portuárias. Além disso, é imperioso ressaltar que as estruturas portuárias acompanharam o avanço da engenharia deixando de se basear em estruturas de pedra e madeira para serem construídas em concreto armado.

Apesar de apresentar características favoráveis para o uso em estruturas portuárias, o concreto armado sofre maior degradação em ambientes marítimos, devido à alta agressividade ambiental. O cais de um porto sofre também com os esforços solicitantes que se devem, fundamentalmente, às edificações portuárias, equipamentos de movimentação de cargas, movimentação de cargas e passageiros, impacto de atracação das embarcações, empuxos de terra e hidrostáticos, e ação de ventos, ondas e correntes.

Para Fanti (2007), as ondas podem ser grandes agravantes para a estrutura de um cais. Sendo assim, condições de muita agitação de maré ou fenômenos raros de grandes ondulações, como o caso do Fenômeno Swell - assunto que será abordado

com maiores detalhes no decorrer da pesquisa - podem causar grandes impactos nas estruturas.

Devido aos referidos impactos, é de suma importância tratar do tema apresentado, para que se identifiquem as causas de um colapso estrutural e para que se compreenda a metodologia de recuperação e tratamento de berços de atracação.

Existem importantes estruturas no que diz respeito a sua utilidade e valor patrimonial. No que tange aos portos, são um exemplo os berços de atracação de navios, que fazem parte da infraestrutura “chave” de uma companhia em sua operação e, assim, constituem geração de renda.

Objetivando uma correta estruturação do conteúdo apresentado, foram realizadas duas etapas diferentes: a primeira se configura em pesquisa bibliográfica e, a segunda, em estudo de caso referente a uma obra de recuperação estrutural de um cais, localizado na região de Aracruz. Os métodos aplicados se complementam e concretizaram a problemática abordada, tornando o estudo compreensível e conciso.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Elucidar os impactos gerados por fortes ondas, no que tange às manifestações patológicas nas estruturas de cais e talude, atrelado à apresentação do método de recuperação estrutural dos mesmos.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Revisar bibliografias sobre assuntos relacionados a: Estruturas Portuárias e Cais, Materiais Geossintéticos para Proteção de Talude, Ações Atuantes de um Cais e Transporte de Sedimentos;
- Análise da ação causadora do colapso estrutural de um cais;
- Elucidação dos métodos de inspeção e ensaios nas estruturas;
- Apresentação da metodologia adotada para a recuperação estrutural de um cais portuário da região de Aracruz e o processo executivo da obra.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 OS PORTOS

Segundo Falcão, Correia (2012), os portos têm como funções principais o embarque e o desembarque de cargas e de passageiros. Além disso, proporcionam serviços de ancoragem e reparo, e, fornecem abrigo para navios em dias de tempestade. Fundamentais, portanto, para o desenvolvimento industrial, os portos são uma significativa parte da cadeia de transporte, observado, juntamente às suas atribuições, os objetivos relacionados à armazenagem de mercadoria, despachos aduaneiros, reconhecimento de avarias, entre outros.

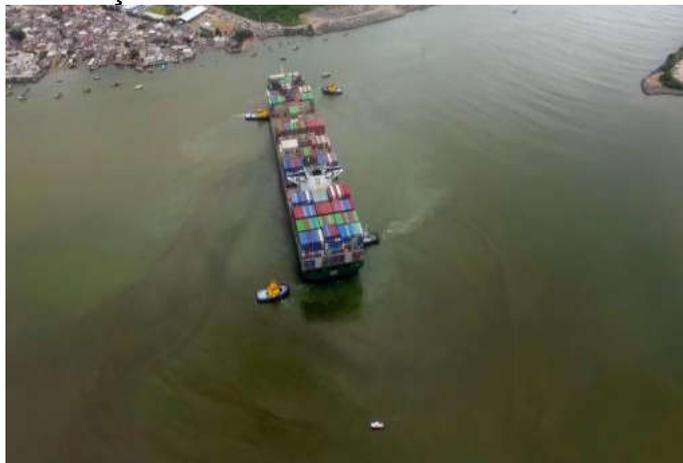
### 2.2 ESTRUTURA PORTUÁRIA

#### 2.2.1 Bacia de evolução

De acordo com a ANTAQ (2009), a bacia de evolução é um local no espaço aquático nas proximidades do cais, dotado de dimensão e profundidade adequadas, para manobrar as embarcações.

A localização de uma bacia de evolução para as manobras de atracação e desatracação deve estar protegida de ondas, fortes correntes e ventos, bem como livre de passagem de dutos e cabos submarinos, ou outras obstruções (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

Figura 1 – Bacia de Evolução



Fonte: MUNICÍPIO DE ITAJAÍ – Site

### 2.2.2 Molhe

Os Molhes são projeções das partes laterais das docas, portos ou rios, ao longo do qual os navios podem acostar para carga ou descarga (DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO, 2010).

Sousa (2011) define os molhes como estruturas estreitas e extensas que tem como objetivo 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.

Figura 2 - Molhe



Fonte: REVISTA DE GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA – Site

### 2.2.3 Abrigos

Condição primordial de proteção das embarcações contra os ventos, ondas e correntes, que seja possível ter acesso à costa (acostagem) visando à movimentação de cargas ou passageiros.

Alfredini e Arasaki (2009) definem que os abrigos são de extrema importância no que tange à proteção das embarcações contra os tipos 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 autores, essa movimentação é possível uma vez que a acostagem provê pontos de amarração para os cabos da embarcação, garantindo movimentos reduzidos e com mínimos esforços de atracação durante a operação portuária.

Conforme Alfredini e Arasaki (2013) a função das obras de abrigo é criar uma área protegida das ondas de gravidade que são geradas pelo vento. As finalidades de implantação referentes às obras de abrigo podem ser:

- Criação de uma bacia portuária. Os quebra-mares (isolados da costa) e molhes (enraizados na costa) abrigam a bacia portuária da agitação ondulatória, enquanto os espigões são obras corta-correntes.
- Proteção do canal de acesso de portos situados em embocaduras costeiras.
- Barreira (1976) sustenta a ideia de que, em termos naturais, a embocadura é considerada como um ponto de descontinuidade da costa, havendo duas ações antagônicas: a do rio e a do mar.

Figura 3 - Abrigo Portuário



Fonte: OCEANING - Repositório Digital

#### **2.2.4 Quebra-mares**

Pereira (2008) explica que quebra-mares são estruturas que exercem funções tais como: guiamento de correntes, estrutura de proteção de defesa de áreas portuárias, pescatórias ou de recreio. Usualmente atuando em condições de agitação marítima, média ou calma, os modelos são diversos, podendo ser emersos, submersos e paralelos, ou, enviesados em relação à costa.

Quanto aos tipos de quebra-mar, destacam-se tipicamente quatro modelos utilizados em áreas portuárias: os de talude, os de parede vertical, os mistos e os de estrutura mista.

Figura 4 – Quebra-mares



Fonte: TV TRIBUNA - FOTO: CARLOS NOGUEIRA

#### 2.2.4.1 Quebra-mar de talude

De acordo com 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.

Do ponto de vista do funcionamento hidráulico, ocorre a dissipação da energia das ondas por turbulência na arrebentação e por atrito sobre o talude e a arrebentação ocorre quando a onda atinge profundidades de 1 a 1,5 vezes a altura da onda. (ALFREDINI; ARASAKI, 2013)

#### 2.2.4.2 Quebra-mar de parede vertical

Alfredini e Arasaki (2013) explica que esse tipo de quebra-mar é formado por uma parede vertical impermeável, constituída por caixões de concreto armado lastreados de areia, blocos maciços de concreto ou estacas-prancha. A sua fundação é constituída por um manto de regularização de enrocamento e o volume da obra é reduzido ao mínimo. A desvantagem é sofrer ruína abrupta se os esforços solicitantes excederem os níveis de projeto. Para a execução, são exigidos equipamentos de construção mais sofisticados e as profundidades máximas de implantação estão em tomo de 15 m.

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”.

#### 2.2.4.3 Quebra-mar misto

Alfredini e Arasaki (2009) elucidam que este quebra-mar é um tipo intermediário aos citados anteriormente, composto por um maciço de enrocamento submerso, sobre o qual é assentada uma parede vertical. Permite estender o quebra-mar de tipo vertical a maiores profundidades ou em terrenos de menor resistência, tais como argilas marinhas moles. Em geral, é de manutenção dispendiosa.

Dependendo da altura da onda e da maré, podem ocorrer os fenômenos de reflexão, arrebatamento ou, ainda, ambos. As ondas são refletidas pela parede vertical nas preamares, mas arrebatam contra a parede ou no talude de enrocamento na baixa-mar (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

#### 2.2.4.4 Quebra-mar com núcleo de areia ou argila

Alfredini e Arasaki (2013) esclarecem que este tipo pode ser utilizado quando a ação das ondas for moderada, quando houver insuficiência de enrocamento, ou, quando o terreno de fundação for pouco resistente e corresponder a uma grande espessura, inviabilizando a sua remoção e substituição.

#### 2.2.4.5 Quebra-mar descontínuo

Consoante Alfredini e Arasaki (2013), o quebra-mar descontínuo pode ser estaqueado ou flutuante (fundado). Tem funcionamento semelhante ao quebra-mar de parede vertical, refletindo as ondas. A transferência de energia das ondas sob a estrutura proporciona somente um abrigo parcial. No caso do flutuante, a oscilação da peça que o constitui transforma-o num gerador de ondas secundárias.

#### 2.2.4.6 Quebra-mar de parede vertical com caixões de parede frontal perfurada

Baseia-se na dissipação da energia das ondas por jatos de alta velocidade gerados pelas ondas incidentes nas perfurações do paramento. A eficiência na dissipação de energia depende das dimensões e do espaçamento dos orifícios, da distância das paredes e separação das células (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

#### 2.2.4.7 Quebra-mar pneumático

De acordo com Alfredini e Arasaki (2013, p. 525) o quebra-mar pneumático “proporciona proteção contra ondas relativamente curtas e consiste na emissão de jatos de ar comprimido (ou líquidos) a partir de um duto assentado no fundo do mar”.

#### 2.2.4.8 Quebra-mar de berma

Alfredini e Arasaki (2013, p. 525) informam que “o quebra-mar de berma consiste numa massa porosa de blocos de enrocamento, com largura suficiente para permitir a dissipação da energia das ondas”. De acordo com o autor, o quebra-mar de berma possui estabilidade maior do que o quebra-mar de talude, pois a grande massa porosa da berma de enrocamento permite a propagação das ondas dentro dela, dissipando mais energia do que no quebra-mar de talude, no qual o fluxo é restrito devido à reduzida permeabilidade da armadura.

### **2.2.5 Espigões**

De acordo com Lyra (2012), os espigões são estruturas perpendiculares a linha costeira que provocam fenômenos de difração que podem permitir o acúmulo de areia a jusante de seu enraizamento. Os espigões podem ser permeáveis ou impermeáveis de acordo com o tipo de núcleo que os constitui.

Conforme Alfredini e Arasaki (2009), os espigões são estruturas posicionadas transversalmente à costa e vão proteger o porto de maneira a impedir a passagem das ondas geradas por correntes.

Para Alfredini e Arasaki (2013), os espigões desempenham funções específicas, como:

- Interceptação de parte ou totalidade do transporte de sedimentos litorâneos por meio de assoreamento;
- Estabilização de praias;
- Alargamento de praias para fins balneários ou reurbanização;
- Complemento de fixação para alimentação artificial das praias.

### **2.2.6 Enrocamento**

Segundo o DER/SP (2007):

O enrocamento é um dispositivo amortecedor formado por estrutura executada em pedra, destinado à proteção de taludes e canais, contra efeitos erosivos ou solapamentos causados pelos fluxos d'água. O enrocamento pode ser de pedra arrumada ou lançada, rejuntadas ou não com argamassa. É utilizado na fundação de galerias e bueiros, ou ainda, caso especificado pela fiscalização, no adensamento dos materiais de fundação, para que venham a apresentar as condições exigidas para fundação de galerias ou canais de concreto.

O enrocamento de pedra é uma estrutura constituída de pedras de mão arrumada, matacões ou por pedras jogadas, sem emprego de aglomerante, que podem ser utilizados na construção de contenções, diques e dissipadores de energia, recuperação de erosões e proteção de taludes e de obras de arte especiais.

A utilização de enrocamento é largamente empregada em obras de recuperação de áreas degradadas, com utilização de enrocamento de pedra, em rodovias, aclives e declives.

Antes da execução do enrocamento, é necessário realizar a limpeza do terreno e escavação, onde a geometria projetada requerer a sua regularização. É importante que a base e os taludes sejam regularizados de maneira que obtenha uma superfície suficientemente plana para a implantação do enrocamento. As escavações devem obedecer às especificações do projeto (DER/SP, 2007).

Figura 5 - Enrocamento



Fonte: OCP NEWS – Site

### 2.2.7 Defensas

Abtrans (2020) definem defensas como “elementos de segurança para instalações portuárias e, também, embarcações marítimas, cuja função é amortecer o impacto resultante do encontro entre um navio (ou barco) e a estrutura de atracação”.

Segundo Alfredini e Arasaki (2009), as defensas ficam localizadas entre as embarcações e as estruturas de acostagem para proteger ambas dos esforços de impacto nas atracações. As defensas têm a finalidade de absorver a energia cinética provenientes da movimentação das embarcações atracadas e nas operações de atracação e desatracação. De acordo com os autores, as defensas elásticas são as mais empregadas.

Leal (2010, p. 3) define que “as defensas marítimas são uma parte integrante e de importância preponderante das instalações portuárias. Os sistemas de defensas constituem a primeira fronteira entre um navio e a estrutura de acostagem”.

Conforme salienta, as defensas podem ser: de madeira, gravíticas, hidráulicas e de borracha. Para definir o tipo de defesa a ser utilizada, deve-se levar em consideração o tipo de estrutura para a qual a mesma se destina, considerando que cada uma possui diferentes características, tornando-se, assim, mais eficazes para uma estrutura do que para outras.

Figura 6 - Defesa Marítima



Fonte: BARBIERI CONSTRUTORA E INCORPORADORA – Site

## 2.3 CAIS

O Dicionário Básico Portuário (2010, p.25), define o cais 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”.

### 2.3.1 Obras de acostagem

A NBR 13209 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p. 1) clarifica as obras de acostagem como:

Estrutura construída no mar, em cursos d'água ou lagos, destinada à amarração e/ou atracação de embarcações para fins de operação de carga e/ou descarga de mercadorias ou embarque e/ou desembarque de pessoas, veículos rodoviários e ferroviários.

As estruturas de acostagem em portos, classificam-se em estruturas contínuas ou estruturas discretas. Esse tipo de classificação utiliza alguns critérios, tais como a localização (marítimas, fluviais, estuarinas ou lacustres), condições de abrigo (protegidas ou em mar aberto), função (carga geral, granéis sólidos ou líquidos e navios cruzeiros), equipamento de carga (Contentores e roll-on/roll-off), mobilidade de

equipamentos (móveis e fixos), necessidade de dragagem e características topobatimétricas (SILVA, 2014).

Quanto à função e finalidade, tem-se o embarque e/ou desembarque de pessoas, veículos rodoviários e ferroviários, operação de carga e/ou descarga de mercadorias, atendimento de embarcações e reparo de embarcações.

De acordo com a ABNT (1994), a obra de acostagem, na configuração de cais, é aderente à margem, em toda a sua extensão, e possui os dispositivos de defensas, amarração e instalações de suprimento às embarcações, bem como, em sua retaguarda, a área para desempenho de sua função e finalidade.

#### 2.3.1.1 Estruturas contínuas

Alfredini e Arasaki (2013) definem que “nas concepções estruturais de obras contínuas, as funções de acesso, suporte de equipamentos, atracação (absorção de choques das embarcações) e amarração das embarcações estão integradas na plataforma principal”. Podendo ser cais de paramento fechado ou aberto.

#### 2.3.1.2 Estruturas discretas

Para as obras em estruturas discretas, os elementos desempenham funções específicas de acostagem, como: acesso, suporte de equipamentos, atracação e amarração. Essas concepções estruturais são frequentes em grandes terminais de minérios em geral, pois garantem maior segurança às obras, onde eventuais danos por acidentes ficam circunscritos a determinadas estruturas e, em razão de reduzirem a envergadura das obras, desde que o equipamento de movimentação de carga e a separação das funções estruturais o permitam, tornando-as vantajosas (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

#### 2.3.1.3 Paramento externo do cais

Consoante a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994, p. 3):

O paramento externo do cais deve ser vertical ou sensivelmente vertical, evitando-se ressalto, salvo quando medidas especiais, devidamente justificadas técnica e economicamente indicarem o uso de dispositivos

descontínuos para amortecimento dos esforços transmitidos pelas embarcações atracadas ou para redução do risco de choque do bulbo de embarcações ou mesmo de seu costado com os elementos construtivos dos cais.

É recomendado pela norma citada acima cais com paramento externo aberto ou, em casos especiais, paramento externo fechado provido de furos ligados às câmaras de compensação de nível d'água, para impedir ou reduzir a reflexão de oscilações d'água.

### **2.3.2 Forças atuantes na estrutura de um cais**

Para Alfredini e Arasaki (2013), o impacto do navio contra a estrutura de atracação transmite parte da energia cinética de seu movimento de aproximação à obra, transformando-se em energia potencial de deformação das defensas e das estruturas, atingindo uma deformação máxima e um esforço correspondente que deve ser absorvido pela estrutura de atracação. Já em uma segunda etapa, anulação da velocidade do navio pelo contato. O restante da energia cinética de aproximação e a restituição elástica da recuperação da deformação das defensas, transmuda-se em mudança na velocidade e diretriz de movimento do navio, rotacionando em torno do ponto de impacto, se a sua rota de colisão for oblíqua à linha de atracação, podendo mesmo ocorrer um segundo impacto no extremo oposto do navio. Nota-se que perdas de energia e dissipações diversas ocorrem neste processo.

As forças de corrente, que devem ser somadas às do vento, são também oriundas do arrasto hidrodinâmico, sendo maiores com o navio carregado, quando as áreas vivas são máximas e a folga sob a quilha (pé do piloto) é mínima. Em áreas sujeitas a marés de amplitude significativa, preponderam as correntes de maré, com as máximas correntes, de enchente e vazante, ocorrendo ligeiramente defasadas com os instantes de meia maré, enquanto as mínimas ocorrem nos estofos de preamar e baixa-mar, também ligeiramente defasados com os instantes da preamar e baixa--mar.

## 2.4 MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS DE CONTENÇÃO COM GEOSSINTÉTICOS

De acordo com Barbosa *apud* Borges (1995) a utilização de geossintéticos, em obras geotécnicas, tem-se difundido cada vez mais. Têm sido utilizados em substituição de materiais de construção tradicionais e como reforço dos materiais naturais, em áreas diversas como as vias de comunicação, as obras hidráulicas, aterros, campos desportivos, estruturas de suporte, taludes, defesa contra a erosão ou túneis.

Segundo Abramento (2002), os geossintéticos constituem um dos mais novos grupos de materiais de construção e são empregados rotineiramente em obras de diversos portes, especialmente na construção pesada. O termo deriva da junção de “geo”, referindo-se a terra, e “sintético”, referindo-se aos materiais poliméricos empregados na sua fabricação.

### 2.4.1 Geotube

Alfredini e Arasaki (2013) definem geotube como:

Uma tecnologia de geocontenção para obras de proteção marítima e de estruturas subaquáticas. Por ser versátil tem sido utilizada nas últimas décadas na criação de núcleo de dunas, aterros hidráulicos, extensão de áreas portuárias, ilhas, molhes, espigões e quebra-mares de variadas dimensões. Constitui-se em tecnologia amigável ambientalmente e que apresenta durabilidade, baixo custo, eficiência, simplicidade de instalação e alta flexibilidade comparativamente a outras soluções.

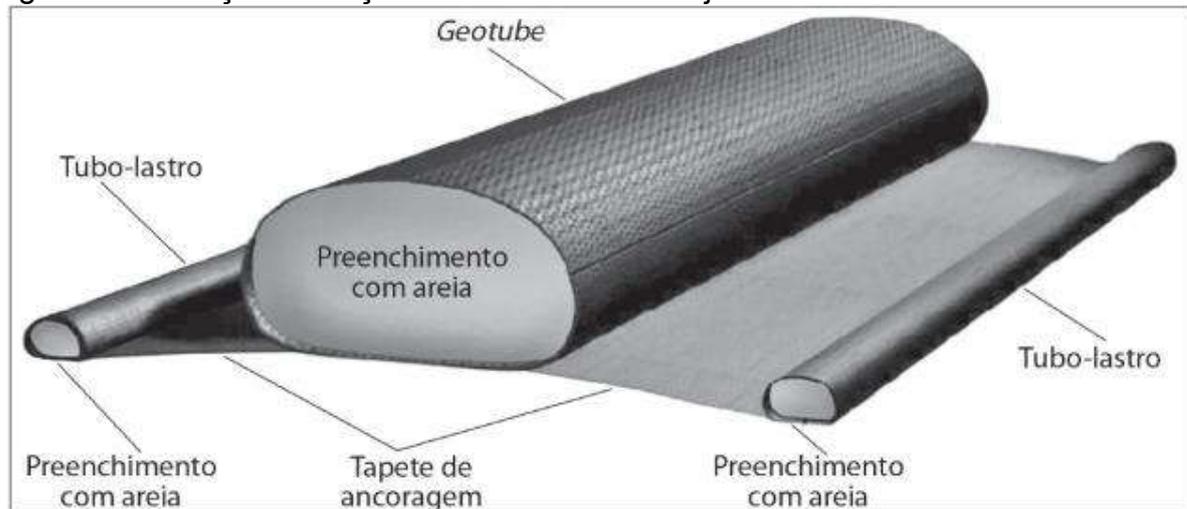
Esta tecnologia consiste em um grande tubo geotêxtil de tecido de polipropileno com alta resistência e, em alguns casos, com mais de 30 metros de comprimento, que na maioria dos casos compõe uma instalação permanente e invisível, mas que, em caso de necessidade, pode ser removida. É uma tecnologia de rápida instalação, sendo muito eficiente em situações de emergência, que requeiram a recuperação de áreas atingidas por tempestades muito fortes, ou erosões fluviais severas. Uma vez instaladas, as unidades Geotube são soterradas, proporcionando uma inclinação suave e natural para o local recuperado (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

Alfredini e Arasaki (2013) relatam:

As unidades Geotube podem ser empilhadas até o atender o necessário, podendo ser cobertas com areia e pedra, ou outro tipo de solo, para recomposição de paisagem o mais natural possível. Assim, podem constituir quebra-mares, molhes, espigões e outras estruturas costeiras e portuárias em áreas com carência de enrocamento por limitação de jazida de rocha.

Em caso de estruturas submersas, pode-se utilizar o Geocontêiner. O mesmo deve ser preenchido antes de ser afundado em batelões tipo splitbarge, costurando-se manualmente o módulo. Ao longo da costura existe um reforço feito com nós de corda.

Figura 7 - Elevação de seção transversal de arranjo com núcleo de Geotube



Fonte: LIVRO ENGENHARIA PORTUÁRIA

#### 2.4.2 Bolsacreto

A definição de bolsacreto pode ser compreendida por uma geofôrma textil, possuindo vários tamanhos padronizados, que são confeccionadas a partir de um tecido de combinações poliméricas. Dessa forma, dá-se a existência de fios de alta tração, que são retorcidos e febrilizados, semipermeáveis para a montagem que deverá ser “in-loco”, podendo ser dentro ou fora d’água, utilizando-se da micro concreto usinado, argamassa de cimento e areia ou solo-cimento injetável. Por tanto, não há necessidade de ensecadeiras, corta-rio ou esgotamentos.

Desse modo, o dispositivo de microfiltração “unifluxo” é quem garante a drenagem do excesso de água da massa (enchimento), sem que haja migração de coloides, isto é, de nata de cimento. Com isso, impede a entrada de água do exterior da forma, garantindo uma qualidade do concreto.

De acordo com Alfredini e Arasaki (2013) a proteção da erosão é obtida a partir de uma técnica onde há uma montagem de sacos plásticos preenchidos com concreto. Essa técnica é denominada bolsacreto. A resistência é obtida após a cura do concreto, sendo que o material plástico se desfaz com o tempo.

Tem como vantagem a possibilidade de ser executado submerso conforme as necessidades, além de poder ser utilizado também para obras como espigões. O bolsacreto é uma geoforma têxtil com várias dimensões padronizadas, confeccionado com tecido de combinações poliméricas, com fios de alta resistência tracionados (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

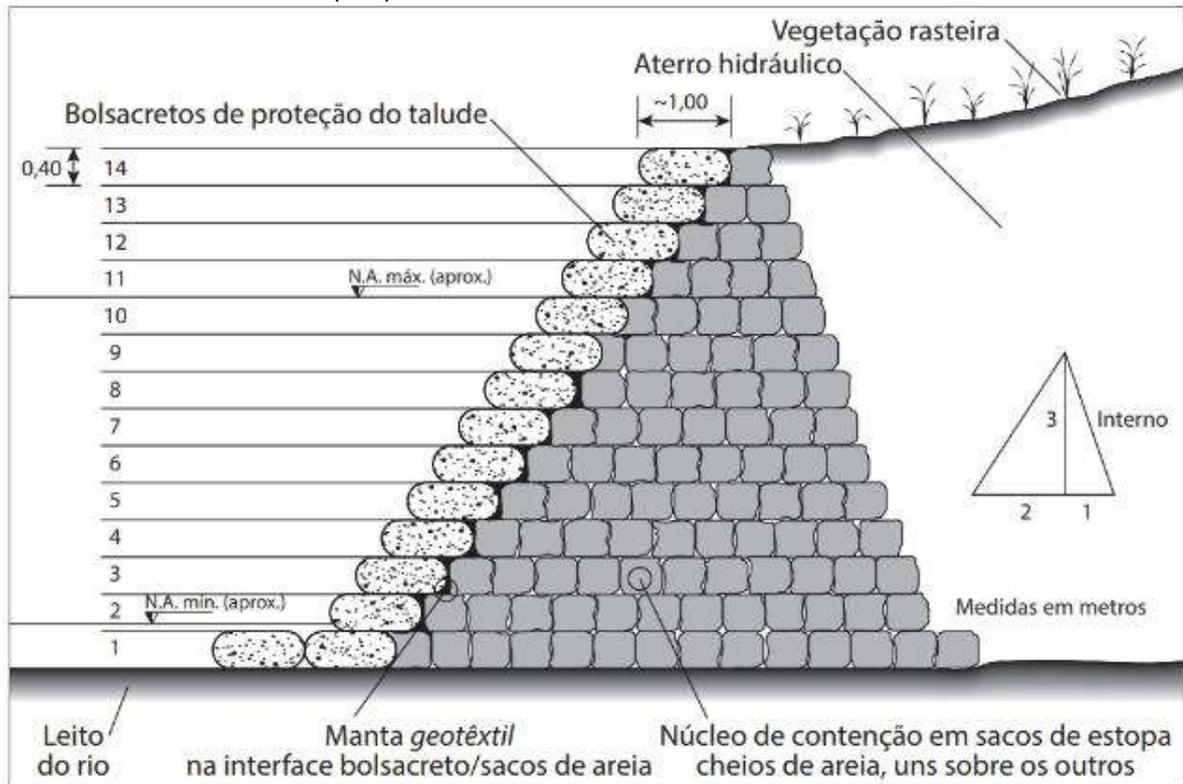
Esses materiais são comumente aplicados em muros acostáveis, encontros de pontes, proteção e contenção de margens e controle da erosão de solos. É uma solução indicada onde há pouca disponibilidade de material lapídeo na região.

Uma variante da bolsacreto é a colchacreto, que é um tecido sintético de combinação polimérica em polipropileno (PP), polipropileno de baixa densidade (PEBD) e plástico (PA), de 1.200 denier 3, retorcidos e fibrilizados (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

Sobre as características Alfredini e Arasaki (2013, p. 896) informam:

Apresenta tensores internos de cabo de PP. Encontra-se articulado, com excelente flexibilidade e facilidade de ajuste em virtude da movimentação do solo, com espessuras de 10 a 25 cm, para solos de baixo valor de suporte, orgânicos e até expansivos; e com tensionamento interno de cabos de PP para espessuras de 20 a 30 cm, com características rígidas para solos com boa capacidade de suporte e estabilidade.

Figura 8 - Elevação de perfil transversal de revestimento de margem no Rio Pará, no Porto de Vila do Conde (PA)



Fonte: LIVRO ENGENHARIA PORTUÁRIA

## 2.5 AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA DE UM CAIS

### 2.5.1 Ações Ambientais

As ações ambientais são consideradas cargas acidentais que podem atingir uma construção, seja pela força da água ou do vento, devendo respeitar o que prescreve a norma ABNT NBR 6118:2014.

As cargas acidentais previstas, correspondem, normalmente, às cargas verticais de uso da construção, assim como as cargas móveis; que consideram o impacto vertical e lateral, a força longitudinal de frenação ou aceleração e Força Centrífuga (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 56).

### 2.5.2 Swell

De acordo com Pereira de Paula (2012), o clima de ondas de uma região é definido e separado pelas características das ondas geradas localmente ou próximas à costa (Wind-sea, vagas) e por ondas geradas distantes à costa ou remotas (swell).

Devido à sua configuração geográfica, parte do litoral do Brasil fica exposto diretamente aos ventos alísios ao norte e ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Duradouras pistas produzem agitação marítima caracterizada por ondas locais, definidas como vagas ou wind-sea, propagando-se predominantemente de leste para o litoral. Outra parte da costa nordestina fica voltada para o hemisfério norte, e é suscetível a receber ondas geradas em áreas distantes do Atlântico Norte. Essas ondas são definidas por marulhos ou swell (MICHELETO, FERREIRA, 2005, p. 367-374).

Silveira (2012) define:

Swell é composto por um conjunto de ondas marítimas de uma única frequência, sendo seus períodos grandes quando comparados com os períodos das ondas produzidas pelos ventos em regiões próximas da costa [...]. Os períodos associados a um swell são da ordem de 15 s, implicando em comprimentos de ondas de centenas de metros. Portanto, um swell se caracteriza por uma ou mais ondas marítimas de comprimento de onda com centenas de metros

As ondas swell são frequentes nos três primeiros meses do ano, com período e altura média de 12s e 0,40m. O regime é de meso-maré com amplitudes de 2,6 m (MORAIS, 2008).

Estas ondas exercem papel preponderante na determinação das feições costeiras e constituindo-se na mais efetiva ameaça às obras costeiras, à segurança da navegação e às operações navais (SILVA, 2011, p. 123-132).

Quadro 1 - Características Das Ondas Capilares e Gravitacionais

	<b>Onda</b>	<b>Período</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>Tipo de Onda*</b>	<b>Forçante</b>
<b>Gravidade</b>	<b>Capilar</b>	< 0,1 s	< 2 cm	profunda - rasa	ventos locais
	<b>Chop</b>	1-10 s	1-10 m	profunda- rasa	vento locais
	<b>Swell</b>	10-30 s	> dezenas m	profunda- rasa	tempestades distantes
	<b>Seiche</b>	10 min- 10 h	> dezenas Km	rasa- intermediária	vento, ressonância de maré
	<b>Tsumani</b>	10-60 min	> dezenas Km	rasa-intermediária	distúrbio submarinos
	<b>Marés</b>	12,4-24,8 h	centenas de Km	rasa	Astronômica

Fonte: GOMES (2003)

### 2.5.3 Ventos

Segundo Leal (2011), o efeito do vento pode ser decomposto em ações estáticas e ações dinâmicas. Como exemplo da ação estática, têm-se a ação do vento. Nesse interim, tem-se as ações dinâmicas que são caracterizadas com variações rápidas de velocidade e de direção, bem como rajadas de vento e tempestades.

Em navios com superestruturas elevadas, o vento é notado com mais facilidade, uma vez que esse é proporcional à área do navio sujeita a essas ações e ao quadrado da sua velocidade. É importante ter nota de que as ações do vento são prejudiciais para as manobras.

Para o planejamento e execução do projeto, Medina (2013) explica que a velocidade do vento a ser considerada é a velocidade média calculada em 10 minutos, medida no local de implantação da estrutura acostável a uma altura de 10 metros. Essa velocidade não pode ser menor do que 20m/s. Para efeito de calculo, os valores das rajadas de vento podem ser reduzidos em 10%.

### 2.5.4 Ondas

De acordo com Gireli (2008), a ação do vento em uma determinada área da superfície do oceano e por um determinado intervalo de tempo é a responsável pela geração das ondas que se vê arrebentar nas praias. Com isso, pode-se dizer que o vento transfere parte da sua energia para a água, que a transporta na forma de ondas.

Quando as ondas formadas atingem regiões onde o vento já não atua, os trens de ondas formados são identificados, entretanto, mesmo assim, existe uma certa

variabilidade nas alturas, períodos e rumos das ondas que é intrínseca ao seu processo de geração. O fato de o vento soprar em rajadas, ou seja, da sua intensidade e sua direção não serem constantes é o que explica as variabilidades observadas nas ondas.

De acordo com Medina (2013), para planejamento e execução dos projetos, os dados referentes às ondas devem ser obtidos em campo, com medições realizadas no local da implantação da obra. Segundo a NBR 9782, esses dados devem compreender a direção, o período, a altura significativa e a altura máxima da onda. As ondas a serem adotadas para definir as ações sobre as estruturas são denominadas ondas de projeto. Essa onda de projeto não pode ter o período de recorrência menor do que o da expectativa da vida útil da obra, sendo no mínimo de 50 anos.

#### 2.5.4.1 Ondas curtas produzidas pelo vento

De acordo com o CSIC (*Consejo Superior de Investigaciones Científicas*) ondas curtas nos oceanos são ondas geradas pelo vento. Elas são divididas em dois grupos: vagas e ondulação (em inglês "sea" e "swell"). As vagas incluem todas as ondas formadas pelos ventos locais, enquanto a ondulação se refere a ondas geradas em campos de ventos distantes.

De acordo com Alfredini e Arasaki (2013) as ondas podem ser geradas por efeito de ventos locais soprando sobre o mar em certa pista de sopro (fetch) em um determinado período de tempo. Os efeitos das ondas de superfície são fundamentais para o projeto de obras marítimas e lacustres, como portos, vias navegáveis, defesa dos litorais e de margens, obras offshore e na Engenharia Naval.

#### 2.5.4.2 Ondas de oscilação

Alfredine e Arasaki (2013) definem que as ondas de oscilação “são movimentos periódicos cuja propagação não envolve grande deslocamento de massas líquidas de sua posição inicial por ocasião de sua passagem”.

Segundo Alfredine e Arasaki (2013, p. 101):

As teorias formuladas para descrever analiticamente o mecanismo das ondas de oscilação são baseadas em ondas simples descritas por funções matemáticas elementares que podem ser usadas para descrever o

movimento das ondas. Para muitas situações práticas, essas formulações simplificadas fornecem previsões confiáveis para as aplicações em Engenharia.

O autor menciona ainda que, a agitação das ondas de oscilação, desempenha ação dominante em movimentar os sedimentos do fundo das áreas costeiras, bem como origina as correntes de arrebentação longitudinais, transversais e nas velocidades de transporte de massa, as quais transportam os sedimentos.

#### 2.5.4.3 Ondas sinusoidais ou harmônicas

Alfredini e Arasaki (2013, p. 101) definem:

Ondas sinusoidais ou harmônicas são ondas simples cujo perfil superficial pode ser descrito por uma única função seno ou cosseno. Elas são periódicas porque o seu movimento e o seu perfil superficial são recorrentes em iguais intervalos de tempo, definindo o período.

#### 2.5.4.4 Ondas de gravidade

São denominadas ondas de gravidade porque a principal força restauradora é a da gravidade, ou seja, a força que tenta restabelecer o estado de equilíbrio em repouso da superfície da água. Esse tipo de ondas apresenta uma grande quantidade de energia a ela associada (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

De acordo com Alfredine e Arasaki (2013, p. 102):

As ondas de gravidade podem ser subdivididas em vagas e ondulações. As primeiras são denominadas ondas de crista curta por conta das interseções de ondas que se propagam em diferentes rumos, e são usualmente compostas por ondas mais esbeltas (sua esbelteza ou encurvamento – relação entre a altura e o comprimento de onda – é maior) com períodos e comprimentos de ondas mais curtos e superfície d'água muito mais perturbada pela ação direta do vento. E as ondulações são denominadas de ondas longas e são muito mais regulares, pois não estão sujeitas à ação intensa do vento.

Segundo o autor, essas ondas possuem períodos de 1 a 30 s – com frequência maior de 5 a 15 s –, pois são normalmente as mais importantes nos estudos de Hidráulica Marítima e de grandes lagos.

## 2.6 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Notando o ponto de vista da Engenharia Costeira, o estudo da dinâmica dos sedimentos é de grande importância para a solução de problemas práticos relevantes, como o assoreamento de bacias portuárias e as erosões de praias em áreas de elevado valor social e/ou econômico. Por volta de 50 anos atrás, a maioria das obras costeiras era feita por tentativas, em razão da insuficiência do conhecimento relativo à mecânica dos processos litorâneos (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

Os processos litorâneos ligados à morfologia costeira e do fundo do mar, resultam da combinação de forças naturais (ligadas a ondas, correntes, ventos e tectônicas) e antrópicas (ligadas à ação humana, principalmente em obras de Engenharia Costeira) nas formações geológicas expostas. Frequentemente a costa é formada por material arenoso, que responde de modo bem rápido a estas ações por meio do fenômeno de transporte de sedimentos.

A contínua ação dos movimentos do mar sobre a costa, que determina o clima de ondas e a intensidade e direção das correntes, quando avaliado na escala de tempo, varia de segundos até milênios.

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho baseia-se em pesquisa qualitativa de caráter exploratório, com intuito de identificar as patologias geradas após uma ação de força natural incomum em um cais portuário, apontando, também, métodos de recuperação a serem aplicados.

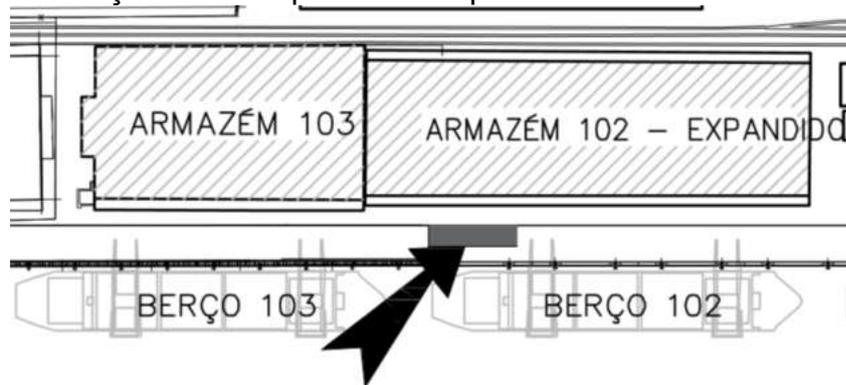
Posto isto, para a elaboração de uma produção mais adequada, a pesquisa fora desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, sendo, ambos, dois diferentes métodos empregados, complementares entre si.

Após a pesquisa conceitual, foi realizado um estudo de caso de um cais da região de Aracruz, com a finalidade de elucidar os conteúdos abordados por intermédio de aplicação prática. Nesse estudo, foi possível obter informações sobre os processos de intervenção aplicados para a recuperação estrutural desse cais, analisando-se os impactos gerados pelas ações de maré ao longo do tempo, inspeções e ensaios realizados. Para complementar o estudo de caso e o objetivo do trabalho, apresenta-se a metodologia recomendada da recuperação da estrutura atrelada a execução da obra de recuperação estrutural, executada entre os anos 2019 e 2020.

#### 3.1 AMOSTRAGEM

O trabalho apresentado gira em torno da análise de recuperação de parte da estrutura do Berço 102 de um porto localizado na região de Aracruz, mais precisamente, na superestrutura e no aterro sob o cais (Figura 9). Em meados do ano de 2019, após o colapso, foram feitos estudos para avaliação das condições em que o berço se encontrava, considerando o aterro, a proteção do talude e o piso em concreto armado, bem como a metodologia para a recuperação destes elementos. Os estudos foram realizados por empresa projetista e gerenciadora de obras, contratada pela Empresa Operadora.

Figura 9 – Identificação do cais que sofreu ruptura



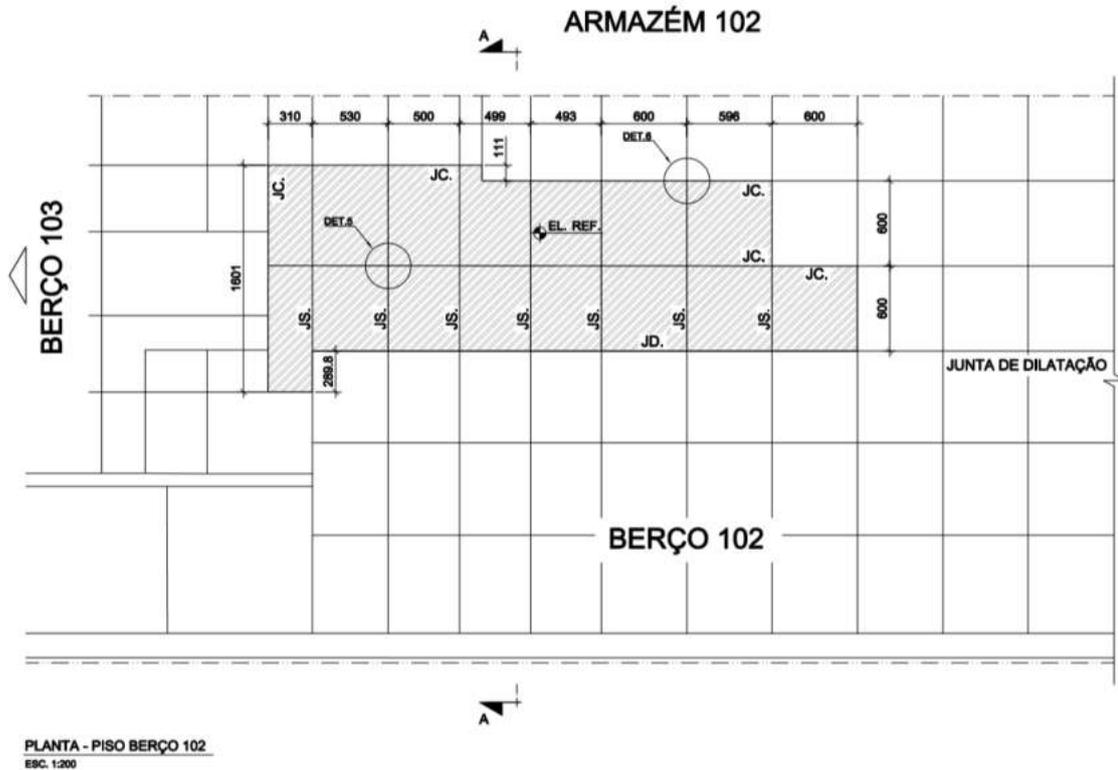
Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

Para constituir o diagnóstico da estrutura, procedeu-se a realização de inspeção visual superior e inferior do berço, além de prospecções (furos localizados nas placas de concreto) de forma a mapear a extensão da área afetada junto as placas colapsadas. A identificação das causas foi descrita por peritos e especialistas de empresas contratadas, junto com os registros fotográficos das patologias e investigações em locais de interesse.

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

A Figura 10 ilustra a planta parcial do Berço 102, a posição do Berço 103 e do Armazém 102. Nesse exemplo, identifica-se as dimensões das áreas a serem reconstituídas.

Figura 10 - Planta parcial do Berço 102 e a posição dos Berços 103 e Armazém 102. Área Hachurada identifica local de intervenção



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

A área analisada foi dividida em “pavimento apoiado sobre solo” e “pavimento apoiado sobre estrutura”. Na primeira seção, encontra-se o 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. Já na outra parte, identifica-se o aterro que recebe as cargas da superestrutura diretamente apoiada.

### 3.2 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 às investigações.

O processo de identificação da reação das estruturas em sucessão ao evento climático foi realizado recorrendo a inspeção visual acima e abaixo do berço, prospecções (furos localizados nas placas de concreto) para mapeamento da extensão da área afetada e registros fotográficos das anomalias encontradas.

Figura 11 – Prospecções realizadas no piso



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

### 3.2.1 Investigação

Foram realizadas prospecções no piso (furos), a fim de possibilitar uma investigação do ocorrido. Esse trabalho teve como objetivo encontrar “vazios” sob o concreto, bem como mapear a extensão da área afetada (placas colapsadas).

### 3.2.2 Inspeção visual

A inspeção visual realizada no Berço 102, área de estudo, mapeou manifestações patológicas relevantes à elaboração do diagnóstico, tendo como foco a análise prévia da estrutura, identificando patogenias visíveis.

Figura 12 - Inspeções visuais do desabamento



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

Na Figura 13 é possível identificar o ponto de escorregamento de camada de rocha de proteção do talude.

Figura 13 - Inspeções visuais sob o cais



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

### **3.2.3 Relatório das Condições de Tempo e Mar**

Foram analisados os dados de um relatório das condições meteoceanográficas datadas entre 16 e 25 de julho de 2019, semana em que ocorreu o colapso. O relatório foi emitido por uma empresa especializada em meteorologia contratada pela empresa operadora. Através deste, foi possível obter dados referentes a: análise sinótica da semana em questão, análise dos campos de vento e pressão, dados meteorológicos e condições do mar.

## **3.3 ANÁLISE DE DADOS**

Serão apresentados nos itens 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3 as análises dos estudos realizados nas estruturas do berço de atracação no ano de 2019.

### **3.3.1 Resultado da Análise da Investigação**

A investigação por prospecção identificou erosão na parte inferior do pavimento de concreto, e mapeou uma área necessária para recomposição das camadas de solo de aproximadamente 2.200m<sup>2</sup> (EMPRESA OPERADORA, 2019).

### **3.3.2 Resultado da Análise da Inspeção visual**

Na inspeção visual observou-se o carreamento da camada de rocha de proteção da margem e solo em diversos pontos ao longo do Berço 102 causados pela ação direta das ondas. Após a erosão desse solo de suporte, a patologia evoluiu para o colapso e desabamento de um trecho do pavimento de concreto (EMPRESA OPERADORA, 2019).

### **3.3.3 Resultado das Condições de Tempo e Mar**

As informações contidas no relatório são de significativa relevância para investigar a origem do problema abordado.

#### **3.3.3.1 Análise Sinótica**

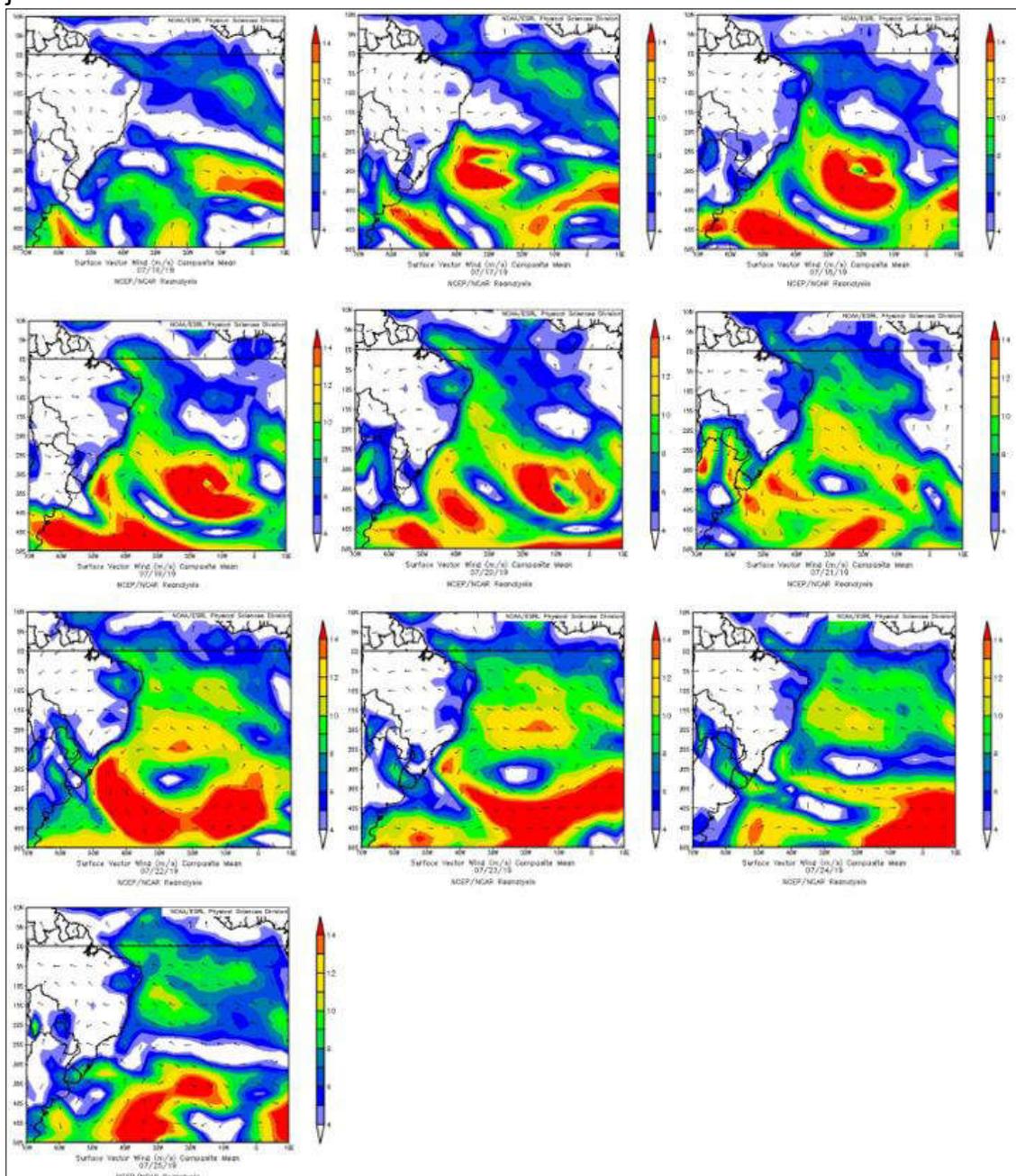
De acordo com o estudo, são retratadas evidências de forte agitação marítima entre os dias 16 e 25 de julho de 2019, a seguir, será apresentado uma linha do tempo destacando os acontecimentos desta semana:

- 16 de julho - Uma frente fria associada a um ciclone avançava pela costa da região sudeste do Brasil;
- 17 de julho - a frente fria já se encontrava no sul da Bahia e um forte anticiclone (sistema de alta pressão) com centro de 1038 hPa na retaguarda da frente;
- 18 de julho - a frente fria associada ao ciclone se encontrava na altura do Recôncavo Baiano, com a alta pressão em sua retaguarda com centro de 1042hPa;
- 19 de julho - a frente fria começou a se afastar da costa brasileira e o anticiclone começou a predominar as condições meteorológicas da região.
- Entre os dias 20 e 22 de julho - o sistema de alta pressão com centro de 1038hPa no oceano era plotado na carta sinótica da Marinha do Brasil;
- A partir do dia 23 de julho - o sistema de alta pressão começou a se desintensificar e seu centro a se deslocar para o leste.
- 24 de julho - ainda era possível observar na carta sinótica o centro do sistema de alta pressão com centro de 1030hPa sobre o Atlântico Sul na altura da costa do sudeste do Brasil.
- 25 de julho - o anticiclone já se encontrava desfigurado.

### 3.3.3.2 Análise dos Campos de Vento e Pressão

Para analisar os campos de vento e pressão durante o período de 16 a 25 de julho de 2019 foram utilizados os dados de reanálise do NCEP/NCAR. Essa reanálise disponibiliza dados globais, produzidos através de assimilação de dados e modelos matemáticos, com resolução espacial de aproximadamente 210 km (Kalnay et al., 1996).

Figura 14 – Direção e intensidade média do vento em superfície entre os dias 16 e 25 de julho de 2019



FONTE: NCEP/NCAR

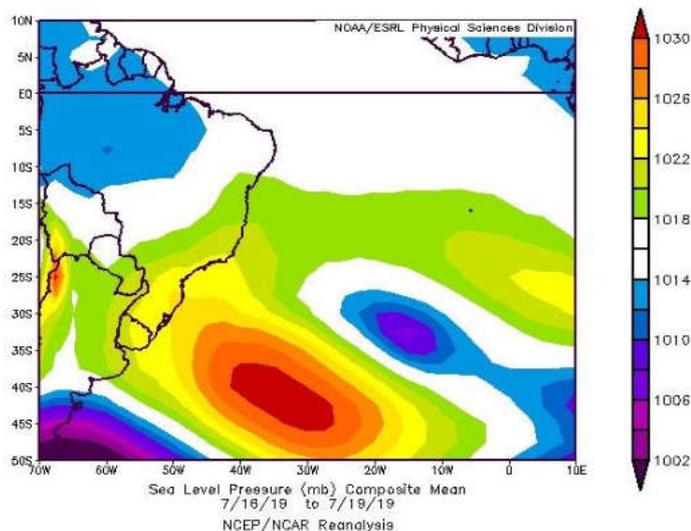
Observa-se nos mapas da Figura 14, uma intensificação dos ventos na costa do Brasil no campo de direção e intensidade média do vento do dia 17 de julho (Figura 2), associado ao ciclone sobre a região (ventos em sentido horário), concordando com a situação sinótica registrada na carta sinótica da Marinha do Brasil no período.

Entre os dias 18 e 20 de julho (Figuras 3, 4 e 5), visualiza-se o deslocamento do sistema de baixa pressão para leste e a intensidade média do vento de 14 m/s ou superior (50,4 km/h ou acima) sobre o Atlântico Sul, favorecendo a formação de uma pista de ventos que origina agitação marítima.

Nos mapas dos dias 21, 22 e 23 de julho (Figuras 6, 7 e 8), é possível acompanhar o estabelecimento do sistema de alta pressão sobre o Atlântico Sul (com circulação dos ventos em sentido anti-horário), com pista de vento sobre o oceano entre 30°S e 10°S variando entre 12 e 14 m/s (entre 43,2 km/h e 50,4 km/h), mantendo a pista de ventos sobre o mar. Nos dias 24 e 25 de julho (Figuras 9 e 10) observa-se a diminuição da intensidade do vento sobre a região.

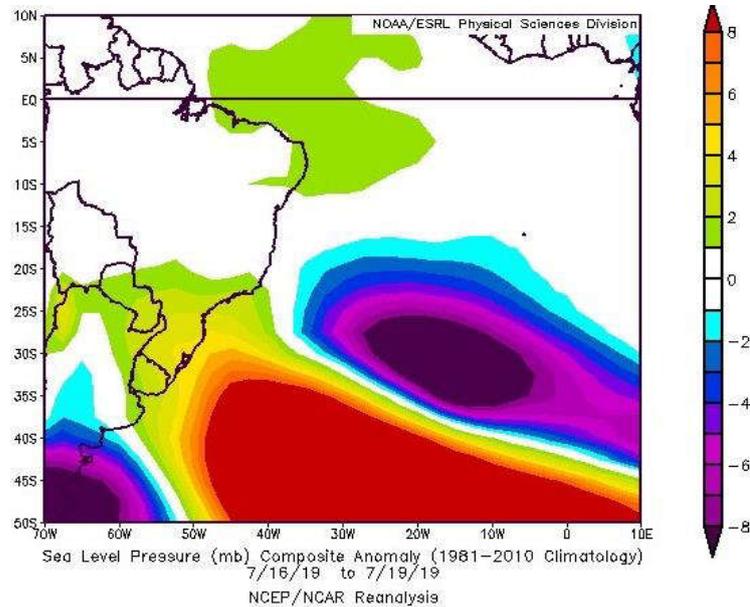
Nas Figuras 15 e 16 são apresentadas a média e a anomalia, respectivamente, da pressão ao nível médio do mar no período entre 16 e 19 de julho. A anomalia é feita com base na média do período entre os anos de 1981 e 2010. Observa-se a presença de um intenso gradiente de pressão (diferença entre áreas de alta e baixa pressão de pelo menos 20 mb) sobre o oceano durante o período, responsável pelos ventos intensos que provocam agitação marítima.

Figura 15 – Média de pressão ao nível médio do mar no período entre 16 e 19 de julho de 2019



FONTE: NCEP/NCAR

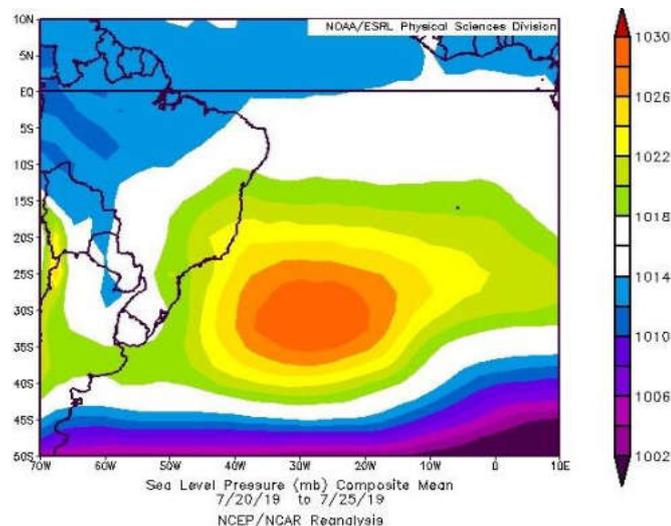
Figura 16 – Anomalia de pressão ao nível médio do mar no período entre 16 e 19 de julho de 2019



FONTE: NCEP/NCAR

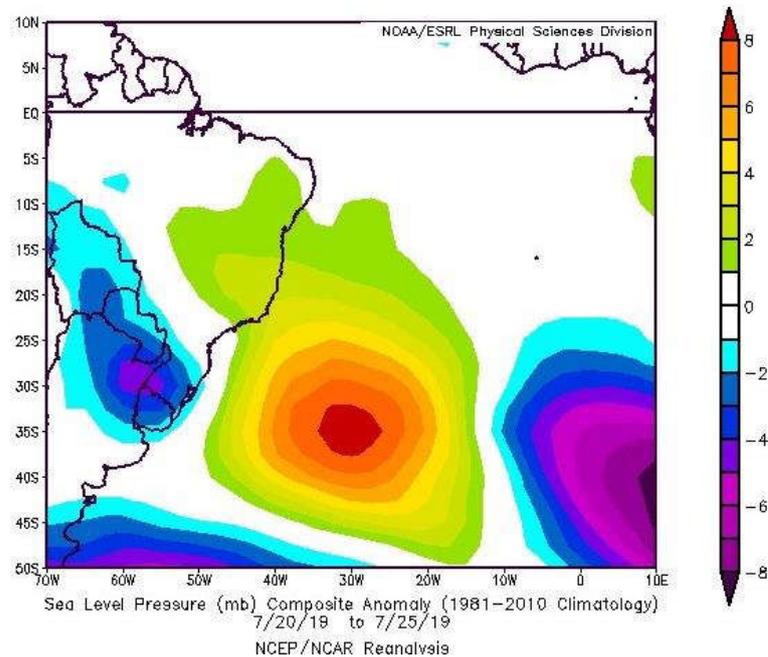
A velocidade do vento é diretamente proporcional ao gradiente de pressão - quanto maior o gradiente de pressão, maior será a força do gradiente de pressão e, portanto, maior será a intensidade dos ventos. Conforme análise dos mapas referentes à intensidade média dos ventos, durante o período entre 16 e 19 de julho há a indicação da ocorrência de ventos superiores a 14 m/s (que equivale a 50,4 km/h ou 27,2 nós) sobre o oceano.

Figura 17 – Anomalia de pressão ao nível médio do mar no período entre 20 e 25 de julho de 2019



FONTE: NCEP/NCAR

Figura 18 – Anomalia de pressão ao nível médio do mar no período entre 20 e 25 de julho de 2019



FONTE: NCEP/NCAR

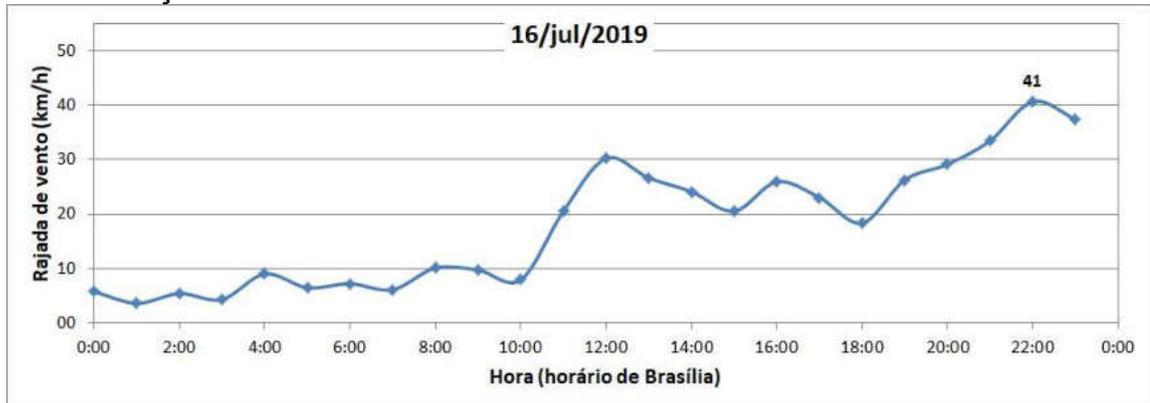
Nas Figuras 15 e 16 (média e anomalia da pressão ao nível médio do mar entre 20 e 25 de julho de 2019), é possível observar o predomínio do anti-ciclone ao largo da costa do Brasil, com uma região de baixa pressão à sudeste (centro do ciclone que se deslocou para leste, conforme análise sinótica do item 4.3.2.1). Essa configuração sinótica favoreceu a ocorrência de ventos persistentes sobre o mar, mantendo a condição favorável à ocorrência de agitação marítima.

### 3.3.3.3 Dados Meteorológicos

Neste item serão analisados os dados da estação meteorológica automática de Vitória, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e os dados da estação do Aeroporto de Vitória, operado pela Infraero. Esses dados serão utilizados para avaliar o comportamento dos ventos na costa do Espírito Santo.

Nos gráficos das figuras 19 e 20, apresentam-se os registros de rajada de vento da estação do INMET em Vitória nos dias 16 e 17 de julho de 2019.

Figura 19 – Rajadas de vento registradas entre 00h00 e 23h00 do dia 16 de julho de 2019 na estação automática do INMET em Vitória



Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

Figura 20 – Rajadas de vento registradas entre 00h00 e 23h00 do dia 17 de julho de 2019 na estação automática do INMET em Vitória



Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

A partir da análise dos gráficos, é possível observar que no fim da manhã do dia 16 de julho, ocorreu uma intensificação dos ventos provocados pelo deslocamento da frente fria. Durante a noite foram registradas rajadas de até 41 km/h.

Na maior parte do dia 17 de julho houve registro de rajadas de vento superiores a 30 km/h, com máximo registrado de 46 km/h às 11h00. No início da noite, com o afastamento do centro da baixa pressão, o vento diminuiu e no período entre 18 e 25 de julho não houve registro de rajadas de vento superiores a 30 km/h nesta estação.

No Aeroporto de Vitória foram registradas rajadas de vento nos dias 16 e 17 de julho, com máximo de 51,8 km/h às 21h00 do dia 16 e às 12h00 do dia 17 de julho. Assim como verificado na estação do INMET, não houve registro de ventos com intensidade ou rajada acima de 30 km/h na estação do Aeroporto de Vitória.

Dessa forma, é possível afirmar que, entre os dias 16 e 17 de julho de 2019, as condições eram favoráveis à ocorrência de rajadas de vento entre 40 e 52 km/h nas regiões costeiras do estado.

Pela escala Beaufort, que relaciona de forma empírica o vento com a condição do mar, ventos entre 38 e 49 km/h (força 6 na escala Beaufort) podem ser classificados como vento fresco, associado com ondas grandes variando entre 3,0 e 4,0 metros. Ventos entre 50 e 61 km/h (força 7 na escala Beaufort) são classificados como vento forte, com mar revolto e ondas entre 4,0 e 5,5 metros.

Quadro 2 – Escala de Beaufort

Força do vento	Designação	km/h	nós	Aspectos no mar
6	Vento fresco	38 a 49	22 a 27	Ondas grandes entre 3,0 e 4,0 metros
7	Vento forte	50 a 61	28 a 33	Mar revolto com ondas entre 4,0 e 5,5 metros

Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

#### 3.3.3.4 Condições de Mar

A análise da Condição de Mar se dará pela projeção do modelo Wavewatch III para o período entre 16 e 25 de julho de 2019. O modelo foi inicializado as 00h00 do dia 16 de julho. Na previsão para as 21h00 do dia 16 de julho, é possível observar a agitação marítima associada ao sistema de baixa pressão que atuava sobre a costa da região sudeste do Brasil, com indicativo de ondas variando entre 5,5 e 6,0 metros em alto mar.

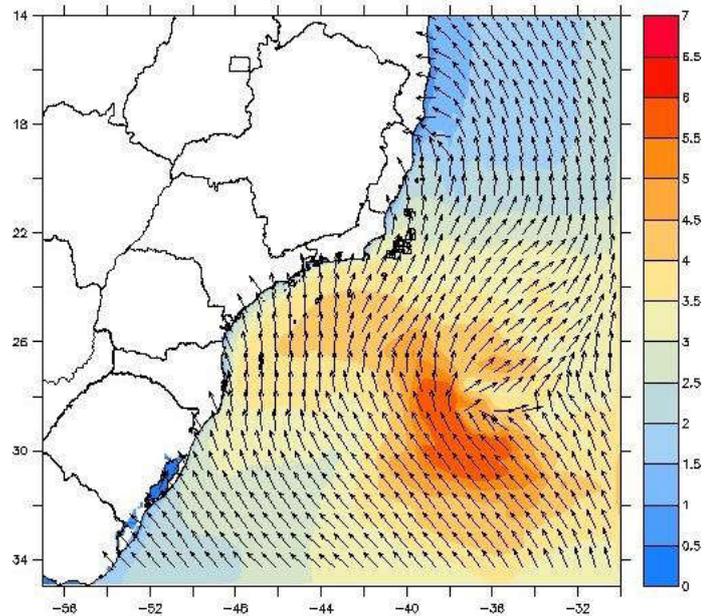
Na projeção para as 21h00 do dia 17 e 21h00 do dia 18 de julho havia previsão de ondas de aproximadamente 3,0 metros na costa do Espírito Santo.

A previsão indicava que entre os dias 19 e 21 de julho havia condições de mar mais agitado sobre a costa capixaba, com previsão de altura significativa de ondas variando entre 3,5 a 4,0 metros.

Devido ao deslocamento do centro de alta pressão para leste, levando a uma alteração dos ventos sobre o oceano, observa-se que a partir do dia 22 havia a tendência de diminuição da agitação marítima. Na projeção para as 21h00 do dia 24

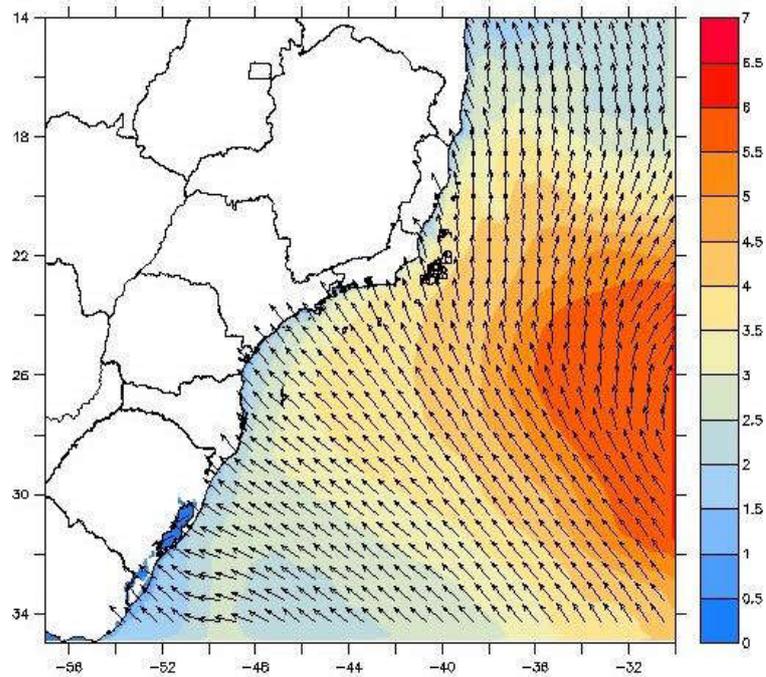
de julho indicavam-se ondas variando entre 2,0 e 2,5 metros na costa do Espírito Santo.

Figura 21 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 17 de julho de 2019



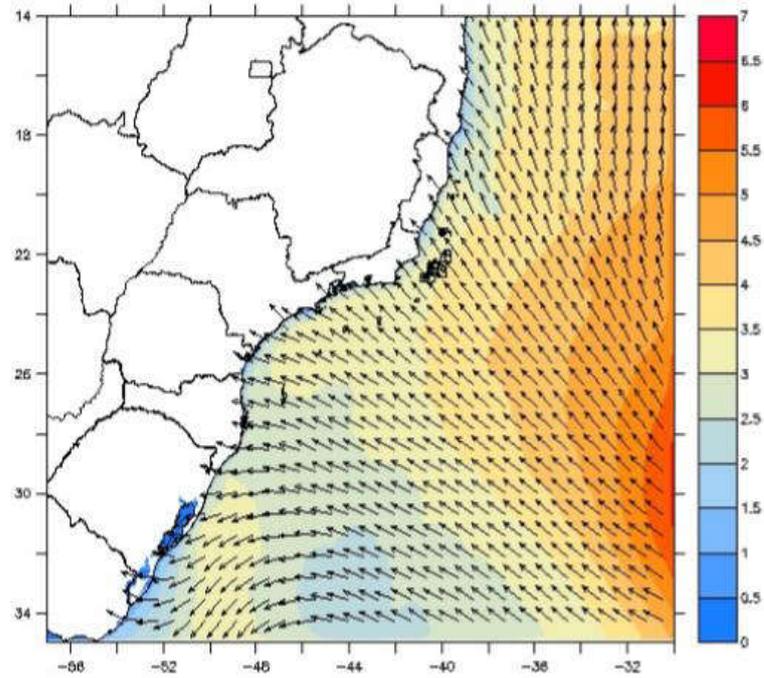
Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

Figura 22 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 18 de julho de 2019



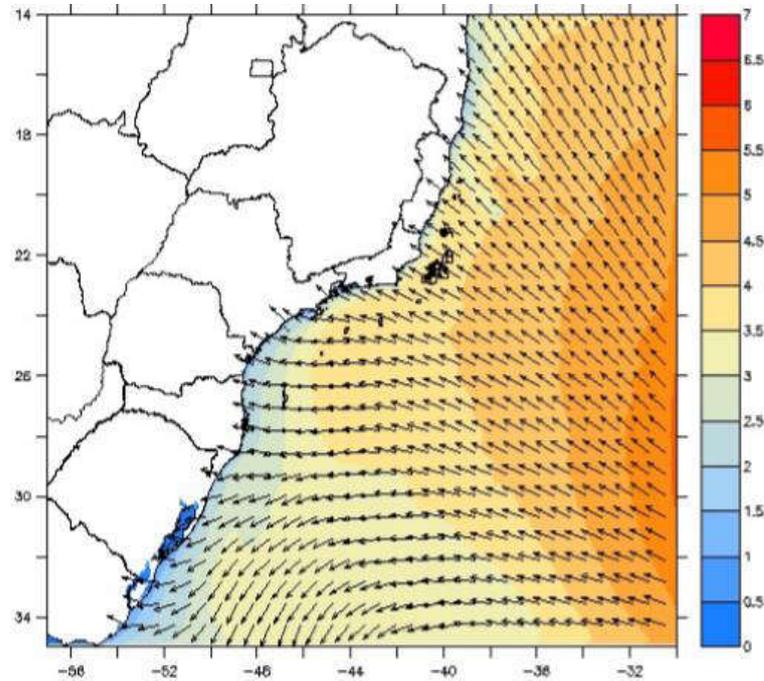
Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

Figura 23 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 19 de julho de 2019



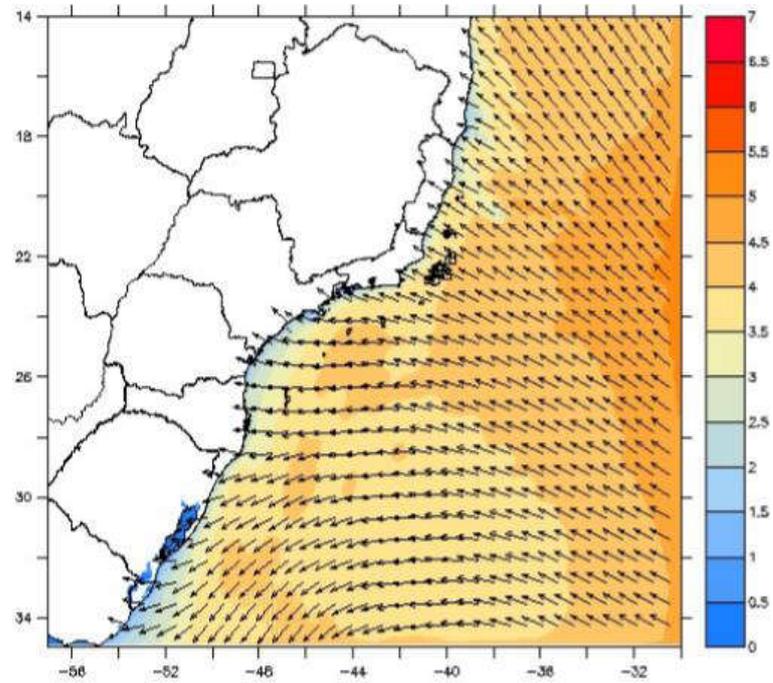
Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

Figura 24 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 20 de julho de 2019



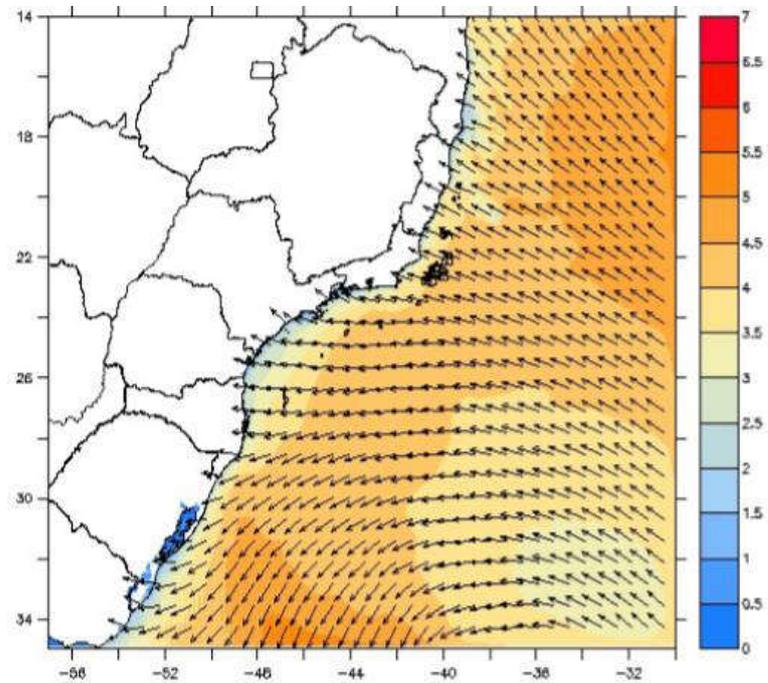
Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

Figura 25 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 21 de julho de 2019



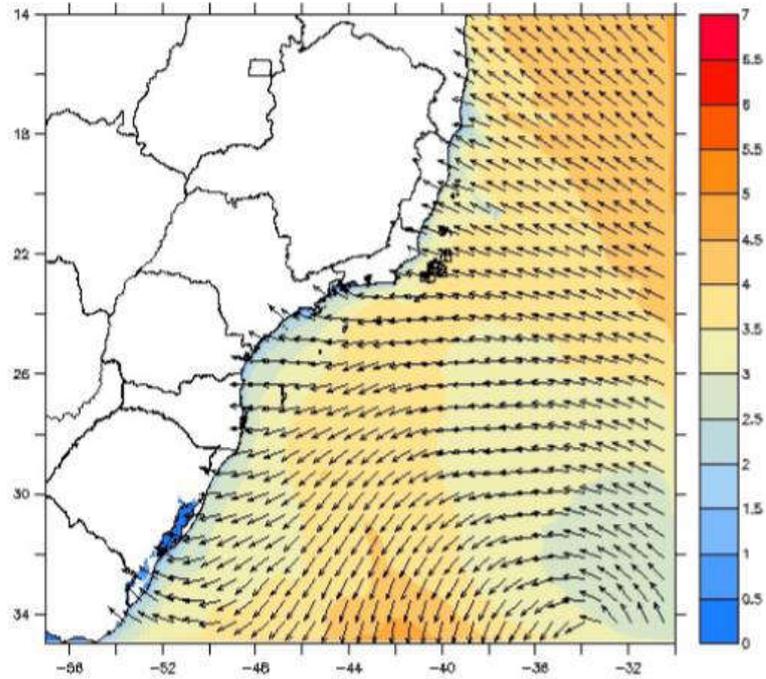
Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

Figura 26 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 22 de julho de 2019



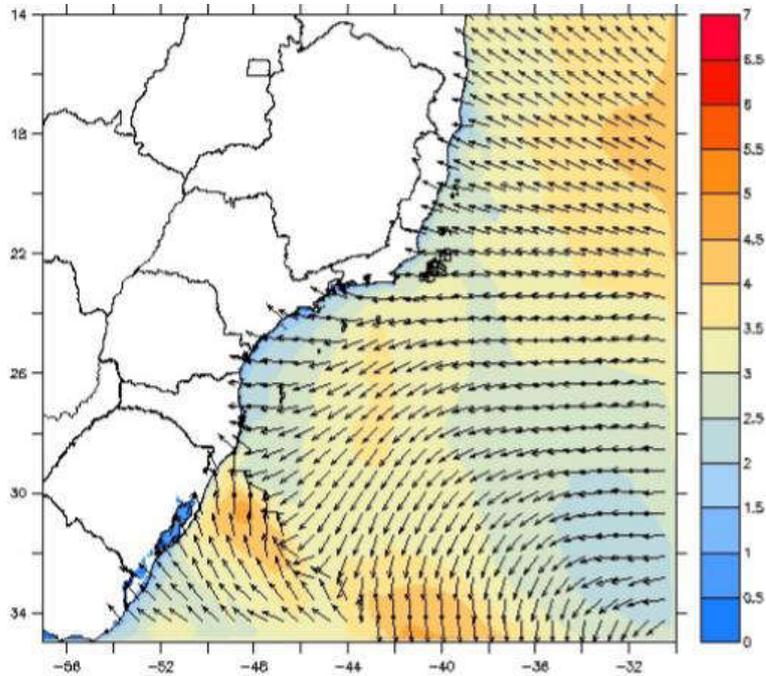
Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

Figura 27 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 23 de julho de 2019



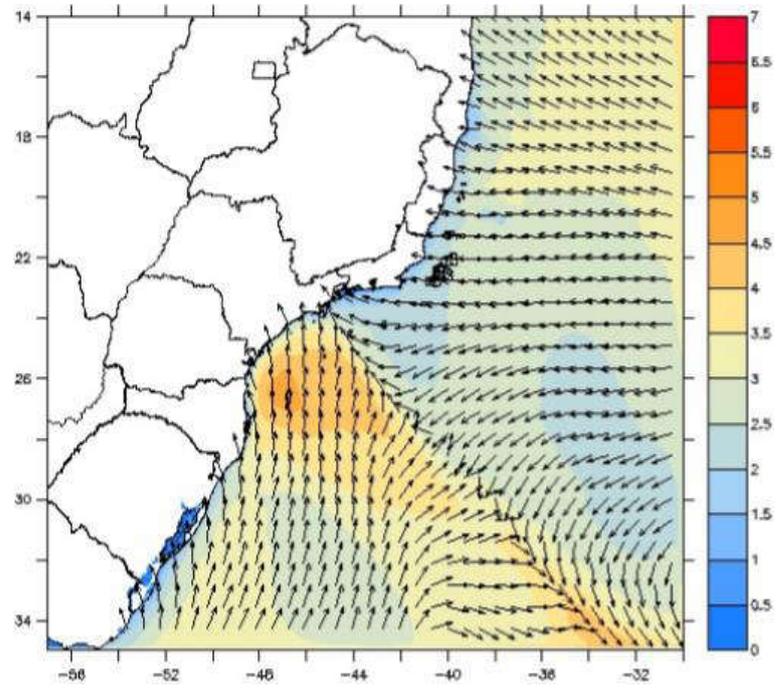
Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

Figura 28 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 24 de julho de 2019



Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

Figura 29 – Altura significativa e direção das ondas previstas para 00h do dia 25 de julho de 2019



Fonte: RELATÓRIO CLIMATEMPO (2019)

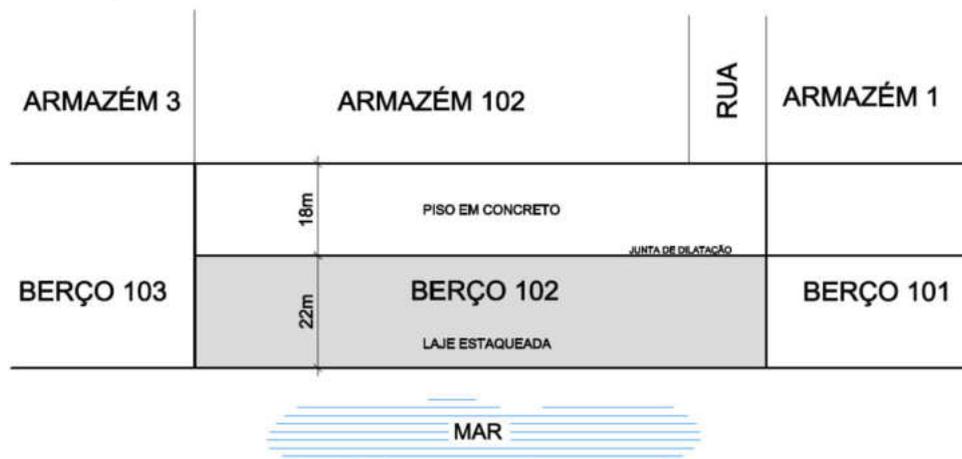
## 4 RESULTADOS

Neste capítulo, serão ilustrados os resultados obtidos. É importante destacar, contudo, a existência de limitações concernentes a determinadas informações não clarificadas nos arquivos relacionados ao empreendimento.

Isso posto, coloca-se que, após a realização dos ensaios, inspeções, investigações e avaliações realizadas na estrutura em análise, iniciou-se a etapa do planejamento da obra.

Dado que o cais se encontra parcialmente apoiado sobre estacas, outra área da estrutura encontra-se apoiada diretamente no solo. O berço de atracação em estudo (Berço 102), está situado e subdividido conforme as figuras esquemáticas a seguir:

Figura 30 – Berço de estudo



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

Portanto, após a análise de investigação e inspeção visual, determinou-se que a obra deveria ser executada em duas “frentes de ataque”. A primeira delas passa pela recomposição do aterro e talude, bem como a sua proteção com Geobags. A segunda frente compreende a recuperação do cais e confecção de novo piso ancorado na estrutura intacta.

### 4.1 CRONOGRAMA

A obra foi planejada para uma duração de 120 dias corridos, e foi dividida nas seguintes etapas:

- Mobilização – 11 dias

- Execução da proteção do talude com Bolsacreto® – 26 dias
- Construção das caixas de drenagem pluvial – 21 dias
- Construção da caixa de válvula – 25 dias
- Correção do trecho da tubulação em concreto entre as caixas de passagem – 15 dias
- Recuperação do piso do berço 102 – 66 dias
- Desmobilização – 5 dias

Como a obra foi dividida em duas “frentes de ataque”, foi possível executar algumas tarefas de forma simultânea, sendo a etapa de recuperação do piso o caminho crítico.

#### **4.1.1 Mobilização**

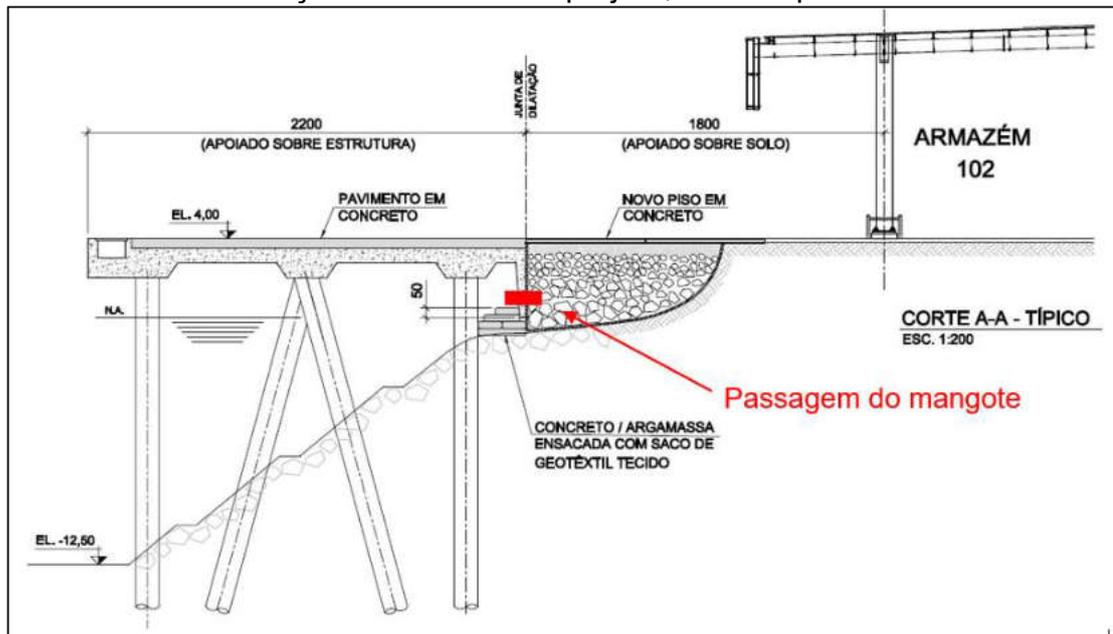
A primeira etapa de uma obra consiste na mobilização da equipe, máquinas e ferramentas para o local, além da criação de um espaço para o canteiro de obras, conforme determina a NR-18.

#### **4.1.2 Execução de proteção do talude com Bolsacreto®**

Como serviço preliminar para a instalação do bolsacreto®, foi necessário executar a perfuração do paramento (placas de concreto armado pré-moldada que percorre longitudinalmente do berço de atracação) em 4 pontos equidistantes para a passagem dos mangotes que fariam o preenchimento dos geobags com concreto. Esse paramento faz a separação entre o pavimento apoiado sobre o solo e o piso apoiado nas estacas. Os furos foram executados com uma perfuratriz de concreto.

A Figura 31 abaixo mostra o corte de seção do projeto e identifica o local da perfuração:

Figura 31 – Corte da seção transversal do projeto, editado pelo Autor



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

Enquanto os furos são realizados, uma equipe de mergulhadores de uma empresa especializada em serviços subaquáticos acessa o paramento sob o cais para iniciar a instalação dos geobags. É relevante ressaltar que tais serviços só seriam exequíveis durante a maré baixa.

#### 4.1.2.1 Instalação e modelagem do Bolsacreto®

A metodologia de instalação e modelagem do geobag são determinadas pelo fabricante do produto e seguida da seguinte forma (Bolsacreto® - Caderno técnico revisão 08):

1. As formas têxteis BOLSACRETO são instaladas vazias, dentro ou fora d'água, sem necessidade de ensecadeiras, corta-rios, bombeamentos ou rebaixamentos de lençol. Deverão ser instaladas manualmente, bem justapostas, de sorte que no momento da moldagem (enchimento), não estabeleça vazios na estrutura e permita formar o embricamento entre as peças, fundamental para melhorar a estabilidade do conjunto. O alinhamento externo deve ser observado rigorosamente na forma da topografia de projeto.
2. A moldagem é feita através de uma bomba projetora de concreto fino, acoplada a uma linha de mangotes de  $\varnothing$  50 mm, a qual será conectada diretamente na válvula existente na forma têxtil.

3. Os módulos têxteis serão moldados "*in-loco*" com concreto fino usinado de resistência mecânica ajustada para cada caso. O concreto poderá sair da usina com "slump" em torno de 5 a 6 cm, devendo ser redosado na hora para ajustá-lo às condições de bombeamento, ficando com taxa de abatimento em torno de 12 a 15 cm.

4. A cravação dos corpos de prova deverá ser pelo processo indeformado, em modelo reduzido, moldado com antecedência de aproximadamente 6 a 8 horas. A extração se dará depois de 12 a 15 minutos da cravação.

Assim, a empresa projetista determinou que cinco fiadas sobrepostas de Geobags ero o suficiente para cobrir o talude, do fundo do mar ao paramento. É importante frisar que os Geobags possuem tamanhos variados e são fabricados conforme determinado em projeto - Figura 32.

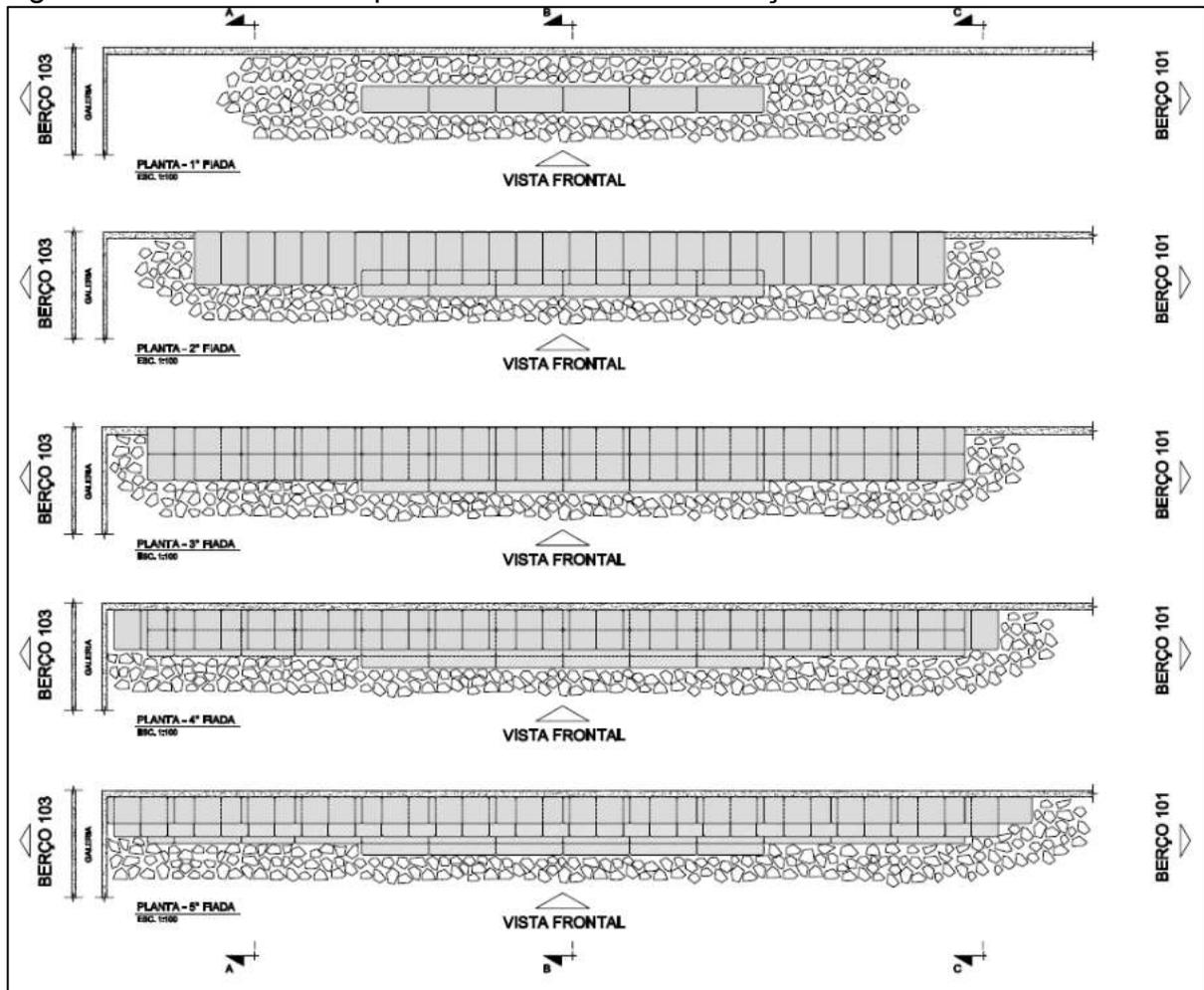
Figura 32 - Dimensões e quantidades de Geobags

<b>LISTA BÁSICA - QUANTIDADES</b>		
<b>BOLSA / BAG - C x L x H - (cm)</b>	<b>QUANTIDADE (un.)</b>	<b>VOLUME (m³)</b>
<b>300 x 120 x 35</b>	<b>6+22+13 = 41</b>	<b>51,7</b>
<b>240 x 120 x 35</b>	<b>28+2+1 = 31</b>	<b>31,3</b>
<b>120 x 120 x 35</b>	<b>2</b>	<b>1,0</b>
<b>180 x 120 x 35</b>	<b>33</b>	<b>25,0</b>
<b>TOTAL</b>		<b>109,0</b>

Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

A Figura 33 ilustra como os Geobags devem ficar alocados em cada fiada.

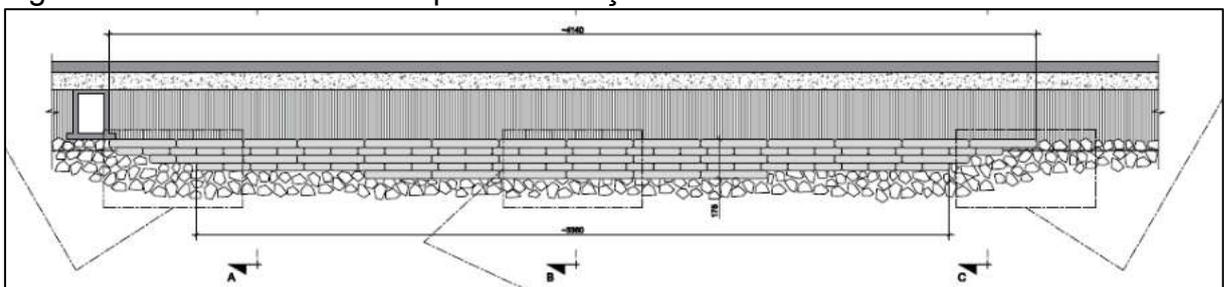
Figura 33 - Detalhe da sequência executiva de instalação do Bolsacreto®



Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

A figura 34 a seguir mostra a vista frontal das cinco fiadas.

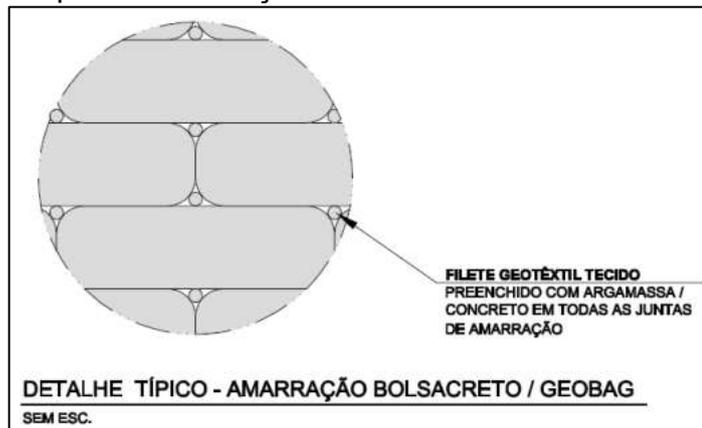
Figura 34 - Vista frontal a completa instalação do Bolsacreto®



Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

Para a amarração e preenchimento dos vazios entre os Geobags, a Empresa Operadora (2019) seguiu a especificação técnica detalhada no projeto, descrita na figura 35.

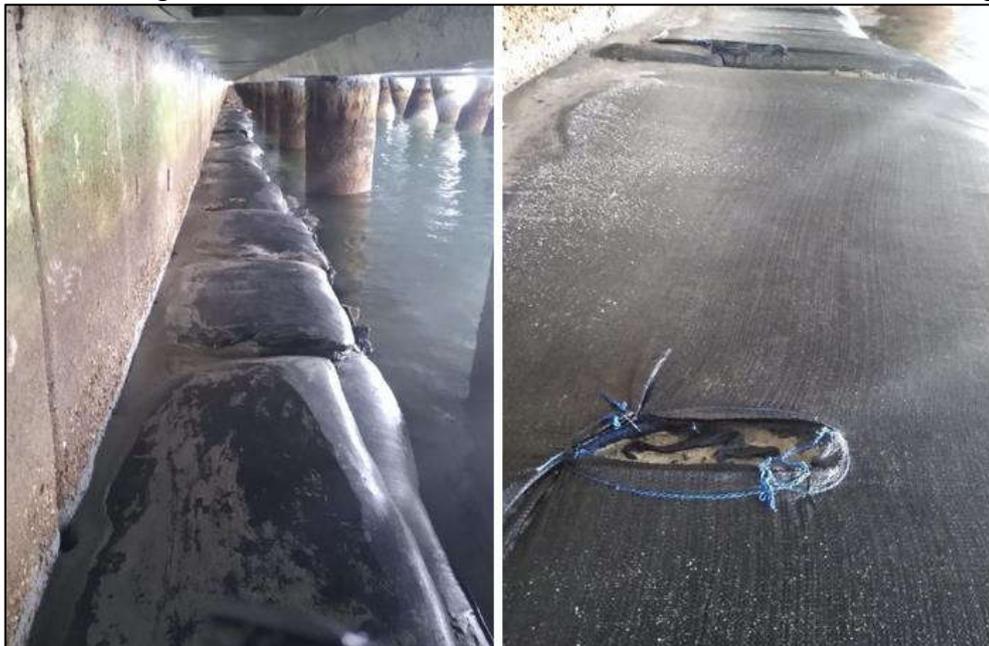
Figura 35 - Detalhe típico – Amarração do Bolsacreto®



Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

A fotografia a seguir foi feita após a finalização do enchimento dos Geobags com argamassa 20 MPa, Slump de 14 cm e cura. Para que não ocorresse nenhuma infiltração, a Empresa Operadora (2019) determinou que os espaços vazios entre o paramento e o Bolsacreto® fossem preenchidos também com argamassa.

Figura 36 - Geobags instalados e detalhe da válvula de conexão com o mangote



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

#### 4.1.3 Restauração do Sistema de Drenagem de Água Pluvial

Para que o cais voltasse a ter as mesmas características de operação, foi necessário recuperar também o sistema de drenagem existente.

Neste trecho onde houve o colapso, haviam 02 caixas de passagens que direcionavam o fluxo de água para o mar e o sistema de tubulações de concreto armado DN = 800 mm.

Figura 37 - Fotografia tirada durante a obra de recuperação do sistema de drenagem pluvial



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

Durante a fase de elaboração do projeto e metodologia construtiva desta obra, a Engenharia concluiu que a instalação do Bolsacreto sob o cais não prejudicava as atividades sobre ele, portanto, o planejamento da obra previu duas frentes de trabalho trabalhando de forma simultânea (Empresa Operadora 2019).

Nesta etapa o cronograma divide as tarefas na sequência executiva abaixo:

- Demolição controlada: Demolição da caixa de passagem avariada utilizando rompedor hidráulico;
- Corte das ferragens: Serviço de corte das ferragens utilizando lixadeira angular;
- Execução de concreto magro fundo da caixa: Lançamento de concreto magro bombeável, traço 1 : 3,32 : 2,51 : 1,19 : 0,007 : 0,71 (Cimento, Areia Média, Brita 0, Brita 1, Aditivo Plastificante, Água), Fck = 15 MPa.

- Montagem da ferragem do fundo e paredes da caixa de passagem: Foi feito a perfuração no fundo da caixa com uma furadeira para a fixação dos vergalhões de AÇO CA – 50, prosseguindo com corte, dobra e montagem da armadura na parede;
- Concretagem da caixa de passagem: Como atividade predecessora a esta, a Empresa Operadora (2019) utilizou-se do assentamento de blocos de concreto preenchidos para servir como forma no fundo da caixa, sobre estes, completou com compensado plastificado. Foram bombeados 9m<sup>3</sup> de concreto de Fck = 35 Mpa, com abatimento de 180 a 220 mm, no traço de 1 : 1,53 : 3,38 : 0,007 : 0,003 : 0,417 (Cimento, Areia Média, Brita 0, Aditivo Plastificante, Aditivo Superplastificante, Água);
- Montagem dos anéis de manilha: Para essa etapa, foi necessária a escavação manual e mecanizada para regularização do terreno e início do posicionamento, montagem e nivelamento das manilhas entre as duas caixas de passagem, construção de formas nas laterais dos anéis para receber o concreto de envelopamento e calafetação de juntas;
- Envelopamento dos anéis de manilha: Foram utilizados 22m<sup>3</sup> de concreto bombeável, Fck = 30 Mpa, com abatimento de 160 +/- 30mm no traço 1 : 2,57 : 2,5 : 0,007 : 0,55 (Cimento, Areia Média, Brita 0, Aditivo Plastificante, Água).
- Desmontagem das formas das paredes da caixa: Desmonte das formas para reaproveitamento;
- Montagem das formas e escoramentos da laje da caixa em compensado reaproveitado;
- Montagem das ferragens da laje da caixa;
- Concretagem da laje: Lançamento de 1,5 m<sup>3</sup> de concreto bombeável, Fck = 30 Mpa, com abatimento de 160 +/- 30mm no traço 1 : 2,57 : 2,5 : 0,007 : 0,55 (Cimento, Areia Média, Brita 0, Aditivo Plastificante, Água).
- Desmontagem das formas das formas da laje;

Figura 38 - Caixa de passagem antes da concretagem da laje



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

Figura 39 - Sistema de drenagem pluvial após envolvimento da tubulação



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

#### 4.1.4 Recuperação do piso do berço 102

A recuperação do berço de atracação do cais em estudo envolve, resumidamente, a recomposição dos vazios com rochas de diferentes dimensões, sub-base em BGTC (brita graduada tratada com cimento) e piso em concreto armado.

A partir desse momento, entraremos na etapa final da obra. Neste tópico, serão apresentadas as etapas de execução e materiais empregados.

#### 4.1.4.1 Recomposição do Solo

Iniciou-se a etapa de recuperação do solo com a remoção e transporte dos materiais soltos e resíduos gerados pela demolição e nivelamento do solo, sem o rigor de alinhamento. Daí em diante, a superfície, agora com as ondulações mais suaves, tornou-se pronta para a aplicação da manta geotêxtil.

No caso desta obra em análise, foi utilizada a manta geotêxtil RT 21, cujas propriedades mecânicas, hidráulicas e físicas são especificadas na figura 40:

Figura 40 - Tabela de propriedades da manta geotêxtil Bidim RT

	Produto	Norma	Un	RT 07	RT 08	RT 09	RT 10	RT 14	RT 16	RT 21	RT 26	RT 31
Propriedades Mecânicas	Resistência à tração faixa larga	ABNT NBR 12824										
	Valor na ruptura - L		kN/m	7,0	8,0	9,0	10,0	14,0	16,0	21,0	26,0	31,0
	Alongamento - L		%	> 50	>50	> 50	>50	> 50	>50	> 50	>50	> 50
	Valor na ruptura - T		kN/m	6,0	7,0	8,0	9,0	12,0	14,0	19,0	24,0	29,0
	Alongamento - T		%	> 50	>50	> 50	>50	> 50	>50	> 50	>50	> 50
	Resistência à tração grab	ASTM D 4632										
	Tração na ruptura - L		N	420	500	570	630	840	1005	1250	1450	1900
	Alongamento - L		%	> 50	>50	> 50	>50	> 50	>50	> 50	>50	> 50
	Tração na ruptura - T		N	350	430	500	580	740	920	1180	1400	1860
	Alongamento - T		%	> 50	>50	> 50	>50	> 50	>50	> 50	>50	> 50
	Rasgo trapezoidal	ASTM D 4533										
	Valor na ruptura - L		N	190	230	240	260	340	400	500	550	650
	Valor na ruptura - T		N	170	210	220	240	320	380	480	500	600
Puncionamento	ASTM D 4833	N	240	260	290	330	400	460	560	680	800	
Puncionamento CBR	ABNT NBR 13359	kN	1,1	1,3	1,5	1,7	2,3	2,7	3,3	4,0	5,2	
Propriedades Hidráulicas	Permissividade	ASTM D 4491	s <sup>-1</sup>	2,5	2,2	2,0	2,0	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8
	Fluxo de água		l/min/m <sup>2</sup>	7450	6850	6150	5820	5450	4820	3420	2760	2340
	Permeabilidade normal	ABNT NBR 15223	cm/s	0,40	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,37	0,37	0,37
	Abertura aparente D <sub>95</sub>	ASTM D 4751	mm (peneira)	0,212 (70)	0,212 (70)	0,212 (70)	0,212 (70)	0,180 (80)	0,180 (80)	0,150 (100)	0,150 (100)	0,125 (120)
Propriedades Físicas	Comprimento		m	200	200	200	200	150	150	150	150	100
	Largura		m	2,30 - 4,60								
	Matéria-prima e tecnologia	100% poliéster - filamentos contínuos										
	Ponto de fusão	260°C										

• L - Direção longitudinal à fabricação • T - Direção transversal à fabricação

Os valores apresentados acima correspondem à média de ensaios realizados em diversos laboratórios e têm caráter indicativo.

Fonte: FICHA TÉCNICA – DIPROTEC GEOSSINTÉTICOS

A acomodação da manta geotêxtil, precedendo o lançamento das rochas, tem como funções principais o reforço, a separação e a proteção do solo. Portanto, o uso da manta garante a transmissão dos esforços de tração, elevando assim, a resistência do solo, a redistribuição das tensões, aumentando a capacidade de suporte e evitando a contaminação da base granular, e por fim, absorção das tensões localizadas evitando danos ao material protegido.

Além das funções citadas, as mantas possuem outras atribuições e podem ser empregadas nas mais diversas ocasiões, a depender da situação a ser solucionada com o respectivo projeto.

Figura 41 - Principais geossintéticos e suas funções em obras de Engenharia Geotécnica

Geossintético	E	D	F	B	P	R	S	C
Geotêxtil	X	X	X	-	X	X	X	X
Geomembranas	-	-	-	X	-	-	X	-
Geogrelhas, Geotiras, e Geobarras	-	-	-	-	-	X	-	-
Georredes, Geotubos e Goespaçadores	-	X	-	-	-	-	-	-
Geomantas	X	-	-	-	-	-	-	-
Geocélulas	-	-	-	-	-	-	-	X

Nota: E – Controle de erosão superficial; D – Drenagem; F – Filtração; B – Barreira impermeabilizante; P – Proteção; R – Reforço; S – Separação; C – Confinamento.

Fonte: Associação Brasileira de Geossintéticos (2012).

A figura 42 ilustra a visão parcial da obra após a instalação da manta geotêxtil.

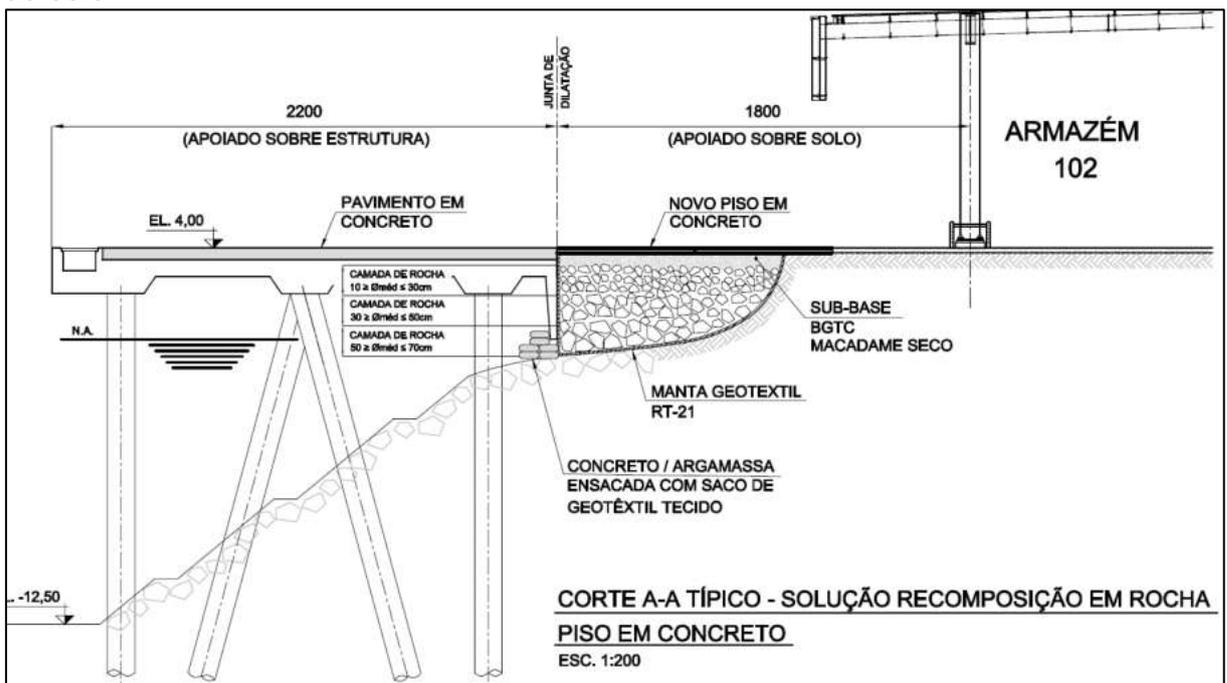
Figura 42 - Aplicação da manta geotêxtil RT 21



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

Com a manta geotêxtil aplicada, deu-se início a recomposição do aterro. Nesta etapa, foram utilizadas rochas de granulometria definidas em projeto. A figura 43 apresenta as divisões em camadas e as faixas granulométricas exigidas em cada uma delas.

Figura 43 - Corte da seção transversal do projeto com detalhe para a recomposição do solo



Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

Portanto, o projeto define que o lançamento das rochas deve obedecer a uma sequência de três camadas, sendo elas:

- Primeira camada: Rochas entre 50 e 70 centímetros;
- Segunda camada: Rochas entre 30 e 50 centímetros;
- Terceira camada: Rochas entre 10 e 30 centímetros.

Segundo a Empresa Operadora (2019), foram despejadas 1.463,04 toneladas de rocha nas três camadas.

Figura 44 - Recomposição das camadas com rochas de granulometria diversas



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

Após o término do lançamento e acomodação das rochas, o projeto prevê uma camada de isolamento, separando assim o material já depositado com a sub-base que será feita com macadame seco.

A camada de isolamento possui 4 centímetros de espessura e é composta por:

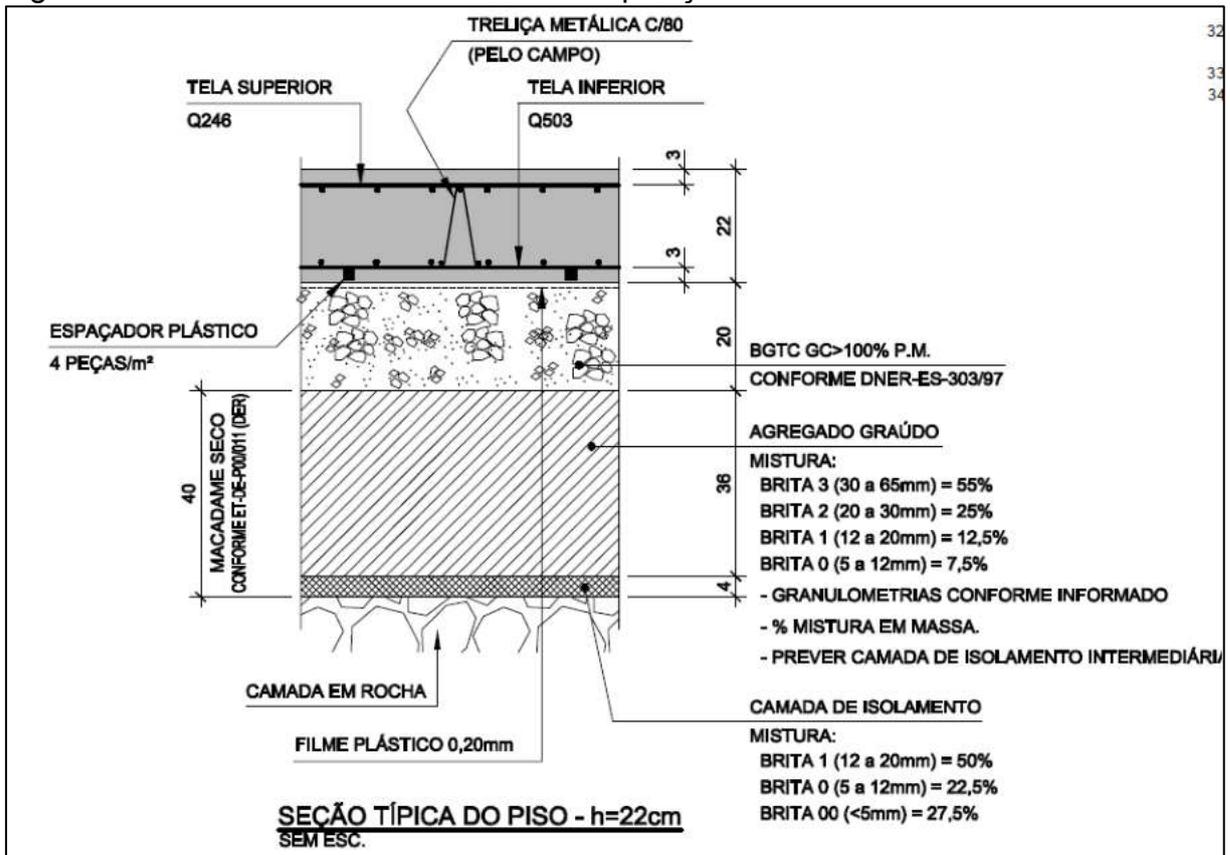
- 50% de brita 1 (12 a 50 mm)
- 22,5% de brita 0 (5 a 12 mm)
- 27,5% de brita 00 (<5 mm)

O lançamento deste material é feito diretamente sobre as rochas lançadas anteriormente.

Após o assentamento da camada de isolamento, deu-se início a compactação. Para isso, foi utilizado um rolo compactador liso e uma placa vibratória para os cantos.

A figura 45 ilustra o detalhe das camadas da recomposição do solo e os materiais empregados.

Figura 45 - Detalhe das camadas de recomposição do solo



Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

Sobre a camada de isolamento compactada, é executado então uma camada de macadame seco.

Macadame seco é a camada granular composta por agregados graúdos naturais ou britados, preenchidos a seco por agregados miúdos, cuja estabilidade é obtida a partir de ação mecânica enérgica de compactação, BERNUCCI, et al (2006).

No caso da obra em estudo, o projeto especifica uma camada de 36 centímetros contendo a mistura de:

- 55% de brita 3 (30 a 66 mm);
- 25% de brita 2 (20 a 30 mm);

- 12,5% de brita 1 (12 a 20 mm);
- 7,5% de brita 0 (5 a 12 mm);

Além disso, o projeto indica que deve haver camadas de isolamento intermediárias. Sendo assim, após o espalhamento da primeira camada de macadame seco, cuja espessura atingiu 14 centímetros, foi assentado uma camada de isolamento de 4 centímetros e compactado com o rolo liso e placa vibratória.

A segunda e última camada de macadame seco e isolamento também foram aplicadas, utilizando-se da mesma metodologia e espessura da primeira.

Figura 46 - Vista parcial da obra durante a recuperação do solo



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

Por fim, nesta etapa de recomposição do solo, o projeto indica uma camada de 20 centímetros de base em BGTC (Brita Graduada Tratada com Cimento).

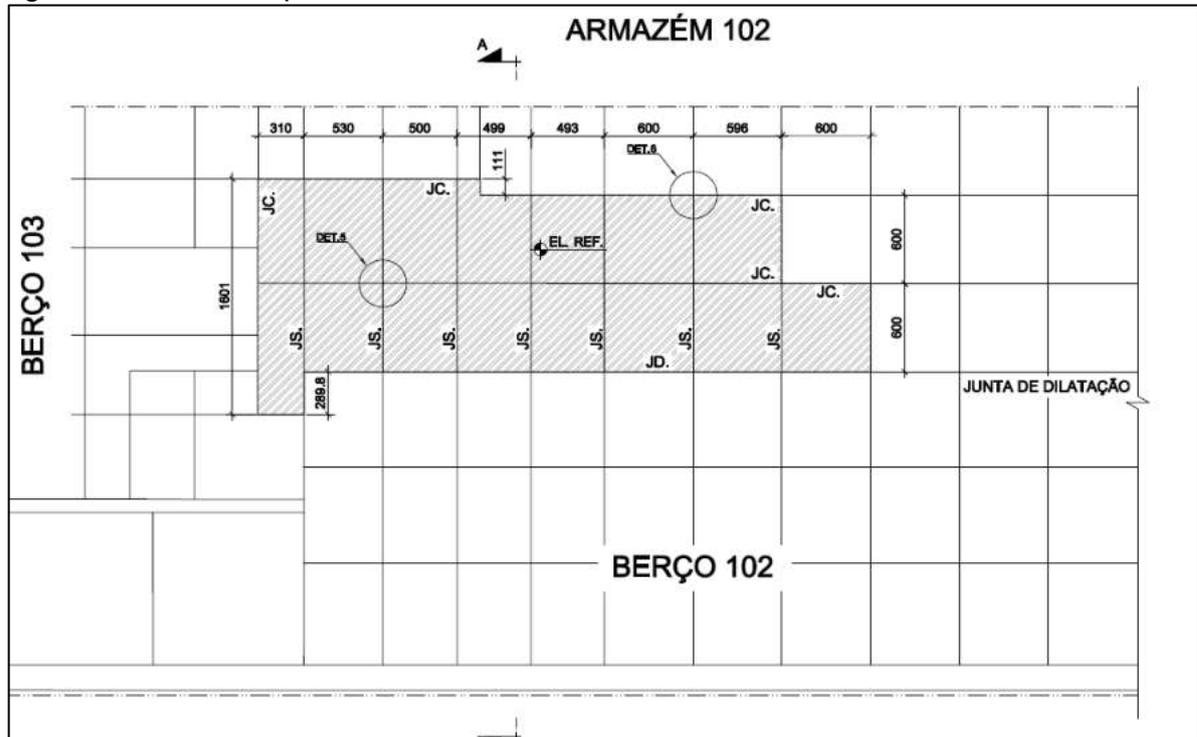
Após o assentamento da brita graduada, foi feita a compactação da base utilizando um rolo compactador liso e placa vibratória para os cantos.

#### 4.1.4.2 Construção do Piso de Concreto Armado

Nesta etapa da obra, será abordado sobre a metodologia e os materiais empregados na construção do novo piso do cais.

O projeto dividiu o piso a ser construído em 15 partes, separando-as em “placas de concreto armado” com a divisão entre elas por meio de juntas de dilatação (JD), juntas serradas (JS) e juntas de construção (JC).

Figura 47 - Área de piso em concreto armado

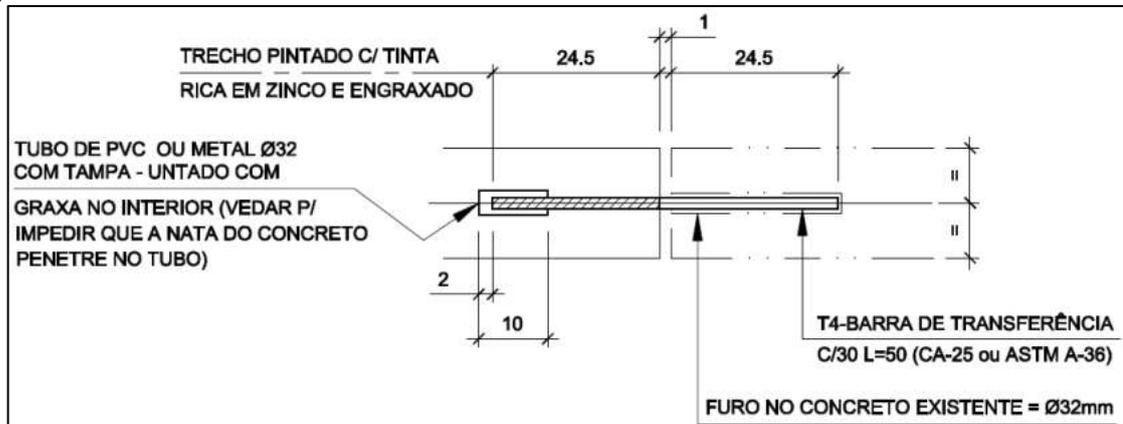


Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

Para isso, previamente, a Empresa Operadora (2019) executou a perfuração dos pontos das barras de transferência em todo o perímetro do trecho destacado. As barras de transferência permitem a transição de cargas entre as placas de concreto. Esta atividade, seguiu os procedimentos de execução descritos abaixo:

- Verificar “*in loco*” da posição da armadura existente;
- Executar o furo no concreto, com diâmetro de 32mm;
- Limpar o furo com escova de nylon, removendo os excessos de pó no local;
- Usar ar para limpar os resíduos de pó que a escova não consegue retirar, utilizando bomba de ar comum tipo “pera” ou ar comprimido (desde que seja garantido que o ar comprimido não libera graxa ou óleo dentro do furo);
- Preencher 2/3 do furo com adesivo HILTI HIT-HY200-R, começando o preenchimento pelo fundo;
- Inserir a barra no furo, girando-a lentamente (a barra deve estar limpa e sem algum tipo de óleo ou graxa ou grande quantidade de pó ou ferrugem).

Figura 48 - Detalhe da barra de transferência no concreto existente



Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

A obra segue então para a etapa de execução do lastro de concreto magro. Esta camada em concreto sem armadura tem a função de servir como base para o piso e separá-lo das camadas de materiais empregados anteriormente Empresa Operadora (2019). Desta forma, previne-se que a umidade e os agentes químicos presentes no solo, como sulfatos, danifiquem e enfraqueçam o concreto, evitando assim, o risco de não atingir a resistência necessária.

Para o lançamento do concreto magro, a Empresa Operadora (2019) monta as formas metálicas e instala lona plástica esticada para garantir a impermeabilidade.

A camada de concreto magro cobriu uma área total de 555m<sup>2</sup>, sendo executada em partes. Esse material possui FCK = 10 MPa, com abatimento de 80 +/- 10 mm, e traço de 1 : 4,9 : 1,46 : 5,37 : 0,008 : 0,93 (Cimento CPIII, Areia Média, Brita 0, Brita 1, Aditivo Plastificante, Água).

As figuras 49 e 50 ilustram o momento do lançamento do concreto magro e parte do piso coberto pela camada de concreto, respectivamente.

Figura 49 - Lançamento do concreto magro



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

Figura 50 - Trecho da obra coberto com concreto magro



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

O piso em concreto armado está dividido em 15 placas. Estas placas são construídas sobre o concreto magro e seguem o mesmo procedimento de execução descrito abaixo:

- Montagem das formas;
- Instalação de lona plástica;
- Montagem das ferragens;
- Instalação das barras de transferência;
- Concretagem;
- Aplicação de cura química;
- Corte das juntas de construção e juntas serradas;
- Desmontagem das formas;
- Polimento do piso;
- Cura úmida;
- Tratamento das juntas;

Para a montagem da armadura, foram utilizados os seguintes materiais:

- 775 m<sup>2</sup> de tela soldada Q-246 de aço CA-60;
- 495 m<sup>2</sup> de tela soldada Q-503 de aço CA-60;
- 870 metros de barra de aço CA-50, com bitola de 6.3 mm;
- 578 metros de barra de aço CA-25, com bitola de 25 mm

No total, foram utilizados 9.505 kg de aço para a construção do piso. As telas superiores (Q-246) e inferiores (Q-503) foram espaçadas entre elas por meio de treliças metálicas de 16 centímetros e os espaçadores plásticos garantiram o cobrimento do concreto. A figura 51 ilustra um trecho da obra com a armadura montada.

Figura 51 - Trecho da obra com a armadura montada



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

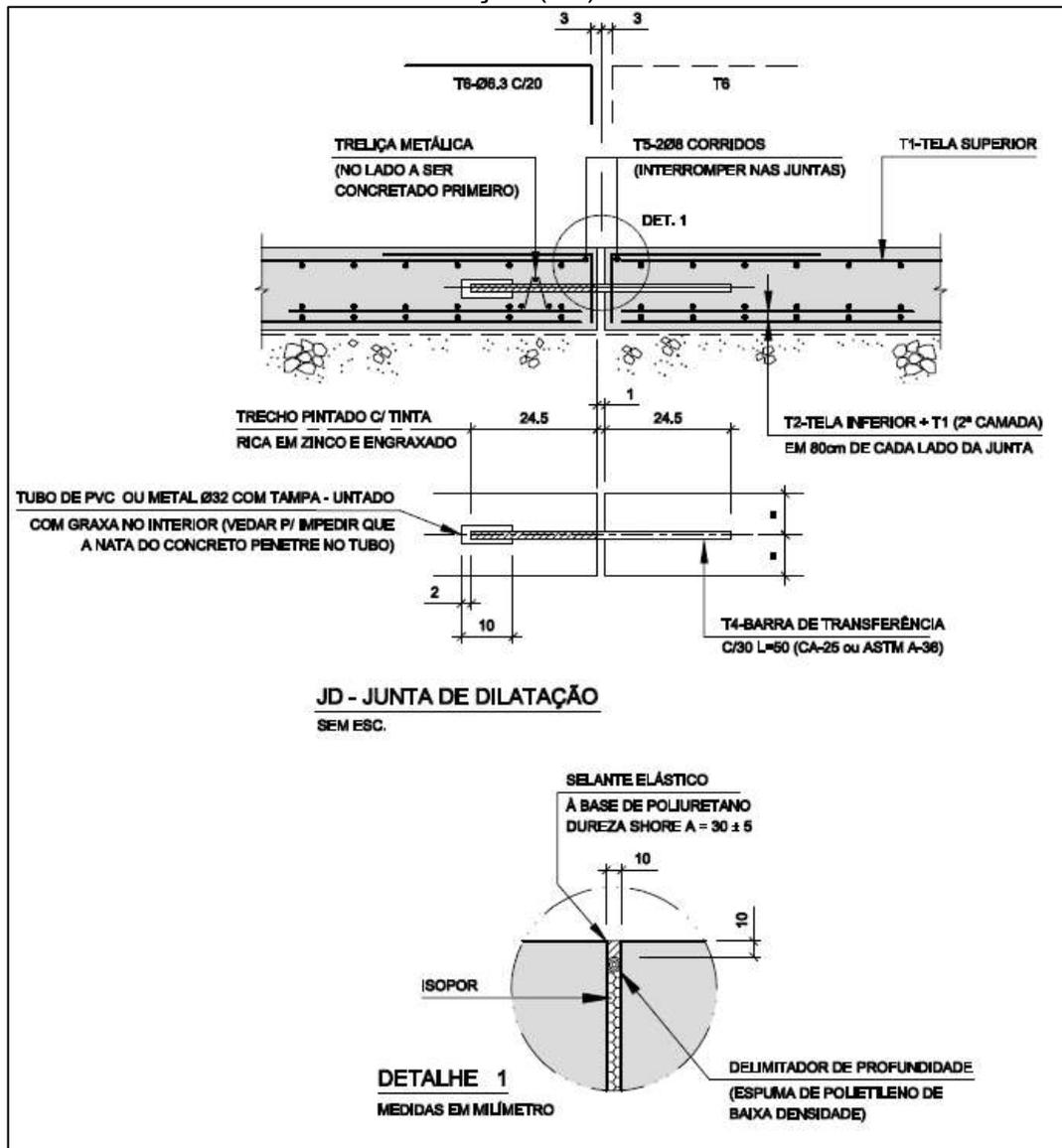
Durante a montagem das ferragens sobre o piso de concreto magro, a Empresa Operadora (2019) instalou as barras de transferência.

Neste ponto, é importante ressaltar a diferença entre as juntas de dilatação (JD), juntas serradas (JS) e juntas de construção.

A junta de dilatação, ou junta de expansão, propicia o espaço para a expansão do pavimento e absorve as movimentações da placa, permitindo assim o desenvolvimento de tensões de compressão, que podem causar o empenamento do pavimento (RODRIGUES, 2008).

No caso da obra em análise, o projeto define que a barra de transferência deve ter em uma de suas extremidades um tubo de metal ou PVC, com 10 centímetros de comprimento, untado com graxa no interior e vedado para impedir que a nata do concreto entre nesse tubo. Além disso, metade da barra deve ser pintada com tinta rica em zinco e engraxado, conforme ilustrado na Figura 52.

Figura 52 - Detalhe da Junta de Dilatação (JD)



Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

Esta junta possui espessura de 1 centímetro e é preenchida com três materiais diferentes.

Até 10 milímetros de profundidade, a junta de dilatação recebe um selante elástico a base de poliuretano, neste ponto, deve haver um delimitador. O projeto especifica que o delimitador seja espuma de polietileno de baixa densidade. De 10 milímetros até a profundidade limite do concreto armado, deve ser completado com ISOPOR®.

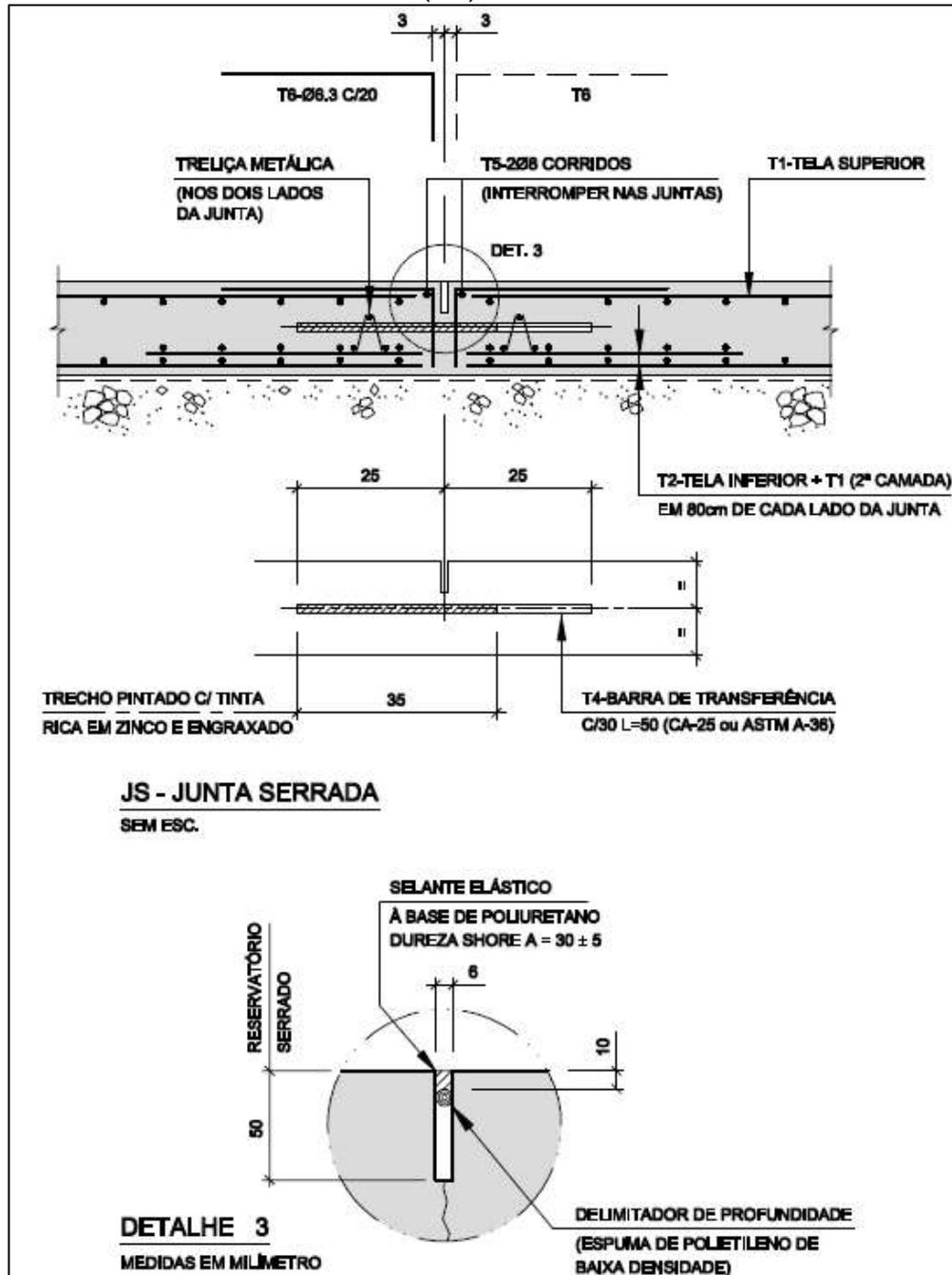
A junta serrada, ou junta de retração, corresponde a uma seção enfraquecida formada na placa de concreto, por meio de corte ou ranhura da superfície do pavimento. Além da sua função de transferir carga entre as placas, ela também é responsável por aliviar

as tensões de tração geradas pela variação da temperatura e pelo atrito na interface placa-fundação, controlando a fissuração, (RODRIGUES, 2008).

Nesse caso, a barra de transferência não recebe o tubo em uma de suas extremidades, apenas pintura com tinta rica em zinco e engraxamento.

A Figura 53 ilustra como deve ser executado a referida junta.

Figura 53 - Detalhe da Junta Serrada (JS)

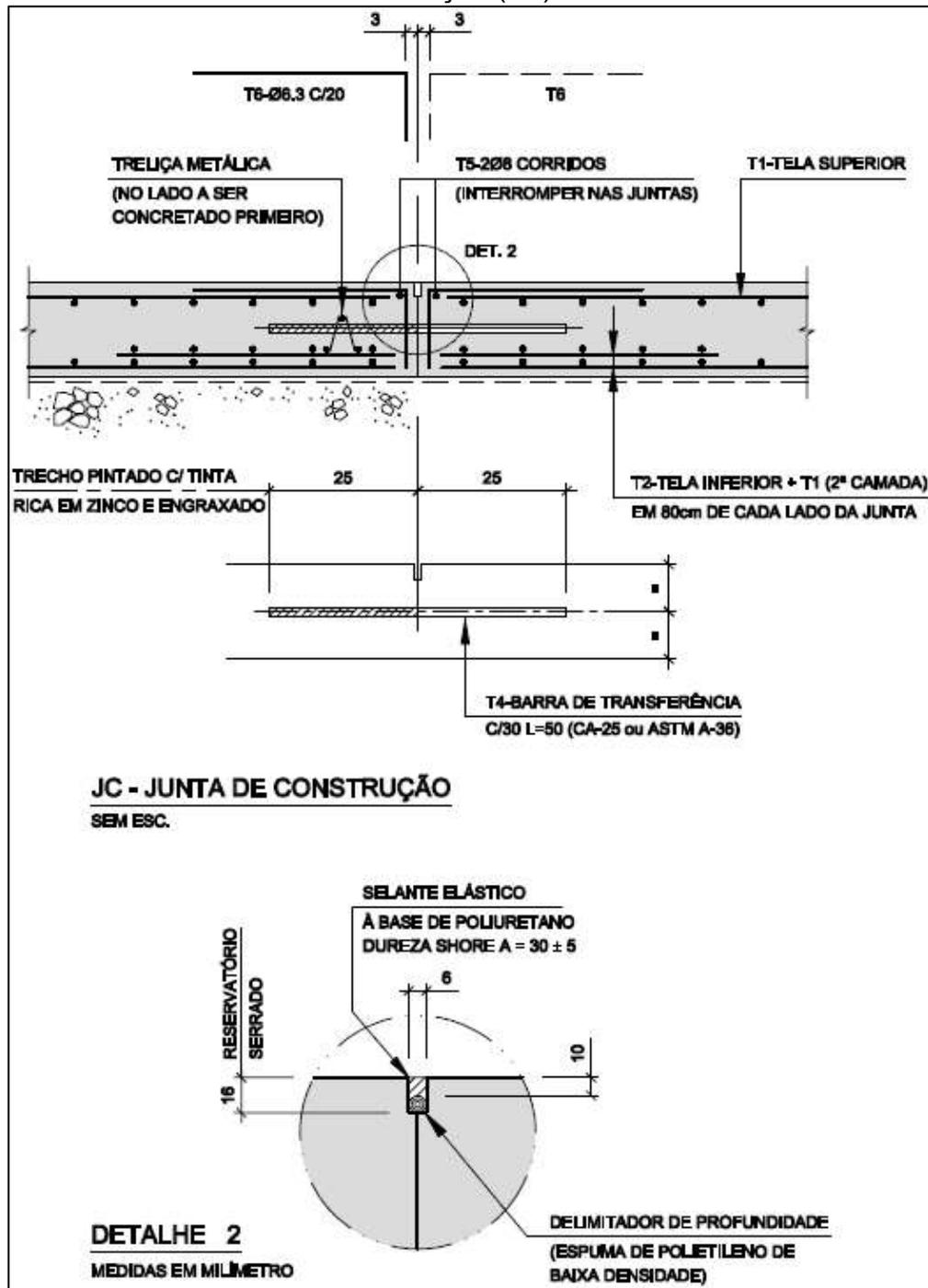


Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

Nota-se que diferentemente da Junta de Dilatação, a Junta Serrada possui uma abertura de 6 milímetros de diâmetro e profundidade máxima de 50 milímetros. Também há um delimitador de profundidade aos 10 milímetros, utilizando espuma de polietileno de baixa densidade. O espaço entre o delimitador e a superfície recebe selante elástico à base de poliuretano.

Já a Junta de Construção (JC), é utilizada para facilitar a execução do pavimento e transferência de carga, evitando movimentações laterais, (RODRIGUES, 2008). As barras de transferência entre as placas recebem o mesmo tratamento das barras localizadas nas Juntas Serradas. Os materiais aplicados na JC também são os mesmos da JS. Diferencia-se pela profundidade do corte do piso, pois este, limita-se a 16 milímetros.

Figura 54 - Detalhe da Junta de Construção (JC)



Fonte: PROJETO - EMPRESA OPERADORA (2019)

A figura 55 mostra as barras de transferências já fixadas e com uma de suas extremidades tratadas.

Figura 55 - Fotografia das barras de transferência instaladas no concreto



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

Após a montagem de toda a armadura do piso, instalação das barras de transferência e conferência dos espaçamentos, inicia-se a etapa de concretagem.

Para isso, foram lançados 123 m<sup>3</sup> de concreto de FCK = 30 MPa, com abatimento de 10 +/- 20 mm, com o traço de 1 : 2 : 0,7 : 2,5 : 0,006 : 0,05 : 0,5 (Cimento CPIII, Areia Média, Brita 0, Brita 1, Aditivo Plastificante, Sílica Ativa, Água).

Após o lançamento, foi feito o espalhamento uniforme, adensamento, nivelamento e acabamento na superfície do concreto.

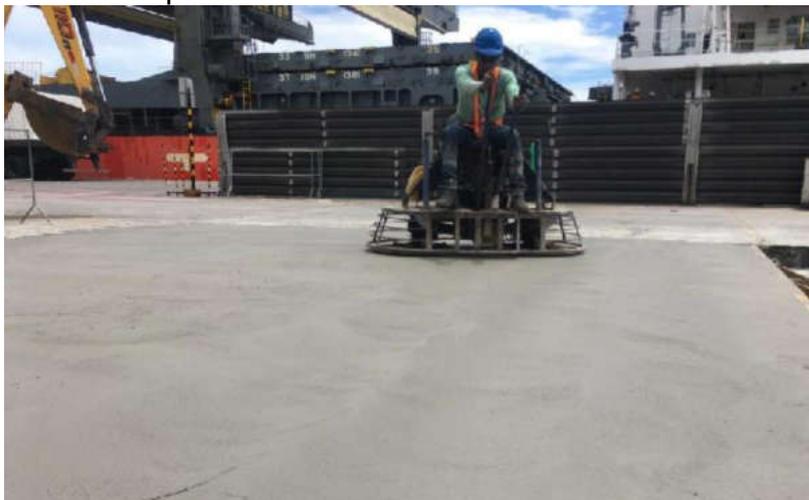
Figura 56 - Concretagem do piso do cais



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

Após a concretagem, é feito o polimento do piso utilizando uma politriz de concreto a gasolina.

Figura 57 - Polimento do piso do cais

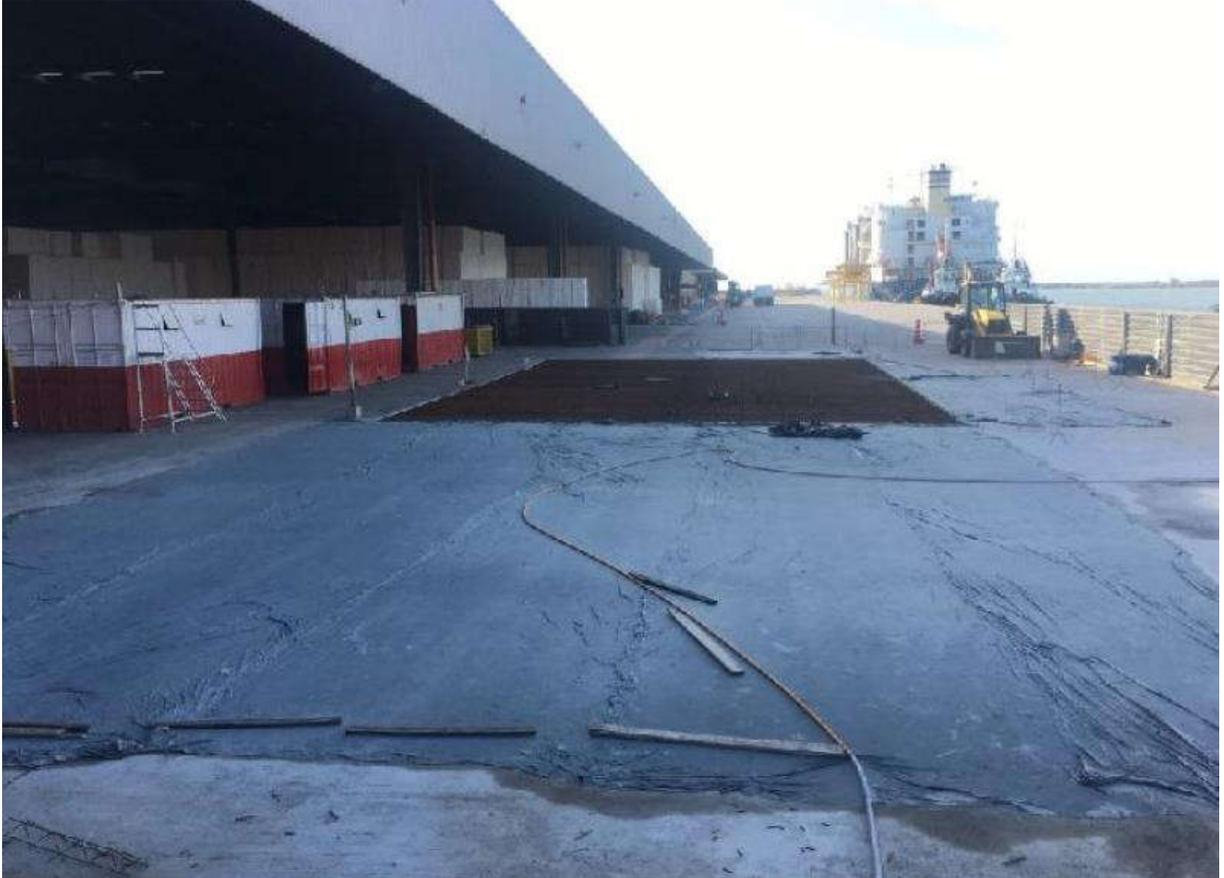


Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

Sucedendo o polimento, inicia-se a etapa de cura úmida do piso. Esta técnica de cura, trata de manter a superfície do concreto com água, justamente para conservar a umidade esperada. Antes disso, aplica-se uma manta geotêxtil sobre o concreto. O geotêxtil retém a água nos vazios capilares, impedindo a evaporação.

A figura 58 ilustra o concreto umedecido após aplicação da manta.

Figura 58 - Cura úmida do concreto



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

Na etapa final da obra, é feito o tratamento das Juntas de Dilatação, Juntas Serradas e Juntas de Construção, com a aplicação dos materiais já mencionados anteriormente.

Figura 59 - Tratamento das Juntas



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

A Figura 60 é uma fotografia do piso, tirada após a conclusão da obra.

Figura 60 - Obra finalizada



Fonte: EMPRESA OPERADORA (2019)

## 5 CONCLUSÃO

A análise das manifestações patológicas nas estruturas de um berço de atracação é essencial para o entendimento dos processos que geraram o colapso de um cais.

Esse estudo evidencia as condições de vento e maré na semana em que ocorreu o incidente, que somados a um raro evento meteorológico, contribuíram para que houvesse uma fuga de material do solo sob o piso do cais após o escorregamento de rochas do enrocamento, resultando na queda da laje.

Embora o acontecimento não tenha provocado vítimas, a área do cais que cedeu, recebe diversas cargas atuantes durante todo o tempo, inclusive de movimentação de máquinas pesadas. É imperioso ressaltar que as estruturas portuárias, mesmo construídas sob projetos de engenharia modernos, não previu possibilidades de acontecimentos similares em determinadas condições.

Portanto, é imprescindível que estudantes e profissionais da área, percebam a necessidades do conhecimento prévio de todas as características da obra, com atenção aos fatores externos. De modo que, por meio da análise de acontecimentos passados, os projetos passem por uma simulação mais criteriosa, no que tange à resistência das estruturas e métodos construtivos.

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

Uma boa avaliação estrutural, por intermédio de métodos de ensaios eficazes, inspeções das condições estruturais e geológicas, somados ao conhecimento das causas e manifestações patológicas em uma estrutura de concreto armado, metodologias construtivas e materiais aplicados para proteção de talude em ambientes marítimos, promovem um bom projeto de recuperação estrutural. Quando esse é executado de acordo com as recomendações, alcança-se o objetivo esperado, qual seja o de restabelecer as condições de projeto para a operação sobre a estrutura. A efetiva realização da recuperação de um trecho colapsado e a adoção de métodos mais eficazes de proteção de talude, são fundamentais para que o cais volte a operar com eficiência para movimentação, embarque e escoamento dos produtos, além de proporcionar maior segurança operacional e evitar que patologias dessa natureza não tragam maiores prejuízos para um porto.

## 5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Como recomendação para estudos futuros, indicamos uma análise do custo-benefício entre as formas de proteção de talude em ambientes marítimos, uma vez que rolamento de rochas do enrocamento sob o cais, desencadeou uma série de eventos que resultaram na queda do piso e prejuízos para a empresa.

## REFERÊNCIAS

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. **Obra e gestão de Portos e Costas: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. 2. ed. rev. São Paulo: Blucher, 2009.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e gestão de portos e costas: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. 2ª Edição. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. **Engenharia Portuária: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. [S. l.]: Edgard Blücher Ltda, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10290**. 1994

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOSSINTÉTICOS. **Os geossintéticos e suas funções**. 2012. Disponível em: <<http://www.igsbrasil.org.br/geo.htm>>. Acesso em: 28 outubro de 2020.

BARBOSA, IGOR LUÍS LOPES FERREIRA. **Muros de contenção com geossintéticos em aterros sobre solos moles reforçados com colunas de jet grout**. 2013. Dissertação (Mestrada em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, [S. l.], 2013.

BARREIRA, Ricardo Lincoln. **Estudo comparativo da migração da embocadura do rio Maceiozinho**. 1976.

BIRD, E.C.F. 2008. **Coastal Geomorphology: An introduction**. 2ed. Chinchester: Wiley and Sons.

BOLSACRETO. **Caderno Técnico Revisão 08**. Disponível em: <[http://www.bolsacreto.com.br/material\\_tecnico/](http://www.bolsacreto.com.br/material_tecnico/)>. Data do acesso 10 set 2020.

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: . Acesso em 08 ago 2020.

**CONSIDERAÇÕES SOBRE OBRAS DE PROTEÇÃO COSTEIRA: espigões**. [S. l.], 1 out. 2012. Disponível em: <<http://marcolyra.blogspot.com/2012/10/consideracoes-sobre-obras-de-protecao.html>>. Acesso em: 31 out. 2020.

DE MIRA GODINHO GREGO LEAL, MIGUEL. **Dimensionamento de defensas marítimas: Aplicação ao caso do terminal portuário Tecondi do porto de Santos, Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, [S. l.], 2011.

**DEFINIÇÕES DE TERMOS E CONCEITOS TÉCNICOS UTILIZADOS NESTE ANUÁRIO.** [S. l.], 2009. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/portaltv3/Anuarios/Portuario2009/termos.htm#:~:text=Bacia%20de%20Evolu%C3%A7%C3%A3o%3A,e%20desembarcar%2C%20cargas%20e%20seguran%C3%A7a>>. Acesso em: 2 nov. 2020.

**DEFENSAS MARÍTIMAS E CABEÇOS DE AMARRAÇÃO SEGUROS E RESISTENTES.** [S. l.], 2020. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/defensas-maritimas-e-cabecos-de-amarracao-seguros-e-resistentes\\_37777\\_14478](https://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/defensas-maritimas-e-cabecos-de-amarracao-seguros-e-resistentes_37777_14478)>. Acesso em: 2 nov. 2020.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER/SP). **Enrocamento.** São Paulo, 2007.

**DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO.** 2.Ed. Paraná: APPA, 2010

FALCÃO, Viviane Adriano; CORREIA, Anderson Ribeiro. Eficiência portuária: análise das principais metodologias para o caso dos portos brasileiros. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 4, p. 133-146, 2012.

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: Acesso em 03 set 2020.

FERREIRA, Raquel Johansson; MICHELETO, Roberta Goulart. A agitação marítima no litoral nordeste do Brasil associada aos distúrbios africanos de leste. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 3, p. 367-374, 2005.

**GEOTÊXTIL NÃO TECIDO.** [S. l.], [201-]. Disponível em: <<http://www.diprotecgeo.com.br/fichas/produtos/2/Ficha%20t%C3%A9cnica%20-%20n%C3%A3otecido.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2020.

GIRELI, Tiago Zenker. **Modelação física em canal da geração de ondas regulares e irregulares para estudo de quebra-mar de enrocamento.** 2008. Tese (Doutor em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, [S. l.], 2008.

HELDER VIEIRA MOREIRA, Carlos. **Análise de cais de paramento fechado - Interação solo-estrutura.** Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Cristina Castro Fontenla Sieira. 2018. 103 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

LEAL, Miguel de Mira Godinho Grego *et al.* **Dimensionamento de defensas marítimas.** 2010.

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: Acesso em 20 out 2020.

MORAIS, J. O. *et al.* Erosão costeira em praias adjacentes às desembocaduras fluviais: O caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**-Journal of Integrated Coastal Zone Management, v. 8, n. 2, p. 61-76, 2008.

**ONDAS MARÍTIMAS:** como é produzido o SWELL?. [S. I.], 2012. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=ondas-mari%C2%ADtimas-como-e-produzido-o-swell#:~:text=Um%20SWELL%20%C3%A9%20composto%20ent%C3%A3o,em%20regi%C3%B5es%20pr%C3%B3ximas%20da%20costa.&text=A%20condi%C3%A7%C3%A3o%20de%20mar%20profundo%20%C3%A9%20relativa%20ao%20pr%C3%B3prio%20comprimento%20de%20onda>>. Acesso em: 10 out. 2020.

PEREIRA DE PAULA, Davis. **Análise dos riscos de erosão costeira no litoral de Fortaleza em função da vulnerabilidade aos processos geogênicos e antropogênicos.** 2012. 364 p. Tese (Doutoramento em Ciências do Mar, especialidade em Gestão Costeira) - Universidade do Algarve, [S. I.], 2012

PEREIRA, P. M. D. S. **Análise dos processos de rotura e de escoamento em quebra-mares de taludes.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto. Porto, Portugal. Julho de 2008.

RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em pavimentos de concreto: dispositivos de transferência de carga.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, A. C. *et al.* **Características das ondas "Sea" e "Swell" observadas no litoral do Ceará-Brasil: variabilidade anual e inter-anual.** *Tropical Oceanography*, v. 39, n. 2, p. 123-132, 2011.

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: Acesso em 05 out 2020.

SCHRAMM, Areia e Terraplanagem. Enrocamento de pedras e drenagens pluviais. *In: ENROCAMENTO DE PEDRAS E DRENAGENS PLUVIAIS.* [S. I.], [201-]. Disponível em: <[http://www.terraplanagementschramm.com.br/produto/view/0005-enrocamento-de-pedras-e-drenagens-pluviais#.X5R\\_3VhKjIU](http://www.terraplanagementschramm.com.br/produto/view/0005-enrocamento-de-pedras-e-drenagens-pluviais#.X5R_3VhKjIU)>. Acesso em: 24 out. 2020.

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: Acesso em 03 set 2020.